

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**HİDROJEN ENERJİSİNİN VE HİDROJEN
TEKNOLOJİLERİNİN EKONOMİDEKİ YERİ PAZAR
GELİŞİMİ VE PAZAR PAYI ÜZERİNE BİR
ARAŞTIRMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nurcan KILINÇ

Enstitü Anabilim Dalı : İktisat

Tez Danışmanları: Doç. Dr. Mustafa AKAL

Yrd. Doç. Dr. Cihat POLAT

TEMMUZ-2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

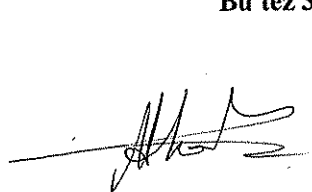
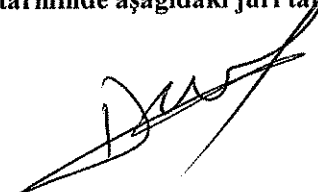
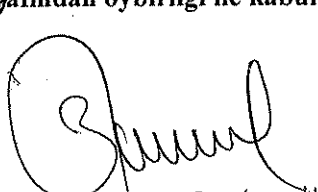
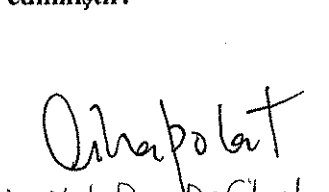
HİDROJEN ENERJİSİNİN VE HİDROJEN
TEKNOLOJİLERİNİN EKONOMİDEKİ YERİ PAZAR
GELİŞİMİ VE PAZAR PAYI ÜZERİNE BİR
ARAŞTIRMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nurcan KILINÇ

Enstitü Anabilim Dalı : İktisat

Bu tez 31/07/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

			
Doç. Dr. Mustafa Akcal	Yrd. Doç. Dr. Adnan DOĞRUYOL	Yrd. Doç. Dr. Burhanettin ZENGİN	Yrd. Doç. Dr. Ghaz POLAT
Jüri Başkanı	Jüri Üyesi	Jüri Üyesi	Jüri Üyesi
<input checked="" type="checkbox"/> Kabul	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul
<input type="checkbox"/> Red	<input type="checkbox"/> Red	<input type="checkbox"/> Red	<input type="checkbox"/> Red
<input type="checkbox"/> Düzeltme	<input type="checkbox"/> Düzeltme	<input type="checkbox"/> Düzeltme	<input type="checkbox"/> Düzeltme

BEYAN

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Nurcan KILINÇ
21/05/2008

TEŐEKKÜR

“Hidrojen Enerjisinin ve Hidrojen Teknolojilerinin Ekonomideki Yeri, Pazar Gelişimi ve Pazar Payı Üzerine Bir Araştırma” konusu, günümüz enerji sektöründe giderek önem kazanan “alternatif enerji” bağlamında üzerinde durulmaya değer bulunmuş bir konudur.

Tez çalışmam süresince çalışmalarında bana her türlü yardımı sağlayan ve ilgisini esirgemeyen danışmanlarım Doç. Dr. Mustafa AKAL ve Yrd. Doç. Dr. Cihat POLAT’a -ki aynı zamanda bu tezin gerçekleştirilmesine esas teşkil eden projenin koordinatör yardımcısıdır- sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Tez jürisinde yer alan üyelere ve yetişmemde katkıları olan tüm hocalarıma da minnettar olduğumu ifade etmek isterim. Ayrıca bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde katkıları olan proje koordinatörü Prof. Dr. Mahmut Dursun MAT’a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım

Bütün yaşamım boyunca iyi ve kötü her durumda sonsuz, karşılıksız ve şartsız desteklerini hep yanımda hissettiğim, kıymetli babam İzzet KILINÇ ve kıymetli annem Selver KILINÇ ile kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışması, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen 105M095 nolu proje kapsamında yürütülmüştür. Cömert katkılarından dolayı TÜBİTAK’a da teşekkürü bir borç bilirim.

Nurcan KILINÇ
21/05/2008

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii

GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 1: HİDROJEN ENERJİSİ, ÜRETİMİ VE KULLANIMI.....	5
1.1. Hidrojen Enerjisi.....	6
1.2. Hidrojen Üretim Kaynakları.....	9
1.2.1. Su.....	10
1.2.2. Fosil Yakıtlar.....	11
1.2.3. Biokütle.....	11
1.3. Hidrojen Enerjisi ve Hidrojen Teknolojilerinin Kullanım Alanları.....	12
1.3.1. Ulaşım.....	15
1.3.2. Sabit Kullanım Alanları.....	18
1.3.3. Portatif Kullanım Alanları.....	20
1.4. Hidrojen Enerjisinin Kullanım Alanlarına Göre Depolanması.....	23
1.4.1. Sıkıştırılmış Gaz Olarak Depolama.....	24
1.4.2. Sıvı Hidrojen Olarak Depolama.....	25
1.4.3. Hidrokarbonlar ile Depolama.....	26
1.4.4. Karbon Nanotüplerde Depolama.....	26
1.4.5. Cam Kürelerde Depolama.....	27
1.4.6. Mağaralarda Depolama.....	27
1.4.7. Tanklarda Depolama.....	27
1.4.8. Alanatlarda Depolama.....	28
1.4.9. Bor Esaslı Depolama.....	28
1.5. Hidrojenin Enerjisinin Taşınması ve Dağıtılması.....	29
1.5.1. Bölgelerarasında Hidrojenin Taşınması ve Dağıtımı.....	30
1.5.2. Bölgesel Hidrojen Taşınması ve Dağıtımı.....	30
1.6. Hidrojen Enerjisinin Güvenliği.....	31

1.7. Hidrojen Enerjisinin Çevresel Yönü.....	32
1.8. Hidrojen Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları.....	33

BÖLÜM 2: HİDROJEN TEKNOLOJİLERİNİN DÜNYA'DAKİ ÖNEMİ VE

TÜRKİYE EKONOMİSİNDEKİ YERİ VE GELİŞİMİ.....35

2.1. Hidrojen Pazarı.....	37
2.2. Yakıt Hücrelerinin Ekonomik Yönü ve Pazar Potansiyeli.....	41
2.2.1. Proton Değişim Membranlı Yakıt Hücresi (Polymer Electrolyte Membrane - PEMFC).....	45
2.2.2. Katı Oksit Yakıt Hücresi (Solid Oxide Fuel Cell - SOFC).....	47
2.2.3. Doğrudan Metanol Kullanılan Yakıt Hücresi (Direct Methanol Fuel Cell - DMFC).....	49
2.2.4. Fosforik Asit Yakıt Hücresi (Phosphoric Acid Fuel Cell - PAFC).....	49
2.2.5. Erimiş Karbonat Yakıt Hücresi (Molten Carbonate Fuel Cells - MCFC).....	50
2.2.6. Alkali Yakıt Hücresi (Alkaline Fuel Cell - AFC).....	51
2.3. Hidrojen Teknolojileri için Dünya'daki Çalışmalar, Hidrojen Enerjisi ve Hidrojen Tabanlı Pazarlar.....	51
2.4. Türkiye'deki Hidrojen Çalışmaları, Hidrojen Enerjisi ve Hidrojen Tabanlı Pazarlar.....	62
2.5. Türkiye'de Varolan Hidrojen Tabanlı Projeler.....	67
2.6. Türkiye'de Hidrojen Enerjisinin Yaygınlaşması ve Teknolojik Gelişim.....	71

BÖLÜM 3: TÜRKİYE'DE YENİ BİR PAZAR OLARAK HİDROJEN

PAZARININ PAZAR BÜYÜKLÜĞÜNE YÖNELİK BİR TESPİT

TAHMİN DENEMESİ.....71

3.1. Yeni Ürün.....	75
3.2. Yeni Ürünlerde Pazar Tahmini.....	76
3.3. Enerji Tahmin Çalışmaları Üzerine Bir Literatür İncelemesi.....	78
3.4. Araştırma Metodolojisi.....	83
3.4.1. Araştırma Yöntemi.....	83
3.4.2. Araştırmanın Modeli.....	84
3.5. Ekonometrik Yöntemler.....	86

**BÖLÜM 4 : BASS MODELİ İLE HİDROJEN ENERJİSİNİN VE HİDROJEN
TABANLI ÜRÜNLERİN PAZAR BÜYÜKLÜĞÜNÜN**

TAHMİNİ.....	89
4.1. Bass Modeli.....	91
4.2. Hidrojen Teknolojilerinin Enerji Kullanım Alanları İçindeki Toplam Pazar Büyüklüğü.....	95
4.2.1. Petrol.....	96
4.2.2. Doğalgaz.....	102
4.2.3. Kömür.....	108
4.3. Toplam Enerji Tüketimi.....	113
4.4. Hidrojen Teknolojilerinin Araç Kullanım Alanları İçindeki Toplam Pazar Büyüklüğü.....	115
4.5. Hidrojen Teknolojilerinin Cep Telefonları Kullanımları İçindeki Toplam Pazar Büyüklüğü.....	121
4.6. Hidrojen Teknolojilerinin Dizüstü Bilgisayar Kullanımları İçindeki Toplam Pazar Büyüklüğü.....	127
4.7. Hidrojen Teknolojilerinin Diğer Portatif/Elektronik Kullanım Alanları İçindeki Toplam Pazar Büyüklüğü.....	132
4.8. Hidrojen Teknolojilerinin Enerji Dışındaki Kullanım Alanlarının Toplam Pazar Büyüklüğü.....	138
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	139
KAYNAKLAR.....	144
ÖZGEÇMİŞ.....	166

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AFC	: Alkaline Fuel Cell - Alkali Yakıt Hücreleri
AHO	: Ağırlıklı Hareket Ortalama
ANN	: Artificial Neural Network - Yapay Sinir Ağları
AO	: Aritmetik Ortalama
AR-GE	: Araştırma-Geliştirme – Research-Development (R&D)
ARIMA	: Tamamlanmış Otoresgressif Hareketli Ortalamalar
BC	: British-Columbia
BCC	: British Chambers of Commerce - İngiliz Ticaret Odası
BOS	: Birleşik Oksijen Sanayi
BP	: Pers Petrol
CEA	: Atomic Energy Commission - Atom Enerji Komisyonu
CNRS	: Centre National de Research Scientifique - Ulusal Araştırma Merkezi
DMFC	: Direct Methanol Fuel Cell - Direkt Metanol Yakıt Hücreleri
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
DSİ	: Devlet Su İşleri
EÜAŞ	: Elektrik Üretim Şirketi
GDP	: Gross Domestic Product - Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla
GESK	: Güneş Enerjili Sistemler Klübu
GFK	: Growth from Knowledge – Uluslararası Veri Tedarik Şirketi
GNP	: Gross National Product - Gayri Safi Milli Hâsıla
GSMH	: Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla
GZTF	: Güçlü, Zayıf, Tehdit, Fırsat
GWh	: Gigawatt/saat - Milyon Kilovat Saat
HO	: Hareketli Ortalamalar
IEA	: International Energy Agency - Uluslararası Enerji Ajansı
IFP	: Institut Français du Pétrole - Fransa Petrol Enstitüsü
IPHE	: Institute of Plumbing and Heating Engineering – Isı ve Boru Tesisat Mühendisliği Kurumu

İGDAŞ	: İstanbul Gaz Dağıtım Anonim Şirketi
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
kW	: Kilowatt
LNG	: Liquefied Natural Gas - Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
LPG	: Liquefied Petrol Gas - Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MAD	: Mean Absolute Deviation - Ortalama Mutlak Sapma
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi
MAPE	: Mean Absolute Percent - Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi
MCFC	: Molten Carbonate Fuel Cell - Erimiş Karbonat Yakıt Hücreleri
MPa	: Mega Pascal
MSE	: Mean Squared Error - Hata Karelerinin Ortalaması
Mtep	: Million Ton Equilibrium Petrol - Milyon Ton Petrol Eşdeğeri
MW	: Megawatt
NASA	: National Aeronautics and Space Administration - Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NRA	: National Research Agency - Ulusal Araştırma Merkezi
ODTÜ	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development - Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
OLS	: Ordinary Least Squares - En Küçük Kareler Yöntemi
PAFC	: Phosphoric Acid Fuel Cell - Fosforik Asit Yakıt Hücreleri
PDA	: Portatif Device Applications - Mobil Araç Uygulamaları
PEMFC	: Proton Exchange Membran Fuel Cell - Proton Değişim Membran Yakıt Hücresi
SARIMA	: Mevsimsel Zaman Dizileri
SOFC	: Katı Oksit Yakıt Hücresi – Solid Oxide Fuel Cell
THY	: Türk Hava Yolları
TİDEB	: Teknoloji İzleme ve Değerlendirme Başkanlığı
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TPAO	: Türkiye Petrol Araştırma Ofisi
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknoloji Araştırma Kurumu
TÜSİAD	: Türk Sanayicileri ve İşadamları Deneği

TTGV	: Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı
UNIDO/ICHET	: International Center for Hydrogen Energy Technologies - Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri
YTÜ	: Yıldız Teknik Üniversitesi
ZES	: Zero Emission Scooter - Sıfır Emisyonlu Skuter
WEC	: World Environment Center - Dünya Çevre Merkezi
WE-NET	: World Energy Network - Dünya Enerji Ağı

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1: Hidrojen Teknolojilerinin Dünya'daki Tahmini Portatif Kullanım Alanlarının Büyüklüğü (Milyon \$).....	20
Tablo 2: Türkiye'deki Masaüstü ve Dizüstü Bilgisayar Pazar Büyüklüğü(Adet).....	22
Tablo 3: Hidrojen ve Bazı Yakıtların Güvenlikle İlgili Özellikleri.....	32
Tablo 4: Enerji Sistemlerinde Üretilen Kirlenici Miktarları.....	33
Tablo 5: Hidrojen Enerjisinin GZTF Analizi.....	34
Tablo 6: Avrupa'da Hidrojenle Çalışan Otomobillerin Yıllara Göre Tahmini-2005.....	56
Tablo 7: Türkiye'de Üretilen Elektrik'in Kaynakları ve Payları.....	64
Tablo 8: Türkiye İçin Yapılan Enerji Talep Tahmin Çalışmaları Tablosu.....	82
Tablo 9: Petrol için Korelasyon Katsayıları.....	86
Tablo 10: Petrol Varyans Analizi Sonuçları.....	86
Tablo 11: Petrol için Regresyon Bulguları.....	87
Tablo 12: Doğalgaz için Korelasyon Katsayıları.....	87
Tablo 13: Doğalgaz Varyans Analizi Sonuçları.....	88
Tablo 14: Doğalgaz için Regresyon Bulguları.....	88
Tablo 15: Kömür için Korelasyon Katsayıları.....	89
Tablo 16: Kömür Varyans Analizi Sonuçları.....	89
Tablo 17: Kömür için Regresyon Bulguları.....	89
Tablo 18: Hidrojene İkame Olan Petrolün Toplam Tüketimleri.....	96
Tablo 19: Petrol ile İlgili Regresyon Sonuçları.....	97
Tablo 20: Petrol için Bass Tahmin Denklemi.....	98
Tablo 21: Gerçekleşen ve Tahmini Petrol Tüketimlerinin Karşılaştırılması.....	99
Tablo 22: Hidrojen Enerjisi için Tahmin Denklemi.....	101
Tablo 23: Hidrojen Enerjisinin Gelecek için Tahmini Pazar Payı Potansiyeli.....	102
Tablo 24: Hidrojene İkame Olan Doğalgazın Toplam Tüketimleri.....	103
Tablo 25: Doğalgazın Regresyon Sonuçları.....	104
Tablo 26: Doğalgaz için Bass Tahmin Denklemi.....	105
Tablo 27: Gerçekleşen ve Tahmini Doğalgaz Tüketimlerinin Karşılaştırılması.....	105
Tablo 28: Hidrojen Enerjisi için Tahmin Denklemi.....	106
Tablo 29: Hidrojen Enerjisinin Gelecek için Tahmini Pazar Payı Potansiyeli.....	107
Tablo 30: Hidrojene İkame Olan Kömürün Toplam Tüketimleri.....	108

Tablo 31: Kömürün Regresyon Sonuçları.....	109
Tablo 32: Kömür için Bass Tahmin Denklemi.....	110
Tablo 33: Gerçekleşen ve Tahmini Kömür Tüketimlerinin Karşılaştırılması.....	110
Tablo 34: Hidrojen Enerjisi için Tahmin Denklemi.....	112
Tablo 35: Hidrojen Enerjisinin Gelecek için Tahmini Pazar Payı Potansiyeli.....	112
Tablo 36: Hidrojenin Enerji Alanındaki (Petrol, Doğalgaz ve Kömür) Toplam Pazar Büyüklüğü.....	114
Tablo 37: Türkiye'deki Toplam Araç Sayısı.....	116
Tablo 38: Araç Sayılarının Regresyon Sonuçları.....	117
Tablo 39: Hidrojen Enerjisinin Araçlarda Kullanımı için Bass Tahmin Denklemi.....	118
Tablo 40: Gerçekleşen ve Tahmini Araç Sayılarının Karşılaştırılması.....	118
Tablo 41: Hidrojen Enerjisinin Araçlardaki Kullanımı için Tahmin Denklemi.....	120
Tablo 42: Hidrojen Enerjisinin Araçlarda Kullanımının Pazar Payı Tahmin Sonuçları.....	120
Tablo 43: Türkiye'deki Toplam Cep Telefon Sayısı.....	122
Tablo 44: Cep Telefon Sayısının Regresyon Sonuçları.....	122
Tablo 45: Hidrojen Enerjisinin Cep Telefonlarında Kullanımı için Bass Tahmin Denklemi.....	123
Tablo 46: Gerçekleşen ve Tahmini Cep Telefon Sayılarının Karşılaştırılması.....	123
Tablo 47: Hidrojen Enerjisinin Cep Telefonlarında Kullanımı için Tahmin Denklemi.....	125
Tablo 48: Hidrojen Enerjisinin Cep Telefonlarında Kullanımı Sonucu Pazar Payı Tahmin Sonuçları.....	126
Tablo 49: Türkiye'deki Toplam Dizüstü Bilgisayar Sayısı.....	127
Tablo 50: Dizüstü Bilgisayar Sektörünün Regresyon Sonuçları.....	127
Tablo 51: Hidrojen Enerjisinin Dizüstü Bilgisayar Kullanımı için Bass Tahmin Denklemi.....	128
Tablo 52: Gerçek ve Tahmini Dizüstü Bilgisayar Sayılarının Karşılaştırılması.....	129
Tablo 53: Hidrojen Enerjisinin Dizüstü Bilgisayarlarda Kullanımı için Tahmin Denklemi.....	130
Tablo 54: Hidrojen Enerjisinin Dizüstü Bilgisayar Kullanımı Sonucundaki Pazar Payı Tahmin Sonuçları.....	131

Tablo 55: Türkiye’deki Toplam Portatif/Elektronik Araçların Sayısı.....	132
Tablo 56: Portatif/ Elektronik Araçların Regresyon Sonuçları.....	133
Tablo 57: Hidrojen Enerjisinin Portatif/Elektronik Araçlarda Kullanımı İçin Bass Tahmin Denklemi.....	134
Tablo 58: Gerçek ve Tahmini Portatif/Elektronik Araçların Sayılarının Karşılaştırılması.....	134
Tablo 59: Hidrojen Enerjisinin Portatif/Elektronik Araçlarda Kullanımı için Tahmin Denklemi.....	136
Tablo 60: Hidrojen Enerjisinin Portatif/Elektronik Araçlarda Kullanımı Sonucundaki Pazar Payı Tahmin Sonuçları.....	136
Tablo 61: Hidrojen Teknolojilerinin Enerji Dışındaki Kullanım Alanlarının Toplam Pazar Büyüklüğü.....	138

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Hidrojen Enerjisinin Bazı Sanayi Sektörlerinde Üretim Alanları ve Üretim Miktarı.....	13
Şekil 2: Hidrojenin 2020, 2050 Ve 2100 Yıllarında Ulaşım, Endüstri ve Konuttaki Kullanım Oranları.....	15
Şekil 3: Sabit Kullanım Piyasası (Ürün Adedi).....	19
Şekil 4: Dünya'daki Cep Telefonu Miktarı ve Kullanıcıları.....	22
Şekil 5: Hidrojen Üretim Teknolojilerinin Yatırım Maliyetleri.....	39
Şekil 6: Yakıt Hücresi ve Diğer Teknolojilerin 2000–2100 Yılları Arasındaki Tahmini Piyasa Oranları.....	39
Şekil 7: Hidrojen Pazarındaki Elementlerin Sistematiik Sunumu.....	40
Şekil 8: Hidrojen Pazarına Geçiş Aşamaları.....	41
Şekil 9: Yakıt Hücrelerinin Uygulama Alanları ve Pazar Payları (2004).....	43
Şekil 10: Araştırmanın Mantıksal Modeli.....	85
Şekil 11: Gerçekleşen ve Tahmini Petrol Tüketimlerinin Karşılaştırılması.....	99
Şekil 12: Tahmini Hidrojen Enerji Tüketimleri.....	102
Şekil 13: Gerçekleşen ve Tahmini Doğalgaz Tüketimlerinin Karşılaştırılması.....	106
Şekil 14: Tahmini Hidrojen Enerji Tüketimleri.....	108
Şekil 15: Gerçekleşen ve Tahmini Kömür Tüketimlerinin Karşılaştırılması.....	111
Şekil 16: Tahmini Hidrojen Enerji Tüketimleri.....	113
Şekil 17: Hidrojenin Enerji Alanındaki (Petrol, Doğalgaz ve Kömür) Toplam Pazar Büyüklüğü.....	115
Şekil 18: Gerçekleşen ve Tahmini Araç Sayılarının Karşılaştırılması.....	119
Şekil 19: Hidrojen Enerjisini Tahmini Olarak Kullanması Beklenen Araç Sayısı.....	121
Şekil 20: Gerçekleşen ve Tahmini Cep Telefon Sayılarının Karşılaştırılması.....	124
Şekil 21: Hidrojen Enerjisini Tahmini Olarak Kullanılması Beklenen Cep Telefon Sayısı.....	126
Şekil 22: Gerçekleşen ve Tahmini Dizüstü Bilgisayar Sayılarının Karşılaştırılması.....	129
Şekil 23: Hidrojen Enerjisini Tahmini Olarak Kullanan Dizüstü Bilgisayar Sayısı.....	131
Şekil 24: Gerçekleşen ve Tahmini Portatif/Elektronik Araç Sayılarının Karşılaştırılması.....	135

Şekil 25: Hidrojen Enerjisini Tahmini Olarak Kullanan Portatif/Elektronik Araç

Sayısı.....137

Tezin Başlığı: Hidrojen Enerjisinin ve Hidrojen Teknolojilerinin Ekonomideki Yeri Pazar Gelişimi ve Pazar Payı Üzerine Bir Araştırma	
Tezin Yazarı: Nurcan KILINÇ	Danışmanlar: Doç. Dr. Mustafa AKAL Yrd. Doç. Dr. Cihat POLAT
Kabul Tarihi: 31 Temmuz 2008	Sayfa Sayısı: XII (ön kısım) + 166 (tez)
Anabilimdalı: İktisat	
<p>Bu tez çalışmasında geleceğin yakıtı olarak gözüken ve alternatif enerji konusundaki arayışların giderek arttığı günümüzde her geçen gün daha fazla dikkati çeken hidrojen enerjisinin ve teknolojilerinin dünya ve Türkiye ekonomisindeki yeri, ikame ettiği enerji türleri, potansiyel ve alternatif kullanım alanları göz önüne alınarak hidrojen enerjisinin ekonomideki pazar büyüklüğü tahmini yapılmıştır.</p> <p>Çalışmada, hidrojen enerjisi hakkındaki genel teorik bir çerçevede verildikten sonra hidrojen enerjisinin kullanım alanları ve hidrojen teknolojilerinin dünyadaki ve Türkiye'deki ekonomik etkisi ve ikame edeceği yakıtlar çerçevesinde hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünler ile ilgili bir pazar araştırmasını içermektedir ve pazar araştırılmasına yönelik çeşitli pazarlama araştırması yöntemleri ve tahmine yönelik de çeşitli -uygun nitelikteki- ekonometrik modeller kullanılmıştır.</p> <p>Hidrojen enerjisinin bütün dünyada yeni ve alternatif bir enerji durumunda olması dolayısıyla, ülkemizde de bu konudaki akademik çalışmalar henüz yaygınlık kazanmamıştır. Hatta bu tür çalışmaların sosyal bilimler alanında yeni olduğu söylenebilir. Bu tez çalışması bu çerçevede hem teorik hem de pratik bakımdan literatürde bu alanda mevcut bulunan boşluğun doldurulmasına yönelik önemli bir katkı yapması beklenmektedir.</p> <p>Bu çalışma sonucunda, hidrojen enerjisinin ve hidrojen tabanlı ürünlerin pazarı artarak devam edecektir. Dünyada hızla gelişen hidrojen enerjisi ve hidrojen teknolojileri konusunda Türkiye'de bu konuya önem vererek gerekli destekleri ve yatırımları yapmalıdır. Çünkü geleceğin enerji kaynağı hidrojen Türkiye için büyük önem arz etmektedir.</p>	
Anahtar kelimeler: Hidrojen Enerjisi, Hidrojen Teknolojileri Ürünleri, Hidrojen Pazarı, Pazar Büyümesi, Pazar Tahmini	

Sakarya University Institute of Social Science Abstract of Master's Thesis

Title of the Thesis: Economy Place of Hydrogen Energy and Hydrogen Technologies A Research on the Market Share and Market Growth	
Author: Nurcan KILINÇ	Supervisors: Assoc. Prof. Dr. Mustafa AKAL Assist. Prof. Dr. Cihat POLAT
Date: 31 July 2008	Number of Pages: XII (pre text) + 166 (mb)
Department: Economics	
<p>This thesis aims to estimate the market share of hydrogen energy and hydrogen energy technology products in the economy considering the economical introducing of hydrogen energy and its technologies in the world and in Turkey and it is estimated by considering the energy types that it substitutes and alternative and potential usage areas of it.</p> <p>In this study after giving general and theoretical frames of hydrogen energy, there is a marketing research about hydrogen energy and hydrogen based products in the frame of hydrogen energy's usage and the economic affect of hydrogen technologies in the world and in Turkey. So various marketing research and different suitable quality econometrics models about estimation are used.</p> <p>Hydrogen energy is new and an alternative energy all over the world. But, academic studies about this subject have not become widespread yet in Turkey. Moreover, this type of studies are reported to be new in social sciences. In this context, this thesis study is expected to make an important contribution to fill the current gap in this area of literature in both theoretical and practical aspects.</p> <p>As a result of this study, hydrogen energy and hydrogen products markets are growing rapidly. Turkey should support invest mends in the areas of hydrogen energy and hydrogen technologies that have been developing all over the world. Because hydrogen -the energy of future- is very important for Turkey.</p>	
Keywords: Hydrogen Energy, Hydrogen Technologies Product, Hydrogen Market, Market Growth, Market Forecasting	

GİRİŞ

Enerji ihtiyacı hemen hemen bütün dünyada büyük bir hızla artmaya devam etmektedir. Giderek büyüyen ekonomiler ve bu ekonomilerdeki birçok endüstriyel üretim alanında enerjiye duyulan çok büyük çaplı ihtiyaçlar gibi faktörlerden dolayı enerji, işletmeler için üretimin en temel girdilerinden birisi durumundadır ve firmalar ve ülkeler için stratejik bir kaynak konumundadır. Ayrıca, nihai tüketicilere yönelik olarak geliştirilen enerjinin ulaşım araçlarından dayanıklı tüketim mallarına kadar geniş bir yelpazedeki binlerce ürünün enerjiye bağımlı olması, enerjiye duyulan ihtiyacın şiddet derecesini önemli derecede arttırmıştır. Günümüzde enerji, nihai tüketiciler ve endüstriyel alıcılar için dünyada en fazla ihtiyaç duyulan ürünlerden birisi durumuna gelmiştir.

Enerji, bu bağlamda ülkelerin ekonomik gelişimleriyle ilgili olduğu kadar, güvenliğiyle de direkt olarak ilgili bir konuma gelmiştir. Bundan dolayı, dünyadaki birçok ülke artık yalnızca kendi bölgelerindeki enerji kaynaklarıyla ilgilenmekle kalmamakta; dünyanın herhangi bir bölgesindeki enerji kaynaklarıyla da yakından ilgilenmektedirler. Enerji için uluslar arası birliktelikler oluşturmaktan ve bunları korumak için büyük miktarlarda finansal ve askeri yatırımlar yapmaktan kaçınmayan dünya ülkeleri, enerjinin hem kaynak hem de ulaşım güvenliğini garanti altına almak istemektedirler.

Dünyadaki en hassas konulardan birisi durumuna gelen enerji, yalnızca ekonomik bir girdi, işletmelerin çeşitli amaçlarla kullandığı endüstriyel bir ürün veya nihai tüketicilerin ihtiyaçlarını karşılamak için kullandıkları nihai bir ürün olmanın çok ötesine geçmiştir. Günümüzde enerji dünyada stratejik bir değer kazanmıştır.

Petrol ve kömür egemenliğine dayanan enerji çağı, 1960'ların ikinci yarısına kadar yaklaşık iki yüzyıl boyunca sorunsuz olarak devam etmiştir. Fakat sonrasında ardı ardına gelen petrol krizleri, enerji kaynakları konusunda ciddi bir güvensizlik ortamının oluşmasına ve bu nedenle de bütün dünyada yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda yoğun bir arayışın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Başta ABD, Avrupa ve Japonya ülkeleri olmak üzere birçok ülke, bu konuda yoğun araştırmalara başlamışlardır. Fakat 1980'lerin ortalarında petrol fiyatlarının düşmeye

başlamasıyla yeni ve yenilenebilir enerjiler ile ilgili araştırmalara ve kaynaklara olan ilgi geçici bir süre azalmıştır. Tekrar petrol krizi sonucu gündeme gelen “enerji güvenliği” ve “enerjinin çeşitlendirilmesi” enerji politikalarının vazgeçilmez unsurlarından birisi haline gelmiştir.

Ayrıca 1990’lı yıllardan itibaren ortaya çıkan evre bilinci sonucunda fosil kaynaklara dayalı enerji üretim ve tktiminin yerel, bölgesel ve küresel düzeyde -atmosfere, çevreye ve doğal kaynaklara- doğrudan ve/veya dolaylı birçok olumsuz etkisinin olduğu anlaşılmıştır. Bu durum kirlilik yaratıcı emisyon oluşturmayan yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili arayışların ve çalışmaların yeniden gündeme gelmesine ve desteklenmesine yol açmıştır (Uğur, 2005).

Bu bağlamda enerjide özellikle son yüz-yüz elli yıldır temel enerji kaynağı olarak işlev gören kömürden petrole, petrolden doğalgaza ve doğalgazdan da yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru bir geçiş gözlenmektedir. Bu geçişin önemli sebeplerinden bir tanesi de sınırlı olan geleneksel enerji kaynakları denilen fosil tabanlı enerji kaynaklarında önümüzdeki dönemde ciddi sıkıntıların olacağı tahmin edilmektedir. Bu tür kaynakların sınırlı olduğunun anlaşılmasına ilave olarak, gittikçe yoğun bir şekilde kullanılmaları nedeniyle bunlar için katlanılan normal maliyetlerin dışında birçok ekonomik ve çevresel maliyetler de ortaya çıkmış durumdadır. Bu enerji kaynaklarını kullanmanın maliyetinin öngörülenden daha yüksek bir maliyete sahip olduğu giderek daha iyi anlaşılmaktadır.

Başka bir açıdan ise, dünya ekonomik sisteminin önemli bir kısmının bu kaynaklara bağımlılığından kaynaklanan ekonomik, stratejik ve siyasi birçok sıkıntıyı beraberinde getirmektedir. Uzun süreden beri devam eden alternatif enerji arayışları söz konusu nedenlerin de etkisiyle son zamanlarda daha fazla hız kazanmış durumdadır. Yapılan bilimsel araştırmalar, Ar-Ge faaliyetleri ve bunların sonucunda ulaşılan teknolojik ve ticari durum, yukarıda belirtilen geçişin önümüzdeki dönemde hidrojenle devam edeceği konusunda ciddi işaretler oluşturmaktadır (Dunn, 2002). Dünya genelinde hidrojen geleceğin enerjisi olarak görülmektedir.

Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, geleceğin yakıtı olarak gözüken ve alternatif enerji konusundaki arayışların giderek arttığı günümüzde her geçen gün daha fazla dikkati çeken hidrojen enerjisinin ve hidrojen tabanlı ürünlerin Türkiye ekonomisindeki yeri ikame ettiği enerji türleri ve potansiyel ve alternatif kullanım alanlarını göz önüne alarak, hidrojen enerjisinin ekonomideki pazar büyümesini ve payını tahmine yönelik bir araştırma yapmaktır.

Bu çalışmada Türkiye ekonomisinde 1980-2006 döneminde kullanılan geleneksel fosil yakıtların 'petrol, doğalgaz ve kömür' toplam tüketimleri esas alınarak bu yakıtlar arasındaki ilişki analiz edilmiş ve bu geleneksel fosil yakıtlara ikame olacak hidrojen enerjisinin ve hidrojen tabanlı ürünlerin gelecekteki talep tahminini -pazar büyüklüğünü- bulmak ve inceleme amaçlanmaktadır. Esasen bu çalışma, hidrojen enerjisini ikame edecek olan geleneksel fosil yakıtlarının tüketimi ile tüketimi etkileyen faktörler arasındaki ilişkiyi istatistiksel analiz yöntemi ile araştırmakta; hidrojen enerjisinin ve hidrojen tabanlı ürünlerin gelecekteki pazar büyümesini tahmin etmeye çalışmaktadır.

Çalışmanın Önemi

Hidrojen bütün dünyada yeni ve alternatif bir enerji durumundadır. Türkiye'de bu konuda 'akademik, bilimsel vs.' yapılan çalışmalar henüz yaygınlık kazanmamıştır. Bu çerçevede, bu araştırmanın hem teorik hem de pratik bakımdan literatürde bu alanda mevcut bulunan boşluğun doldurulmasına yönelik önemli bir katkı yapması beklenmektedir. Bu yüzden hidrojen enerjisinin ve hidrojen teknolojilerinin ekonomi açısından önemi, pazar büyüklüğü ve payı üzerine bir çalışma yapmak oldukça önemlidir.

Hidrojen enerjisinden başka alternatif sürdürülebilir enerji kaynakları da keşfedilmiş olmasına rağmen, hidrojen hala 'tercih edilmesi gereken kaynak' olarak ifade edilmektedir. Çünkü hidrojen temelli enerji sistemlerinin yüksek kaliteli, verimli, temiz, güvenli ve sürdürülebilir olması, bir enerji kaynağından olan beklentileri yeterince karşılamaktadır (Barreto vd., 2003). Bunlara ek olarak; hidrojenin yüksek ısı dönüşümü ve enerji gücü, basitliği ve oksijen ile yandığı zaman çevresel atıklar

oluşturmaması, doğal ve yenilenebilir olması, sınırsız olması, çevreye ve canlılara zarar vermemesi, kolayca ve güvenli bir şekilde taşınabilir olması, sanayi, ev ve taşıt gibi bir çok alanda kullanılabilmesi gibi nedenler -sudan başka bir atık üretmemekte ve üretilen su da tekrar doğaya dönmektedir- hidrojen kullanımını diğer alternatif enerji kaynakları arasında oldukça avantajlı hale getirmektedir (Kırtlar vd., 2004; Bossel vd., 2005; Hirsh vd., 2007). Bütün bu özellikler hidrojeni potansiyel olarak diğer fosil yakıtlarla rekabet edebilecek bir yakıt olarak görülmesine ve hidrojen ve hidrojen tabanlı ürünlerin giderek artmasına neden olmaktadır (Hirsh vd., 2007). Bu çerçevede hidrojenin sahip olduğu söz konusu avantajlar ve potansiyeller -mevcut teknolojik gelişme düzeyi de dikkate alındığında- önümüzdeki dönemin “hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünler dönemi” olarak nitelendirilmesine imkan sağlamaktadır (Kırtlar vd., 2004). Gerek gelecekte kullanım alanı artması dolayısıyla, gerekse Türkiye'nin giderek artmakta olan enerji talebini karşılama ve fiyatları sürekli artmakta olan ithal enerjiye bir alternatif enerji olarak artan dış ticaret açığını azaltmaya yönelik olarak hidrojen enerjisi üretimi Türkiye için büyük önem taşımaktadır.

Araştırmanın Yöntemi ve Kapsamı

Çalışma, hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünler hakkındaki genel teorik bir çerçeveyi, hidrojen yakıtının ekonomik etkisini, kullanım alanlarını ve ikame edeceği yakıtları tartışmayı ve bu çerçevede bir pazar araştırmasını yani hidrojen enerjisinin ve hidrojen tabanlı ürünlerin gelecekteki pazar büyüklüğü ve pazar büyüklüğü tahminlemesini içermektedir. Çalışmada pazar araştırılmasına yönelik çeşitli pazarlama araştırması yöntemleri ve tahmine yönelik de çeşitli ekonometrik -uygun nitelikteki regresyon, çoklu regresyon ve Bass modeller- modeller kullanılmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde hidrojen enerjisi hakkında genel ve detaylı bir bilgi verilmiştir. İkinci bölümde, hidrojen enerjisinin ve hidrojen tabanlı ürünlerin dünya ülkelerinin ekonomilerindeki ve Türkiye'deki gelişimi ile ilgili araştırmalar incelenmiş ve ekonomik etkileri ortaya konmuştur. Üçüncü bölümde, pazarlama ve pazar tahmin yöntemleri tartışılmıştır. Bu çerçevede ilk olarak pazar büyüklüğü tahmin yöntemleri, ikinci olarak yeni ürünler için pazar tahmin yöntemleri açıklanmıştır. Yani kısaca pazar büyüklüğü yönteminin ekonomideki önemine ve pazar payı tahmin yöntemlerine

değinilmiştir. Dördüncü bölümde ise geleceğe yönelik hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünlerin ekonomideki büyüklüğü ve pazarları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuç ve değerlendirme bölümünde ise bu çalışmada elde edilen bulgular özetlenmiş ve bu çerçevede Türkiye ve dünya ülkelerinde hidrojen enerjisinin ve hidrojen tabanlı ürünlerin gelişimi için yapmaları gerekenler hakkında önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM 1: HİDROJEN ENERJİSİ, ÜRETİMİ VE KULLANIMI

Fosil kökenli yakıtların teknolojinin gelişmesi ve aşırı kullanım sonucu hızla tükenmesi, araştırmacıları alternatif yakıt arayışına yönlendirmiştir. Alternatiflerden bir tanesi de hidrojen enerjisidir. Aslında ‘hidrojen’ birincil enerji kaynağı ya da doğal gaz enerji çeşidi olmayıp, bir başka enerji tüketilerek elde edilen sentetik yakıt bir enerji taşıyıcısıdır. Hidrojen enerjisi konusundaki çalışmalar 1970’lerde başlanmasına rağmen, ancak 2000’li yıllarda yoğunlaşmıştır. 2074 yılında hidrojen ile ilgili bütün çalışmaların tamamlanması beklenmektedir.

Global enerji ekonomisinin bir itici gücü olarak görülen hidrojen teknolojileri ve bir enerji dönüşüm süreci olan yakıt hücresi teknolojileri, geleceğin enerji arenasında, orta ve uzun dönem için son derece olumlu sinyaller vermektedir. Hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünler giderek artan çevresel baskıların, teknolojik/ekonomik gelişmelerle de bütünleşmesi ve desteklenmesi fosil tabanlı ürünlerden hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünlere geçişi hızlandırması beklenmektedir. Bu çerçevede, dünyanın yoğun olarak çalıştığı hidrojen üretimi, yakıt hücreleri ve ilgili konularda Türkiye’de teknolojik yetkinlik kazanılması şart görülmektedir (TÜBİTAK, 2004).

Alternatif kaynak olarak neden hidrojen diye tartışılacak olursa; hidrojenin emisyon ürününün su olması, fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kanalı ile ve nükleerden elde edilebilir olması, hidrojenin üretimi, taşınması, depolanması ve kullanımı konusunda çeşitli teknolojiler geliştirilmesi, hidrojen yakıt hücrelerinde yüksek verimle yakılarak enerji elde edilebilmesi alternatif enerjiler arasında yer almasına imkan sağlamaktadır (Kadırgan, 2005).

Hidrojen 21. yüzyılın somut bir gerçeğidir. Günümüzde hidrojenle ilgili yapılan çalışmalar ve gelişmeler dikkate alındığında; hidrojen gelişiminin tahmin edilen süreden daha kısa bir zaman diliminde olması beklenmektedir.

1.1. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen, enerji sistemleri içerisinde enerji aktarıcısı, taşıyıcısı veya değiştiricisi görevlerini gören ideal bir ara elemandır (Hidrojentürk, 2002). Ayrıca hidrojen, evrenin en basit ve en çok bulunan elementi olup, renksiz, kokusuz, havadan 14,4 kez

daha hafif ve tamamen zehirsiz bir gazdır (Aytaç, 2007). 1500'lü yıllarda keşfedilen ve 1700'lü yıllarda yanma özelliğinin farkına varılan hidrojen enerjisi, bütün yakıtlar içerisinde birim kütlede en yüksek enerji içeriğine sahip bir gazdır (Klug ve Faas, 2001; Ars Enerji, 2007).

Hidrojen enerjisinin geçmişten günümüze gelişimi kısaca şu şekilde olmuştur: 1800 yılında hidrojen ve oksijenin elektroliz yöntemi ile ilk üretimi gerçekleşmiş; 1898'de Linde prosesi kullanılarak hidrojenin sıvılaştırılması yapılmış; 1902'de Oerlikon tarafından ilk ticari elektroliz ünitesi kurulmuş; 1929'da saf hidrojen üretimi yapılmış; 1931'de hidrojen izotopu bulunmuş; 1935'te fosforik asitten nötron bombardımanı yoluyla trityum, ağır hidrojen elde edilmiştir. 1954'te ilk hidrojen bombası patlatılmış; 1955'te hidrojenin enerji taşınım ortamı olarak tanımlanması ve bu yönde çalışmaların başlaması sağlanmış ve 1969'da yararlanılabilir özelliklerini kullanarak hidrojen enerjisi kavramı geliştirilmiştir (TMMOB Enerji Raporu, 2006). Günümüzde de hidrojen konusundaki çalışmalar yoğun olarak devam etmektedir

Hidrojen enerjisi yavaş yavaş gelişmekte ve zamanla fosil tabanlı enerji kaynaklarının yerini alması beklenmektedir. Günümüzde dünya ölçeğinde kullanılmakta olan enerjinin çoğu petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Dünyada fosil yakıtların toplam enerji tüketimi içerisindeki payı halen % 85–90 oranında yer almaktadır. Dünya elektrik enerjisi üretimi ise yaklaşık olarak % 64,5'i fosil yakıtlardan (% 38,7 kömür, % 18,3 doğal gaz, % 7,5 petrol), % 7'si nükleer enerjiden, % 16,5'i hidrolik enerjiden ve % 13'ü diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Her ne kadar 1980'den 2003'e kadar dünyadaki net petrol rezervleri % 60, doğal gaz rezervleri de % 109 oranında artmış ise de, dünyadaki enerji tüketimindeki artış oranı da oldukça yüksektir (Eniş, 2006).

Artan enerji tüketimi gelişmiş ülkelerde yoğunlaşırken, enerji petrol ve doğalgaz gibi enerji rezervleri dünyanın belirli bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Örneğin, dünyada birincil enerji kaynaklarıyla ilgili üretim ve tüketim göstergeleri, Kuzey Amerika, Avrupa, Asya ve Pasifik bölgelerinin ürettikleri enerjinin üzerinde tükettiklerini göstermektedir. Enerji kaynaklarının üretim ve tüketim dağılımları arasındaki farklılıklar, bundan kaynaklanan tecrübeler ve ortaya çıkabilecek potansiyel problemler, alternatif enerji kaynaklarına verilmesi gereken önem bakımından itici bir

güç oluşturmaktadır. Esasen enerji tüketiminin büyük bölümünü gerçekleştiren gelişmiş ülkelerde enerji talep artış hızının -tamamen durmuş olmasa da- belirli bir doygunluğa ulaştığı ve artış trendinin yavaşladığı iddia edilmektedir. Ancak önümüzdeki yıllarda -elektrik enerjisi başta olmak üzere- enerji talep artışlarının çoğunlukla gelişmekte olan ülkelerden geleceği beklenmektedir (Eniş, 2006). Bu durum ise ucuz, yenilenebilir ve zengin enerji kaynaklarına olan ihtiyacı daha da artıracaktır. Bununla birlikte, dünya tahminlerine göre petrolün yaklaşık 40, doğalgazın 62, kömürün ise 216 yıl yetecek bir potansiyele sahip olduğu da unutulmamalıdır (Yıldırım, 2003).

Bu bağlamda fosil tabanlı yakıtlara karşın sınırsız bir enerji kaynağı olan hidrojen enerjisinin kolay ve güvenli bir şekilde taşınabilmesi, sanayide, evlerde ve taşıtlarda kullanım potansiyeli ve atık olarak da sadece su üretmesi hidrojeni diğer enerji kaynakları karşısında son derece avantajlı bir hale getirmekte; enerji pazarında ise giderek artan bir rekabet oluşturmaktadır. Son yıllarda yoğunlaşan Ar-Ge çalışmalarının sonucunda piyasaya sürülen çok sayıdaki hidrojen tabanlı ürünlerin pazar gelişimi de son derece olumlu gözükmemekte; bunların pazar büyüklüğü giderek artmakta ve dünyada bir hidrojen ve hidrojen tabanlı ürünler pazarı hızla gelişmektedir (Polat ve Kılınç, 2007a).

Hidrojen enerjisinin gelişimini etkileyen temel faktörlerden birisi -kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil tabanlı- geleneksel enerji kaynaklarının gelecekte tükeneceğine dair tahminlerdir (Cherry, 2004). Bu tahminler, başta otomotiv sektörü olmak üzere -ki, dünyanın hemen hemen bütün büyük otomotiv üreticilerinin hâlihazırda hidrojenle çalışan çok çeşitli türlerde taşıtlar üretmeleri- hidrojen sektörünün ana kullanım alanlarından ve hidrojen enerjisi sektörünün gelişmesinde lokomotif sektörlerden birinin ulaşım sektörü olacağını göstermektedir- birçok enerji bağlantılı sektörü de harekete geçirmiştir (Winter, 2005).

Hidrojen enerjisini popüler hale getiren etkenlerden bir diğeri ise mevcut enerji kaynaklarının fiyatlarında çeşitli nedenlerle oluşması beklenen değişimlerdir. Örneğin, Birleşmiş Milletlerin araştırmalarına göre 2012 yılı "ucuz petrolün sonu" olacaktır. 2012 yılında petrolün çok pahalı bir duruma gelmesi sonucunda kalan petrol kaynakları yalnızca savunma sanayinde kullanılacaktır. Çünkü dünyadaki orduların

elindeki araçları başka bir enerjiye dönüştürmek çok büyük maliyetleri gerektirecek ancak ülkelerin birden bire bu kadar yüksek maliyetlere katlanması gerçekçi olmayacaktır. Bu nedenle, geçiş döneminde eldeki petrol kaynaklarının yalnızca savunma sanayinde kullanılması beklenmektedir (Yıldırım, 2006).

Hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünler ile ilgili bazı -temel- hususlar aşağıda verilmektedir.

1.2. Hidrojen Üretim Kaynakları

Hidrojen enerjisi doğal bir yakıt olmayıp, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak su, fosil yakıtlar ve biokütle gibi değişik hammaddelerden üretilen sentetik bir yakıttır. Üretilmesi aşamasında; buhar iyileştirme, atık gazların saflaştırılması, elektroliz, foto süreçler, termokimyasal süreçler, radyoliz gibi alternatif birçok hidrojen üretim teknolojileri mevcuttur (Ün, 2003).

Hidrojen enerjisi, birincil enerji kaynakları -ki bunlar kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtlar ile güneş, rüzgâr, jeotermal, dalga ve hidrolik (su) gibi yenilenebilir kaynaklarından oluşturmaktadır- yardımıyla elde edilebilmektedir. Fosil yakıtlar içerisinde özellikle doğal gazda bol miktarda hidrojen enerjisi bulunmaktadır ve bu yakıtlardan buhar reformasyonu tekniği ile doğrudan hidrojen elde edilebilmektedir (Aytaç, 2007). Ancak su, hava, kömür ve doğalgaz gibi kaynaklardan üretilen hidrojen enerjisi, petrol, kömür ve doğal gaz sınırlı olduklarından ve karbon içerdiklerinden dolayı hidrojen üretimi için tercih edilmemesine rağmen, doğru seçenek olan sudan hidrojen üretiminin çok maliyetli olmasından dolayı günümüzde çoğunlukla fosil tabanlı yakıtlardan hidrojen üretimi gerçekleştirilmektedir (Ars Enerji, 2007).

Geleneksel olarak hidrokarbonlardan ve sudan üretilen hidrojen (I. Ulusal Hidrojen Kongresi, 2002) çok farklı işlemlerde -petrokimya sanayinde, amonyak ve diğer kimyasalların üretiminde ve metalürjide- kullanılmaktadır. 2004 yılında dünyada üretilen hidrojen miktarı 50 milyon tondur. Bu miktardaki hidrojen ile yaklaşık 6,5 EJ (Enerji Joule) enerji üretmek mümkündür. Bu rakam ise dünya enerji tüketiminin % 1,5'una tekabül etmektedir. Ayrıca üretilen bu hidrojenin yaklaşık % 99'u fosil yakıtlardan (birincil olarak doğal gazdan) kimyasal üretimle ve geri kalanı da

yenilenebilir kaynaklarından elde edilmektedir. Yenilenebilir kaynaklardan hidrojen üretimi bugünkü teknolojilerle oldukça pahalıdır ve ucuzlaması yeni teknolojik gelişmelere bağlıdır (TÜBİTAK, 2004).

Hidrojen rafineriler ve petrokimya endüstrileri başta olmak üzere dünyanın binlerce yerinde üretilmektedir. Üretilen bu hidrojenin 7 bin tonu Shell tarafından gerçekleştirilmektedir. Geri kalan hidrojen miktarı ise başta ileri düzeyde otomobil yakıtları olmak üzere ürün imal etmek için üretildiği yerde kullanılmaktadır (Betham, 2004).

Hidrojen enerjisi çok farklı yöntemlerle doğrudan veya dolaylı olarak elde edilebilmektedir. Bu yöntemlerin başlıcaları aşağıda açıklanmaktadır.

1.2.1. Su

Ticari anlamda sudan hidrojen üretimi, geleneksel yöntemlerle üretilen elektrik (hidroelektrik, termik veya nükleer santrallerde) kullanılarak suyun elektrolizi sonucu gerçekleşir. Hidrojenin 'temiz' yöntemlerle üretilmesi, elektriğin yenilenebilir enerji kaynakları (hidrogüç, güneş, rüzgâr gibi) ile elde edilmesine bağlıdır. Suyun güneş enerjisi ile ayrıştırılması sonucu elde edilen hidrojen üretimi başlıca iki grupta toplanmaktadır. Termokimyasal süreçler ve fotokimyasal süreçlerdir ve bu gruplama güneş enerjisinin kullanılış biçimi ile ilgilidir (Baykara, 2002).

Su gücü, yenilenebilir kaynaklar içinde kendine önemli bir yer edinmiştir. Günümüzde dünya enerji ihtiyacını karşılayan yenilenebilir kaynaklar içinde en büyük pay % 92 ile su gücüne aittir. 2000 yılında 2.705 TW/Saat ile dünya elektrik ihtiyacının % 17'sini karşılamıştır. Dünya Çevre Merkezi'nin (WEC) yaptığı bir araştırmaya göre dünyada kullanılabilir su gücü potansiyeli tahminen yılda yaklaşık 14.400 TW/Saat'tir ve bu değer 8.000 TW/Saat'lik kısmının ekonomik olarak kullanılabilir durumda olduğu tahmin edilmektedir. Dünya üzerinde şu anda kurulu barajların toplam gücü ise 740 GW civarındadır. Sahip olduğu bu yüksek potansiyel ile su gücünün, temiz hidrojen üretme yolunda önemli bir araç olması beklenmektedir ve barajlarda üretilen elektrik elektroliz için kullanıldığında ise milyonlarca ton hidrojen elde edilebilmektedir (Hidrojen Enerjisi Forumu, 2007b).

1.2.2. Fosil Yakıtlar

Uzun zamandır dünyada kullanılan hidrojenin tamamına yakını fosil yakıtlar kullanılarak üretilmektedir. Fakat daha modern bir yöntem olan elektrik, fosil yakıtların tükenecek olmasından dolayı hızla gelişen bir alternatiftir. Hidrojen fosil yakıtlardan buhar reformasyonu yöntemi ile elde edilebilmektedir. 800- 900 °C sıcaklık ve 2,5 MPa (megapaskal) basınç altında gerçekleşen süreçler sonucu saf hidrojen oluşmaktadır ve bu yöntemde kullanılan hafif hidrokarbon genellikle doğalgazdır. Ağır hidrokarbonların dönüşümü ile de hidrojen elde edilebilmektedir. Oksijen ve su buharı, enerji ihtiyacı olmaksızın kontrol edilebilmekte ve bu yöntem günümüzde bazı üretim tesislerinde kullanılmaktadır. Doğalgaz ile üretim ise henüz deneme aşamasında olan bir yöntemdir. Buradan elde edilen ürünlerin kullanılabilirliği göz önüne alınırsa son derece verimli bir yöntemdir (GESK, 2005).

Dünya genelinde üretilen hidrojenin büyük çoğunluğu, petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Dünyanın toplam üretiminin yaklaşık % 40'ı kimyasal tesislerde veya rafinerilerde çeşitli kimyasal tepkimelerin ardından yan ürün olarak elde edilmektedir. Fosil kaynaklardan hidrojen elde etmek için en çok kullanılan iki yöntem ise *doğalgazın ayrıştırılması* ve *ağır hidrokarbonların kısmi oksidasyonlarıdır*. Doğalgazın ayrıştırılması yöntemi, % 70 ile % 80'lere varan verimi nedeniyle en etkili metotlardan birisidir. Bu yöntem "Steam Reforming" adı da verilmektedir. Kısmi oksidasyon işleminde oksijen ya da hava kullanılır ve oksijen ile işlenmemiş malzemenin reaksiyonundan açığa çıkan enerji, sürecin diğer kısımlarında kullanılır ve karbonmonoksit, karbondioksite dönüştürülür ve bu işlemin ardından hidrojen elde edilir. Kısmi oksidasyon işlemi daha az saflıkta, sıvı ya da katı hidrokarbonların kullanılmasına imkan tanımaktadır (Hidrojen Enerjisi Forumu, 2007b).

1.2.3. Biokütle

Hidrojen, biokütle'den gazın sıvılaştırılması ile elde edilebilmektedir. Biokütlenin hazırlanma aşamasında reaktör basıncı altında yüksek sıcaklıkta bulunan su, ısıtılarak hidrojeni ayrıştırmakta ve bu sistem biokütleyi kısmen oksitlendirmektedir. Gaz üretimi; hidrojen, metan, CO₂, CO ve nitrojen'den oluşmaktadır. Gaz akımı yüksek sıcaklıkta reaktörü hidrojen içeriğinin arttığı yere kaydırır ve göreceli olarak yüksek

safliktaki hidrojen adsorbsiyon birimindeki basınçtan sonra üretilmektedir (Veziroğlu ve Barbir, 1998).

Yenilenebilen enerji kaynaklarına olan ilgi arttıkça, biokütle enerjisine olan ilgi de her geçen gün daha fazla artmaktadır. Biokütleden enerji üretimi konusunda muhtemel yaklaşımlardan birisi biokütleyi hidrojen içeren çeşitli biyogazlara ve sentetik gazlara dönüştürmektir. Hatta bir çeşit su yosunu olan yeşil algleri kullanarak biyokimyasal yöntemlerle hidrojen üretimi konusunda da çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Biokütlenin sıvılaştırılması yolu ile elde edilen yakıtın yakılması veya doğrudan kütlelenin kendisinin yakılması ile elde edilen ısıdan başka, biokütle fermantasyon ya da gazlaştırma işlemlerine tabi tutularak metan veya hidrojen üretiminde kullanılmaktadır. Güneş, rüzgar ve hidroelektrik gibi yenilenebilen kaynaklı enerji üretim teknolojilerine kıyasla biokütlenin avantajı, kontrol edilebilirliğinin yüksek olmasıdır çünkü kaynak maddesi değişken değildir. Ayrıca hiçbir ara işleme gerek duyulmadan biyogazdan direkt olarak hidrojen üretilmektedir (Hidrojen Enerjisi Forumu, 2007b).

1.3. Hidrojen Enerjisi ve Hidrojen Teknolojilerinin Kullanım Alanları

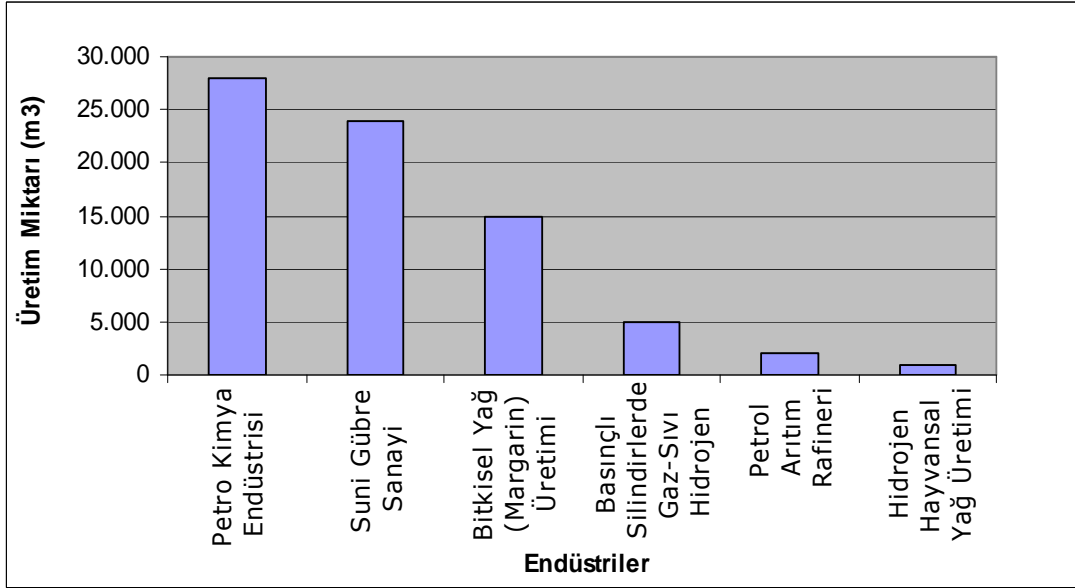
Geniş kullanım alanına sahip olan hidrojen; alevli yanma, doğrudan buhar üretimi, katalitik yanma, kimyasal dönüştürme ve elektrokimyasal dönüştürme uygulamalarında yakıt olarak kullanılabilir (TMMOB Enerji Raporu, 2006).

