

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**GENİŞLETİLMİŞ EKSERJİ ANALİZİ
METODUNUN RÜZGAR ENERJİ
SİSTEMLERİNE UYGULANMASI**

Yüksek Lisans Tezi

CEYDA AĞAÇBACAK

İSTANBUL, 2013

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ VE ÇEVRE YÖNETİMİ**

**GENİŞLETİLMİŞ EKSERJİ ANALİZİ
METODUNUN RÜZGAR ENERJİ
SİSTEMLERİNE UYGULANMASI**

Yüksek Lisans Tezi

CEYDA AĞAÇBACAK

Tez Danışmanı: YRD. DOÇ. DR. HATİCE ESER ÖKTEN

İSTANBUL, 2013

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ VE ÇEVRE YÖNETİMİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

Tezin Adı: Genişletilmiş Ekserji Analizi Metodunun Rüzgar Enerji Sistemlerine Uygulanması
Öğrencinin Adı Soyadı: Ceyda Ağaçbacak
Tez Savunma Tarihi: 02.09.2013

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç. Dr. , Tunç BOZBURA
Enstitü Müdürü
İmza

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. , Göksel DEMİR
Program Koordinatörü
İmza

Bu Tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

_____ Jüri Üyeleri _____

_____ İmzalar _____

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hatice Eser Ökten

Üye: Doç. Dr. Göksel DEMİR

Üye: Öğr. Gör. Dr. Adnan ÇORUM

TEŐEKKÜR

Bu çalışmada, tez konumun seçiminden tezimin tamamlanmasına kadar geçen tım süreçte bana değerli bilgilerini ve görüőlerini aktararak yönlendiren ve her türlü konuda yardımını ve hoőgörüsünü esirgemeyen danıőman hocam Yrd. Doç. Dr. Hatice Eser kten'e ve yedi yıldır akademik danıőmanım olarak hiçbir desteğini esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Göksel Demir'e sonsuz teőekkürlerimi sunmak isterim.

Ayrıca çalıőmalarım sırasında destek olan değerli hocalarımdan Araő. Gör. Aslı oban'a, Öğr. Gör. İrem Fırtına Ertiő'e ve dayım Metin ırac'a teőekkür ederim.

Son olarak, emeklerini ve desteklerini tım yaőamım boyunca hissettiğim ve hissetmeye devam edeceğim; anneme, babama ve kardeőime sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

ÖZET

GENİŞLETİLMİŞ EKSERJİ ANALİZİ METODUNUN RÜZGAR ENERJİ SİSTEMLERİNE UYGULANMASI

Ceyda Ağaçbacak

Enerji ve Çevre Yönetimi Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Hatice Eser Ökten

Ağustos 2013, 43

Enerji, insanların temel gereksinimlerini karşılamada ve ülkelerin sosyal olarak kalkınabilmeleri için gerekli olan en önemli unsurların başında gelmektedir. Artan enerji tüketimi ile birlikte fosil enerji kaynaklarının kullanılabilir rezervleri hızla tükenmektedir. Ayrıca küresel çevre sorunlarının en büyük nedeni de fosil enerji kaynaklarıdır. Tüm dünyada yaşanan hava kirliliği sorunundan kurtulmak, halihazırda kullanılan fosil kaynaklardan daha az çevresel etkisi olan enerji kaynakları ve teknolojileri kullanılması ile mümkündür. Ayrıca ulusal çıkarlarımız doğrultusunda ithal yakıtlara olan bağımlılığın en aza indirilmesi için de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artık neredeyse zorunlu gelmiştir. Bu kaynaklardan maksimum seviyede güç elde etmek ve bu üretimi sürdürülebilir kılmak için ise sistem kayıplarını ve tersinmezlikleri en aza indirmek gereklidir. Bu bağlamda, bu tez çalışmasında, ülkemizde potansiyeli en yüksek olan yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisinin verim analizi Genişletilmiş Ekserji Analizi yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile ekserji analizine ek olarak harici faktörlerin (iş gücü, çevresel etki, masraf) kaynak kullanım karşılığı ekserji biriminde hesaplanır ve analize dahil edilir. Çalışmada yıllık rüzgar hızı ortalama değeri yüksek olan Çanakkale şehri ile nispeten daha düşük olan Muğla şehirleri analiz edilip karşılaştırmalı olarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Rüzgar hızı ve yer seçimi gibi parametrelerin verim üzerine etkisi incelenmiştir ve sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Genişletilmiş Ekserji Analizi (EEA), Sürdürülebilirlik, Rüzgar Enerji Sistemleri

ABSTRACT

EXTENDED EXERGY ACCOUNTING (EEA) ANALYSIS OF WIND ENERGY SYSTEMS

Ceyda Aaçbacak

Energy and Environmental Management

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Hatice Eser kten

August 2013, 43

Energy is one of the most important issues to meet the basic requirements of the human beings and social development of countries. With the increasing energy consumption, available reserves of fossil energy sources are running out. Also global environmental problems are considerably caused by fossil fuels. It is possible to decrease the air pollution problem all over the world by using the energy sources that have less environmental impact than currently used fossil fuels. Besides, towards to our national interests to decrease the dependence on fuel import the use of renewable energy sources has become almost mandatory. In this respect, this thesis analyzes the wind energy systems which has the largest potential in the renewable energy sources. To ensure the sustainability of the renewable energy systems is required to minimize losses and irreversibilities. The Extended Exergy Accounting method is performed to examine the sustainability of the wind energy systems. EEA embodies the externalities (labour, environmental remediation, and capital) into the analysis by obtaining their resource use equivalent in terms of exergy. In the study, cities of Çanakkale and Muğla are analyzed and comparative results are evaluated. Furthermore, effects of wind velocity and site selection on efficiency are examined and the results are presented.

Keywords: Extended Exergy Accounting, Sustainability, Wind Energy Systems

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar	vii
1.GİRİŞ	1
1.1 FOSİL YAKITLAR VE ÇEVRESEL ETKİLERİ	1
1.2 YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ ..	6
1.3 TÜRKİYE’NİN RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİ.....	13
2. LİTERATÜR TARAMASI	19
3. SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA.....	22
3.1 SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMANIN HEDEFLERİ.....	23
3.2 SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK GÖSTERGELERİ.....	25
3.3 SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ.....	26
4. VERİ VE YÖNTEM	28
4.1 GENİŞLETİLMİŞ EKSERJİ ANALİZİ	28
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	36
KAYNAKÇA	40

TABLÖLAR

Tablo 1.1: Kanıtlanmış Petrol Rezervleri.....	4
Tablo 1.2: Kanıtlanmış Doğalgaz Rezervleri.....	6
Tablo 1.3: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanununa ekli I Sayılı Cetvel.....	7
Tablo 1.4: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanununa ekli I Sayılı Cetvel.....	8
Tablo 1.5: Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli.....	15
Tablo 1.6: Türkiye rüzgar potansiyeli açısından zengin bazı bölgeleri.....	15
Tablo 1.7: Kurulu güç kapasitesine göre ilk beş santral.....	19
Tablo 3.1: Sürdürülebilir kalkınmanın göstergeleri.....	25
Tablo 4.1: Aylık ortalama hız verileri.....	34
Tablo 4.2: Parametrelerin spesifik ekserji değerleri.....	35
Tablo 5.1: Çanakkale ili için aylık hesaplanan değerler.....	37
Tablo 5.2: Muğla ili için aylık hesaplanan değerler.....	38

ŞEKİLLER

Şekil 1.1: 2008 yılı dünya toplam birincil enerji tüketimindeki payı.....	1
Şekil 1.2: Fosil yakıtların CO ₂ emisyon payları.....	3
Şekil 1.3: Toplam birincil enerji arzında yenilenebilir enerji kaynaklarının payı....	9
Şekil 1.4: Elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların payı.....	10
Şekil 1.5: Yer seviyesinden 50 m yüksekteki hızları.....	14
Şekil 1.6: İşletmede olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından bölgelere göre yüzdesel dağılımı.....	16
Şekil 1.7: İşletmede olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından bölgelere göre dağılımı.....	17
Şekil 1.8: İşletmede olan rüzgar enerji sistemlerinin kurulu güç bakımından illere göre yüzdesel dağılımı.....	18
Şekil 1.9: Türkiye rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından kümülatif dağılımı.....	18
Şekil 2.1: 1,5kW'lık rüzgar türbininin farklı sıcaklıklardaki ekserji verimi.....	21
Şekil 2.2: Ekserji veriminin bir prosesin çevresel etki ve sürdürülebilirliği üzerine üzerine olan etkisinin gösterimi.....	22
Şekil 3.1: Üç daire modeli.....	23
Şekil 3.2: Enerji ve sürdürülebilir kalkınma.....	27
Şekil 4.1: Sistem akış şeması.....	29
Şekil 4.2: Türbin güç eğrisi grafiği.....	30
Şekil 4.3: Türbin teknik özelliklerinin yazıldığı pencere.....	31
Şekil 4.4: Çanakkale rüzgar atlası (50m) üzerindeki konumu.....	32
Şekil 4.5: Muğla rüzgar atlası (50m) üzerindeki konumu.....	33
Şekil 5.1: Muğla iline ait rüzgar hızı ve elde edilen güç.....	36
Şekil 5.2: Çanakkale iline ait rüzgar hızı ve elde edilen güç.....	37
Şekil 5.3: İki il için aylara göre genişletilmiş ekserji verimi gösterimi.....	38

KISALTMALAR

CO	:	Karbonmonoksit
CO ₂	:	Karbondioksit
DMİ	:	Devlet Meteoroloji İşleri
DPT	:	Devlet Planlama Teşkilatı
EİE	:	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPDK	:	Enerji Piyasası Denetleme Kurulu
HES	:	Hidroelektrik Santrali
IEA	:	International Energy Agency
NO _x	:	Azot oksit
REPA	:	Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası
RES	:	Rüzgar Enerji Sistemleri
SO ₂	:	Kükürtdioksit
TÇSV	:	Türkiye Çevre Sorunları Vakfı
TEİAŞ	:	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
YEK	:	Yenilenebilir Enerji Kaynakları

SEMBOLLER

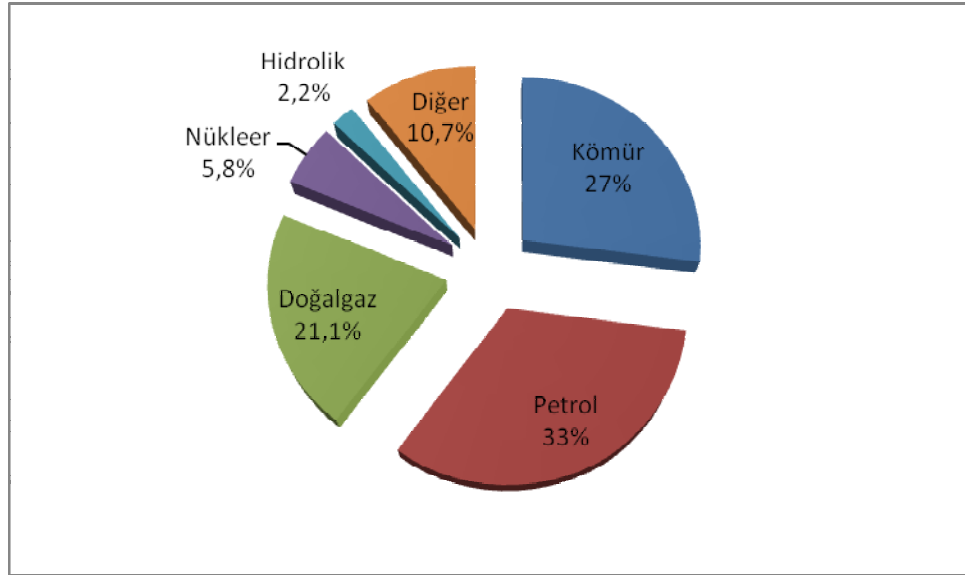
Malzemenin üretimi sırasında kullanılan ekserji miktarı	:	E_{phys}
Sistem için kullanılan ana paranın ekserji değeri	:	EE_k
İnsan gücünün ekserji değeri	:	EE_L
Çevresel etki giderme değerlerinin ekserji değeri	:	EE_{Env}
Rüzgardaki güç	:	P
Havanın yoğunluğu	:	ρ
Rüzgar hızı	:	V
Kanat yarıçapı	:	r

1.GİRİŞ

1.1 FOSİL YAKITLAR VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Fosil yakıtlar jeolojik olarak ömürleri olan, yani kullanıldıkları zaman tükenen enerji kaynaklarıdır. Bunlardan en önemlileri kömür, petrol ve doğalgazdır. Fosil yakıt kaynaklı enerji üretimi günümüzdeki çevre sorunlarının en önemli nedenlerinden birisidir. Fosil yakıtların yanması sonucu oluşan karbondioksit (CO₂), en önemli çevre sorunu olan küresel ısınmaya neden olmaktadır. Ayrıca fosil yakıtların bileşiminde değişik miktarlarda kükürt bulunur. Kükürt yanma sonucunda, insanlarda solunum ve dolaşım yolu rahatsızlıklarına yol açan kükürt oksitler (SO_x) emisyonuna dönüşür. Olumsuz çevresel etkilerine rağmen dünya birincil enerji tüketiminde fosil kaynakların payı 2008 yılı itibariyle yüzde 81,3 tür, yenilenebilir enerjinin payı ise yüzde 12,9 dur. Nükleer enerji ise yüzde 5,8 lik bir paya sahiptir (IEA Statistics, 2010).

Şekil 1.1: 2008 yılı dünya toplam Birincil Enerji Tüketiminde Yakıt Payları



Kaynak: IEA Statistics, 2010

BP'nin yaptığı bir çalışmada, 2010 yılı sonu itibariyle, dünya genelinde bir değerlendirme yapıldığında, mevcut kanıtlanmış petrol rezervlerinin 46, doğalgaz

rezervlerinin 59, kömür rezervlerinin de 118 yıllık ömre sahip olduğu belirtilmektedir (BP Statistical Review of World Energy 2011,s.18).

Kömür, geçmişte olduğu gibi yakın gelecekte de enerji kaynakları içindeki önemini koruyacaktır. Diğer kaynakların rezervleriyle karşılaştırıldığında çok büyük bir rezerve sahip olması, ekonomikliği, teminindeki güvenilirlik, fiyat istikrarı, kömürü önemli bir enerji kaynağı yapmaktadır (DPT Yayını, 2001, s.3).

Kömür; karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerden oluşan ve yanabilen organik bir kayadır. Az miktarda kükürt, nitrojen ve yandığında geriye kalan kül kısmını oluşturan inorganik bileşikler ve mineral maddeleri de içerir. Kömür karakterize edilirken fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenir.

