

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANAN BİR EVİN EKSERJETİK
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ

SEFA YALÇIN

Ocak 2012

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANAN BİR EVİN EKSERJETİK
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ

SEFA YALÇIN

Yüksek Lisans Tezi

Birinci Danışman

Doç. Dr. Yüksel KAPLAN

İkinci Danışman

Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ

Ocak 2012

091907003 numaralı Sefa YALÇIN tarafından Sayın Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ ve Sayın Doç. Dr. Yüksel KAPLAN danışmanlığında hazırlanan “Yenilenebilir Enerji Kullanan Bir Evin Ekserjetik Sürdürülebilirlik Analizi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ / Rize Üniversitesi



Üye : Doç. Dr. Yüksel KAPLAN / Niğde Üniversitesi



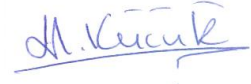
Üye : Doç. Dr. Afşin GÜNGÖR / Niğde Üniversitesi



Üye : Yrd. Doç. Dr. Yahya Erkan AKANSU / Niğde Üniversitesi



Üye : Yrd. Doç. Dr. Haydar KÜÇÜK / Rize Üniversitesi



ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından .../.../20... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun .../.../20... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Osman SİVRİKAYA
MÜDÜR

ÖZET

YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANAN BİR EVİN EKSERJETİK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ

YALÇIN, Sefa

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yüksel KAPLAN

İkinci Danışman: Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ

Ocak 2012, 36 sayfa

Çalışmanın amacı, yenilenebilir enerji kaynağı kullanan bir evin (Dubleks ev, hidrojen üretim sistemi, güneş pili sistemi, rüzgâr türbini sistemi, dizel bir araç) ekserjetik sürdürülebilirlik parametrelerinin geliştirilmesi ve bu parametreler yardımıyla, fosil ve yenilenebilir enerji kaynağı kullanan evlerin çevresel sürdürülebilirlik farklılıklarının karşılaştırılmasıdır. Tez çalışması kapsamında, fosil enerji kaynağı kullanan eve entegre edilen saatte 22 kW güç üretim kapasiteli rüzgâr türbini ve saatte 1 kW güç üretim kapasiteli güneş pili (PV) sistemi ile evin tüm enerji ihtiyacı yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Ayrıca, evde kullanılan aracın yakıtı, evin bünyesinde kurulan PEM elektrolizör yardımıyla üretilen hidrojen ile karşılanmaktadır. Bu çerçevede, fosil enerji ve yenilenebilir enerji kullanan ev modellerinin her biri için aşağıdaki ekserjetik sürdürülebilirlik parametreleri hesaplanmıştır; ekserji verimi, atık ekserji oranı, ekserji geri kazanılabilirlik oranı, ekserji yıkım oranı, çevresel etki faktörü ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi.

Sonuç olarak; fosil enerji kullanan evin çevresel etki faktörü 3.56, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 0.28 iken, yenilenebilir enerji kullanan evin çevresel etki

faktörü 1.25, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ise 0.8 olarak hesaplanmıştır. O halde, yenilenebilir enerji kullanan evin çevre dostu bir model olduğu söylenebilir. Ayrıca, ekserjetik sürdürülebilirlik parametreleri sistemlerin çevresel, enerji ve sürdürülebilirlik bakımından karşılaştırılması olanağı sağlamaktadır.

Anahtar sözcükler: Rüzgar, Güneş, Hidrojen, Enerji, Ekserji, Sürdürülebilirlik, Atık ekserji oranı, Çevresel etki faktörü, Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi

SUMMARY

EXERGETIC SUSTAINABILITY ANALYSIS OF A HOUSE UTILIZING RENEWABLE ENERGY

YALÇIN, Sefa

Nigde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Yüksel KAPLAN

Co - Advisor: Prof. Dr. Adnan MIDİLLİ

January 2012, 36 pages

The purpose of this study is to develop exergetic sustainability parameters which meets the energy need and supplies hydrogen production of a house (Duplex house, hydrogen production system, PV system, wind turbine system, vehicle) utilizing renewable sources. Within this study, the energy requirement of the house is totally provided from renewable resources with the use of a wind turbine that has 22 kW power production capacity and a solar battery system that has 1 kW power production capacity which are integrated to fossil resources system. Moreover, with the PEM electrolyzer system established within the house to terminate the dependency on fossil fuels completely, production of Hydrogen becomes possible and the fuel of the car is obtained from the same source. In this respect, for both systems, the following exergetic sustainability parameters are calculated: exergy efficiency, waste exergy ratio, exergy recoverability ratio, exergetic destruction ratio, and environmental impact factor and exergetic sustainability index.

As a consequence, whereas the environmental impact factor and the exergetic sustainability index of the house utilizing fossil energy are calculated to be 3.56 and 0.28; those of the house utilizing renewable energy are estimated to be 1.25 and 0.8.

Thus, it can be said that the house utilizing renewable energy is an environmentally friendly model. Moreover, exergetic sustainability parameters contribute to compare the systems in terms of environment, energy and sustainability.