Hidrojenin taşınabilir -elektrik enerjisinden farklı olarak- ve depolanabilir olması, onun oldukça geniş bir alanda kullanımına imkân vermektedir. Ulaşım, endüstri, ev ve ofislerde kullanımı yeni olmayan hidrojenin kullanım çeşitliliği 1970'li yıllarda fark edilmiştir. Halen dünyanın birçok yerinde evlerde kullanılmakta olan gaz, aslında hidrojen ve karbonmonoksidin bir karışımıdır. Zeplin, uzay mekiği roketlerinde ve bazı balonlar gibi hava taşıtlarında da hidrojen kullanılmaktadır. Ayrıca sanayide, petrolün rafine edilmesinde, amonyak ve metanol üretiminde, metalürji ve gıda sektörlerinde geniş olarak hidrojenden faydalanılmaktadır.

2005 yılından itibaren hidrojen üretiminin dünyadaki ekonomik değerinin yılda 135 milyar \$ olduğu tahmin edilmektedir. Mevcut hidrojen üretiminin % 48'i doğal gazdan, % 30'u petrolden, % 18'i kömürden ve geriye kalan % 4'ü de elektrolizden

yapılmaktadır (Otvav, 2007; Wikipedia Sözlük, 2007b). Türkiye’de de hidrojen enerjisi sanayi sektöründe üretilmektedir. Ülkemizde üretilen hidrojenin sanayi sektörleri ve buralarda üretilen yaklaşık hidrojen miktarları aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Emir, 2005).

Şekil 1: Hidrojen Enerjisinin Bazı Sanayi Sektörlerinde Üretim Alanları ve Üretim Miktarı



Kaynak: Emir, (2005)

Hidrojenin enerji dışındaki kullanım alanlarının bir kısmı grafikte görülmektedir; amonyak sentezinde, petrol rafinerilerinde, meteorolojide, bitkisel ve hayvansal yağ sektöründe, (yüksek ısı kapasitesi ve düşük yoğunluğa sahip olduğundan) elektrik santrallerinde ısınan generatör sargılarının son soğutulmasında, meteorolojide, kaynak yapmada, cam endüstrisinde, kimya endüstrisinde, çelik endüstrisinde, metalürjide, elektronik endüstrisinde, sıvı hidrojen balon odacıklarında nükleer parçacıklar şeklinde sayılabilir (Görgün, 2006).

Yukarıdakilere ve diğer birçok kullanım alanına ilave olarak bugün araştırmaların önemli bir kısmının bu alana yoğunlaşmış olmasının en önemli sebebi, hidrojen enerjisinin ulaşımda, sanayide, evde ve ofislerde yakıt olarak ve elektrik üretimi amacıyla kullanılabilmesidir. Hidrojen enerjisinin taşıtlarda yakıt olarak kullanılması yönünde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Çünkü hidrojenin birim ağırlık başına enerji kapasitesi çok yüksek olduğu için hidrojenle çalışan hava taşıtlarının daha fazla yük taşıma kapasitesine sahip olacağı ve menzillerinde de önemli artışların olacağı

beklenmektedir. Ancak hidrojen enerjisinin benzinin yerini alabilmesi için henüz daha çok zamana ihtiyaç vardır.

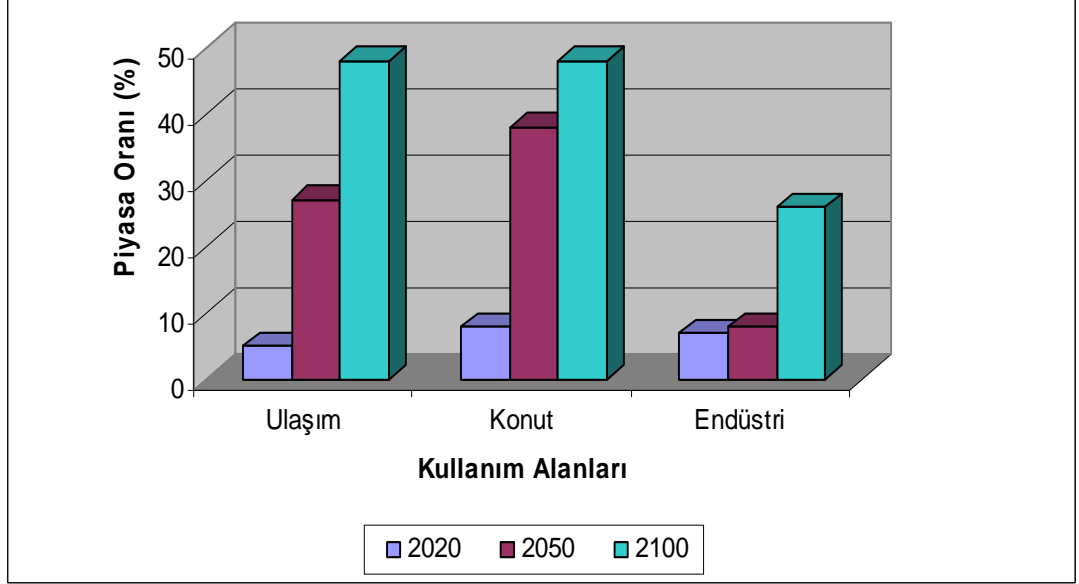
Hidrojenden elektrik enerjisi elde etmek yakıt hücreleri denilen cihazlar gerçekleştirmiştir. Yakıt hücreleri, yakıt olarak kullandığı hidrojeni havadaki oksijenle birleştirerek direkt olarak izotermal bir işlemle elektrik enerjisine çevirmektedir. Mevcut tüm yakıt hücreleri, hidrojen ve oksijenin su oluşturuvcu fonksiyonundan faydalanarak elektrik üretmektedirler (Devlet Planlama Teşkilatı, 2001: 84). Temiz bir güç kaynağı olan yakıt hücreleri, geleceğin teknolojisi olarak, nitelendirilmektedir.

Yakıt hücreleri bilinen pillerden farklıdır. Yakıt hücreleri, elektrik enerjisi üreten hücreler (fuel cell) olarak algılanmalıdır. Yakıt hücreleri güç üretimi için büyük potansiyele sahiptir. Bu bağlamda yakıt hücreleri, cep telefonlarının ihtiyacını karşılayacak kadar az veya bir kente yetebilecek kadar çok güç üretebilecek kapasitelerde yapılabilmektedir. Bundan dolayı, geniş bir kullanım ve uygulama potansiyeline sahip olan yakıt hücreleri ulaşım araçlarından evsel ve endüstriyel alanlara kadar uygulanabilmektedir (TÜBİTAK, 2005).

Günümüzde birçok alanda kullanılmak üzere tasarlanan yakıt hücrelerinin, ticari olarak ilk etapta diz üstü bilgisayarlarda, cep telefonlarında ve el kameralarında hayatımıza girmesi beklenmektedir. Böylece; söz konusu cihazlar şu andaki mevcut bataryalarıyla iki-üç saat gibi sürelerle çalışırken, yakıt hücresi ile en az otuz saat çalışması beklenmektedir ve yakıt hücrelerinden elde edilecek verimliliğin çok daha yüksek olması hidrojen enerjisine ve hidrojene dayalı teknolojiye geçişe ciddi oranda katkı sağlayacağı beklenmektedir. Ticarileşme yolunda önemli aşama kaydedilmiş olan bu sistemlerin 2009 yılından itibaren günlük hayata girmesi beklenmektedir. Ev ve ofislerde kullanılacak kombi, klima ve ev-tabanlı elektrik üretim sistemleri gibi sistemlerin ise bunu takiben yakın bir zamanda kullanılmaya başlanacağı beklenmektedir. Bugün onlarca prototipinin yapılmış olmasına ve bu araçların deneme amaçlı olarak kullanılmasına rağmen, otomobillerde kullanılacak sistemlerin yaygın olarak kullanımının biraz daha zaman alacağı ve 2020'li yıllara kadar uzayacağı tahmin edilmektedir. Otomobillerde kullanılacak yakıt hücreleriyle ilgili de bir çok prototip dünyanın önde gelen firmaları tarafından geliştirilmiş durumdadır ancak yaygınlaştırılması için üzerinde biraz daha çalışmaya ve zamana ihtiyaç

bulunmaktadır (Yıldırım, 2006). Dünyadaki hidrojenin belirli yıllarda tahmin edilen ulaşım, endüstri ve konuttaki kullanım miktarları aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

Şekil 2: Hidrojenin 2020, 2050 Ve 2100 Yıllarında Ulaşım, Endüstri ve Konuttaki Kullanım Oranları



Kaynak: Barreto, vd., (2003:267-284)

Şekil 2’de hidrojen enerjisinin 2020, 2050 ve 2100 yıllarındaki ulaşım, konut ve endüstri sektörlerinin global piyasa paylaşımı gösterilmektedir. Bu grafikte de görüldüğü üzere hidrojen enerjinin tahmini ve hidrojen tabanlı ürünlerin çeşitli kullanım alanlarındaki piyasa oranları giderek artmaktadır.

Bu doğrultuda, çeşitli amaçlarla ve uygulama alanlarında geliştirilen hidrojen teknolojilerinin ticarileştirilmesi yolunda ciddi mesafeler kaydedilmiştir (Forsberg, 2006).

Hidrojen enerjisinin kullanım alanlarını genel olarak, ulaşımdaki kullanım alanları, sabit kullanım alanları ve portatif kullanım alanları olarak sınıflandırabilmek mümkündür.

1.3.1. Ulaşım

Günümüzde hidrojen konusundaki çalışmaların önemli bir kısmı otomotiv sektöründe olmaktadır. İçten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilen hidrojenin gerçek anlamda üstünlüğü, yakıt hücrelerinde ortaya çıkmaktadır. Yakıt hücreleri

hâlihazırda otomobillerde kullanılabilecek kapasitedeki uygulamaya geçmiş durumdadır. Hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünler ile ilgili araştırmaların ve çalışmaların otomotiv sektöründe yoğunlaşmasının önemli nedenleri bulunmaktadır (Güvendiren ve Öztürk, 2003).

Rekabetin son derece yüksek olduğu otomotiv sektöründe, otomotiv üreticilerinin büyük firmalar olması, üretim ve kullanım maliyetlerinin yüksek olması, küçük oranlı maliyet avantajlarının hem kullanıcılara hem de üreticilere önemli avantajlar sağlaması, hidrojen enerjisinin ve hidrojen tabanlı ürünlerin otomotiv pazarında oldukça büyük ve çeşitli olmasının önemli nedenleri olarak sayılabilir. Ayrıca, bu alandaki oyuncular genellikle uluslar arası oyunculardır ve bu oyuncular pazardaki rekabet güçlerini devam ettirebilmek veya pazar paylarını koruyabilmek için Ar-Ge çalışmalarına büyük önem vermektedirler. Otomotiv pazarının çok büyük olması, ihtiyaçların farklılığı, tüketici türlerinin farklılığı ve sürekli gelişen ürün özelliklerinin pazarda tüketimi teşvik etmesi gibi faktörler, -hidrojenin enerjisinin özellikleri ile birleşince- bu alanda uygulanabilirliğini araştırma yolunda önemli bir teşvik oluşturmuştur. Hidrojen enerjisinin ve hidrojen tabanlı ürünlerin otomotiv sektöründe elde ettiği ve edeceği başarılar yeni bir ekonominin doğmasına neden olacağı düşünülmektedir (Polat ve Kılınç, 2007a).

Hidrojen ulaşım alanında kamyonlar, otobüsler ve otomobiller başta olmak üzere, tramvaylar, demiryolu, gemiler ve botlar, uçaklar ve uzay mekikleri gibi birçok taşıtta ve araçta kullanılabilmektedir. Günümüzde bu alanların hemen hemen hepsinde önemli gelişmeler ve uygulamalar elde edilmiştir. Ayrıca bunlarla ilgili araştırmalar, çalışmalar ve teknolojiler gelişmeler devam etmektedir. (The Outlook for Fuel Cells to 2010, 2005). Bu çerçevede otomobilleri, otobüsleri çalıştıracak güçte olan ve ulaşımında kullanılmak üzere geliştirilen yakıt hücreleri özellikle otomobiller ve hafif kamyonlar için en büyük potansiyel pazar olarak görülmektedir ve bu pazarın büyüklüğü, dünya çapındaki birçok ticari firmayı bu alanda da Ar-Ge çalışmalarına yöneltmiştir. Ayrıca hidrojenin motorlarda ve içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılması konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır (Şahanalan, 2006).

Hidrojen enerjisinin ulaşım alanındaki kullanım alanları oldukça geniş olmakla birlikte, aşağıdaki şekilde de bir sınıflandırma yapmak mümkündür. *Taşıt*

uygulamalarında; IC motorları (özellikle sıkıştırılmış doğalgaz), yüksek yanma kabiliyetli motorlar, verim artırma, savunma sanayi, ulaşım ve taşımacılık gibi alanlarda kullanılmaktadır. *Denizcilik uygulamalarında,* gemi motorları, savunma sanayi, deniz ulaşımı ve taşımacılığı gibi alanlarda kullanılmaktadır. *Havacılık uygulamalarında* ise gaz türbinleri, jet motorları, savunma sanayi, roketler, füzeler ve uzay sanayi gibi alanlarda kullanılmaktadır (Veziroğlu ve Barbir, 1992:391–399).

Dünyada ulaşım sektöründe hidrojen ve yakıt hücreli araç üretimine önem veren birçok otomobil şirketi bulunmaktadır. Avrupa’da, BMW, Fiat, Renault, Peugeot, Citroen, Volkswagen, Daimler Chrysler; Güney Kore’de, Hyundai; Japonya’da, Daihatsu, Honda, Toyota, Mitsubishi, Nissan, Suzuki, Mazda; Amerika’da ise Ford ve General Motor bu sektörün öncülüğünü yapmaktadır (Adamson, 2005b).

Son yıllarda hidrojenin kara taşıtlarında kullanımına yönelik olarak hidrojen yakıtını kullanan araçlar önemli oranda piyasaya girmiştir. Yolcu araçlarında BMW, Renault ve Zevco; kamyonet tipi araçlarda Daimler-Benz, PSA ve Zevco; şehir otobüslerinde ise Ansaldo, Daimler-Benz, MAN ve Neoplan firmaları, hidrojen ile çalışan araçlarını piyasaya sunmuş durumdadırlar. Ayrıca, Tayvan’da yakıt hücreli skoter kullanımı - Tayvan’da araçların % 65’i küçük motosiklet şeklindedir- önemli oranda desteklenmektedir. Asya Pasifik Yakıt Hücre Teknolojisi Ltd. ve Kwang-Yang Motor Co. İşbirliği ile ZES (Zero Emission Scoter-Sıfır Emisyonlu Skoter) isimli bir skoter hâlihazırda üretilmektedir. Bu gelişmelere karşın mevcut petrol şirketlerinin alternatif bir enerji olarak hidrojen enerjisine henüz çok sıcak bakmamalarına rağmen, son yıllarda bu bakış açısının giderek değiştiği gözlenmektedir. Örneğin; Londra’da Royal Dutch Shell, Shell Hidrojen adını verdiği şubelerine hidrojen konusunda araştırma yapmaları için 500 milyon \$ yatırım yapmıştır. BP’de benzer bir girişimde bulunmuştur (Ün, 2003). Bu örnekler, hidrojen enerjisine karşı olan son derece pozitif bakış açısına işaret etmektedir.

Hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünler konusundaki ilerlemelerin zamanla daha fazla gerçekleşmesi beklenmektedir. Bu ilerlemeler ve pazar koşulları, enerji firmalarının mevcut duruma adapte olmasını zorlayacağı görülmektedir. Mesela, petrol şirketlerinin mevcut fiziki altyapıları, enerji konusundaki birikimleri, ekonomik potansiyelleri, mevcut pazar payları gibi veriler dikkate alındığında, bu şirketlerin

hidrojen konusuna uzun süre kayıtsız kalamayacakları veya kalmayacakları tahmin edilmektedir.

Ulaşım sektöründe yakıt hücresiyle çalışan araçların geliştirilmesi ve yaygınlaşması, petrol tüketimini azaltacağı gibi araçlardan kaynaklanan hava kirliliğini de minimum düzeye indirecektir. Dünya genelinde birçok firma, Ballard, General Motors, Ford, Chrysler, Toyota, Honda, BMW ve Renault gibi, yakıt hücreleriyle çalışan otomobilleri üreterek hidrojenle çalışan araçları ticarileştirebilmek için önemli bir çaba içerisindeyler. Taşıtlarda hidrojenin içten yanmalı motorlar veya yakıt hücreleri aracılığıyla kullanımı konusunda da önemli çabalar mevcuttur. Bunlar arasında Daimler-Benz şirketinin sıfır emisyonlu minibüsü; BMW, Dodge, Buick ve Suzuki firmalarının deneme aşamasındaki otomobilleri, Macchi-Ansaldo'nun ve MAN firmasının SL202 otobüsleri; Kanada demiryollarının lokomotifi ve Almanya, Avustralya ve Kanada donanmaları için imal edilen deniz altılar gösterilebilir (Adamson, 2005b, BilgiUstam, 2007).

Uluslararası firmaların hidrojenle çalışan araçlara yönelmiş ve birçoğunun prototip üretimlerini gerçekleştirerek deneme aşamasına geçmiş olmaları, hidrojen enerjisinin ve hidrojen teknolojilerinin geleceğinin parlak olduğunun bir göstergesidir. Bu durum, söz konusu firmaların hem teknolojik gelişmelere öncülük etmek hem de teknolojik gelişmelerin ardında kalmamak gibi hassasiyetleri ve ticari bakımdan verimli olmayacaklarını düşündükleri alanlara büyük miktarlarda yatırım yapmayacaklarına dair temel işletmecilik bilgisiyle birleştirildiğinde daha anlamlı hale gelmektedir. Kısaca, mevcut durum hidrojen enerjisinin ve hidrojen teknolojileri pazarının geleceğiyle ilgili beklentileri ve görüşleri yeterince desteklemektedir (Polat ve Kılınc, 2007a).

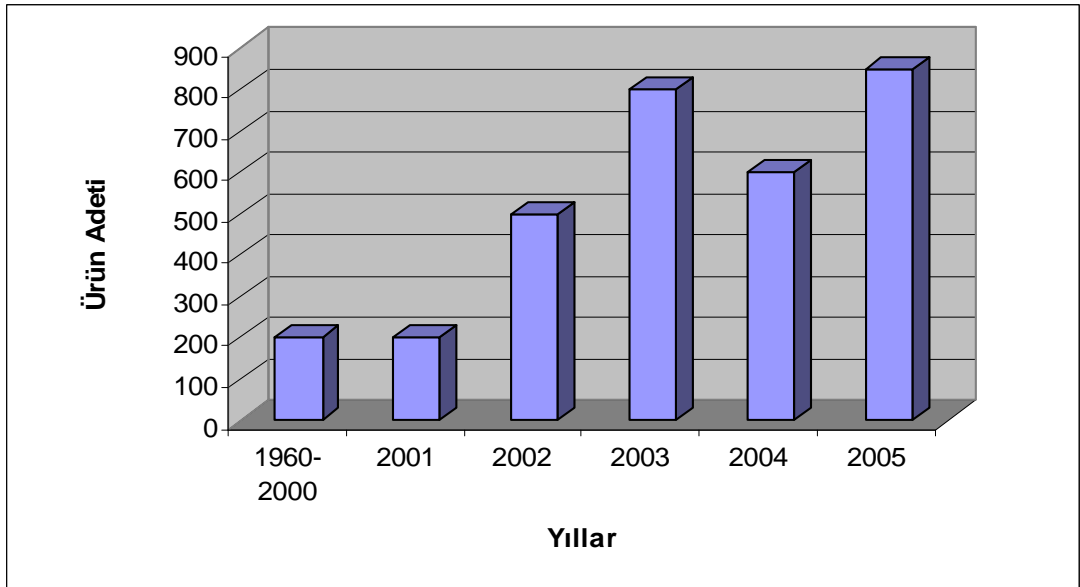
1.3.2. Sabit Kullanım Alanları

Hidrojen enerjili yakıt hücrelerinin sabit kullanım alanları geniştir. Sabit kullanım alanı denilince ev ve işyerlerinde kullanılan elektrik, ısıtma, soğutma gibi cihazlar kastedilmektedir. Yakıt hücreleri, söz konusu alanlarda enerji ihtiyacını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Hidrojen enerjisinin sabit kullanımı hâlihazırda, Japonya'nın bazı kentlerindeki evlerde yakıt hücresi ile elektrik üretiminin yapıldığı ve hidrojen yakıt hücresi ile ısınmanın gerçekleştiği görülmektedir. Sabit kullanım

alanında elde edilen başarılar, bu alanın hızlı bir şekilde büyümesine, gelişmesine ve bu pazarın büyümesine imkân sağlamaktadır. Yani, yakıt hücrelerine dayalı elektrik üretimi, ev ve işyerlerinde hızla artmaktadır (Adamson, 2005a; Adamson ve Crawley, 2006). Aşağıdaki şekilde yıllara göre sabit kullanım miktarındaki (birim cinsinden) artışlar gösterilmektedir. 2003 yılında artan kullanım oranı 2004 yılında azalma göstermiş ve bu azalma 2005 yılı itibariyle tekrar artmıştır.

Sessiz çalışan yakıt hücreleri, evlerde veya işyerlerinde ısıtma ve elektrik ihtiyacını - eşzamanlı olarak- sağlama potansiyeline sahip önemli bir alternatiftir. Bu tipte kullanılabilir yakıt hücreleri, propan ve doğal gazdan elektrik üretmekte ve oluşan ısı geri kazanılarak ısıtma sistemlerinde kullanılabilir. 3-5 kW'lık yakıt hücrelerinin ev kullanımı için yeterince uygun olduğu belirtilmektedir. Ayrıca, bu teknolojinin -hidrojen yakıt hücrelerinin- konutlardaki kullanımı Amerika'da teşvik edilmekte ve konutların hidrojen enerjisi kullanan kişiler için 1000 \$'lık vergi indirimi sağlanmaktadır (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004).

Şekil 3: Sabit Kullanım Piyasası (Ürün Adedi)



Kaynak: Adamson, (2005a)

Dünya'da sabit kullanımlarda hidrojen enerjisi ve yakıt hücreleri kullanan önemli oyuncuların bazıları; Amerika'da Acumentrics, Altery Freedom ve Aperion Enerji Sistemi GenCell; Japonya'da Sumitomo, Fuji Elektrik, Nippon Steel, Hitachi ve Kawasaki Heavy Endüstrisi; İngiltere'de Alternatif Yakıt Sistemleri ve Seramik Yakıt

Hücreleri ve Kanada’da da Ballard’dır. Türkiye’den bazı firmaların da bu firmalardan bazıları ile Ar-Ge konusunda ortak girişimleri mevcuttur (Adamson, 2005a).

1.3.3. Portatif Kullanım Alanları

Hidrojen enerjisi endüstride, konutlarda ve ulaşımdaki kullanım alanları dışında; cep telefonları, bilgisayarlar, kameralar ve mobil araç uygulamaları -(Portatif Device Applications-PDAs)- gibi birçok portatif kullanım alanlarında da uygulanmaktadır. Bu bağlamda cep telefonları ve dizüstü bilgisayarlar, yakıt hücreleri için en büyük pazar potansiyeline sahiptirler.

Hidrojen enerjisinin mevcut koşullarda en geçerli ve uygulanabilir olduğu alanlardan birisi de taşınabilir enerji uygulamaları olarak gözükmektedir. Bu kapsamda depolanmış hidrojen yakıt hücresi sistemi, mevcut yakıt hücrelerinin kapasite ve ömür olarak gelişmiş şeklidir. Bu alan, gerek depolamada gerekse yakıt hücrelerinde hafifliğin ön plana çıktığı uygulamaları içermektedir (Güvendiren ve Öztürk, 2003).

Portatif yakıt hücreleri, pazara sunulduğunda cep telefonu ve bilgisayar gibi araçlarda bir ay gibi uzun bir süre bile şarj edilmeksizin kullanım imkanına sahiptir. Ayrıca, yakıt hücrelerinin telekomünikasyon, bilgisayar, görüntü teknolojileri ve alarm sistemleri gibi alanlarda da taşınabilir güç kaynağı olarak uygulamaları mevcuttur (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004).

Tablo 1: Hidrojen Teknolojilerinin Dünya’daki Tahmini Portatif Kullanım Alanlarının Büyüklüğü (Milyon \$)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	BYBO/CAGR (Bileşik Yıllık Büyüme Oranı)
Kuzey Amerika	266	440	682	801	889	988	30.0%
Avrupa	174	295	490	545	610	687	31.6%
Asya	176	272	402	422	442	467	21.6%
Dünya	616	1.007	1.574	1.768	1.941	2.142	28.3%

Kaynak: Breakthrough Technologies Institute, (2003)

Tablo 1’de hidrojen teknolojilerinin portatif kullanım alanlarının, dünyanın farklı bölgelerinde ve dünya genelinde tahmini kullanım miktarı (milyon \$ olarak tahmini pazar büyüklüğü) gösterilmektedir. Tablodan anlaşılacağı üzere, dünyanın önemli

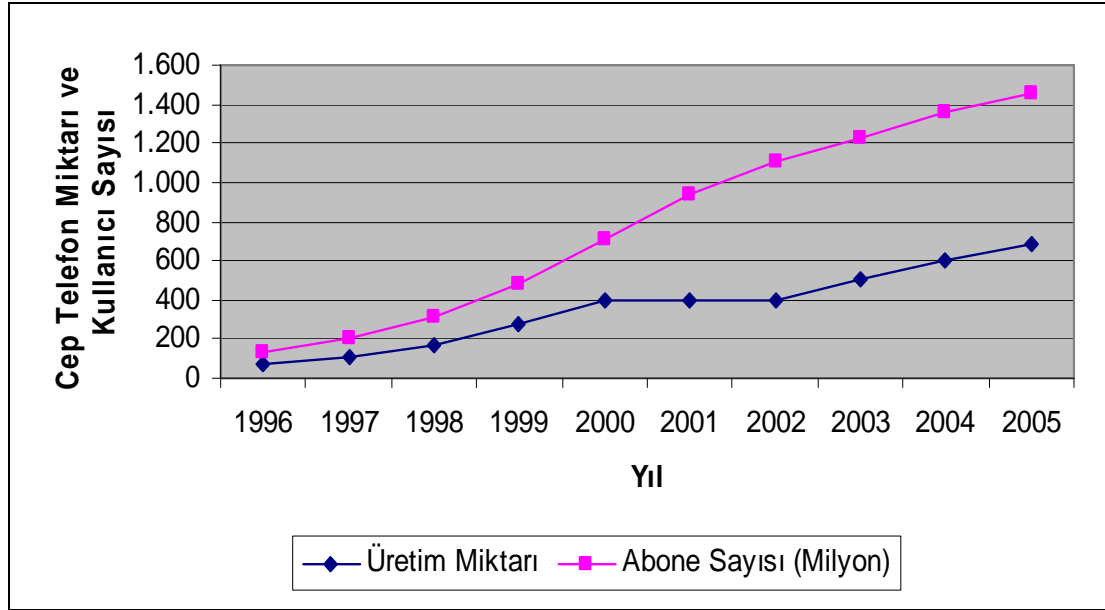
oyuncuları bu alanda pazarda yerlerini almış durumdadır. Samsung, Toshiba, Protonex, Sanyo Elektrik, Matsushita Battery ve Hitachi dünyada portatif araçlarda hidrojen enerjisi ve yakıt hücrelerinin gelişimi için çalışan ve pazarda yer alan önemli oyuncularından bazılarıdır.

Portatif yakıt hücreleri için en büyük pazar potansiyeline sahip gözüken hidrojen yakıt hücreli cep telefonları 2004 yılında dünyada 8,6 milyon satılmıştır. Bu rakamın 2009 yılında 463,8 milyona çıkması beklenmektedir (Breakthrough Technologies Institute, 2003).

Bu çerçevede Türkiye’de de hidrojen yakıt hücreli telefonların büyük bir pazara ulaşacağı beklenebilir. Çünkü Türkiye gibi nüfusu ve nüfus artış hızı yüksek ülkelerde, cep telefon sektörü ilk sıralarda yer almaktadır. Dünyada cep telefonunun satış pazarının yıllık cirosu 250 milyar \$’ın üzerinde olmaktadır. Ayrıca cep telefonun dünyadaki pazar büyüklüğü 2005 yılında 780 milyon iken dünyadaki büyüme paralelinde gelişen Türkiye’de cep telefonu pazarının 2006 yılı itibariyle 7.5 milyon adedin üzerinde olduğu tahmin edilmektedir (Aksiyon Dergisi, 2006) ve cep telefonu pazarında abone sayısı 2006 yılı sonunda 52 milyona yaklaşmıştır. Cep telefonu sektöründe 2007 yılında beklenen büyüme ise % 15 civarındadır. Cep telefonu kullanıcısının ise yıl sonu itibariyle 60 milyona yaklaşacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca cep telefonu alanında araştırma yapan GFK, Türkiye’nin Ağustos rakamlarının, cep telefonu satışlarında aylık olarak 1 milyon sınırını aştığını göstermektedir (Turkmania, 2007). Bu rakamlar göstermektedir ki yakıt hücrelerinin bu alanda kullanımı hidrojen enerji pazarını genişlemesine ve büyümesine büyük olanak tanıyacaktır.

Deutsche Bank’ın dünya cep telefonu pazarı ile ilgili 1990’lı yılların başında yaptığı tahminler sektöre yön vermiştir. Araştırmaya göre 2000’li yıllarda milyarlarca cep telefonu kullanıcısını öngören istatistikler aşağıdaki tabloda da görüldüğü gibi beklenenin çok üzerinde olmuştur.

Şekil 4: Dünya'daki Cep Telefonu Miktarı ve Kullanıcıları



Kaynak: Aksiyon Dergisi, (2006)

Şekil 4'de görüldüğü üzere cep telefon üretim miktarı ve kullanıcı sayısı yıllar itibariyle artmaktadır. Bu artış hidrojen enerjisinin cep telefonu pazarı içinde önemli bir potansiyele sahip olacağını göstermektedir.

Dizüstü bilgisayarlar ise yakıt hücreleri için ikinci en büyük pazar potansiyelinde sahip alandır (Breakthrough Technologies Institute, 2003). Yapılan araştırmalara göre bilgisayar pazarında da ciddi hareketlilik yaşanmaktadır. Bilgisayar sektörü 2006 yılında Türkiye'de % 25 büyümüştür ve toplam bilgisayar satışları 2 milyon adedin üstüne çıkmıştır. Dizüstü bilgisayar satışları ise % 33 artarak 757 bin adede ulaşmıştır. Tüm bu veri ve rakamlara göre, 2010-2011 yılları itibariyle dizüstü bilgisayarların, toplam bilgisayar pazarı içerisinde % 70'i bulacağı tahmin edilmektedir (EtikHaber, 2007).

Tablo 2: Türkiye'deki Masaüstü ve Dizüstü Bilgisayar Pazar Büyüklüğü(Adet)

	2003	2004	2005	2006	2007 (T)	2008 (T)
Masaüstü	616.362	813.421	1.017.992	1.400.992	1.559.248	1.736.710
Dizüstü	140.617	218.671	551.936	767.841	987.904	1.107.993
Toplam	673.095	950.911	1.469.387	2.168.833	2.547.252	2.844.703

Kaynak: Şahin, (2007)

Tablo 2’de dizüstü bilgisayar büyüklüğünün giderek arttığı görülmektedir. Büyük hızla devam eden dizüstü bilgisayar pazarının masaüstü bilgisayar pazarını geçeceği tahmin edilmektedir.

Dijital kamera pazarı da bir diğer alandır. Dijital kamera pazarının da önümüzdeki yıllarda artarak devam edeceği görülmektedir. 2006 yılında dünya çapında dijital kamera satışları 89 milyon adet olmuştur ve bu sayı 2005 yılına göre % 15’lik bir artış anlamına gelmektedir (Teknoloji Haber Merkezi, 2006). Kuzey Amerika geleneksel dijital kameraların satış oranı % 39 ile ilk sırada yer almaktadır. Amerika’yı % 27 ile Avrupa ve % 26 ile Japonya takip etmektedir. Türkiye’de ise dijital kamera pazarı yeni firmaların ilgisiyle büyümeye devam etmektedir. 2006 yılında toplam 220 bin adet ürün satılmıştır ve dijital kamera pazarı % 40 büyümüştür (Yıldırım, 2006).

Ayrıca askeri alanlarda da hidrojenli yakıt hücreleri yaygın olarak uygulanmaktadır. Örneğin Uluslararası Barış Araştırmaları Enstitüsü, dünyada askeri harcamaların son 10 yılda % 37 oranında arttığını açıklamıştır. Dünyadaki askeri harcamalar 2005 yılında 1 trilyon 118 milyar \$ olurken, bu rakam 2006 yılında 1 trilyon 270,2 milyar \$’a yükselmiştir. Bu harcamaların % 83’nü dünya nüfusunun % 56’sını oluşturan 15 ülke -ABD, İngiltere, Fransa, Çin, Japonya, Almanya, Rusya, İtalya, S.Arabistan, Hindistan, Güney Kore, Avustralya, Kanada, Brezilya, İspanya- yapmaktadır. Ayrıca dünyada silah harcamaları için harcanan para kişi başına 173 \$’a denk gelirken, toplam dünya üretiminin % 2,5’ine eş değerdir. Dünyadaki askeri harcamalarda % 48 ile ABD ilk sırada yer almaktadır. ABD’yi % 4 ve % 5 ile İngiltere, Fransa, Japonya ve Çin’in izlediği belirtilmektedir (Dumanlı, 2007).

1.4. Hidrojen Enerjisinin Kullanım Alanlarına Göre Depolanması

Gerek sabit gerekse taşınabilir uygulamalar için hidrojenin etkin ve güvenilir bir şekilde depolanabilmesi gereklidir. Elektrik enerjisinin depolanamaması hidrojen enerjisini bir depolama aracı olarak gündemde tutmaktadır. Doğada -açık havada- hidrojenin kullanılması durumundaysa depolama daha fazla önem kazanmaktadır. Bu bakımdan üretilen hidrojen iki ayrı grupta depolanabilmektedir. Birincisi merkezi bir jeneratör yardımıyla güneş hidrojen enerji sistemi, rüzgâr hidrojen enerji sistemi, hidrolik hidrojen enerji sistemi gibi merkezi olarak üretilen hidrojenin depolanması; ikincisi ise ısınma, pişirme ya da taşıtlardaki kullanım amaçlı depolanmasıdır. Merkezi

olarak depolamada boşaltılmış doğal gaz yatakları, mağaralar ve büyük depolama tankları kullanılmaktadır. İkinci tip depolamada -daha çokta taşıtlar için tasarlanan depolama şekillerinde ise- yaygın olarak 3 yöntem -gaz hidrojen, sıvı hidrojen ve metal hibritler- kullanılmaktadır (Çelik ve Oral, 2006).

Hidrojen gaz veya sıvı olarak saf halde tanklarda depolanabileceği gibi, fiziksel olarak nanotüplerde veya kimyasal olarak hidrür şeklinde depolanabilmektedir. Hidrür şeklinde depolama, katı halde metallerde ve alanatlarda olabileceği gibi sodyum bor bileşiğinde olduğu gibi sıvı halde de olabilmektedir. Ancak güvenilirlik ve hafiflik, hidrojenin hidrürler olarak depolanmasını ön plana çıkartmaktadır. Özellikle birim hacimde depolanabilecek hidrojen açısından hidrürler gaz veya sıvı depolama için uygundur (Güvendiren ve Öztürk, 2003).

Kullanım amacına göre hidrojen depolamada amaçlanan temel özellikler şunlardır:

- Kullanılan depolama sisteminin olabildiğince yüksek geri dönüşümlü depolama kapasitesine sahip olması gerekmektedir.
- Kullanılan depolama sistemi düşük sıcaklığa sahip olmalıdır.
- Kullanılan depolama sistemi, zehirlenmeye karşı direnç ve buna bağlı olarak olabildiğince yüksek tekrarlanabilir dolum sayısı kapasitesinde olmalıdır (Güvendiren ve Öztürk, 2003).

Bugün hidrojen enerjisinin önündeki en büyük engel depolanma sorunudur. Çünkü çeşitli depolama sistemleri içinde yüksek basınçlı hidrojen en iyi sistem olmakla birlikte, hafif araçlarda gerekli olan hacim ve ağırlık kriterlerini karşılayamamaktadır. Bundan dolayı hidrojen enerjisinin depolanması üzerindeki çalışmalar son hızıyla devam etmektedir (TMMOB Enerji Raporu, 2006).

Hidrojeni depolamak için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler ve kullanım amaçlarına göre genel özeti aşağıda verilmiştir.

1.4.1. Sıkıştırılmış Gaz Olarak Depolama

Hidrojen konusunda en bilinen depolama yöntemi, gaz olarak basınçlı tanklarda depolamaktır. Ancak yöntemin otomobillerde kullanılabilir olması, kompozit türünde

hafif ve güvenli tankların geliştirilmesine bağlıdır. Gaz ve sıvı halde depolamayla karşılaştırıldığında ise hidrojenin katı halde depolanması en umut verici depolama yöntemi olarak gözükmektedir (Gaşan, 2006). Hidrojenin sıkıştırılmış gaz olarak depolanmasının temel sebebi, hidrojenin hafif olmasından dolayı hacimsel enerji yoğunluğu düşüktür ve yüksek basınç sebebiyle depolama tankları çok ağır olmaktadır. Bu durum ise verimi düşürmektedir. Bu nedenle hidrojenin gaz olarak depolanması, hidrojenin geri kullanım verimliliğini arttırmaktadır (Wikipedia Sözlük, 2007a).

1.4.2. Sıvı Hidrojen Olarak Depolama

Hidrojenin sıvı halde depolanması en çok kullanılan yöntemdir. Çünkü hidrojen, petrole göre 4 kat daha fazla hacim kapladığından dolayı, bu hacmi küçültmek için hidrojeni sıvı halde depolamak gerekmektedir (Ünalın, 2006).

Sıvı depolama, gaz halde depolama ile kıyaslandığında daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması yöntemi çekici kılmaktadır. Günümüzde sıvı hidrojen dolum istasyonları bulunmaktadır. Bunun yanında, maliyetin ön planda tutulmadığı uzay uygulamalarında (NASA) ve otomobillerde de (BMW) kullanılmaktadır (Gaşan, 2006).

Hidrojenin sıvı olarak depolanmasında, sıvı hidrojen taşıma tanklarına benzer tanklar kullanılmaktadır. Örneğin, Kennedy uzay merkezinde fırlatma alanının yanında 3217m^3 hacminde küre kullanılmaktadır (Ün, 2003).

Hidrojenin sıvı halde depolanmasının bir takım yararları ve zararları bulunmaktadır. Bunlar;

- Ağırlık olarak nispeten hafif bir depolama şeklidir.
- Hidrojen yakıtı, yüksek basınç sıvı hidrojen pompası yardımı ile silindire direkt olarak püskürtülebilir.
- Taşıtta eğer klima ünitesi varsa sıvı hidrojen soğutma amaçlı kullanılabilir.
- Kontrolsüz yanma önlenir ve NOx emisyonlarında azalma sağlanabilir.
- Sıvılaştırma için hidrojen gazı kullanılmaktadır.

- Hidrojenin gaz halden sıvı hale geçerken bir kısmı buharlaşır. Bu sebeple değişiminin hızlı bir şekilde gerçekleşmesi gerekmektedir.

Ayrıca sıvı olarak hidrojenin tanklarda depolanması ve kullanılması sırasında buharlaşma kayıpları da meydana gelebilmektedir (GESK, 2005). Hidrojenin sıvı olarak depolanmasının temel amacı ise hidrojenin kapladığı hacmi düşürmektir. Sıvı hidrojen, özellikle uzay teknolojisinde ve bazı roketlerde kullanılmaktadır. Bu yöntem orta veya küçük ölçekte depolama için en çok kullanılan yöntemdir ancak büyük miktarlar için oldukça pahalıdır. Çünkü hidrojeni sıvılaştırmak için gereken enerji, hidrojenin sağlayacağı yakıt enerjisinin % 28'i civarındadır. Bu oran büyük olsa bile, uzay araçları ve roketlerdeki sıvılaştırma masrafları göz ardı edilmektedir. Ayrıca; Mercedes ve Honda gibi üreticiler, sıvı hidrojenle çalışacak modeller geliştirmektedir (Wikipedia Sözlük, 2007a).

1.4.3. Hidrokarbonlar ile Depolama

Metanol veya etanol gibi hidrokarbonlu yakıtlar, saf sıvı hidrojenden daha fazla hidrojen içerirler. Yüksek sıcaklıklarda su buharı kullanılarak, hidrokarbonlardan hidrojen ayrıştırılabilmektedir (Güvendiren ve Öztürk, 2003). Hidrojenin hidrokarbonlarda depolanmasının kullanım amacı, birkaç barlık basınçta ve oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda hidrojeni depolayabilmesi ve zehirlenmeye karşı iyi bir direnç göstermesidir (Güvendiren ve Öztürk, 2003). Ayrıca, hidrokarbonlu yakıtlar, hidrojenli araçlar için daha iyi bir alternatif sunmaktadırlar. Örneğin, metanol kullanımı ile, ağır hidrojen tanklarına veya dolum istasyonlarına gerek kalmayacaktır. Daimler-Chrysler'a göre metanol, sıvı hidrojenden daha yaygın olarak kullanılacaktır. Çünkü normal şartlar altında sıvı olarak bulunması sebebiyle, kullanılan arabalar üzerinde fazla bir değişiklik yapılmadan adapte olunması mümkün olacaktır (Wikipedia Sözlük, 2007a).

1.4.4. Karbon Nanotüplerde Depolama

Hidrojen, gaz veya sıvı olarak saf halde uygun çelik tanklarda depolanabileceği gibi, fiziksel olarak karbon nanotüplerde de depolanabilmektedir (Güvendiren ve Öztürk, 2003). Hidrojenin nanotüplerde depolanmasının amacı, depolanan hidrojenin geri alınabilmesi ve sisteme tekrar aynı miktarda hidrojen yüklenebilmesidir. Bu nedenle

bu depolama hidrojen için tercih edilmektedir (Güvendiren ve Öztürk, 2003). Karbon nanotüplerde depolanma çeşidinin kullanım amacından bir tanesi de; karbonun özellikle yüksek oranda gözenekli çok küçük parçalar haline getirilebilmesi ve karbon atomları ve gaz molekülleri arasında oluşan çekim kuvveti olması nedeniyle gaz depolamaya en elverişli depolama sistemlerinden birisi olmasıdır (Wikipedia Sözlük, 2007a).

1.4.5. Cam Kürelerde Depolama

Hidrojen cam kürelere yüksek basınç ve sıcaklık altında depolanmaktadır. Yüksek sıcaklık sonucunda hidrojen atomları camlara girmektedir ve camlar soğutulunca da içeride hapsolmakta ve bu şekilde depolanan hidrojen, camların ısıtılması veya kırılması yoluyla tekrar geri alınabilmektedir. (Wikipedia Sözlük, 2007a). Hidrojeni depolamada cam kürelerin kullanılma amacı; hidrojeni depolama kapasitesinin yüksek olması ve kürelerde depolanan hidrojenin kolaylıkla alınıp kullanılması bu depolamanın tercih edilmesine imkan vermektedir.

1.4.6. Mağaralarda Depolama

Hidrojen gazını depolamanın en ucuz yöntemlerinden birisi de yeraltında, tükenmiş petrol-doğal gaz rezervuarlarında veya maden ocaklarındaki mağaralarda depolamaktır. Örneğin, Almanya'da Kiel şehrinde 1971 yılından bu yana yerin 1330 metre altındaki bir mağarada hidrojen depolanmaktadır. Ancak mağaralarda saklanan hidrojenin yılda % 1-3'ü sızıntı nedeniyle kaybolmaktadır (Wikipedia Sözlük, 2007a). Fransa'da da hidrojen enerjisi mağarada başarı ile depolanmaktadır. Ayrıca, hidrojenden daha fazla sızma eğilimli olan helyum gazı Teksas, Amarillo yakınında tükenmiş doğal gaz mağarasında depolanmaktadır (Ün, 2003). Hidrojeni depolamada mağaraları kullanmanın temel amacı; yeraltında bulunan petrol ve doğalgaz rezervlerinin değerlendirilmesidir. Bu depolama yöntemi maliyet açısından avantaj sağlamaktadır.

1.4.7. Tanklarda Depolama

Hidrojen uygun nitelikli tanklarda gaz veya sıvı olarak depolanabilmektedir. Otomotiv firmalarınca geliştirilen araçların büyük çoğunluğu hidrojenin tanklarda depolanmasını esas almaktadır (Güvendiren ve Öztürk, 2003). Tanklarda depolama yönteminin

kullanılmasının genel amacı, otomotiv firmaları tarafından yaygın olarak kullanılmasıdır. Fakat tanklarda hidrojeni sıvı olarak değil de gaz olarak depolamak daha cazip görülmektedir.

1.4.8. Alanatlarda Depolama

Alanatlarda hidrojen depolama hidrürlerde olduğu gibi toz esaslı olarak yapılmaktadır. Çalışmalar ağırlıklı olarak sodyum-alimünyum hidrür üzerinde yoğunlaşmaktadır ve bu çeşit depolama yüksek sıcaklık gerektirmektedir (Güvendiren ve Öztürk, 2003; Özdemir, 2006). Hidrojenin alanatlarda depolanmasının kullanım amacı, hidrojenin metal hidrür olarak depolama sistemine göre daha ucuz olmasıdır.

1.4.9. Bor Esaslı Depolama

Bor esaslı sistemler ana olarak sodyum bor hidrürü esas almaktadır. Sodyum bor hidrürde hidrojen depolamanın en önemli üstünlüğü depolanan hidrojenin oda sıcaklığında geri alınabilmesi ve geri alımın katalizör yardımı ile kolaylıkla kontrol edilebilmesidir (Güvendiren ve Öztürk, 2003).

Bir enerji bileşeni olarak bor-hidrür, hidrojenin taşınma, depolanma, patlama gibi tüm risklerini yok eden bir taşıyıcıdır. Bu sebeple çok yakın bir gelecekte Türkiye, bor rezervlerinin bolluğu sebebi ile önümüzdeki yıllarda dünyada önemli bir enerji merkezi olabileme potansiyeline sahip bir ülke konumundadır. Türkiye sahip olduğu bor rezervlerini iyi bir şekilde kullanabilirse enerji alanında dünyanın merkezi olabileme kapasitesindedir. Çünkü Türkiye, yüzyılımızda petrol kadar önemli olabileceği düşünülen bor madeninin dünyadaki en büyük rezerv ülkesidir (Yılmaz, 2006a). Borla çalışan otomobil üretimi, hidrojen elementinin depolanmasında bor madeninin kullanılması ve bu şekilde hidrojen enerjisinin enerji kaynağı olarak kullanılabilirliğine ilişkin çalışmalar henüz emekleme evresindedir. Gelecekte, hidrojen enerjisi veya bor hücreli elektrik üretilmesi teknolojileri ile otomobil endüstrisiyle ilgili gelişmeler, bor tüketiminde bir patlamaya yol açması beklenmektedir (Özcan, 2006).

Hidrojenin bor esaslı depolama sistemini kullanma amacı; bu depolama sisteminde kullanılan hidrojen miktarının diğer yöntemlere göre iki kat daha fazla olması ve

hidrojenin oda sıcaklığında geri alınabilmesi ve geri alımın katalizör yardımı ile kolaylıkla kontrol edilebilmesidir.

1.5. Hidrojenin Enerjisinin Taşınması ve Dağıtılması

Hidrojen gazı, 1600 kN/m² basınç altında, hacmi 7,5 m³'e varan çelik gaz silindirler içinde veya 700-5100 m³ hacmindeki yüksek basınçlı gaz tankerleriyle taşınmaktadır. Gaz hidrojenin büyük ölçekteki sevkiyatı için 5000 kN/m² basınçta çalıştırılan mevcut doğal gaz hatlarının kullanılması da mümkündür. Sıvı hidrojen iletimi, içinde sıcaklığın 20 derece düzeyinde tutulduğu düşük sıcaklık teknolojisi normlarına göre yalıtılmış özel tanker vagonlarla demir yolu ile gerçekleştirilmektedir. Deniz yoluyla büyük ölçekte sıvı hidrojen iletimi üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır. Karmaşık teknoloji ihtiyacına rağmen, sıvı halde iletimi en ekonomik taşıma yöntemidir (Baykara, 2002).

Hidrojenin boru hattı ile taşınması, orta mesafeler veya daha büyük mesafeler için uygundur. Hidrojen gevrekliği nedeniyle çelikçe az malzeme kullanılmalı ve hidrojen sızdırmazlığı sağlanarak yorulma gerilmelerine maruz kalan parçalar dikkatli seçilmelidir. Doğal gazla karşılaştırıldığında, aynı enerjiyi sağlamak için daha büyük çaplı borular ve sıkıştırma gücü gereklidir. Basınç kaybı ise daha az olduğundan yeniden sıkıştırma istasyonu sayısı yarı yarıyadır. Ekonomik olarak, büyük ölçekli iletimde 1,5-1,8 kat daha maliyetlidir fakat 1000 km üzerinde ise elektrikten daha ekonomiktir. Amerika'da 720 km, Avrupa'da 1500 km hidrojen boru hattı sorunsuzca taşıma sağlamaktadır. 210 km'lik hatta -Ruhr bölgesi- 50 yıldır tek bir kaza olmamıştır ve en uzun hat 400 km ile Fransa ve Belçika arasında faaliyet göstermektedir (Gaşan, 2006).

Temel sorunlarından biri olan hidrojenin taşınması ve dağıtılması, probleminin çözülmesi hem üretici hem de tüketici açısından çok önemlidir. Çünkü hidrojenin bir yerden başka bir yere taşınması üretici açısından daha geniş pazarlara açılması demek olurken; tüketici açısından da güvenli, çevreci bir enerjiyi kullanması anlamına gelmektedir. Bu nedenle hidrojen enerjisinin lojistik altyapısı geliştirilmeli ve önem verilmelidir. Dünya geneline baktığımızda ülkelerin bu konuyla ilgili altyapı çalışmaları devam etmektedir fakat henüz istenen düzeyde değildir. Bu altyapı çalışmalarının tamamlanması ihtiyaç vardır.

1.5.1. Bölgelerarasında Hidrojenin Taşınması ve Dağıtımı

Sıvı hidrojen büyük tankerlerle, gaz hidrojen ise yeraltındaki boru hatları ile pazara ulaştırılmaktadır. Üretim yeri ve pazar yakın ise, boru hatları ile taşıma tercih edilebilmektedir. Gelecekte ise bazı değişiklikler sonucu varolan boru hatları kullanılabilir. Basınç altındaki hidrojenin daha az kayba uğraması için hidrojen boru hatlarında çelik kullanılması öngörülmektedir.

Hidrojen taşıma bir diğer enerji hammaddesi olan doğalgazdan daha geniş çap, sıcaklık ve sıkıştırma gücü gerektirmektedir. Ancak hidrojendeki ağır basınç kayıpları nedeniyle kompresör istasyonları daha uzak olmalıdır. Sıvı hidrojen 180 metre uzunluğundaki gemilerle taşınabilmektedir. Bu gemiler toplam 15,000 metreküp için beş tane 3,000 metreküp'lük tanklar ile donatılmış durumdadır (Veziroğlu ve Barbir, 1998:24).

Ekonomik çalışmalar hidrojenin taşınmasının maliyetinin yüksek olduğunu göstermektedir. Fakat hidrojenin taşınma mesafesi 1,000 km' den fazla ise elektrik iletiminden bile daha ekonomik olabilmektedir.

1.5.2. Bölgesel Hidrojen Taşınması ve Dağıtımı

Benzer tüketim taleplerinden dolayı, sıvı veya gaz hidrojen, boru hattı veya özel konteynırlarla karayolu ve demiryolu taşımacılığıyla bölgesel olarak taşınabilmekte ve dağıtılmaktadır. Bazı ülkeler gaz veya sıvı hidrojenin taşınmasında kısıtlayıcı olan halk güvenliği için sıkı düzenlemeler sağlamaktadır. Gaz veya sıvı hidrojeni şu anda düşük hacimli kullanıcılar talep etmektedir. Devamsız olan bu taşıma maliyetleri yükseltmektedir. Gelecekteki enerji sistemi içerisinde hidrojen taşınması özel kullanıcılar dışında az kullanılması beklenmektedir.

Hidrojenin gaz evresi genellikle basınçlı silindir kaplar içinde taşınmakta ve yol taşımacılığına uygun bir çerçevede düzenlenmektedir. Bir taşımada kapasite miktarı, 3,000 metreküpten daha büyük olması gerekmektedir. Sıvı hidrojen, gaz hidrojen teslimatının uygun olmadığı durumlarda orta ölçekli kullanımlar için gerçekleştirilmektedir (Veziroğlu ve Barbir, 1998:24).

1.6. Hidrojen Enerjisinin Güvenliği

Hidrojen, diğer yakıtlardan daha farklı bir güvenlik donanımı ve prosedürü gerektirse de diğer yakıtlardan daha tehlikeli değildir.

Hidrojenin güvenlik karakteri, fiziksel özelliklerinden dolayı diğer yakıtlardan oldukça farklıdır. Hidrojen düşük yoğunluklu olduğundan bir kaçak anında yer seviyesinde birikinti halinde kalmayarak atmosfere yükselmekte ve dağılmaktadır. Bu durumda iyi bir havalandırma ile güvenlik artırılabilir. Ayrıca hidrojen, diğer yakıtlardan daha hızlı yayılmakta ve böylece tehlike seviyesi de azalmaktadır. Hidrojen; gazolin, propan veya doğal gazdan daha hafiftir. Birim depolanan enerji başına hidrojen düşük bir patlama enerjisine sahiptir. Örneğin, belirli bir hacimdeki hidrojen, aynı hacimdeki gazolin buharından 22 kat daha az patlama enerjisine sahiptir. Hidrojenin yanması için havada hacimce % 4 ve % 75 miktarları arasında olması gerekmektedir. Bu aralık diğer yakıtlarda daha da düşüktür. Örneğin doğal gaz için % 5,3-15, propan için % 2,1-10 ve gazolin için % 1-7,8 civarındadır. Herhangi bir kaçak anında hidrojenin en düşük tutuşma sınırı gazolininkinden 4 kat propaninkinden 1,9 kat ve doğal gazinkinden de biraz büyüktür. Böylece hidrojenin geniş aralıktaki düşük tutuşma sıcaklığı ve tutuşturuculuğu özellikle garaj gibi kapalı mekânlarda yangın tehlikesini azaltmaktadır (Ün, 2003).

Hidrojen-hava karışımlarının patlama ve tutuşma sınırları, benzinin ve metanın hava karışımlarına nazaran daha geniştir. Hidrojenin moleküler ağırlığı, yoğunluğu (havanın 1/14 misli, metanın 2/3 misli) çok düşüktür. En küçük molekül olması nedeniyle depo ve boru malzemeleri içine rahatlıkla sızarak metalleri kırılganlaştırır ve kolaylıkla kaçak olabilir. Bu özelliğinden dolayı, hidrojen kaçağı tutuştuğu takdirde yukarıya doğru yükselen dar bir alev oluşturmakta ve dolayısıyla çevreye verebileceği zarar diğer gaz ve sıvı yakıtlara kıyasla çok daha az olmaktadır. Büyük ölçekte hidrojenin kullanıldığı açık hava amonyak tesislerinde yangın olayları seyrek olmaktadır ve genellikle talimatlara yeterince uyulmamasından kaynaklanmaktadır. Sıvı hidrojen ise uzun süredir roket yakıtı olarak kullanıldığından dolayı, bu türün güvenliği hakkında yeterince deneyim ve bilgi birikimi mevcuttur (Baykara, 2002).

Tablo 3: Hidrojen ve Bazı Yakıtların Güvenlikle İlgili Özellikleri

Özellik	Hidrojen	Metan	Metanol	Benzin	Jet Yakıtı
Kaynama sıcaklığı (K)	20.3	112	338	-	-
Buharlaştırma ısısı (MJ/kg)	0.45	0.51	1.1	-	-
Özgül ağırlık (kaynama)	1.03	1.38	-	-	-
Özgül ağırlık	0.07	0.55	-	-	-
Difüzyon katsayısı (cm ² /s)	0.63	0.2	-	0.08	-
Havayla tutuşma sınırı (% hacim)	4.1-74	5.3-15	6.0-37	1.5-7.6	0.8-5.6
Havayla patlama sınırı (% hacim)	18-59	6.3-14	-	-	-
Ateşleme sıcaklığı (K)	850	807	700	530	522
Ateşleme enerjisi (MJ)	20	300	-	250	-
Alev sıcaklığı (K)	2400	2190	-	-	-
Alev hızı (m/s)	2.75	0.37	0.41	<0.3	-
Söndürme mesafesi (cm)	0.06	0.23	-	>0.25	-
Alev yayınlılığı	0.10	1.00	-	-	-
Yanma ısısı (MJ/kg)	120	50	20	44	43
Yanma ısısı (GJ/m ³)	8.5	21	16	31	34

Kaynak: Baykara, (2002)

Tablo 3’de farklı yakıtların güvenlikle ilgili temel özellikleri gösterilmektedir. Bu yakıtların güvenlikle ilgili bu özelliklerini incelediğimizde, en güvenilir yakıtın hidrojen olduğu anlaşılmaktadır.

Hidrojen enerjisi birçok sanayi uygulamalarında güvenle kullanılmaktadır. Ancak hidrojenin, kamusal alanda enerji taşıyıcısı olarak kullanımı henüz yaygın değildir. Bunlar için de geniş çapta kabul edilmiş olan standartlar, yöntemler ve güvenlik düzenlemeleri gerekmektedir (Bilgin, 2006).

1.7. Hidrojen Enerjisinin Çevresel Yönü

Hidrojen, çok temiz bir yakıttır. Hidrojenin yanması veya yakıt hücrelerinde tüketilmesi sonucu son ürün olarak sadece su üretilmektedir. Yanma yüksek sıcaklıkta olursa havadaki azot ve oksijenden azot oksit -NO_x- oluşabilmektedir ancak bu sorun diğer yakıtlarla aynıdır ve kontrol edilebilmektedir. Diğer yakıtların aksine hidrojen, elementlerden üretilen kirletici içermemekte ve uçucu organik kimyasallar oluşturmamaktadır. Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri düşünüldüğünde,

fosil yakıt yerine hidrojen enerjisi kullanıldığında fiziksel sağlık şartlarında önemli iyileşmeler olacaktır (Ün, 2003).

Halen kullanılmakta olan yakıtların çoğunda yanma sonucu ortaya çıkan karbon oksitleri, kükürt dioksit, partiküller ve koku, hidrojeninde yoktur. Oluşabilecek NO_x miktarı da diğer yakıtlara göre daha azdır. Yanma ürünü olan su buharının yol açabileceği sera etkisi, yeryüzünde 3-4 gün içinde kaybolmaktadır. Bu süre karbondioksit için 10000 kat daha uzundur. Uçak yakıtı olarak hidrojen zayıf karışımla yandığında daha az miktarda NO_x oluşmakta; yanma ürünü olarak ortaya çıkan su buharı, yüksek uçuş irtifalarında sera etkisine neden olmakla birlikte, atmosferde kalma süresi 6 ay ile 1 yıl arasında değişmektedir. Hidrojen enerjisi, çevresel açıdan büyük avantajlara sahip olmaktadır (Baykara, 2002).