Türkiye'deki kömür rezervlerine bakılacak olursa; bitümlü kömür çoğunlukla Zonguldak civarında bulunur. Türkiye, linyit rezervi açısından zengindir. En önemli havza Afşin-Elbistan bölgesidir. Linyit çıkartılan diğer bölgeler şunlardır:

- a. Çorum – Alpagat, Dodurga
- b. Ankara - Nallıhan
- c. Manisa - Soma
- d. Kütahya - Tunçbilek, Seyitömer

Kömür madeninin tam bir yaşam döngüsü dikkate alındığında çevresel etkisi üretimi sırasında ve tüketimi sırasında olarak ikiye ayrılabilir. Bu bağlamda Devlet Planlama Teşkilatının *VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu*'na göre kömür madeninin çevreye olan etkileri dört ana başlıkta incelenebilir (Demircioğlu 2003, s. 69):

Kömür madeni arama çalışmaları sırasında çevreye verilen zarar sınırlıdır.¹ Çalışma alanındaki bitki ve hayvan toplulukları, doğal arazi görünümü zarar görmektedir. Bunun yanı sıra drenaj nedeniyle yeryüzü su kaynakları kirlenmektedir.² Yer altı kömür

¹DPT Yayını, 2001, s.91

² DPT Yayını, 2001, s.92

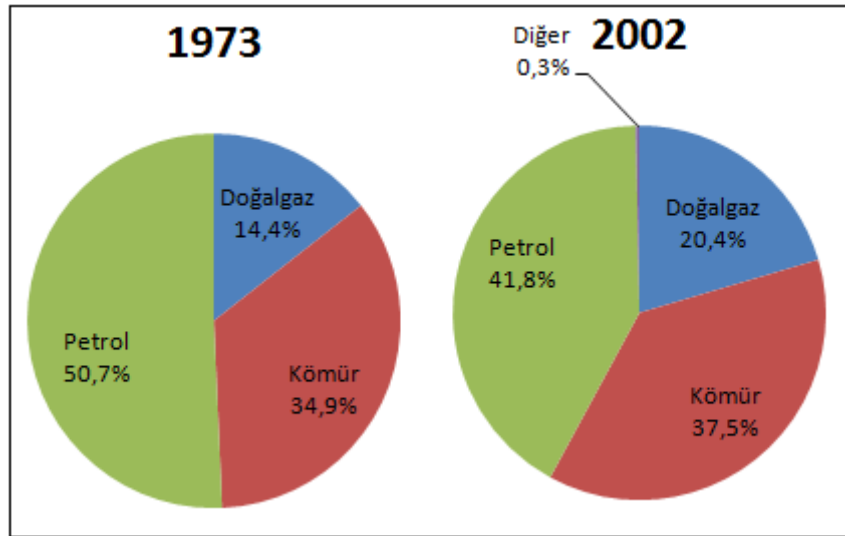
işletmeciliği faaliyetlerinin çevreye verdiği zararlar yer altı su seviyesinin düşmesi, yer altı boşlukları nedeniyle yüzeyde meydana gelen çatlaklar olarak sıralanabilir.³

Genel olarak kömür işletmelerinden katı ve sıvı atıklar çıkmaktadır. Önceki yıllarda tesis atık sularının atık havuzlarında dinlendirildikten sonra, doğrudan akarsu, dere, deniz gibi alıcı ortamlara verilmesi sözkonusuymuş. Günümüzde tesislerdeki arıtma üniteleriyle proses suları askıdaki katı maddelerinden arındırılmaktadır. Çevreye etkisi daha sınırlı olan katı atıkların ise açık alanlarda depolanıp, üzerlerinin ekilebilir toprakla örtölüp, tarım alanı oluşturma gibi planlama aşamasında olan çalışmalar da mevcuttur.⁴

Kömürün yakılarak elektrik enerjisi elde edildiği termik santrallerin olumsuz çevresel etkileri, kömürün üretilirken karşılaşılan çevresel sorunlardan çok daha fazladır. Termik santrallerin kirletici emisyonları; uçucu kül, SO₂, NO_x, CO, CO₂ ciddi hava kirliliği sorunlarına neden olmaktadır. Bu emisyonların olumsuz çevresel etkilerini azaltmak için termik santrallere baca gazı arıtma tesisleri (desülfürizasyon ünitesi) kurulmuştur.

Aşağıdaki Şekil 1.2’de fosil yakıtların CO₂ üretim payları görölmektedir. Grafiğe göre doğal gaz ve kömürün CO₂ emisyon katkısı artış gösterirken, petrolün payı ise azalma görölmektedir.

Şekil 1.2: Fosil yakıtların CO₂ emisyon payları



Kaynak: IEA, 2004. Keyworld Energy Statistics, Paris, s.44.

³ DPT Yayını, 2001, s.92

⁴ DPT Yayını, 2001, s.93

Bir önceki bölümde de belirtildiği gibi petrolün enerji tüketimindeki payı yüzde 33,2, doğalgazın ise yüzde 21,1 dir. Genel olarak petrolün, milyonlarca yıl önce yaşamış bitki ve hayvan kalıntılarının denizlerde biriken ve çökelen katmanlar içinde, belirli bir basınç ve sıcaklık altında, oksijensiz ortamda çürüyerek ayrışmasından oluştuğu düşünülmektedir (Demircioğlu 2003,s.88). Petrol kimyasal olarak hidrokarbonlardan oluşmuş olup nitrojen ve kükürt bileşenleri de içerir.

Ülkemizde arazi yapısının engebeli, çok kıvrımlı ve karmaşık bir jeolojik yapıda olması petrol ve doğalgaz arama çalışmalarını zorlaştırmakta ve maliyetleri yükseltmektedir. Türkiye’de başlıca petrol ve doğal gaz arama bölgeleri; Güneydoğu Anadolu, Trakya, Karadeniz, İç Basenler, Toros, Adana ve Doğu Anadolu basenleridir. Bunlar arasında en önemlileri Güneydoğu ve Trakya bölgeleridir. Dünya genelindeki duruma bakılacak olursa Tablo1.1’den de görüldüğü gibi, Ocak 2012 itibariyle kanıtlanmış petrol rezervlerinin (1,523 milyar varil) yüzde 52.5’inin Ortadoğu’da bulunduğu görülmektedir.⁵

Tablo 1.1: Kanıtlanmış Petrol Rezervleri

Sıra	Ülkeler	1 Ocak 2012 (milyar varil)	1 Ocak 2011(milyar varil)
1	Suudi Arabistan	264.52	260.1
2	Venezuela	211.17	211.17
3	Kanada	173.63	175.21
4	İran	151.17	137.01
5	Irak	143.1	115
6	Kuveyt	101.5	101.5
7	B.Arap Emirlikleri	92.2	92.2
8	Rusya	60.00	60
9	Libya	47.1	46.42
10	Nijerya	37.2	37.2
	Dünya Toplam	1523.23	1469.61

Kaynak: Oil and Gas Journal,2012

⁵ Oil and Gas Journal,2012

Petrolün kullanımından kaynaklanan çevre sorunlarının yanı sıra, eldesi sırasında da olumsuz çevresel etkileri olmaktadır. Bu bağlamda arama ve üretim çalışmalarının yürütüldüğü deniz ve kara ortamlarında farklı çevresel sorunlarla karşılaşmaktadır. Petrol arama ve üretim faaliyetlerine bağlı olarak ortaya çıkan en önemli çevresel sorunlardan biri petrol üretim aşamasında üretilen sudur. Bu su içeriğinde yüksek oranda tuz, emülsiyon halinde bulunan petrol, ağır mineraller ve bazen radyoaktif maddeler ve bakteriler bulundurulur. Çoğu durumda üretilen su miktarı, üretilen petrol miktarına yakın veya daha fazla olmakta ve suyun bilinçsizce çevreye atılması ciddi boyutlarda kirliliğe sebep olmaktadır (DPT VIII. Beş Yıllık Kalkınma Raporu 2001, s.52). Üretilen bu su, çeşitli kimyasal ve mekanik arıtma işlemlerinden geçirildikten sonra petrolün çıkartıldığı yeraltına enjekte edilmektedir. Ayrıca sondaj sırasında üretilen çamur da içerisinde fazla miktarda zararlı kimyasallar bulundurmaktadır ve bu çamur sızıntı yoluyla yer altı tatlı su kaynaklarına zarar vermektedir. Sondaj çamurunun çevresel etkilerini en aza indirebilmek için sondaj çalışmalarını yer altı tatlı su kaynaklarından yeterince uzakta yapılması şartı sunulmaktadır.

Petrol arama ve üretim faaliyetlerinin denizlerdeki çevresel etkisi karadaki etkilerine göre farklılık göstermektedir. Bunlardan ilki; denizlerde ekolojik dengenin karaya oranla çok daha hassas olması, diğeri ise; denizlerin genellikle birden çok devleti ilgilendirmesi nedeniyle konunun uluslararası boyut taşımasıdır. Denizlerdeki faaliyetlerden kaynaklanan kirlilik nedenlerinin başlıcaları üretim suyu, sondaj çamuru, atılan çöp ve kanalizasyon atıklarıdır. Petrol üretiminin denizlerdeki etkisini önlemek amacıyla, arıtma işlemi uygulanarak, üretim suyundaki petrol konsantrasyonu limit değerlerin altına indirilmek şartıyla denize deşarjına izin verilmektedir. Ayrıca sondaj çamurunda kullanılan kimyasal maddelere kısıtlamalar getirilmiştir. Çöp ve kanalizasyon atıklarının deşarjı da sıkı bir şekilde denetlenmektedir.⁶

Fosil yakıtlardan doğalgaza bakılacak olursa, Türkiye'deki bilinen doğalgaz kaynakları Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ve Trakya'da bulunmaktadır. Dünyadaki kanıtlanmış doğalgaz rezervleri ise aşağıdaki Tablo 1.2'deki gibidir.

⁶ DPT VIII. Beş Yıllık Kalkınma Raporu 2001, s.53

Tablo 1.2: Kanıtlanmış Doğalgaz Rezervleri

Sıra	Ülkeler	1 Ocak 2012 (milyar ft ³)	1 Ocak 2011(milyar ft ³)
1	Rusya	1,680,000	1,680,000
2	İran	1,680,000	1,045,670
3	Katar	890,000	895,900
4	Suudi Arabistan	283,000	275,200
5	ABD	272,509	244,656
6	Türkmenistan	265,000	265,000
7	B.Arap Emirlikleri	200,000	212,000
8	Venezuela	195,100	178,860
9	Nijerya	180,460	186,880
10	Cezayir	159,000	159,000
	Dünya Toplam	6,746,751	6,647,341

Kaynak: Oil and Gas Journal,2012

Doğalgaz kullanımının yarattığı en önemli çevresel sorun, termik santrallerde elektrik eldesi sırasında çok yüksek ısılarda gerçekleşen yanma olayından sonra çıkan NO_x emisyonlarıdır. Ancak yanma sisteminin iyileştirilmesi ve yanma sırasında yakıt/hava oranı kontrol edilerek NO_x emisyonları limit değerlerin altında tutulabilir.

1.2 YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Yenilenebilir enerji kavramı, doğada sürekli olarak yenilenen, kullanıma hazır bir şekilde var olan ve kullanıldıklarında çevresel etkisi az bir seviyede olan enerji kaynaklarını ifade eder.

Yenilenebilir enerji kaynakları, önemli bir potansiyele sahip olmasına rağmen, ülkemizde çok da eski bir geçmişe sahip değildir. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları; hidroelektrik enerjisi, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisidir. Fosil yakıtların kullanılabilir ömrünün bir gün dolacağı düşünülecek olursa, çevre ile dost ve sürdürülebilir olan yenilenebilir enerji kaynaklarına gereken önemin verilmesi kaçınılmazdır. Yenilenebilir enerji konusunda ülkemizde ilk adım 2003 yılında “Enerji Piyasası Denetleme Kurulu (EPDK)’ nun

kurulmasıyla atılmıştır. Bunu izleyen diğer gelişim ise 2005 yılında “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımına İlişkin Kanun (YEK)”nın resmi olarak kabul edilmesidir. Bu kanun sayesinde Türkiye’de potansiyeli daha gerçekçi tespit etmek ve yatırımları yönlendirebilmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Çalışmaların ilk sırasında güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji türleri vardı. Bu yasaya ek olarak 2006 yılında yenilenen 2872 sayılı “Çevre Yasası” karbon ayak izi, teşvikler ve çevre koruma gibi konulara ekler getirirken hemen ardından 2007 yılında kanunlaşan 5627 sayılı “Enerji Verimliliği” kanunu sanayi kuruluşlarına enerji tüketiminde verimliliğin artırılması halinde yüzde 20’ye varan vergi indirimleri sağlamıştır. Bunlara ek olarak 2007’de yaşanan diğer bir olumlu gelişme ise rüzgâr enerji santrali onaylanmış firmalara devletin 10 senelik satın alma garantisi vermiş olmasıydı (Teke 2012, s.2). Son olarak kabul edilen 5346 no’lu “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun’a göre yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten gerçek ve tüzel kişiler; ihtiyaçlarının üzerinde ürettikleri elektrik enerjisini dağıtım sistemine vermeleri halinde, Tablo 1.3’te görülen I sayılı Cetveldeki fiyatlardan on yıl süre ile faydalanacaklar ve buna ek olarak tesislerde kullanılan aksamın yurt içinde imal edilmiş olması halinde; bu tesislerde üretilerek iletim veya dağıtım sistemine verilen elektrik enerjisi için, üretim tesisinin işletmeye giriş tarihinden itibaren beş yıl süreyle; bu Kanuna ekli Tablo 1.4’te görülen II sayılı Cetvelde belirtilen fiyatlar ilave edilecektir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2012).