Tablo 4: Enerji Sistemlerinde Üretilen Kirletici Miktarları

Kirletici	Fosil Yakıt Sistemi (kg/GJ)	Kömür/Sentetik Fosil Sistem (kg/GJ)	Solar-Hidrojen Sistemi (kg/GJ)
CO ₂	72,40	100,00	0
CO	0,80	0,65	0
SO ₂	0,38	0,50	0
NO _x	0,34	0,32	0,10
HC	0,20	0,12	0
Partikül Madde	0,09	0,14	0

Kaynak: Dinçer, (2002: 265–285)

Tablo 4’de farklı enerjilerin -fosil yakıtlar ve hidrojen- kullanımı sonucunda çıkardığı kirletici etkileri gösterilmektedir. Görülebileceği üzere solar-hidrojen sisteminin ürettiği kirletici miktar yok denecek kadar azdır ve diğer sistemlerle bu konuda kıyaslanmayacak kadar temiz bir sistemdir. Kömür ve diğer fosil yakıtlı sistemlerin ise ürettikleri kirletici miktarları oldukça fazladır.

1.8. Hidrojen Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Yeni gelişmekte olan hidrojen ve hidrojen tabanlı ürünlerin, şu anda yüksek olan maliyet engelini aştıklarında, yüksek verimleri ve düşük kirletici emisyonları gibi avantajlarıyla yapı, sanayi ve ulaştırma sektörlerinde bugün kullanılmakta olan yakıt sistemlerinin yerini alacağı öngörülmektedir. Avrupa Birliği ve birçok ülke, bu alanda yürüttükleri teknoloji geliştirme ve iyileştirme faaliyetleri ile özellikle ulaşım araçlarında kullanılacak yakıt hücrelerinin geliştirilmesi yönünde çalışmaktadır. Bu

bağlamda, Türkiye'nin 20 yıllık bilim ve teknoloji program ve stratejileri içinde, hidrojen enerjisi ve yakıt hücresi teknolojilerine yönelik çalışmalarla teknolojik alanda rekabet edebilir hale gelme zorunluluğu vardır (TÜBİTAK, 2004).

Hidrojen enerjisinin genel bir çerçevede avantajlarını ve dezavantajlarını özetlemek gerekirse; bu değerlendirme aşağıdaki tabloda açıklanmaktadır.

Tablo 5: Hidrojen Enerjisinin GZTF Analizi

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
<ul style="list-style-type: none"> • Çevresel kirlilik oranı çok düşüktür. • Enerji üretim verimi oldukça yüksektir. • Farklı yakıtlar ile çalışabilir (hidrojen, doğal gaz, metanol, LPG, nafta vb.) • Atık ısı geri kazanılabilir. • İşletim karakteristiği uygulamada kolaylık sağlar. • Geleceğe yönelik gelişme potansiyeli oldukça yüksektir. • Katı atık ve gürültü problemi yoktur. • Güç yoğunluğu yüksektir. • Düşük sıcaklık ve basınçta çalışabilir. • Modüler yapıdadır. • Şebeke ile birlikte veya ayrı çalışabilir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrojen enerjisinin kullanımı, çok fazla bilgi ve ileri teknoloji gerektiren bir sistemdir. • Çelik tüplerde taşınması halinde ağırlık sorunu vardır. • Sıvı olarak taşınabilmekte fakat düşük sıcaklıklar ve yüksek basınç gerekmektedir. • Sıvı halden gaz haline geçirilerek yapılan kullanımlarda kayıplar söz konusudur. • Yüksek maliyet vardır. • Yakıt hücresi kullanımı, çok fazla bilgi ve ileri teknoloji gerektiren bir sistemdir. • Uygulamalarının tam verimle gerçekleşmesi için uzun zamana ve çok paraya ihtiyaç vardır. • Ani ivmelenmede enerji yetersiz kalmaktadır. • Soğuğa karşı dayanaksızdır.
Tehditler	Fırsatlar
<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek fiyat vardır. • Kullanımında risk olabilmektedir. • Radyasyon sızıntısının olma olasılığı. • Patlayıcı özelliğe sahip olması. 	<ul style="list-style-type: none"> • Temiz çevre • Yeni iş alanlarının çıkması • Ekonomik bağımlılığın azalması • Ekonomik gelişmişlik • Her ülke kendi yakıtını üretecek ve kalkınması hızlanacak. • Petrol harpleri olmayacak. • Ozonu delen kimyevi maddeler üretilmeyecek

Kaynak: Şahanalan, (2006)

Enerji alanında üs olma potansiyeline sahip olan hidrojen enerjisi potansiyelleri iyi değerlendirilmeli ve eksiklikleri giderilerek fırsatlarından maksimum seviyede

yararlanılmalıdır. Hidrojen enerjisinin güçlü yönleri ve fırsatlarının zayıf yönleri ve tehditlerine göre daha fazla olduğu tablo 5’de görülmektedir. Ayrıca tabloda hidrojen enerjisinin alternatif enerji kaynakları arasından neden daha fazla tercih edildiği açık olarak belirtilmektedir.

Hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünlerin ekonomik hayata uyarlanmasını yavaşlatan bazı nedenler vardır. Bu nedenlerden en önemlisi mevcut kaynakların - fosil tabanlı yakıtların- yaygın bir şekilde kullanımınıdır. Yıllar boyunca fosil tabanlı yakıtlar için geliştirilmiş bir altyapı mevcuttur ve bunun birden bire terk edilmesi hem ekonomik hem de pratik bakımdan mümkün değildir. Bu nedenle diğer enerji kaynaklarında olduğu gibi tedrici -ancak daha hızlı- bir geçişin olması beklenmektedir (Polat ve Kılınç, 2007a).

Hidrojen enerjisindeki bu durum -söz konusu alandaki ticarileşme faaliyetleri doğal olarak geciktiğinden dolayı- hidrojen ağırlıklı bir enerji piyasasının oluşmasını da yavaşlatmakla birlikte hidrojen pazarının oluşmasının ve gelişmesinin de gecikmesi anlamına gelmektedir. Hidrojen yakıtının altyapı eksikliği, yüksek maliyetler ve farklı ülkelerin teknolojik düzeyleri arasındaki farklılıklar da hidrojen pazarına geçişi geciktiren önemli hususlardır. Ayrıca hidrojenin üretim, taşıma, depolama ve kullanım aşamalarında güvenlik konusundaki fiziki eksiklikler, güvenlik ve kullanım standartlarının henüz yeterince oluşturulmamış olması ve kamu tarafından kabul edilebilirlik düzeyinin henüz gelişmemiş olması gibi faktörler hidrojen enerjisinin sorunları arasında yer almaktadır. Mevcut enerji sisteminin fosil tabanlı yakıtları destekleyen bir çatı niteliğinde olması, yakıt hücresi bileşenlerinin sınırlı şekilde elde edilebilirliği, hidrojen üretimi için mevcut talebin yetersizliği, global ortaklık veya hareket planlarının eksikliği gibi hususlar (McDowall ve Eames, 2006) hem fiziksel hem de pazar altyapısı bağlamında belirtilmesi gereken eksiklikler ve problemler olarak görülmektedir. Hidrojen enerjisine geçişin ilk aşamasında bu tarz sorunlarla karşılaşılması mümkündür ve bu tarz problemlerin zaman içerisinde aşılabileceği söylenebilir.

Hidrojene geçmeyi geciktiren önemli problemlerden bir diğeri ise depolama sorunudur (Yıldırım, 2006). Hidrojen gibi son derece geniş bir hacme sahip bir gazı depolayabilmek için onu ciddi oranda sıkıştırmak gerekmekte; bu ise nispeten küçük

hacimli otomobillerde göreceli olarak büyük bir depolama alanına ihtiyaç doğurmaktadır. Mevcut otomobillerin hacmi bu şekildeki süreç için yeterli olmamaktadır. Bu durum ise güvenlik, görsel ve pratik açılardan tercih edilen bir durum olmamaktadır (Rand ve Dell, 2005). Ancak problemin çözümüne yönelik Ar-Ge çalışmaları dünyanın çeşitli ülkelerinde devam etmektedir.

BÖLÜM 2: HİDROJEN TEKNOLOJİLERİNİN DÜNYA'DAKİ ÖNEMİ VE TÜRKİYE EKONOMİSİNDEKİ YERİ VE GELİŞİMİ

Hidrojen 21. yüzyılın somut bir gerçeğidir. Hidrojen enerjisi için araştırma ve geliştirme çalışmaları tüm dünyada devam etmektedir. Hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünlerin gelişimi ekonomik gelişim içinde önemlidir. büyük önem arz etmektedir.

Günümüzde, toplam enerji kaynaklarının % 90'ını fosil tabanlı yakıtlar teşkil etmekte ve bunların % 45'i petrole dayanmaktadır. Petrol ve petrol ürünlerinin yaklaşık 40 yıl daha yeteceği öngörülmektedir (TÜBİTAK, 2004). Bu doğrultuda fosil tabanlı ürünlerin kısıtlı olması yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru geçişi zorunlu kılmaktadır. Bunun farkında olan dünyadaki ülkeler ve enerji sektöründe önemli rol oynayan firmalar hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünlerin geliştirilmesi için önemli bir çaba içerisindedirler.

2.1. Hidrojen Pazarı

Bu tez çerçevesinde hidrojen pazarından kastedilen hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünlerdir. Hidrojen pazarının gelişiminin iktisadi anlamda ekonomiye büyük katkı sağlaması beklenmektedir.

Hidrojen pazarının gelişim aşamaları genel olarak dört başlık altında toplanabilir.

Aşama 1: Teknolojide, politikalarda ve pazarda ilerlemeler: *Bu aşamada laboratuvar araştırmaları, hidrojen ile ilgili politikalar, uluslararası standartlar, hidrojenin güvenli olarak uygulanması ve ticarileşme altyapısının hazırlanması gerekmektedir.*

Aşama 2: Pazara geçiş: *Bu aşamada hidrojen dağıtım sistemlerinin yerlerini alması, yenilenebilir enerji sistemleri ile entegrasyon sağlanması ve hidrojen sistemlerinin ticari olarak elverişli olması gerekmektedir.*

Aşama 3: Pazarların ve altyapıların yayılması: *Bu aşamada hidrojen üretimi artmalı, maliyetler düşmeli yakıt hücreli araçların kullanımı artmalı ve hidrojen pazar büyüklüğünün yükselmesi gerekmektedir.*

Aşama 4: Hidrojen vizyonunun gerçekleşmesi: *Bu son aşamada ise hidrojen enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte fosil yakıtların yerini alması gerekmektedir. Hidrojen ekonomik ve çevresel açıdan etkin şekilde üretilmelidir. Hidrojenin, yakıt ve elektrik üretiminde kullanılması için ulusal altyapı oluşturulmalıdır. Ayrıca güç sistemleri ve ulaştırma sistemleri arasında entegrasyonun sağlanması gerekmektedir (Yılmaz, 2006b).*

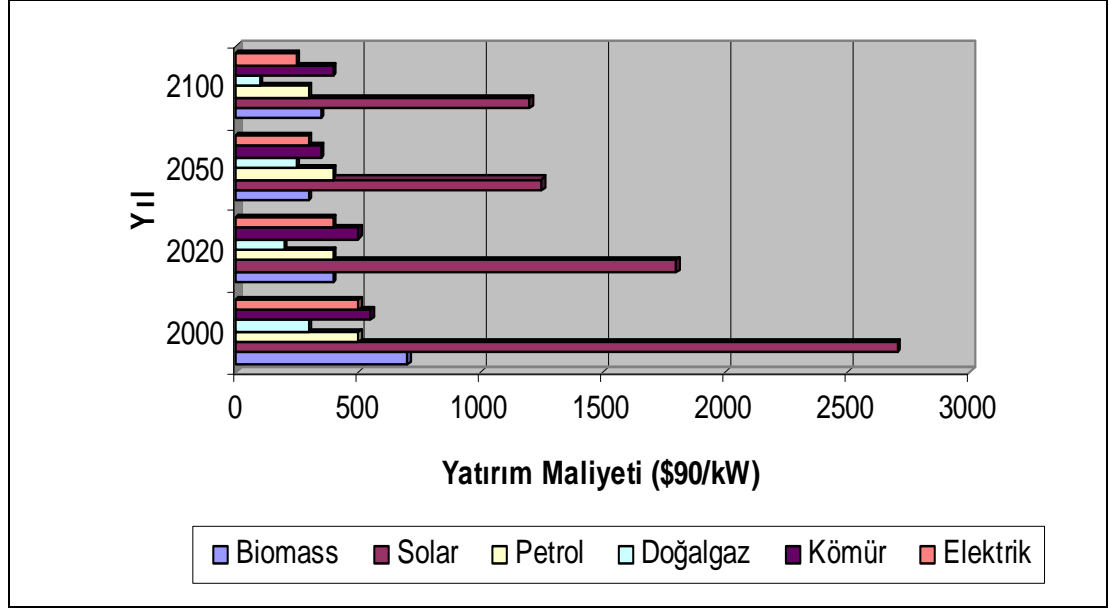
Hidrojen pazarı yukarıdaki aşamalardan farklı olarak üç işlevsel aşamadan -üretim, depolama ve kullanım- meydana gelmektedir. Bu adımların her birini başarmak için temel tasarım teknikleri kullanılmaktadır. Aynı zamanda hidrojen enerjisi; maliyet, performans ve güvenilirlik konusunda fosil tabanlı kaynaklar ile rekabet edebilmektedir. Hidrojen enerjisi, enerji üretimine ve kullanımına esneklik kazandırmaktadır. Bu enerji üretimi ve sağlanımı doğal olarak fosil, nükleer, yenilenebilir ve elektrik enerjisi ile bağlantılıdır ve bu belirtilen enerji kaynakları hidrojen üretiminde kullanılmaktadır (Cabtree vd., 2004).

Hidrojen diğer yakıtlara göre daha pahalı olmasına rağmen uzun dönemde teknolojik ilerlemelerle enerji kullanımında önemli rol oynayacaktır. Günümüzde pazarın bölgesine ve boyutuna bağlı olarak hidrojenin kg başına maliyeti 2,35-7 \$ arasındadır. Ancak bu maliyet göreceli olup, hidrojen çağına adım atılmakla hızlı düşüşü beklenmektedir (Ün, 2003).

Bu bağlamda desteklenen 200 milyon hidrojen arabasının tahmin edilen maliyeti 1 trilyon \$'ın üzerindedir. Bu tahminler nüfusu artan bölgelere hidrojen istasyonu koymaya yöneliktir. Şu anki tahminlere göre küçük hidrojen araba maliyeti ise 120.000 ve 150.000 \$ arasındadır (Barreto vd., 2003).

Maliyetlerin yüksek olması ilk etapta ekonomide bir canlılık yaratmayacaktır. Fakat hidrojen ve hidrojen tabanlı ürünlerin kullanımının artması ile ekonomiyi olumlu yönde etkilemesi ve ekonomik canlılık kazandırması beklenmektedir.

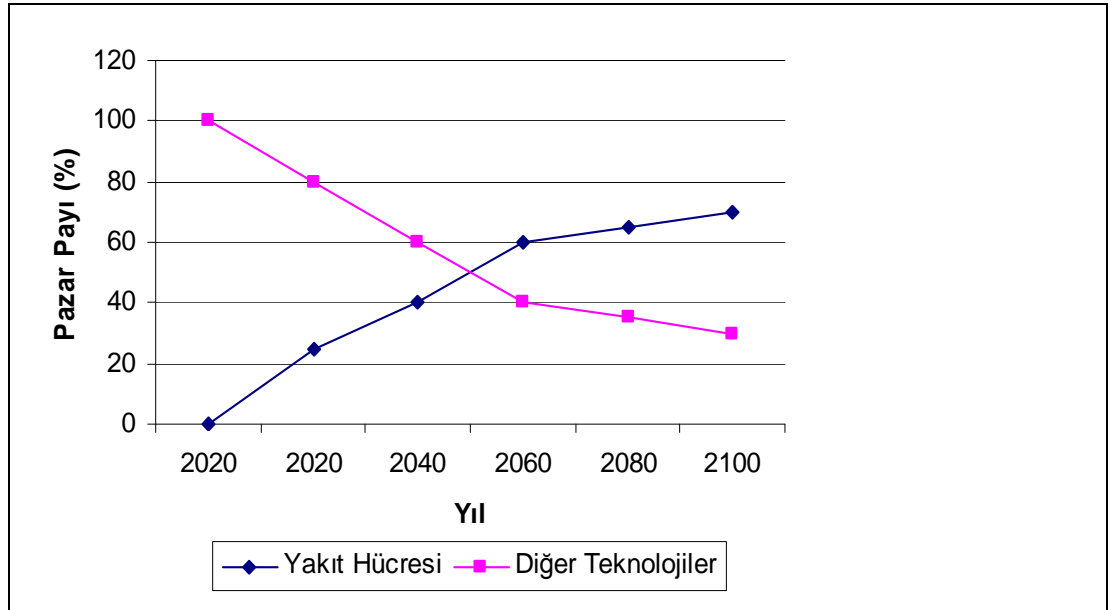
Şekil 5: Hidrojen Üretim Teknolojilerinin Yatırım Maliyetleri



Kaynak: Barreto, vd., (2003: 267-284)

Şekil 5'te temel hidrojen üretim teknolojileri için tahmini yatırım maliyetleri görülmektedir. Fosil tabanlı yakıtlardan hidrojen üretiminin gitgide azalacağı tahmin edilmektedir. Başlangıç maliyetleri; teknolojik gelişim içindeki sınıflandırılan maliyet tahminlerinden elde edilmiştir.

Şekil 6: Yakıt Hücresi ve Diğer Teknolojilerin 2000–2100 Yılları Arasındaki Tahmini Piyasa Oranları



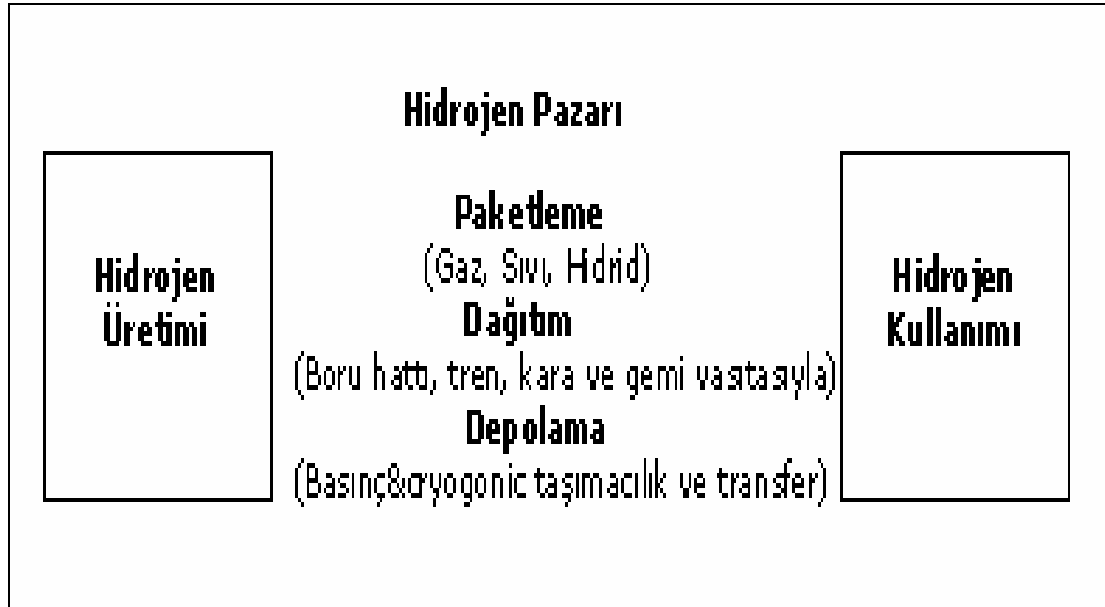
Kaynak: Barreto, vd. (2003: 267-284)

Şekil 6’da ise ulaşım sektöründeki diğer teknolojilerin toplamına karşı yakıt hücresinin pazar büyüklüğündeki gelişimi gösterilmektedir. Hidrojen temelli yakıt hücreleri 2100 yılına kadar artış trendini sürdürmektedir. Yakıt hücrelerinin oranın 2050 yılında % 51 Pazar büyüklüğüne ulaşması beklenmekte ve bu rakamın artarak 2100 yılında % 71’e ulaşacağı tahmin edilmektedir.

Bu çerçevede hidrojen üretim ve kullanım arasındaki birkaç aşamadan oluşan hidrojen pazarı yüksek enerji verimliliğine sahiptir. Hidrojen pazarı çevre için önerilen çözümleri de desteklemektedir. Hidrojen oksijen ile yandığı zaman kirlilik -su tekrar doğaya dönmektedir- oluşmamaktadır. Bu ise hidrojen kullanımını avantajlı hale getiren en önemli özelliklerden bir tanesidir (Bossel, vd., 2005).

Hidrojen enerjisi sıkıştırılmış paketlerde, taşıtlarda ve boru hattı vasıtasıyla taşınmakta, sonrasında depolanmakta ve son olarak nihai kullanıcıya transfer edilmektedir. Bu olay aşağıdaki şekilde genel olarak özetlenerek sunulmuştur.

Şekil 7: Hidrojen Pazarındaki Elementlerin Sistematik Sunumu

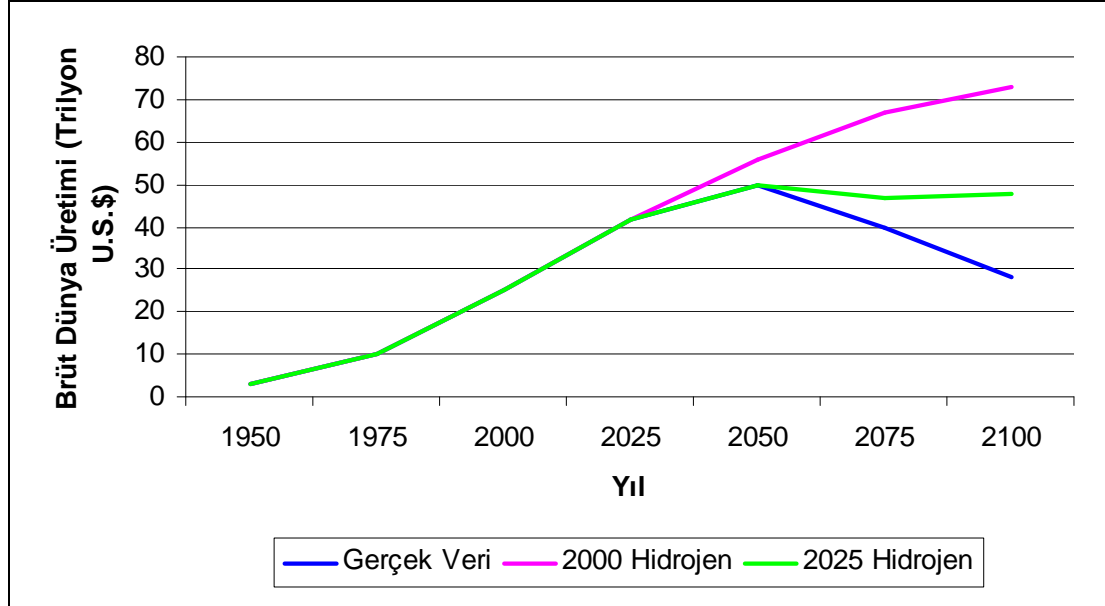


Kaynak: Bossel, vd., (2005)

Şekil 7’de hidrojen enerjisinin üretimden en son nihai tüketicinin kullanımına kadarki aşamaların gösterimi yer almaktadır. Esasen hidrojen enerjisi nihai tüketiciye ulaşmaya kadar paketleme, dağıtım, depolama gibi bir çok aşamalardan geçmektedir.

Hidrojen enerjisinin geleceğine şekil verecek olan faktörler literatürde farklı şekillerde açıklanmıştır. Hidrojen pazarına geçişi sağlayacak üç temel faktörden söz edilmektedir. Bunlar; ekonomik güç, çevresel güç ve ulusal güvenlidir (Barbir, 2004).

Şekil 8: Hidrojen Pazarına Geçiş Aşamaları



Kaynak: Barbir, (2004)

Şekil 8’de hidrojen pazarına geçiş aşamaları görülmektedir. 1950 yılından 2000’li yıllara kadar gerçek hidrojen üretiminin arttığı görülmektedir. Bu artışın 2050 yılına kadar devam etmesi beklenmektedir.

Hidrojen pazarından, gelecekte ekonomide enerji arzından kaynaklanan problemlerin ve kullanılan hidrokarbon yakıtındaki zararlı etkilerin azaltılması beklenmektedir. Hidrojen kullanan yakıt hücreleri içten yanmalı motorlarından daha verimlidir. İçten yanmalı motorlar % 20-30 verime sahipken, yakıt hücrelerinin verimi % 75-80’e ulaşmaktadır (Marbán ve Valdés-Solís, 2007).

2.2. Yakıt Hücrelerinin Ekonomik Yönü ve Pazar Potansiyeli

Yakıt hücresi, sisteme dışarıdan sağlanan yakıt ve elektrokimyasal reaksiyonun gerçekleşmesi için gerekli olan oksitleyicinin kimyasal enerjisini doğrudan elektrik ve ısı formunda kullanılabilir enerjiye çeviren güç üretim elemanına denmektedir. Bir yakıt hücresi, ‘yakıt işleme ünitesi’, ‘güç üretim sistemi’ ve ‘güç dönüştürücü’ olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır (TMMOB Enerji Raporu, 2006).

Yeni gelişmekte olan yakıt hücrelerinin, şu anda yüksek olan maliyet engelini aştıklarında, yüksek verimleri ve düşük kirletici emisyonları gibi avantajlarıyla yapı, sanayi ve ulaştırma sektörlerinde bugün kullanılmakta olan yakma sistemlerinin yerini alacakları öngörülmektedir. Avrupa Birliği ve birçok ülke öncelikli gördüğü bu alanda yürüttükleri teknoloji geliştirme ve iyileştirme faaliyetleri ile özellikle ulaşım araçlarında kullanılacak yakıt hücrelerinin geliştirilmesi yönünde çalışmaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'nin 20 yıllık bilim ve teknoloji program ve stratejileri içinde, hidrojen ve yakıt hücresi teknolojilerine yönelik çalışmalarla teknolojik alanda rekabet edebilir hale gelme zorunluluğu bulunmaktadır (TÜBİTAK, 2004).

Hidrojenin maliyeti, eğer günde binlerce ton hidrojen üretilir ve bu daha sonra birkaç yüz metreyi geçmeyecek boru hatlarıyla taşınırsa hidrojenin maliyeti daha iyi hesaplanabilmektedir. Bu durumda doğal gazdan üretilen hidrojenin maliyeti kilogram başına 1 \$'ı geçmeyecektir. Yüz kilogramlık hidrojenin maliyeti ise kilogram başına 15 \$ olması beklenmektedir. Bu fiyatla hidrojenin benzin ve dizelle rekabet etmesi mümkün değildir çünkü 1 kilogram hidrojenin vereceği enerji 1 galon yani 3,8 litre benzinin vereceği enerjiye eşittir. Amerika'da 1 galon benzin 2 \$ civarında iken Hollanda'da bu fiyat 6 \$'a kadar çıkmaktadır. Gelecekte hidrojen dolum istasyonlarında perakende olarak satılmaya başlandığında hidrojenin fiyatı kilogram başına 15 \$'dan az olması beklenmektedir. Hidrojenin üretildiği merkezi yerlerde otomobillere özel hidrojen üretilirse üretim maliyeti 1 \$'dan daha az olması beklenmektedir. Hidrojen pazarı geliştikçe hidrojenin toplam maliyeti vergiler dışında kilogram başına 2-3 \$ civarında olması beklenmektedir (Betham, 2004).

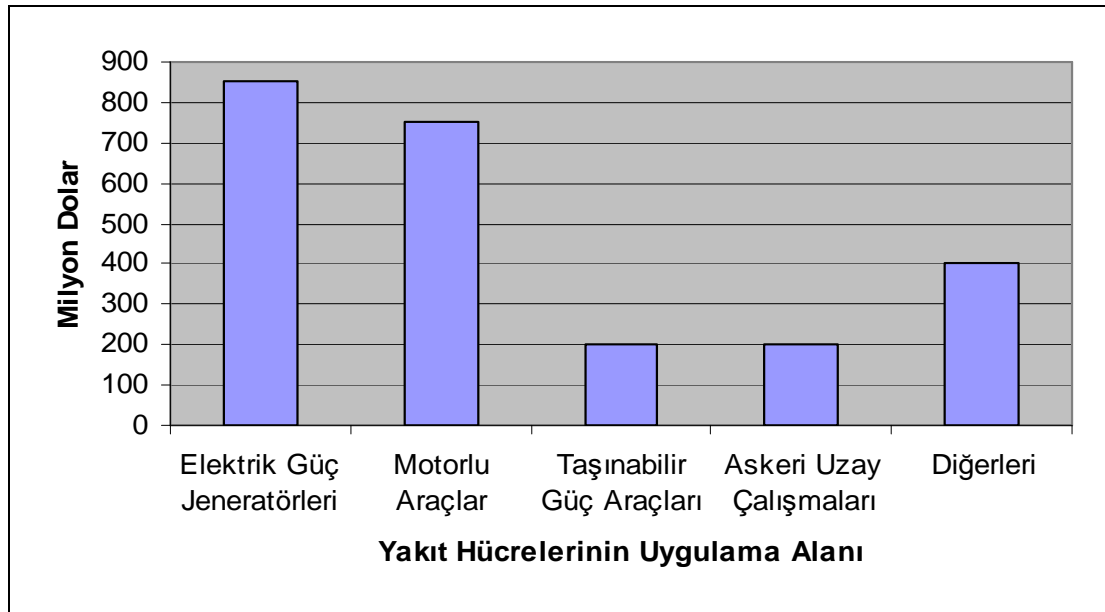
Dünya genelinde yılda milyonlarca dolar harcanan yakıt hücreleri için birçok araştırma ve geliştirmeye hatta fiyatta birkaç kat azalışa gereksinimi vardır. Bu bağlamda binlerce organizasyon enerji piyasasındaki hidrojen ile ilgili gelişmelerle yakından ilgilenmektedir (Nexant, 2003).

Yakıt hücresinin genel olarak uygulama alanları ise uzay çalışmaları, askeri uygulamalar, evsel uygulamalar, sabit güç üretim sistemi uygulamaları, yüksek güç üretim sistemi uygulamaları, taşınabilir güç kaynağı uygulamaları, atık ve atık su uygulamaları, taşıt uygulamalarıdır. Ayrıca yakıt hücreleri otobüs, kamyon, otomobil ve her türlü taşıt için yakıt görevi yapabilecek özelliklere sahiptir. Yakıt hücreli

araçlar, benzin ve motorin ile çalışan araçlara göre daha temiz ve enerji bakımından daha verimli bir uygulamadır. Bundan dolayı dünyada önde gelen otomotiv şirketleri ve devletler yakıt hücrelerinin geliştirilmesi ve araştırılması için çok yüksek miktarlarda kaynak ayırmaktadır. Çevre faktörünün önem kazandığı bu zamanda çevre dostu olmasının yanında yüksek verime de sahip olan yakıt hücreleri, gelecekte uygun fiyat uygulamalarıyla öne çıkması ve alternatif yakıtlar içinde önemli bir yer alması beklenmektedir (TMMOB Enerji Raporu, 2006).

Bu bağlamda hidrojen yakıt hücresinin pazarı 2004 yılında; 218 milyon \$ olmuştur. Bu rakam 2004 yılında 2,4 milyar \$'a ulaşmıştır. Bu rakamın 2009 yılında ise 7 milyar \$'a ulaşacağı yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. "Business Communication Company" tarafından yapılan araştırmaya göre 2004 yılındaki pazardaki uygulamaların aldıkları paylar ise aşağıdaki gibi olmuştur.

Şekil 9: Yakıt Hücrelerinin Uygulama Alanları ve Pazar Payları (2004)



Kaynak: Kadırgan, (2003)

Sabit yakıt hücrelerinin 1 kW birimdeki pazarları 2005 yılında 4.200 \$ olmuştur ve yakıt hücrelerinin 2005 yılındaki pazarı ise % 67 büyümüştür. Yeni üretim 7.000 birimin üzerinde iken, toplam kümülatif üretim 20.000'in üzerinde olmuştur. Ayrıca 2006 yılında kullanılan yakıt hücresi çeşitlerinden en büyük payı PEM yakıt hücresi almıştır. PEM yakıt hücreleri başvuru alanları içinde en iyi olandır. Yakıt hücresi sistemi en çok Kuzey Amerika, Avrupa ve Japonya'da gelişmiştir (Adamson, 2005a).

Yakıt hücresine ilişkin Avrupa Birliği ülkelerinde 2013'lü yıllarda 15 ile 20 milyar \$ arasında bir pazarın oluşması beklenmektedir. 2020'li yıllarda ise bu rakamın 100 milyar \$'ı aşacağı planlanmaktadır (Yıldırım, 2006).

Yakıt hücreleri elektronik, çelik, endüstri ve diğer alanlar için yeni pazar yaratmaktadır. Bu sayede yüksek kalitede onbinlerce kişiye iş sağlanması ve ticari açığın azalması beklenmektedir. Danışmanlık firması Arthur D. Little'ın projesine göre yakıt hücreleri satışı yılda 1,500-2,000 MW' lik pazar ile 2000 yılında 3 milyar \$ olmuştur ve her 1,000 MW' lik satış ile 5000 iş yaratıldığı tahmin edilmektedir (Spirit Lake Community School District, 2005).

Çok çeşitli fiyatlara sahip olan yakıt hücrelerinin araçlarda yaygın olarak kullanılabilmesi için çok daha ucuz olması gerekmektedir. Mevcut araba motorlarının maliyeti yaklaşık 3000 \$/ kW' dır. Yakıt hücresinin maliyetini bu seviyeye getirmek için daha çok araştırma gerekmektedir. Yakıt hücreleri, birçok kullanım avantajlarına rağmen oldukça yüksek üretim maliyetleri nedeniyle ancak, gelecek yüzyıl için karbondioksit emisyonlarını azaltmaya yardımcı önemli bir enerji dönüşüm teknolojisi olarak görülmektedir. İş komünikasyon şirketlerinin yaptığı son çalışmalardan birine göre, yakıt hücresi toplam pazarın 1998' de ki 355 ABD \$'dan 2003 yılında 1,3 milyar \$'a ulaşmıştır. General Motors ve Ford firmalarının çalışmalarına göre ileride yakıt hücreli motorlar, içten yanmalı motorlarla aynı fiyatta üretilmektedir (Mekatronik, 2005).

Hidrojen yakıt hücreleriyle çalışan arabaların 2015 ile 2025 yılları arasında Amerika, Batı Avrupa ve Japonya gibi ülkelerde pazara girmesi beklenmektedir. Daha açık olarak 2020 yılında 5 ile 10 milyon arasında, 2030 yılında 50 milyon ve 2040 yılında 150 milyon civarında hidrojen yakıt hücreli aracın yollarda olması planlanmaktadır. Bu demek oluyor ki bu yıllardan sonra satılacak olan sıfır arabaların yarısı hidrojen yakıt hücresiyle çalışan araçlar olacaktır (Betham, 2004).

Yakıt hücresi üreticileri 2010 yılında 2.5 milyon evde yakıt olarak 'yakıt hücresi' kullanılacağını tahmin etmektedir. Ayrıca yakıt hücresi üreticileri, 2010 yılında dünya otomobil üretiminin yaklaşık % 1'ine karşılık gelen 600,000 otomobilde enerji kaynağı olarak yakıt hücresi kullanılacağını da tahmin etmektedir. Özel sektör tarafından yakıt hücresi projelerine yapılan yatırımların tutarının 600 Milyon \$ olacağı tahmin

edilmektedir. Ayrıca Dupont, dünya çapında yakıt hücresi üreticisi olmayı hedefleyerek, 2002 yılında yakıt hücresi üretimine başlamıştır. Dupont yakıt hücresi pazarının 2010 yılında 10 Milyar \$ olacağını öngörmektedir (PETKİM, 2002).

Bu çerçevede, hidrojen pazarı içinde yakıt hücreleri önemli bir paya sahiptir. Çünkü yakıt hücreleri, gelecekte hidrojen pazarı için bir teknoloji olup, güç üretimi için büyük bir potansiyele sahiptir. Temiz bir güç kaynağı olarak da, benzin ve fosil yakıtlara karşı oldukça güçlü bir alternatiftir (Polat ve Kılınç, 2007a).

Günümüzde üzerinde çalışılan başlıca yakıt hücresi türleri; Polimer membran yakıt hücreleri (PEFC/PEM), Katı oksit yakıt hücreleri (SOFC), Direkt metanol yakıt hücreleri (DMFC), Fosforik asit yakıt hücreleri (PAFC), Erimiş karbonat yakıt hücreleri (MCFC), Alkali yakıt hücreleri (AFC) (Sahanalan, 2006) başlıcalarıdır. Kullanılan elektrolit tipine göre sınıflandırılan bu altı çeşit yakıt hücreleri farklı pazar potansiyellerine ve ekonomik değerlere sahiptir. Pazarda uygulanabilme alanları da bazı durumlarda farklılık göstermektedir (Nexant, 2003; Polat ve Kılınç, 2007a).

2.2.1. Proton Değişim Membranlı Yakıt Hücresi (Polymer Electrolyte Membrane - PEMFC)

Polimer elektrolit membranlı, katı polimer elektrolit ve polimer elektrolit yakıt hücreleri olarak da adlandırılan PEM yakıt hücreleri 1950'li yıllarda General Electric tarafından bulunmuştur (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004).

Proton geçirgen membran (PEM) teknolojisine sahip yakıt hücreleri içten yanmalı otomotiv uygulamaları için en çok tercih edilen teknolojidir. PEM yakıt hücrelerinin otomotiv sektöründe şarj edilebilir hücrelerin yerine tercih edilmelerinin sebepleri ise hızla devreye girmeleri, yüksek güç yoğunluğuna sahip olmaları ve büyüklük olarak da az yer kaplamalarıdır. PEM yakıt hücrelerinin şu an için ticari amaçlı olarak kullanılmamalarının nedenlerinden birisi kullanılan membran ve katalizör malzemelerinin maliyetinin çok yüksek olmasıdır. Sistemde yapılacak yeniliklerle birlikte PEM yakıt hücreleri rakip bir alternatif haline gelmesi planlanmaktadır. Günümüzde 50 kW'lık güç üreten PEM yakıt hücreleri piyasada satılmakta olup, 250 kW'a kadar güç üretimi yapan yakıt hücreleri üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Bu teknolojinin geniş bir kullanım alanına sahip olabilmesi için, birkaç engelleyici

özelliği üzerinde çalışmalar da sürmektedir (Hidrojen Enerjisi Forumu, 2007a; Polat ve Kılınç, 2007c).

PEM yakıt hücreleri uzun ömürlü ve hafiftir, yüksek akım ve güç yoğunluğuna sahip olmakla birlikte üretim maliyetlerinin pahalı olması dezavantajdır. Bununla birlikte PEM yakıt hücreleri tüm yakıt hücreleri arasında en fazla ilgi çeken ve en fazla ümit vaat eden yakıt hücresi tipidir. PEM yakıt hücresinin en önemli özelliği ise seri üretime imkân vermesidir (Polat ve Kılınç, 2007b)

Bir PEM yakıt hücresi modülü için ticari üretim maliyeti 400 \$/kW olarak hedeflenmektedir (Şahanalan, 2006). Ayrıca günümüzde bütün yakıt hücresi üreticileri yaptıkları Ar-Ge çalışmaları ile son birkaç on yılda PEM tipi yakıt hücresinin maliyeti belirgin biçimde düşmüştür. Yirmi yıl önce kW başına maliyet 80 bin \$ iken günümüzde bu değer yaklaşık 2 bin \$ civarındadır. Ayrıca 2006 yılında kW başına maliyet değerinin yaklaşık 500 \$'a ve 2010 yılında ise 50 \$'a düşmesi beklenmektedir. Bu gelişme, fiyatların düşmesi ile yakıt hücrelerinin daha geniş bir kesime ulaşması ve böylece daha fazla kullanım alanı bulması nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Birkaç yıl içinde santrallerde kullanılan yakıt hücreleri de geleneksel gaz türbinleri ve dizel jeneratörler ile rekabet eder duruma gelecektir (Desteknik, 2007).

2003 yılında Amerika'da PEM yakıt hücresinin bileşenleri ile değerı 143 \$ milyondur. Ortalama yıllık büyüme hızı % 26 artarak gelecek beş yıl içinde yani 2008 yılında 475 milyon \$ olması beklenmektedir. Membran PEM yakıt hücresinin merkezi durumundadır. PEM yakıt hücresi bileşeni olan bu membran piyasası 2003 yılında 1,7 milyar \$ iken, yıllık ortalama büyüme hızı % 8,9 ile 2008 yılında piyasa değerı 2,6 milyar \$'a ulaşması beklenmektedir. Son yıllardaki gelişmeler sayesinde PEM yakıt hücresinin zayıflıkları azalacak, performansı gelişecek ve maliyetleri de azalacaktır (BCC Research, 2003).

Amerika'da yakıt hücreleri talebi, ölçek ekonomisi çerçevesinde düşen maliyetler ve teknolojisi sonucunda 10 kat büyüyerek 2008 yılında 1,1 milyar \$ olması planlanmaktadır. Piyasalarda ilk olarak elektrik güç oluşumlarının görülmesi ve bunları taşınabilir elektrotların takip etmesi beklenmektedir. Yakıt hücrelerinden PEM yakıt hücresinin ise piyasaya hâkim olacağı öngörülmektedir (Fuel Cell to 2008, 2004).

Kuzey Amerika’da PEM yakıt hücrelerinin piyasasının 2011 yılında yıllık ortalama büyüme hızı % 25,1 ile 929 milyon \$ olacağı beklenmektedir. PEM yakıt hücresi zararlarının piyasasının ise 2011 yılında 334 milyon \$ olacağı tahmin edilmektedir. 2011 yılında, PEM yakıt hücrelerinin değeri % 36’nın üzerinde olması beklenmektedir. Çift kutuplu plakalar, gaz yayılım katmanı ve katalizör piyasası 2011 yılında 595 milyon \$’a ulaşması ve ortalama yıllık büyümenin % 24,7 olması tahmin edilmektedir (Crull, 2006).

Japonya’nın elektronikte dev elektrik şirketi Mitsubishi, PEM yakıt hücrelerini geliştirmektedir. Testlere göre yüksek elektrik verimliliğinde % 34 iken, tüm enerji verimliliği ısı geri kazanımıyla % 83 olmaktadır. Japonya’da yakıt hücreleri arasında en büyük pazar payında PEM yakıt hücresi almaktadır (Polat ve Kılınç, 2007b)

2.2.2. Katı Oksit Yakıt Hücresi (Solid Oxide Fuel Cell - SOFC)

Katı oksit yakıt hücresi küçük ve büyük ölçekte enerji üretimi için geliştirilmiş sistemlerdir. BMW katı oksit yakıt hücresi ile çalışan araç prototipini bundan birkaç yıl önce üretmiştir. Siemens Westinghouse ise 100 kW kapasiteli katı oksit yakıt hücresini uzun zamandır kullanmaktadır ve bu sistemlerde ulaşılan verim yüzde 46 seviyelerine kadar ulaşabilmektedir (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004; Polat ve Kılınç, 2007c).

SOFC sisteminin ticarileşmesi, bireysel pazarlara bağlı olarak 2004–2005 yıllarında Kuzey Amerika ve Avrupa’da gerçekleşmiştir. SOFC daha sonra Japonya, Avustralya, Çin ve Kore piyasalarında görülmüştür. Global olarak, SOFC’in gelişimi ticari aşamanın henüz başındadır (Colson-Inam, 2004).

SOFC’in evlerde kullanımı PEM yakıt hücresine göre daha azdır. Sabit yakıt hücrelerinin pazar büyüklüğü 2003 yılında 154,2 milyon \$ iken, 2009 yılında bu rakamın 11,4 milyar \$ olması beklenmektedir. Ayrıca yakıt hücreleri için 2005 yılında yapılan altyapı yatırımları yaklaşık olarak 247 milyon \$ iken; 2013 yılında bu rakamın 25,2 milyar \$’a ulaşması beklenmektedir. Bu durum hidrojen teknolojilerinin oldukça hızlı bir şekilde geliştiğini göstermektedir (WinterGreen Research, 2005).

2009 yılında 2,5 milyar \$ olması beklenen yakıt hücrelerine, dünyadaki ticari talebin yaklaşık yedi kat artarak 2014 yılında 13,5 milyar \$’a ulaşması ve SOFC’in 2009

yılındaki ticari talebinin oldukça yüksek olması beklenmektedir (Freedonia Research Group, 2007).

2004 yılındaki 'Consulting-Specifying Engineer' ın raporuna göre; SOFC'ın global satışı sonucunda 2004 ve 2008 arasında yıllık büyüme hızı % 22 civarındadır. Rapora göre global SOFC piyasasının 2004 yılındaki değeri 123 milyon \$'dır. Bu değer 2008 yılında 335 milyon \$ olması beklenmektedir. Yeni araştırmalar katı oksit teknolojilerinin gelişimi için umut vermektedir. Bütün yakıt hücresi piyasasının 2003 yılındaki 55 megawatt (MW)'lık değerinin, 2013 yılında yaklaşık 18,000 MW'a yükselmesi beklenmektedir (Consulting-Specifying Engineer, 2004; Polat ve Kılınc, 2007c).

Japonya yakıt hücreleri için 2003 yılında ¥726 milyon yen'lik bir bütçe ayırmıştır. 2001-2003 yılları arasında ayırdığı toplam bütçe miktarı ise ¥1.8 milyar'dır. Japonya'daki SOFC uzmanlarına göre hidrojen teknolojilerindeki ve yakıt hücrelerindeki pazar büyüklüğü, 2010 yılı için 100 trilyon yen (800 milyon \$) olarak hesaplanmaktadır. Japonya'daki özel ve kamu sektörlerinde yakıt hücresi konusunda hareketlilik sözkonusudur. Japon hükümetinin raporuna göre 5.000.000 yakıt hücresi Japonya güç oluşum kapasitesini aşmaktadır. Japonya hükümetinin koyduğu hedef maliyet kW başına ¥5,000 olmaktadır. Bu hedef maliyet tüm yakıt hücrelerini kapsamaktadır.

Evler için kurulan yakıt hücresi sistemindeki hedef maliyet birim başına ¥300,000 (2,500 \$) iken, ticari (endüstride) binalar için kurulan yakıt hücresi sistemindeki hedef maliyet birim (kW) başına ¥150,000 (1,250 \$) olmaktadır. Japonya'daki yakıt hücresi piyasasında SOFC en iyi satış sıralamasında üçüncü sırada yer almaktadır (Canada's Business and Consumer Site, 2006). Ayrıca, Japonya hükümetinin yakıt hücreleri için önerdiği stratejik plan gelecek 25 yılda yani 2030 yılında 8.500 hidrojen istasyonun altyapısını oluşturmayı amaçlamaktadır. Japonya'nın yakıt hücresi için 2004 yılındaki bütçesi 354,2 milyon \$, 2005 yılındaki bütçesi 381,1 \$'dır. Bu ülkede yakıt hücresi pazarının 2012 yılında ise 3,9 milyar \$ olması beklenmektedir (Globe-Net, 2007).

2.2.3. Doğrudan Metanol Kullanılan Yakıt Hücresi (Direct Methanol Fuel Cell - DMFC)

Basit yapısı, yüksek verimi, çevre dostu çalışma özellikleri, reformlama ünitesine ihtiyaç duyulmaması ve metanolün kolay depolanabilir olması nedeniyle, direkt metanol yakıt hücresi, günümüzde üzerinde en çok çalışma yapılan ve gelecekte de en çok kullanım alanı bulacağına inanılan bir yakıt hücresidir (Wang vd., 2006). Direkt Metanol Yakıt Hücresi, PEM yakıt hücrelerinin bir çeşidi olmakla birlikte bir ön prosese ihtiyaç duyulmadan metanolün doğrudan kullanımına imkân tanıyan bir yapıya sahiptir. Geliştirme aşamasında olan DMFC teknolojisi, gelecekte cep telefonu, diz üstü bilgisayarlar ve taşınabilir güç kaynakları için potansiyel bir güç kaynağı olarak görülmektedir. Direkt Metanol Yakıt Hücresi teknolojisi oldukça yeni bir yakıt hücresi çeşidi olduğundan dolayı, yüksek güç sistemleri olan taşıt, jeneratör, sabit güç üretim sistemi gibi uygulama alanlarında bu yakıt hücresi ile ilgili çalışmalar hızlı bir şekilde devam etmektedir. Ballard Power Systems, Honda, Nissan, Volkswagen, Yamaha, Ford, Daimler Chrysler, Cinergy firmaları bu yakıt hücresinin taşıt uygulamaları üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir. İleride, direkt metanol yakıt hücresi pazarının önemli derecede genişleyeceği ve bu tip yakıt hücresinin pazarda önemli kullanım alanları bulacağına kesin gözüyle bakılmaktadır (Crawley, 2007b).

2.2.4. Fosforik Asit Yakıt Hücresi (Phosphoric Acid Fuel Cell - PAFC)

PAFC; hastaneler, oteller, resmi daireler, okullar için şebeke güç istasyonları ve hava alanı terminalleri gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılan bir enerji sistemidir. İçten yanmalı motorların % 30 verimine karşılık, eğer atık ısı kojenerasyon ile kullanılırsa yaklaşık % 85, kullanılmazsa % 40 ve daha fazla verimle elektrik üretebilmektedir (Şahanalan, 2006).

Halen ticari teknolojide geçerli olan fosforik asit hücreleri savunma bölümü yakıt hücresi geliştirme programında kullanılmaktadır. PAFC düşük dereceli destek sistemlerinde, çok pahalı materyallerin kullanımında başarıyla uygulanır (Mekatronik, 2005).

Güvenirliliği ispatlanan PAFC yıllardır farklı alanlarında kullanılmıştır. 2002 yılındaki fiyatı 3500-4000 \$/kW olmuştur. 2002 yılındaki üretim kapasitesi ise Amerika ve

Kanada yıllık 40MW'dır. Maliyetlerinin yüksek üretim hacmi sayesinde 2000 \$/kW'a düşmesi beklenmektedir (Imperial College Centre for Energy Policy and Technology, 2002). Fosforik asit yakıt hücresi üzerindeki çalışmalar devam etmektedir.

2.2.5. Erimiş Karbonat Yakıt Hücresi (Molten Carbonate Fuel Cells - MCFC)

PEM ve Fosforik Asit Yakıt Hücrelerinin (PAFC) sınırlı olan çalışma sıcaklıklarına alternatif olarak geliştirilmiş bir yakıt hücresidir (Remick, 2006). Bu yakıt hücresinin kullanımı da yıllar itibarıyla önemli artış göstermektedir. MCFC kullanımının -pazar gelişiminin- % 47'si Avrupa ülkelerinde gerçekleşmektedir. Avrupa'yı Kuzey Amerika, Japonya ve Çin takip etmektedir. Ayrıca MCFC ile ilgili Ar-Ge çalışmalarında % 51'lik pay ile ticari işletmeler ilk sırada yer almakta; akademik birimlerin yaptığı araştırmalar ise % 38'lik oranda kalmaktadır (Crawley, 2007a).

Japonya'da da bu yakıt hücresinin gelişimiyle ilgili önemli çalışmalar yapılmaktadır. Konuyla ilgili yoğun Ar-Ge çalışmalarında bulunan firmalar bulunmaktadır. Japonya bu yakıt hücresinin Ar-Ge çalışmaları için 2002 yılında 17 milyon \$ bütçe ayırırken bu rakam Avrupa'da aynı yıl için 8,6 milyon \$ civarında olmuştur (Taylor, 2003). Şu ana kadar bu rakamların muhtemelen önemli miktarda ve katlanarak artmış olacağı, yakıt hücreleriyle ilgili araştırmalardaki trendin hızından kolaylıkla anlaşılabilir.

2003-2008 yıllarında ticari olması beklenen MCFC % 55 verimliliğe sahiptir. 2002 yılındaki maliyeti 8000 \$/kW olmasına karşın maliyetlerin düşerek 2003-2008 yılında yüksek üretim hacmiyle 250 kW ve 3 MW büyüklüğündeki yakıt hücresinin 1000-1900 \$/kW olması beklenmektedir. Amerika ve Kanada'daki üretim kapasitesi 2002 yılında yılda 10 MW olmuştur (Imperial College Centre for Energy Policy and Technology, 2002). Remick (2006)'e göre ise erimiş karbonat yakıt hücresinin kurulum maliyeti 1,2 milyon ile 4600 \$/kW arasındadır yani maliyetler yaklaşık 3000 \$/kW civarındadır.

Yüksek derecelerde çalışan ve en çok 1-20 MW kapasite aralığı için uygun olan Eriyik karbonat teknolojisi büyük güç santralleri ile yeniden üretme tesislerinde kullanılmaktadır ve dünyada sınırlı sayıda uygulama alanları mevcuttur (Mekatronik, 2005). Ayrıca bu yakıt hücrelerinde meydana gelen sorunların temelinde termal yalıtımla ilgili sorunların çözülmesi için malzemelerin yüksek sıcaklıkta bozularak karbonlaşmaları ve

yakıt hücresi yığınları arasında kısa devre oluşturmaları yer almaktadır (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004).

2.2.6. Alkali Yakıt Hücresi (Alkaline Fuel Cell - AFC)

Bu tip yakıt hücreleri ilk olarak uzay gemilerinde kullanılmıştır. ZETEC adlı bir firma tarafından ticarileştirilme yönünde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Ancak bu tür yakıt pillerinin üretim ve kullanımında birtakım güçlüklerin bulunduğu belirtilmektedir (Kadırgan, 2003). Genelde iletim için kullanılan AFC, teknolojisi uzay mekiği uygulamalarında geniş kullanım alanı bulmaktadır. Alkali yakıt hücreleri genelde iletim için kullanılırlar (Mekatronik, 2005).

AFC, göreceli olarak eski bir teknoloji olarak kabul edilmektedir ve % 60 verimliliğe sahiptir. Deniz ve ulaşım uygulamaları için çalışmalar devam etmektedir (Competitive Intelligence on Hydrogen and Fuel Cell Technologies, 2006).

AFC'nin 2002 yılındaki fiyatı 3000 \$/kW 'dır. Fakat proje maliyeti daha düşüktür. 2002 yılındaki üretim kapasitesi ise Almanya'da yıllık 10 MW olmuştur (Imperial College Centre for Energy Policy and Technology, 2002).

2.3. Hidrojen Teknolojileri için Dünya'daki Çalışmalar, Hidrojen Enerjisi ve Hidrojen Tabanlı Pazarlar

İdeal bir yakıt konumunda olan hidrojenin, üretim, uygulama ve ekonomik yönlerinde karşılaşılan sorunların çözülmesi ile yaygın bir şekilde kullanılacağı öngörülmektedir. Bu alanda dünyada özellikle ABD, Japonya ve Almanya başta olmak üzere, birçok ülkede yoğun araştırmalar devam etmektedir. Yapılan çalışmalar, hidrojenin yaygın kullanımını için hâlen en büyük sorun olarak ortaya çıkan maliyet konusunun en geç 15 yıl içinde çözüleceğini ve hidrojenin fosil yakıtlarla yarışabilecek duruma gelebileceğini göstermektedir.

Hidrojen enerjisi teknolojisinin giderek yaygınlaşabilmesi için, bu yakıtın tanımı, taşınması, emniyeti, bunları kullanacak uçak, otomobil gibi taşıtlarda yapılacak değişiklikler, elektro-kimyasal çevrimler ve tüm uygulama alanları için standartların belirlenmesi gerekmektedir. Yeni bir teknolojiyi standartlar olmadan kullanmak ve yaymak mümkün değildir. Uluslararası Enerji Ajansı Hidrojen Programı Yürütme

Komitesi ve Uluslararası Standartlar Organizasyonu tarafından birçok standartlar belirlenmesine rağmen, henüz gelişmekte olan bazı yeni teknolojiler konusunda çalışmalar devam etmektedir (Hidrojen Enerji, 2007).

Dünyada yakıt hücresi ve hidrojen enerjisi alanında birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmaların önemli bir kısmının uluslararası işbirliği programları şeklinde olduğu gözlenmektedir. Avrupa Birliği ile Kanada'nın EURO-QUEBEC (hidro-hidrojen) projesi, Norveç ve Almanya'nın NHEG projesi, Almanya ve Suudi Arabistan'ın HY-SOLAR (güneş-hidrojen) projesi, İskandinav ülkeleri ile Yunanistan'ın işbirliği, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) hidrojen enerjisi projeleri ve Birleşmiş Milletler UNIDO-ICHET hidrojen çalışmaları bu konudaki örneklerden bazılarıdır (TÜSİAD, 1998; Fernandes vd., 2005). Ayrıca AB hidrojene geçişin hazırlıklarına yönelik Ar-Ge çalışmalarına ilk 5 yıl için 5 milyar £ ayrılmıştır. Amerikan ise hidrojenli otomobillerin geliştirilmesi için 1.7 milyar \$'lık bir proje başlatmış ve ardından hidrojen üretimi için de 1.2 milyar \$ fon ayırmıştır. Japonya'nın 1997'de başlattığı WE-NET projesinin ilerlediği ve Japonya'nın bu programla 2020 yılına kadar 4 milyar \$ harcama planlayarak, gerekli hidrojen enerjisi teknolojilerine sahip olmayı hedeflediği bilinmektedir. İzlanda 3 yıl önce kurmuş olduğu uluslararası konsorsiyumla bu ada ülkesini, 2030 yılına kadar tamamen hidrojen enerjisi kullanımına geçirmeyi planlamaktadır (TMMOB Enerji Raporu, 2006). Hidrojen Teknolojileri Merkezi şu anda dünyanın yedi ülkesinde farklı yedi adet proje başlatmış durumdadır. Bu projeler şunlardır:

- **Çin'de, Hidro-Hidrojen Projesi:** Çin'deki bir bölgenin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla su enerjisinden yararlanılarak hidrojen üretilmesi planlanmaktadır.
- **Türkiye'de, Hidrojenle Çalışan Otobüs Projesi:** İstanbul'da, hidrojenle çalışan otobüslerin hizmete sokulmasını ve bunlar için gerekli hidrojenin gece kullanılmayan elektrikten elde edilmesini öngörmektedir. Üç yıl içerisinde hidrojenle çalışan otobüslerin İstanbul'da hizmet vermesi beklenmektedir. Bu otobüslerden bazılarının hidrojen yakıt hücreleriyle; bazılarının ise hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlar ile çalışması planlanmaktadır.