Tablo 1.3: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanununa ekli I Sayılı Cetvel

I Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)	
Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları cent/kWh)
a. Hidroelektrik üretim tesisi	7,3
b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
d. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp)	13,3

gazı dahil)	
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

Kaynak: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2012

Tablo 1.4: Yenilenebilir Enerji Kaynakları kanununa ekli II Sayılı Cetvel

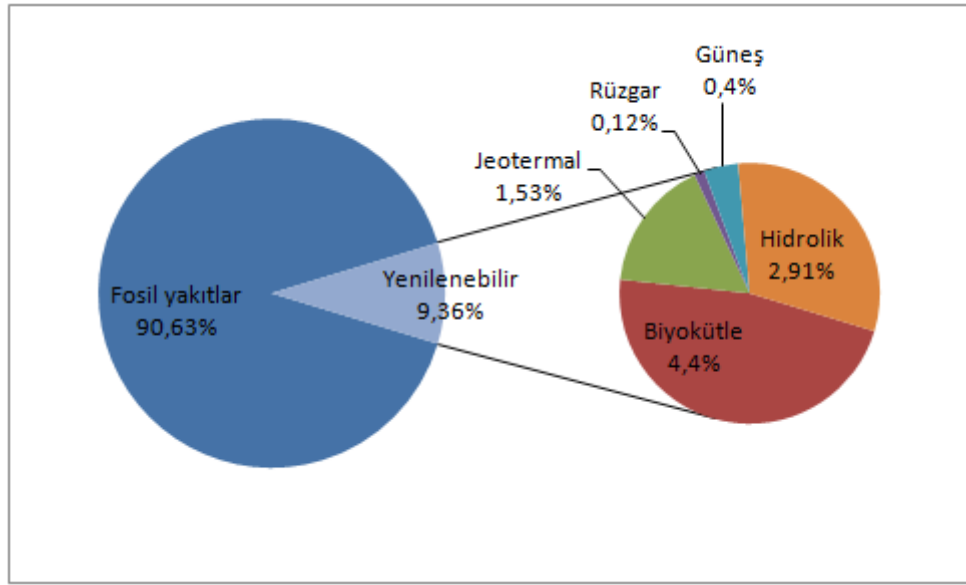
II Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)		
Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı İlavesi (ABD Doları cent/kWh)
A- Hidroelektrik üretim tesisi	1- Türbin	1,3
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
B- Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Kanat	0,8
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
	3- Türbin kulesi	0,6
	4- Rotor ve nasel gruplarındaki mekanik aksamın tamamı (Kanat grubu ile jeneratör ve güç elektroniği için yapılan ödemeler hariç.)	1,3
C- Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı	0,8
	2- PV modülleri	1,3
	3- PV modülünü oluşturan hücreler	3,5
	4- İnvörtör	0,6
	5- PV modülü üzerine güneş ışınını odaklayan malzeme	0,5
D- Yoğunlaştırılmış güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Radyasyon toplama tüpü	2,4
	2- Yansıtıcı yüzey levhası	0,6
	3- Güneş takip sistemi	0,6
	4- Isı enerjisi depolama sisteminin mekanik aksamı	1,3
	5- Kulede güneş ışınını toplayarak buhar üretim sisteminin mekanik aksamı	2,4
	6- Stirling motoru	1,3
	7- Panel entegrasyonu ve güneş paneli yapısal mekaniği	0,6
E- Biyokütle enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Akışkan yataklı buhar kazanı	0,8
	2- Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı	0,4
	3- Gazlaştırma ve gaz temizleme grubu	0,6
	4- Buhar veya gaz türbini	2,0
	5- İçten yanmalı motor veya stirling motoru	0,9
	6- Jeneratör ve güç elektroniği	0,5

	7- Kojenerasyon sistemi	0,4
F- Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Buhar veya gaz türbini	1,3
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	0,7
	3- Buhar enjektörü veya vakum kompresörü	0,7

Kaynak: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2012

Ülkemizin toplam enerji arzında yenilenebilir kaynakların payı Şekil 1.3'te gösterilmiştir.

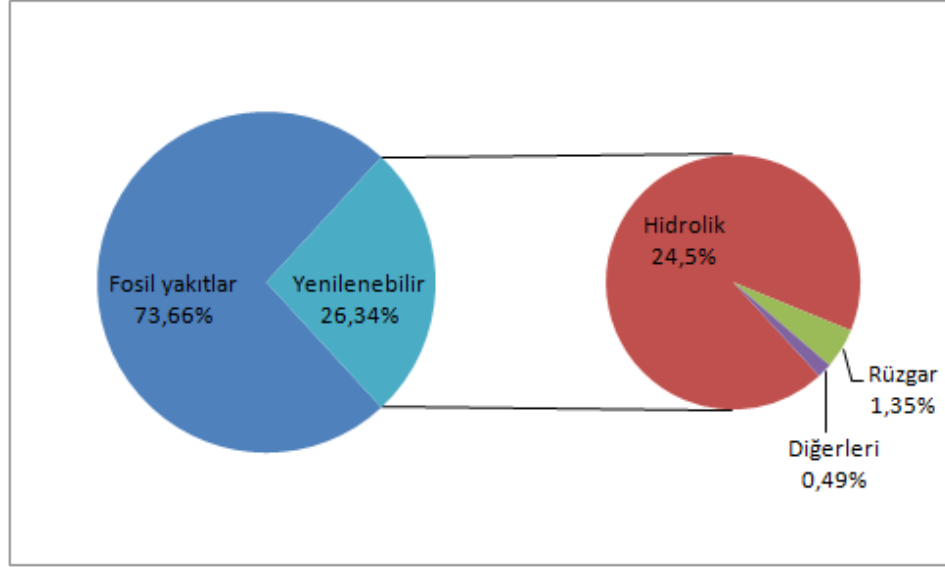
Şekil 1.3: Toplam birincil enerji arzında yenilenebilir enerji kaynaklarının payı



Kaynak: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2009

TEİAŞ'ın 2010 yılı verilerine göre elektrik üretiminde ise yenilenebilir enerjilerin payı Şekil 1.4'teki gibidir.

Şekil 1.4: Elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların payı



Kaynak: TEİAŞ 2010

Ülkemizde rüzgar enerjisi potansiyeli çok fazla olmasına rağmen elektrik üretimindeki payı henüz istenen seviyelere ulaşamamıştır.

Suyun sahip olduğu potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye dönüştürmek suretiyle enerji elde edilir. Belli bir yükseklikten düşen suyun kinetik enerjisi türbine bağlı bir jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları içinde en yaygın olarak kullanılan hidroelektrik enerjisidir. Türkiye'nin hidroelektrik enerjisi potansiyeli 433 milyar kWh/yıl, teknik yapılabilir potansiyel ise 215 milyar kWh/yıl olarak bulunmuştur (Demircioğlu 2003, s.114). 2012 ekim ayı sonu itibariyle HES'lerin Türkiye'deki kurulu gücü 18,747 MW olmuştur.

Hidroelektrik enerjiden faydalanarak elektrik üretilen santrallerin çevresel etkilerine bakılacak olursa üretime geçen bir hidroelektrik santralin baraj kısmının çevresel etkilerinden söz etmek mümkündür. Baraj gölünün yüzey alanının buharlaşmayı arttırmasıyla birlikte çoraklaşma ve tuzlanma meydana gelmektedir. Su kaynaklı bakteriyel hastalıklar artmakta, işletme alanındaki bölgenin sıcaklık, yağış ve rüzgar rejimlerinde değişikliklere sebep olmaktadır. Ayrıca HES'in rezervuarının altında kalması muhtemel bitki ve ağaçlar kesilerek ekolojik dengenin bozulmasına sebep olmaktadır.

Yeryüzünde kullanılan enerji kaynaklarına bakıldığında bunların neredeyse hepsinin güneş kökenli olduğu görülür. Örneğin; rüzgar, farklı güneş ısılarının yer yüzündeki dağılımının neden olduğu basınç ve sıcaklık farklılıklarından dolayı oluşan hava akımıdır. Dolayısıyla kinetik enerji sağlayan rüzgar enerjisinin asıl kaynağı güneştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinden günümüzde iki şekilde faydalanılmaktadır. Birincisi gelen güneş ışınlarının ısı enerjisine çevrilmesiyle, diğeri ise güneş enerjisinden doğrudan elektrik üretimidir. Elektrik üretimi fotovoltaik piller yardımıyla olur. Fotovoltaik piller üzerlerine düşen güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürürler. Fakat bu sistemlerin üretilen enerjiyi depolama sorunu vardır. Yani fotovoltaik piller fotonlardan aldıkları enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler, ama enerjiyi depolayamazlar. Bu yüzden eğer gece boyunca da elektrik üretimi bekleniyorsa sisteme akü de dahil edilmelidir. Sistemin çalışacağı yer ve iklim şartları, söz konusu sistemin verimi için oldukça önemlidir.

Fotovoltaik piller yardımıyla güneşten enerji eldesi sırasında fosil yakıt tüketimi ve sera gazı emisyonu yapılmamış olur. Fakat sistemin tam bir yaşam döngü analizine bakılacak olursa, fotovoltaik pillerin malzeme üretiminden sistemin montajına kadar her bir safhada enerji tüketilir ve sera gazı emisyonları, partikül madde emisyonları olur. Buna rağmen 1 MW'lık bir güneş enerjisi sistemi yaklaşık olarak 2.275-3.750 ton CO₂ salımını engelleyerek diğer tüm çevresel etkilerinin göz ardı edilmesine olanak sağlamaktadır (Ültanır ,s. 239)

Jeotermal enerji kaynağı, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha sıcak ve daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanmaktadır (Teke 2012, s.138). Jeotermal kaynaklar başta ısıtımada olmak üzere, endüstride ve ayrıca kimyasal madde üretiminde kullanılmaktadır.

Türkiye, jeotermal enerji alanında potansiyel bakımından dünyada 5. sırada, kullanımda ise 7. sırada bulunmaktadır. Bu bilgiye göre ülkemiz jeotermal enerji ile ilgili olarak büyük potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Fakat ülkemiz bu potansiyelinin sadece yüzde 6,3 civarını etkin kullanabilmektedir (EPDK 2012). Jeotermal enerji açısından

ülkemizin en fazla potansiyele sahip olan bölgesi Ege Bölgesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Jeotermal enerjinin çevresel etkilerine bakılacak olursa, günümüzdeki modern jeotermal enerji santrallerinde CO₂, NO_x, SO_x emisyonları yok denilebilecek kadar azdır. Hatta merkezi ısıtma amaçlı kullanılan jeotermal kaynaklarda emisyon miktarı sıfırdır. Kömürü yakıt olarak kullanan termik santrallerdeki CO₂ salınımı, eski tip jeotermal santrallerdekine oranla bile 1600 kat daha fazladır. Eski tip jeotermal santraller, fosil yakıtları ile çalışanların sadece yüzde 1'i kadar kükürt emisyonuna sebep olurlar. Bu santrallerin partikül emisyonu ise sadece soğutma kuleleri içindeki suyun buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Bu da kömür ve petrol yakan santrallerden 1000 kata daha azdır (DPT 2001, s.43).

Biyokütle, kökeni biyolojik olan organik maddelerdir. Bitkisel ve hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biyokütleyi oluşturur ve bu kaynaklardan elde edilen enerjiye de biyokütle enerjisi denir.

Biyokütle enerjisinin olumlu yönlerine bakılacak olursa; her yerde yetiştirilebilmesi, üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi, her ölçekte enerji üretimi için uygun olması, düşük ışık şiddetlerinin yeterli olması, depolanabilir olması, 5-35 °C arasında sıcaklık gerektirmesi, emisyon değerlerinin çok düşük olması, sera etkisi oluşturmaması böylece atmosferde CO₂ dengesi sağlaması ve asit yağmurlarına yol açmaması şeklinde sıralanabilir. Biyokütle enerjisinin olumsuz yönleri ise; düşük çevrim verimine sahip olması, tarım alanları için rekabet oluşturması ve su muhtevasının fazla olmasıdır (Tezekici 2005, s. 62).

Klasik biyokütle enerjisi ağaç atıklarından oluşan yakacak odun ve hayvan atıklarından oluşan, ve yine yakacak olarak kullanılan tezekten oluşmaktadır. Modern biyokütle yakıtları ise enerji bitkileri, enerji ormanları, bio-dizel, etanol gibi çeşitli yakıtlardır (Tezekici 2005, s. 63). Evsel katı atıklar da biyokütle enerjisi sınıfına dahil olabilir. Çünkü çöp yakıtlar yakılarak elektrik enerjisi üretilebilmekte ve aynı zamanda açığa çıkan ısı enerjisinden de faydalanılmaktadır.

Biyokütlenin yakılmasıyla oluşan emisyonlar, fosil yakıt yakma kaynaklı oluşan emisyonlarla kıyaslanamayacak derecededir. Bu tesislerde oluşan partikül madde emisyonları da çeşitli kontrol teknolojileri ile (torbalı filtreler, elektrostatik filtreler ve siklonlar) tutulmaktadır.

Tarih boyunca insanlık, rüzgarın enerjisinden faydalanmıştır. Önceleri tahıl öğütme işlemlerinde, yer altından su çekmekte kullanılan rüzgar değirmenleri günümüzde işlevini değiştirmiş ve elektrik üretebilmek için en uygun şeklini almıştır. Rüzgar türbinleri, rüzgarın sahip olduğu kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Rüzgar enerjisi rotora bağlı olan kanatları döndürür ve bu şekilde elektrik üretilir. Burada elde edilen enerji havanın yoğunluğuna, kanatların süpürdüğü alana ve rüzgarın hızına bağlıdır. Rüzgardan elde edilecek güç, rüzgar hızının küpüyle doğru orantılıdır. Bu da demek oluyor ki, rüzgar enerjisinden elektrik üretiminde en önemli parametre rüzgarın hızıdır. Rüzgar hızı da yüksekliğe bağlı bir parametredir. Santral yeri seçimi konusunda bu parametreler göz önünde bulundurulmalı ve ekonomik olarak optimum yer seçimi yapılmalıdır.

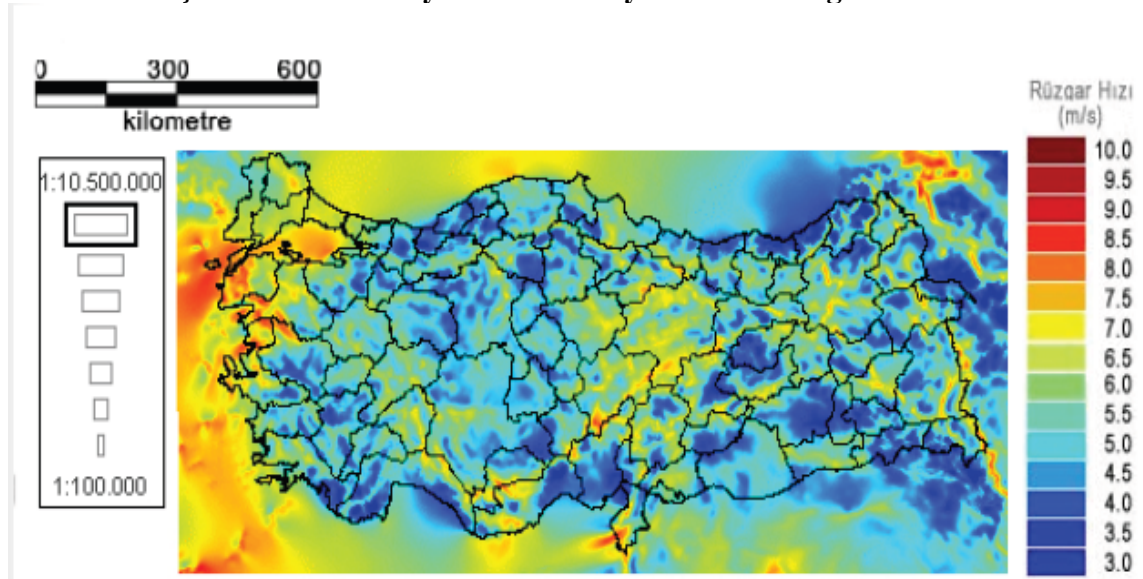
1.3 TÜRKİYE’NİN RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİ

Türkiye, Avrupa’da rüzgar enerjisi potansiyeli en iyi olan ülkelerden biridir. Rüzgar enerjisinden etkin bir şekilde faydalanabilmek için bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin saptanması gerekmektedir. Bir çok araştırmacı; rüzgar kaynak verileri ve rüzgar türbinlerinin verimlerine bağlı olarak yer yüzeyinin rüzgar enerji potansiyelini ortaya koyabilmek için önemli çalışmalar yapmıştır. Ülkemizde de rüzgar kaynağı ile elektrik enerjisi ihtiyaçlarının karşılanabilmesi konusunda il ve ilçe bazında yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan birisinde Gökçeada’nın elektrik ihtiyaçlarının rüzgar enerjisi ile karşılanması incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda 10 adet 70 m’lik rüzgar türbini kullanılarak çok küçük bir sahadan Gökçeada’nın elektrik ihtiyacının yüzde 81’inin karşılanabileceği hesaplanmıştır (Tavman, 2006). Bir diğer çalışmada ise Türkiye’nin rüzgar güç potansiyeli yıllık yaklaşık 88,000 MW olduğu tahmin edilmektedir (Hepbasli ve Ozgener 2004, ss.257-256).

Ülkemizin rüzgar kaynaklarının karakteristiklerini, dağılımını kısacası potansiyelini belirlemek amacıyla EİE ve DMİ işbirliği ile “Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası

(REPA)” çalışması yapılmıştır. REPA çalışmasında verilen detaylı rüzgar kaynağı haritaları, yatırımcılar için ülkemizin rüzgar enerjisinden elektrik üretimine elverişli bölgelerinin belirlenmesinde kullanılabilecek bir alt yapı sağlamaktadır. Hazırlanmış olan atlasa göre yer seviyesinden 50 m yükseklikteki yıllık ortalama değerler esas alındığında, Türkiye’nin en iyi rüzgar kaynağı alanları kıyı şeritlerine bulunmaktadır. Bölge bazında bakacak olursak Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz Bölgelerinin en yüksek potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Ege Denizinin kuzeydoğusunda şiddetli rüzgarlar bulunmaktadır. İç Anadolu Bölgesinin doğusu, Orta Toroslar, Akdeniz Bölgesinin kuzeydoğusundaki bazı alanlarda ortalama rüzgar hız değerlerinin 7.5 m/s üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ilave olarak Antakya yakınındaki bir bölgede yüksek şiddetteki rüzgarlar bulunmaktadır (EİE, 2006). (Şekil1)

Şekil 1.5: Yer seviyesinden 50 m yüksekteki rüzgar hızları



Kaynak: EİE, 2006

Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası’nda yedi rüzgar güç sınıfı kullanılmıştır. Sınıflar zayıftan sıradışına doğru sıralanan rüzgar kaynak derecelerine göre tanımlanmıştır. Tablo 1.4’te orta dereceden sıra dışına kadar olan sınıflar verilmiştir.

Tablo 1.5: Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Rüzgar Kaynak Derecesi	Rüzgar Sınıfı	50 m'de Rüzgar Gücü (W/m ²)	50 m'de Rüzgar Hızı (m/s)	Toplam Alan km ²	Rüzgarlı Arazi Yüzdesi	Toplam Kurulu GüçMW
Orta	3	300 – 400	6.5 – 7.0	16.781,39	2,27	83.906,96
İyi	4	400 – 500	7.0 – 7.5	5.851,87	0,79	29.259,36
Harika	5	500 – 600	7.5 – 8.0	2.598,86	0,35	12.994,32
Mükemmel	6	600 – 800	8.0 – 9.0	1.079,98	0,15	5.399,92
Sıradışı	7	> 800	> 9.0	39,17	0,01	195,84
Toplam				26.351,28	3,57	131.756,40

Kaynak: Malkoç Y. (2010). Rüzgar Enerjisi Kaynaklarımız.

Bu tabloya göre, Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli, rüzgar sınıfı orta ile sıradışı arasında 131.756,40 MW olarak belirlenmiştir. Bu araziler Türkiye toplamının yüzde 3,57'sini oluşturmaktadır. İyi- sıradışı arası rüzgar sınıfına ait karasal rüzgarlı arazilerin 37,386.16 MW rüzgar potansiyeli, orta-sıradışı arasında ise 114,363.20 MW'lık karasal rüzgar potansiyeli olduğu açıkça görülür.

Ülkemizin rüzgal potansiyeli açısından bazı bölgeleri Tablo 1.5'te gösterilmiştir.

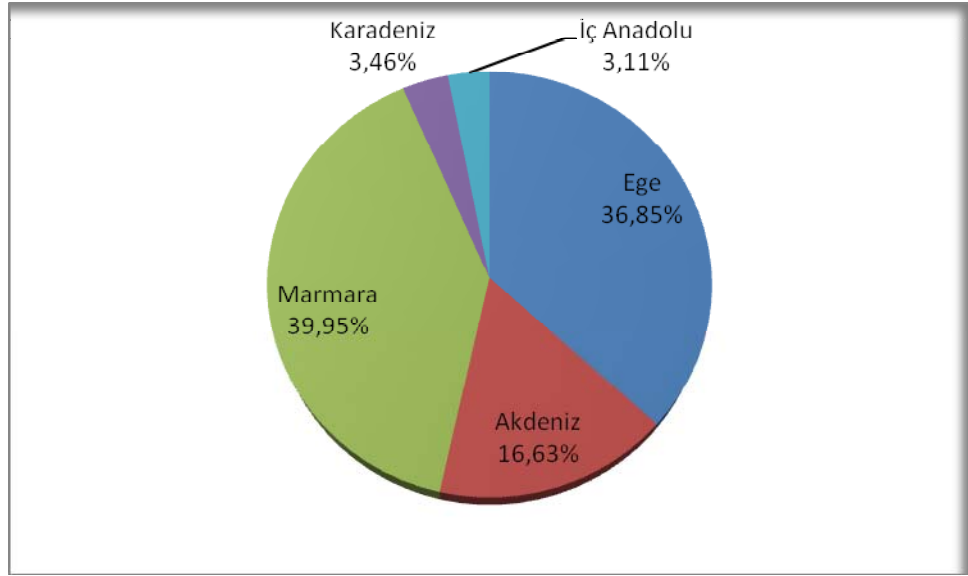
Tablo 1.6: Türkiye rüzgar potansiyeli açısından zengin bazı bölgeleri

İstasyon Adı	Rüzgar Gücü	Ortalama Rüzgar Hızı
Bandırma	152,6	5,1
Antakya	108,9	4,5
Kumköy	82,0	4,1
Mardin	81,4	4,1
Sinop	77,9	4,1
Gökçeada	74,5	4,0
Çorlu	72,3	4,0
Çanakkale	71,2	7,2

Kaynak: DEK TMK, 2002 Türkiye Enerji Raporu

Şu anda işletmede olan rüzgar enerji santrallerinin (RES) bölgelere göre dağılımına bakılacak olursa Marmara Bölgesi yüzde 39,95 oranla başı çekmektedir. Şekil 1.6'da da kurulu gücün bölgelere göre dağılımı görülmektedir.

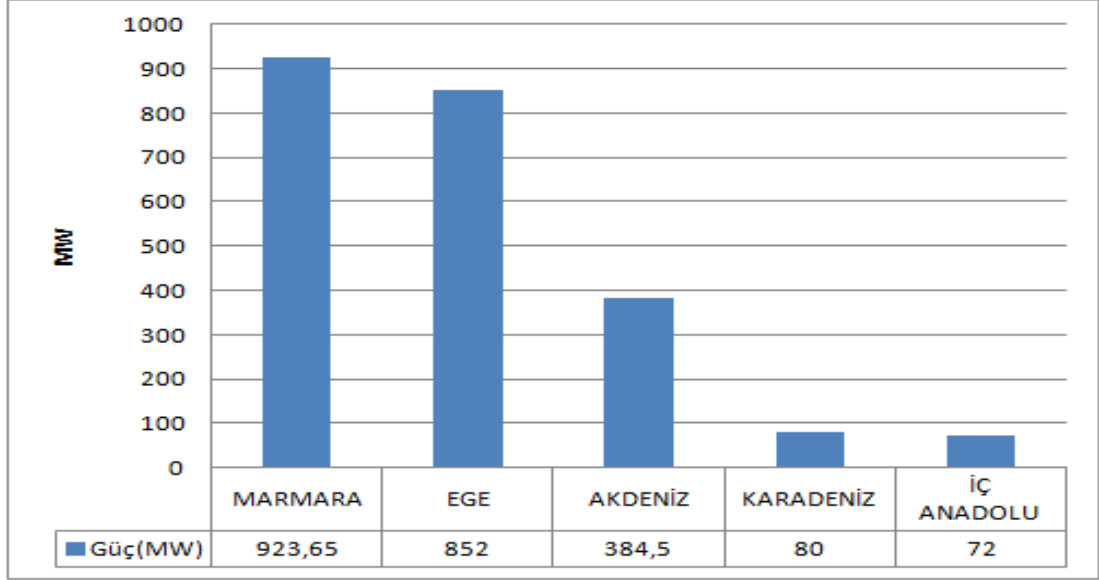
Şekil 1.6: İşletmede olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından bölgelere göre yüzdesel dağılımı



Kaynak: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, 2013. Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, s. 12.

İşletmede olan rüzgar enerji santrallerimizin Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliğinin 2013 istatistik raporlarına göre kurulu gücü bakımından bölgelere göre dağılımına bakılacak olursa Marmara Bölgesinin kurulu gücü 923,65 MW olarak görülür. Şekil 1.7'de bölgelere göre dağılım grafiği vardır.

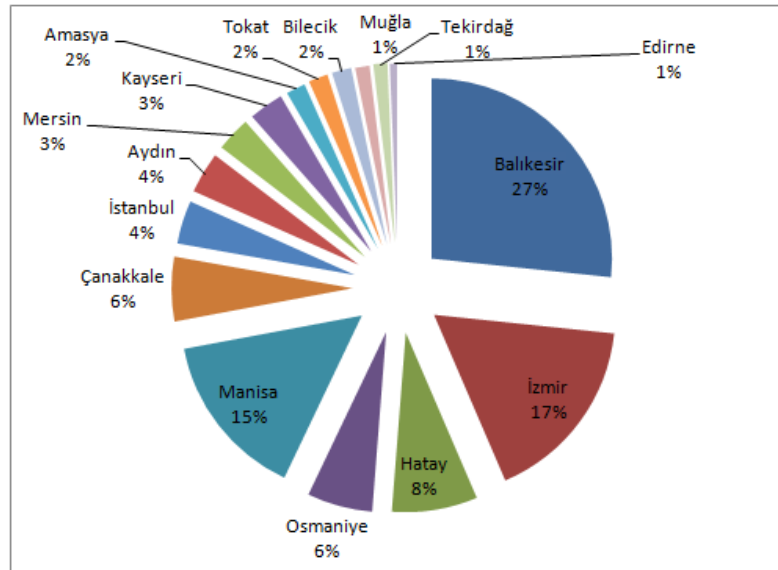
Şekil 1.7: İşletmede olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından bölgelere göre dağılımı



Kaynak: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, 2013. Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, s. 13.

Rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından illere göre yüzdesel dağılımı ise Şekil 1.8 'de verilmiştir.

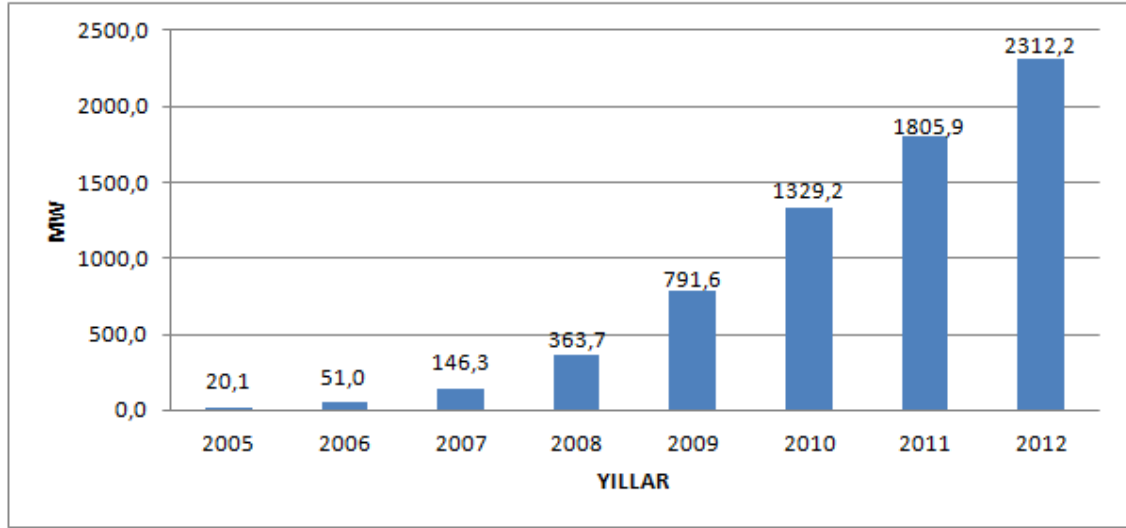
Şekil 1.8: İşletmede olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından illere göre yüzdesel dağılımı



Kaynak: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, 2013. Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, s. 14.

Şekil 1.9, Türkiye’de kurulu olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından 2005 yılından itibaren yıllara göre kümülatif dağılımını göstermektedir. 2005 yılına kadar kurulu güç 8,7 MW ile 18,9 MW arasında değişmektedir.

Şekil 1.9: Türkiye rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından kümülatif dağılımı



Kaynak: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, 2013. Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, s. 5.

Türkiye’de toplam kurulu güç TUREB rüzgar enerjisi 2013 istatistik raporuna göre 2312,15 MW olarak bulunmuştur. Tablo 1.6’da ise Türkiye’de kurulu güç kapasitesi açısından ilk beş santral gösterilmektedir.