- **Arjantin’de, Rüzgârdan Hidrojen Üretimi Projesi:** Arjantin’deki bir bölgenin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla rüzgâr enerjisinden yararlanılarak hidrojen üretilmesi planlanmaktadır.
- **Güney Kore’de, Hidrojenle Çalışan Otomobil/Otobüs Projesi:** Proje, Güney Kore’nin güneydoğusunda Chonnam Bölgesi’nde bir hidrojen yakıtlı otomobil filosunun faaliyetini öngörmektedir. Gerekli hidrojen, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elde edilecektir.
- **Türkiye’de, Bozcaada’da Hidrojen Projesi:** Proje, nüfusunun kış dönemlerinde 3,000; yaz dönemlerinde ise 10,000 olan Bozcaada’da rüzgâr enerjisinden yararlanılarak hidrojen üretimini öngörmektedir. Hidrojen, yerli sanayi ve taşıma için gereken yakıt da dâhil olmak üzere, ada halkının yakıt ihtiyacını gidermek amacıyla kullanılacaktır.
- **Libya’da, Güneş Enerjisinden Hidrojen Üretimi Projesi:** Proje, Libya’daki bir bölgenin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla güneş enerjisinden yararlanılarak hidrojen üretimini içermektedir.
- **Hindistan’da, Hidrojenle Çalışan Üç Tekerlekli Araç Projesi:** Proje, Hindistan Delhi’de hidrojen yakıtlı üç tekerlekli araçlardan oluşan bir filonun oluşturularak hizmete sokulmasını içermektedir. Gerekli hidrojen, yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra kullanılmayan elektrikten faydalanılarak elde edilecektir (Hidrojentürk, 2005).

Dünyanın farklı bölgelerinde yürütülen bu tür çalışmalara ilave olarak, hidrojen konusunda asıl ağırlıklı ve yoğun çalışmaların ABD, Avrupa ve Japonya’da yürütüldüğünü belirtmek gerekir. Genel olarak ifade etmek gerekirse bu ülkelerde yürütülen çalışmalar bu alandaki ilerlemelerin öncülüğünü yapmaktadır; çünkü çok büyük olan enerji pazarından pay elde edebilmenin temel şartı, en kısa sürede ticarileşerek pazara girebilmektir. Bu ülkeler de bu alanda diğer ülkelere nazaran hem araştırma-geliştirme hem de ticarileşme yönünde önemli mesafeler kat etmiş durumdadırlar. Bu alandaki çalışmalar ve beklenen pazar büyüklükleri hakkında fikir vermek amacıyla aşağıda çeşitli ülkelerdeki durumun gözden geçirilmiş şekli ve bununla ilgili bir durum özeti verilmektedir.

Amerika'da 2005 yılındaki hidrojen piyasasının büyüklüğünün 798,1 milyon \$ civarında olduğu tahmin edilmiş ve bu rakamın 2010 yılında 1,605.3 milyon \$'a yükselmesi beklenmektedir (Fuji-Keizai, 2005). 2003 yılından itibaren gelecek 5 yıl için yalnızca yakıt hücrelerinin Ar-Ge faaliyetleri için toplam 1,7 milyar \$ harcama planlandığı belirtilmektedir (OECD, 2006). Brezilya ve Güney Amerika'da en büyük hidrogüç tesisi 'Haipu' kurulmuştur. Burada hidrojen gazı üretilmektedir (Momirlan ve Veziroğlu, 2002). Büyük ve gelişmiş bir endüstri olan hidrojen üretimi sayesinde dünyada 2004 yılında yaklaşık 50 milyon metrik ton hidrojen üretildiği ve büyüme hızının da yılda % 10 civarında olduğu bilinmektedir. Yalnızca Amerika içindeki hidrojen üretiminin ise 11 milyon metrik ton olduğu tahmin edilmektedir. Diğer bir ifade ile dünyadaki hidrojen üretiminin % 25'i yalnızca Amerika'da yapılmaktadır (Hidrener, 2006). Amerika'da petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil tabanlı yakıtlardan hidrojen enerjisine geçişin 2030'lu yıllarda büyük bir oranda gerçekleşeceği beklenmektedir (Yıldırım, 2006).

Ayrıca Amerika'da California valisi Arnold Schwarzenegger' in 2010 yılında her 20 milde bir 150-200 hidrojen istasyonu kurmayı hedeflemektedir. Bununla birlikte, 2005 yılında hidrojen otoyol projesi için 6.5 milyon \$'lık fon ayırmıştır (Fakıoğlu, 2006)

ABD'de yakıt hücreli otomobil kullananlar için petrol devi Shell, ilk hidrojen istasyonunu 2004 yılında Washington'da açmıştır. Sıkıştırılmış ve sıvı hidrojen satan Washington'daki istasyon; Shell ve otomotiv endüstrisinin önde gelen firmalarından General Motors'ın (GM) ortak girişiminin bir sonucudur. Uzmanlara göre ilk hidrojen istasyonunun açılmasını umut verici bulmalarına karşın otomobillerde yakıt hücresi teknolojisinin yaygınlaşmasının zaman alacağına dikkat çekmektedirler (Hürriyet Gazetesi, 2004).

Amerika'da hidrojen ve hidrojen teknolojileri konusunda araştırmalar yapan ve söz sahibi olan firmalar; Ballard Power Systems, UTC Fuel Cells, Fuel Cell Energy, Ford Motor Company ve General Motor ilk sıralarda yer almaktadır (Fuel Cell Today, 2007).

Avrupa'da 2003-2006 yıllarında yenilenebilir enerji için 2,1 milyar \$ harcamıştır. Bunun önemli bir kısmı hidrojen enerjisi için yapılmıştır (OECD, 2006). Avrupa'daki hidrojen enerjisi piyasası 2005 yılı itibarıyla 368 milyar \$ civarında tahmin edilmiştir

ve bu rakamın 2010 yılında ortalama yıllık % 15'lik büyüme ile 740 milyar \$'a ulaşması beklenmektedir (Fuji-Keizai, 2005). Avrupa Birliğinin CUTE adlı bir projesine göre, Helsinki'den yola çıkan bir aracın Avrupa ve Türkiye turundan sonra tekrar Helsinki'ye dönebilecek bir altyapının sağlanması planlanmıştır. Bu aracın gezi sırasında yakıt sıkıntısı çekmemesi için bir hat çizilmiş ve gezinin yapılacağı hatta hidrojen istasyonları kurularak aracın gezi sırasında yakıt sıkıntısı olmaksızın seyahat etmesinin sağlanması hedeflenmiştir. Bu alt yapının 2011 yılında tamamlanması planlanmaktadır. Projenin alt yapısı hâlihazırda Kuzey Avrupa ülkelerinde tamamlanmış durumdadır (Yıldırım, 2006; Muneer ve Kubie, 2003).

NaturalHy projesi, 6. Çerçeve Programlarıyla (2002-2006) Avrupa Komisyonu tarafından araştırma, teknolojik ilerleme ve demonstrasyon için ortak olarak finanse edilen entegre bir projedir. NaturalHy projesinin amacı hidrojenin enerji taşıyıcısı olarak gelişimine mani olan potansiyel engelleri ortadan kaldırmak, varolan doğal gaz sistemini bir değişim katalizörü olarak kullanmak, yakın-gelecekte hidrojen pazarına pratik geçişi başlatmaktır. Bu proje hidrojen pazarına geçişte ilk aşama olarak görülmektedir. NaturalHy proje takımı 39 ortaktan oluşan bir uluslararası konsorsiyumdur (Fakıoğlu, 2006).

Ayrıca Daimler Chrysler Avrupa'nın en kalabalık 10 şehrinde denenmek üzere birer adet hidrojen yakıtı ile çalışan 'CİTARO' adlı "0" emisyonlu ve 70 kişi taşıma kapasiteli toplu taşıma aracını test etmek üzere vermiş durumdadır. CİTARO, 600 Volt 200 KW'lık bir elektrik motoru ile hareket etmektedir. Altı kademli hız kutusuna sahip ve 9 çelik tüplük deposu 350 barda 40 kg hidrojen taşımaktadır. CİTARO fosil yakıtlı otobüslerin aksine statik halde iken elektrik ürettiğinden, ısıtma ve soğutma sistemlerini her an çalıştırabilme özelliğine sahiptir. Projenin amacı, farklı iklim koşullarında ve arazi şartlarında araçların verimini test etmektir. Bilindiği üzere büyük şehirlerde trafik yoğunluğunda fosil yakıt kullanan toplu taşıma araçları büyük ölçüde egzozları ile büyük miktarda hava kirliliğine sebep olmaktadır. Hidrojen yakıtı ile çalışan araçlarda ise egzoz olarak az miktarda saf su ortaya çıkmaktadır (Hidrojen Enerjisi Forumu, 2005a).

Bir pazarın geleceği ile ilgili tahminler, o pazarla ilgili beklentileri yansıtmaları bakımından önemlidir. Avrupa otomobil pazarıyla ilgili tahminler de bu pazarın

büyüme beklentileri hakkında önemli bilgiler içermektedir. Aşağıdaki tabloda hidrojen teknolojilerinin Avrupa'daki araba sayıları, yakıt istasyonları ve maliyetlerinin tahmini pazar büyüklüğü gösterilmektedir. Avrupa'da hidrojenle çalışan otomobillerle ilgili çok hızlı bir büyüme trendi beklendiği gözükmektedir. Bu durumun hidrojen tabanlı otomobil pazarını ve bu alandaki gelişmeleri olumlu yönde etkilemesi beklenmektedir (Polat ve Kılınç, 2007a).

Tablo 6: Avrupa'da Hidrojenle Çalışan Otomobillerin Yıllara Göre Tahmini-2005

Yıl	Otomobiller /Milyon Adet	Hidrojen Yakıt İstasyonları /Adet	Maliyet /Milyon £
2015	0.7	885	453
2020	6.1	2.791	3.524
2030	41.2	18.628	18.512

Kaynak: Menzen ve Neef, (2005)

Tablo 6'da görüldüğü gibi Avrupa'da hidrojen ile çalışmalar hızlı bir şekilde devam etmektedir. 2030 yılında 41.2 milyon adet hidrojen ile çalışan otomobilin piyasada olmasını hedeflemektedirler.

İngiltere 2004 yılının Ocak ayında, Londra'da iki otobüsle başladığı yakıt hücresi deneme programını 2005 yılının Aralık ayında tamamlamıştır (Wikipedia, 2007; Fernandes vd., 2005). İngiltere'de 2005 yılı itibarıyla hidrojen ve yakıt hücreleriyle ilgili 375'in üzerinde proje bulunduğu belirtilmektedir. İngiltere Ar-Ge faaliyetleri için 670 milyon £ ayırmış ve bu miktarın 280 milyon £ kısmı bizzat hükümet tarafından sağlanmıştır. İngiltere'deki projelerin toplam maliyetinin 276.000.000 £'i aştığı belirtilmektedir (Harrison, 2006). Bu arada bazı deneme programları başarıyla tamamlanmıştır.

İtalya'da son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının üzerinde daha fazla durmaya başlamıştır. 1996 yılında özel ve kamu sektörü Ar-Ge çalışmaları için 70,4 milyon \$ harcamıştır. İtalya'nın 2012 yılında yenilenebilir kaynaklardan enerji üretmeyi planladığı belirtilmektedir. Bu ülkenin yalnızca yakıt hücresi teknolojilerinin gelişimi için 1994-1998 yılları arasındaki Ar-Ge harcamalarının toplamı 56 milyon \$'ı bulmaktadır (Evans, 1999). İtalya, Almanya'dan sonra Avrupa'da hidrojen teknolojilerinin gelişimi için en fazla parasal yatırım yapan ikinci ülke konumunda gözükmektedir. 2004 yılı itibarıyla üç yıllık periyotlar halinde Ar-Ge çalışmalarına 90

milyon £ harcamıştır. Bu alandaki bütçesinin % 42'lik Ar-Ge payı ile en çok PEM yakıt hücresine ağırlık verdiği gözükmektedir. Kullanım alanları arasında ise % 55'lik oran ile ulaşım ilk sırada gelmektedir. Ulaşımı % 26 ile sabit kullanımlar ve % 19 ile taşınabilir kullanım alanları takip etmektedir. İtalya'da hidrojen teknolojileri konusunda anahtar konumda olan kurumlar arasında ise Ansaldo Fuel Cells, İtalyan skoter ve motorlu bisiklet üreticisi Aprilia, Celco Profil, Centro Richerce Fiat, Nuvera Fuel Cells başta gelmektedir (Geiger, 2004).

Almanya'nın yakıt hücreleriyle ilgili Ar-Ge çalışmaları 1974'lere dayanmaktadır. Almanya, yakıt hücreleriyle ilgili Ar-Ge çalışmalarını özellikle son on yılda yoğunlaştırmış durumdadır. Alman hükümeti, yakıt hücreleri için 2004 yılında 8-10 milyon £ arasında bir Ar-Ge bütçesi ayırmış ve bu rakam özel sektörün de katılımıyla yıllık 16-20 milyon £'yu bulmuştur (Neef, 2004). Almanya'da Neurenburg yakınlarında küçük bir hidrojen enerjisi sisteminin kurulduğu bir program yürütülmektedir. Almanya ayrıca Suudi Arabistan ile ortak yürüttüğü Hysolar Programı ile Suudi Arabistan'ın Riyad yakınında solar hidrojen üretim tesisi kurulması planlanmaktadır (Abaoud and Steeb, 1998: 445-449). Bu program hala devam etmektedir ve program çerçevesinde güneşten enerji üretimi sağlanmaktadır. Ayrıca Almanya'da 1995'ten bu yana eyaletler arasında da çeşitli araştırma programları yürütülmektedir. Örneğin, Almanya'nın güneyinde bulunan Baviera Eyaleti ile IPHE (Institute of Plumbing and Heating Engineering) arasında Baysolar adlı program yürütülmektedir. Ayrıca Almanya'da hidrojenle çalışan küçük otobüsler, küçük traktörler ve küçük yük taşıtları pazarları gelişmiş durumdadır. Hidrojen altyapısı, küçük mobil yakıt hücreleri ve taşınabilir araçların kullanımında daha fazla gelişmiş durumdadır (Menzen ve Neef, 2005).

Fransa'nın yakıt hücreleriyle ilgili Ar-Ge çalışmalarının başlangıcı çok daha eskilere, 1960'lı yıllara dayanmaktadır. Bu ülkede, 2004 yılındaki hidrojen ve yakıt hücresi Ar-Ge harcamalarının % 57'sini özel sektör, % 43'ünü de kamu sektörü gerçekleştirmiştir. Bu, konuya verilen önemin derecesini göstermesi bakımından anlamlıdır. Ayrıca Fransa'daki projelerin % 52'sinin yakıt hücreleri; % 32'sinin ise hidrojenle ilgili olduğu belirtilmektedir. Fransa'da hidrojen teknolojileri konusunda araştırma yapan çeşitli kamu araştırma merkezleri bulunmaktadır Bunlardan bazıları

CEA (Atomic Energy Commission), CNRS (Centre National de Recherche Scientifique) ve IFP (Institut Français du Pétrole)'dır. CEA hidrojen üretimi, depolanması, PEM ve SOFC yakıt hücreleri üzerine çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalar farklı merkezlerde 135 araştırmacı tarafından yapılmaktadır. CNRS hidrojen ve yakıt hücresi ile ilgili çok büyük araştırmalar yapan gelişmiş bir merkezdir. IFP ise yıllardır hidrojen üretimi, depolanması, kullanımı ve ulaşımı üzerinde araştırmalar yapmaktadır (Fernandes vd., 2005; IEA Hydrogen Coordination Group, 2004).

Fransa'nın hidrojen alanındaki Ar-Ge çalışmalarına verdiği önem artarak devam etmektedir. Kamu ve özel ortaklığı ile oluşan Ulusal Araştırma Merkezi (NRA-National Research Agency) 2005 yılında 30 milyon £ ve 2006 yılında 40 milyon £ Ar-Ge harcaması yapmıştır. Hidrojen için 2006 yılında ayrılan 40 milyon £ bütçenin % 55'i yakıt hücresi için, % 20'si, hidrojen üretimi için, % 20'si ulaşım, dağıtım ve depolama için ve diğer % 5'i ise farklı alanlardaki faaliyetler için ayrılmıştır. Fransa aynı zamanda Avrupa'da hidrojen ve yakıt hücreleriyle ilgili birçok projede yer almaktadır (Frois, 2006).

Norveç'in bir adası Utsira'da ekonominin sadece hidrojene dayandığı bir pilot proje sürdürülmektedir. Rüzgâr jeneratörleri ile üretilen enerjinin fazlası, elektroliz yöntemi ile hidrojene dönüştürülmekte ve rüzgârın yetersiz olduğu zamanlarda tekrar elektrik elde etmek üzere hidrojen gazı olarak depolanmaktadır (Wikipedia Sözlük, 2007b).

Avustralya'da Planlama ve Altyapı Departmanı Perth şehrinde, sürdürülebilir taşıma enerjisi programı için üç adet Daimler Chrysler Citaro yakıt hücresi ile denemelerini sürdürmektedir. Deneme 2004 yılının Eylül ayında başlamış olup, 2006 yılının Eylül ayında sona ermiştir. Otobüsler proton dönüşümlü membran sistem yakıt hücresi ile çalışmakta olup, Perth'in güneyindeki Kwinana'da kurulu BP'nin bir yan ürünü olarak üretilen ham hidrojen ile denenmektedirler (Wikipedia Sözlük, 2007b).

Japonya, ABD ve Avrupa Birliği'nin yanında hidrojen enerjisi ve hidrojen teknolojileri konusunda en fazla çalışmaların yapıldığı öncü ülkelerden birisidir. Japonya'nın hidrojen ve yakıt hücreleri için ayırdığı Ar-Ge bütçesi 2003 yılında 30,7 milyar ¥ (yaklaşık 316 milyon \$) civarındadır. Japonya'da hidrojen ve yakıt

hücrelerinin piyasa değerinin 2012 yılında 3,9 milyar \$'a ulaşması beklenmektedir (Canada's Business and Consumer Site, 2006). 2004 yılında yalnızca yakıt hücreleri için yapılan Ar-Ge harcamaları 320 milyon \$ civarındadır (OECD, 2006).

Japonya'da hidrojen ve hidrojen teknolojileri ile ilgili bir çok farklı alanda çalışmalar devam etmekte ve büyük çaplı projeler yürütülmektedir. Örneğin; WE-NET (World Energy Network) projesi ile Tokyo metropolünde hidrojen kullanımı ile oluşacak azot oksit emisyonundaki azalma potansiyeli araştırılmaktadır. WE-NET Programı Japonya'nın Uluslararası Ticaret ve Endüstri Bakanlığınca desteklenen bir program olup, Japonya hidrojen enerji sisteminde ilerleme sağlamak amacıyla 2020 yılına kadar 4 milyar \$ dolayında bir harcama planlanmaktadır (Momirlan and Veziroğlu, 2002:141-179). Bütün bu rakamlar Japonya'nın konuya ne derece önem verdiğini göstermesi bakımından önemlidir. Zaten Japonya, günümüz itibarıyla hidrojen teknolojileri konusunda ABD ve AB ile baş başa gitmektedir ve belki de daha ileri olduğu söylenebilir.

Toyota, Honda, Matsushita Electric, Osaka Gas, Sanyo Electric, Tokyo Gas, Japan Gas Association ve Fuel Cell Development Information Centre; Japonya'da hidrojen ve hidrojen teknolojileri konusunda araştırmalar yapan ve söz sahibi olan firmalardır (Fuel Cell Today, 2007).

Çin, dünyanın en hızlı gelişen ve en büyük ekonomilerinden birisi olarak hidrojen teknolojileri konusunu oldukça yakından takip eden ülkelerden birisidir. Çin'in 2004 yılı hidrojen enerjisi ve yakıt hücreleri altyapısı için Ar-Ge yatırımlarının miktarı yaklaşık 2,8 milyar \$ civarındadır (Canada's Business and Consumer Site, 2006). 2002 yılı itibarıyla Çin'de yıllık alternatif yakıt piyasasının 75 milyon \$ olduğu; bu rakamın 2008 yılında ise 1,8 milyar \$'a ulaşması beklenmektedir. Çin dünyadaki yakıt hücreleri pazarı için en büyük potansiyellerden birine sahiptir. Özellikle ulaşım sektörü, Çin'de yakıt hücreleri için en önemli pazarlardan biri olarak nitelendirilmektedir (Feller, 2004). Çin bazı alanlardaki uygulamalar bakımından ilk sıralara yerleşmiş bir ülkedir. Örneğin; yakıt hücresi ile çalışan otobüs üretiminde 2003 yılında 66,700 adet; 2004 yılında ise 78,712 adet üretimle dünyada ilk sırada yer almaktadır. Çin'i sırasıyla Amerika, Brezilya, Rusya ve Güney Kore izlemektedir (Jungguang, 2006).

Çin de, Japonya’da olduğu gibi hidrojen teknolojileri konusunda da büyük projeleri uygulamaya koymuş bir ülkedir. Örneğin; Hidro Hidrojen Projesi bunlardan birisi olarak gösterilmektedir. Bu proje ile Çin’deki bir bölgenin enerji ihtiyacının su enerjisinden elde edilen hidrojen üretimiyle sağlanması amaçlanmaktadır (Hidrojenturk, 2005). Çin, mevcut ekonomik potansiyeli, bu alanda yaptığı çalışmalar, yatırım miktarları ve elde ettiği teknoloji düzeyi ile hidrojen ve hidrojen teknolojileri alanında dünyanın en büyük pazarlarından birisi olmaya şimdiden aday olduğunu göstermiş durumdadır.

Güney Kore de hidrojen teknolojileri konusundaki gelişmeleri yakından takip eden ülkelerden birisidir. Güney Kore hükümeti, hidrojen enerjisi ve yakıt hücrelerinin gelişimi için özel bir Ar-Ge programı oluşturmuştur. Bu program çerçevesinde Ar-Ge faaliyetleri ve diğer çalışmalar 2003-2005, 2006-2008 ve 2009–2012 olmak üzere üç aşama olarak planlanmıştır (Adamson, 2005c). Güney Kore’nin 2004 yılındaki Ar-Ge bütçesi % 4,8’lik artış ile 2,17 milyar \$ civarında olmuştur. Bu bütçenin büyük kalemleri şunlardır. 52,3 milyon \$’ı temel Ar-Ge programı için; 97,1 milyon \$’ı endüstri teknolojisi için; 26,6 milyon \$’lık bir kısmı ise sağlık ve çevre araştırmaları için ayrılmıştır (Howard ve Tong, 2004). Güney Kore de ulaşım alanında “Hidrojenle Çalışan Otomobil/Otobüs Projesi” yürütülmektedir. Bu proje ile Güney Kore’nin güney doğusunda Chonnam Bölgesi’nde hidrojen yakıtlı bir otomobil filosunun çalıştırılması planlanmıştır. Gerekli hidrojen, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elde edilecektir (Hidrojenturk, 2005). Güney Kore, son yılların en hızlı gelişen ve özellikle elektrik-elektronik ve otomotive konularında yaptığı sıçrama ile kendisini kabul ettiren bir ülke olarak hidrojen teknolojisi konusunda da var olduğunu göstermiştir.

Kanada geçmiş 20 yıl boyunca hidrojen ve yakıt hücresi sektörüne yıllık 200 milyon \$’dan fazla Ar-Ge yatırımı yapmıştır (Canada’s Business and Consumer Site, 2006). Avrupa topluluğu ile Kanada hükümeti arasında 100 MW’lık hidroelektrik gücünün hidrojene çevrilerek Avrupa’ya nakli için fizibilite çalışmaları yapmaktadırlar. Hidroelektrik fazlalığı bulunan Kanada hükümeti fazla elektrik enerjisini elektroliz yolu ile hidrojene çevirip, tankerler ile Avrupa’ya ulaştırmayı planlamaktadır. Hidrolik potansiyelden, güneş enerjisinden veya rüzgâr enerjisinden elde edilen düzensiz enerji

türleri, hidrojene çevrilmek sureti ile istediğiniz zaman kullanmak üzere stoklanabilmektedir (Fernandes vd., 2005; Hidrojen Enerjisi Forumu, 2005).

BC (British-Columbia) Hidrojen Otoyolu; Kanada teknoloji sağlayıcıları, devlet ortakları ve hidrojenle yakıt hücresi ürünlerini pazara getirmek için çalışan katılımcı kuruluşlarından oluşmaktadır. Amaç Kanada'yı, hidrojen yakıt hücresi teknolojileri araştırmaları ve uygulamaları için bir yatırım bölgesi haline getirmektir (Fakıoğlu, 2006).

Kanada'da % 15 - 20 hidrojen ve % 80 - 85 doğal gaz karışımından oluşan 'Hytane' adlı yakıt ile çalışan yeni bir otobüs 1993 senesinden beri Montreal'de denenmektedir (Desteknik, 2007). Kanada'nın bu alandaki çalışmaları ilgi çekicidir.

İzlanda, hidrojen enerjisindeki gelişmeler bakımından en dikkat çekici ülkelerden birisidir. İzlanda, hidrojen konusunda kendi yirmi yıllık perspektifini hazırlamış ve 20 yıl sonra Avrupa'nın, hatta tüm dünyanın hidrojen üretim merkezi olacağını açıklamış bir ülkedir. İzlanda üniversitelerinde yapılan mastır ve doktora tezleri ile yapılan bilimsel çalışmaların birçoğu, hidrojen üretimi ve depolamasına ilişkindir. İzlanda hükümeti, büyük kuruluşlara hidrojen alanında çalışmaları durumunda teşvik ve hidrojen üzerine faaliyette bulunmak üzere açılan şirketlere beş yıl boyunca vergi muafiyeti gibi destekler sağlamaktadır. Hidrojen konusundaki bu uygulamaların henüz 7-8 yıllık bir geçmişi olmasına rağmen İzlanda bu alanda oldukça ileri bir duruma gelmiştir.

Türkiye ve İzlanda'yı karşılaştıracak olursak; İzlanda'nın Türkiye'den bu konuda yaklaşık 20-30 yıl ileride olduğu iddia edilebilir (Yıldırım, 2006). Bu alandaki uygulamalar oldukça mesafe kat etmiş durumdadır. Örneğin; İzlanda'da üç otobüs ve bir gemi şimdiden hidrojen enerjisi ile çalışmaktadır. İzlanda, 2050 yılında hidrojene dayalı bir ekonomiye geçmeyi, ülkedeki tüm otomobilleri, otobüsleri ve diğer taşıtları tamamen hidrojenle çalıştırmayı ve yakıt ihtiyacını tamamen hidrojenden karşılayarak petrol bağımlılığından kurtulmayı hedeflemektedir. Bu çerçevede sıkıştırılmış hidrojenle çalışan küçük bir şehir içi otobüs filosu deneme amaçlı olarak faaliyetlerini sürdürmektedir. Ayrıca; balıkçı filolarının hidrojen enerjisi kullanmasına dair araştırmalar ve -maliyeti büyük ölçüde enerjiye dayanan- alüminyum ergitme tesisi

gibi tesislerin kurulmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir (Maack ve Skulason, 2004; Wikipedia Sözlük, 2007b)

Kısaca İzlanda'da Hidrolik ve jeotermal enerji, H₂ dolun istasyonu, Yakıt hücreli otobüsleri, hidrojen arabaları, hidrojen balıkçı teknesi filosu gibi birçok proje Shell Hidrojen, NorskHidro, DaimlerChrysler konsorsiyumunda yürütölmektedir (Fakıoğlu, 2006).

2.4. Türkiye'deki Hidrojen Çalışmaları, Hidrojen Enerjisi ve Hidrojen Tabanlı Pazarlar

Türkiye geniş enerji kaynaklarına sahip olmasına rağmen, ciddi oranda enerji açığı bulunan bir ülke konumundadır ve son yıllarda bu durum resmi ve özel kanallar aracılığıyla sık sık gündeme getirilmektedir (Hamzaçebi, 2006; Kaya, 2006). Türkiye enerji tüketiminin % 60'dan fazlasını ithal etmekte, bu sebepten dolayı ise enerji ithal miktarı giderek artmaktadır. Bu durum enerji talebi için yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışına yol açmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları -güneş, rüzgar, biomas, solar, hidrojen- sınırsızdır ve her bir yenilenebilir enerji kaynaklarının olumlu ve olumsuz yönleri mevcuttur (Kaya, 2006). Bu enerji kaynakları arasında en iyi enerji kaynağı ise yukarıda da bahsettiğimiz bir çok özelliğinden dolayı hidrojen enerjisidir.

Ülkemizde yakıt hücrelerine -hidrojen enerjisine- verilen önem diğer alternatif kaynaklarda olduğu gibi düşük düzeydedir. Ülkemizde yakıt hücresi konusunda İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ), Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) ve Niğde Üniversitesinde çalışmalar yapılmaktadır. Konutlarda yakıt hücresinin kullanımı ve Türkiye'de yakıt hücresi üretimi amacıyla, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi (TÜBİTAK) ve Teknoloji İzleme Ve Değerlendirme Başkanlığı (TİDEB) tarafından desteklenen bir proje başlatılmıştır. Proje kapsamında, doğrudan hidrojenle çalışan veya bir yakıt işlemci ilavesi ile doğal gaz veya LPG ile de çalışabilecek, bir prototip üretilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca UNIDO desteği ile İstanbul'da Uluslar arası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi kurulmuştur (TMMOB Enerji Raporu, 2006).

Birleşmiş Milletlere bağlı Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi (UNIDO-ICHET) ile tarihi bir misyon üstlenmiştir. Böylece Türkiye hidrojenle

birlikte enerji ithal eden bir ülke konumundan çıkarak, enerji ihraç eden bir ülke konumuna gelecektir. Son yıllarda hidrojen enerjisi ve yakıt hücreleri teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanmasında, endüstri-üniversite işbirliği kapsamında umut verici gelişmeler de yaşanmaktadır (Aytaç, 2007).

Türkiye’de hidrojenin taşınması, saklanması, üretimi ve diğer konuları ile ilgili olarak değişik üniversitelerde yapılan araştırma-geliştirme çalışmaları genel olarak şunlardır.

- Değişik gaz karışımları ve hidrojenin boru ile taşınması
- Hidrojen-metan kombinasyonunun yakılması
- Sıvı hidrojen tanklarında basınç yükselmesinin incelenmesi
- Doğal gaz motorlarında yakıtta hidrojenin katılmasının etkileri
- Hidrojen eldesi için güneş hücrelerinin kullanımı
- Hidrojenin fotokimyasal yolla üretimi olarak sıralanabilir (Desteknik, 2007).

Türkiye, enerji ihtiyacının çok büyük bir kısmını geleneksel enerji kaynaklarından sağlamaktadır. Örneğin; enerji ihtiyacının % 85 gibi çok büyük bir kısmının kaynağını petrol, taşkömürü, doğalgaz ve linyit oluşturmaktadır. Ayrıca enerjisinin % 70 veya daha fazlasını da ithal kaynaklardan sağlayan bir ülke durumundadır (Turan, 2006). Örneğin; 2004 yılı itibarıyla Türkiye’deki birincil enerji kaynakları üretimi 25,2 Mtep (Milyon ton petrol eşdeğeri), genel enerji tüketimi ise 87,8 Mtep olarak gerçekleşmiştir ve bu durumda, üretimin tüketimi karşılama oranı % 29 civarında olmaktadır. Genel enerji tüketiminde % 38 ile petrol, % 27 ile kömür, % 23 ile doğal gaz ve geriye kalan % 12’lik pay ile de -hidrolik dâhil olmak üzere- yenilenebilir kaynaklar gelmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2007).

Türkiye’nin geleneksel enerji kaynaklarına bağımlılık düzeyini göstermesi bakımından -daha somut bir örnek olarak- elektriğin elde edildiği enerji kaynaklarına bakmak faydalı olacaktır. Bu çerçevede, Türkiye’de üretilen elektrik enerjisinin nerelerden ve hangi oranlarda elde edildiği tablo 7’de detaylı olarak sunulmaktadır.

Tablo 7: Türkiye’de Üretilen Elektrik’in Kaynakları ve Payları

Enerji Kaynakları		Miktar /GWh		Oran (%)	
Termal		104.898,50		74,78	
	Kömür	8.718,90		6,22	
	Linyit	23.630,00		16,85	
	Petrol	8.661,50		6,17	
	Dizel	0,20		0,00	
	Doğalgaz	62.300,30		44,41	
	Jeotermal	88,60		0,06	
	LPG	369,40		0,26	
	Nafta	1.059,50		0,76	
	Diğer	70,10		0,05	
Rüzgâr		61,40		0,04	
Hidrolik (Su)		35.323,60		25,18	
Toplam		140.283,50		100,00	

Kaynak: Yavaş, (2006)

Buna göre, elektrik üretiminin büyük bir kısmının termal enerji kaynaklarından elde edildiği ve bunlar arasında da doğalgaz (% 44), linyit (% 16,85) ve kömür (% 6,22) gibi fosil tabanlı yakıtların ağırlıklı olduğu gözükmektedir. Bu çerçevede 20 yıl ya da daha uzun süreli bir projeksiyon yapıldığında hidrokarbon kullanan (kömür, linyit, fuel-oil, dizel, doğalgaz vb) proseslerin yerlerini elektrik üretiminde hidrojen kullanan proseslere bırakacağı tahmin edilmektedir (Yavaş, 2006).

Bu çerçevede hidrojen, -elektrik üretiminin yanında- ülkemizde fosil tabanlı enerjilerin kullanıldığı çok sayıdaki alanda önemli bir alternatif olacaktır. Gerçi mevcut şartlarda Türkiye’de hidrojen enerjisine kısa dönemde bir geçiş beklenmemektedir ancak dünyadaki gelişmeler doğrultusunda bu geçişin uzun vadede de olsa zorunlu hale geleceği açık olarak görülmektedir. Hidrojen ve hidrojen teknolojileri konusunun ülkemizde de önümüzdeki on ile yirmi yıl arasında ciddi oranda ticarileşeceği düşünülmektedir (Yılmaz, 2006b). Bu bağlamda, hidrojen enerjisinin Türk enerji piyasasındaki pazar büyüklüğünün 2070’li yıllar itibarıyla ise % 60 -70 oranlarına ulaşacağı tahmin edilmektedir (TPAO, 2003).

Ülkemizde hidrojen ve hidrojen teknolojileri konusunda dünyadaki gelişmeleri ne derece yakından takip edebildiği konusunda soru işaretleri bulunmakla birlikte bu alanda ülkemiz açısından dikkat çekici çalışmaların yapıldığını da belirtmek gerekir. Türkiye birkaç nedenden dolayı bu alanda önemli gelişmeleri yakalama potansiyeli olan bir ülkedir. Geliştirilebilir Ar-Ge altyapısı, hidrojen üretimine uygun kaynakları

ve konunun önemini anlayan ve bu alana yatırım yapan bir özel sektör ile Türkiye bu fırsatı yakalama şansına sahiptir (Polat ve Kılınç, 2007a).

Birleşmiş Milletler Endüstriyel Gelişme Organizasyonu bünyesinde kurulan Uluslar arası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi'nin (International Center for Hydrogen Energy Technologies-UNIDO-ICHET) İstanbul'da kurulmuş olması, ülkemiz için son derece önemli bir fırsattır. Türkiye bu sayede bu alandaki gelişmeleri yakından takip etme imkânı yakalayabilecektir. Bu sayede önemli derecede bir bilgi ve teknoloji transferinin yapılabilmesi de mümkün olabilir. Türkiye UNIDO-ICHET sayesinde dünyada hidrojen teknolojileri ve ürünlerinin üretim merkezi haline gelebilir (Hidrener, 2006). Bu çerçevede UNIDO-ICHET'in amacı, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında, hidrojen enerjisi alanında bir köprü oluşturmak ve bu konuda işbirliği içinde uygulamalı araştırma-geliştirme çalışmaları yapmaktır. UNIDO-ICHET'in çalışmaları arasında, hidrojen enerjisi konusunda konferanslar ve eğitim programları düzenlemek, danışmanlık yapmak da bulunmaktadır (Hidrojen Enerjisi, 2007)

Türkiye, hidrojen konusunda yüksek potansiyele sahip olan ülkelerden birisi olup hidrojen üretimi konusunda önemli avantajlara sahip bir ülkedir. Karadeniz'in tabanında kimyasal biçimde depolanmış büyük hidrojen potansiyeli bulunmaktadır. Karadeniz'in suyunun % 90'ı anaerobiktir ve hidrojen sülfür (H_2S) içermektedir. 1.000 metre derinlikte 8 ml/l olan H_2S konsantrasyonu, tabanda 13,5 ml/l düzeyine ulaşmaktadır. Elektroliz reaktörü ve oksidasyon reaktörü gibi iki reaktör kullanılarak, H_2S 'den hidrojen üretimi konusunda yapılmış teknolojik çalışmalar mevcuttur. Karadeniz'deki H_2S 'e ilave olarak, Türkiye'nin enerji portföyü arasında bulunan linyit ve bor rezervleri de temiz yöntemlerle üretime uygun hidrojen kaynaklarıdır. Türkiye, güçlü kaynaklarına ek olarak hidrojenin depolanması, emniyetli kullanımı ve ekonomik bir şekilde nakledilebilir hale gelmesinde çok önemli bir fonksiyonu yerine getiren bor türevleri konusunda da dünya rezervlerinin % 60'ına sahiptir. Ayrıca, Türkiye'nin üç tarafının denizlerle kaplı olması, göller ve akarsularının oldukça fazla sayıda bulunması, ayrıca yağışlı bölgelerinin de çok olmasından dolayı hidrojen elde edilmesi için önemli bir avantaj oluşturmaktadır (Ertürk, 2006: 21–24).

Türkiye'de hidrojen yakıtı üretiminde kullanılacak kaynaklardan bazıları, hidrolik enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, deniz-dalga enerjisi, jeotermal enerji ve adım

atılması gereken nükleer enerjidir. Türkiye gibi gelişme sürecinde ve teknolojik geçiş aşamasındaki ülkeler açısından, uzun dönemde fotovoltaiik güneş-hidrojen sistemi uygun görülmektedir (TÜSİAD, 1998).

Özel sektör firmaları, dünyanın hemen hemen bütün gelişmiş ülkelerinde Ar-Ge konusundaki finansal destekleri ve fiili çalışmaları ile gelişmenin öncülüğünü yapmaktadırlar. Çünkü Ar-Ge çalışmaları sonucunda elde edilebilecek ürünlerin ticarileştirilebilmesi tamamen firmaların ticari becerilerine bağlı bir olaydır. Yüksek oranda getiri elde edebilmek için firmaların çoğunlukla yüksek risk üstlenmeleri bir zorunluluk olmaktadır ve Ar-Ge çalışmaları da bu kategoride yer almaktadır. Özellikle hidrojen enerjisi ve hidrojen teknolojileri gibi ileri teknolojik ürünlerde bu durum daha belirgindir. Ancak bugünün yoğun rekabet ortamında firmaların ayakta kalabilmeleri, teknolojiyi yakından takip edebilmeleriyle direkt olarak ilişkilidir. Ülkemizde de bunun farkına varmış ve teknolojiyi yakından takip etmeye çalışan çeşitli firmalar mevcuttur (Polat ve Kılınç, 2007a).

Zorlu Grubu, dünyada büyük bir pazar olarak görülen ve gittikçe büyüyen enerji pazarına yönelik olarak 'hidrojen enerjisi' alanında yaptığı Ar-Ge çalışmaları, geliştirdiği ürünler ve teknolojiler ile Türkiye'de bu alanda liderliği hedefleyen ve dünyada da önemli bir firma haline gelmeyi kendisine ilke edinen firmalardan birisidir. Zorlu Grubu, cep telefonları ve bilgisayar gibi cihazlara enerji sağlamak amacıyla geliştirilen yakıt hücreleri, konutların tüm enerji ihtiyacını karşılayacak katı-oksit yakıt hücreleri, sıvı olarak elde edilen hidrojenin güvenli olarak taşınmasına ve depolanmasına imkân tanıyan yeni teknikler ve diğer alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmaktadır. Grup, üniversiteler ve diğer araştırma kuruluşları ile yakın bir işbirliği içinde çalışmakta ve bu alanlarda çeşitli projeler yürütmektedir. Grup tarafından çeşitli basılı ve görsel medya araçlarına yapılan açıklamalarda bazı alanlarda önemli ilerlemelerin elde edildiği ve bazı ürünlerin ticarileşme aşamasına geldiği belirtilmektedir. Zorlu Grubu Türkiye'deki kaynakların değerlendirilmesi ve dünyaya açılması için teknoloji üretimine ağırlık vermiştir (Zorlu Grubu, 2005).

Bir akaryakıt firması olan Aytemiz, ABD'li gaz şirketi Praxair ile hidrojen üretim çalışmalarını yürütmektedir. Elimsan Topluluğu, Plug Power şirketi ile birlikte 5 kW'lık yakıt hücreleri geliştirmiştir. Fırat otomotiv, otomobillerde hidrojen üreten

Hidroksit adlı bir ürün geliştirmiş durumdadır. Bu ürün, % 25 oranında yakıt tasarrufu ve performansı artışı ve karbondioksit emisyonunda da % 70'lik bir azalma sağlamaktadır. Endüstriyel uygulamalar için enerji dağıtım sistemleri üzerine çalışan EAE Elektrik de hidrojenle beslenerek elektrik üretimi yapan 1,5 watluk bir yakıt hücresi geliştirmiştir. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü tarafından yürütülen Türkiye'nin hidrojen enerjisi ile çalışan ilk melez otomobili projesinin de kısa zamanda tamamlanması beklenmektedir (Dellaloğlu, 2007).

Hidrojeni elektrik enerjisine çevirmenin en iyi yolu olan yakıt hücrelerine ilişkin çalışmalar son yıllarda Türkiye'de de önemli oranda artmaya başlamıştır. Bu çalışmalardan biri, Ford Otosan, Arçelik, TOFAŞ, Aygaz ve Demirdöküm firmaları ile Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi(MAM) işbirliği ile geliştirilmesi, üretilmesi ve ticarileşmesi planlanan yakıt hücresi projesidir (Yıldırım, 2006).

2.5. Türkiye'de Varolan Hidrojen Tabanlı Projeler

Türkiye'de de hidrojen teknolojileri konusunda göze çarpan bir hareketlilik söz konusu olmakla birlikte, bu konuda henüz oldukça gerilerde yer aldığımız bilinmektedir. Türkiye'deki çabaların en büyük dezavantajı, bu konularda henüz bir devlet politikasının oluşturulamamış olmasıdır. Örneğin; Japonya, İzlanda ve Güney Kore gibi ülkelerde bu alanla ilgili önemli planlamalar yapılmıştır ve bunlar önemli denilebilecek büyüklükteki bütçelerle desteklenmektedir. Türkiye'de ise bu konudaki çalışmalar çoğunlukla firma bazlı ve çoğunlukla birbirinden kopuk olarak yürütülmektedir. Gerçi göze çarpan ve önemli sayılabilecek nitelikteki çalışmalar da yok değildir. Örneğin; yenilenebilir enerji teknolojileri alanına 20 milyon \$'ı aşkın bir harcama yapan ve 2-2,5 yıldır bu alanda çalışan Vestel, geliştirdiği bir yakıt hücresini hemen hemen piyasaya sürme aşamasına gelmiştir. Evlerin her türlü enerji ihtiyacını karşılayacak olan katı oksit yakıt hücresinin yakın dönemde pazara sunulması beklenmektedir. İlk versiyonu doğalgazlı olacak olan katı oksit yakıt hücreleri sayesinde evlerdeki toplam elektrik ve doğalgaz harcamalarının % 15 civarında düşmesi beklenmektedir. Daha sonraki dönemde ise katı oksit yakıt hücrelerinde sadece katalizör adı verilen parçanın değişimi ile doğalgaz yerine su kullanılmaya başlanılacaktır. Suyun kullanımı ile birlikte bir evin, mevcut elektrik ve

doğalgaz faturasının % 10'u kadarlık bir harcama ile ısı ve elektrik ihtiyacını karşılayabilir hale gelmesi beklenmektedir. Evlerde enerji ihtiyacını karşılayacak olan katı oksit yakıt hücrelerinin ilk aşamada 1 kilovatlık enerji üretim gücü başına satış fiyatının 5 bin \$ civarında olması beklenmektedir. Türkiye'de bir evin ortalama saatlik enerji ihtiyacının ise 2.5 kilovatt düzeyinde olduğu tahmin edilmektedir. Evlerinde enerji harcamalarını % 90 azaltmak isteyenler mevcut durumda yaklaşık 12.500 \$'lık bir yatırıma ihtiyaç duyacaklardır. Örneğin, Japonya Başbakanı'nın evine kurulan 51 bin \$'lık yatırımın 42 bin \$'ı devlet tarafından, 9 bin \$'ı ise konut sahibi tarafından karşılanmıştır. Bu çerçevede Türkiye'de yaklaşık 15 milyon hane bulunmaktadır. 15 milyon hanenin yakıt hücresine dönüşüm maliyetinin yaklaşık 60 milyar \$'ı bulması beklenmektedir. Ancak evlerde kullanılacak bu yakıt hücrelerinin fiyatlarında % 30-40 civarında bir maliyet düşüşünün gerçekleşeceği tahmin edilmektedir (Hürriyet Ekonomi, 2007).

Türkiye'de Vestel'in projesinden başka birçok uygulama ve araştırma projeleri de yürütülmektedir. Ancak -uygulama projeleri zaman zaman medyaya yansımakla birlikte- bu tür projelerin özellikle gizli yürütüldüğünden dolayı maalesef bu konuda yeterli ve yakından bir bilgilenme oldukça zor olmakta ve gelinen noktayı değerlendirmek çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Ancak uygulama projelerini takip etmek daha kolay olmaktadır. Bu çerçevede Türkiye'de çok çeşitli uygulama projelerinin yürütüldüğünü belirtmek gerekir (Polat ve Kılınç, 2007a). Bu çerçevede Türkiye'de yürütülen projelerden bazıları aşağıda özetlenmiştir.

- **Atatürk Hava Meydanı Otobüs Projesi:** TPAO ve TEMSA'nın ortak olarak yürüttükleri bir projedir. TEMSA'nın ürettiği hidrojenle çalışan otobüsler hava meydanı içinde ve dışında TPAO tarafından işletilecektir. Otobüslerde içten yanmalı motorların kullanılması planlanmaktadır (Hidrojenturk, 2005). UNIDO-Ichet, THY (Türk Hava Yolları), TPAO ve TEMSA konsorsiyum ortaklarıdır.
- **Hidroelektrik-H₂ Projesi:** Hidroelektrik enerji, suyun hidrojen ve oksijene ayrıştırılması için kullanılır. Üretilen hidrojen doğalgaz boru hattı ile istenilen yere ulaştırılır. UNIDO-ICHET, TPAO, İGDAŞ, EÜAŞ ve Erikoğlu A.Ş. bu projede konsorsiyum ortakları olarak çalışmaktadır (Yılmaz, 2006b).

- **Rüzgâr-Hidrojen Projesi:** Demirer Holding, BOS, Çukurova Holding ve Unilever şirketlerinin yer aldığı bir konsorsiyum tarafından yürütülecek proje, rüzgârdan hidrojen üretimini öngörmektedir (Hidrojenturk, 2005).
- **HYDEPARK Projesi:** DPT tarafından desteklenen ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Enerji Enstitüsü tarafından yürütülen 'HYDEPARK' isimli proje ile doğal gaz, kömür gibi hidrokarbon temelli yakıtlardan ve yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji ve hidrojen üretme teknolojilerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Üretilen hidrojen için depolama teknolojilerinin uygulanması ve geliştirilmesi planlanmaktadır. Projenin son aşamasında ise hidrojenli araçlar için bir yakıt istasyonunun kurulması hedeflenmektedir (Ersöz, 2007).
- **Hastane Projesi:** Ankara'da bir hastanede hidrolizle oksijen ve hidrojen üretimi planlanmaktadır. Oksijen, ameliyathanede ve bebek doğum kısmında; hidrojen ise ambulans yakıtı ve yemek pişirmede kullanılacaktır. Projenin Haziran 2008'de bitmesi planlanmaktadır (Hidrojenturk, 2005). UNIDO-ICHET, Sağlık ve Sosyal Yardım Vakfı, DSİ (Devlet Su İşleri) ve EÜAŞ ise konsorsiyum ortaklarıdır.
- **Ambarlı Santrali Hidrojen Projesi:** EÜAŞ ve İGDAŞ tarafından yürütülmekte olan proje, hidrojen üretilip doğalgaz boru hattına verilmesi ilkesine dayanmaktadır. Proje, gece kullanılmayan elektriği kullanarak hidrojen üretimini öngörmektedir. Doğalgaz boru hatlarına verilen hidrojen oranı giderek artırılarak, mevcut doğalgaz boru hattının gelecek 50 yıl içinde hidrojen boru hattına dönüşeceği tahmin edilmektedir (Hidrojenturk, 2005).
- **Biyomas-Hidrojen Projesi:** Proje, tatlı sorgum bitkisinden hidrojen üretimini öngörmektedir. Yapılan bazı Ar-Ge çalışmalarına göre, bugün için en ucuz hidrojenin biyo-yakıtlardan üretilebileceği gözükmektedir. Projenin Eylül 2008'de faaliyete geçmesi beklenmektedir (Hidrojenturk, 2005).
- **Hidrojenli Ev Projesi:** Bu projede Denizli'de güneş hücrelerinden elde edilen elektrik ile hidrojen üretilmesi öngörülmektedir. Evin ve aracın yakıtı hidrojenden sağlanacaktır. Ekim 2008'de tamamlanması beklenen projenin

finansmanı Devlet Planlama Teşkilatı tarafından sağlanmaktadır (Hidrojenturk, 2005). Konsorsiyum ortakları olan UNİDO-ICHET, Pamukkale Üniversitesi ve Erikoğlu Holding bu projede ortak çalışmaktadır.

- **Traktör Projesi:** Türk Traktör ve Petrol Ofisi tarafından ortaklaşa yürütülen bu projede, Türk Traktör'ün ürettiği bir traktör hidrojenle çalışacak ve Petrol Ofisi de aracın hidrojenini sağlayacaktır. Bu projenin Kasım 2007'de faaliyete geçmesi planlanmaktadır (Hidrojenturk, 2005). Konsorsiyum ortakları UNİDO-ICHET, Türk Traktör ve Petrol Ofisidir.
- **Forklift Projesi:** Çukurova Holding ve BOS firmaları tarafından gerçekleştirilen proje, hidrojenle çalışan bir forklift geliştirilmesini öngörmektedir. Çukurova Holding tarafından geliştirilen forkliftin hidrojeninin BOS tarafından sağlanması planlanmıştır. Projenin Nisan 2008'de tamamlanması beklenmektedir. Çukurova Holding'e göre bu ürünün pazarlanabilirliği oldukça yüksektir (Hidrojenturk, 2005).
- **Deniz Taksi Projesi:** T-Design, Okted ve BOS tarafından ortaklaşa yürütülen projeye göre hidrojenle işleyen iki adet deniz taksisinin geliştirilmesi öngörülmektedir. Projeye göre deniz taksilerinden birisi üzerinde hidrojen deposu olacak şekilde tasarlanacak ancak diğeri üstüne yerleştirilecek güneş pili vasıtasıyla yakıtını kendisi üretecektir. Projenin Ekim 2008'de başlaması beklenmektedir (Hidrojenturk, 2005).
- **Güneş-Hidrojen Projesi:** Proje, güneş enerjisinden hidrojen üretilmesini öngörmektedir. Güneş pillerinin araçların üstüne konularak elde edilen güneş enerjisiyle, hidrojen yakıt hücresinin doldurulması planlanmaktadır. Sistemle motosiklet gibi küçük araçların yakıtlarının karşılanması planlanmıştır. Proje Ekim 2006'da başlamıştır (Hidrojenturk, 2005).
- **İzmit Belediyesi Otobüs Projesi:** Bu projeye İzmit'te 10 adet otobüsün hidrojenle çalışması planlanmıştır. Bunlar içten yanmalı motorlu araçlara ve dizel otobüslere göre % 30 daha pahalı fakat yakıt hücreli otobüslere göre daha ucuz olması beklenmektedir. Otobüslerin TEMSA tarafından üretilmesi,

hidrojenin ise BOS veya TPAO tarafından sağlanması planlanmıştır (Global Enerji Dergisi, 2006).

- **Türkiye’de Hidrojenle Çalışan Otobüs Projesi:** Proje, İstanbul’da hidrojenle çalışan otobüslerin hizmete sokularak gerekli hidrojenin gece kullanılmayan elektrikten elde edilmesini içermektedir. Bu otobüslerin üç yıl gibi bir süre içerisinde hizmete girmesi planlanmıştır. Bu otobüslerden bir kısmının hidrojen yakıt hücreleriyle, bir kısmının da hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlarla çalışması planlanmıştır. Bu otobüslerin önümüzdeki yılda hizmete girmesi düşünülmektedir (Hidrojenturk, 2005).
- **Bozcaada’da Hidrojen Üretimi Projesi:** Bu proje, nüfusunun kışın 3 000, yazın ise 10 000 civarında olan Bozcaada’da rüzgâr enerjisinden yararlanılarak hidrojen üretimini öngörmektedir. Elde edilen hidrojenin yerli sanayi ve taşıma için gerekli yakıt da dâhil olmak üzere ada halkının yakıt ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılması planlanmıştır (Hidrojenturk, 2005).

Görüldüğü üzere, önemli bir kısmının küçük ölçekli projeler olmasına karşın Türkiye’de de hidrojenle ilgili çok çeşitli projeler vardır. Önemli bir kısmı uygulama odaklı olan bu projeler teknoloji geliştirmeden uzaktırlar. Ancak mevcut projeler -ister büyük ölçekli, isterse küçük ölçekli olsun- hidrojen ve hidrojen teknolojilerinin uygulama alanı bulması ve hidrojen tabanlı pazarın gelişimi bakımlarından son derece önemlidir. Çünkü, mevcut uygulamaların yeni uygulama alanlarının ortaya çıkmasına ve yeni ürünlerin ve teknolojilerin gelişmesine önemli katkısı olacaktır. Hidrojen ihtiyacının üreticiler ve tüketiciler tarafından farkına varılması ve kabul görmesi, bu alanda geliştirilecek ürünlerin ve pazarlama çalışmalarının başarısı açısından önem arz etmektedir. Genel olarak ifade etmek gerekirse, ister teknoloji geliştirme projeleri, isterse uygulama projeleri hidrojen ve hidrojen tabanlı teknolojilerin gelişmesinde önemli bir aşamadır (Polat ve Kılınç, 2007a).

2.6. Türkiye’de Hidrojen Enerjisinin Yaygınlaşması ve Teknolojik Gelişim

Hidrojen orta ve uzun vadede uygulama alanı bulabilecek bir enerji kaynağıdır. Aynı zamanda hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünler geleceğin teknolojilerinin ana çekirdeği olabilmesi için, üzerinde çok sayıda araştırma ve geliştirme çalışmasının

yapılması gereken bir konudur. Türkiye’de hidrojen enerjisi konusunun gelişimi için toplum bilgilendirilmelidir. Uygulama ve gösteri merkezleri aracılığıyla araştırma sonuçları sonucunda doğabilecek teknolojilerin halka tanıtılması bu aşamada büyük önem arz etmektedir. Ayrıca Ar-Ge laboratuvarlarının kurulması, araştırmacıların desteklenmesi için yeterli bütçenin ayrılarak çalışmaların belirli bir koordinasyonla, ulusal platformlarda ve uluslararası işbirlikleri ile yürütülmesi gerekmektedir (İTÜ, 2007).

Bu bağlamda hidrojen enerjisinin yaygınlaşması için en önemli etkenlerden biriside teknolojik gelişimdir. Türkiye bu noktada uzun dönemli Ar-Ge faaliyetlerini ve teknolojinin yaygınlaşmasını desteklemelidir. Çünkü hidrojen teknolojilerinin maliyetlerinin yapılacak olan bu Ar-Ge faaliyetleri sonucunda düşmesi beklenmektedir. Bu kapsamda TÜBİTAK tarafından biyolojik, termokimyasal ve elektrokimyasal hidrojen üretimi prosesleri konularındaki Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir. Ayrıca, karbon lifleri metal hidritler gibi hidrojen depolayıcılarla ilgili teknolojiler alanında da araştırmalar sürmektedir (TÜBİTAK, 2007).

Bu araştırma faaliyetlerine rağmen Türkiye’de Enerji sektörüne yönelik Ar-Ge bütçelerinin / harcamalarının OECD ortalamasından çok az olduğu görülmektedir. Bu kapsamda Türkiye daha çok kaynak yaratmalı ve yeni nesil güncel teknolojileri izlenmelidir. Hidrojen enerjisi ile ilgili teknolojik verimlilik ve ekonomikliğe yönelik Ar-Ge çalışmaları çok kısıtlı sayıda olmasına rağmen ümit vericidir.

Örneğin, dünyanın en büyük bor rezervlerine sahip Türkiye, sodyum bor hidrürün kullanıldığı yakıt pilleri pazarında iddialı konuma gelmesi ve 20 milyar \$’lık yakıt pili pazarında söz sahibi olması beklenmektedir (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2006).

Türkiye enerji gereksinimini karşılayabilmek için sadece tedarik kaynaklarını güvence altına alması yeterli değildir. Teknolojiye, Ar-Ge’ ye yatırım yapması gerekmektedir ve bu çerçevede fosil tabanlı ürünlerden hidrojen teknolojilerine geçiş teknoloji alanında yaşanan gelişmelere bağlıdır. Bu bağlamda eski Alman Ekonomi ve Çalışma Bakanı Wolfgang Clement *"enerji alanında tarih yazmak isteyenler teknolojiye yatırım yapmalıdırlar"* diyerek enerji alanında teknolojik gelişmenin kaçınılmaz olduğunu açıkça vurgulamaktadır. Bundan dolayı Türkiye enerji gereksinimi giderek

artan bir ÷lke konumunda olması sebebiyle teknolojiye yatırım yapması gerekmekte ve bu yatırımlar da mutlak anlamda teşvik edilmelidir (Hekimler, 2007).

BÖLÜM 3: TÜRKİYE’DE YENİ BİR PAZAR OLARAK HİDROJEN PAZARININ PAZAR BÜYÜKLÜĞÜNE YÖNELİK BİR TESPİT TAHMİN DENEMESİ

Hidrojen ve hidrojen teknolojileri ürünleri henüz bütün dünyadaki pazarlar için yeni bir üründür. Bu bölümde ilk olarak yeni ürün kavramı ve genel olarak kullanılan tahmin yöntemlerini açıklamaktır. Takibenden kısımda ise hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünlere yönelik yani yeni ürünler ve genel olarak kullanılan tahmin yöntemlerini tartışmaktır.

Pazarlama araştırması, bir pazarlama problemi hakkında veri toplama, sınıflandırma, analiz etme, yorumlama ve raporlama eylemidir (Nakip, 2006). Çalışma kapsamında önemli olan talep tahmini ise belirli bir ürünün, belirli bir gelecek zaman içindeki satışlarının tahminidir. Yani tüketicilerin gelecekte ne miktar mal ve hizmet talep edeceklerinin kestirilmesi işlevidir (Şengür, 2002). Hangi ürünün üretileceği, tüketicilerin bu üründen ne miktar talep edecekleri ve bu talebin çoğunlukla hangi tarihlerde gerçekleşme olasılığının bulunduğu talep tahminleri ile belirlenmeye çalışılmaktadır.