Tablo 1.7: Kurulu güç kapasitesine göre ilk beş santral

FİRMA ADI	PROJE ADI	KURULU GÜÇ	TÜRBİN SAYISI	İŞLETMEYE GİRİŞ TARİHİ	İL
Bares El. Ür. A.Ş.	Balıkesir RES	143	52	2012	BALIKESİR
Soma En. El. Ür. A.Ş.	Soma RES	140.4	119	2011/2012	MANİSA
Rotor El. Ür. A.Ş.	Gökçedağ RES	135	54	2009/2010	OSMANİYE
Baki El. Ür. Ltd. Şti.	Şamlı RES	113.4	43	2008	BALIKESİR
Galata Wind En. Ltd. Şti.	Şah RES	93	31	2011	BALIKESİR

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde rüzgar enerji sistemlerinin Genişletilmiş Ekserji Analizi (*Extended Exergy Accounting, EEA*) metodunun uygulandığı bir çalışma henüz bulunmamaktadır. Fakat, tek başına rüzgar enerjisinin ekserji analizi ile ilgili bir takım çalışmalar bulunmaktadır.

Dünya enerji kaynaklarının sınırlı olması ve sürdürülebilirlik açısından talep edilen enerjinin verimli kullanılması gerekliliği, hükümetleri enerji politikalarını yeniden gözden geçirmeye ve enerjiyi boş yere kullanmayı önlemeye yönelik çalışmalarda bulunmaya itmiştir. Tüm bu gelişmeler, bilimsel dünyayı da harekete geçirmiş ve var olan sınırlı enerji kaynaklarından daha çok yararlanabilmek için yeni yöntemler geliştirmeye çalışılmıştır (Çengel ve Boles 1996, s.396).

Mevcut enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması, herhangi bir prodesteki kayıpların ortadan kaldırılması veya minimuma indirilmesi ile sağlanır. Bir prodeste kullanılan enerjinin verimli bir şekilde kullanılıp kullanılmadığı, termodinamik kanunları ile belirlenir.

Termodinamiğin birinci yasası enerjinin korunumundan yani niceliğinden, ikinci yasası ise enerjinin kalitesinden yani niteliğinden bahseder. Enerji ve ekserji analizi, termodinamiğin birinci ve ikinci yasasını birlikte ele alan ve enerjinin maksimum kullanımı veya kullanılabilirliğini ifade eden bir analiz şeklidir. Birinci yasaya göre enerji analizi, ikinci yasa göre ise ekserji analizi yapılmaktadır (Filiz 2012, s.2).

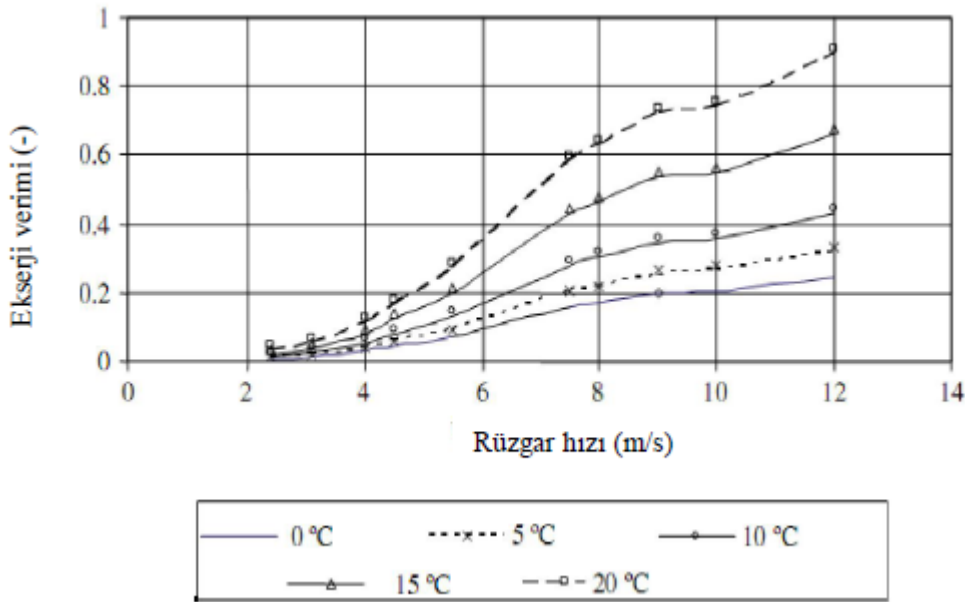
Literatürde bilinen ilk ekserji analizi 1972 yılında tek ve çift buharlaştırmalı iki farklı sistemden oluşan bir jeotermal güç santralinde Bodvarsson ve Eggers tarafından uygulanmıştır ve santralin tamamı için ekserji verimliliği hesaplanmıştır (Filiz 2012, s.3).

Rosen (1990) yaptığı çalışmada; yakıt hücresi sistemleri ile fosil yakıt ve nükleer güç tesislerine enerji ve ekserji analizini uygulamıştır. Çalışmasında bir tesis için enerji veriminin incelenmesinin yanında ekserji veriminin de incelenmesi gerektiği sonucunu ortaya koymuştur.

Dragan (2009), enerji ve ekserji analizine göre bir kazanın kısımlarında meydana gelen enerji ve ekserji kayıplarını belirlemiştir. Enerji kaybı; yoğunlaştırıcıda yüzde 53, boilerde yüzde 11, diğer bileşenlerde yüzde 4 olarak bulunmuştur. Ekserji kaybı ise; boilerde yüzde 55, yoğunlaştırıcıda yüzde 2, diğer bileşenlerde yüzde 4 olarak bulunmuştur.

Yapılan başka bir çalışmada sıcaklığın ekserji verimine etkisi incelenmiştir. Ege Üniversitesi Güneş Enerji Enstitüsü'nde bulunan küçük rüzgar türbininin (1,5 kW) ekserji analizi yapılmıştır (Özgener, 2006, s.12). Sistemin referans halini, 25 °C sıcaklıkta ve 101,325 kPa basınçta kabul ederek, türbine giriş ve çıkıştaki basınç farkını dikkate alarak yaptıkları çalışmada, ekserji veriminin farklı rüzgar hızlarında, yüzde 0 ile yüzde 48,7 arasında değiştiğini bulmuşlardır. Sıcaklık farkına bağlı olarak ekserji verimi ise yüzde 0 ile yüzde 89 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Yapılan çalışmada sıcaklığın ekserji verimi üzerine etkisi Şekil 2.1'deki gibi belirtilmiştir.

Şekil 2.1: 1,5kW'lık rüzgar türbininin farklı sıcaklıklardaki ekserji verimi

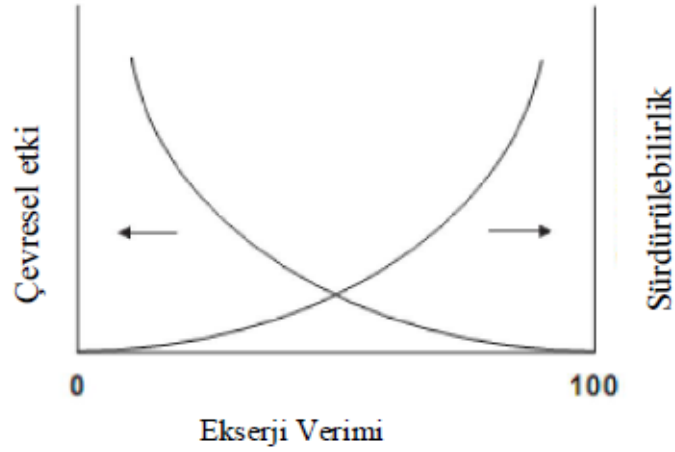


Kaynak: Özgener 2006

Bir başka çalışmada ise enerjinin sürdürülebilirliği ile ilgili bir indeks yayınlanmış ve ekserji analizi ile sürdürülebilirlik ölçütü arasında bir ilişki kurulmuştur (Rosen 2008). Rosen yaptığı çalışmasında; ekserji verimi, çevresel etki ve sürdürülebilirlik arasındaki

ilişkiyi şekildeki gibi göstermiştir. Buna göre ekserji verimi arttıkça şekildeki sürdürülebilirlik değeri artmakta ve çevresel etki azalmaktadır. Buna göre ekserji verimi yüzde yüze yaklaştığı zaman çevresel etki sifıra yaklaşır. Çünkü o durumda sistemdeki ekserji kayıpsız bir şekilde bir formdan başka bir forma dönüşmüştür ve sürdürülebilirlik de sonsuza yaklaşmıştır. Bu durumda söz konusu sistem tersinir olmuştur. Bu sistemi ise Şekil 2.2'deki gibi açıklamıştır.

Şekil 2.2: Ekserji veriminin bir prosesin çevresel etki ve sürdürülebilirliği üzerine olan etkisi



Kaynak: Rosen, 2008

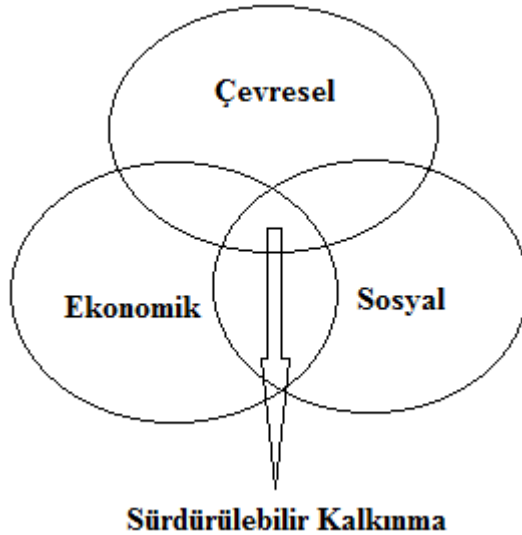
Ekserji analizinin sonuçları, emisyonu az olan, çevreye daha az atık bırakan, doğal kaynakları daha az kullanarak enerji üretimi sağlayan yeni teknolojilerin gelişmesine kılavuzluk ettiğinden dolayı oldukça faydalı olmaktadır. Buna göre bu çalışmada, mevcut bir rüzgar enerji santralinden maksimum seviyede güç elde edilmesi ve bu güç üretimini sürdürülebilir kılmak için genişletilmiş ekserji analizi metodu ile ekserji verimleri hesaplanmıştır.

3. SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA

Günümüzde, gelişmekte olan ülkelerin gündemlerinde sıkça yer alan sürdürülebilir kalkınma kavramının önemi giderek artmaktadır. Dünyada nüfus artışı, teknolojik gelişim, sanayileşme ve küreselleşme sonucu doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebin hızla artması ile fosil kaynaklarda meydana gelen azalma toplumu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönlendirmektedir. Bu bağlamda gelecek kuşaklara yaşanabilir bir dünya bırakabilmek amacı ile toplumların yaşamına sürdürülebilirlik kavramı girmiştir.

Sürdürülebilir kalkınma kavramı resmî olarak ilk kez 1987 yılında Norveç Başbakanı Gro Harlem Brundtland'ın başkanlığında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) tarafından yayımlanan “Ortak Geleceğimiz” (Brundtland Raporu) adlı raporda kullanılmıştır (Aksu 2011, s. 5). Bu rapora göre sürdürülebilir kalkınma, “Bugünün ihtiyaçlarını gelecek nesillerin de kendi ihtiyaçlarını karşılamalarında ödün vermeden karşılamak” olarak tanımlanmıştır. Bu tanım doğrultusunda sürdürülebilir kalkınma şematize edildiğinde üç daire modeli (three circles model) Şekil 3.1'deki gibi ortaya çıkmıştır.

Şekil 3.1: Üç daire modeli



Kaynak: Aksu, C., Sürdürülebilir Kalkınma ve Çevre. Güney Ege Kalkınma Ajansı Raporu, s.6.

Üç daire modeline göre, herhangi bir sistemin sürdürülebilirliğinden söz edilebilmesi için hem ekonomik, hem sosyal ve hem de çevresel anlamda eş zamanlı ve eşit kalkınmanın olması zorunludur.

Sürdürülebilirlik, kalıcı olabilmenin bir ölçütüdür. Daily ve Ehrlich, sürdürülebilirlik sözcüğünü sosyal, ekonomik ve ekolojik sistemlerin en azından gereksinim duyulan düzeyde korunmasını ifade eden bir süreç olarak nitelendirmişlerdir (Karadaş 2008, s. 32). Arat'a göre ise sürdürülebilirlik sözcüğü içerisinde geleceği barındırmakta ve bugünden geleceğe nasıl ve hangi stratejilerle girileceğinin belirlenmesini ifade etmektedir (Kılıçoğlu 2005, s. 14). Pearce, sürdürülebilir kalkınmayı "*devam eden zaman içinde azalmayan insan refahı*" olarak tanımlamaktadır. Bu tanıma göre, bugünkü insan refahının yükselmesi uğruna gelecek kuşakların daha az refahla yaşamasına sebep olan kalkınma sürdürülebilir değildir (Kula 1997, s. 150). Tietenberg'e göre sürdürülebilir kalkınma prensiplerine göre bütün kaynaklar gelecek kuşakların ihtiyaçları göz önüne alınarak kullanılmalıdır (Kula, 1997, s. 151). Buzzelli'ye göre ise "*sürdürülebilir kalkınma çevremizle uyumlu bir ekonomik büyüme; ekonomik refah için kaynak tabanının korunması ve çocuklarımızın geleceğinin planlanmasıdır*" (Karadaş 2008, s. 32). Uluslar arası Enerji Ajansı (IEA)'na göre ise sürdürülebilirlik "*pratikte sürdürülebilir kalkınma ekonomik, sosyal ve çevresel amaçlar arasındaki kabul edilebilir değişimleri bulmaktır.*" olarak tanımlanmıştır (IEA 2004, s. 332).

3.1 SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMANIN HEDEFLERİ

Sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma kavramlarının tam olarak anlaşılması ve benimsenebilmesi için "Ortak Geleceğimiz" (Brundtland Raporu) raporunda hedefler şu şekilde belirtilmiştir (Aksu 2011, s. 6).

- a. Büyümeyi canlandırmak
- b. Büyümenin kalitesini değiştirmek
- c. İş bulma, yiyecek, enerji, su ve sağlık konularındaki temel ihtiyaçları karşılamak
- d. Sürdürülebilir bir nüfus düzeyini garantiye almak
- e. Kaynak tabanını korumak ve zenginleştirmek

- f. Teknolojiyi yeniden yönlendirmek ve riski yönetmek
- g. Karar verme sürecinde çevre ile ekonomiyi birleştirmek

Bu hedeflere bakıldığında sürdürülebilir kalkınmanın amaç ve hedeflerini insan, ekonomi, çevre ve teknoloji açısından irdelemek uygun olacaktır (Karadaş 2008, s. 35).

İnsan açısından; dengeli bir şekilde büyüyen nüfus, kentlerdeki çevresel sorunların azaltılması için gerekli çalışmaların yapılması, kırsal bölgedeki şartların iyileştirilmesiyle kentlere göçün azaltılması, kültürel çeşitliliğin korunması, eğitim şartlarının iyileştirilmesi ve çevre koruma bilincinin artırılması gerekmektedir.