Pazar tahmini, pazar çalışması, pazar testleri ve pazarda sunumlar, pazarlama aktiviteleri olarak nitelendirilmektedir. Pazarlama faaliyetleri iyi bir şekilde yapılır ise firma olumlu etkilenir. Ayrıca verimli zaman kullanımı ve programa bağlılık pazarlama faaliyetleri daha hızlı ve daha verimli olarak gerçekleştirilebilmektedir. Pazarlama faaliyetleri yeni ürünlerin pazara güçlü adaptasyonunda -uyumu- doğru pazar tahminlerini almak için çok önemlidir (Web Türkiye Forum, 2007).

Üretimin çok arttığı, rekabetin uluslararası ticaret sayesinde her gün yeni rakipler yarattığı, satıcıdan çok alıcıdan pazara daha fazla ağırlık kazanmaya başladığı, ürünlerin birbirine benzer hale geldiği bu ortamda tüketiciyi daha iyi anlamak için pazarlama pazarda son derece önemlidir¹.

¹ Amerikan Pazarlama Birliğinin (American Marketing Associations) 1985 yılında yaptığı genel tanıma göre ise pazarlama, kişisel ve örgütsel amaçlara ulaşmayı sağlayacak mübadeleleri gerçekleştirmek üzere, fikirlerin, malların ve hizmetlerin geliştirilmesi, fiyatlandırılması, tutundurulması ve dağıtılmasına ilişkin planlama ve uygulama sürecidir (Mucuk, 2004). Yani pazarlama, insanların ihtiyaçlarını, değişimleri yakalayıp onlar doğrultusunda ürün ve hizmetler oluşturmaktan, hedef kitleye

3.1. Yeni Ürün

Literatürde değişik yaklaşımlarla yapılan yeni ürün tanımlamaları, birbiriyle kısmen benzerlik arz etmektedir. Yeni ürün, pazara daha önce hiç sunulmamış ticari mal olarak tarif edilmektedir. Yeni bir ürün; yeni bir ihtiyaç karşılamak veya pazarda o zamana kadar gizli kalmış bir talebi harekete geçirmek amacıyla üretilmekte ve büyük harcamalarla pazara sunulmaktadır (Altan vd., 2006).

Üç farklı yeni ürün kavramı mevcuttur. **i)** Pazarda hiç bulunmayan ve gerçek anlamda yeni bulunmuş ürün; **ii)** başka pazarlarda bulunmakla beraber, işletmenin bulunduğu pazar için yeni olan ürün veya **iii)** işletme için yeni olan ürün şeklindedir. İşletme ise yeni ürünü iki türlü elde etmektedir. Ele geçirme (patent, lisans, vb.) ve işletmenin kendi Ar-Ge araştırmaları sonucunda yeni ürün geliştirilmesidir (Odabaşı, 2001). Bu bağlamda hidrojen enerjisi yeni geliştirilen ürünler kategorisindedir.

Yeni bir ürün piyasaya çıkmadan önce, ürünün tesis tasarımı aşamasında pazar ve talep araştırması yapmak gerekmektedir. Yeni bir ürünün piyasa girişi hangi sektörde oluyorsa, sektörle ilgili geniş çaplı analizler yapılmalıdır. Çünkü ürün yeniliği ve iş başarısı için analizler çok önemlidir. Yeni ürün sürecinden geçilerek ulaşılan güçlü pazar uyumu, başarı için kritik bir unsurdur. Yeni ürünlerde pazar tahmini yapmak için ürün sunumunun öncesinde iyi bir piyasa çalışması -araştırması- yapmak gerekir (Web Türkiye Forum, 2007).

Yeni ürün pazarlaması; ürün araştırmasını planlamak, ürünleri tanımlamak, ürün promosyonu ve ürünü yerleştirme aşamalarından oluşmaktadır (Cohn, 2006). Yeni ürünün gelişim süreci ise dizayn, test etme, giriş ve yaşam döngüsü şeklinde olmaktadır ve yeni ürün piyasasında pazar büyüklüğü ve kazanç projeksiyonları tahmin edilmektedir (Manchanda, 2002).

Son yıllarda işletmeler yeni ürünlerin ve global genişlemelerin büyümesini teşvik etmekte, varolan piyasalara ve yeni fırsatlara odaklanmaktadır. Yeni ürünlere odaklanmada varolan teknolojiler belirli uygulamalar için geliştirilmektedir. Bu bağlamda en güzel örnek enerji sektörüdür. Enerji alanında bir çok yeni teknoloji

ulaştırılmasına kadar uzanan uygulamaları kapsayan süreçler bütünüdür. Pazarlama süreci üretimden sonra değil, üretimden önce başlayıp üretim sırasında, satış öncesi, satış anı ve satış sonrasında da devam etmektedir (Duran, 2007a).

gelişmektedir (Emerson Electric Co. 2007). Hidrojen teknolojileri gelişen bu teknolojilerden sadece bir tanesidir. Hidrojen yakıt hücreleri, günümüz koşullarında teknolojik olarak çok iyi bir ilerleme kaydetmiş olup halen bu konudaki Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir.

3.2. Yeni Ürünlerde Pazar Tahmini

Yeni ürünlerde pazar tahmininden önce hedef pazar belirlenmelidir. Hedef pazar belirlenmesi, hem rakipleri görmek hem de pazarda karlılığı yüksek ve tatmin edilmemiş ihtiyaçların keşfini sağlamak açısından önemlidir. İşletmenin insan kaynakları ve finansal kaynakları girmek istediği pazarın büyüklüğü yani hedef pazarı belirlemede etkili olmaktadır. İşletmeler hedef pazar seçiminde işletmenin kaynakları, ürünün özellikleri, ürün hayat eğrisindeki yeri, pazarın yapısı ve rekabet durumu etkili olmaktadır. Yeni ürünlerin market potansiyelini tahmin etmede çoklu doğrusal yaklaşımı kullanılmaktadır fakat metodolojide bu kavram tamamen geliştirilmemiştir. Bu yaklaşımda yeni ürün için market potansiyeli kavramı tanımlanmakta, çoklu yöntemlerdeki kavram ölçüsü ve işlemler bağımsız elde edilmekte ve farklı metotlardan elde edilen tahminler için temel kavramlar kullanılmaktadır. Bağımsız öngörüler için yargısal ağırlıklardaki tahminler market potansiyelindeki kavramsal tanımlamalar sistematik bir prosedürle birleştirilmektedir (Thomas, 1987). Yeni ürünler için pazar bölümlendirmesi de önemlidir¹. Örneğin yeni ürün olan hidrojenin hedef pazarın ve müşteri kitlesinin belirlenmesi gerekmektedir. Yani hidrojen enerjisine ve hidrojen tabanlı ürünlere farklı düzeylerde gereksinim duyan veya sunulan hizmetlerle ilgilenmeyen bireylerin oluşturduğu bir pazar alanını belirtmek ilk aşamada önemlidir.

Hedef pazar seçiminde başlıca üç strateji uygulanmaktadır. Bunlar aşağıda verilmektedir .

¹ Bir kurumun ürün ve hizmetlerine talep gösteren bireylerin oranı ile kurumun ürün ve hizmetleriyle ilgilenmeyen bireylerin oranına karar verme işlemine pazar bölümlendirmesi denilmektedir (Mucuk, 2004). Pazar bölümlenmesi, “heterojen büyük pazar ortamlarını, benzer gereksinimleri olan ya da pazarlama karmaşı etkinliklerine benzer şekilde cevap veren homojen alt gruplara ayırmaktır” şeklinde tanımlanmaktadır İşletme hedeflerini başarabilmek için, hangi pazar bölümünün en iyisi olduğuna karar vermelidir. Bunu yaparken de öncelikle pazarı bölümlere ayırmalı ve bu bölümlerden bir ya da birden fazlasını hedef pazar olarak seçmelidir (Duran, 2007b).

Farklılaştırılmamış Pazarlama: Farklılaştırılmamış pazarlama stratejisinde işletme tüm pazarı homojen olarak düşünmekte dolayısıyla pazarın içinden ayrıca bir bölüm seçmeye gerek duyulmamaktadır (Kirtiş, 2002).

Farklılaştırılmış Pazarlama: Birden fazla ürün üreten yada ürününü farklılaştırarak farklı tüketici kitlelerine sunmak amacıyla her pazar ve bu pazara sunacağı ürün için farklı pazarlama karması oluşturmaya, farklılaştırılmış pazarlama stratejisi adı verilmektedir¹. Fakat ürün farklılaştırmasına gitmek ya da farklı pazarlama programı uygulamak işletmenin üretim ve pazarlama harcamalarını yükseltir (Kirtiş, 2002).

Yoğunlaştırılmış Pazarlama: Bu strateji, işletmenin pazarın bir bölümüne yönelerek orada üstünlüğü ele geçirmeyi amaçlamasıdır (Conh, 2006). Örneğin enerji alanında çalışan işletmeler sadece hidrojen enerjisi ve hidrojen teknolojileri üzerinde uzmanlaşabilir. Bu bağlamda işletme iyi bir pazar bölümü seçer ve pazarlama bileşenlerini optimize ederse yatırımın karlılık oranı yüksek olur. Tüketicilerin ihtiyacını karşılayacak hidrojen ürünleri geliştirildiğinde veya ikame ürünle pazarda yer almaya başladığında işletmenin hidrojen teknolojileri alanındaki pazar büyüklüğünün artması beklenir.

Ürün geliştirme yeni ya da mevcut ürünlerin pazarlarını belirlemekle başlar. Piyasa toplam hacmin, uzun ve kısa vadedeki satış artışlarının, mevcut ve olası rakip firmaların belirlenmesi amacıyla incelenir. Pazar talebinin mevcut durumunu bilmek önemlidir ama gelecekte nasıl olacağını bilmek daha önemlidir. Girişimcilerin genellikle pazarı ile ilgili bir talep tahmini yaptıktan sonra yatırımlarını gerçekleştirmektedir. Talep, istatistiksel olmayan biçimde; satış gücünde çalışan satış elemanlarının görüşlerinden yararlanarak ya da yöneticilerin pazardaki gözlemleri sonucu subjektif değerlendirmeleri ile tahmin edilmektedir.

¹ Pazarlama karması; ürün, fiyat, dağıtım ve tutundurma unsurlarından oluşmaktadır. Ürün; eşyalar, hizmetler, olaylar ve organizasyonlar, şahıslar ve tecrübeleri, yerler, mülkiyet, bilgi ve fikirlere oluşur. Fiyat; fiyatlandırma yöntemleri, talep ve talebin özellikleri, fiyat düzeyleri, indirimler, kredi olanakları, ücretler ve fiyat değişikliklerini kapsar. Dağıtım, fonksiyonel bir değişkendir. Dağıtım kanalları, depolar, satış bölgeleri, stoklar, taşıyıcılar, kanal üyelerinin seçimi ve motivasyonu içerir. Tutundurma; reklâm, kişisel satış, satış geliştirme, doğrudan pazarlama, halkla ilişkiler ve müşteriyle ilişkiler yönetimidir (Mucuk, 2004). Pazarlama karması elemanları, satıcıların bakış açısıyla alıcıların etkileme yolunda stratejik ve taktik araçları göstermektedir.

Yeni bir ürünün piyasaya girişi doğal olarak risklidir. Yeni ürünlerin pazar payı tahmin yöntemleri literatüre göre beş farklı metot ile yapılmaktadır. Yeni ürün tüketim tahmininde ilk metot geçmiş verilere göre yapılmaktadır. Geçmişte aynı pazardaki benzer bir ürünün geçmiş verileri kullanılarak yeni ürün için gelecek tahmini yapılmaktadır (Thomas, 2006). Hidrojen enerjisine ait pazar payı tahmin ederken de hidrojen enerjine ait veri olmadığı için hidrojene ikame olacağı ürünün verilerinin kullanarak yapılması gerekmektedir.

Talep tahmininde istatistiksel ya da yargısal yöntemler kullanılmaktadır¹. Yeni ürünlerde birincil yada ikincil kaynaklardan elde edilen verilere dayanılarak yapılacak bazı hesaplamalarla talebin tahmin edilmesi mümkündür. Talep tahmininde en çok kullanılan istatistiksel yöntemler ise regresyon analizi, zaman serileri analizi, kesit verilerle talep tahmini ve zincir oran yöntemidir (Conh, 2006).

Yeni ürüne ait veriler mevcut ise sayılan bu tahmin yöntemleri kullanılabilir. Fakat yeni ürüne ait veri mevcut değilse, takip eden bölümde açıklanan ve literatürde de sıklıkla kullanılan bir yöntem olan Bass Difüzyon modeline başvurulabilir. Bu çerçevede de bu yöntem kullanılmaktadır.

3.3. Enerji Tahmin Çalışmaları Üzerine Bir Literatür İncelemesi

Türkiye enerji hammaddesi açısından zengin bir ülke olmasına karşın, günümüze kadar yapılan araştırmalar petrol, doğalgaz ve elektrik açısından yeterli rezerve sahip olmadığını ortaya çıkarmıştır.

Bu bağlamda Türkiye'nin petrol tüketimi, % 44 ile toplam enerji tüketiminde en büyük paya sahiptir ve gelecekte de petrol ürünleri tüketiminin, hızlı büyümesini sürdürmesi beklenmektedir. Petrol fiyatlarındaki artış sadece petrol giderlerinde değil, petrol girdisi olan tüm sektörlerde de fiyat artışlarına neden olmaktadır. Petrol fiyatlarının 2005 yılı başından bu yana % 55 dolayında artış göstermesi, petrol ithalatçısı konumundaki Türkiye'nin enerji faturasını 4 milyar \$ arttırmıştır. Varil

¹ Talep tahmininde kullanılan nicel tahmin yöntemleri şunlardır: Zaman serileri analizi, aritmetik ortalama yöntemi, hareketli ortalama yöntemi, ağırlıklı hareketli ortalama yöntemi, üssel düzeltme yöntemi ve en küçük kareler yöntemidir. Nitel tahmin yöntemleri şunlardır: Yöneticiler grubunun görüşlerini esas alan tahmin, kilit personelinin fikirleri ve anketlerdir (Şengür, 2002). Yargısal tahmin yöntemleri ise şunlardır: Naiv tahminler, satış gücü tahminleri, yönetici paneli/icra jürisi, senaryo yöntemleri, delfi tekniği ve tarihsel analogi/benzetim'dir (Sağlık Bakanlığı, 2000).

başına 60 \$ düzeyinde seyreden petrol fiyatlarının, son yıllarda yüksek bir büyüme performansı yakalayan Türkiye'nin büyüme hızını % 2'ye varan oranda azaltmıştır (Bayraç, 2005). 2008 yılı Nisan ayı itibariyle varil başına petrol fiyatı ise 119,93 \$ seviyesine yükselmiştir (Akşam Gazetesi, 2008). Bu petrol fiyatları karşısında dünya ve Türkiye'nin yeni enerji kaynaklarına yönelmesi zorunluluktur.

Türkiye'de 2002 yılı itibariyle toplam enerji arzı 75,42 milyon ton petrol eşdeğeri olmuştur. Söz konusu arzın kaynaklara dağılımında; % 40,5 ile petrol ilk sıradadır. Petrolü, % 26,2 ile kömür (% 15,3'ü yerli kömür ve % 10,9'u ithal kömür), % 19,5 ile doğalgaz, % 8 ile odun, hayvan ve bitki artıkları, % 3,8 ile hidrolik ve % 2 ile diğer kaynaklar izlemektedir. Ülkemizde 2005 yılının ilk 8 ayında, 106,6 TWh brüt elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Söz konusu üretimin kaynaklara dağılımı; % 43,5 doğalgaz, % 25,6 hidrolik, % 19,3 yerli kömür, % 6,2 ithal kömür ve % 5,4 diğer kaynaklar şeklindedir.

Yapılan planlamalarda, 2020 yılında doğalgazın payının % 34,3'e çekileceği, nükleer payının % 6,6'ya ve kömür payının ise % 33,3'e yükseltileceği öngörülmektedir. Bununla beraber, söz konusu planlamalara göre kömürün payındaki yükseliş ithalat ile sağlanacaktır. Ülkemizde çok sınırlı doğal gaz ve petrol rezervlerine karşın -560 milyon tonu görünür olmak üzere- yaklaşık 1,3 milyar ton taşkömürü ve 8,3 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. Ancak Türkiye'deki linyitlerinin ısı değerleri düşüktür (Tamzok ve Torun, 2005). Petrol ve doğalgazın sınırlı olması; kömürün ise kullanımı sonucu ortaya çıkan zararlı atıkların fazla olması, yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Bu kaynaklar içinde ise hidrojen, bir çok önemli özelliğinden dolayı daha fazla ön plana çıkmaktadır.

Enerjiye bütün dünyada giderek artan talep ve bu sektörünün -buna bağlı olarak- yeni gelişmelerin ve yeni ürünlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu ise doğal olarak yeni pazarlar anlamına gelmektedir. Bu kadar hızla büyüyen bir pazarın ne şekilde gelişeceği ve hangi alanda büyümeye devam edeceği önemli bir araştırma ve pazarlama sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Günümüzde, enerji sektöründe fosil tabanlı ürünlerden yenilenebilir ürünlere doğru yaşanan geçişte bu sorunlarla uğraşmayı daha kayda değer hale getirmektedir. Bu bağlamda stratejik önemi giderek artan ve yeni bir pazarın doğuşuna tanıklık edilen

hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünler için, ne kadar büyük bir pazar olacağı birçok bakımdan önem arz etmektedir.

Enerji tahmin çalışmaları, batı ülkelerinde uzun süreden beri çalışılan bir konu olmasına karşın, ülkemizde bu konuya ilişkin çalışmalar özellikle 1990'lı yılların sonuna doğru hız kazanmaya başlamıştır. Türkiye'de 'enerji talep tahmini' konusu ile ilgili yapılan çalışmalarda bazıları *Türkiye'nin gelecekteki temel enerji talebinin fosil tabanlı ürünlerin tükenmesi çerçevesinde gelecekte ne olacağına yönelik tahmin çalışmaları* (Ediger ve Akar, 2007; Ediger vd., 2006; Sözen vd., 2005; Ediger, 2003; Ediger vd., 2006; Ediger ve Tatlıdil, 2002; Ceylan ve Öztürk, 2004), *fiyat ve GSMH'nin tüketim üzerindeki etkileri analiz edilerek Türkiye için yapılan elektrik talep tahmin çalışmaları* (Erdoğan, 2007; Erdoğan, 2005) ve *Türkiye'nin enerji talebinin sektörel bazda kategorilere ayrılması* (Ediger ve Çamdalı, 2007; Hamzaçebi, 2007; Ediger ve Huvaz, 2006; Haldenbilen, 2006; Murat ve Ceylan, 2006) şeklinde sınıflandırmak mümkündür.

Bu bağlamda; *Türkiye'nin gelecekteki temel enerji talebinin fosil tabanlı ürünlerin tükenmesi çerçevesinde gelecekte ne olacağına yönelik tahmin çalışmalarında*, fosil tabanlı yakıt üretimi zirveye ulaştığında Türkiye'deki toplam fosil tabanlı yakıt tüketiminin azalmakta olduğu ve teorik olarak fosil yakıtların gelecekte tükenecekleri tahmin edilmektedir. Bu gibi çalışmalar Türkiye'nin günümüzdeki enerji kaynaklarının durumu ve gelecekteki enerji kaynakları hakkında detaylı bilgiler vermektedir (Ediger ve Akar, 2007; Ediger vd., 2006; Sözen vd., 2005; Ediger, 2003; Ediger vd., 2006; Ediger ve Tatlıdil, 2002; Ceylan ve Öztürk, 2004).

Türkiye'de fiyat ve GSMH'nin tüketim üzerindeki etkilerini analiz edildiği elektrik talep tahmin çalışmalarında, Türkiye'nin 2015 yılına kadar yapılan elektrik talebini gelir ve fiyat faktörlerinin etkilerini de göz önünde bulundurularak yapılan bu çalışmalarda talebin artarak devam ettiği belirtilmektedir (Erdoğan, 2007; Erdoğan, 2005). *Türkiye'nin enerji talebinin farklı yöntemler -zaman serisi, yapay sinir ağları ve regresyon- kullanılarak ve sektörel bazda kategorilere ayırarak -endüstri, konut, ulaşım- yapılan çalışmalarda*; gelir, fiyat ve nüfusun etkileri göz önüne alınarak 2020 yılına kadar enerji talep tahmini yapılmıştır. Çalışmaların sonucunda enerji talebinin ticarete, endüstride, ulaşımda ve evlerde kullanımı giderek artmakta olduğu tespit

edilmiştir (Ediger ve Çamdalı, 2007; Hamzaçebi, 2007; Ediger ve Huvaz, 2006; Haldenbilen, 2006; Murat ve Ceylan, 2006).

Enerji talebi ile ilgili yabancı literatür ise daha yoğunluktur. *Dünyadaki enerji talebinin ne olacağına* (Ermiş vd., 2007) ve *dünyadaki bir çok ülke için enerji taleplerinin gelecekte ne olacağına* (Steenhof ve Fulton, 2007; Wei vd., 2006) yönelik uygulamalı tahmin çalışmaları bu alanda ilk etapta göze çarpmaktadır. Bu ampirik çalışmaların yanı sıra, enerji talep tahminine yönelik tahmin modelleri kategorize edilerek yapılan (Greening vd., 2007; Jebaraj ve Iniyar, 2006) teorik çalışmalar da mevcuttur.

Fosil tabanlı yakıtlar ilk kullanılmaya başlandığı zaman, onların gelecekteki talep tahmine yönelik çalışmalar (Sadorsky, 2006; Ghosh, 2006; Fernandes vd., 2005; Mackay ve Probert 2001) çok farklı matematiksel ve istatistiksel modeller kullanılarak yapılmıştır.

Literatürde odaklanılan temel nokta, fosil tabanlı ürünlerin ne zaman biteceğine dair talep tahmin çalışmalarıdır. Diğer bir ifadeyle, enerji sektörüne yönelik talep çalışmaları fosil tabanlı kaynaklar (Sadorsky, 2006; Ghosh, 2006; Fernandes vd., 2005; Mackay ve Probert 2001) ve elektrik boyutuyla (Erdoğan, 2007; Erdoğan, 2005) ele alınmakta olup, diğer boyutlar özellikle hidrojen ve hidrojen tabanlı ürünlerin talep tahminine yönelik çalışmaların henüz çok fazla ortaya çıkmadığı görülmektedir. Oysa geleceğin enerji kaynağı hidrojen ve hidrojen tabanlı ürünlerin olacağı iddia edilmektedir (Collantes, 2007; Kajikawa vd., 2007).

Ayrıca, enerji talep tahmini -stratejik önemine paralel olarak- literatürde oldukça yoğun olarak ve farklı açılardan çalışılmış bir konudur. Bu çerçevede Türkiye’de de gelecekteki enerji talebi ile ilgili bu zamana kadar bir çok çalışma yapılmıştır (Ediger ve Tatlıdil, 2002; Sarak ve Satman, 2003; Yumurtacı ve Asmaz, 2004; Ceylan vd., 2005; Murat ve Ceylan, 2006; Ediger ve Akar, 2007). Enerji alanında enerji talep tahminine yönelik çalışmalar incelendiğinde; talep tahmin yönteminde farklı yöntemler, farklı değişkenlerin ve farklı dönemlerin ve farklı verilerin kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Söz konusu çalışmalardan bazıları şu şekildedir.

Tablo 8: Türkiye İçin Yapılan Enerji Talep Tahmin Çalışmaları Tablosu

Referans	Kullanılan Metodu	Değişkenler		Kullanılan Veri	Tahmin (Unsur)Edilen	Tahmin Edilen Dönem
		Bağımlı Değişkenler	Bağımsız Değişkenler			
Ediger ve Tathdil (2002)	Üssel Düzeltme Modeli	Enerji Tüketimi	Nüfus, GNP	1950-1999	Temel Enerji Talebi	2000-2010
Sarak ve Satman (2003)	Degree-Day (DD) Concept Modeling	Evlerdeki Doğalgaz Tüketimi	Konut Sayısı, Boru hattı Uzunluğu	1990-1997	Türkiye'de Evler için Doğalgaz Talebi	2000-2005-2010-2015-2020-2023
Yumurtacı ve Asmaz (2004)	Regresyon Modeli	Enerji Tüketimi	Nüfus	1980-2002	Elektrik Talebi	2003-2050
Görücü ve Gümrah (2004)	Çoklu Regresyon.	Gaz Tüketimi	Satış Fiyatı, Müşteri Sayısı, Döviz Kuru, Ankara'nın Günlük Derecesi	1991-2001	Ankara için Gaz Talebi	2002-2005
Aras ve Aras (2004)	Zaman Serisi	Doğalgaz Tüketim Verileri	Zaman, Günlük Derece	1996-2001	Eskişehir için Doğalgaz Talebi	Model Kuruldu
Canyurt vd., (2004)	Genetik Algoritma	Enerji Tüketimi	GDP, Nüfus	1970-2001	Türkiye için Enerji Talebi	2002-2025
Ceylan ve Öztürk (2004)	Genetik Algoritma	Enerji Tüketimi	GNP, Nüfus, İthalat ve İhracat	1970-2001	Türkiye'nin Enerji Talebi	2002-2025
Öztürk vd., (2004)	Genetik Algoritma	Petrol Üretimi ve Tüketimi	Nüfus, GDP, Araç Sayısı,	1990-2000	Petrol Talebi	2001-2020
Görücü vd., (2004)	Yapay Sınır Ağları (ANN)	Gaz Tüketimi	Satış Fiyatı, Müşteri Sayısı, Döviz Kuru, Ankara'nın Günlük Derecesi	1998-2001	Ankara İçin Gaz Tüketimi	2002-2005
Haldenbilen ve Ceylan (2005)	Genetik Algoritma	Ulaşım Sektöründeki Enerji Tüketimi	GDP, Nüfus ve Toplam Yıllık Ortalama Veh-km	1970-2000	Türkiye'deki Ulaşım Enerji Talebi	2001-2020
Ceylan vd., (2005)	Genetik Algoritma	Enerji ve Exerji Tüketimi	GDP, Nüfus, İthalat ve İhracat Miktarları,	1990-2000	Türkiye'deki Enerji-Exerji Tüketimi	2001-2020
Sözen vd., (2005)	Yapay Sınır Ağları (ANN)	Enerji Tüketim Verileri	Nüfus, İthalat, İhracat, GNP	1975-2003	Türkiye'deki net Enerji Tüketimi	Model Kuruldu
Erdoğan (2005)	ARIMA Modeli	Elektrik Tüketimi	Elektrik Fiyatları, Gelir	1984-2004	Türkiye'nin Elektrik Talebi	2005-2015
Madlener vd., (2005)	ARMA Modeli	Temel Enerji Arzı	Elektrik Fiyatları, Teknoloji	1975-1999	Türkiye'nin Elektrik Arzı	2000-2020
Murat ve Ceylan (2006)	Yapay Sınır Ağları (ANN)	Ulaşımdaki Enerji Talep Verileri	GNP, Nüfus, Toplam Yıllık Ortalama Veh-km	1970-2001	Türkiye'nin Ulaşımdaki Enerji Talebi	2001-2020
Ediger vd., (2006)	Regresyon ve ARIMA Modeli	Fosil Yakıtların Tüketimi	Fosil Yakıtların Üretimi	1950-2003	Fosil Yakıtlarının Üretim Tahmini	2004-2019-2024-2029-2031-2038
Haldenbilen (2006)	Çoklu Zaman Serisi	Enerji Tüketimi	GDP, Nüfus, Araç Sayısı	1990-2004	Enerji ve Ulaşım Talebi Tahmin	1974-2020
Hamzaçebi (2007)	Yapay Sınır Ağları (ANN)	Elektrik Tüketimi	GDP	1970-2004	Sektörel Bazda Elektrik Enerjisi Tüketim Tahmini	2003-2020
Erdoğan (2007)	ARIMA Modeli	Elektrik Talep Verileri	Real Gelir ve Elektrik Fiyatları	1923-2004	Türkiye'nin Elektrik Talebi	2007-2014
Ermış vd., (2007)	Yapay Sınır Ağları (ANN)	Dünyadaki Birincil Enerji Tüketimi	GNP, Fiyat, Nüfus, Teknoloji	1965-2004	Dünya ve Türkiye'deki Temel Enerji Kullanımı	2005-2010-2025
Ediger ve Akar (2007)	ARIMA ve SARIMA Modelleri	Enerji Tüketimi	GDP	1950-2005	Türkiye'nin Temel Enerji Talep Tahmini	2005-2020

Tablo 8’de Türkiye için yapılan enerji talep tahmin çalışmalarında farklı yöntemlerin - zaman serisi, regresyon, otoresyon, genetik algoritma ve yapay sinir ağıları- ve farklı bağımlı/bağımsız değişkenler kullanıldığı görülmektedir.

Söz konusu çalışmalar arasında -hidrojen de dahil- yenilenebilir enerji talebine ve bunların oluşturacağı Pazar büyüklüğüne ilişkin bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmalar sonucunda, genel olarak Türkiye’de ve hatta dünyada sosyal bilimler alanında hidrojen enerjisi ile ilgili literatürde bir boşluğun olduğu fark edilmektedir. Enerji tahmin çalışmalarında fosil tabanlı yakıtların ve elektriğin tahminine yönelik çalışmaların ağırlıklı olduğu görülmektedir. Bu bağlamda bu tez çalışmanın bu konudaki eksikliğin giderilmesine bir katkıda bulunacağı beklenmektedir.

Aşağıda bu çalışmada kullanılan araştırma metodolojisi, araştırma modeli, araştırma yöntemi ve araştırma bulguları sunulmaktadır.

3.4. Araştırma Metodolojisi

Çalışmanın bu kısmında aşağıdaki sıralama izlenmiştir. İlk olarak, yapılan araştırmanın modeli açıklanmış daha sonra analizde kullanılan veri seti, değişkenler ve yöntem hakkında bilgi verilmiştir. Bunu takiben ise hidrojenin enerji ve diğer alanlardaki pazar büyüklüğü tespit etmeye yönelik olarak Bass modeli kullanılarak bir tahmin yapılmaya çalışılmıştır. Daha sonra ise, tahmin yöntemlerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

3.4.1. Araştırma Yöntemi

Bu bölümde Türkiye’ye ait enerji verileri kullanılarak, enerji tüketiminin değişim yapısını belirleyen ve uzun dönem enerji talebini tahmin etmeye yarayan uygun modeller geliştirilmeye çalışılmıştır. Enerjinin başlıca kullanım yerleri ulaşım, ısıtma ve sanayi olduğu için, enerji tüketimi zamanın, nüfusun, gelirin ve çeşitli ekonomik göstergelerin bir fonksiyonu olarak ele alınmaktadır. Nüfus ve gelir artıkça enerji tüketim miktarları da doğru orantılı olarak değişecektir. Örneğin, artan nüfus ve gelir karşısında enerji tüketimi de artış gösterecektir.

Çalışmada tahmin yöntemlerinin içinde çalışma için en uygun yöntem olduğu düşünülen çoklu regresyon metodu ve Bass difüzyon modeli kullanılmaktadır. Enerji

kaynaklarının tüketimleri dikkate alınarak petrol, doğalgaz ve kömür için üç farklı regresyon modeli kullanılmaktadır. Bu yapılan regresyon analizi ile fosil tabanlı ürünlerin tüketimi ile GSMH ve fiyat faktörleri arasındaki ilişki analiz edilmektedir. Bu analizin amacı enerji tüketimini etkileyen faktörlerin etkinliklerini görmektir. Bu faktörlerin gelecekte hidrojen enerjisinin tüketiminde de etkin olması beklenmektedir. Çünkü hidrojen enerjisi, fosil tabanlı yakıtların yerine ikame edilecek bir enerji kaynağıdır.

Ayrıca hidrojen enerjisinin pazar büyüklüğünü tahmin edebilmek için bu fosil tabanlı ürünlerin toplam tüketim verileri kullanılarak hidrojenin gelecekteki tüketimleri de Bass difüzyon modeli ile tahmin edilmektedir. Hidrojen tabanlı ürünlerin -araçlarda, cep telefonlarında, dizüstü bilgisayarlarda, kameralarda, portatif araçlarda- tahmininde de Bass modeli kullanılmıştır.

Çalışmadaki bulgular iki farklı şekilde ortaya çıkmaktadır. İlk olarak araştırmada kullanılan veriler -hidrojen enerjisinin ikame olduğu fosil tabanlı ürünler- ile ekonomik göstergeler arasındaki ilişki analiz edilmektedir. Daha sonraki kısımda ise araştırmada asıl önem arzeden hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünler için tahmin çalışmaları yer almaktadır.

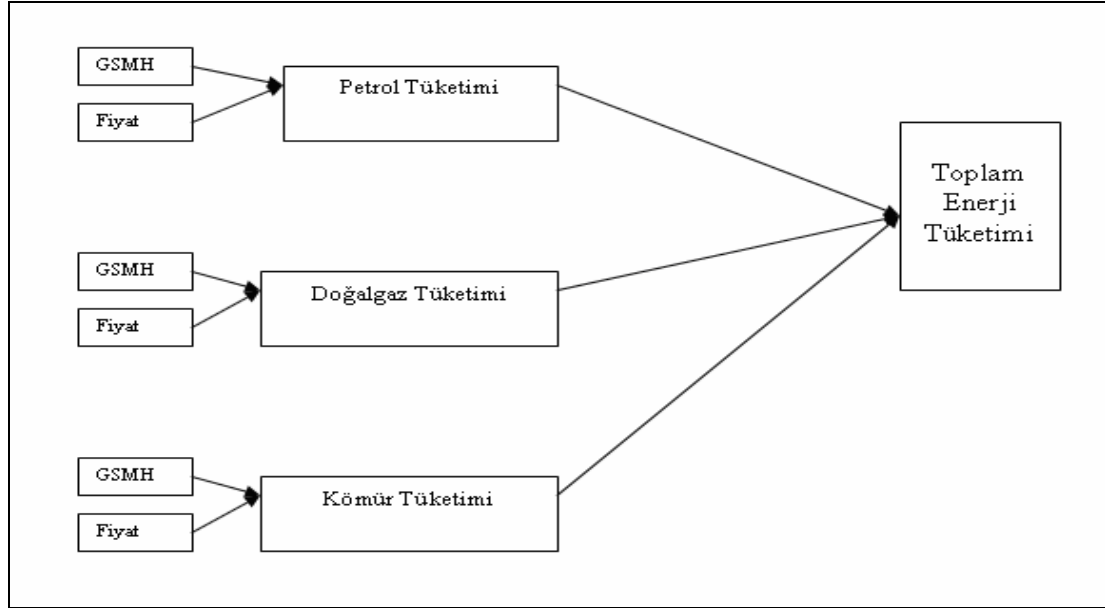
3.4.2. Araştırmanın Modeli

Hidrojen enerjisinin pazar büyüklüğünü tahmin ederken, hidrojen enerjisine dair henüz yeterli veri olmamasından ve yeni gelişen bir pazar olmasından dolayı, tahmin hidrojenin ikame edeceği fosil tabanlı ürünlerin -petrol, doğalgaz ve kömür- pazar tahminleri toplam tüketim verilerine dayanarak yapılmaya çalışılmaktadır.

Çalışmada hidrojen enerjisinin ikame edeceği ve toplam tüketimde etkili olan faktörleri ilk olarak tüketimi nasıl etkilediği ve aralarındaki ilişkinin nasıl olduğunu görebilmek için çoklu regresyon yöntemi uygulanmaktadır. Çünkü çoklu regresyon yöntemi, bir bağımlı değişken ile birden fazla bağımsız değişkenin ilişkisi test edilebilmekte ve bağımlı değişkeni etkileyen bağımsız değişkenlerin sayısı birden fazla olması her bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki kısmi ağırlığı tespit edilebilmektedir. Dolayısıyla, her bağımsız değişkenin bağımlı değişkendeki değişimleri açıklama oranı da farklı olmaktadır.

Enerji tüketimlerini etkileyen ve bağımsız değişken olarak almamız gereken nüfus faktörü analizlerde kullanılmamaktadır. Çünkü miktar (ton) olan enerji tüketimlerini ve reel GSMH değerlerini nüfus değişkenine bölerek verilerimizi kişi başına düşen miktar haline dönüştürerek nüfusu bir bağımsız değişken olarak almaya gerek kalmamıştır.

Şekil 10: Araştırmanın Mantıksal Modeli



Şekil 10'da bu çalışmada kullanılan mantıksal model verilmektedir. Modele göre petrol için kısmi regresyon denklemi; $Y_{PetrolTüketimi} = \beta_0 + \beta_1 X_{GSMH} + B_2 X_{Fiyat} + u_i$ şeklinde olmaktadır. Tüketime etki eden gayri safi milli hasıla (GSMH) ve petrol fiyatları ile 1980-2005 yılları arasındaki tüketim verileri ele alınarak, petrol ve söz konusu değişkenler arasındaki ilişki analiz edilmektedir. Gelecekte hidrojen tüketiminin de petrol tüketimini etkileyen bu faktörlere bağlı olarak değişmesi beklenmektedir.

Doğalgazın kısmi regresyon modeli de $Y_{DoğalgazTüketimi} = \beta_0 + \beta_1 X_{GSMH} + B_2 X_{Fiyat} + u_i$ şeklindedir. Tüketime etki eden GSMH ve doğal gaz fiyatları ile 1980-2005 yılları arasındaki tüketim verileri ele alınarak doğalgaz ve ilgili değişkenler arasındaki ilişki analiz edilmektedir.

Kömürün kısmi regresyon modeli ise

$Y_{KömürTüketimi} = \beta_0 + \beta_1 X_{GSMH} + \beta_2 X_{Fiyat} + u_i$ şeklinde ifade edilebilir. Kömür tüketimine etki eden GSMH ve kömür fiyatları ile 1980-2005 yılları arasındaki tüketim verileri ele alınarak kömür ve bu değişkenler arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu mantıksal hareketle hidrojen enerjisinin kullanılmasını etkileyen temel faktörler olarak GSMH ve hidrojen enerjisinin fiyatı kabul edilebilir.

3.5. Ekonometrik Yöntemler

Hidrojen enerjisine ikame olan enerji verileri olan petrol, doğalgaz, kömür tüketimleri miktar olarak ve bağımlı değişkenler -bu bağımlı değişkenler petrol, doğalgaz ve kömür verileri aşağıdaki tabloda gösterilmektedir- olarak ele alınarak bu enerjilerin tüketimlerini etkileyen faktörler GSMH ve enerji fiyatları parasal olarak ve bağımsız değişken olarak SPSS programında doğal logaritma (Ln) şekline dönüştürülerek yapılan regresyon analizleri aşağıda sunulmaktadır.

Petrol: GSMH ve petrol fiyatlarının bağımlı değişken olan petrol tüketimini açıklayıcı etkileri şöyle bulunmuştur:

Tablo 9: Petrol için Korelasyon Katsayıları

Çoklu Korelasyon R	0,91
R^2	0,83
Düzeltilmiş R^2	0,82
Standart Hata	0,05
Durbin-Watson (DW)	1,565

Tablo 10: Petrol Varyans Analizi Sonuçları

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Regresyon	2	0,370	0,185
Kalıntılar	23	0,073	0,003
F Değeri : 58,484		Anlamlılık Düzeyi: 000	

F değeri (58,484) nin 0,00 anlamlılık düzeyinde geçerli olması, modelin bir bütün olarak geçerli olduğunu ve iki bağımsız değişkenin, bağımlı değişkendeki değişmelerin 0,83'sini açıkladığını göstermektedir.

Tablo 11: Petrol için Regresyon Bulguları

Değişkenler	Katsayılar	Standart Hatalar	Beta (Standardize Edilmiş Katsayılar)	t	Anlamlılık
Sabit	4,669	0,021	-	222,229	,000
X_1 (GSMH)	0,204	0,030	5,539	6,928	,000
X_2 (Fiyat)	-0,191	0,032	-4,806	-6,011	,000

Kısmi regresyon katsayılarını denklemde yerine koyarsak petrol tüketim denklemi; $Y_{PetrolTüketimi_t} = 4,669 + 0,204X_{GSMH_t} - 0,191X_{Fiyat_t}$ şeklindedir. Bağımsız değişkenlerden X_1 katsayısının pozitif olması, bu bağımsız değişkenin bağımlı değişken ile arasındaki ilişkinin aynı yönde, yani pozitif olduğunu göstermektedir. Fakat X_2 katsayısının negatif olması, petrol tüketiminin fiyat ile ters orantılı olduğunu göstermektedir. Bağımsız değişkenler X_1 ve X_2 'e ait katsayıların t değerlerinin 000 anlamlılık düzeylerinde geçerli olmaları katsayıların da anlamlı olduğunu göstermektedir. Ancak GSMH'yi temsil eden X_1 'in t değeri olan 6,928'in, fiyatı temsil eden X_2 'nin t değeri olan -6,011'den büyük olması, X_2 'ye nazaran, X_1 'in bağımlı değişkendeki değişimleri daha iyi açıkladığını göstermektedir.

Ayrıca burada petrol tüketiminin gelir esnekliği 0,204, fiyat esnekliği ise -0,19'dur. Örneğin petrol fiyatı % 1 artarsa talebi ancak % 0,19 azalmaktadır. Yani her ikisi de inelastiktir ve ineleastik fiyat esnekliği petrole bağımlılığı ve ikamesinin az olduğunu göstermektedir. Bu durumda petrolü ikame edecek hidrojen enerjisi, nükleer enerji ve rüzgar enerjisi gibi ikamelerin bir an önce gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu bağlamda hidrojen enerjisinin gelişiminin önemi ön plana çıkmaktadır.

Doğalgaz: GSMH ve doğalgaz fiyatlarının bağımlı değişken olan doğalgaz tüketimini açıklayıcı etkileri:

Tablo 12: Doğalgaz için Korelasyon Katsayıları

Çoklu Korelasyon R	0,95
R^2	0,92
Düzeltilmiş R^2	0,91
Standart Hata	0,23
Durbin-Watson (DW)	0,636

Tablo 13: Doğalgaz Varyans Analizi Sonuçları

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Regresyon	2	14,219	7,109
Kalıntılar	23	1,241	0,054
F Değeri : 131,731		Anlamlılık Düzeyi: 000	

F değeri (131,731) nin 0,00 anlamlılık düzeyinde geçerli olması, modelin bir bütün olarak geçerli olduğunu ve iki bağımsız değişkenin, bağımlı değişkendeki değişmelerin 0,92'sini açıkladığını göstermektedir.

Tablo 14: Doğalgaz için Regresyon Bulguları

Değişkenler	Katsayılar	Standart Hatalar	Beta (Standardize Edilmiş Katsayılar)	t	Anlamlılık
Sabit	5,069	0,522		9,704	,000
X_1 (GSMH)	0,319	0,116	1,462	2,741	,000
X_2 (Fiyat)	-0,129	0,135	-0,508	-0,952	,351

Kısmi regresyon katsayılarını denklemden yerine koyarsak doğalgaz tüketim modeli $Y_{DoğalgazTüketimi_t} = 5,069 + 0,319X_{GSMH_t} - 0,129X_{Fiyat_t}$ şeklindedir. Bağımsız değişkenlerden X_1 'in katsayılarının pozitif olması, bu bağımsız değişkenin bağımlı değişken ile arasındaki ilişkinin aynı yönde yani pozitif olduğunu göstermektedir. Fakat X_2 katsayısının negatif çıkması doğalgaz tüketiminin fiyat ile ters orantılı olduğunu belirtmektedir. Bağımsız değişkenlerden X_1 'e ait katsayısının t değeri 000 anlamlılık düzeylerinde geçerli olması X_1 katsayısının anlamlı olduğunu göstermektedir. Bağımsız değişkenlerden X_2 'e ait katsayısının t değeri ise 0,351 çıkmıştır. Ancak GSMH'yi temsil eden X_1 'in t değeri olan 2,741'in, fiyatı temsil eden X_2 'nin t değeri olan -0,952'den büyük olması, X_2 'ye nazaran, X_1 'in bağımlı değişkendeki değişmelerin önemini/etkisini gösterir.

Doğalgaz tüketiminin gelir esnekliği 0,319 ve fiyat esnekliği -0,129 olmaktadır. Örneğin doğalgaz fiyatı % 1 artarsa talebi ancak % 0,129 azalmaktadır ve bu bağlamda ineleastik fiyat esnekliği doğalgaza bağımlılığı ve ikamesinin az olduğunu göstermektedir.

Kömür: GSMH ve kömür fiyatlarının, bağımlı değişken olan kömür tüketimini açıklayıcı etkileri aşağıda gösterilmektedir.

Tablo 15: Kömür için Korelasyon Katsayıları

Çoklu Korelasyon R	0,79
R^2	0,63
Düzeltilmiş R^2	0,59
Standart Hata	0,10
Durbin-Watson (DW)	1,681

Tablo 16: Kömür Varyans Analizi Sonuçları

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Regresyon	2	0,405	0,202
Kalıntılar	23	0,238	0,010
F Değeri : 19,545		Anlamlılık Düzeyi: 000	

F değeri (19,545) nin 0,00 anlamlılık düzeyinde geçerli olması, modelin bir bütün olarak geçerli olduğunu ve iki bağımsız değişkenin, bağımlı değişkendeki değişmelerin 0,63'ünü açıkladığını göstermektedir.

Tablo 17: Kömür için Regresyon Bulguları

Değişkenler	Katsayılar	Standart Hatalar	Beta (Standardize Edilmiş Katsayılar)	t	Anlamlılık
Sabit	4,766	0,040		119,496	,000
X_1 (GSMH)	0,890	0,143	19,990	6,234	,000
X_2 (Fiyat)	-0,939	0,150	-20,035	-6,249	,000

Kısmi regresyon katsayılarını modelde yerine koyarsak kömür tüketim modeli $Y_{KömürTüketimi_t} = 4,766 + 0,890X_{GSMH_t} - 0,939X_{Fiyat_t}$ şeklindedir. Bağımsız değişkenlerden X_1 'in katsayısının pozitif olması, bu bağımsız değişkenin bağımlı değişken ile arasındaki ilişkinin aynı yönde yani pozitif olduğunu göstermektedir. Fakat X_2 katsayısının negatif çıkması kömür tüketiminin fiyat ile ters orantılı olduğu anlamına gelmektedir. Bağımsız değişkenler X_1 ve X_2 'e ait katsayıların t değerlerinin 000 anlamlılık düzeylerinde geçerli olmaları katsayılarında anlamlı olduğunu göstermektedir. Ancak GSMH'yı temsil eden X_1 'in t değeri olan 6,234'in, fiyatı temsil eden X_2 'nin t değeri olan -6,249'den büyük olması, X_2 'ye nazaran, X_1 'in bağımlı değişkendeki değişmelerin önemini/etkisini gösterir.

Kömür tüketiminin gelir esnekliği 0,890 olurken ve fiyat esnekliği -0,939 olmuştur. Bu bağlamda kömür fiyatı % 1 artarsa talebi ancak % 0,939 azalmaktadır ve bu

bağlamda ineleastik fiyat esnekliği kömüre bağımlılığı göstermektedir. Böylece üç modelin gelir ve fiyat ilişkileri teorik işaretlere uygun bulunmuştur.

Yukarıda tahmin edilen üç regresyonun tahmincilerinden görüldüğü gibi, her üç enerji kaynağı da inelastik gelir ve fiyat esnekliğine sahiptir. Gelirdeki % 1 lik bir artış veya ekonomik büyümede bir puanlık artış petrol tüketimini % 0,2 doğalgaz tüketimini % 0,32 ve kömür tüketimini % 0,89 artırmaktadır. Bu oranlardan hareketle % 1 lik bir gelir artışının bu mallara olan enerji talebini ve dolaylı olarak da hidrojen enerjisi talebi üzerine gelir etkisinin öngörüsünde bulunulabilir. Ekonomik büyümede bu malların zorunlu olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca inelastik fiyat esneklikleri de bu malların ikamesinin olmadığını göstermektedir. Bugün dünyada olduğu gibi bu malların fiyatları artsa da enerji yoksulu ülkeler bunların ithalatından vazgeçememektedir ve bu mallara yapılan ithal harcamalarını kısamamaktadır. Bu nedenle, bunlardan birisi olan Türkiye'nin dış ticaret açığında bu malların payı 2007 yılı itibariyle % 55'e ulaşmıştır.

Diğer taraftan, fosil tabanlı enerji kaynaklarının tüketiminde gelir ve fiyat faktörlerinin etkili olduğu yapılan analizlerde açık olarak görülmektedir. Bu faktörler hidrojen tüketimini de etkileyecektir. Bu nedenle, fosil tabanlı ürünlerin gelecekteki tahminleri yapılırken mutlaka bu faktörlerde göz önüne alınmalıdır. Mantıksal modele göre yapılan bu analizlerde ileride hidrojen pazarını etkileyecek faktörlerin etkisi gösterilmeye çalışılmıştır.

Fosil tabanlı ürünlerden hidrojen teknolojilerine geçiş aşamasında hidrojen enerjisinin ve hidrojen tabanlı ürünlerin gelecekteki pazar büyüklüğünü tahminleri aşağıda yapılmaktadır.

BÖLÜM 4 : BASS MODELİ İLE HİDROJEN ENERJİSİNİN VE HİDROJEN TABANLI ÜRÜNLERİN PAZAR BÜYÜKLÜĞÜNÜN TAHMİNİ

İstatistiksel modeller ve yargısal tahmin yöntemleri genellikle geçmiş verilere dayalı olarak yapılır. Halbuki yeni ürünlerle ilgili en temel problemlerden birisi, geçmişe yönelik yeterli veri bulunmamasıdır. Bu ise tahmin çalışmalarını zorlaştırmaktadır. Buna yönelik geliştirilen bazı tahmin yöntemi sınırlı sayıda veri kullanarak tahmin yapmaya imkan vermektedir. Bass modeli bunlardan bir tanesidir.

Bu bağlamda Bass modeli yeni ürüne benzer -yerine ikame olan- malın geçmişteki verileri kullanılarak geleceğe ait tahmin yapmaya imkan vermektedir. Yeni bir ürün için talep tahmini yaparken, o ürün ile ilgili verinin çok az olduğunu veya hiç olmadığı durumlarda benzer bir ürünün verilerinin direkt kullanılarak tahmin yapılabilir (Blahberg ve Golanty, 1978; Lilien vd. 1981).

4.1. Bass Modeli

Literatürde Bass modeli ile ilgili bir çok tahmin çalışması bulunmaktadır. Genel olarak *yeni bir ürünün pazar tahmini yapmada kullanılan Bass modelinin mantığını* (Mahajan vd., 1990; Bass vd., 1994; Boswijk ve Franses, 2000; Niu, 2002; Bass, 2005) ve *yeni bir ürünün pazar adaptasyonu ve tahmini satışlarının tahmin etmede en uygun modelin Bass tahmin modeli olduğu* (Dodds, 1973; Tigert ve Farivar, 1981; Dowling ve Walsh, 1990) çalışmalarında açıklamaktadır. Dodds (1973) ise kablolu televizyonların uzun dönemli tahminini Bass modeli ile analiz etmiştir. Kablolu televizyonlar tahmin gelişiminde örnek olarak renkli televizyonların büyümesindeki bilgiler kullanılmıştır. Tigert ve Farivar (1981) çalışmalarında süpermarketlerde uygulanan görsel tarama kurulumunu tahmin etmek için yüksek teknolojili yeni ürünlerin gelişimi için uygun olduğu düşünülen Bass difüzyon modelini uygulamıştır. Görsel tarama kurulumunu farklı pazar potansiyellerinde yapmışlardır. Gerçek ve tahmini verilerle yapılan tahmin sonuçları ise aynı paralelliktedir. Dowling ve Walsh (1990) yeni ürünlerin tahmininde kullanılan Bass modelini, sekiz ülkede renkli televizyon kullanımının nasıl olacağını tahmin etmek için uygulamışlardır. Sekiz ülke için gerekli parametreleri -p, q, m- bulmak için OLS ve MLS (maximum likelihood

estimation) tekniklerini kullanmışlardır. Bulunan bu parametreler ile renkli televizyonların gelecekte ülkelerdeki pazar tahminlerini Bass modeli ile yapmışlardır. Mahajan vd., (1990) göre yeni bir ürün, bireyler ve gruplar arasında iki şekilde yayılabilmektedir. Birincisi yeni ürün, yenilikçiler tarafından ortaya çıktıklarında, yeni ürünlerin iyi nitelikteki özellikleri diğer bireylerin dikkatini çekebilmektedir. Eğer bulunan ortam belirsiz bir ortam ise yeni ürünün özelliklerinden dolayı bu ürünü benimsemek isteyenler, ilk benimseyenlerin davranışlarını, bilgilerini alma eğiliminde bulunmaktadırlar. Bass vd. (1994) bu çalışmada Bass modelinin genel bir çerçevesi verildikten sonra difüzyon modelindeki değişkenler genel Bass modeli çerçevesinde karşılaştırılmıştır. Kim vd. (1999) Kore'deki yeni telekomünikasyon hizmetleri için talep tahmininde Bass modelini kullanmışlardır, çünkü bir çok yeni hizmet yeni teknoloji yaratmanın temelidir. Bu çerçevede Bass modeli genellikle yeni ve teknolojik ürünlerin tahmininde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünler için tahmin yaparken benzer -ikame- ürün olan fosil tabanlı ürünlerin verileri temel alınarak Bass modeli uygulanmıştır. Yeni bir ürün olan hidrojen enerjisi için Bass modeli kullanılması uygun bir model olarak gözükmektedir. Bu yöntem yeni ürünlerde talep tahmini için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu modelin çalışmada kullanılmasının sebebi; literatürde Bass tahmin modelinin yeni ürün tahminlerine sağlıklı tahminler üreten bir model olması ve yeni ürüne ait veriler yok ise benzer ürünlerin verilerini kullanmaya imkan vermesidir.

Bass modeli, difüzyon sürecinde, yeni ürünlerin müşteriler arasında kabul görmesi için ürünlerin yaygınlık kazanma aşamasıdır. Bu aşama genellikle iki segmentten oluşan pazarlardaki difüzyon ile ilgilidir. Bu iki segment 'etkileyiciler' (ürün yeniliklerine ayak uyduran ve onları kolaylıkla kabullenen bilgili insanlar) ve 'taklitçiler' (satın alma kararları daha bilgili akranları tarafından yönlendirilen insanlar) olarak adlandırılır. Bu model yeni gelişmelere diğer insanların çoğundan daha yakın duran etkileyicileri, muhtemel hedef müşteri olarak belirlemekte ve onları müşteriye dönüştürmektedir (Ateş, 2007).

Bu bağlamda, yeni ürün yayılımını matematiksel çerçevede açıklayan Bass modeli, yeni ürün difüzyonundaki iki bileşeni tahmin etmek için kullanılmaktadır¹. Frank Bass (1969) difüzyon analizi sonucunda iki tane bağımsız bileşen -p ve q- belirlemiştir. Bu iki bileşen -yenilik katsayısı 'p' (mass media) ve imitasyon katsayısı 'q' (word of mouth)- olarak tanımlanmıştır (Morrison, 2000; Boswijk ve Franses, 2000; Bass, 2005).

Bass modeli yeni bir ürünü kısa zamanda benimsemeyi hedeflemektedir. Bass modelinin difüzyon model etkisindeki durumu;

$$\frac{dN(t)}{dt} = (a + bN(t))(N - N(t)) \quad \text{şeklindedir.}$$

Burada a ve b sırasıyla içsel (medya iletişimi) ve dışsal etki (ağızdan ağza iletişim) katsayılarıdır, $N(t)$ toplam benimseyen sayısı (cumulative number of adopters) ve N potansiyel benimseyenlerin toplam sayısıdır. Dışsal etki direk satış ve medya iken içsel etki ağızdan ağza iletişimidir. $F(t)$ benimseyenlerin toplam oranı olarak alınır; Bass modeli

$$\frac{dF(t)}{dt} = (p + qF(t))(1 - F(t)) \quad \text{veya}$$

$$\frac{dF(t)}{dt} = p(1 - F(t)) + qF(t)(1 - F(t)) \quad \text{şeklinde olmaktadır.}$$

Burada p, yenilik katsayısı, q, imitasyon katsayısı ve m, benzer bir ürünün ilk satışlarıdır. Bass modelindeki parametreleri tahmin etmedeki diferansiyel denklemden benzer Bass modeli ise,

$$S_T = a + bY_{T-1} + cY(T-1) \quad \text{olarak tanımlanmaktadır.}$$

¹ Difüzyon, yeni bir teknoloji veya ürünün pazar tarafından kabulü süreci olarak tanımlanmaktadır. Ekonomi biliminde, difüzyon daha ziyade teknolojik değişiklik anlamında kullanılmaktadır. Teknolojik değişiklik (veya yeni ürün) toplumdaki bireyler tarafından kabul görüp kullanılmaktadır. Difüzyon mekanizmalarını açıklayan Rogers (2003) ve Moore (1991) başta olmak üzere birkaç teori bulunmaktadır. Bireylerin yeni bir ürünü ya da teknolojiyi edinim hızları difüzyon oranı adı verilen bir parametre ile kontrol edilir. Yeni bir ürün ya da teknolojinin bireyler tarafından edinim süreçlerini inceleyen birçok difüzyon modeli geliştirilmiştir. Farklı difüzyon modelleri, difüzyon sürecini farklı açılardan incelenmesinde farklı performanslar gösterdiklerinden dolayı, difüzyon modeli seçimi önemlidir. Literatürde yeni ürün ve teknolojilerin difüzyonu için en sık kullanılan model Bass (1969) modelidir. Bass difüzyon modeli birçok alanda başarıyla uygulanmıştır (Aykaç vd., 2007).

S_T , T zamanındaki satışlar ve Y_{T-1} ise T-1 zamandaki toplam satışlardır. Denklemdaki a, b ve c katsayıları p, q ve m' nin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

$$p = a/m$$

$$q = m * c$$

$$m = \left(-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac} \right) / 2c \text{ şeklinde hesaplanmaktadır.}$$

Denklemdaki a, b ve c katsayıları, en küçük kareler regresyon tekniği (OLS) kullanılarak tahmin edilmektedir. (Bass modelindeki OLS -Ordinary Least Squares - En Küçük Kareler Yöntemi- tahmini çoklu doğrusallık çerçevesinde eleştirilmektedir (Dowling ve Walsh, 1990; Mahajan vd., 1990).¹ ²Bass difüzyon modeli bu çerçevede yeni ürün yayılımı ve adaptasyonu gösteren bir model olarak alınabilmektedir. Tahmin amacıyla ise model;

$$\text{BassTahmin Denklemi} = p * (\text{ToplamTüketim}_{t-1} - \text{KümülatifTüketim}_{t-1}) + q * \left(\frac{\text{KümülatifTüketim}_{t-1}}{\text{ToplamTüketim}_{t-1}} \right) * (\text{ToplamTüketim}_{t-1} - \text{KümülatifTüketim}_{t-1})$$

$$N_t = p * (m - N_{t-1}) + q * \left(\frac{N_{t-1}}{m} \right) * (m - N_{t-1})$$

şeklinde kullanılmaktadır.

Bu ürünler ışığında Bass modelinin hidrojen pazarını tahmin içinde kullanacağı anlaşılmaktadır. Ancak hidrojen yeni bir ürün olduğu için geçmişe ilişkin veri bulunmamaktadır. Bu durumda hidrojen enerjisi pazarının tahmini için benzer ürünler ile ilgili verilerin kullanılması gerekmektedir. Bass modeli buna imkan vermektedir.

¹ OLS, en küçük kareler yöntemi, birbirine bağlı olarak değişen iki fiziksel büyüklük arasındaki matematiksel bağlantıyı, mümkün olduğunca gerçeğe uygun bir denklem olarak yazmak için kullanılan, standart bir regresyon yöntemidir (Gujarati, 2006).

² Çoklu doğrusallık bir regresyon modelinde bağımsız değişkenlerin tümü veya bir kısmı arasında tam bir doğrusal ilişkinin var olması anlamına gelir. Yani çoklu regresyon modelinde açıklayıcı değişkenlerden bazılarının veya tümünün kendi aralarında güçlü bir ilişkinin olmasına çoklu doğrusallık denir. Burada kastedilen bağımsız değişkenler arasındaki güçlü ve tam bir ilişkidir (Tarı, 2005). Çoklu doğrusallık terimi önceleri, bir regresyon modelinin bütün ya da bazı açıklayıcı değişkenlerin arasında tam ya da kesin doğrusal ilişkinin varlığı anlamında iken, günümüzde çoklu doğrusallık terimi, hem tam çoklu doğrusallığı, hem de X değişkenlerinin tam olmasa da birbiri ile ilişki içinde oldukları durumu içeren daha geniş bir anlamda kullanılmaktadır (Gujarati, 2006).

Bass modeli ile yapılan hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünlerin pazar büyüklüğü tahmini bazı varsayımlara bağlı olarak yapılmıştır. Bu varsayımlar şunlardır:

- Yeni ürünlerdeki pazar potansiyeli zaman boyunca sabit kalmaktadır.
- Yenilik yayılımı yani difüzyonu -yeni ürün gelişimi- diğer bütün yeniliklerden bağımsız olarak alınmaktadır.
- Yeni ürünler için yenilik zaman boyunca değişmemektedir.
- Arz kısıtlamaları yoktur.
- Ürün ve pazar özellikleri difüzyon -yenilik- modellerini etkilememektedir.

Bu kısıtlamalar -varsayımlar- altında hidrojen enerjisinin enerji alanında ve hidrojen tabanlı ürünler Bass modeli ile tahmin edilmiştir. Burada belirtilmesi gerek önemli bir nokta, aşağıda yapılan analizlerde gerçek değerler ile tahmin değerleri arasında farklar oluşmaktadır ve bu değerler arasındaki sapmalar Bass modelinin yapısından ve Türkiye'deki piyasa durumundan kaynaklanmaktadır. Ayrıca modellerde kullanılan verilerin ilk yıllarına ulaşamadığı için tahmin değerleri arasında farklar oluşmaktadır.

4.2. Hidrojen Teknolojilerinin Enerji Kullanım Alanları İçindeki Toplam Pazar Büyüklüğü

Hidrojen enerjisi Türkiye'de yaygın olarak sanayide kullanılmaktadır ve bu çerçevede Türkiye'de hidrojen üretimi yapan iki kuruluş -Linde Grubu ve Habaş- bulunmaktadır. Bundan dolayı hidrojenin, enerji tüketimi içindeki payı çok düşüktür. UNIDO-ICHET tarafından yapılan bir araştırmaya göre ise 2005 yılında Türkiye'de hidrojen üretim miktarı $1,8 \times 10^9$ m³ /yıl (196,2 m³/yıl) olmuştur (Tabakoğlu, 2008). Elde edilen bu bilgiler hidrojen enerjisinin gelecekteki tüketimini tahmin etmede yetersiz kalmaktadır. Hidrojen enerjisi ile ilgili Türkiye'de veri toplama olanağı olmadığı için hidrojen enerjisi ile ilgili tahmin yapmada hidrojen enerjisinin ikame olacağı kaynakların verileri esas alınmıştır.

Hidrojen enerjisinin fosil tabanlı enerji kaynaklarını ileride ikame edecek olmasından dolayı hidrojen talep tahmini yapılırken -yani hidrojenin pazardaki büyüme hızı belirlenirken- fosil tabanlı ürünler -petrol, doğalgaz ve kömür- örnek olarak

alınmıştır. Petrol, doğalgaz ve kömür'ün toplam tüketim verileri Türkiye'de ki hemen hemen ilk kullanılmaya başladığı yıldan -dahası elde edilebilen en eski yıldan bu yana- günümüze kadar ki pazar büyüme trendi analiz edilerek, hidrojen enerjisinin 2020 yılına kadar pazar büyüklüğü tahmin edilmektedir.

Yapılan araştırmalara göre ise Türkiye'de 2020 yılında yenilebilir enerji payının % 10-15 seviyelerine yükseleceğini, hidrojen enerjisinin de bu orandaki payının çok yüksek olacağı ortaya konmuştur (Ersöz, 2007).

Çalışmada hidrojenin ikame olabileceği fosil tabanlı ürünlerin -petrol, doğalgaz ve kömür- tüketim verileri kullanarak hidrojen için pazar tahmini yapılmıştır. Hidrojenin bu fosil tabanlı ürünlere ikame olacak olmasından dolayı üçünün tüketimleri alınarak Bass modeline uygulanmıştır. Bu çerçevede aşağıda yıllar itibariyle son 27 yılın -1980 ve 2006- petrol, doğalgaz ve kömür tüketimleri ile hidrojen enerjisi tahmin edilmiştir¹.

4.2.1. Petrol

Hidrojen enerjisine ikame olan petrolün 1980 ve 2006 yıllarındaki tüketimleri, toplam tüketimleri ve toplam tüketiminin t-1 gecikmeleri ve (t-1)² gösterilmiştir.

Tablo 18: Hidrojene İkame Olan Petrolün Toplam Tüketimleri (BTPE)

Yıllar	Petrol Tüketimi	Toplam Petrol Tüketimi	Toplam Petrol Tüketimi (t-1)	Toplam Petrol Tüketimi Karesi (t-1) ²
1980	12.910	12.910	0	0
1981	12.753	25.663	12.910	166,66
1982	13.554	39.217	25.663	658,58
1983	14.029	53.246	39.217	1537,97
1984	14.201	67.447	53.246	2835,13
1985	14.639	82.086	67.447	4549,09
1986	16.022	98.108	82.086	6738,11
1987	18.804	116.912	98.108	9625,17
1988	18.944	135.856	116.912	13668,41
1989	19.249	155.105	135.856	18456,85
1990	20.797	175.902	155.105	24057,56
1991	20.537	196.439	175.902	30941,51
1992	21.514	217.953	196.439	38588,28
1993	24.368	242.321	217.953	47503,51
1994	22.909	265.230	242.321	58719,46
1995	26.018	291.248	265.230	70346,95

¹ Bütün tüketim değerleri 'Bin Ton Petrol Eşdeğeri-BTPE' -in thousand tones of oil equivalent-cinsindedir.

Tablo 18'in devamıdır.

1996	27.315	318.563	291.248	84825,39
1997	26.651	345.214	318.563	101482,38
1998	26.046	371.260	345.214	119172,70
1999	25.916	397.176	371.260	137833,98
2000	26.924	424.100	397.176	157748,77
2001	25.006	449.106	424.100	179860,81
2002	25.121	474.227	449.106	201696,19
2003	26.014	500.241	474.227	224891,24
2004	27.032	527.273	500.241	250241,05
2005	26.005	553.278	527.273	278016,81
2006	24.722	578.000	553.278	306116,54

Kaynak: TUİK, (2008) (İlk sütundaki petrol verileri TUİK' ten alınmıştır.)

Tablo 18'e göre hidrojenin talep tahminini yapmak için ikame ürün petrolün verileri kullanılmıştır. Bass modeli çerçevesinde önemli olan p & q değerlerini lineer regresyon kullanarak tahmin etmektedir. Regresyon modelinde, bağımlı değişken olarak tablonun ilk sütunundaki petrol tüketimi alınmıştır. İkinci sütununda, toplam petrol tüketimleri -non-kümülatif olarak- yer almaktadır. Bağımsız değişken olarak üçüncü sütunundaki t-1 gecikmeli petrol tüketimi ve dördüncü sütunundaki t-1 gecikmeli petrol tüketiminin kareleri alınmıştır. Buradan hareketle yapılan regresyonda benzer ürünler için Bass tahmini hesaplanmakta ve p&q değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki tablonun regresyon katsayıları kullanılmaktadır.

Tablo 19: Petrol ile İlgili Regresyon Sonuçları

$ToplamTüke\ tim = 11,507 + 0,073 X_{t-1} - 8,73 X_{(t-1)}^2$	
R	0,964
Gözlem Sayısı	27
	Katsayılar
Sabit Terim	11,507
X_{t-1}	0,073
$X_{(t-1)}^2$	-8,73

Regresyon analizinin sonuçlarına göre toplam tüketime X_{t-1} katsayısı pozitif yönde etki ederken, $X_{(t-1)}^2$ katsayısı negatif bir etki yapmaktadır. R değerinin 0,964 olması X_{t-1} ve $X_{(t-1)}^2$ değişkenleri toplam tüketim üzerindeki ilişkinin % 96'sını açıklamaktadır. Bağımsız değişkenlerden X_{t-1} katsayısının pozitif olması, bu bağımsız değişkenin bağımlı değişken ile arasındaki ilişkinin aynı yönde yani pozitif olduğunu

göstermektedir. Bu model, Bass modelinde kullanılan p ve q değerleri hesaplamalarına yardımcı olmaktadır.

Regresyon analizinin sonuçlarını (katsayılarını) kullanarak benzer ürün için Bass tahmini ile p ve q değerleri hesaplanmaktadır.

Aşama 1:

Toplam Tüketim = 578,000

Aşama 2:

$p = \text{Sabit Terim} / \text{Toplam Tüketim}$

$p = 11,507 / 578,000$

$p = 0,019$

Aşama 3:

$q = p + X_1$

$q = 0,019 + 0,073$

$q = 0,092$

Hesapladığımız p ve q değerlerinden hareketle toplam tüketimin Bass tahmin modeli aşağıdaki olmaktadır.

Tablo 20: Petrol için Bass Tahmin Denklemi

$N_t = p * (m - N_{t-1}) + q * \left(\frac{N_{t-1}}{m} \right) * (m - N_{t-1})$ <p>1. yıl için Bass Tahmini $0,019 * (578,000 - 0) + 0,092 * (0/578,000) * (578,000 - 0) = 10,982$</p> <p>2006 yılına kadar hesaplamalar bu şekilde devam etmektedir.</p>

Tablo 20’de ilk yıl için hesaplanan tahmini petrol tüketiminin nasıl hesaplandığı gösterilmiştir. Bass tahmin denkleminde birinci yıldaki tüketim 10,982 olmaktadır. İkinci ve diğer yılları yukarıdaki Bass tahmin denkleme göre hesaplırsak -bütün tahmin değerler yıllar itibariyle aşağıdaki tabloda gösterilmiştir- ikinci yıl 11,764, üçüncü yıl ise 12,560 olarak hesaplanmıştır.

2006 yılına kadar hesaplanan tahmini petrol tüketim verileri ise tablo 21’de gösterilmiştir.

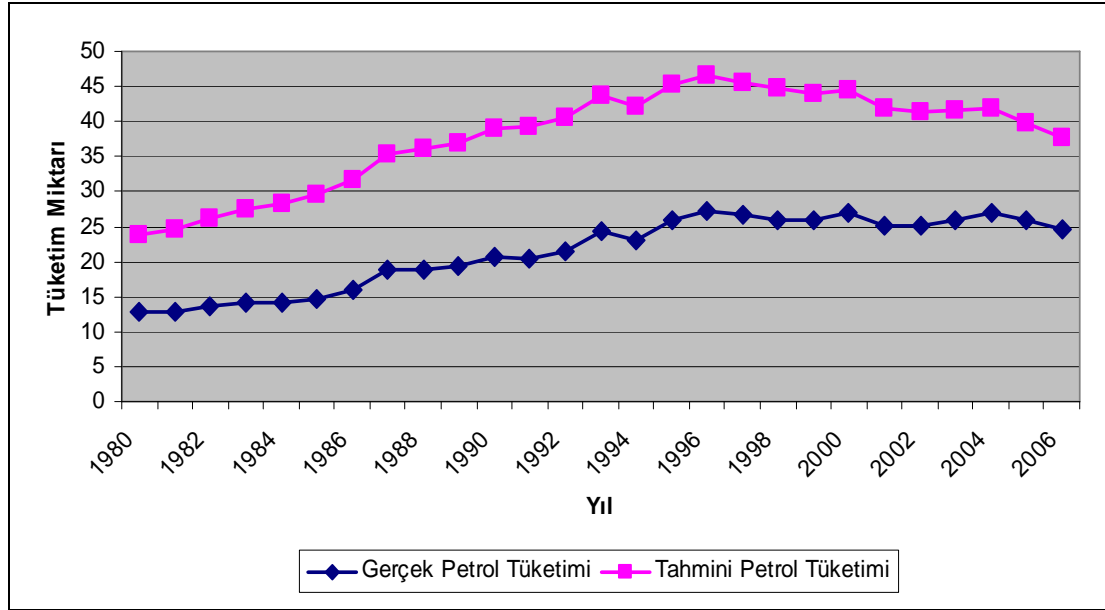
Tablo 21: Gerçekleşen ve Tahmini Petrol Tüketimlerinin Karşılaştırılması (BTPE)

Yıllar	Gerçekleşen Petrol Tüketimi	Tahmini Petrol Tüketimi
1980	12.910	10.982
1981	12.753	11.764
1982	13.554	12.560
1983	14.029	13.360
1984	14.201	14.157
1985	14.639	14.940
1986	16.022	15.696
1987	18.804	16.414
1988	18.944	17.081
1989	19.249	17.684
1990	20.797	18.210
1991	20.537	18.648
1992	21.514	18.988
1993	24.368	19.219
1994	22.909	19.337
1995	26.018	19.336
1996	27.315	19.217
1997	26.651	18.980
1998	26.046	18.631
1999	25.916	18.177
2000	26.924	17.627
2001	25.006	16.994
2002	25.121	16.290
2003	26.014	15.528
2004	27.032	14.723
2005	26.005	13.890
2006	24.722	13.040

Tablo 21’de gösterilen gerçek petrol tüketimleri ve Bass modeli ile yaptığımız tahmin sonuçları şekil 11’de daha net görülmektedir.

Şekil 11’de gerçekleşen petrol tüketimi ile tahmini petrol tüketimi hemen hemen aynı paralelliktedir. Gerçek petrol tüketiminde de tahmini petrol tüketiminde de belli bir yıldan sonra azalışa geçmektedir

Şekil 11: Gerçekleşen ve Tahmini Petrol Tüketimlerinin Karşılaştırılması



Yapılan bu analizlerden sonra yeni ürünümüz hidrojen enerjisinin petrole göre büyüme oranını tahmin etmek için benzer ürünlerdeki yenilik katsayısı $p=0,019$ ve imitasyon katsayısı $q=0,092$ kullanılarak yeni ürün hidrojen enerjisinin büyüme oranı tahmin edilmektedir.

Bu çerçevede 2005 yılında Türkiye’de toplam enerji tüketimi 8,383 bin ton petrol eşdeğeri olmuştur. Toplam enerji tüketiminin 5,530 bin ton petrol eşdeğeri ise yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır (IEA, 2005). Toplam enerji tüketimi 2006 yılında ise 99,825 bin ton petrol eşdeğeri olmuştur (Enerji Bakanlığı, 2008)¹. Enerji Bakanlığının (2008), yaptığı çalışmalara göre Türkiye’nin 2010 yılındaki toplam enerji tüketimini 126,274 bin ton petrol eşdeğeri olarak, 2015 yılındaki toplam enerji tüketimini 170,154 bin ton petrol eşdeğeri olarak ve 2020 yılındaki toplam enerji tüketimini 222.424 bin ton petrol eşdeğeri olarak tahmin edilmektedir.

Potansiyel hidrojen enerjisi tüketiminin enerji alanında 2020 yılında pazarda % 3’lük bir büyüme oranına sahip olacağı planlanırsa, 2020 yılında toplam enerji tüketiminin % 3’nün hidrojen enerjisi tarafından karşılanması gerekmektedir. Bu bağlamda hidrojen enerjisinin gelecek 2020 yılına kadar ki toplam tüketiminin 6672,72 bin ton

¹ Bir yıla ait toplam enerji tüketimini hesaplamak için gerekli verileri derlemek, toplamak ve bunları rapor haline getirmek en az 6 ay almakta ve bunların yayınlanması ise yaklaşık 2 yılı bulmaktadır. Şu anda güncel olarak 2006 yılına ilişkin veriler bulunabilmektedir. 2007’ye ilişkin veriler henüz mevcut değildir (Enerji Bakanlığı, 2008).

petrol eşdeğeri olması gerekmektedir. Hidrojen enerjisi tüketiminin 2020 yılında enerji pazarında % 5'lik büyüme oranına sahip olacağı planlanırsa, hidrojenin 2020 yılındaki toplam tüketiminin ise 11121,2 bin ton petrol eşdeğeri olması gerekmektedir. Hidrojen enerjisi tüketiminin 2020 yılında enerji pazarında % 7'lik büyüme oranına sahip olacağı planlanırsa, hidrojenin 2020 yılındaki toplam tüketiminin ise 15569,68 bin ton petrol eşdeğeri olması gerekmektedir. Hidrojen enerjisi tüketiminin 2020 yılında enerji pazarında % 10'luk büyüme oranına sahip olacağı planlanırsa, hidrojenin 2020 yılındaki toplam tüketiminin ise 22242,4 bin ton petrol eşdeğeri olması gerekmektedir.

Tahmin denkleminde verileri yerine koyarsak hidrojen enerjisi için gelecek tahmini tüketimleri tablo 22'de sunulmuştur.

Tablo 22: Hidrojen Enerjisi için Tahmin Denklemi

$N_t = p * (m - N_{t-1}) + q * \left(\frac{N_{t-1}}{m} \right) * (m - N_{t-1})$
<p><i>Pazar Payı %3'de 1. yıl için Hidrojen Tahmini</i> $0,019 * (6672,72 - 0) + 0,092 * (0/6672,72) * (6672,72 - 0) = 126,781$</p>
<p><i>Pazar Payı %5'de 1. yıl için Hidrojen Tahmini</i> $0,019 * (11121,2 - 0) + 0,092 * (0/11121,2) * (11121,2 - 0) = 211,302$</p>
<p><i>Pazar Payı %7'de 1. yıl için Hidrojen Tahmini</i> $0,019 * (15569,68 - 0) + 0,092 * (0/15569,68) * (15569,68 - 0) = 295,823$</p>
<p><i>Pazar Payı %10'de 1. yıl için Hidrojen Tahmini</i> $0,019 * (22242,4 - 0) + 0,092 * (0/22242,4) * (22242,4 - 0) = 422,605$</p>
<p><i>2020 yılına kadar hesaplamalar bu şekilde devam etmektedir ve aşağıdaki tabloda hidrojen tahminleri gösterilmektedir.</i></p>

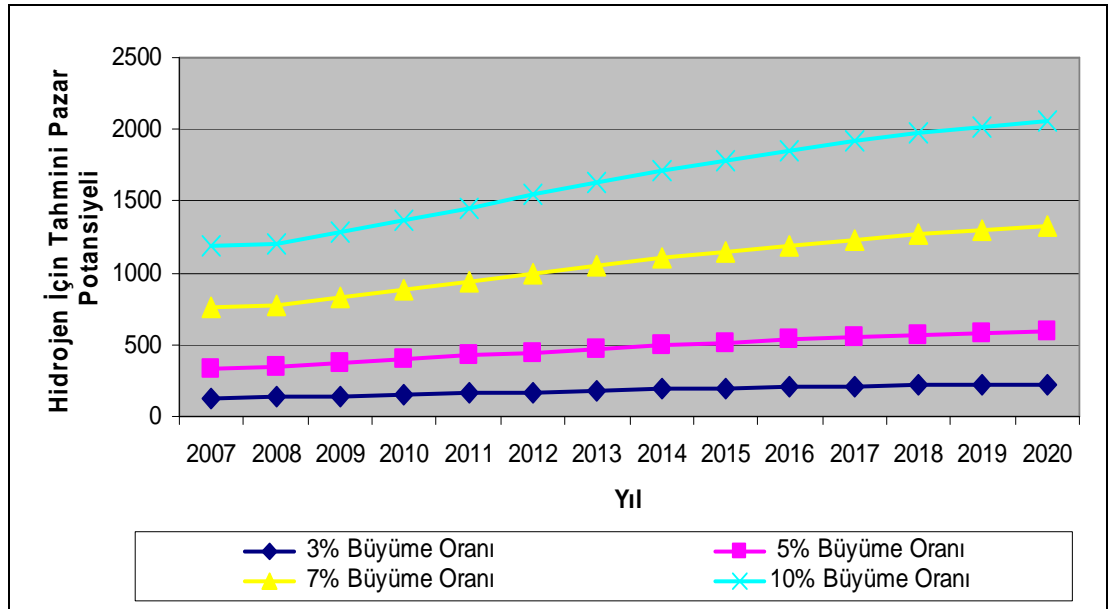
Bass denkleminde verilerimizi yerine koyduğumuzda % 3 büyüme oranı için hidrojen talep tahmininin ilk yıl değeri 126,781 bin ton petrol eşdeğeri, % 5 büyüme oranı için hidrojen talep tahmininin ilk yıl değeri 211,302 bin ton petrol eşdeğeri, % 7 büyüme oranı için hidrojen talep tahmininin ilk yıl değeri 295,823 bin ton petrol eşdeğeri ve % 10 büyüme oranı için hidrojen talep tahmininin ilk yıl değeri 422,605 bin ton petrol eşdeğeri olduğu görülmektedir.

Tablo 23: Hidrojen Enerjisinin Gelecek için Tahmini Büyüme Oranı (BTPE)

Yıl	Senaryolar (Büyüme Oranı)			
	(% 3)	(% 5)	(% 7)	(% 10)
2007	126,781	211,302	422,605	422,605
2008	135,815	212,841	425,683	425,683
2009	145,000	227,929	455,859	455,859
2010	154,245	243,256	486,513	486,513
2011	163,444	258,665	517,331	517,331
2012	172,474	273,977	547,954	547,954
2013	181,205	288,987	577,975	577,975
2014	189,495	303,474	606,949	606,949
2015	197,195	317,200	634,400	634,400
2016	204,157	329,918	659,836	659,836
2017	210,234	341,379	682,759	682,759
2018	215,292	351,344	702,688	702,688
2019	219,208	359,585	719,171	719,171
2020	221,882	365,905	731,811	731,811

Tablo 23'e baktığımızda Bass difüzyon tahmin modelinde, hidrojen talebinin farklı büyüme oranlarında artarak devam edeceği görülmektedir. Hidrojen enerji talebinin % 3, % 5, % 7 ve % 10 büyüme oranlarındaki artışı Şekil 12'de çok daha açık bir şekilde görülmektedir.

Şekil 12: Tahmini Hidrojen Enerji Tüketimleri



4.2.2. Doğalgaz

Hidrojen enerjisine ikame olan doğalgaz enerjisi de benzer şekilde petrol için yapılan bütün analizler yapılmaktadır. Tablo 24'de doğalgazın 1980 ve 2006 yılları arasındaki

tüketimleri, toplam tüketimleri ve toplam tüketiminin (t-1) gecikmeleri ve (t-1)² gösterilmektedir.

Tablo 24: Hidrojene İkame Olan Doğalgazın Toplam Tüketimleri (BTPE)

Yıllar	Doğalgaz Tüketimi	Toplam Doğalgaz Tüketimi	Toplam Doğalgaz Tüketimi (t-1)	Toplam Doğalgaz Tüketimi Karesi (t-1) ²
1980	0.39	0.39	0	0
1981	0.42	0.81	0.39	0,15
1982	0.74	1.55	0.81	0,65
1983	0.97	252	1.55	2,40
1984	0.76	3.28	252	6,35
1985	0.76	4.04	3.28	10,75
1986	0.72	4.76	4.04	16,32
1987	0.78	5.54	4.76	22,65
1988	0.203	5.743	5.54	30,69
1989	0.435	6.178	5.743	32,98
1990	0.724	6.902	6.178	38,16
1991	1.12	8.022	6.902	47,63
1992	1.638	9.66	8.022	64,35
1993	2.082	11.742	9.66	93,31
1994	2.014	13.756	11.742	137,87
1995	2.787	16.543	13.756	189,22
1996	3.394	19.937	16.543	273,67
1997	4.068	24.005	19.937	397,48
1998	4.113	28.118	24.005	576,24
1999	4.042	32.16	28.118	790,62
2000	4.492	36.652	32.16	1034,26
2001	4.446	41.098	36.652	1343,36
2002	4801	45.899	41.098	1689,04
2003	5.809	51.708	45.899	2106,71
2004	6.099	57.807	51.708	2673,71
2005	7.44	65.247	57.807	3341,64
2006	9.622	74.869	65.247	4257,17

Kaynak: TUİK, (2008) (İlk sütundaki doğalgaz verileri TUİK' ten alınmıştır.)

Hidrojenin talep tahminini doğalgaz verilerine dayanarak yapılmakta ve buna göre p&q değerleri tahmin edilmektedir. Petrol analizinde olduğu gibi regresyon modeli için bağımlı değişken olarak doğalgaz tüketimi, bağımsız değişken olarak ise t-1 gecikmeli doğalgaz tüketimi ve (t-1)² gecikmeli doğalgaz kareleri alınmıştır. Ayrıca, regresyon analizinde doğalgaz verileri mutlak değer olarak alınmıştır. Buna göre ortaya çıkan regresyon sonuçları tablo 25'de gösterilmektedir.

Tablo 25: Doğalgazın Regresyon Sonuçları

$ToplamTüke_{tim} = 0,426 + 0,127 X_{t-1} - 3,80 X_{(t-1)}^2$	
R	0,951
Gözlem Sayısı	27
	Katsayılar
Sabit Terim	0,426
X_{t-1}	0,127
X_(t-1)²	-3,80

Regresyon analizinin sonuçlarına göre toplam tüketime X_{t-1} katsayısı pozitif yönde etki yaparken, X_(t-1)² katsayısı negatif bir etki yapmaktadır. R değerinin 0,951 olması X_{t-1} ve X_(t-1)² değişkenleri, toplam tüketim üzerindeki ilişkinin % 95'ini açıklamaktadır.

Regresyon analizinin sonuçlarını (katsayılarını) kullanarak benzer ürün için Bass tahmini ile p ve q değerleri hesaplanmaktadır.

Aşama 1:

$$Toplam\ Tüketim = 74,869$$

Aşama 2:

$$p = \text{Sabit Terim} / \text{Toplam Tüketim}$$

$$p = 0,426/74,869$$

$$p = 0,005$$

Aşama 3:

$$q = p + X_1$$

$$q = 0,005 + 0,127$$

$$q = 0,132$$

Hesaplanan p ve q değerlerinden hareketle toplam tüketimin Bass tahmin modeli aşağıdaki gibidir.

Tablo 26: Doğalgaz için Bass Tahmin Denklemi

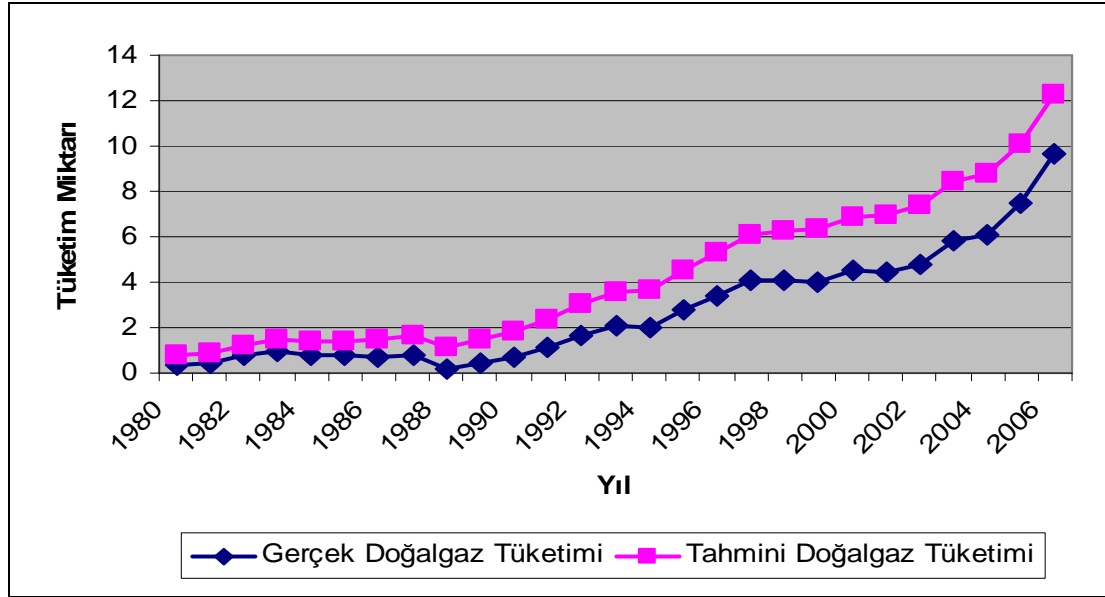
$N_t = p * (m - N_{t-1}) + q * \left(\frac{N_{t-1}}{m} \right) * (m - N_{t-1})$
1. yıl için Bass Tahmini
$0,005 * (74,869 - 0) + 0,132 * (0/74,869) * (74,869 - 0) = 0,374$
<i>2006 yılına kadar hesaplamalar bu şekilde devam etmektedir.</i>

Tablo 26’da ilk yıl için hesaplanan tahmini doğalgaz tüketiminin nasıl hesaplandığı gösterilmektedir. Bass tahmin denkleminde birinci yıldaki tüketim 0,374 olmaktadır. 2006 yılına kadar hesaplanan tahmini doğalgaz tüketim verileri tablo 27’de gösterilmiştir.

Tablo 27: Gerçekleşen ve Tahmini Doğalgaz Tüketimlerinin Karşılaştırılması (BTPE)

Yıllar	Gerçekleşen Doğalgaz Tüketimi	Tahmini Doğalgaz Tüketimi
1980	0,39	0,374
1981	0,42	0,421
1982	0,74	0,474
1983	0,97	0,532
1984	0,76	0,597
1985	0,76	0,669
1986	0,72	0,747
1987	0,78	0,833
1988	0,203	0,926
1989	0,435	1,027
1990	0,724	1,136
1991	1,12	1,251
1992	1,638	1,373
1993	2,082	1,501
1994	2,014	1,633
1995	2,787	1,767
1996	3,394	1,902
1997	4,068	2,035
1998	4,113	2,163
1999	4,042	2,283
2000	4,492	2,391
2001	4,446	2,486
2002	4,801	2,562
2003	5,809	2,6187
2004	6,099	2,652
2005	7,44	2,661
2006	9,622	2,645

Şekil 13: Gerçekleşen ve Tahmini Doğalgaz Tüketimlerinin Karşılaştırılması



Şekil 13’de gerçekleşen doğalgaz tüketimi ile tahmini doğalgaz tüketimi hemen hemen aynı paralelliktedir. Yapılan bu analizlerden sonra yeni ürünümüz hidrojen enerjisinin doğalgaza göre büyüme oranını tahmin etmek için benzer ürünlerdeki yenilik katsayısı $p = 0,005$ ve imitasyon katsayısı $q = 0,132$ kullanılarak yeni ürün hidrojen enerjisinin tüketimleri tahmin edilmektedir. Potansiyel hidrojen enerjisi tüketiminin enerji alanında 2020 yılında pazardaki büyüme oranlarının % 3, % 5, % 7 ve % 10 gibi farklı senaryolardaki tahmini tüketimleri tablo 28’de sunulmuştur.

Tablo 28: Hidrojen Enerjisi için Tahmin Denklemi

$N_t = p * (m - N_{t-1}) + q * \left(\frac{N_{t-1}}{m} \right) * (m - N_{t-1})$
<p>Pazar payı %3’de 1. yıl için Hidrojen Tahmini</p> $0,005 * (6,67272 - 0) + 0,132 * (0/6,67272) * (6,67272 - 0) = 0,033$
<p>Pazar payı %5’de 1. yıl için Hidrojen Tahmini</p> $0,005 * (11,1212 - 0) + 0,132 * (0/11,1212) * (11,1212 - 0) = 0,055$
<p>Pazar payı %7’de 1. yıl için Hidrojen Tahmini</p> $0,005 * (15,56968 - 0) + 0,132 * (0/15,56968) * (15,56968 - 0) = 0,077$
<p>Pazar payı %10’de 1. yıl için Hidrojen Tahmini</p> $0,005 * (22,2424 - 0) + 0,132 * (0/22,2424) * (22,2424 - 0) = 0,111$
<p>2020 yılına kadar hesaplamalar bu şekilde devam etmektedir ve aşağıdaki tabloda hidrojen tahminleri gösterilmektedir.</p>

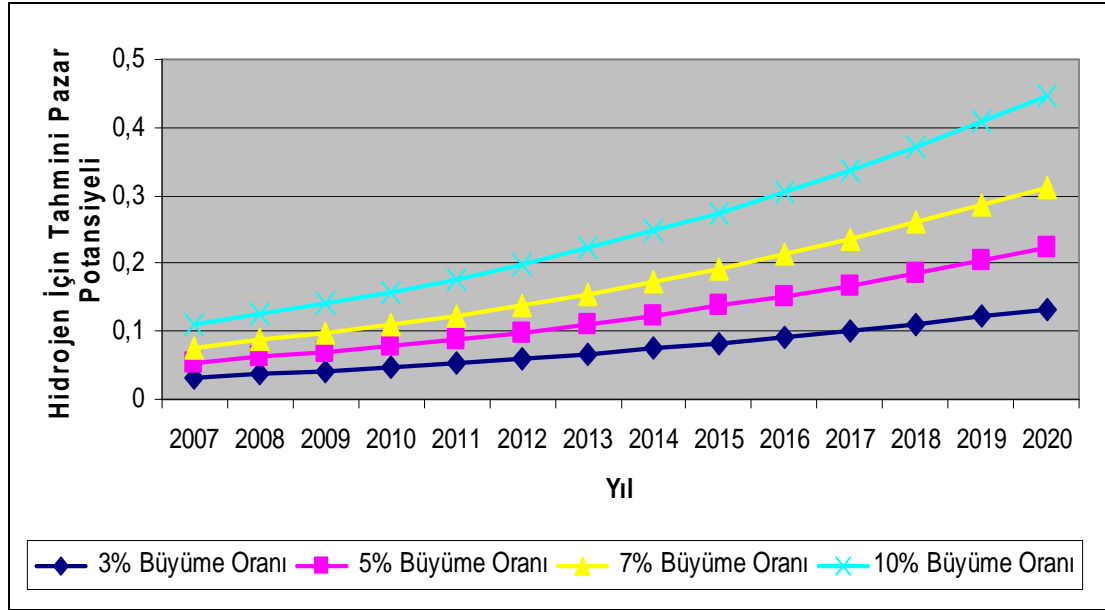
Bass denkleminde verilerimizi yerine koyduğumuzda % 3 büyüme oranı için hidrojen talep tahmini ilk yıl değeri 0,033 bin ton petrol eşdeğeri, % 5 büyüme oranı için hidrojen talep tahmini ilk yıl değeri 0,055 bin ton petrol eşdeğeri, % 7 büyüme oranı için hidrojen talep tahmini ilk yıl değeri 0,077 bin ton petrol eşdeğeri ve % 10 büyüme oranı için hidrojen talep tahmini ilk yıl değeri 0,111 bin ton petrol eşdeğeri olduğu görülmektedir. Bu hesaplamalar 2020 yılına kadar yapılmıştır ve hidrojen için tahmin sonuçları tablo 29'da verilmiştir.

Tablo 29: Hidrojen Enerjisinin Gelecek için Tahmini Büyüme Oranı (BTPE)

Yıl	Senaryolar (Büyüme Oranı)			
	(% 3)	(% 5)	(% 7)	(% 10)
2007	0,033	0,055	0,077	0,111
2008	0,037	0,062	0,087	0,125
2009	0,042	0,070	0,098	0,140
2010	0,047	0,079	0,110	0,158
2011	0,053	0,088	0,124	0,177
2012	0,059	0,099	0,139	0,198
2013	0,066	0,111	0,155	0,222
2014	0,074	0,123	0,173	0,247
2015	0,082	0,137	0,192	0,275
2016	0,091	0,152	0,213	0,305
2017	0,101	0,168	0,236	0,337
2018	0,111	0,185	0,260	0,371
2019	0,122	0,204	0,285	0,408
2020	0,133	0,223	0,312	0,446

Hidrojen enerjisi talebi farklı büyüme oranlarında artarak devam etmektedir. Hidrojen enerji talebinin % 3, % 5, % 7 ve % 10 büyüme oranlarındaki artışı aşağıdaki şekilde çok daha açık bir şekilde görülmektedir.

Şekil 14: Tahmini Hidrojen Enerji Tüketimleri



4.2.3. Kömür

Hidrojen enerjisine ikame olan fosil tabanlı kaynaklardan bir tanesinde kömürdür. Tablo 30'da kömürün 1980 ve 2006 yılları arasındaki tüketimleri, toplam tüketimleri ve toplam tüketiminin t-1 gecikmeleri ve $(t-1)^2$ gösterilmektedir.

Tablo 30: Hidrojene İkame Olan Kömürün Toplam Tüketimleri (BTPE)

Yıllar	Kömür Tüketimi	Toplam Kömür Tüketimi	Toplam Kömür Tüketimi (t-1)	Toplam Kömür Tüketimi Karesi (t-1) ²
1980	4,191	4,191	0	0
1981	4,164	8,355	4,191	17,56
1982	4,799	13,154	8,355	69,80
1983	5,002	18,156	13,154	173,02
1984	5,628	23,784	18,156	329,64
1985	6,017	29,801	23,784	565,67
1986	5,912	35,713	29,801	888,09
1987	7,376	43,089	35,713	1275,41
1988	7,652	50,741	43,089	1856,66
1989	7,537	58,278	50,741	2574,64
1990	7,566	65,844	58,278	3396,32
1991	8,055	73,899	65,844	4335,43
1992	7,541	81,44	73,899	5461,06
1993	6,815	88,255	81,44	6632,47
1995	6,432	100,344	93,912	8819,46
1996	7,918	108,262	100,344	10068,91
1997	9,007	117,269	108,262	11720,66

Tablo 30'un devamıdır.

1998	9,051	126,32	117,269	13752,01
1999	7,363	133,683	126,32	15956,74
2000	10,219	143,902	133,683	17871,14
2001	7,022	150,924	143,902	20707,78
2002	4,167	155,091	150,924	22778,05
2003	4,007	159,098	155,091	24053,21
2004	4,321	163,419	159,098	25312,17
2005	4,525	167,944	163,419	26705,76
2006	4,993	172,937	167,944	28205,18

Kaynak: TÜİK, (2008) (İlk sütündeki kömür verileri TÜİK' ten alınmıştır.)

Hidrojenin talep tahminini kömür verilerine dayanarak yapılmakta ve buna göre p&q değerleri tahmin edilmektedir. Petrol ve doğalgaz analizinde olduğu gibi regresyon modeli için bağımlı değişken olarak kömür tüketimi, bağımsız değişken olarak ise X_{t-1} gecikmeli kömür tüketimi ve X_{t-1} gecikmeli kömür kareleri alınmıştır. Regresyon analizinde doğalgaz verileri mutlak değerdir ve sonuçlar tablo 31'de gösterilmiştir.

Tablo 31: Kömürün Regresyon Sonuçları

<i>ToplamTüke tim = 4,016 + 0,093 X_{t-1} - 0,001 X²_(t-1)</i>	
R	0,57
Gözlem Sayısı	27
	Katsayılar
Sabit Terim	4,016
X_{t-1}	0,093
X_(t-1)²	-0,001

Regresyon analizinin sonuçlarına göre toplam tüketime X_{t-1} katsayısı pozitif yönde etki yaparken, $X_{(t-1)}^2$ katsayısı negatif bir etki yapmaktadır. R değerinin 0,57 olması X_{t-1} ve $X_{(t-1)}^2$ değişkenleri, toplam tüketim üzerindeki ilişkinin % 57'sini açıklamaktadır.

Regresyon analizinin sonuçlarını (katsayılarını) kullanarak benzer ürün için Bass tahmini ile p ve q değerleri hesaplanmaktadır.

Aşama 1:

$$\text{Toplam Tüketim} = 172,937$$

Aşama 2:

$$p = \text{Sabit Terim} / \text{Toplam Tüketim}$$

$$p = 4,016/172,937$$

$$p = 0,023$$

Aşama 3:

$$q = p + X_1$$

$$q = 0,023 + 0,093$$

$$q = 0,116$$

Hesaplanan p ve q değerlerinden hareketle toplam tüketimin Bass tahmin modeli aşağıdaki gibidir.

Tablo 32: Kömür için Bass Tahmin Denklemi

$$N_t = p * (m - N_{t-1}) + q * \left(\frac{N_{t-1}}{m} \right) * (m - N_{t-1})$$

1. yıl için Bass Tahmini
 $0,023 * (172,937 - 0) + 0,116 * (0/172,937) * (172,937 - 0) = 3,977$

2006 yılına kadar hesaplamalar bu şekilde devam etmektedir.

Tablo 32'de ilk yıl için hesaplanan tahmini kömür tüketimi 3,977 olmaktadır. Diğer yıllar içinde hesaplamalar bu şekilde devam etmektedir ve hesaplanan tahmini kömür tüketim verileri ise tablo 33'de sunulmaktadır.

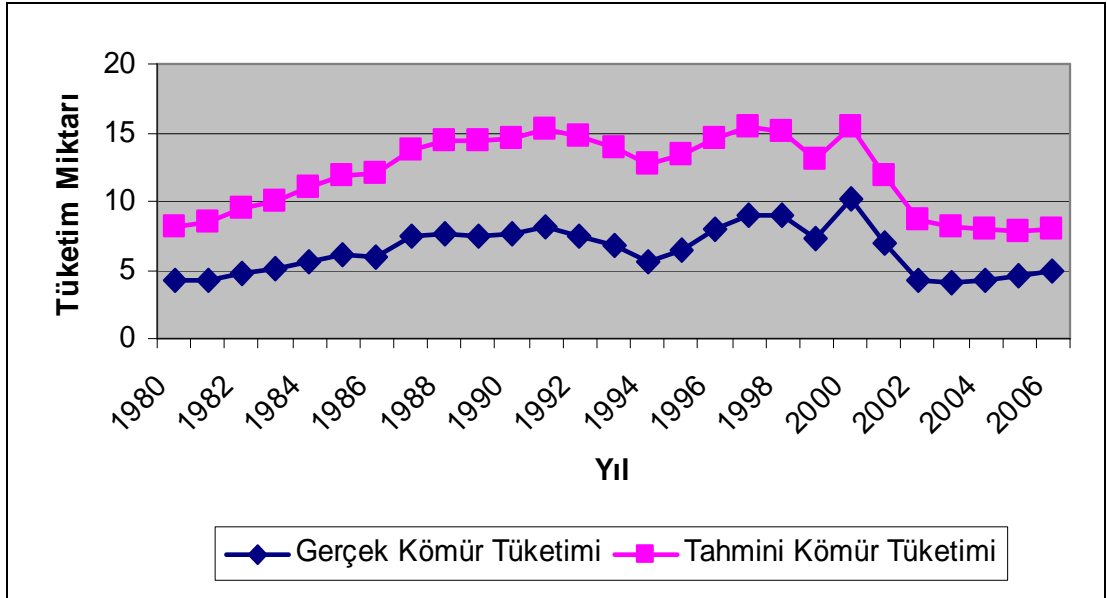
Tablo 33: Gerçekleşen ve Tahmini Kömür Tüketimlerinin Karşılaştırılması (BTPE)

Yıllar	Gerçekleşen Kömür Tüketimi	Tahmini Kömür Tüketimi
1980	4,191	3,977
1981	4,164	4,336
1982	4,799	4,704
1983	5,002	5,074
1984	5,628	5,440
1985	6,017	5,794
1986	5,912	6,128
1987	7,376	6,431
1988	7,652	6,696
1989	7,537	6,912
1990	7,566	7,072
1991	8,055	7,170
1992	7,541	7,200
1993	6,815	7,162
1994	5,657	7,054
1995	6,432	6,881

Tablo 33'ün devamıdır.

1996	7,918	6,647
1997	9,007	6,362
1998	9,051	6,033
1999	7,363	5,671
2000	10,219	5,286
2001	7,022	4,888
2002	4,167	4,487
2003	4,007	4,091
2004	4,321	3,706
2005	4,525	3,337
2006	4,993	2,990

Şekil 15: Gerçekleşen ve Tahmini Kömür Tüketimlerinin Karşılaştırılması



Tablo 33'de gösterilen gerçek kömür tüketimleri ve Bass modeli ile yaptığımız tahmin sonuçları arasındaki fark Şekil 15'de daha net görülmektedir. Şekil 15'de gerçekleşen kömür tüketimi ile tahmini kömür tüketimi hemen hemen aynı paralelliktedir. Yapılan bu analizlerden sonra yeni ürünümüz hidrojen enerjisinin kömüre göre büyüme oranını tahmin etmek için benzer ürünlerdeki yenilik katsayısı $p=0,023$ ve imitasyon katsayısı $q=0,116$ kullanılarak yeni ürün hidrojen enerjisinin tüketimleri tahmin edilmektedir.

Hidrojen enerjisi tüketiminin enerji alanında 2020 yılında % 3, % 5, % 7 ve % 10'luk bir büyüme oranına sahip olacağı varsayımı altında hidrojen enerjisi için gelecek tahmini tüketimleri Tablo 34'de sunulmuştur.

Tablo 34: Hidrojen Enerjisi için Tahmin Denklemi
$$N_t = p * (m - N_{t-1}) + q * \left(\frac{N_{t-1}}{m} \right) * (m - N_{t-1})$$

Pazar payı %3'de 1. yıl için Hidrojen Tahmini
 $0,023 * (6,67272 - 0) + 0,116 * (0/6,67272) * (6,67272 - 0) = 0,153$

Pazar payı %5'de 1. yıl için Hidrojen Tahmini
 $0,023 * (11,1212 - 0) + 0,116 * (0/11,1212) * (11,1212 - 0) = 0,255$

Pazar payı %7'de 1. yıl için Hidrojen Tahmini
 $0,023 * (15,56968 - 0) + 0,116 * (0/15,56968) * (15,56968 - 0) = 0,358$

Pazar payı %10'da 1. yıl için Hidrojen Tahmini
 $0,023 * (22,2424 - 0) + 0,116 * (0/22,2424) * (22,2424 - 0) = 0,511$

2020 yılına kadar hesaplamalar bu şekilde devam etmektedir ve aşağıdaki tabloda hidrojen tahminleri gösterilmektedir.

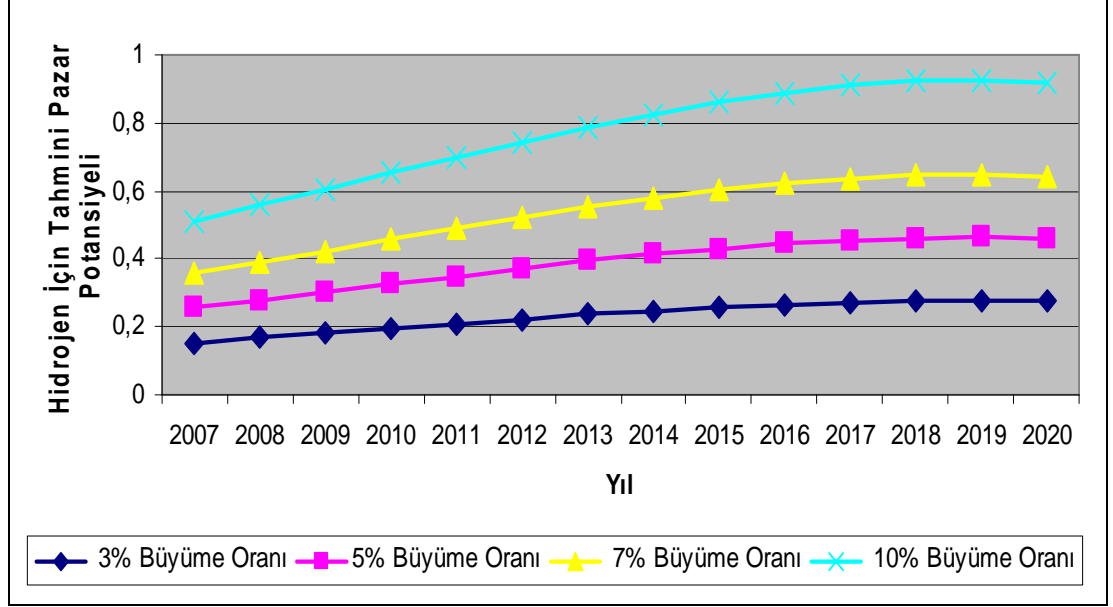
Bass denkleminde verilerimizi yerine koyduğumuzda % 3 büyüme oranı için hidrojen talep tahmini ilk yıl değeri 0,153 bin ton petrol eşdeğeri, % 5 büyüme oranı için hidrojen talep tahmini ilk yıl değeri 0,255 bin ton petrol eşdeğeri, % 7 büyüme oranı için hidrojen talep tahmini ilk yıl değeri 0,358 bin ton petrol eşdeğeri ve % 10 büyüme oranı için hidrojen talep tahmini ilk yıl değeri 0,511 bin ton petrol eşdeğeri olduğu görülmektedir.

Tablo 35: Hidrojen Enerjisinin Gelecek için Tahmini Büyüme Oranı (BTPE)

Yıl	Senaryolar (Büyüme Oranı)			
	(% 3)	(% 5)	(% 7)	(% 10)
2007	0,153	0,255	0,358	0,511
2008	0,167	0,278	0,390	0,557
2009	0,181	0,302	0,423	0,605
2010	0,195	0,326	0,456	0,652
2011	0,209	0,349	0,489	0,699
2012	0,223	0,372	0,521	0,745
2013	0,236	0,394	0,551	0,788
2014	0,248	0,413	0,579	0,827
2015	0,258	0,430	0,602	0,861
2016	0,266	0,444	0,622	0,889
2017	0,272	0,454	0,636	0,909
2018	0,276	0,461	0,645	0,922
2019	0,277	0,463	0,648	0,926
2020	0,276	0,460	0,644	0,921

Hidrojen enerjisi talebi farklı büyüme oranlarında artarak devam etmektedir. Hidrojen enerji talebinin % 3, % 5, % 7 ve % 10 büyüme oranlarındaki artış aşağıdaki şekil 16’da daha açık görülmektedir.

Şekil 16: Tahmini Hidrojen Enerji Tüketimleri



Çalışmada yapılan bu tahmin sonuçlarına göre gelecekte ortaya çıkacak gerçek hidrojen talebinin artarak devam edeceği açık olarak gösterilmiştir.

4.3. Toplam Enerji Tüketimi

Hidrojen talep tahmini Bass modeli ile hesaplanarak enerji alanındaki büyüme oranları tahmin edilmiştir. Yukarıda petrol, doğalgaz ve kömür verilerini kullanarak yapılan hidrojen enerjisinin enerji alanındaki tahminleri tablo 36’da bütün olarak -toplanarak- gösterilmiştir.

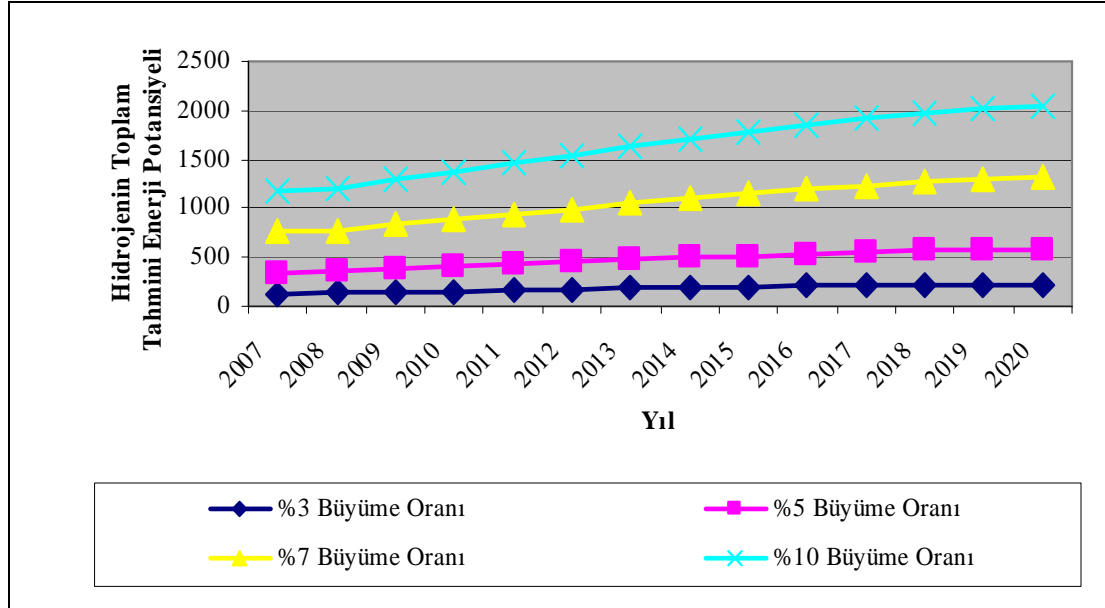
Tablo 36: Hidrojenin Enerji Alanındaki (Petrol, Doğalgaz ve Kömür) Toplam Pazar Büyüklüğü (BTPE)

Yıl	Senaryolar (Büyüme Oranı)			
	(% 3)	(% 5)	(% 7)	(% 10)
2007	126,967	211,612	423,04	423,227
2008	136,019	213,181	426,16	426,365
2009	145,223	228,301	456,38	456,604
2010	154,487	243,661	487,079	487,323
2011	163,706	259,102	517,944	518,207
2012	172,756	274,448	548,614	548,897
2013	181,507	289,492	578,681	578,985
2014	189,817	304,01	607,701	608,023
2015	197,535	317,767	635,194	635,536
2016	204,514	330,514	660,671	661,03
2017	210,607	342,001	683,631	684,005
2018	215,679	351,99	703,593	703,981
2019	219,607	360,252	720,104	720,505
2020	222,291	366,588	732,767	733,178

Hidrojenin enerji alanındaki toplam büyüklüğünün yıllar itibariyle arttığı tablo 36'da ve şekil 17'de açık olarak görülmektedir. Yani hidrojenin enerji alanında ileride büyük bir pazar potansiyeline sahip olacağı tahmin edilmektedir.

Bu çalışmalar çerçevesinde enerji tüketiminin artarak devam etmesi, fosil tabanlı enerji kaynaklarının kullanım ömürlerinin az kalması, ikame ürün olan hidrojenin kullanımının artarak devam etmesine ve hidrojenin enerji alanı dışında da birçok kullanım alanlarında kullanılacak olması göz önüne alındığında hidrojenin gelecekte büyük bir pazar potansiyeline sahip olacağı beklenmektedir.

Şekil 17: Hidrojenin Enerji Alanındaki (Petrol, Doğalgaz ve Kömür) Toplam Büyüklüğü



Hidrojen enerjisinin, enerji dışındaki kullanım alanlarındaki pazar büyüklüğünü yönelik tahmin çalışmaları aşağıda verilmektedir.

4.4. Hidrojen Teknolojilerinin Araç Kullanım Alanları İçindeki Toplam Pazar Büyüklüğü

Hidrojen enerjisi klasik içten yanmalı motorlarda yani otobüs, kamyon, traktör ve tarım makineleri gibi tüm taşıtlarda ve benzin, dizel yakıtı, LPG ve doğalgaz gibi içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilir.

Günümüzde hidrojen yakıtının içten yanmalı motorlarda kullanılabilmesi, sınırlı rezerve sahip petrol ürünlerinin yerini alması ve çevreye dost bir enerji olması, son yıllarda araç üreten şirketlerin büyük ilgisini çekmektedir. İlk olarak büyük otomobil üreticileri olmak üzere pek çok otomobil üreticisi, yakıt hücresi taşıt konusunda önemli düzeyde araştırma ve ortaklıklar gerçekleştirmekte, bu konuya büyük bütçeler ayırarak ve prototip üretimlerinin de ötesinde bu tip taşıtları piyasaya sürme noktasında önemli vaatlerde bulunmaktadır. Hatta bazı şirketler bu çalışmalarının kaynağını oluşturan hidrojenin ve depolanmasının da bu teknolojiye geçişte belki de eşdeğer öneme sahip olduğundan; büyük petrol şirketleri, depolama teknolojileri üzerine çalışan şirketler ve yakıt hücresi üreticileri ile ortak çalışmalar gerçekleştirmektedirler. Çünkü hidrojen içten yanmalı motorlar için çok iyi bir yakıttır

ve içten yanmalı motorlar benzinli motorlara göre % 20 daha verimlidir (Çelik ve Oral, 2006). Taşıtlar hidrojen enerjisi için çok iyi bir pazar görünümündedir.

Türkiye’de araç kullanımı yıllar itibariyle artmaktadır. Bu artış, gelecekte hidrojen enerjisinin taşıtlardaki kullanımı hidrojen pazar büyüklüğünü olumlu yönde etkileyecektir.

Bu doğrultuda, Birleşmiş Milletler ve IMF verilerine göre Dünya' da 2002 yılında 751 milyon olan motorlu taşıt sayısı 2010 yılında 939 milyona, 2020 yılında 1 milyar 225 milyona, 2030 yılında ise 1 milyar 660 milyon adede çıkacağı tahmin edilmektedir. Yani dünyadaki ki taşıt stokuna 2010 yılına kadar her yıl ortalama 23.500.000 milyon adet motorlu taşıt eklenecektir. Türkiye’de ise motorlu araç sayısının Ulaştırma Bakanlığı’nın tahminlerine göre 2010 yılında 15 milyon, 2020’de 29 milyon, 2030 yılında ise 56 milyon adet olması tahmin edilmektedir (Dünya Gazetesi, 2005).

Tablo 37’de Türkiye’de geçmişten günümüze kadar gerçekleşen araç sayısı rakamları ve bu araç sayılarının toplam miktarı verilmiştir.

Tablo 37: Türkiye’deki Toplam Araç Sayısı (000 Adet)

Yıllar	Araç Sayısı	Toplam Araç Sayısı	Toplam Araç Sayısı (t-1)	Toplam Araç Sayısı Karesi (t-1) ²
1990	2.981	2.981	0	0
1991	3.306	6.287	2.981	8.88
1992	4.585	10.872	6.287	39.52
1993	5.251	16.123	10.872	118.20
1994	5.607	21.730	16.123	259.95
1995	5.923	27.653	21.730	472.19
1996	6.306	33.959	27.653	764.68
1997	6.863	40.822	33.959	1153.21
1998	7.372	48.194	40.822	1666.43
1999	7.759	55.953	48.194	2322.66
2000	8.321	64.274	55.953	3130.73
2001	8.522	72.796	64.274	4131.14
2002	8.655	81.451	72.796	5299.25
2003	8.904	90.355	81.451	6634.26
2004	10.236	100.591	90.355	8164.02
2005	11.146	111.737	100.591	10118.54
2006	12.227	123.964	111.737	12485.15
2007	12.590	136.554	123.964	15367.07

Kaynak: TÜİK, (2008) (İlk sütündeki araç sayısı verileri TÜİK’ ten alınmıştır)

Bass modeli çerçevesinde 1990 yılından 2007 yılına kadar gerçekleşen araçların toplam miktarının bir yıl gecikmeleri ve kareleri alınmıştır. Bu çerçevede yapılan regresyon analiz sonuçları aşağıdaki gibi olmaktadır.