Çevresel açıdan; her türlü doğal kaynağın ve su kaynaklarının verimli şekilde kullanılması, verimi artırmak için teknolojilerin iyileştirilmesi, biyoçeşitliliğin korunması, insan faaliyetleri sonucu ozon tabakasında oluşan azalmanın ve küresel iklimin değişikliğinin önlenmesi ve çevre kirliliğine yol açan her türlü etkenin önlenmesi gereklidir. Ayrıca verimsiz sulama tekniklerinin gözden geçirilmesi, verimi yüksek tarım arazilerinin tarım dışı uygulamalarının önlenmesi, ormanlar ve sulak alanların yok edilmesinin durdurulması veya mümkün olduğunca azaltılması gereklidir.

Teknolojik açıdan; mevcut teknolojilerin havayı, toprağı ve suyu kirletmeyen ve doğal kaynakların kullanımını en aza indiren, daha verimli ve temiz teknolojilerle değiştirilmesi, karbon ayak izinin azaltılması ve diğer kirletici gazların ve partikül maddelerin emisyonunun azaltılması, fosil kaynak kullanımını azaltarak enerji kaynaklarındaki sürdürülebilirliğin geliştirilmesi, alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi, geri dönüşüme öncelik verilmesi ve toplu taşıma sistemlerinin iyileştirilmesi gereklidir (Us 2001, s. 3).

Ekonomik açıdan; kişiler arasındaki düzensiz gelir dağılımının dengelenmesi, sağlık sektörünün iyileştirilmesi, adaletli bir eğitim ve sosyal hizmetlerin geliştirilmesi, enerji ve diğer doğal kaynakların kullanımındaki savurganlık azaltılmalıdır. Daha az kaynak kullanan temiz teknolojiler geliştirilmelidir (Yaylalı 2009).

Sürdürülebilir kalkınmanın tam olarak sağlanması büyük oranda yukarıdaki faktörlere bağlıdır.

3. 2 SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK GÖSTERGELERİ

Sürdürülebilirliği tayin etme çabaları, sürdürülebilirlik göstergelerinin belirlenmesini gündeme getirmiştir. Aşağıdaki Tablo3.1’de sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlar açısından göstergeleri sıralanmıştır.

Tablo3.1: Sürdürülebilir kalkınmanın göstergeleri

a. Çevresel Boyut	b. Ekonomik Boyut	c. Sosyal Boyut
Atmosferdeki klor artışı	Sektörel ekonomik faaliyet artışı	Nüfus, yoğunluk, artış oranları
Atmosferdeki asitlik artışı	Taşıt sayısı	Yoksulluk
Ozon, partiküller, nitrojen dioksit bileşimleri	Enerji tüketimi	Elektriksiz hanehalkı
Kırsal ve kentsel alanlar, ormanlar	Yenilenebilir enerji oranı	Oy kullanabilir nüfus
Doğal ortam farklılaşmaları	Hava ulaşımı	Seçimlere katılım
Taşıma kapasiteleri tahminleri Su Kalitesi	Taşıma bedelleri	Kırsal-kentsel nüfus
Spesifik ekosistem göstergeleri	Ormansızlaşma	Telefon miktarı
Radyasyon	Kirlilik azaltım giderleri	Yetersiz beslenen çocuklar
Koruma alanları	Seyahatler, boş zamanlar	Okuma yazma
Metal rezervleri	Ahşap üretimi	Yaşam süresi, bebek ölümleri
Enerji miktarı	Kişi başına su temini	
Biyoçeşitlilik	Erozyon	
Hayvan popülasyonu	Tarımsal üretim	
Tehlike altındaki canlılar	Hanelerde enerji kullanımı	
Temel kirleticiler	Karayolları taşımacılığı enerji kullanımı	

Ağır metaller	Araçlarda fosil yakıt kullanımı	
Toprakta nitrojen ve potasyum fosfat dengeleri	Besin üretimi	
Toprak kalitesi göstergeleri		
Tarım arazisi kayıpları		

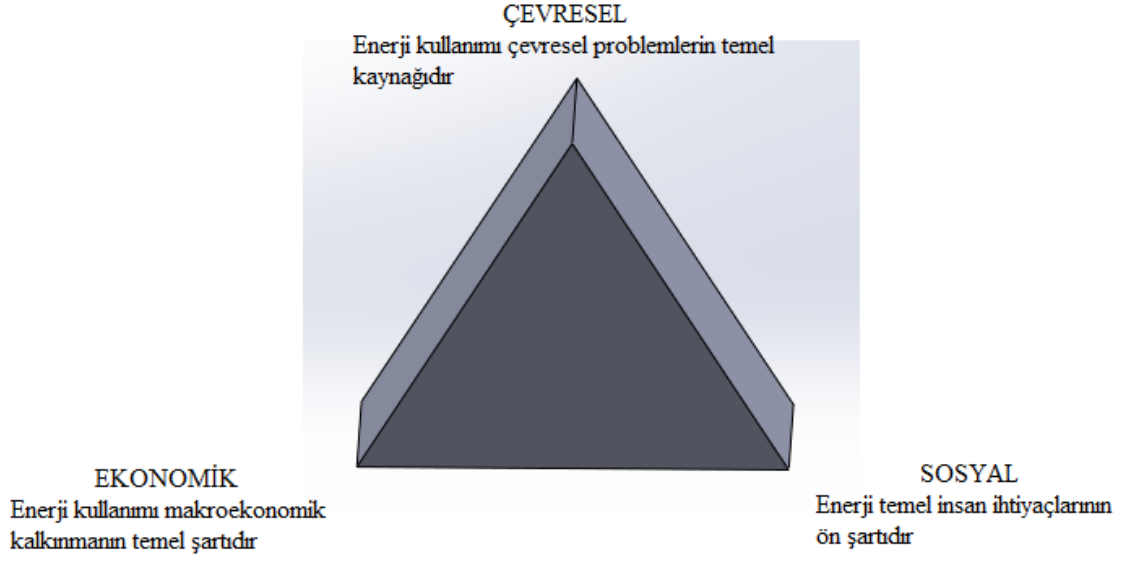
Kaynak: Palabıyık H. (2005). Sürdürülebilirlik ve Yerel Yönetimler: Uygulanabilirliği ve Ölçümü Üzerine. Yerel Yönetimler Üzerine Güncel Yazılar. Ankara: Nobel Yayınları

3.3 SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ

Sürdürülebilir enerji kavramını Ültanır (1998, s. 209) “Sürdürülebilir enerji kavramı, tüm birincil enerji kaynaklarından yapılan enerji üretiminin yüksek verimle ve temiz teknolojilerle gerçekleştirilmesini, fosil yakıtların çevre dostu yeni teknolojilerle değerlendirilmesini, tükenir fosil kaynaklar yerine olabildiğince tükenmez (yenilenebilir) enerji kaynaklarının yerleştirilmesini, bir çevrimde atık biçiminde ortaya çıkan enerjinin, bir başka çevrimde girdi olarak kullanılmasını kapsayan ve bunu ekonomik büyüme ile bütünleştiren bir kavramdır.” şeklinde açıklamıştır.

Daha önceki bölümde de belirtildiği gibi sürdürülebilirliğin temelini oluşturan unsurlar çevre, ekonomi ve toplumdur. Günümüzde bu unsurların en önemlisi şüphesiz ki çevre unsurudur. Yani sistemlerin çevresel etkileri minimuma indirilmedikçe ekonomik gelişmeden ve toplumların refahından söz edilemez. Sürdürülebilirlik ve enerji kavramlarının yollarının kesiştiği nokta da burasıdır. Çünkü dünyadaki sera gazı üretiminin yaklaşık yüzde 80’i enerjinin üretim ve tüketim aşamalarında meydana gelmektedir. Bu sebeple, enerjinin sürdürülebilir üretiminin sağlanması gerekmektedir. Şekil 3.2’de enerji ve sürdürülebilir kalkınma arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Şekil 3.2: Enerji ve sürdürülebilir kalkınma



Kaynak: Najam ve Cleveland 2003, s. 119)

4. VERİ VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında Genişletilmiş Ekserji Analizi (*Extended Exergy Accounting*, EEA) metodu yenilenebilir enerji kaynaklarından ülkemizde en fazla potansiyele sahip olan rüzgar enerji sistemlerine uygulanmıştır. Çalışmada yapılan hesaplarda temel olarak, Seçkin C. ve Sciubba'nın genişletilmiş ekserji analizinin Türkiye uygulamasında ortaya konan yöntem uygulanacaktır ve bu yönetime göre bu çalışmada rüzgar türbinlerinin, yıllık rüzgar hızı ortalama değeri yüksek olan Çanakkale şehri ile nispeten daha düşük olan Muğla şehrine kurulduğu varsayılarak analiz yapılmış ve karşılaştırmalı olarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.1 GENİŞLETİLMİŞ EKSERJİ ANALİZİ

Ekserji analizi, termodinamiğin ikinci kanunu ile ilgili bir analiz olup, incelenen enerji sistemlerinin gerçekçi bir şekilde değerlendirilmesine yardımcı olur. Termodinamiğin ikinci kanunu, incelenen sistemde enerjinin niteliğini öne çıkarır. Ekserji, enerjinin işe çevrilebilme potansiyeli olarak da tanımlanabilir ve bir kaynaktan elde edilebilecek maksimum işi ifade eder. Bu analiz yöntemi ile meydana gelen termodinamik kayıpların yeri ve nedenleri belirlenir ve bu sayede sistemde iyileştirmeler yapılabilir.

Ekserji analiz metodunun dört temel prensibi vardır (Kaymak 2011, s.37):

- Mümkün olduğunca güvenli ve iyi huylu malzeme ve enerji girdisi/çıktısı temin etmek.
- Enerji kaynaklarını en az kullanmak.
- Atıktan kaçınmak.
- Sürdürülebilirliğin sağlanması için teknolojiyi geliştirmek, iyileştirmek ve yeni teknolojiler keşfetmek.

Genişletilmiş ekserji analizi tekniği ise diğer ekserji analizlerine ek olarak özel bir hesaplama yöntemiyle harici faktörlerin (iş gücü, kapital, çevresel etki) kullanımını da ekserji birimi ile hesaplanır ve analize dahil edilir.

Genişletilmiş ekserji analizi şu şekilde ifade edilebilir (Seçkin 2012, s.2):

$$EE = E_{phys} + E_m + EE_k + EE_L + EE_{Env} \text{ [kW]} \quad (5.1)$$

E_{phys} = malzemenin üretimi sırasında kullanılan enerji miktarı (ısı, mekanik iş, elektrik enerjisi, kimyasal enerji vs.)

E_m = sistemde kullanılan ham maddenin üretimi sırasında kullanılan fiziksel ve kimyasal ekserji içeriği

EE_k = sistem için kullanılan ana paranın ekserji değeri

EE_L = insan gücünün ekserji değeri

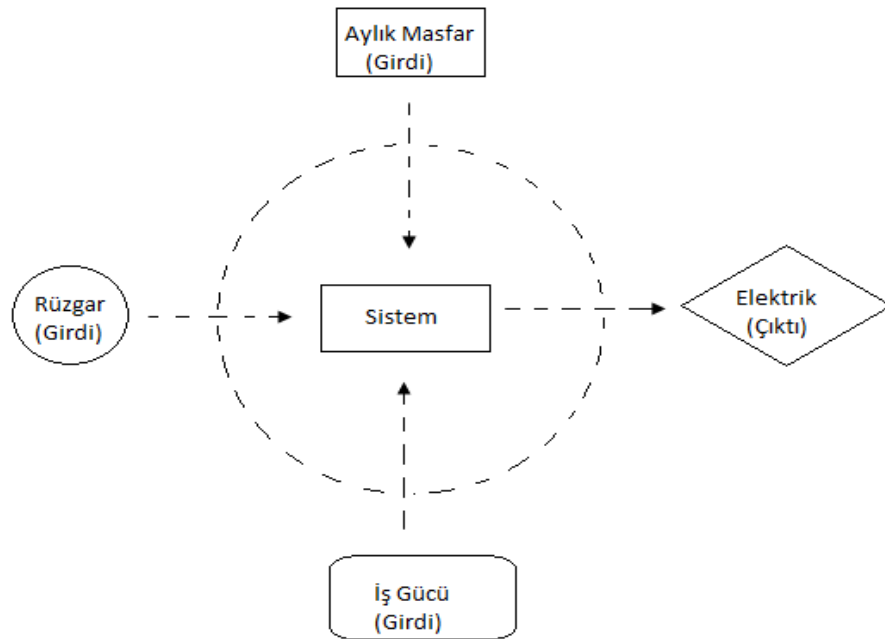
EE_{Env} = çevresel etki giderme değerlerinin ekserji değeri

Sistemin genişletilmiş ekserji verimi ise şu şekilde hesaplanmaktadır (Seçkin 2012, s.9):

$$\text{Genişletilmiş Ekserji Analizi}_{Verim} = \frac{\sum \text{çıkıtı}}{\sum \text{girdiler}} \quad (5.2)$$

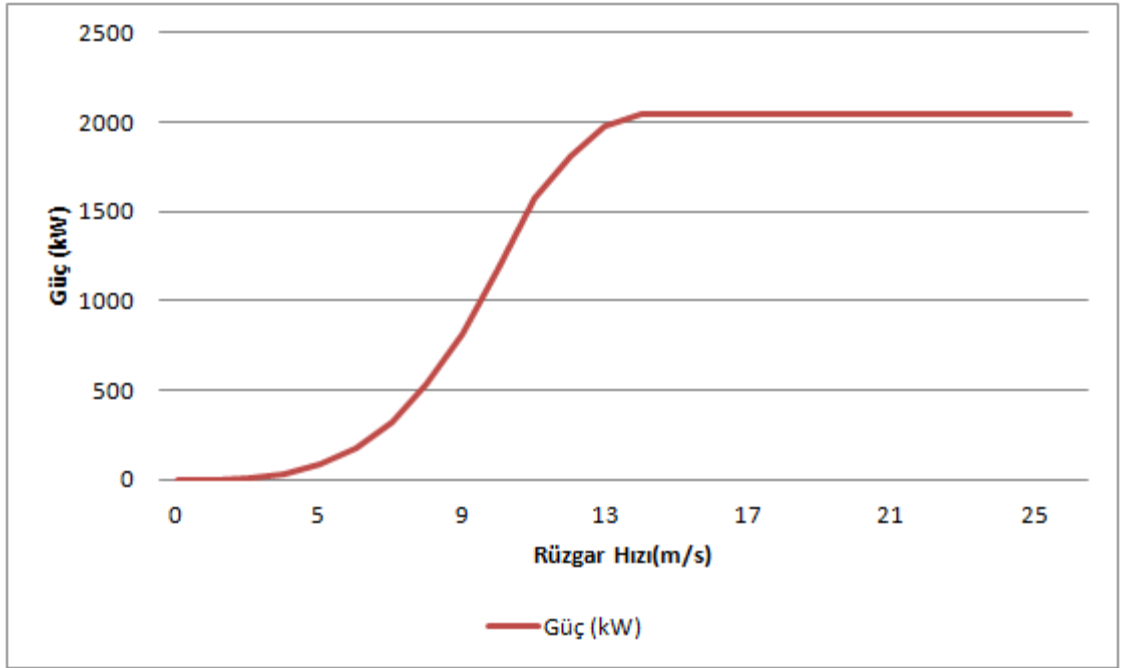
Ele aldığımız sistemin akış şeması şekil 4.1’de detaylıca görülmektedir.