Tablo 38: Araç Sayılarının Regresyon Sonuçları

$ToplamTüke_{tim} = 3,820 + 0,084 X_{t-1}$	
R	0,97
Gözlem Sayısı	18
	Katsayılar
Sabit Terim	3,820
X_{t-1}	0,084
$X_{(t-1)}^2$	000

Regresyon analizinin sonuçlarına göre toplam tüketime X_{t-1} katsayısı pozitif yönde etki ederken, $X_{(t-1)}^2$ katsayısı etki yapmamaktadır. R değerinin 0,97 olması X_{t-1} ve $X_{(t-1)}^2$ değişkenleri toplam tüketim üzerindeki ilişkinin % 97'sini açıklamaktadır. Regresyon analizinin sonuçlarını -katsayılarını- kullanarak Bass tahmini için p ve q değerleri aşağıda hesaplanmaktadır.

Aşama 1:

$$Toplam\ Tüketim = 136,554$$

Aşama 2:

$$p = Sabit\ Terim / Toplam\ Tüketim$$

$$p = 3,820 / 136,554$$

$$p = 0,0279$$

Aşama 3:

$$q = p + X_1$$

$$q = 0,0279 + 0,084$$

$$q = 0,1119$$

Hesaplanan p ve q değerlerinden hareketle toplam tüketimin Bass tahmin modeli aşağıdaki gibidir.

Tablo 39: Hidrojen Enerjisinin Araçlarda Kullanımı için Bass Tahmin Denklemi

$$N_t = p * (m - N_{t-1}) + q * \left(\frac{N_{t-1}}{m} \right) * (m - N_{t-1})$$

1. yıl için Bass Tahmini
 $0.0279 * (136.554 - 0) + 0.1119 * (0/136.554) * (136.554 - 0) = 3.809.857$

2007 yılına kadar hesaplamalar bu şekilde devam etmektedir.

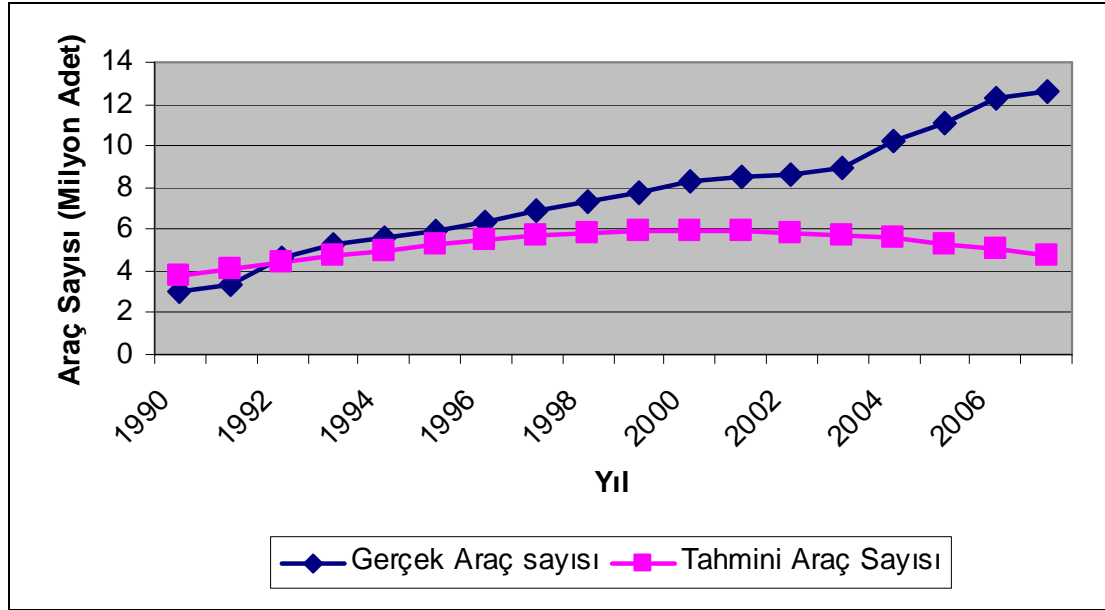
Günümüzde gerçekleşen araç sayılarının verilerini kullanarak Bass tahmin modeli ile bulunan tahmini araç sayıları tablo 40’da gösterilmiştir. Gerçek ve tahmini araç sayıları ilk etapta aynı paralelliktedir. Gerçek araç sayısı artışı tahmini araç sayısı artışına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bass modelinin yapısından dolayı araç sayısındaki artış belli bir düzende olmakta ve belli bir yıldan sonra da azalmaya başlamaktadır.

Tablo 40: Gerçekleşen ve Tahmini Araç Sayılarının Karşılaştırılması (000 Adet)

Yıllar	Gerçekleşen Araç Sayısı	Tahmini Araç Sayısı
1990	2.981.000	3.809.857
1991	3.306.000	4.117.990
1992	4.585.000	4.424.292
1993	5.251.000	4.722.407
1994	5.607.000	5.005.214
1995	5.923.000	5.265.059
1996	6.306.000	5.494.082
1997	6.863.000	5.684.628
1998	7.372.000	5.829.709
1999	7.759.000	5.923.487
2000	8.321.000	5.961.722
2001	8.522.000	5,942141
2002	8.655.000	5.864.660
2003	8.904.000	5.731.448
2004	10.236.000	5.546.799
2005	11.146.000	5.316.835
2006	12.227.000	5.049.073
2007	12.590.000	4.751.907

Tablo 40’da gösterilen gerçek araç sayıları ve Bass modeli ile yaptığımız tahmini araç sayıları arasındaki fark aşağıdaki şekilde daha net görülmektedir.

Şekil 18: Gerçekleşen ve Tahmini Araç Sayılarının Karşılaştırılması



Yapılan bu analizlerden sonra hidrojenle çalışan araç sayısını tahmin etmek için gerçek ve tahmini araç analizindeki yenilik katsayısı $p = 0,0279$ ve imitasyon katsayısı $q = 0,1119$ kullanılacaktır.

Türkiye'nin 2020 yılındaki toplam araç sayısının yaklaşık olarak 29.000.000 milyon olması beklenmektedir. Toplam araç sayısının % 3'ünde hidrojen enerjisi kullanılacağı varsayılırsa, 870,000 bin arabada hidrojen kullanılması gerekir. % 5 varsayım altında, 1.450.000 arabada hidrojen kullanılır, % 7 varsayım altında, 2.030.000 arabada hidrojen kullanılır ve % 10 varsayım altında ise 2.900.000 arabada hidrojen kullanılır (Dünya Gazetesi, 2005).

Hidrojen enerjisi tüketiminin araçlarda 2020 yılında % 3, % 5, % 7 ve % 10 büyüme oranına sahip olacağı varsayımı altında hidrojen enerjisinin araçlarda kullanımına dair gelecek tahmini tüketimleri tablo 41'de sunulmaktadır.

Tablo 41: Hidrojen Enerjisinin Araçlardaki Kullanımı için Tahmin Denklemi

$N_t = p * (m - N_{t-1}) + q * \left(\frac{N_{t-1}}{m} \right) * (m - N_{t-1})$
Pazar payı %3'de 1. yıl için Araçlarda Kullanılan Hidrojen Tahmini $0.0279 * (870.000 - 0) + 0.1119 * (0/870.000) * (870.000 - 0) = 24.273$
Pazar payı %5'de 1. yıl için Araçlarda Kullanılan Hidrojen Tahmini $0.0279 * (1.450.000 - 0) + 0.1119 * (0/1.450.000) * (1.450.000 - 0) = 40.455$
Pazar payı %7'de 1. yıl için Araçlarda Kullanılan Hidrojen Tahmini $0.0279 * (2.030.000) + 0.1119 * (0/2.030.000) * (2.030.000 - 0) = 56.637$
Pazar payı %10'da 1. yıl için Araçlarda Kullanılan Hidrojen Tahmini $0.0279 * (2.900.000 - 0) + 0.1119 * (0/2.900.000) * (2.900.000 - 0) = 80.910$
2020 yılına kadar hesaplamalar bu şekilde devam etmektedir ve aşağıdaki tabloda hidrojen tahminleri gösterilmektedir.

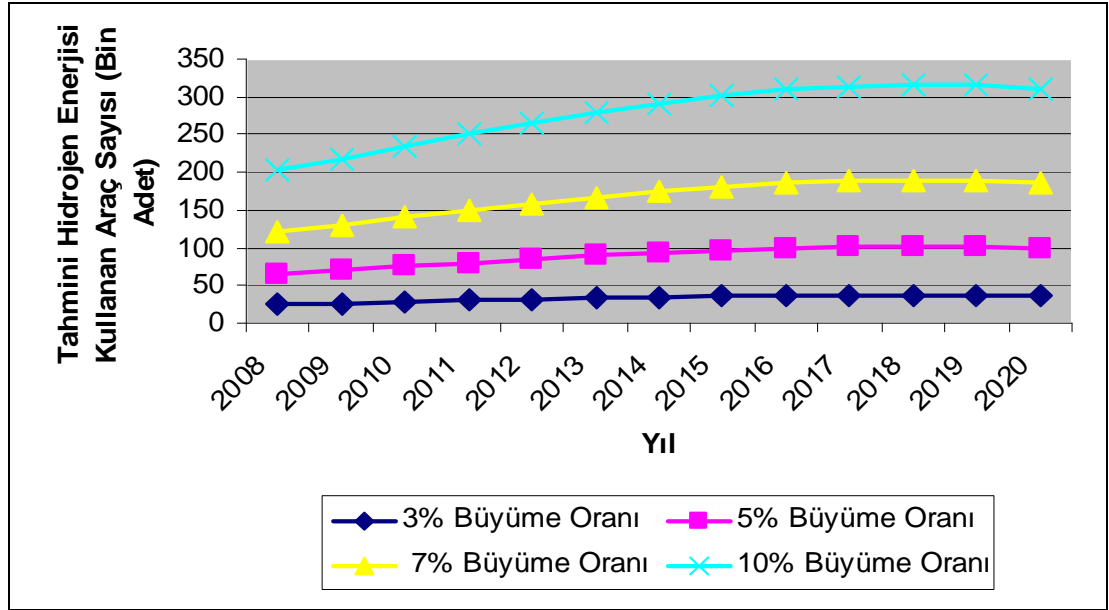
Hidrojen enerjisinin araçlardaki kullanımı farklı pazar paylarında değişiklik göstermektedir. İlk yıl % 3 büyüme oranında 24.273 tane araç, % 5 büyüme oranında 40.455 tane araç, % 7 büyüme oranında 56.637 tane araç ve % 10 büyüme oranında 80.910 tane aracın hidrojen enerjisi ile çalışacağı tahmin edilmektedir.

Tablo 42: Hidrojen Enerjisinin Araçlarda Kullanımının Pazar Payı Tahmini Büyüme Oranları (000 Adet)

Yıl	Senaryolar (Büyüme Oranı)			
	(% 3)	(%5)	(%7)	(% 10)
2008	24.273	40.455	56.637	80.910
2009	26.236	43.726	61.217	87.453
2010	28.187	46.979	65.771	93.958
2011	30.086	50.144	70.202	100.289
2012	31.888	53.147	74.407	106.295
2013	33.544	55.907	78.269	111.814
2014	35.003	58.338	81.674	116.677
2015	36.217	60.362	84.507	120.724
2016	37.141	61.902	86.663	123.805
2017	37.739	62.898	88.058	125.797
2018	37.982	63.304	88.626	126.609
2019	37.858	63.096	88.335	126.193
2020	37.364	62.273	87.183	124.547

Hidrojen enerjisi için önemli bir pazar olan ulaşım sektöründe hidrojenle çalışan araç sayısının 2020 yılına kadar ki tahmini büyüme oranı tablo 42'de ve şekil 19'da gösterilmiştir.

Şekil 19: Hidrojen Enerjisini Tahmini Olarak Kullanması Beklenen Araç Sayısı



Hidrojen enerjisinin araçlardaki kullanım sayısı farklı büyüme oranlarında artarak devam etmektedir.

4.5. Hidrojen Teknolojilerinin Cep Telefonları Kullanımları İçindeki Toplam Pazar Büyüklüğü

Hidrojen enerjisi portatif kullanım alanlarında da kullanılabilen bir enerji kaynağıdır. Hidrojenin enerjisinin portatif kullanım alanlarına baktığımızda birçok kullanım alanına sahip olduğunu görmekteyiz. Portatif kullanım alanları içinde hidrojenli yakıt hücrelerinin en büyük pazar potansiyeli ise cep telefonlarıdır. Türkiye’de cep telefonu satışları ise 2007 yılında 12 milyon adet olmuştur (AboneCell, 2007).

Tablo 43’de Türkiye’de geçmişten günümüze kadar gerçekleşen cep telefon sayısı ve toplam miktarı verilmiştir.

Tablo 43: Türkiye’deki Toplam Cep Telefon Sayısı (000 Adet)

Yıllar	Cep Telefon Sayısı	Toplam Cep Telefon Sayısı	Toplam Cep Telefon Sayısı (t-1) (Adet)	Toplam Cep Telefon Sayısı (t-1) ² (Adet)
1995	160	160	0	0
1996	200	360	160	256.00
1997	300	660	360	1296,00
1998	500	1.160	660	4356.00
1999	750	1.910	1.160	13456.00
2000	1.232	3.142	1.910	36481.00
2001	2.600	5.742	3.142	98721.64
2002	3.500	9.242	5.742	329705.64
2003	5.127	14.369	9.242	854145.64
2004	6.500	20.869	14.369	2064681.61
2005	7.200	28.069	20.869	4355151.61
2006	8.000	36.069	28.069	7878687.61
2007	12.000	48.069	36.069	13009727.61

Kaynak: TÜİK, (2008) (İlk sütundaki cep telefon sayısı verileri TÜİK’ ten alınmıştır.)

1995 yılından 2007 yılına kadar gerçekleşen toplam cep telefon sayısı Bass modeli çerçevesinde regresyon analiz sonuçları aşağıdaki gibi olmaktadır.

Tablo 44: Cep Telefon Sayısının Regresyon Sonuçları

$ToplamTüke_{tim} = 492,247 + 0,438 X_{t-1} - 4,07 X_{(t-1)}^2$	
R	0,962
Gözlem Sayısı	13
	Katsayılar
Sabit Terim	492,247
X_{t-1}	0,438
X_(t-1)²	-4,07

Regresyon analizinin sonuçlarına göre toplam tüketime X_{t-1} katsayısı pozitif yönde etki yaparken X_(t-1)² katsayısı negatif yönde etki yapmaktadır. R değerinin 0,962 olması X_{t-1} ve X_(t-1)² değişkenleri toplam tüketim üzerindeki ilişkinin % 96’sını açıklamaktadır. Regresyon analizinin sonuçlarını -katsayılarını- kullanarak Bass tahmini için p ve q değerleri aşağıda gösterilmektedir.

Aşama 1:

Toplam Tüketim = 48,069

Aşama 2:

p = Sabit Terim / Toplam Tüketim

$$p = 492,247/48,069$$

$$p = 0,010$$

Aşama 3:

$$q = p + X_1$$

$$q = 0,010 + 0,438$$

$$q = 0,448$$

Hesaplanan p ve q değerlerinden hareketle toplam cep telefon tüketiminin Bass tahmin modeli aşağıdaki gibidir.

Tablo 45: Hidrojen Enerjisinin Cep Telefonlarında Kullanımı için Bass Tahmin Denklemi

$$N_t = p * (m - N_{t-1}) + q * \left(\frac{N_{t-1}}{m} \right) * (m - N_{t-1})$$

1. yıl için Bass Tahmini
 $0.010 * (48.069 - 0) + 0.448 * (0/48.069) * (48.069 - 0) = 480.690$

2007 yılına kadar hesaplamalar bu şekilde devam etmektedir.

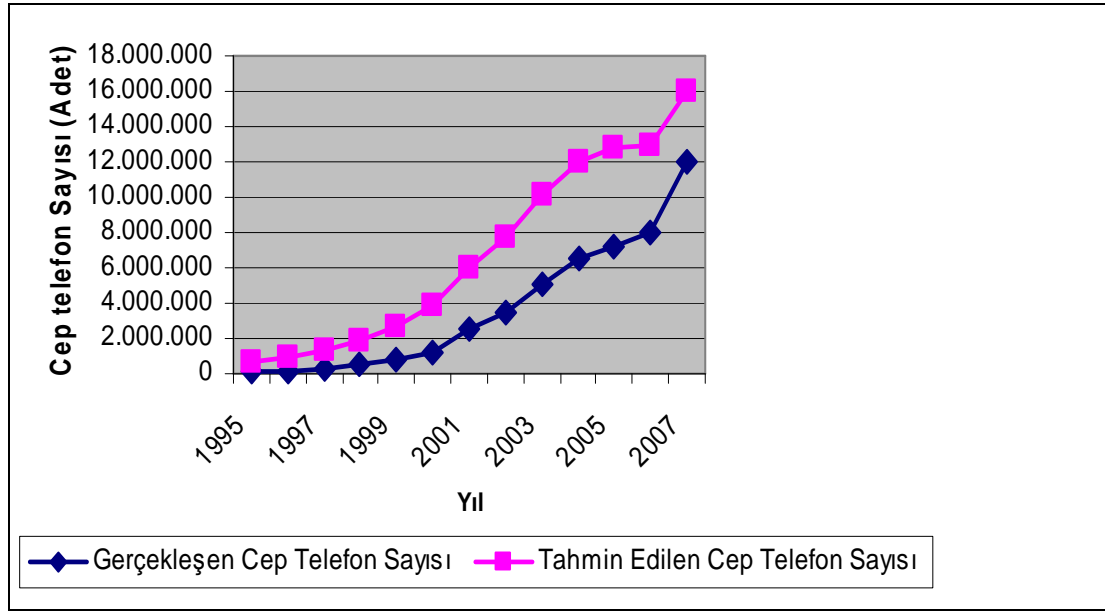
Günümüzde gerçekleşen cep telefon sayılarının verilerini kullanarak Bass tahmin modeli ile bulunan tahmini cep telefon sayıları tablo 46'da gösterilmiştir.

Tablo 46: Gerçekleşen ve Tahmini Cep Telefon Sayılarının Karşılaştırılması (000 Adet)

Yıllar	Gerçekleşen Cep Telefon Sayısı	Tahmini Cep Telefon Sayısı
1995	160.000	480.690
1996	200.000	689.078
1997	300.000	980.295
1998	500.000	1.379.334
1999	750.000	1.910.471
2000	1.232.000	2.587.555
2001	2.600.000	3.396.129
2002	3.500.000	4.267.977
2003	5.127.000	5.058.787
2004	6.500.000	5.556.391
2005	7.200.000	5.553.232
2006	8.000.000	4.975.088
2007	12.000.000	3.968.962

Gerçekleşen ve tahmini cep telefon sayılarında yıllar itibariyle artış sözkonusudur. Fakat, tahmini cep telefon sayısı belli bir yıldan sonra azalmaya başlamaktadır. Bunun böyle olmasının sebebi ise Bass modelinin yapısından kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, tablo 46'da gösterilen gerçek cep telefon sayıları ve Bass modeli ile yaptığımız tahmini cep telefon sayıları arasındaki fark aşağıdaki şekilde daha net görülmektedir.

Şekil 20: Gerçekleşen ve Tahmini Cep Telefon Sayılarının Karşılaştırılması



Şekil 20'de gerçekleşen cep telefon sayıları ile tahmini cep telefon sayıları hemen hemen aynı paralellikte artmaktadır fakat tahmini cep telefon sayısı düzenli bir artış gösterirken, gerçekleşen cep telefon sayısı çok yüksek olmuştur.

Yapılan bu analizlerden sonra hidrojen enerjisinin cep telefonlarında kullanımını tahmin etmek için gerçek ve tahmini cep telefon analizindeki yenilik katsayısı $p = 0,010$ ve imitasyon katsayısı $q = 0,448$ kullanılacaktır.

Yapılan analizler sonucunda -yılı bağımsız, cep telefon sayısını bağımlı değişken olarak aldığımızda yıllar itibariyle cep telefon sayısında bir artış olduğu görülmektedir- Türkiye'nin 2020 yılındaki toplam cep telefon sayısının yaklaşık olarak 21.096.000 milyon olması beklenmektedir. Buna göre toplam cep telefon sayısının % 3 varsayımı altında, hidrojen enerjisi kullanılacağı varsayılırsa, 682.880 bin cep telefonda hidrojen enerjisinin kullanılması gerekir. % 5 varsayımı altında, 1.054.800 cep telefonda hidrojen enerjisi kullanılır, % 7 varsayımı altında, 1.476.720

cep telefonda hidrojen enerjisi kullanılır ve % 10 varsayımı altında, 2.109.600 cep telefonda hidrojen enerjisi kullanılır.

Tablo 47: Hidrojen Enerjisinin Cep Telefonlarında Kullanımı için Tahmin Denklemi

$$N_t = p * (m - N_{t-1}) + q * \left(\frac{N_{t-1}}{m} \right) * (m - N_{t-1})$$

Pazar payı %3'de 1. yıl için Araçlarda Kullanılan Hidrojen Tahmini
 $0.010 * (682.800 - 0) + 0.448 * (0/682.800) * (682.800 - 0) = 6,828$

Pazar payı %5'de 1. yıl için Araçlarda Kullanılan Hidrojen Tahmini
 $0.010 * (1.054.800 - 0) + 0.448 * (0/1.054.800) * (1.054.800 - 0) = 10.548$

Pazar payı %7'de 1. yıl için Araçlarda Kullanılan Hidrojen Tahmini
 $0.010 * (1.476.720 - 0) + 0.448 * (0/1.476.720) * (1.476.720 - 0) = 14.767$

Pazar payı %10'da 1. yıl için Araçlarda Kullanılan Hidrojen Tahmini
 $0.010 * (2.109.600 - 0) + 0.448 * (0/2.109.600) * (2.109.600 - 0) = 21.096$

2020 yılına kadar hesaplamalar bu şekilde devam etmektedir ve aşağıdaki tabloda hidrojen tahminleri gösterilmektedir.

Hidrojen enerjisi tüketiminin cep telefonlarda 2020 yılında % 3, % 5, % 7 ve % 10 büyüme oranına sahip olacağı varsayımı altında hidrojen enerjisinin cep telefonlarında kullanımına dair gelecek tahmini tüketimleri tablo 47'de sunulmuştur.

Hidrojen enerjisinin cep telefonlarındaki kullanımı farklı pazar paylarında değişiklik göstermektedir.

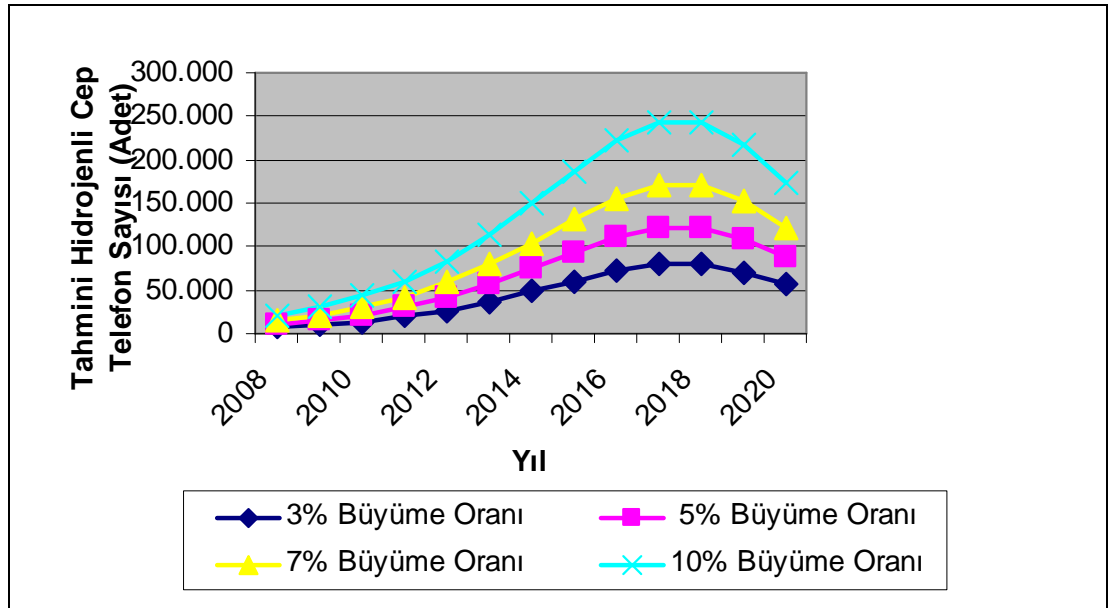
İlk yıl % 3 büyüme oranında 6.828 tane cep telefonun, % 5 büyüme oranında 10.548 tane cep telefonun, % 7 büyüme oranında 14.767 tane cep telefonun ve % 10 büyüme oranında 21.096 tane cep telefonun hidrojen enerjisi ile çalışacağı tahmin edilmektedir.

Hidrojen enerjisinin 2020 yılına kadar cep telefonlarında kullanımına yönelik tahmini pazar potansiyeli aşağıdaki tablo 48'de ve şekil 21'de gösterilmiştir.

Tablo 48: Hidrojen Enerjisinin Cep Telefonlarında Kullanımı Sonucu Tahmini Büyüme Oranları (Adet)

Yıl	Senaryolar (Büyüme Oranı)			
	(% 3)	(%5)	(%7)	(% 10)
2008	6.828	10.548	14.767	21.096
2009	9.789	15.120	21.169	30.241
2010	13.926	21.511	30.115	43.022
2011	19.595	30.267	42.374	60.534
2012	27.140	41.922	58.691	83.844
2013	36.759	56.779	79.491	113.559
2014	48.246	74.522	104.332	149.045
2015	60.631	93.654	131.115	187.308
2016	71.866	111.007	155.410	222.014
2017	78.935	121.926	170.697	243.852
2018	78.890	121.857	170.600	243.714
2019	70.677	109.170	152.838	218.341
2020	56.384	87.092	121.929	174.185

Şekil 21: Hidrojen Enerjisinin Tahmini Olarak Kullanılması Beklenen Cep Telefon Sayısı



Hidrojen enerjisinin cep telefonlarındaki kullanım sayısının farklı büyüme oranlarında artarak devam edeceği tahmin edilmiştir. Bu artış hidrojen enerjisinin cep telefonlarında gelecekte çok büyük bir pazar potansiyeline sahip olacağının bir göstergesidir.

4.6. Hidrojen Teknolojilerinin Dizüstü Bilgisayar Kullanımları İçindeki Toplam Pazar Büyüklüğü

Portatif kullanım alanları içinde hidrojenli yakıt hücrelerinin en büyük ikinci pazar potansiyeli dizüstü bilgisayar -laptop- sektörüdür. Hidrojen enerjisi ile çalışan dizüstü bilgisayarın bataryaları artık çok daha uzun süre çalışabilecek ve bu sayesinde bilgisayarların kullanım süresi de uzayacaktır. Türkiye'nin 2007 yılı itibariyle dizüstü bilgisayarı sayısı 987.904 olmuştur ve 2008 yılı dizüstü bilgisayarı sayısı ise 1.107.993 olarak tahmin edilmektedir (Şahin, 2007). Bu anlamda bu sektör hidrojen enerjisi için çok büyük önem arz etmektedir.

Tablo 49'da Türkiye'de geçmişten günümüze kadar gerçekleşen dizüstü bilgisayar sayısı ve toplam miktarı verilmiştir.

Tablo 49: Türkiye'deki Toplam Dizüstü Bilgisayar Sayısı (000 Adet)

Yıllar	Dizüstü Bilgisayar Sayısı	Toplam Dizüstü Bilgisayar Sayısı	Toplam Dizüstü Bilgisayar Sayısı (t-1)	Toplam Dizüstü Bilgisayar Sayısı (t-1) ²
2000	42.500	42.500	0	0
2001	49.500	92.000	42.500	1806,25
2002	138.000	230.000	92.000	8464,00
2003	140.617	370.617	230.000	52900,00
2004	218.671	589.288	370.617	137356,96
2005	551.936	1.141.224	589.288	347260,34
2006	767.841	1.909.065	1.141.224	1302392,21
2007	987.904	2.896.969	1.909.065	3644529,17

Kaynak: TÜİK, (2008) (*İlk sütündeki dizüstü bilgisayar sayısı verileri TÜİK' ten alınmıştır.*)

2000 yılından 2007 yılına kadar gerçekleşen toplam dizüstü bilgisayar sayısı Bass modeli çerçevesinde regresyon analiz sonuçları aşağıdaki gibi olmaktadır.

Tablo 50: Dizüstü Bilgisayar Sektörünün Regresyon Sonuçları

<i>ToplamTüketim</i> $tim = 14,002 + 0,875 X_{t-1}$	
R	0,974
Gözlem Sayısı	8
Katsayılar	
Sabit Terim	14,002
X_{t-1}	0,875
X_(t-1)²	000

Regresyon analizinin sonuçlarına göre toplam tüketime X_{t-1} katsayısı pozitif yönde etki yaparken X_(t-1)² katsayısı nötr durumdadır. R değerinin 0,974 olması X_{t-1}

değişkenin toplam tüketim üzerindeki ilişkinin % 97'sini açıklamaktadır. Regresyon analizinin sonuçlarını -katsayılarını- kullanarak Bass tahmini için p ve q değerleri hesaplanmaktadır.

Aşama 1:

$$\text{Toplam Tüketim} = 2,896,969$$

Aşama 2:

$$p = \text{Sabit Terim} / \text{Toplam Tüketim}$$

$$p = 14,002 / 2,896,969$$

$$p = 0,004$$

Aşama 3:

$$q = p + X_1$$

$$q = 0,004 + 0,875$$

$$q = 0,879$$

Hesaplanan p ve q değerlerinden hareketle toplam dizüstü bilgisayar tüketiminin Bass tahmin modeli aşağıdaki gibidir.

Tablo 51: Hidrojen Enerjisinin Dizüstü Bilgisayar Kullanımı için Bass Tahmin Denklemi

$$N_t = p * (m - N_{t-1}) + q * \left(\frac{N_{t-1}}{m} \right) * (m - N_{t-1})$$

1. yıl için Bass Tahmini
 $0,004 * (2.896.969 - 0) + 0,879 * (0/2.896.969) * (2.896.969 - 0) = 11.587.876$

2007 yılına kadar hesaplamalar bu şekilde devam etmektedir.

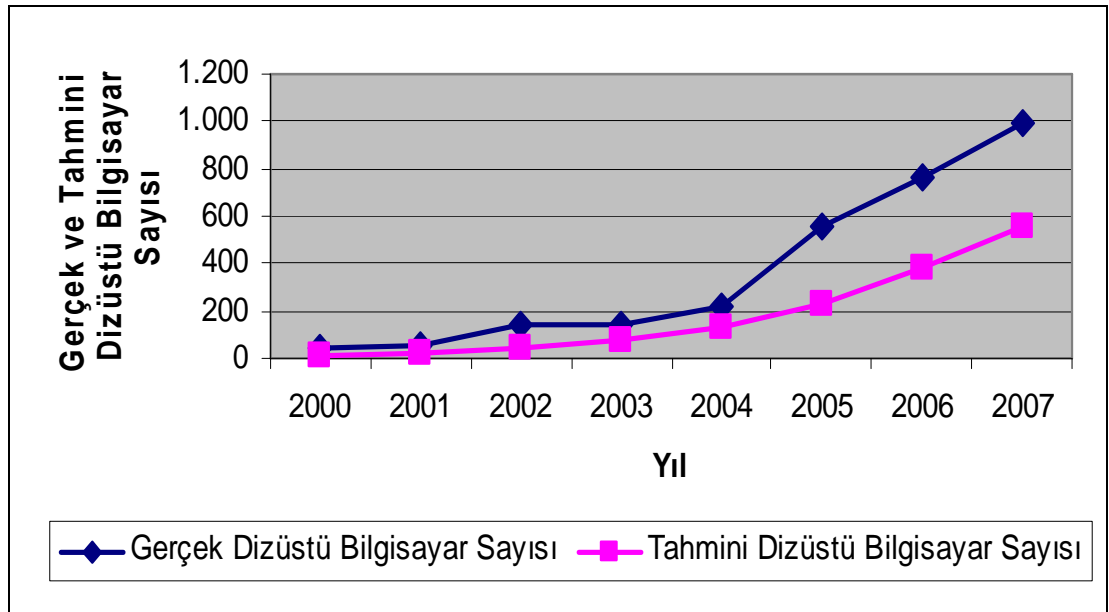
Tahmini dizüstü bilgisayar sayıları Bass tahmin modeli çerçevesinde yukarıdaki gibi hesaplanmaktadır. Günümüzde gerçekleşen dizüstü bilgisayar sayılarının verilerini kullanarak Bass tahmin modeli ile bulunan tahmini dizüstü bilgisayar sayıları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 52: Gerçek ve Tahmini Dizüstü Bilgisayar Sayılarının Karşılaştırılması (000 Adet)

Yıllar	Gerçek Laptop Sayısı	Tahmini Laptop Sayısı
2000	42.500.000	11.587.876
2001	49.500.000	21.686.524
2002	138.000.000	40.367.033
2003	140.617.000	74.378.662
2004	218.671.000	134.457.531
2005	551.936.000	234.544.777
2006	767.841.000	382.874.468
2007	987.904.000	553.283.294

Tabloda gösterilen gerçek dizüstü bilgisayar sayıları ve Bass modeli ile yaptığımız tahmini dizüstü bilgisayar sayıları arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde daha açık olarak görülmektedir.

Şekil 22: Gerçekleşen ve Tahmini Dizüstü Bilgisayar Sayılarının Karşılaştırılması



Şekil 22’de gerçekleşen dizüstü bilgisayar sayısı ile tahmini dizüstü bilgisayar sayısı hemen hemen aynı paralellikte artmaktadır.

Yapılan bu analizlerden sonra hidrojen enerjisinin dizüstü bilgisayarlarda kullanımını tahmin etmek için gerçek ve tahmini dizüstü bilgisayar sayısı analizindeki yenilik katsayısı $p = 0,004$ ve imitasyon katsayısı $q = 0,879$ kullanılacaktır.

Yaptığımız analizler sonucunda -yıllı bağımsız, dizüstü bilgisayar sayısını bağımlı değişken olarak aldığımızda yıllar itibariyle dizüstü bilgisayar sayısında bir artış

olduğu görülmektedir- Türkiye'nin 2015 yılındaki toplam dizüstü bilgisayar sayısının yaklaşık olarak 1.940.000 milyon olması beklenmektedir. Tahminin 2015 yılına kadar yapılmasının sebebi yeterli veri olmaması ve sonraki yıllar için yapılan sonuçların sağlıklı olmamasından dolayı 8 yıllık veriler ile gelecek 8 yıl için tahmin edilmiştir.

Buna göre toplam dizüstü bilgisayar sayısının % 3 varsayımı altında hidrojen enerjisi kullanılacağı varsayılırsa, 58.200 bin dizüstü bilgisayarda hidrojen enerjisinin kullanılması gerekmektedir. % 5 varsayımı altında, 97.000 bin dizüstü bilgisayarda hidrojen enerjisi kullanılır, % 7 varsayımı altında, 135.800 bin dizüstü bilgisayarda ve % 10 varsayımı altında 194.000 bin dizüstü bilgisayarda hidrojen enerjisi kullanılması beklenmektedir.

Hidrojen enerjisi tüketiminin bin dizüstü bilgisayarlarda 2015 yılında % 3, % 5, % 7 ve % 10 büyüme oranlarına sahip olacağı varsayımı altında hidrojen enerjisinin cep telefonlarında kullanımına dair gelecek tahmini tüketimleri tablo 53'de sunulmaktadır.

Tablo 53: Hidrojen Enerjisinin Dizüstü Bilgisayarlarda Kullanımı için Tahmin Denklemi

$$N_t = p * (m - N_{t-1}) + q * \left(\frac{N_{t-1}}{m} \right) * (m - N_{t-1})$$

Pazar payı %3'de 1. yıl için Araçlarda Kullanılan Hidrojen Tahmin
 $0.004 * (58.200 - 0) + 0.879 * (0/58.200) * (58.200 - 0) = 232$

Pazar payı %5'de 1. yıl için Araçlarda Kullanılan Hidrojen Tahmini
 $0.004 * (97.000 - 0) + 0.879 * (0/97.000) * (97.000 - 0) = 388$

Pazar payı %7'de 1. yıl için Araçlarda Kullanılan Hidrojen Tahmini
 $0.004 * (135.800 - 0) + 0.879 * (0/135.800) * (135.800 - 0) = 543$

Pazar payı %10'da 1. yıl için Araçlarda Kullanılan Hidrojen Tahmini
 $0.004 * (194.000 - 0) + 0.879 * (0/194.000) * (194.000 - 0) = 766$

2015 yılına kadar hesaplamalar bu şekilde devam etmektedir ve aşağıdaki tabloda hidrojen tahminleri gösterilmektedir.

Hidrojen enerjisinin dizüstü bilgisayarlarda kullanımını farklı pazar paylarında değişiklik göstermektedir.

İlk yıl % 3 büyüme oranında 232 tane dizüstü bilgisayarda , % 5 büyüme oranında 388 tane dizüstü bilgisayarda, % 7 büyüme oranında 543 tane dizüstü bilgisayarda ve % 10

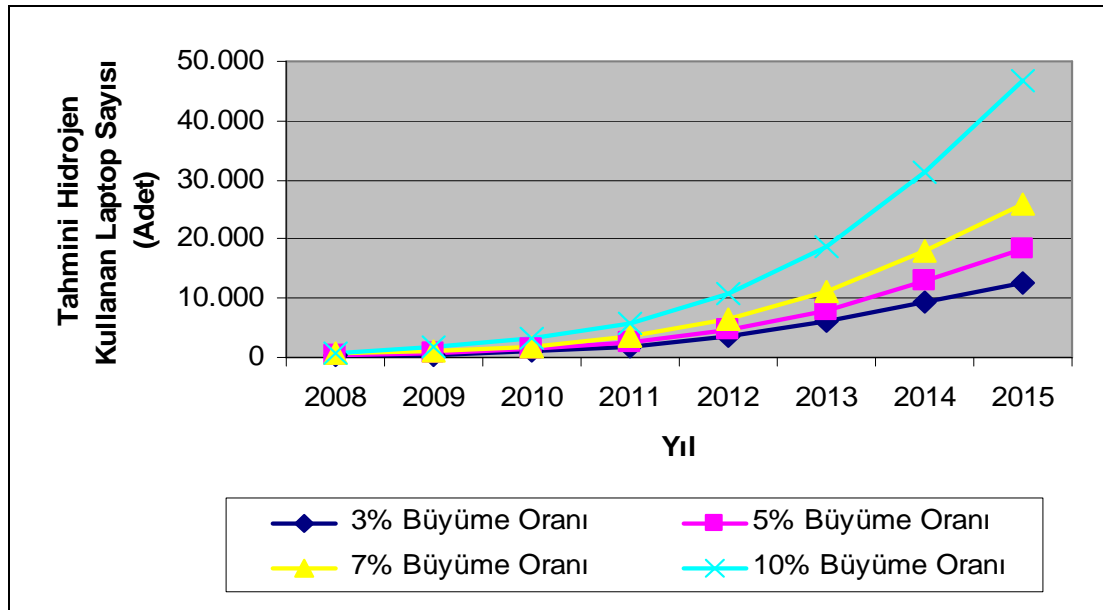
büyüme oranında 766 tane dizüstü bilgisayarda hidrojen enerjisinin kullanılacağı tahmin edilmektedir. Hidrojen enerjisinin 2015 yılına kadar dizüstü bilgisayarlarda kullanımına yönelik tahmini büyüme oranını tablo 54’de gösterilmiştir.

Hidrojen enerjisi için önemli bir pazar olan dizüstü bilgisayar sektöründe, hidrojen enerjisi ile çalışan dizüstü bilgisayar sayısının yıllar itibariyle artış göstereceği -farklı büyüme oranlarında- tablo 54’de ve şekil 23’de tahmin edilmiştir.

Tablo 54: Hidrojen Enerjisinin Dizüstü Bilgisayar Kullanımı Sonucundaki Tahmini Büyüme Oranları (000 Adet)

Yıl	Senaryolar (Büyüme Oranı)			
	(% 3)	(% 5)	(% 7)	(% 10)
2008	232	388	543	776
2009	507	726	1.016	1.714
2010	1.002	1.351	1.892	3.195
2011	1.904	2.490	3.486	5.902
2012	3.472	4.502	6.302	10.721
2013	6.001	7.853	10.994	18.871
2014	9.471	12.819	17.947	31.322
2015	12.557	18.525	25.936	46.659

Şekil 23: Hidrojen Enerjisini Tahmini Olarak Kullanan Dizüstü Bilgisayar Sayısı



Hidrojen enerjisinin dizüstü bilgisayarlarındaki kullanım sayısının farklı büyüme oranlarında aratarak devam edeceği tahmin edilmiştir.

4.7. Hidrojen Teknolojilerinin Diğer Portatif/Elektronik Kullanım Alanları İçindeki Toplam Pazar Büyüklüğü

Hidrojen enerjisi yukarıda bahsedildiği üzere cep telefonları ve dizüstü bilgisayarlar dışında da bir çok portatif kullanım alanları bulunmaktadır. Bunlar arasında dijital fotoğraf makineleri, dijital kameralar, dvd ve vcd oynatıcılar, video kayıt cihazları, ses kayıt cihazları, dijital radyo ve teypler sayılabilir. Görüldüğü üzere hidrojen enerjisinin portatif kullanım alanı çok geniştir ve bu alanda gelecekte çok büyük bir hidrojen tabanlı ürünler pazarı ve ekonomisinin oluşması beklenmektedir. Hidrojen enerjisinin bu alanlardaki kullanım tahminleri aşağıda verilmektedir.

Tablo 55’de Türkiye’de geçmişten günümüze kadar gerçekleşen portatif araçların - dijital fotoğraf makineleri, dijital kameralar, dvd ve vcd oynatıcılar, video kayıt cihazları, ses kayıt cihazları, dijital radyo ve teypler- sayısı ve toplam miktarı verilmiştir.

Tablo 55: Türkiye’deki Toplam Portatif/Elektronik Araçların Sayısı (Adet)

Yıllar	Portatif Araçların Sayısı	Toplam Portatif Araçların Sayısı	Toplam Portatif Araçların Sayısı (t-1)	Toplam Portatif Araçların Sayısı (t-1) ²
1990	323,70	323,70	0	0
1991	344,76	668,47	323,70	104783
1992	488,89	1157,36	668,47	446854
1993	344,11	1501,48	1157,36	1339496
1994	510,42	2011,90	1501,48	2254448
1995	1023,96	3035,86	2011,90	4047749
1996	9164,43	12200,30	3035,86	9216470
1997	12726,06	24926,36	12200,30	148847344
1998	13242,83	38169,20	24926,36	621323622
1999	14929,04	53098,2	38169,20	1456887981
2000	23923,80	77022,05	53098,25	2819424153
2001	10492,02	87514,08	77022,05	5932397110
2002	18504,85	106018,93	87514,08	7658714373
2003	41513,17	147532,10	106018,93	11240014154
2004	30403,45	177935,56	147532,10	21765723186
2005	27332,69	205268,26	177935,56	31661065648
2006	20709,03	225977,29	205268,26	42135058563
2007	29719,08	255696,38	225977,29	51065739211

Kaynak: TÜİK, (2008) (İlk sütündeki portatif araç sayısı verileri TÜİK’ ten alınmıştır.)

1990 yılından 2007 yılına kadar gerçekleşen toplam portatif araçların sayısı Bass modeli çerçevesinde regresyon analiz sonuçları aşağıdadır.

Tablo 56: Portatif/ Elektronik Araçların Regresyon Sonuçları

$ToplamTüke\ tim = 2305,535 + 0,362 X_{t-1} - 1,178 X_{(t-1)}^2$	
R	0,77
Gözlem Sayısı	18
	Katsayılar
Sabit Terim	2305,535
X_{t-1}	0,362
X_(t-1)²	-1,178

Regresyon analizinin sonuçlarına göre toplam tüketime X_{t-1} katsayısı pozitif yönde etki yaparken $X_{(t-1)}^2$ katsayısı negatif yönde etki yapmaktadır. R değerinin 0,77 olması X_{t-1} ve $X_{(t-1)}^2$ değişkenlerinin toplam tüketim üzerindeki ilişkinin % 77'sini açıklamaktadır. Regresyon analizinin sonuçlarını -katsayılarını- kullanarak Bass tahmini için p ve q değerleri hesaplanır.

Aşama 1:

$$\text{Toplam Tüketim} = 255,696$$

Aşama 2:

$$p = \text{Sabit Terim} / \text{Toplam Tüketim}$$

$$p = 2,305 / 255,696$$

$$p = 0,009$$

Aşama 3:

$$q = p + X_1$$

$$q = 0,009 + 0,362$$

$$q = 0,369$$

Hesaplanan p ve q değerlerinden hareketle toplam tüketimin Bass tahmin modeli hesaplaması aşağıda verilmiştir.

Tablo 57: Hidrojen Enerjisinin Portatif/Elektronik Araçlarda Kullanımı İçin Bass Tahmin Denklemi

$$N_t = p * (m - N_{t-1}) + q * \left(\frac{N_{t-1}}{m} \right) * (m - N_{t-1})$$

1. yıl için Bass Tahmini
 $0,009 * (255696,38 - 0) + 0,369 * (0/255696,38) * (255696,38 - 0) = 2301,267$

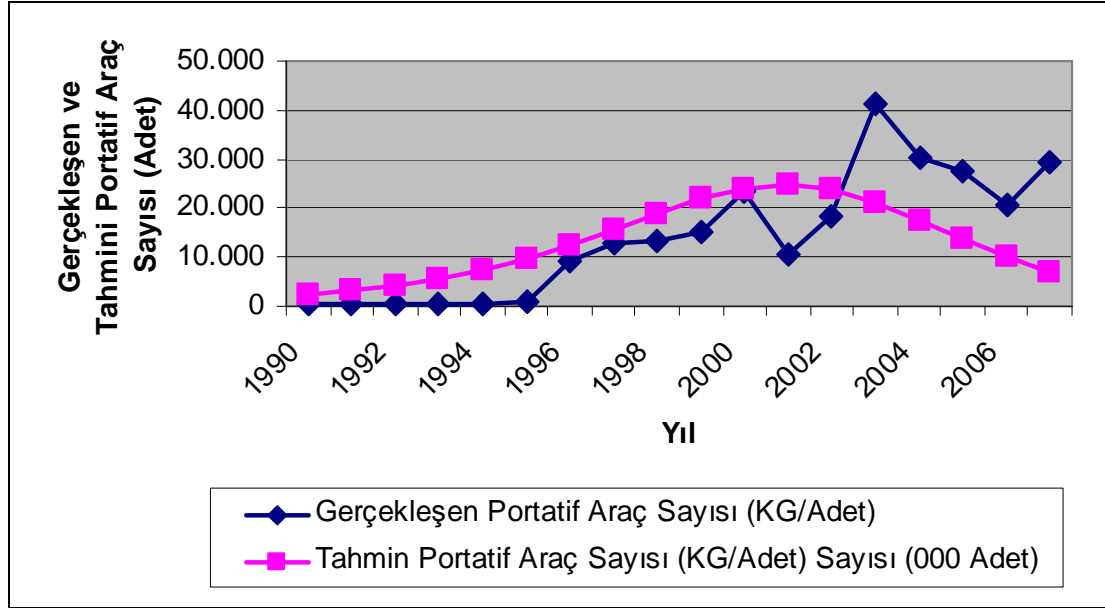
2007 yılına kadar hesaplamalar bu şekilde devam etmektedir.

Günümüzde gerçekleşen portatif araçların sayılarının verilerini kullanarak Bass tahmin modeli ile bulunan tahmini portatif araçların sayıları tablo 57’de gösterilmiştir. Tabloda gösterilen gerçek portatif araçların sayıları ve Bass modeli ile yaptığımız tahmini portatif araçların sayıları arasındaki ilişki aşağıdaki şekil 24’de daha açık olarak görülmektedir.

Tablo 58: Gerçek ve Tahmini Portatif/Elektronik Araçların Sayılarının Karşılaştırılması (Adet)

Yıllar	Gerçek Portatif Araçların Sayısı	Tahmini Portatif Araçların Sayısı
1990	320.237	2.301.267
1991	342.952	3.122.081
1992	488.680	4.204.902
1993	344.116	5.628.066
1994	483.945	7.455.057
1995	1.023.962	9.735.872
1996	9.164.437	12.473.264
1997	12.726.063	15.579.074
1998	13.242.838	18.823.653
1999	14.929.048	21.802.784
2000	23.573.087	23.966.276
2001	10.381.073	24.752.472
2002	18.478.133	23.818.855
2003	41.470.359	21.253.854
2004	30.374.400	17.597.400
2005	27.331.671	13.610.775
2006	20.703.499	9.952.434
2007	29.259.911	6.984.516

Şekil 24: Gerçekleşen ve Tahmini Portatif/Elektronik Araç Sayılarının Karşılaştırılması



Şekil 24’de gerçekleşen portatif araçların sayısı ve tahmini portatif araçların sayısı dalgalı bir şekilde bir artış/azalış göstermektedir.

Yapılan bu analizlerden sonra hidrojen enerjisinin portatif araçlarda kullanımını tahmin etmek için analizde bulunan yenilik katsayısı $p = 0,009$ ve imitasyon katsayısı $q = 0,369$ kullanılacaktır.

Yaptığımız analizler sonucunda -yılyı bağımsız, portatif araçların sayısını bağımlı değişken olarak aldığımızda yıllar itibariyle portatif araçların sayısında bir artış olduğu görülmektedir- Türkiye’nin 2020 yılındaki toplam portatif araçların sayısının yaklaşık olarak 58982,952 adet olması beklenmektedir.

Buna göre toplam portatif araçların sayısının % 3 varsayımı altında, hidrojen enerjisi kullanılacağı varsayılırsa, 1769,488 adet portatif araçlarda hidrojen enerjisinin kullanılması gerekir. % 5 varsayımı altında, 2949,147 adet portatif araçlarda hidrojen enerjisi kullanılır, % 7 varsayımı altında, 4128,74 adet portatif araçlarda hidrojen enerjisi kullanılır ve % 10 varsayımı altında 5898,295 adet portatif araçlarda hidrojen enerjisi kullanılır.

Hidrojen enerjisi tüketiminin portatif araçlarda 2020 yılında % 3, % 5, % 7 ve % 10 büyüme oranına sahip olacağı varsayımı altında hidrojen enerjisinin portatif araçlarda kullanımına dair gelecek tahmini tüketimleri tablo 59’da sunulmaktadır.

Tablo 59: Hidrojen Enerjisinin Portatif/Elektronik Araçlarda Kullanımı için Tahmin Denklemi

$N_t = p * (m - N_{t-1}) + q * \left(\frac{N_{t-1}}{m} \right) * (m - N_{t-1})$
<p>Pazar payı %3’de 1. yıl için Araçlarda Kullanılan Hidrojen Tahmin $0,009 * (1769,49 - 0) + 0,369 * (0/1769,49) * (1769,49 - 0) = 15,925$</p>
<p>Pazar payı %5’de 1. yıl için Araçlarda Kullanılan Hidrojen Tahmini $0,009 * (2949,147 - 0) + 0,369 * (0/2949,147) * (2949,147 - 0) = 26,542$</p>
<p>Pazar payı %7’de 1. yıl için Araçlarda Kullanılan Hidrojen Tahmini $0,009 * (4128,74 - 0) + 0,369 * (0/4128,74) * (4128,74 - 0) = 37,158$</p>
<p>Pazar payı %10’da 1. yıl için Araçlarda Kullanılan Hidrojen Tahmini $0,009 * (5898,295 - 0) + 0,369 * (0/5898,295) * (5898,295 - 0) = 53,084$</p>
<p>2020 yılına kadar hesaplamalar bu şekilde devam etmektedir ve aşağıdaki tabloda hidrojen tahminleri gösterilmektedir.</p>

Hidrojen enerjisinin portatif araçlarda kullanımı farklı pazar paylarında değişiklik göstermektedir. İlk yıl % 3 büyüme oranında 15,925 adet portatif araçlarda, % 5 büyüme oranında 26,542 adet portatif araçlarda, % 7 büyüme oranında 37,158 adet portatif araçlarda ve % 10 büyüme oranında 53,084 adet portatif araçlarda hidrojen enerjisinin kullanılacağı tahmin edilmektedir.

Tablo 60: Hidrojen Enerjisinin Portatif/Elektronik Araçlarda Kullanımı Sonucundaki Tahmini Büyüme Oranı (000 Adet)

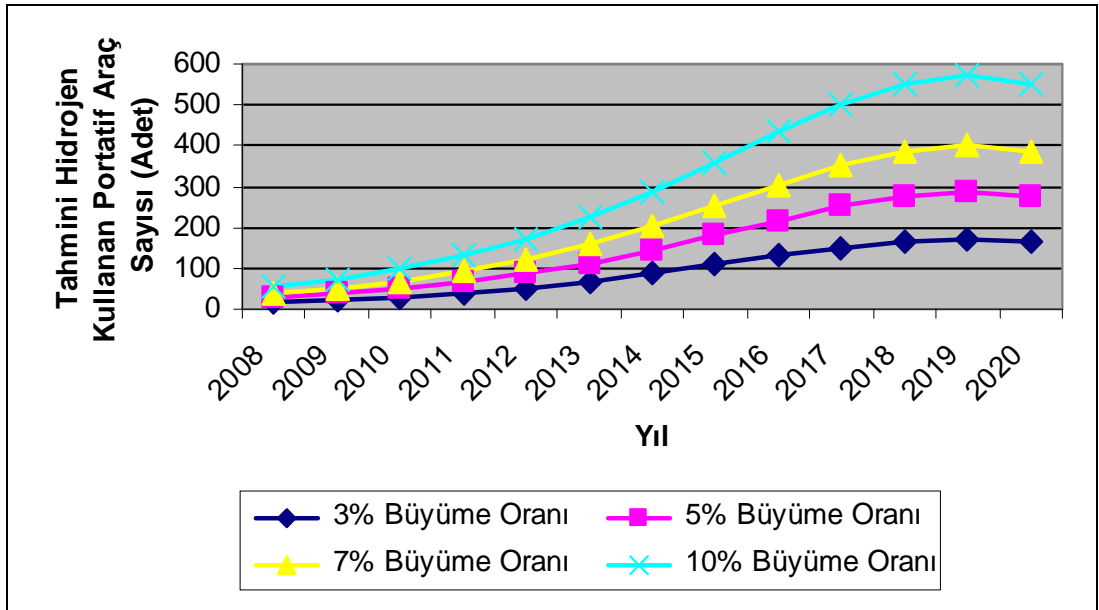
Yıl	Senaryolar (Büyüme Oranı)			
	(% 3)	(% 5)	(% 7)	(% 10)
2008	15.25	26.542	37.158	53.084
2009	21.605	36.009	50.412	72.018
2010	29.142	48.571	67.998	97.142
2011	39.000	65.001	91.000	130.003
2012	51.639	86.065	120.490	172.132
2013	67.397	112.329	157.259	224.659
2014	86.291	143.819	201.344	287.639
2015	107.716	179.527	251.334	359.055
2016	130.103	216.838	303.568	433.676

Tablo 60'ın devamıdır.

2017	150.689	251.149	351.603	502.298
2018	165.710	276.183	386.650	552.367
2019	171.294	285.490	399.680	570.980
2020	165.028	275.047	385.060	550.094

Hidrojen enerjisinin 2020 yılına kadar portatif araçlarda kullanımına yönelik tahmini büyüme oranı tablo 60'da gösterilmiştir.

Şekil 25: Hidrojen Enerjisini Tahmini Olarak Kullanan Portatif/Elektronik Araç Sayısı



Hidrojen enerjisi için önemli bir pazar olan portatif araçlar sektöründe hidrojen enerjisi ile çalışan portatif araç sayısının yıllar itibariyle artış göstereceği yukarıdaki tabloda tahmin edilmiştir. Daha açık olarak şekil 25'de gösterilmektedir.

Hidrojen enerjisinin portatif araçlardaki kullanım sayısının farklı büyüme oranlarında artarak devam edeceği tahmin edilmiştir. Bu artış hidrojen enerjisinin portatif araçlar sektöründe çok büyük bir büyüme potansiyeline sahip olacağının bir göstergesidir.

Hidrojen enerjisi gerek enerji alanında gerek diğer alanlarda çok büyük bir büyüme potansiyeline sahip olması yapılan analizler sonucunda tahmin edilmektedir. Hidrojen yakıt hücresi teknolojisinin hızla gelişimi sonucunda hidrojen enerjisinin ilk etapta araçlarda, dizüstü bilgisayarlar ve cep telefonlarda kullanılmaya başlaması beklenmektedir.

Büyük bir büyüme potansiyeli olacağı tahmin edilen hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünlerin teknolojik gelişime paralel olarak hızlı bir şekilde kullanılması beklenmektedir.

4.8. Hidrojen Teknolojilerinin Enerji Dışındaki Kullanım Alanlarının Toplam Pazar Büyüklüğü

Hidrojenin gelecekte yaygın olarak kullanılacağı düşünülen alanlara yönelik tahminler yukarıda yapılmıştır. Araçlarda, cep telefonlarda, dizüstü bilgisayarlarda ve diğer portatif/elektronik araçlardaki toplam kullanımları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 61: Hidrojen Teknolojilerinin Enerji Dışındaki Kullanım Alanlarının Toplam Büyüme Oranı (000 Adet)

Yıl	Senaryolar (Büyüme Oranı)			
	(% 3)	(% 5)	(% 7)	(% 10)
Araçlarda				
2010	28.187	46.979	65.771	93.958
2015	36.217	60.362	84.507	120.724
2020	37.364	62.273	87.183	124.547
Cep Telefonlarda				
2010	13.926	21.511	30.115	43.022
2015	60.631	93.654	131.115	187.308
2020	56.384	87.092	121.929	174.185
Portatif/Elektronik Araçlarda				
2010	29.142	48.571	67.998	97.142
2015	107.716	179.527	251.334	359.055
2020	165.028	275.047	385.060	550.094
Dizüstü Bilgisayarlarda				
2010	1.002	1.351	1.892	3.195
2015	12.557	18.525	25.936	46.659

Tablo 61'de de görüldüğü gibi hidrojen teknolojilerinin enerji dışındaki kullanımlarının da -araçlarda, cep telefonlarda, dizüstü bilgisayarlarda ve portatif/elektronik araçlarda- farklı büyüme oranlarında artarak devam edeceği yapılan analizlerle tahmin edilmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez hidrojenin sahip olduğu özellikler, hidrojen alanındaki çalışmalar, gelenen teknolojik düzey vb. hepsi, dünyanın yeni -hidrojene dayalı- bir ekonomiye doğru yönlendiğini göstermektedir. Çünkü hidrojen alanındaki araştırma ve geliştirme yatırımlarının büyüklüğüne yapılan vurgular ve hidrojen pazarının büyük bir toplumsal ve teknik çekiciliğe sahip bulunduğu (Cabtree vd., 2004) ve hidrojenin -yenilenebilir enerji kaynakları arasında- geleceğin enerji kaynağı olacağına (Maack ve Skulason, 2004) işaret edilmektedir.

Ayrıca, hidrojen alanındaki ticari çalışmalar da yeni bir pazarın doğmakta olduğunu göstermektedir. Bu çerçevede, yeni teknolojiye dayalı birçok ürün geliştirilmiş ve bunların önemli bir kısmı ticarileşme aşamasına ulaşmış durumdadır. Dünyanın en büyük firmalarının da aralarında bulunduğu birçok uluslararası firma, bu alandaki fırsatları kaçırmamak için çok ciddi Ar-Ge çalışmaları yapmakta ve büyük miktarlarda finansal kaynakları yatırmaktadırlar. Bazı devletlerin hidrojen enerjisi konusunda uzun dönemli ve detaylı planlamalara girdikleri gözlenmektedir. Gelenen mevcut durum, hidrojen ve hidrojen teknolojilerinin çok yakın bir gelecekte bile on milyarlarca \$'lık bir pazar büyüklüğüne ulaşacağı tahminini ortaya çıkarmaktadır. Yukarıda ifade edilen pazar büyüklüğü ve gelişme trendleri ile ilgili görüşler bu tahminleri desteklemektedir.

Ancak, mevcut koşullarda hidrojenin diğer yakıtlardan yaklaşık üç kat pahalı olduğunu ve yaygın bir enerji kaynağı olarak kullanımının hidrojen üretiminde maliyet düşürücü teknolojik gelişmelere bağlı olacağını göstermektedir. Çevre kirliliğine yol açmadan çeşitli alanlarda kullanılacak esnek bir yakıt olan hidrojen, 21. yüzyılın yakıtı olarak düşünülmekte olduğu; üretimi, taşınma ve depolanması ve kullanılmasına ilişkin teknolojilerin geliştirilmesi için kapsamlı çalışmaların yürütüldüğü çalışmada gözler önüne serilmektedir.

Çalışmanın birinci bölümünde, dünya nüfusunun hızla artması, mevcut enerji kaynaklarının gelecekte yetersiz kalacak olması ve çevre kirliliğinin çok büyük boyutlara ulaşması alternatif yakıtları ön plana çıkarmıştır. Bu çalışmada incelenen hidrojen enerji verimliliği, çevreci olması ve sınırsız bir yakıt olmasından dolayı

alternatif yakıtlar içinde en iyisidir. Ancak hidrojenle ilgili geri tutuşma, erken ateşleme, depolama ve maliyet azaltılması sorunlarının halledilmesi durumunda hidrojenin gelecekte rakipsiz bir yakıt olması beklenmektedir. Hidrojen sonsuz bir enerji kaynağıdır. Dünyanın en geç 2075 yılında tamamen hidrojen enerjisine geçmesi planlanmaktadır.

Ayrıca birinci bölümde zengin kaynak çeşitliliği ile hidrojenin geleceği ve olası hidrojen hakkındaki tahminleri tanımlanmış ve değerlendirilmiştir. Genel olarak hidrojen ile ilgili tüm bilgiler -elde edilme yöntemleri, depolama yöntemleri, kullanım alanları- bu bölümde sunulmaktadır. Ayrıca hidrojen enerjinin zayıf ve güçlü yönleri ortaya konulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde, hidrojen enerjisinin ve hidrojen tabanlı ürünlerin ekonomik boyutu ve olası hidrojen pazarı tanımlanmaktadır. Ayrıca hidrojen pazarında hükümetlerin önemli rol oynadığı, dünya genelinde yapılan Ar-Ge yatırımlarının çok büyük olduğu vurgulanmaktadır. Hidrojen pazarı çok büyük toplumsal ve teknik çekiciliğe sahiptir. Hidrojen pazarındaki nihai başarı ise piyasadaki tepkimelerin nasıl olduğuna bağlıdır. Ve sonuç olarak; geleceğin enerji arenasında, hidrojen teknolojileri ve bir enerji dönüşüm prosesi olan yakıt hücresi teknolojileri, orta ve uzun dönem için son derece olumlu sinyaller vermektedir ve hidrojen pazarı global enerji ekonomisinde itici güç olarak görülmektedir. Çevresel baskıların, teknolojik ve ekonomik gelişmelerle de bütünleşmesi ve desteklenmesinin bu süreci hızlandıracağı beklenmektedir. Bu çerçevede, dünyanın yoğun olarak çalıştığı hidrojen üretimi, yakıt hücreleri ve ilgili konularda Ar-Ge çalışmalarının giderek artması gerekmektedir.

Ayrıca bu bölümde Türkiye’de bu konu ile ilgili yapılan çalışmalara ve Türkiye’nin bu konuda ne yapması gerektiği noktasında önerilerde bulunulmuştur. Türkiye’de hidrojen enerjisi ve hidrojen teknolojileriyle ilgili çalışmalar henüz çok yenidir ve gelişme aşamasındadır. Buna karşın -dünya ölçeğinde olmasa da- birçok proje uygulamaya konulmuş durumdadır. Türkiye hidrojen konusunda üretim kaynakları, altyapı ve pazar dinamikleri açısından önemli avantajlara sahip bir ülkedir. Bu avantajları kullanabilirse, önemli bir gelişim yakalaması ve gelişmiş bir hidrojen pazarına sahip olması mümkündür. Bununla birlikte, Güney Kore ve İzlanda’da

olduğu gibi bu konuda üniversiteler ve ilgili devlet kuruluşları vasıtasıyla kapsamlı bir Ar-Ge programının geliştirilmesi ve devlet desteğiyle hızla uygulamaya konulmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Enerji’de çok büyük oranda dışarıya bağlı olan Türkiye’de böyle bir programın önemli getirileri olacaktır. Bu çalışma çerçevesinde Türkiye; sanayinin önemli bir girdisi olan enerji yatırımlarına önem vermelidir. 2040’lı yıllardaki enerji açığıının karşılanması açısından öncelikle, enerji ile ilgili politikaları zamanında belirlemeli ve uygulamaya geçirmesi gerekmektedir. Türkiye’nin hidrojen pazarının gelişmesi için teknolojik yetkinlik kazanması gerekmektedir.

Bu kapsamda, teknolojik yenilenmesini ve sanayi üretim sürecini hızlandırmak ve geliştirmek zorunda olan Türkiye, ilk 10 yılda hidrojen enerjisine geçiş için bütün yasal ve hukuki zeminleri hazırlamalı ve bu ikincil enerji kaynağını temin edeceği birincil sistemleri kurmalıdır. Daha sonraki aşamada ise bu yakıtın daha verimli depolanabilmesi ve taşınabilmesi için alternatif olarak önerilen hidrür üretim sistemlerini geliştirmeli ve borlu yakıt çözeltilerini piyasaya sunacak teknolojiyi hazırlamalıdır. Bu teknolojiler elektrik enerjisine dönüşüm için gerekli yakıt hücre sistemleri ile entegre olmalıdır. Dünyadaki hidrojen enerjisi ile ilgili gelişmeler dikkate alınarak, hidrojen enerjisi ülkemizde de öncelikli Ar-Ge alanları arasında yer almalıdır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, pazarlama ve yeni ürün kavramlarından bahsedilmiştir. Çünkü yeni bir ürün olan hidrojen enerjisinin pazar büyüklüğü tahmini yaparken belli bir altyapı oluşturması açısından bu bölüm çalışma için büyük önem arz etmektedir. Farklı pazar payı tahmin yöntemleri ve yeni ürünlerin yani verisi olmayan yeni bir ürünün tahmininde kullanılan tahminlemeler hakkında bilgi verilmiştir. Yeni bir ürün için tahmin yaparken ürüne ait veri yok ise, ikame olacak ürünlerin verileri Bass tahmin modeline uygulanarak kullanılabilir.

Türkiye’de yapılan enerji tahmin çalışmaları literatür taraması şeklinde verilmiştir ve fosil tabanlı yakıtların tüketimleri ile ekonomik göstergeler arasındaki ilişkiler çoklu regresyon yöntemi ile analiz edilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, Türkiye için hidrojen enerjisinin pazar büyüklüğü ve hidrojenin ekonomideki yeri tahmin edilmiştir. Petrol verileri baz alınarak yapılan tahminleme sonucunda hidrojen enerjisinin pazar potansiyelinin artarak belli bir

noktaya geleceği öngörülmüştür. Bu yapılan öngörüler doğrultusunda hidrojen geleceğin ekonomisi ve enerjisidir. Bu da enerji ithalinden kaynaklanan dış ticaret açığını kapatmada ikame üretimi ve arzı oluşturacak, ve açığın azaltılmasına yardımcı olacaktır.

Sonuç ve değerlendirme bölümünde ise; enerji pazarı, mevcut durumda bile devasa bir büyüklüğe sahiptir. Bu pazarın alternatif enerji ürünleriyle desteklenmesi ve geleceğe yönelik potansiyel enerji talebi tahminleri bu pazarın daha da büyüceğini göstermektedir. Bu durum, enerji pazarında yeni imkânların ve fırsatların doğuşu anlamına gelmektedir. Ayrıca mevcut enerji pazarındaki az odaklılık ve kısmen merkezi yapılanma -ki bugün dünyada petrol üretimi, işlenmesi ve dağıtımı belli başlı batılı ülkelerdeki firmalar tarafından yapılmaktadır- büyük oranda kırılacak ve enerji pazarına çok sayıdaki orta büyüklükteki firma da oyuncu olarak katılabilecektir. Enerji pazarında çok sayıda üretici yer alabilecek ve bu pazarın yapısı önemli oranda değişecektir. Enerji üretimi, dağıtımı ve kullanımı yerel hale dönüşebilecektir. Bu, enerjinin ve enerji ürünlerinin pazarlama sistemini ve uygulamalarını da önemli ölçüde değiştirebilecektir.

Bu çalışma sonucunda; çok çeşitli kaynaklardan ve büyük miktarlarda elde edilebilen hidrojenin, sonsuz bir enerji kaynağı olduğu ortaya konmuştur. Ve mevcut tahminler, dünyanın en geç 2070 yılında tamamen hidrojene geçeceğini öngörmektedir. Hidrojen ve -bir enerji dönüşüm sistemi olan yakıt hücreleri gibi- hidrojen teknolojileri dünya ve özellikle Türkiye için orta ve uzun dönemde son derece olumlu sinyaller vermektedir. Bunun da hidrojenin global enerji ekonomisinin itici gücü haline gelmesini sağlayacağı öngörülmektedir.

Dünya nüfusundaki hızlı artış, mevcut enerji kaynaklarının kısıtlılığı ve onların finansal, çevresel, sosyal, ekonomik ve diğer maliyetlerinin de hidrojen ve hidrojen teknolojilerindeki gelişmeleri ve bu pazarın büyümesini destekleyeceği ve hızlandıracağı beklenmektedir. Hidrojenle ilgili çalışmaların hızla devam etmesi için dünya ve Türkiye, hidrojen ile ilgili araştırmaları, çalışmaları desteklemelidir. Çünkü hidrojen bir ülkenin kalbi olan ekonomisinde büyük bir paya sahip olacaktır. Bu çalışmanın hidrojen enerjisinin orta ve uzun dönemli gelişmelerinde yardımcı olacağı umut edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında yapılan öneriler ise aşağıda genel olarak özetlenmektedir.

- Enerji ile ilgili sektörlerde kullanılacak olan teknoloji, hidrojen uyumlu olarak seçilmelidir.
- Hidrojen enerjisine uygun teknoloji geliştirilmelidir.
- Geliştirilen bu teknolojilerin verimini arttırmak ve maliyetlerinin azaltılması için gerekli araştırmalar ve çalışmalar yapılmalıdır.
- Pilot projeler ve demonstrasyon çalışmaları ile hidrojen enerjisinin ulaşım altyapısı hazırlanmalıdır.
- Hidrojen teknolojileri ile ilgili araştırma-geliştirme yapan özel ve kamu sektörler, üniversiteler desteklenmeli ve teşvikler uygulanmalıdır.
- Hidrojen teknolojileri ile ilgili standartlar oluşturulmalı ve bunlar uluslararası standartlara uygun olarak geliştirilmeli ve uygulanmalıdır.
- Hidrojen teknolojileri konusunda nitelikli personel yetiştirilmeli ve İzlanda'da da olduğu gibi mastır ve doktora öğrencileri bu konuda teşvik edilmelidir.
- Hidrojen enerjisi ve hidrojen tabanlı ürünler hakkında halk medya yoluyla bilinçlendirilmelidir.
- Hidrojenin taşınması ve depolanması için daha gelişmiş ve verimli teknolojiler geliştirilmelidir.
- 'Hidrojen pazarının' hayata geçmesinin önündeki teknik ve ekonomik zorluklardan önce, yenilenebilir enerji üretimi konusunun temel sorunlarına çözüm üretmek gerekmektedir.
- Yakın bir gelecekte hidrojen enerjisinin enerji pazarında yer edinmesi ve ticarileşmesi beklenmektedir. Bu yüzden Türkiye hidrojen teknolojileri ile ilgili bir strateji, bir politika saptamalı ve çalışmalara hemen başlaması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- ABAOUD, Hassan ve Hartmut Steeb (1998), “The German-Saudi HYSOLAR Program”, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 23, Issue 6, pp: 445–449.
- ABONECELL (2007), “Bu Yıl 12 Milyon Cep Telefonu Satıldı”, <http://abonecell.com/category/cep-telefonlari>, 24.01.2008.
- ADAMSON, Kerry-Ann (2005a), “Fuel Cell Today Market Survey: Small Stationary Applications”, *Fuel Cell Today*, www.fuelcelltoday.com, 30.04.2007.
- ADAMSON, Kerry-Ann (2005b), “Fuel Cell Today Market Survey: Niche Transort (Part I)”, *Fuel Cell Today*, www.fuelcelltoday.com, 30.04.2007.
- ADAMSON, Kerry-Ann (2005c), “Korean Fuel Cell and Hydrogen R&D Targets and Funding”, *Fuel Cell Today*, www.fuelcelltoday.com, 30.04.2007.
- ADAMSON, Kerry-Ann ve Gemma Crawley (2006), “Fuel Cell Today 2006 Worldwide Survey”, *Fuel Cell Today*, January, www.fuelcelltoday.com, 30.05.2007.
- AKSİYON DERGİSİ (2006), “Yerli Cep Telefonu Geliyor”, <http://www.aksiyon.com.tr/detay.php?id=22345>, 25.10.2007.
- AKŞAM GAZETESİ (2008), “Petrol Fiyatı 200 Doları Görebilir”, 29 Nisan, <http://www.aksam.com.tr/haber.asp?a=116670,6>, 30.04.2008.
- ALTAN, M., I. Ayselgil, Ş. Barutçu ve O. Aşkar (2006), “Ürün Yönetimi Nedir 2”, <http://enm.blogcu.com/4539765/>, 20.01.2008.
- ALTUNIŞIK, Remzi (2007), “Pazar Bölümlendirme ½”, <http://www.pazarlamaturkiye.com/content/view/353/105/>, 20.01.2008.
- ARAS, Haydar ve Nil Aras (2004), “Forecasting Residential Natural Gas Demand”, *Energy Sources* 26, pp: 463–472.
- ARS ENERJİ (2007), “Hidrojen Enerjisi”, <http://www.arsenerji.com/?ars=hidrojen>, 09.08.2007.

- ATEŞ, Rauf (2007), “Yeni Ürünlerin Sunumu Nasıl Başarılı Olur?”, <http://www.sirketdoktoru.net/content/view/140/50/>, 09.03.2008.
- AYKAÇ, S., E. Eryarsoy, N. Kasap, ve R. De Kervenoael, (2007), Türkiye’de E-Devlet Hizmetleri İçin Mobil Telefonların Kullanımı, *Uluslararası 6. Bilgi, Ekonomi ve Yönetim Kongresi*, 26–28 Aralık, İstanbul.
- AYTAÇ, Bilgehan (2007), “Hidrojen Enerjisinde Misyon Sahibiyiz”, *Haber Ajanda*, Röportaj, Yıl: 2, Sayı: 13, Nisan, <http://www.haberajanda.com.tr/roportaj3.php>, 15.08.2007.
- BARBIR, Frano (2004), “Hydrogen Economy: Real Possibility or Utopia, Global Tech 2004, The Hydrogen Economy: Becoming Self-Sufficient in Energy”, Farmingdale, NY April, <http://www.engr.uconn.edu/pdf/annual2004.pdf>, 30.04.2007.
- BARRETO, L., A. Makihira ve K. Riahi (2003), “The Hydrogen Economy in the 21st Century: A Sustainable Development Scenario”, *International Journal of Hydrogen Energy*, pp: 267-284.
- BASS, Frank (2005), “Diffusion Theory in Marketing: A Historical Perspective”, <http://www.frankmbass.org/fmb/downloads/Bass%20Model%20Overview%20and%20Extensions.ppt>, 10.01.2007.
- BASS, F., T. Krishnan, D. Jain (1994), “Why The Bass Model Fits Without Decisions Variables”, *Marketing Science*, Vol: 13, No: 3.
- BASS, Frank (1969), “A New Product Growth For Model Consumer Durables”, *Management Sciences*, Volume 16, No: 5.
- BAYKARA, Sema (2002), Sudan Hidrojen Üretimi ve Enerji Sektöründe Hidrojen, *I. Ulusal Hidrojen Kongresi*, 16 Temmuz, Ankara, http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/alternatif_enerji/sudan_hidrojen_uretim_sektor_u.htm, 30.05.2007.
- BAYRAÇ, Naci (2005), “Uluslar arası Petrol Piyasasının Ekonomik Analizi”, *Finans-Politik ve Ekonomik Yorumlar*, Yıl: 42, Sayı: 499, Ekim, Ankara.

- BCC Research (2003), “BCC Research Quantitatively Forecasts PEM Market Size”, <http://www.fuelcellworks.com/InsidetheindustrySept01-03.html#06>, 30.05.2007.
- BETHAM, Jeremy (2004), “Hidrojen İçin Deniz Fenerleri”, *Hidrojen Enerjisi Forumu*, <http://www.hidrojenforumu.com/default.asp?go=haber&islem=detay&id=30>, 30.01.2008.
- BİLGİN, Nalan (2006), Hidrojen Güvenliği, *III. Ulusal Hidrojen Enerjisi Kongresi*, 17 Temmuz, İstanbul.
- BİLGİUSTAM (2007), “Hidrojen Yakıt Pilinin Kullanım Alanları ve Dünya Üzerindeki Gelişimi”, <http://www.bilgiustam.com/?p=186>, 30.06. 2007.
- BİRİNCİ ULUSAL HİDROJEN KONGRESİ (2002), Hidrojen Enerjisi, 16 Temmuz, Ankara.
- BLAHERG, Robert ve John, Golanty (1978), “Tracker: An Early Test Market Forecasting and Diagnostic Model for New Product Planning”, *Journal of Marketing Research*, Vol. XV, pp: 192-202.
- BOSSSEL, U., B. Eliasson ve G. Taylor (2005), “The Future of the Hydrogen Economy: Bright or Bleak?, Proceedings”, *The Fuel Cell World*, <http://planetforlife.com/pdf/files/h2report.pdf>, 30.06.2007.
- BOSWIJK, Peter ve P. Franses (2000), “The Econometrics Of The Bass Diffusion Model”, *Erasmus Research Institute of Management (ERIM)*, Erasmus University Rotterdam, 30 July.
- BREAKTHROUGH TECHNOLOGIES INSTITUTE (2003), “Fuel Cells for Portable Power: Markets, Manufacture and Cost”, *Fuel Cells Final Report*, Darnell Group Inc. (909) 279-6684, Washington DC, www.fuelcells.org, 30.04.2007.
- CABTREE, G., M. Dresselhaus ve M. Buchanen (2004), “The Hydrogen Economy”, *American Institute of Physics*, S-003-9228-0412-0103. http://hydrogen.msd.anl.gov/docs/hydrogen_economy.pdf, 30.04.2007.

- CANADA'S BUSINESS AND CONSUMER SITE (2006), "Hydrogen and Fuel Cell", <http://strategis.ic.gc.ca/epic/site/hfc-hpc.nsf/en/mc00058e.html>, 09.08.2007.
- CEYLAN, H., H. Öztürk, A. Hepbaşlı ve Z. Utlu (2005), "Estimating Energy and Exergy Production and Consumption Values Using Three Different Genetic Algorithm Approaches. Part 2: Application and Scenarios", *Energy Sources* 27, pp: 629–639.
- CEYLAN, Halim ve Harun Kemal, Öztürk (2004), "Estimating Energy Demand of Turkey Based on Economic Indicators Using Genetic Algorithm Approach", *Energy Conversion and Management* 45, pp: 2525–2537.
- CHERRY, Robert (2004), "A Hydrogen Utopia?", *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 29, Number 2, February, pp: 125-129(5).
- COLLANTES, Gustavo (2007), "Incorporating Stakeholders' Perspectives into Models of New Technology Diffusion: The Case of Fuel-Cell Vehicles", *Technological Forecasting & Social Change* 74, pp: 267–280.
- COLSON-INAM, Sandrine (2004), Solid Oxide Fuel Cells Æ Ready To Market?, *Fuel Cell Today*, www.fuelcelltoday.com, 30.05.2007.
- COMPETITIVE INTELLIGENCE ON HYDROGEN AND FUEL CELL TECHNOLOGIES (2006), "The Fuel Cell Review", Volume 3, Issue 1, February-March, <http://www.astris.ca/HO/HO-pdf/FuelCellReview-AFC.pdf>, 18.09.2007.
- CONH, Tim (2006), "New Product Marketing: Need Help In Marketing A New Product? Publicity Can Be A Profitable New Product Marketing Strategy", <http://www.marketingprinciples.com/productmarketing/default.asp?cat=122>, 20.02.2008.
- CONSULTING-SPECIFYING ENGINEER (2004), "Solid Oxide Fuel Cell Show Market Gains", Research Promise, <http://www.fuelcellworks.com/Suppage409.html>, 30.05.2007.

- CRAWLEY, Gemma (2007a), “Molten Carbonate Fuel Cells (MCFC)”, *Fuel Cell Today*, March, www.fuelcelltoday.com, 30.05.2007.
- CRAWLEY, Gemma (2007b), “Direct Methanol Fuel Cells (DMFC)”, *Fuel Cell Today*, March, www.fuelcelltoday.com, 30.05.2007.
- CRULL, Anna (2006), “Materials For Proton Exchange Membranes And Membrane Electrode Assemblies For PEM Fuel Cells”, *Research Report*, Mayıs, <http://www.electronics.ca/reports/technology/membranes.html>, 30.05.2007.
- ÇELİK Veli ve Erdal Oral (2005), “Hidrojen Yakıtlı Motor Teknolojisi”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Cilt: 46 Sayı: 540.
- ÇETİNKAYA, Merve, ve Figen Karaosmanoğlu (2004), “Yakıt Pili”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Mayıs – Haziran, 2004, www.mmoistanbul.org/yayin/Scripts/prodView.asp?idproduct=309, 30.05.2007.
- DELLALOĞLU, Aslı (2007), “Hidrojen Devrimi”, *Referans Gazetesi*, <http://www.kobifinans.com.tr/icerik.php?Article=8190&Where=sektor&Category=0119&Topic=5>, 30.05.2007.
- DESTEKNİK (2007), “Hidrojen Enerjisine Giriş”, http://www.desteknik.com.tr/index.php?option=com_content&task=view&id=142&Itemid=2&lang=, 30.05.2007.
- DPT (Devlet Planlama Teşkilatı) (2001), “Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Raporu”, Ankara, <http://ekutup.dpt.gov.tr/enerji/oik585.pdf>, 30.05.2007.
- DİNÇER, İbrahim (2002), “Technical, Environmental and Exergetic Aspects of Hydrogen Energy Systems”, *International Journal of Hydrogen Energy* 27, pp: 265–285.
- DODDS, Wellesley (1973), “An Application of the Bass Model in Long-Term New Product Forecasting”, *Journal of Marketing Research*, Vol. X, pp: 308-11.

- DOWLİNG, R. Hermon ve Paul, Walsh (1990), “Describing The New Product Adoption Behavior Of Countries Using A New Product Growth Model”, *Behavioral Science Archive*, Volume 35 , Issue 4, pp: 269–280.
- DUMANLI, Cihangir (2007), “Askeri Teknoloji Hızla Gelişiyor”, 17 Eylül, http://www.terorizm.info/index.php?option=com_content&task=view&id=893&Itemid=71, 27.10.2007.
- DUNN, Seth (2002), “Hydrogen Futures: Toward a Sustainable Energy System”, *International Journal of Hydrogen Energy* 27, pp: 235 – 26.
- DURAN, Mustafa (2007a), “Pazarlama: Doğrular ve Yanlışlar”, <http://www.danismend.com/konular/pazarlamayon/PAZARLAMADOGRULA R%20VE%20YANLISLAR.htm>, 17.01.2008.
- DURAN, Mustafa (2007b), “Hedefe İlk Adım: Pazar Bölümlendirme”, <http://www.danismend.com/konular/pazarlamayon/PAZPAZAR%20BOLUML ENDIRME.htm>, 2.06.2008.
- DÜNYA ENERJİ KONSEYİ TÜRK MİLLİ KOMİTESİ (2006), Türkiye 10. Enerji Kongresi Sonuç Bildirgesi, 27–30 Kasım, İstanbul. www.emsad.org.tr/tr/enerjisonucbildirgesi.pdf, 17.03.2008.
- DÜNYA GAZETESİ (2005), “2020 Yılında Dünyada Motorlu Taşıt Sayısı 1,2 Milyara Ulaşacak”, *Dünya Gazetesi*, <http://www.traport.org/sectordenhaberler.php?HaberID=162>, 17.03.2008 .
- EDİGER, Volkan ve Sertaç, Akar (2007), ARIMA Forecasting of Primary Energy Demand by Fuel İn Turkey, *Energy Policy* 35, pp: 1701–1708.
- EDİGER, Volkan ve Çamdalı, Ünal (2007), “Energy and Exergy Efficiencies in Turkish Transportation Sector”, *Energy Policy* 35, pp: 1238–1244.
- EDİGER, V., S. Akar ve B. Uğurlu, (2006), “Forecasting Production of Fossil Fuel Sources in Turkey Using a Comparative Regression and ARIMA Model”, *Energy Policy* 34, pp: 3836–3846.

- EDİGER, Volkan ve Özkan Huvaz (2006), “Examining the Sectoral Energy Use in Turkish Economy (1980–2000) with the Help of Decomposition Analysis”, *Energy Conversion and Management* 47, pp: 732–745.
- EDİGER, Volkan (2003), “Classification and Performance Analysis of Primary Energy Consumers During 1980–1999”, *Energy Conversion and Management* 44, pp: 2991–3000.
- EDİGER, Volkan ve Hüseyin Tatlıdil (2002), “Forecasting the Primary Energy Demand in Turkey and Analysis of Cyclic Patterns”, *Energy Conversion and Management* 43, pp: 473–478.
- ELEKTRİK ENERJİSİ ÖZEL İHTİSAS RAPORU (2001), Ankara, <http://ekutup.dpt.gov.tr/enerji/oik585.pdf>, 30.05.2007.
- EMERSON ELECTRIC CO. (2007), “New Product and Market Initiatives”, www.gotoemerson.com/investor_relations/98annual/initiatives.html, 20.02.2008.
- EMİR, Mehmet (2005), “Enerji Taşıyıcısı Olarak Hidrojen Gazı Elde Ediliş Yöntemleri Ve Kullanım Olanakları”, http://sifirforum.net/forum/siyaset/hidrojen_enerjisi-t6557.0.html, 25.05.2007.
- ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI (2008), Birincil Enerji Kaynak Talepleri, Elektronik Posta’ya Verilen Cevaplar, *Enerji Bakanlığı*, 12.02.2008.
- ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI, (2006), “Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın 2006 Yılı Bütçesi”, <http://www.enerji.gov.tr/belge/butce.doc>, 5.07.2007.
- ENİŞ, Ahmet (2006), “Enerji Politikaları; Yerli, Yeni Ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, http://www.emo.org.tr/resimler/etkinlikbildirileri/c5689792e08eb2e_ek.pdf, 18.07.2007.

- ERDOĞDU, Erkan (2007), "Electricity Demand Analysis Using Cointegration and ARIMA Modelling : A Case Study of Turkey", *Energy Policy* 35, pp: 1129-1146.
- ERDOĞDU, Erkan (2005), *Energy Market Reforms in Turkey: An Economic Analysis*, *Master of Science In Energy Economics and Policy*, Master Thesis, September, UK (Supervisor: Joanne Evans).
- ERMİŞ, K., A. Midilli, İ. Dincer ve M. Rosen (2007), "Artificial Neural Network Analysis of World Green Energy Use", *Energy Policy* 35, pp: 1731-1743.
- ERSÖZ, Atilla (2007), "TÜBİTAK'tan "HYDEPARK" Projesi", *Sabah Gazetesi*, 4 Ekim,
<http://arsiv.sabah.com.tr/2007/10/04/haber,6C4ABD82BC4A4304B8CF2717F189E136.html>, 30.01.2008.
- ERTÜRK, Ferruh (2006), "Türkiye'nin Alternatif Enerji Kaynakları İçinde Nükleer Enerjinin Yeri Ve Önemi", İstanbul,
<http://www.tasam.org/modules.php?name=News&file=article&sid=267>, 25.05.2007.
- ETİKHABER (2007), "Bilgisayar Pazarı Hızla Büyüyor...", 25 Şubat,
<http://www.etikhaber.com/content/view/31481/77/>, 25.10.2007.
- EVANS, Meredydd (1999), "Energy Research and Development in Italy",
<http://energytrends.pnl.gov/italy/it005.htm>, Erişim: 25.05.2007.
- FAKIOĞLU, Enis (2006), Dünyada Hidrojen, *Hidrojen Eğitim Konferansı*, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, Mayıs.
- FELLER, Gordon (2004), "Hydrogen Power in China",
<http://www.ecoworld.com/home/articles2.cfm?tid=352>, 30.04.2007.
- FERNANDES, C., F. Chen ve G. Carvalho (2005), "'HySociety' in Support of European Hydrogen Projects and EC Policy", *International Journal of Hydrogen Energy* 30, pp: 239-245.

- FERNANDES, E., F. Vinicius, A. Marcus, S. R. Paulo (2005), “Natural Gas in Brazil’s Energy Matrix: Demand for 1995–2010 and Usage Factors”, *Energy Policy* 33, pp: 365-386.
- FORSBERG, Charles (2006), “Future Hydrogen Markets for Large-Scale Hydrogen Production System”, *International Journal of Hydrogen Energy*.
- FREEDONIA RESEARCH GROUP (2007), “World Fuel Cell”, http://www.electronics.ca/reports/power_supplies/fuel-cells.html, 30.05.2007.
- FROÏS, Bernard (2006), “France Member Statement”, <http://www.iphe.net/France%20Revised%20Statement%20V1%20%20IPHE%202005%20%20Kyoto.pdf>, 18.06.2007.
- FUEL CELL TODAY (2007), “The Key Players, Education Kit 8”, *Fuel Cell Today*, www.fuelcelltoday.com, 01.09.2007.
- FUEL CELL TO 2008 (2004), “Market Size, Market Share, Market Leaders, Demand Forecast, Sales, Company Profiles”, Market Research, *Industry Trends*, <http://www.bharatbook.com/bookdetail.asp?bookid=7982&publisher=>, 25.06.2007.
- FUJI-KEIZAI (2005), 2005 “Hydrogen Market,” <http://www.researchandmarkets.com/reports/c18817>, 30.04.2007.
- GAŞAN, Hakan (2006), Hidrojenin Depolanması ve Taşınması, *Hidrojen Eğitim Konferansı*, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, Mayıs.
- GEİGER, Stefan (2004), “Fuel Cell in Austria, Italy and Switzerland – A Survey of Current Developments”, *Fuel Cell Today*, www.fuelcelltoday.com, 30.04.2007.
- GESK (2005), “Hidrojen Enerjisi”, <http://www.gesk.yildiz.edu.tr/GESK-HidrojenEnerjisi.pdf>, 30.05.2007.
- GHOSH, Sajal (2006), “Future Demand of Petroleum Products in India”, *Energy Policy* 34, pp: 2032–2037.

- GLOBAL ENERJİ DERGİSİ (2006), “Türkiye H₂ Üssü”, *Global Enerji Dergisi* , Sayı: 22, Ankara.
- GLOBE-NET (2007), “Japan: Fuel Cell Sector Profile, Market Reports”, http://www.globe-net.ca/market_reports/index.cfm?ID_Report=820, 25.06.2007.
- GÖRGÜN, Haluk (2006), Hidrojenin Enerji Dışı Kullanımı, *Hidrojen Eğitim Konferansı*, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, Mayıs.
- GÖRÜCÜ, Fatma ve Fevzi Gümrah (2004), “Evaluation and Forecasting of Gas Consumption by Statistical Analysis”, *Energy Sources* 26, pp: 267–276.
- GÖRÜCÜ, F., P. Geriş ve F. Gümrah (2004), “Artificial Neural Network Modeling for Forecasting Gas Consumption”, *Energy Sources* 26, pp: 299–307.
- GREENING, A., G. Boyd ve J. Roop (2007), “Modeling of Industrial Energy Consumption: An Introduction and Context”, *Energy Economics* 29, pp: 599–608.
- GUJARATI, Damodar, (2006), *Temel Ekonometri*, Çevirenler: Ümit Şenesen ve Gülay Günlük Şenesen Literatür Yayınları 33, Dördüncü Baskı, Eylül, İstanbul.
- GÜVENDİREN, Murat ve Tayfun Öztürk (2003), “Enerji Kaynağı Olarak Hidrojen ve Hidrojen Depolama”, http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2003/agustos/makale_enerji.htm, 18.07.2007.
- HALDENBİLEN, Soner (2006), “Fuel Price Determination in Transportation Sector Using Predicted Energy And Transport Demand”, *Energy Policy* 34, pp: 3078–3086.
- HALDENBİLEN, Soner ve Halim Ceylan (2005), “Genetic Algorithm Approach to Estimate Transport Energy Demand in Turkey”, *Energy Policy* 33, pp: 89–98.

- HAMZAÇEBİ, Çoşkun (2007), “Forecasting of Turkey’s Net Electricity Energy Consumption on Sectoral Bases”, *Energy Policy* 35, pp: 2009–2016.
- HARRISON, Graham (2003), “Opportunities a rRising from DTI Innovation Initiatives”, *HERDA Annual Conference*, November, [http://www.herdasw.ac.uk/additional/files/herdaswconference2006/presentations/A4%20%20DTI%20and%20RDA%20support%20to%20innovative%20businesses%20and%20HEIs%20\(Graham%20Harrison\).ppt](http://www.herdasw.ac.uk/additional/files/herdaswconference2006/presentations/A4%20%20DTI%20and%20RDA%20support%20to%20innovative%20businesses%20and%20HEIs%20(Graham%20Harrison).ppt), 21.05.2007.
- HEKİMLER, Alpay (2007), “Türkiye’de Artan Enerji Gereksinimi Çerçevesinde Son On Yıldaki Ekonomik Gelişmeler, Avrupa ve Orta Asya Arasındaki Enerji Köprüsü Türkiye”, *KAS*, Ankara.
- HİDRENER (2006), “Hidrojen Enerjisi”, <http://www.hidrener.com>, 30.05.2007.
- HİDROJEN ENERJİSİ FORUMU (2007a), “Fuel Cell ile Uzun Ömürlü Çevreye Zararsız Elektrik Enerjisi”, <http://www.hidrojenforumu.com/default.asp?go=haber&islem=detay&id=48>, 30.05.2007.
- HİDROJEN ENERJİSİ FORUMU (2007b), “Hidrojen Üretimi”, <http://hidrojenenerji.blogspot.com/search/label/Hidrojen%20%C3%9Cretimi>, 25.01.2008.
- HİDROJEN ENERJİSİ FORUMU (2005), “Hidrojen Enerjisi”, http://sifirforum.net/forum/siyaset/hidrojen_enerjisi-t6557.0.html, 30.05. 2007.
- HİDROJENTURK (2005), “Türkiye, Hidrojen Enerjisinde Dünyayı Şekillendiriyor”, *Hidrojenturk Dergisi*, Sayı 4, s:1- 4- 5, İzmit.
- HİDROJENTURK (2002), “Hidrojen ve Yakıt Pilleri ile İlgili Merak Ettiklerimiz”, *Hidrojenturk Dergisi*, Yıl:1 Sayı: 1, Temmuz, http://www.hidrojenturk.com/hidrojenturk_sayi01.pdf, 30.01.2008.
- HIRSH, C., M. Abraham ve J. Singh, (2007), Analysis of Hydrogen Penetration in a Developing Market such as India for use as an Alternative Fuel, *Proceedings*

2nd International Hydrogen Energy Congress and Exhibition IHEC 2007,
13-15 July, İstanbul, Türkiye.

HOWARD, Bruce ve Kurt Tong (2004), “Korea Science & Technology”,
seoul.usembassy.gov/uploads/images/4tsZovXdFVINSAJWp7w69g/wwwfe75303.pdf, 30.05.2007.

HÜRRİYET GAZETESİ (2004), “ABD’de İlk Hidrojen İstasyonu Açıldı”,
<http://www.hurriyetim.com.tr/haber/0,,sid~12@tarikh~2004-12-16m@nvid~494752,00.asp>, 30.04.2007.

HÜRRİYET EKONOMİ (2007), “Sulu Yakıt Pili Geliyor, Evlerde Enerji Faturası
Yüzde 90 Düşüyor”, *Hürriyet Gazetesi*,
<http://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/6411978.asp?m=1>, 29.06.2007.

IEA-International Energy Agency (2005), 2005 “Energy Balances for Turkey”,
http://www.iea.org/Textbase/stats/balancetable.asp?COUNTRY_CODE=TR,
25.01.2008.

IEA-Hydrogen Coordination Group (2004), “Hydrogen and Fuel Cell activities in
France”, Country Paper France,
<http://www.iphe.net/ipherestrictedarea/21904/France%20Country%20Paper.doc>,
30.05.2007.

IMPERIAL COLLEGE CENTRE FOR ENERGY POLICY AND TECHNOLOGY
(2002), “Fuel Cell Market Prospects and Intervention Strategies”, Final Report,
www.uneptie.org/energy/act/tp/docs/FinalReport_FCStrategy.pdf, 30.05.2007.

İTÜ (2007), “Türkiye’de Enerji ve Geleceği”, İTÜ Görüşü, Nisan İstanbul.
www.energy.itu.edu.tr/iTUOnerileri.pdf, 25.03.2008.

İYİLER, Zeynep (2005), “Pazarla İletişim”, *T.C. Başbakanlık Dış Ticaret
Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi*, Aralık, Ankara,
http://www.dkib.org.tr/UserFiles/File/pratik_pazarlailetisim.pdf, 30.01.2008.

JEBARAJ, Samuel ve Sumathy Iniyan (2006), “A Review of Energy Models”,
Renewable and Sustainable Energy Reviews 10, pp: 281-311.

- JUNGGUANG, Lun, (2006), “Hydrogen-Fuel Cell Vehicle Development in China”,
www.un.org/esa/sustdev/csd/csd14/lc/presentation/hydrogen4.pdf,
30.04.2007.
- KADIRGAN, Figen (2005), “Hidrojenli Yakıt Hücreleri”, *Kimya Teknolojileri Dergisi*, Sayı:59, Kasım.
- KADIRGAN, Figen (2003), “Hidrojenli Yakıt Hücreleri Teknolojilerinde Son Gelişmeler”, *3E Dergisi*, Sayı:104, Ocak.
<http://www.bilesim.com.tr/tr/index.nsf?lf=/tr/leftbaryayincilik.html&rf=http://www.bilesim.com.tr/mistportal/showmakale.nsf?xd=1785.xml>, 30.05.2007.
- KAJIKAWA, Y., Y. Yoshikawa, Y. Takeda ve K. Matsushima (2007), “Tracking Emerging Technologies in Energy Research: Toward a Roadmap for Sustainable Energy”, *Technological Forecasting & Social Change*, Article in Press.
- KAYA, Durmuş (2006), “Renewable Energy Policies in Turkey”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews 10*, pp: 152-163.
- KIRTLAR, D., S. Kapucu ve Y. Yaylacı (2004), “Enerji Kaynaklarının Dünyaya Verdiği Zararların Kimyasal Olarak Etkileri Nelerdir? Doğal mı? Kimyasal mı?”,
www.emo.org.tr/resimler/ekler/d9cfb0d25f138d1_ek.pdf, 18.07.2007.
- KIM, Y., S. Seo ve Y. Lee (1999), “A Substitution and Diffusion Model with Exogenous Impact: Forecasting of IMT-2000 Subscribers in Korea”,
Presented at the IEEE VTC-99, May 16-20, Houston, TX.
- KİRTİŞ, Kazım (2002), *Pazarlama İlkeleri*, Evin Ofset, 2. Baskı, Malatya.
- KLUG, Heinz ve Reinhard Faass (2001), “Cryoplane: Hydrogen Fuelled Aircraft-Status and Challenges”, *Air and Space Europe*, Vol.III, No:3/4, pp.252.
- LILIEN Gary, A. Raoj ve S. Kalish (1981), “Bayesian Estimation And Control Of Detailing Effort in A Repeat Purchase Diffusion Environment”, *Management Science*, Vol. 27, No. 5, May, U SA.

- MAACK, “Maria ve Jon Bjorn Skulason (2004), Implementing the Hydrogen Economy”, *María Maack Icelandic New Energy*, http://www.ectos.is/newenergy/upload/files/articles_english/implementing_the_hydrogen_economy.pdf, 16.08.2007
- MACKAY, Rupert ve Daniel Probert (2001), “Forecasting the United Kingdom’s Supplies and Demands for Fluid Fossil-Fuels”, *Applied Energy* 69, 161- 189.
- MADLENER, R., G. Kumbaroğlu ve V. Ediger (2005), “Modeling Technology Adoption as an Irreversible Investment under Uncertainty: The Case of the Turkish Electricity Supply Industry”, *Energy Economics* 27, pp: 139-163.
- MAHAJAN, V., E. Muller ve F. Bass (1990), “New Product Diffusion Models in Marketing : A Review and Directions for Research”, *Journal of Marketing*, Vol: 54, pp: 1-24, January.
- MANCHANDA, Puneet (2002), “Marketing Frameworks in Consulting”, *Management Consulting Group Speaker Series*, November, web.mit.edu/~bilalw/www/cases/mktga.pdf, 20.01.2008.
- MARBÁN, Gregorio ve Teresa Valdés-Solís (2007), “Towards the Hydrogen Economy?”, *International Journal of Hydrogen Energy*, Article in Pres.
- MCDOWALL, William ve Malcolm Eames (2006), “Forecast, Scenarios, Visions, Backcasts and Roadmaps to the Hydrogen Economy: A Review of the Hydrogen Futures Literature”, *Energy Policy* 34, Issue 11, pp: 1236-1250.
- MEKATRONİK (2005), “Yakıt Hücreleri”, <http://www.mekatronik.org/modules.php?name=News&file=article&sid=12>, 30.05.2007.
- MENZEN, Georg ve Hanns-Joachim Neef (2005), “Ingredients of a German Hydrogen and Fuel Cell Strategy”, *IPHE Implementation and Liaison Committee*, Germany, http://www.iphe.net/IPHErestrictedarea/Rio%20Dejaneiro%20ILC/ilc%20rio%20pdfs/22_03%20-%20Tuesday/Afternoon/15h30%20-%203.7%20Germany%20Government%20Presentation.pdf, 18.06.2007.

- MOMIRLAN, Magdalena ve Nejat Veziroglu (2002), “Current Status of Hydrogen Energy”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.VI, No: 1-2.
- MORRISON, Jeffrey (2000), “New Product Forecasting, Part III: Translating Penetration Estimates into Long Run Sales”, <http://www.pdma.org/visions/apr00/forecasting.html>, 09.01.2008.
- MUCUK, İsmet (2004), *Pazarlama İlkeleri*, Türkmen Kitabevi, 14. Basım, istanbul.
- MUNEER, Tariq ve Kubie John (2003), “Generation and Transmission Prospects for Solar Electricity: UK and Global Markets”, *Energy Conversion and Management* 44, Volume 44, Issue 1, January, pp: 35-52.
- NAKİP, Mahir (2006), *Pazarlama Araştırmaları, Teknikler ve (SPSS Destekli) Uygulamalar*, Seçkin Yayıncılık, İkinci Baskı, Eylül, Ankara.
- NEEF, Hanns-Joachim (2004), “Programmes on Energy Research and Technologies of the Federal Government, IPHE Country Paper: Germany”, Germany, <http://www.iphe.net/ipherestrictedarea/country%20papers/Country%20paper%20Germany.doc>, 30.04.2007.
- NEXANT (2003), “Stationary Fuel Cell, Fuel Cell Report”, Kasım, http://nexant.ecnext.com/coms2/summary_0255-1894_ITM, 18.06.2007.
- NIU, Shun-Chen (2002), “A Stochastic Formulation of the Bass Model of New-Product Diffusion”, *Review of Marketing Science Working Paper*, No:544, May.
- ODABAŞI, Yavuz (2001), “Pazarlama Planı Rehberi”, *KOSGEB Girişimciliği Geliştirme Merkezi*, http://www.kobider.org.tr/Pazarlama_Planı_Rehberi.pdf, 20.01.2008.
- OECD (2006), “Executive Summary, Innovation in Energy Technology: Comparing National Innovation Systems At The Sectoral Level”, *OECD*, <http://www.oecd.org/dataoecd/38/41/36193502.pdf>, 30.05.2007.

- OTVAV, “Hidrojen ve Güneş Eneji”, Şubat, 2007, <http://otvav.wordpress.com/2007/02/18/hidrojen-ve-gunes-enerjisi/>, 11.07.2007.
- ÖZCAN, Hasan (2006), “Türkiye’de Bor Gerçeği”, http://www.tekadamdevrimi.com/tekadamdevrimi/tad_makale/tad_makale_ho_08.htm, 11.07.2007.
- ÖZDEMİR, Zeynep (2006), “Sodum Bor Hidrür”, UNIDO-ICHET Hidrojen Eğitimleri, 20 Mayıs, http://www.unidoichet.org/ichet.org/news/2006_05_20_hydrogen_education/presentations/assets/Zeynep%20Ozdemir.pdf, 28.01.2008.
- ÖZTÜRK, K., H. Ceylan, A. Hepbasli ve Z. Utlü (2004), “Estimating Petroleum Exergy Production and Consumption Using Vehicle Ownership and GDP Based on Genetic Algorithm Approach”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 8, pp: 289-302.
- PETKİM (2002), “Fuel Cell Gelecegin Enerji Kaynagi mı?”, *PETKİM Ar-Ge Merkezi*, Temmuz, <http://www.petkim.com.tr/Petkim/txt/calisma/3.txt>, 28.01.2008.
- POLAT, Cihat ve Nurcan Kılınç (2007a), “Dünya’da ve Türkiye’de Yeni Bir Pazarın Doğuşu, Gelişimi ve Paylaşımı: Hidrojen ve Hidrojen Teknolojisi Ürünleri Pazarı”, *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, ISSN: 1303-5134, Cilt: 4, Sayı: 2, Yıl: 2007.
- POLAT, Cihat ve Nurcan Kılınç (2007b), “Trends in the Market Growth for Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC): A Review of the Market Dynamics”, *European Journal Of Economics, Finance And Administrative Sciences*, ISSN: 1450-2275, Issue 8, October.
- POLAT, Cihat ve Nurcan Kılınç (2007c),” Enerji Pazarı’nda Yeni Alternatifler ve Yeni Fırsatlar: Hidrojen Pazarı ve Yakıt Hücreleri”, *ASOMEDYA Ankara Sanayi Odası Aylık Yayın Organı*, Kasım-Aralık, Ankara.

- RAND, David Anthony James, ve Rand Dell (2005), “The Hydrogen Economy: A Threat or an Opportunity for Lead-Acid Batteries?”, *Journal of Power Sources* 144, pp: 568-578.
- REMICK, Robert (2006), “Status of: Molten Carbonate Fuel Cells”, *Colorado Fuel Cell Center*, http://www.energy.ca.gov/pier/conferences+seminars/2006-05-31_fuel_cell_workshop/presentations/2006-05-31_REMICK.PDF, 16.09.2007.
- ROGERS, Everett (2003), *Diffusion of Innovation*, New York, NY, The Free Press.
- SADORSKY, Perry (2006), “Modeling and Forecasting Petroleum Futures Volatility”, *Energy Economics* 28, pp: 467-488.
- SAĞLIK BAKANLIĞI, (2000), *Sağlık Hizmetleri Yönetimi Eğitimi Kitabı*, Referans Notları. <http://www.hm.saglik.gov.tr/pdf/kitaplar/hasyonegt.pdf>, 30.05.2007.
- SARAK, Hülya ve Abdurrahman Satman (2003), “The Degree-Day Method to Estimate the Residential Heating Natural Gas Consumption in Turkey: A Case Study”, *Energy* 28, pp: 929-939.
- SPIRIT LAKE COMMUNITY SCHOOL DISTRICT (2005), “What is the Fuel Cell?”,
<http://www.spirit-lake.k12.ia.us/~jbolluyt/new/Hydrogen/FuelCell.htm>, 30.05.2007.
- STEENHOF, Paul ve Whitman Fulton (2007), “Factors Affecting Electricity Generation in China: Current Situation and Prospects”, *Technological Forecasting & Social Change* 74, pp: 663-681.
- SÖZEN, E. Arcaklıoğlu ve M. Özkaymak (2005), “Turkey’s Net Energy Consumption”, *Applied Energy* 81, pp: 209-221.
- ŞAHANALAN, İlker (2006), “Hidrojen Enerjisi”, Yıldız Teknik Üniversitesi, <http://hidrojen6.blogcu.com/>, 25.05.2007.
- ŞAHİN, Murat (2007), “Yeni SES Grupları ve Pazarlama Uygulamaları”, Yeni Sosyo Ekonomik Statü Sistemi, Ölçümü ve Uygulamaları, Nisan, İstanbul.

- ŞENGÜR, İbrahim (2002), “Talep Tahmini”, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ekim, Eskişehir, www.odew.net/istatistik/odewnet70.doc, 20.01.2008.
- TABAKOĞLU, Gülbahar (2008), “Elektronik Posta Mesajı”, UNIDO-ICHET, <http://www.unido-ichet.org/ichet.org/index.html>, 23.01.2008.
- TAMZOK, Nejat ve Mehmet Torun (2005), “Türkiye Enerji Politikaları İçerisinde Kömürün Önemi”, *TMMOB V. Enerji Sempozyumu*, TMMOB, 21-23 Aralık, Ankara.
- TARI, Recep (2005), *Ekonometri*, Kocaeli Üniversitesi Yayın No: 172, 3. Baskı, İzmit.
- TAYLOR, Charles (2003), “Fuel Cell Report to Congress”, http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/fc_report_congress_feb2003.pdf, 30.06.2007.
- TEKNOLOJİ HABER MERKEZİ (2006), “Dijital Fotoğraf Pazarı Büyümeye Devam Edecek”, http://www.webdergi.com/haber_detay.asp?id=768&ana_cat=302, 25.10.2007.
- THE OUTLOOK FOR FUEL CELLS TO 2010 (2005), “Commercial Opportunities in Power Generation Markets”, www.globalbusinessinsights.com, 30.04.2007.
- THOMAS, Robert (1987), “Forecasting New Product Market Potential: Combining Multiple Methods”, *Journal of Product Innovation Management*, Vol: 4, No: 2, June.
- THOMAS, Jerry (2006), “New Product Sales Forecasting”, <http://www.frost.com/prod/servlet/market-insight-top.pag?docid=66333942>, 25.10.2007.
- TIGERT, Douglas ve Farivar, Behrooz (1981), “The Bass New Product Growth Model: A Sensitivity Analysis For A High Technology Product”, *Journal of Marketing*, Vol.:45 81-90, Fall.

- TMMOB Enerji Raporu (2006), “TMMOB Enerji Raporu 2006”, *Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği*, Ekim, Ankara.
http://www.enerjinesahipcik.org/resimler/ekler/9f0f895fb98ab91_ek.pdf?tipi=7&turu=&sube=0, 18.12.2007.
- TPAO (2003), “2001 Yılı Bilânço ve Netice Hesaplarına Ait TBMM KİT Alt Komisyonu Toplantısı Sunumu”, Ankara.
- TÜİK (2007), “Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri”, www.tuik.gov.tr, 20.02.2007.
- TÜİK (2008), Elektronik Posta’ya Verilen Cevaplar, Araç Sayısı, Cep Telefon, Dizüstü Bilgisayar ve Diğer Portatif Araçların İstatistikleri, Ocak.
- TURAN, Seyida (2006), “Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, *Konya Ticaret Odası*, Araştırma Uzmanı,
<http://www.kto.org.tr/tr/dergi/dergiyazioku.asp?yno=700&ano=61>,
18.07.2007.
- TURKMANIA (2007), “Cep Pazarı 10 Milyona Koşuyor”, 22 Ekim,
<http://www.turkmania.com/showthread.php?p=156557>, 25.10.2007.
- TÜBİTAK (2007), “Uzun Dönem İçin Teknolojiler”,
http://www.tubitak.gov.tr/btpd/btspd/enerji/21yy_enj_bl3.html, 25.03.2008.
- TÜBİTAK (2005), “Sodyum Bor Hidrür Üretimi ve Doğrudan Sodyum Bor Hidrürlü Yakıt Pili”, <http://www.mam.gov.tr/populer/sodyum.htm>, 30.05.2007.
- TÜBİTAK (2004), “Enerji ve Çevre Teknolojileri Stratejisi”, Ağustos, Ankara.
<http://vizyon2023.tubitak.gov.tr/stratejikteknoloji/enerji-cevre.pdf>, 30.06.2007.
- TÜSİAD (1998), “21. Yüzyıla Girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi”, *Yayın No: TÜSİAD-T/98-127239*, s: 213-213, Aralık, İstanbul, <http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/pdf/sec16.pdf>, 30.05.2007.
- UĞUR, Ayfer (2005), “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun Tasarısı”, *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, Sayı: 425, Şubat,

http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/6f041e16a60928b_ek.pdf?dergi=1,
16.08.2007.

UNIDO-ICHET (2006), “The Hydrogen Economy,” *United Nations Industrial Development Organization International Centre For Hydrogen Energy Technologies*, http://www.unido-ichet.org/ichet.org/hydrogen_world.php,
06.07.2007.

ÜN, Tezcan Ümran (2003), “Hidrojen Enerjisi: Depolanması, Güvenliği, Çevresel Etkisi ve Dünyadaki Durumu”, http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2003/ekim/makale_hidrojen.htm, 30.06.2007.

ÜNALAN, Sebahattin (2006), “Alternatif Enerji Kaynakları, Ders Notları”, <http://me.erciyes.edu.tr/sunalan/alt-ener-kay.pdf>, 30.05.2007.

VEZİROĞLU, Nejat ve Frano Barbir (1998), *Hydrogen Energy Technologies*, UNIDO, Vienna.

VEZİROĞLU, Nejat ve Frano Barbir (1992), “Hydrogen: The Wonderful Fuel”, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. XVII, No: 6.

YAVAŞ, Umut, (2006), Elektronik Posta’ya Verilen Cevaplar, Birleşik Oksijen Sanayi A.Ş., <http://www.bos.com.tr>, 09.09.2007

YETİŞ Murat ve Halim Ceylan (2006), “Use of Artificial Neural Networks For Transport Energy Demand Modeling”, *Energy Policy* 34, pp:3165-3172.

YILDIRAL, Zehra (2006), “Dijital Kamerada Fiyatlar Düşecek”, 17 Mart, <http://www.zaman.com.tr/?bl=ekonomi&trh=20060317&hn=266679>,
25.10.2007.

YILDIRIM, Murat (2006), “Hidrojenle Birlikte Yenilenme Süreci Başladı”, *Termodinamik Dergisi*, Sayı: 170, Ekim, http://www.dogayayin.com/dergi_detay.asp?dergiID=157&yaziID=1137,
30.05.2007.

- YILDIRIM, Sevil (2003), “Dünyada ve Türkiye’de Petrol”, *DTM Yayınları*, Ağustos, <http://www.dtm.gov.tr/dtmadmin/upload/EAD/DisTicaretDegerelendirmeDb/petrol-kitap.doc>, 30.05.2007.
- YILMAZ, Orhan (2006a), “Türkiye'den 'Bor' Atağı”, *Hürriyet Gazetesi*, 16 Mart, <http://hurarsiv.hurriyet.com.tr/goster/haber.aspx?id=6139244>, 30.09.2007.
- YILMAZ, Pelin (2006b), “Strategies of Turkey in Transition to Hydrogen Economy”, *Hydrogen Education Conference*, 20-21 May, İstanbul.
- YUMURTACI, Zehra ve Ercan Asmaz (2004), “Electric Energy Demand of Turkey for the Year 2050”, *Energy Sources* 26, pp: 1157-1164.
- ZORLU GRUBU (2005), “Zorlu, ‘Türkiye’nin Geleceğine’ Yatırım Yapıyor”, <http://www.telepati.com.tr/izbirakanlar/vestel119.htm>, 30.05.2007.
- WANG, M., H. Guo ve C. Ma (2006), “Dynamic Characterictics of a Direct Methanol Fuel Cell”, http://energy.bjut.edu.cn/client_c/lunwen/2006_11.pdf, 15.09.2007.
- WEB TÜRKİYE FORUM (2007), “İş Dünyasında Başarıya Götüren Faktörler”, <http://www.webturkiyeportal.com/webforum/198822-is-dunyasinda-basariya-goturen-faktorler.html>, 20.02.2008.
- WEI, M., M. Liang, Y. Fan, N. Okada ve T. Tsai (2006), “A scenario Analysis of Energy Requirements and Energy Intensity for China’s Rapidly Developing Society in the Year 2020”, *Technological Forecasting & Social Change* 73, pp: 405-421.
- WIKIPEDIA SÖZLÜK (2007a), “Hidrojen Enerjisi,” http://tr.wikipedia.org/wiki/Hidrojen_depolama, 30.05.2007.
- WIKIPEDIA SÖZLÜK (2007b), “Hidrojen Ekonomisi”, http://tr.wikipedia.org/wiki/Hidrojen_ekonomisi, 06.07.2007.
- WINTER, Carl-Jochen (2005), “Electricity, Hydrogen-Competitors, Partners?”, *International Journal of Hydrogen Energy* 30, pp: 1371-1374.

WINTERGREEN RESEARCH (2005), "Fuel Cell Fuel Sources Market Opportunities, Strategies, and Forecasts, 2007 to 2013", http://www.researchandmarkets.com/reportinfo.asp?report_id=72204, 30.05.2007.

ÖZGEÇMİŞ

Nurcan KILINÇ, 1981 yılında Osmaniye’de doğdu. 2004 yılında Çağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İktisat bölümünden lisans derecesini aldı. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat bölümünde yüksek lisansa başladı. Bununla birlikte 2006 yılında TÜBİTAK projesinde proje asistanlığı görevine başladı.

Ayrıca, çeşitli üniversitelerin fakülte dergilerinde, uluslararası dergilerde ve kongrelerde yayınlanmış makaleleri ve sunulmuş bildirileri vardır.