Şekil 4.1: Sistem akış şeması



Sistemin beklenen çıktısı, rüzgardan elde edilen mekanik güçtür. Bu değer RETScreen™ programından elde edilmiştir. Program yazılımına türbinin teknik özellikleri girildikten sonra farklı hızlarda elde edilen rüzgar güçleri tablolanmıştır ve bu veriler sayesinde türbinin güç eğrisi elde edilmiştir. Şekil 4.2’ de seçilen türbinin güç eğrisi verileri görülmektedir.

Şekil 4.2: Türbin güç eğrisi grafiği



RETScreen™ Excel tabanlı temiz enerji projelerine destek olan yazılım programıdır. Potansiyel yenilenebilir enerji, enerji verimliliği ve kojenerasyon projelerinde teknik ve finansal sürdürülebilirliğin çabuk ve düşük masrafla belirlenmesine yardımcı olur.

Seçilen türbin tipi Enercon-82 E2 2 MW-138M’nin özellikleri programın ara yüzüne girildi ve Şekil 4.3’te görülen veriler elde edildi. Buna göre türbinin rotor çapı 82 metre ve bağlantı noktası yüksekliği 138 metredir. Elektrik üretimine başladığı hız 2.5 m/s ve kesilme hızı 25 m/s’dir.

Şekil 4.3: Türbin teknik özelliklerinin yazıldığı pencere

The screenshot shows the RETScreen software interface for configuring a wind turbine. The main window is titled "RETScreen". On the left side, there are several input fields and dropdown menus:

- Sistem:** Güç (Power)
- Teknoloji:** Rüzgar türbini (Wind turbine)
- İmalatçı:** Enercon
- Model:** ENERCON - 82 E2 2MW - 138M
- Birim başına kapasite:** 2.000 kW
- Ünite sayısı:** 1
- Kapasite:** 2.000 kW

Below these fields, there is a text box containing the following information:

- Bağlantı noktası yüksekliği: 138 M
- Türbin başına rotor çapı: 82 M
- Türbin başına taranan alan: 5281,02 M²

On the right side, there is a table titled "Güç eğrisi verileri" (Power curve data). The table has two columns: "Rüzgar hızı M/s" (Wind speed M/s) and "Güç kW" (Power kW). The data points are as follows:

Rüzgar hızı M/s	Güç kW
0	0,0
1	0,0
2	3,0
3	25,0
4	82,0
5	174,0
6	321,0
7	532,0
8	815,0
9	1180,0
10	1580,0
11	1810,0
12	1980,0
13	2050,0
14	2050,0
15	2050,0
16	2050,0
17	2050,0
18	2050,0
19	2050,0
20	2050,0
21	2050,0
22	2050,0
23	2050,0
24	2050,0
25	2050,0

Sistemin girdileri içinde ise ilk olarak rüzgar enerjisi ele alınabilir. Rüzgardan elde edilen güç rüzgarın sahip olduğu kinetik enerjiden gelir ve bu kinetik enerjinin ekserji değeri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır (Ozgener 2007, s.9):

$$\text{Kinetik enerjinin ekserjisi} = \frac{v^2}{2} \quad (5.2)$$

Kullanılabilir gücü bulmak için ise türbinin rotorundan geçen hava kütesinin debisi bilinmelidir. Havanın yoğunluğu standart atmosferik koşullarda 1,225 kg/m³ alınır (Ozgener 2007, s.9)

$$\dot{m} = \rho AV = \rho \pi r^2 V \quad (5.3)$$

Kullanılabilir güç;

$$P = \dot{m} \times \text{kinetik enerji} \quad (5.4)$$

Denklem (5.2) ve (5.3), denklem (5.4)'te yerine yazılırsa aşağıdaki formül elde edilir.

$$P = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 V^2 \quad [\text{W}] \quad (5.5)$$

P= rüzgardaki güç (watt)

ρ = havanın yoğunluğu (kg/m^3)

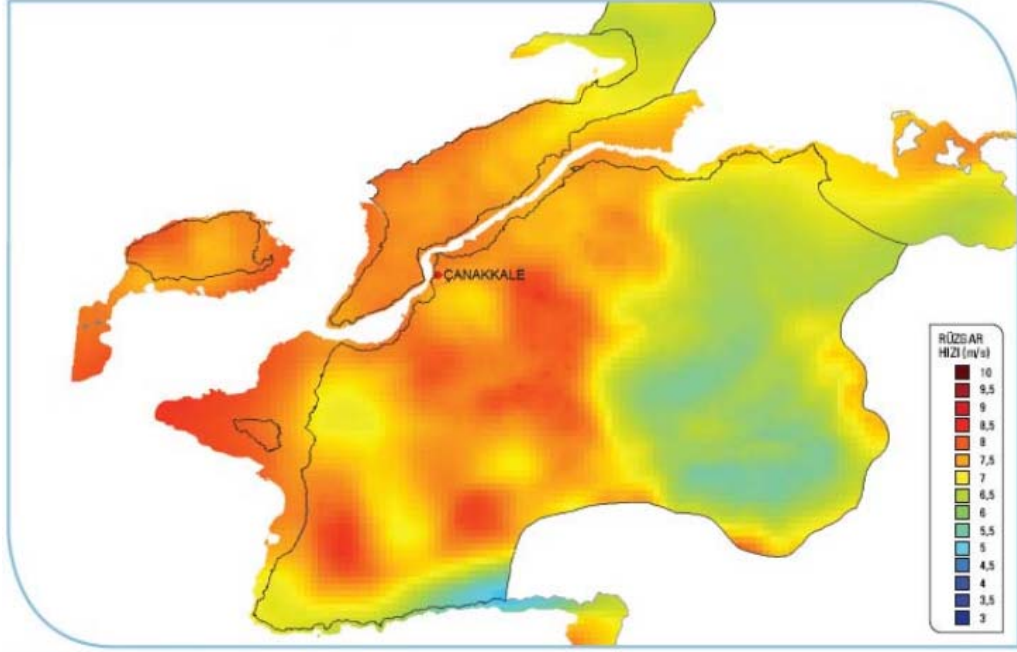
V= rüzgar hızı (m/s)

r = kanat yarıçapı (m)

Formül (5.5)'ten de açıkça görüldüğü gibi rüzgardan elde edilecek elektrikte rüzgar hızının büyük önemi vardır. Elde edilecek enerji ortalama rüzgar hızının kübü ile orantılıdır.

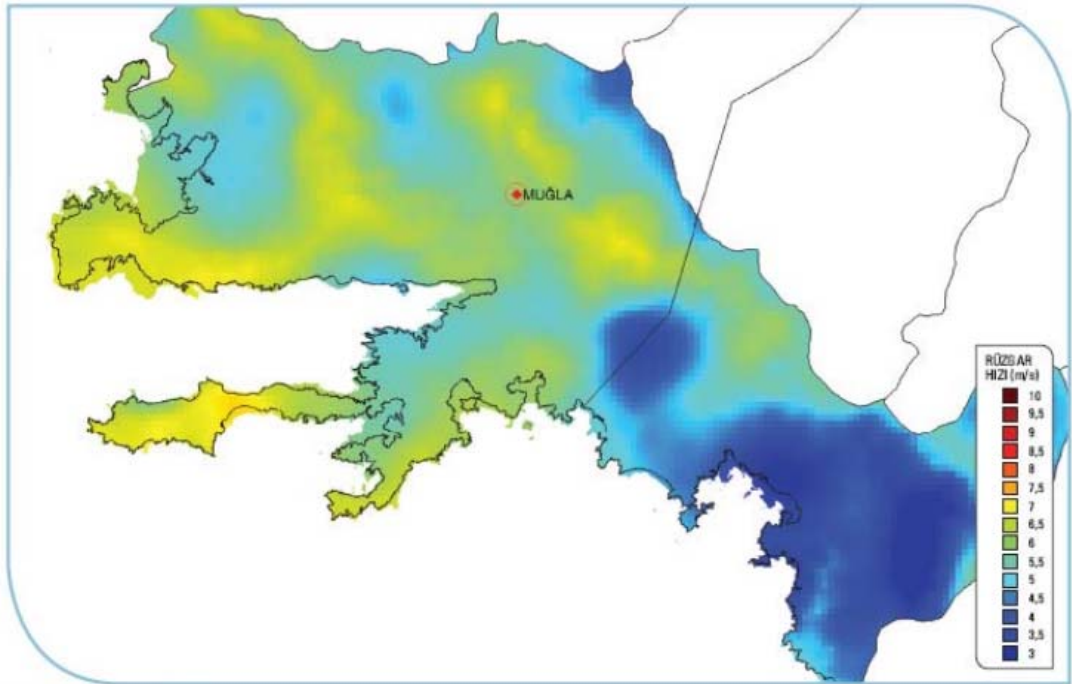
Şekil 4.3'te Çanakkale iline ait ve Şekil 4.4'te Muğla iline ait rüzgar atlasları görülmektedir.

Şekil 4.4: Çanakkale rüzgar atlası (50 m) üzerindeki konumu



Kaynak : EİE 2009

Şekil 4.5: Muğla rüzgar atlası (50m) üzerindeki konumu



Kaynak : EİE 2009

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın hazırlamış olduğu il bazlı rüzgar enerji potansiyeli atlasının (REPA) ve Devlet Meteoroloji İşlerinin (DMİ) hazırlamış olduğu illerin aylık ortalama rüzgar hızları bilgilerinden faydalanılarak her iki ilin aylık

ortalama rüzgar hızları hesaplarda kullanılmak üzere elde edilmiştir. Tablo 4.1’de DMİ’den alınan aylık rüzgar hızları değerleri görülmektedir.

Tablo 4.1: Aylık ortalama hız verileri

Aylar	Hız Verileri (m/s)	
	Çanakkale	Muğla
Ocak	8,6	7,1
Şubat	8,2	6,3
Mart	7,6	6,5
Nisan	6	5,4
Mayıs	6	5,0
Haziran	6,7	5,8
Temmuz	8,0	4,8
Ağustos	7,8	4,7
Eylül	8,1	5,6
Ekim	8,5	7
Kasım	7,6	7,4
Aralık	8,6	7,5

Kaynak: DMİ 2012

Bir diğer girdi ise iş gücüdür. Hesaplamalar aylık bazda yapılacağı için tesisin kuruluş aşamasındaki iş gücü hesaplamalara katılmamıştır. İşletme döneminde tesiste işletim ve bakım için üç kişinin çalıştığı varsayılmıştır. Çalışanların günlük ortalama çalışma saati hesaplamalarda on saat olarak kabul edilmiştir. Genişletilmiş ekserji analizi konseptinde daha önceden de belirtildiği gibi çevresel etki maliyetleri de hesaba katılmalıdır. Rüzgar türbinlerinin tam bir yaşam döngü analizine bakıldığında inşaat aşamasında sahada çalışacak olan inşaat makinalarından ve araçlardan kaynaklanan geçici hava emisyonları görülebilmektedir. Tesisin işletimi sırasında rüzgar enerjisinden elektrik eldesinde herhangi bir emisyon olmayacağı için bu harici faktör de hesaplamalara katılmayacaktır.

Son olarak analizin girdi kısmında yer alacak parametre ise aylık masraflardır. RETScreen programı tarafından yapılmış örnek bir hesap veri olarak kullanılacak olursa yıllık bakım ve işletim masraflarının 44789,17 USD olduğu kabul edilebilir.

Tablo 4.2’de girdi ve çıktı parametrelerinin verim hesabında esas alınan spesifik ekserji değerleri görülmektedir. Bu değerler Sciubba’nın genişletilmiş ekserji analizinin Türkiye uygulaması çalışmasından alınmıştır.

Tablo 4.2: Parametrelerin spesifik ekserji değerleri

Parametre	Spesifik Ekserji (J/birim)
Rüzgar	1000000
İş gücü (J/saat)	153,95
Çevresel Faktör (CO ₂)	6,42x10 ⁻⁴
Aylık Gider	22,5
Elektrik	1000000

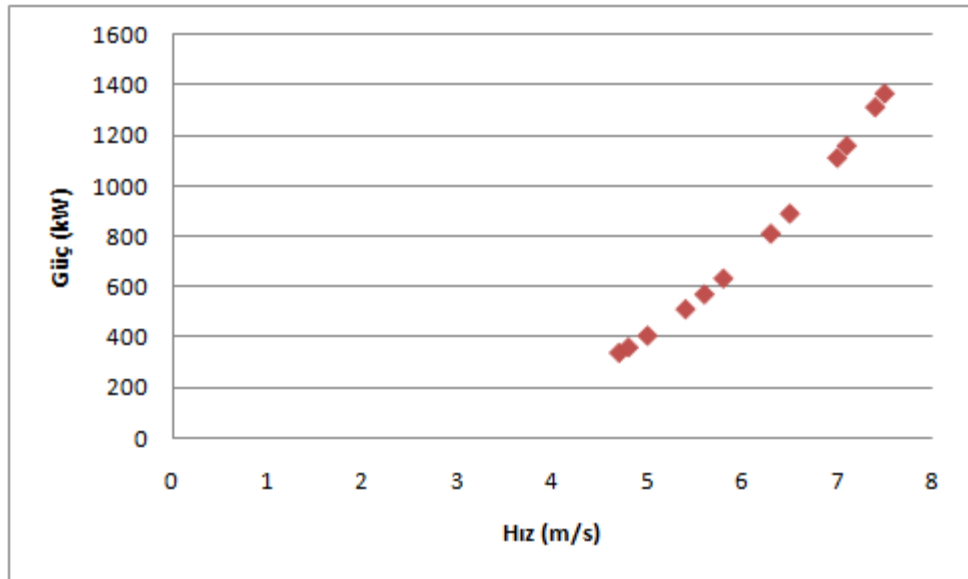
Kaynak: Candemir Seçkin, (2012) An Application of the Extended Exergy Accounting Method to Turkish Society, Year 2006.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

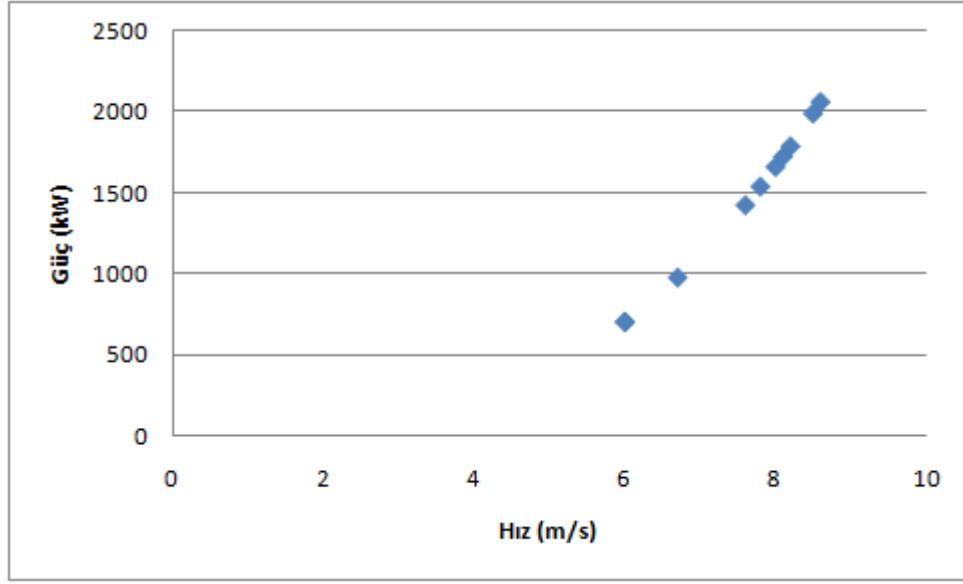
Bu çalışmada Çanakkale ve Muğla illerine kurulduğu varsayılan rüzgar enerji santrallerinin genişletilmiş ekserji analizi ve verim hesabı yapılmıştır. Seçilen türbin tipi Enercon firmasına ait ENERCON-101-135M'dir. Hesaplamalarda esas olarak kullanılan illere ait rüzgar hız verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Şekil 5.1'de Muğla iline ait ve Şekil 5.2'de Çanakkale iline ait aylık ortalama rüzgar hızı ile elde edilen gücün değişim grafiği görülmektedir. Bu değerler denklem (5.5) yardımıyla hesaplanmıştır.

Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de ise her iki il için aylık kabul edilen ve hesaplanan değerler görülmektedir. Aylık ortalama rüzgar hızları, bakım ve işletim sırasındaki harcama masrafları, hesaplanan güç ve genişletilmiş ekserji verimleri bu tablolarda görülmektedir.

Şekil 5.1: Muğla iline ait rüzgar hızı ve elde edilen güç



Şekil 5.2: Çanakkale iline ait rüzgar hızı ve elde edilen güç



Tablo 5.1: Çanakkale ili için aylık hesaplanan değerler

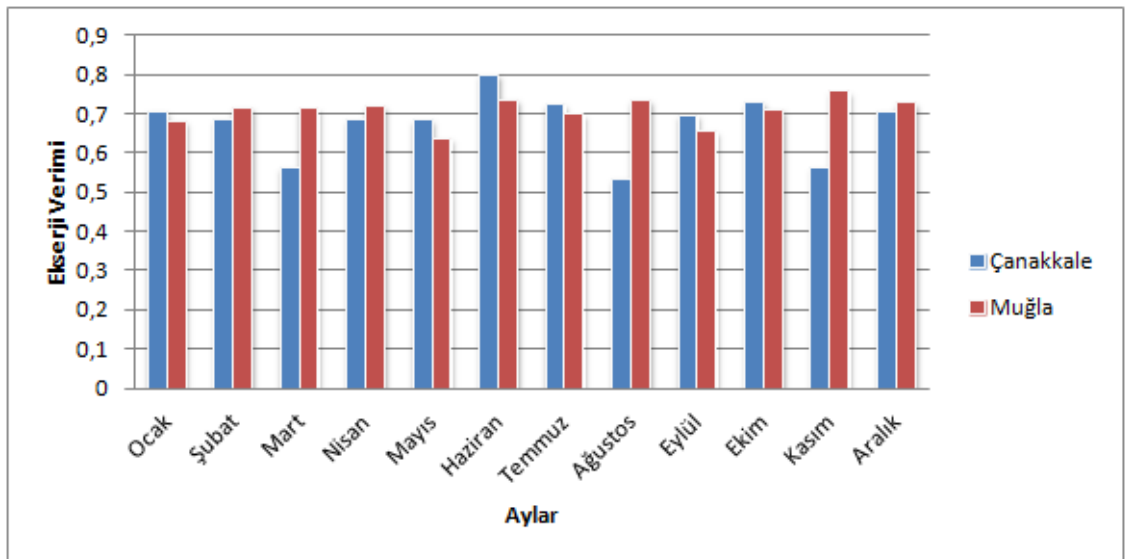
Ay	Nominal Güç(kW)	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Çalışan kişi sayısı	Üretilen CO ₂ miktarı	Aylık Masraf (USD)	Güç (W)	Güç (kW)	EEA verimi
Ocak	1455	8,6	3	-	44789,17	2056358,4	2056,358	0,707558
Şubat	1225	8,2	3	-	44789,17	1782563,5	1782,564	0,687209
Mart	800	7,6	3	-	44789,17	1419202,1	1419,202	0,563693
Nisan	479	6	3	-	44789,17	698324,4	698,3244	0,685918
Mayıs	479	6	3	-	44789,17	698324,4	698,3244	0,685918
Haziran	779	6,7	3	-	44789,17	972361,7	972,3617	0,801134
Temmuz	1200	8	3	-	44789,17	1655287,4	1655,287	0,724945
Ağustos	820	7,8	3	-	44789,17	1534218,7	1534,219	0,53447
Eylül	1200	8,1	3	-	44789,17	1718139,9	1718,14	0,698426
Ekim	1450	8,5	3	-	44789,17	1985455,8	1985,456	0,730307
Kasım	800	7,6	3	-	44789,17	1419202,1	1419,202	0,563693
Aralık	1455	8,6	3	-	44789,17	2056358,4	2056,358	0,707558

Tablo 5.2: Muğla ili için aylık hesaplanan değerler

Ay	Nominal Güç (kW)	Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Çalışan kişi sayısı	Üretilen CO ₂ miktarı	Aylık Masraf (USD)	Güç (W)	Güç (kW)	EEA verimi
Ocak	790	7,1	3	-	44789,17	1157120	1157,12	0,682723
Şubat	579	6,3	3	-	44789,17	808397,8	808,3978	0,716223
Mart	634,5	6,5	3	-	44789,17	887858	887,858	0,714633
Nisan	367	5,4	3	-	44789,17	509078,5	509,0785	0,720896
Mayıs	258	5	3	-	44789,17	404122,9	404,1229	0,638404
Haziran	465	5,8	3	-	44789,17	630793,8	630,7938	0,737155
Temmuz	250	4,8	3	-	44789,17	357542,1	357,5421	0,699199
Ağustos	247	4,7	3	-	44789,17	335658	335,658	0,735846
Eylül	372,5	5,6	3	-	44789,17	567763,6	567,7636	0,656071
Ekim	790	7	3	-	44789,17	1108913	1108,913	0,712403
Kasım	992,5	7,4	3	-	44789,17	1310082	1310,082	0,75758
Aralık	995	7,5	3	-	44789,17	1363915	1363,915	0,729512

Ayrıca Şekil 5.3'te Çanakkale ve Muğla illeri için genişletilmiş ekserji analizi veriminin aylara göre çubuk gösterimi görülmektedir.

Şekil 5.3: İki il için aylara göre genişletilmiş ekserji verimi gösterimi



Buna göre hesaplanan aylık genişletilmiş ekserji analizi verim değerleri yüzde 53 ile yüzde 80 arasında değişmektedir. Aylık verim değerlerinde her iki şehir Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında benzer özellikler gösterirken diğer aylarda değişen ortalama rüzgar hızı değerlerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'den de görüldüğü gibi aylık ortalama rüzgar hızı artıkça genişletilmiş ekserji veriminde düşüş meydana gelmektedir. Bunun nedeni yüksek hızlarda artan kinetik enerji kaybına bağlı olarak ekserji kaybının artmasıdır.

Elde edilen sonuçlarda; aynı zaman aralığında, aynı türbin tipinde ve aylık bakım ve onarım masraflarının aynı olduğu kabulüyle genişletilmiş ekserji analizi veriminin farklı değerlerde bulunması, ortalama rüzgar hızı parametresinin ve dolayısıyla rüzgar santrali kurulum yerinin seçiminde etkisini belirtmektedir. Saha seçiminde öncelikle yeterli rüzgar hızının olduğu bölgeleri tespit etmek gerekmektedir. Arazi yapısı ve pürüzlülük değerleri rüzgar hızını etkileyen en önemli faktörlerden biridir.

Sonuç olarak, ekserji analizi sistemlerin analiz edilmesinde ve kayıpların tespit edilmesinde kullanılabilir bir araçtır. Ekserji analizine ek olarak genişletilmiş ekserji analizinde, iş gücü ve çevresel etki gibi harici faktörler de hesaplara dahil edilir. Bu sayede enerji sistemleri tasarlanırken sadece verim açısından değil aynı zamanda çevresel ve ekonomik faktörleri de ele alarak sistemlerin sürdürülebilirliği sağlanabilir.

KAYNAKÇA

Kitaplar

- Bodvarsson, G. & Eggers, D.E., 1972. *The exergy of thermal water*. Geothermics Press
- Çengel, Y. A. & Boles, M. A. 1996. *Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik*. İstanbul McGraw-Hill - Literatür Yayıncılık
- Kula, E. 1997. *History of Environmental Economic Thought*. New York: Routledge Press
- Kılıçoğlu, P. 2005. *Türkiyenin çevre politikalarında sürdürülebilir gelişme*. Ankara: Turhan Kitabevi Yayınları.
- Palabıyık, H., 2005. *Sürdürülebilirlik ve Yerel Yönetimler: Uygulanabilirliği ve Ölçümü Üzerine. Yerel Yönetimler Üzerine Güncel Yazılar*. Ankara: Nobel Yayınları
- Ültanır, M.Ö., 1998. *21. Yüzyıla girerken Türkiye'nin enerji stratejisinin değerlendirilmesi*. İstanbul: TÜSİAD Yayını.

Süreli Yayınlar

- Cohce M.K., Dincer I., & Rosen M.A., 2011. Energy and exergy analyses of a biomass based hydrogen production system. *Bioresource Technology*. **102**, ss. 8466-8474.
- Dragan M., Uzuneanu K., Panait T. & Gelu C., 2009. Thermal systems and environmental engineering. 263-266.
- Hepbasli A. ve Ozgener O., 2004. A review on the development of wind energy in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **8**, ss.257–276.
- Najam, A. ve Cleveland, C., 2003. Energy and sustainable development at global environmental summits: an evolving agenda. *Environment, Development and Sustainability*. ss.17-138
- Ozgener, O., 2006, A small wind turbine system (SWTS) application and its performance analysis, *Energy Conversion and Management*, **47** (11-12), ss.1326-1337
- Sciubba E, ve Wall G., 2007. A brief commented history of exergy from the beginings to 2004. *International Journal of Thermodynamics*. **10** (1), ss.248-254.
- Seckin C., Sciubba E., & Bayulken A.E., 2012. An application of the extended exergy accounting method to the Turkish society, year 2006. *Energy*. **40**, ss.151-163.

Diğer Yayınlar

- Aksu, C., (2011). Sürdürülebilir Kalkınma ve Çevre. Güney Ege Kalkınma Ajansı Raporu. İzmir
- Başkut, Ö., (2010). Rüzgar Güç Tesislerinin Ekserji Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*. İzmir: Ege Üniversitesi. FBE
- BP, “*Statistical Review of World Energy*”, 2011.
- Demircioğlu, C., (2003) Türkiye İçin Sürdürülebilir Enerji Çevre Politikaları. *Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Ankara Üniversitesi. SBE
- Devlet Planlama Teşkilatı. 2001. *VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik (Enerji Hammaddeleri: Petrol-Doğal Gaz) Özel İhtisas Komisyonu Raporu*. Ankara.
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. 2003. *2002 Türkiye Enerji Raporu*. Ankara
- Devlet Planlama Teşkilatı. 2001. *VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik (Enerji Hammaddeleri: Petrol-Doğal Gaz) Özel İhtisas Komisyonu Raporu*. Ankara.
- Devlet Planlama Teşkilatı. 2001. *VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik (Enerji Hammaddeleri: Kömür) Özel İhtisas Komisyonu Raporu*. Ankara.
- Devlet Planlama Teşkilatı. 2001. *VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik (Enerji Hammaddeleri: Jeotermal Enerji) Özel İhtisas Komisyonu Raporu*. Ankara.
- Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü. 2006. *Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası Raporu*. Ankara
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, Lisans Verileri, 2012, <http://www.epdk.gov.tr/> [erişim tarihi 10 Şubat 2013].
- Filiz, Ç., (2012). Bir Buhar Kazanının Enerji ve Ekserji Analizi Yoluyla Performansının Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Karabük: Karabük Üniversitesi. FBE
- International Energy Agency. 2012. *Statistics, Electricity Information*. Paris.
- International Energy Agency. 2012. *Worldwide Look at Reserves and Production*. Oil & Gas Journal.
- International Energy Agency. 2004. *Key World Energy Statistics*. Paris.
- International Energy Agency. 2004. *World Energy Outlook*
- Karadaş, F. (2008). Sürdürülebilir Kalkınma Çereçevesinde Türkiye’de Enerji Sektörü ve Politikaları. *Yüksek Lisans Tezi*. Gaziantep: Gaziantep Üniversitesi SBE.

- Kaymak, M.K., (2011) İstanbul İklim Şartlarında Rüzgar ve Güneş Sistemlerinin Modellenmesi ve Ekserji Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi. FBE
- Tavman, İ. H., Gökçeda'nın Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgar Enerjisi ile Karşlanması, Türkiye 10. Enerji Kongresi, 2006, DEKTMK
- Türkiye Çevre Sorunları Vakfı. 1989. *Ortak Geleceğimiz*. Ankara.
- Teke, O., (2012). Türkiye'de Yenilenebilir Enerjinin Mevcut Durumu ve Ar-Ge Çalışmaları. *Yüksek Lisans Tezi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi FBE.
- Tezekici, s. (2005). Türkiye'de Enerji Sektörü ve Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu. *Doktora Tezi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi SBE.
- The RETScreen International Clean Energy Project Analysis Software Copyright of the Minister of Natural Resources Canada (1997 - 2012)
- Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, 2013. *Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu*. Ankara
- Us, A.T. (2001). Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımı ve İşletme Politikalarına Etkisi. Türkiye Kalite Derneği, 2013.
- Yaylalı, B. (2009). Sürdürülebilir Kalkınma Sürecinde İklim Değişikliği, Diğer Çevre Sorunlarıyla Etkileşimi ve Türkiye Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Çevre Anabilim Dalı.