Keywords: Wind, Solar, Hydrogen, Energy, Exergy, Sustainability, Waste exergy ratio, Environmental impact factor, Exergetic sustainability index,

ÖNSÖZ

Yapılan bu çalışma, değerli danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ nezaretinde ve Sayın Doç. Dr. Yüksel KAPLAN hocamın katkıları ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada tüm enerji ihtiyacı fosil enerji kaynakları (Rüzgar, Güneş) kullanılarak karşılanan bir ev, enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynakları yardımıyla karşılanması durumunda, ekserjetik sürdürülebilirlik bakımından değerlendirilmiştir. Evin ekserjetik sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için üretilen fazla elektrik şebekeye aktarılmıştır. Bunun yanı sıra fosil enerji kaynağı kullanan ev ile yenilenebilir enerji kaynağı kullanan evin ekserjetik sürdürülebilirlik parametreleri geliştirilmiş ve evler arasındaki ekserjetik sürdürülebilirlik farklılıkları ortaya konulmuştur. Bu bağlamda yapılan bu çalışmanın, akademik anlamda bir model oluşturmak ile birlikte, daha büyük boyutlardaki endüstriyel uygulamalara da bir model teşkil edeceği ve ileride yapılacak teorik ve uygulamaya yönelik çalışmalara katkı koyacağı beklenmektedir.

TEŞEKKÜR

Yapılan bu çalışma kapsamında bilgi ve birikimlerini esirgemeyen bilimselliğin temel esaslarını bana öğreten danışman hocam Sayın Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ' ye ve tez çalıŐmam süresince katkı sağlayan danıŐmanım Sayın Doç. Dr. Yüksel KAPLAN' a sonsuz teŐekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

ÇalıŐmalarımda beni yönlendiren ve bilimsel destek veren saygıdeğer hocam Prof. Dr. İbrahim DİNÇER ve Prof. Dr. Yunus A. ENGEL hocalarıma sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

AraŐtırmalarım süresince emeklerini esirgemeyen ve bana destek olan Sayın Öğr. Görevlisi Yük. Müh. Mert ÖZSABAN' a, ve Öğr. Gör. Yük. Müh. Selçuk İNAÇ' a teşekkür ederim.

Tez alıŐması süresince teknik destek sağlayan Rize Üniversitesi ve Niğde Üniversitesi akademik ve idari personeline teşekkür ederim.

Ayrıca, maddi manevi desteklerini üzerimden hiç eksik etmeyen aileme sonsuz teŐekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	iii
SUMMARY.....	v
ÖNSÖZ.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER DİZİNİ.....	xiii
BÖLÜM I GİRİŞ.....	1
1.1 Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi.....	2
BÖLÜM II GENEL BİLGİLER.....	4
2.1 Literatür Araştırması.....	4
2.1.1 Rüzgâr türbinleri.....	4
2.1.2 Güneş pili sistemleri.....	4
2.1.3 Hidrojen enerjisi.....	5
2.1.4. Elektroliz yöntemi ile hidrojen üretimi.....	6
2.1.5 Ekserji.....	8
2.1.6 Sürdürülebilirlik ve sürdürülebilirlik parametreleri.....	8
2.1.7 Rüzgâr enerjisi destekli hidrojen üretimi konusunda yapılan çalışmalar.....	9
BÖLÜM III YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	11
3.1 Fosil Enerji Kaynağı Kullanan Model Ev.....	11
3.1.1 Model evin özellikleri.....	11
3.2 Yenilenebilir Enerji Kaynağı Kullanan Model Ev.....	12
3.3 Ekserjetik Sürdürülebilirlik Parametrelerinin Geliştirilmesi.....	13

3.3.1 Fosil enerji kaynağı kullanan ev için ekserjetik sürdürülebilirlik parametrelerinin geliştirilmesi.....	13
3.3.2 Yenilenebilir enerji kaynağı kullanan ev için ekserjetik sürdürülebilirlik parametrelerinin geliştirilmesi	16
3.4 Yapılan Hesaplamalar.....	19
3.4.1 Yapılan kabuller.....	19
3.4.2 Sistemde kullanılan PEM elektrolizörün tayini.....	20
3.4.3 Rüzgar türbini sisteminin tayini	21
3.4.4 PV sisteminin tayini.....	22
3.4.5 Fosil enerji kaynağı kullanan evin ekserjetik sürdürülebilirlik parametrelerinin hesaplanması	23
3.4.6 Yenilenebilir enerji kaynağı kullanan evin ekserjetik sürdürülebilirlik parametrelerinin hesaplanması.....	27
BÖLÜM IV BULGULAR VE TARTIŞMA	30
4.1 Fosil Enerji Kaynağı Kullanan Ev İçin Tablo Değerleri	30
4.2 Yenilenebilir Enerji Kaynağı Kullanan Ev İçin Tablo Değerleri.....	31
BÖLÜM V SONUÇLAR	32
KAYNAKLAR	33

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1	Hidrojenin tarihsel gelişimi.	5
Çizelge 2.2	Elektrolizör çeşitleri ve özellikleri.	7
Çizelge 3.1	Kullanılan PEM elektrolizörün özellikleri.	21
Çizelge 3.2	Ortalama rüzgâr hızına göre güç üretim kapasitesi.	22
Çizelge 3.3	Evin bulunduğu bölgede aylara göre ortalama radyasyon değeri ve güneşlenme süreleri.	23

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1	Fosil enerji kaynağı kullanan ev.	11
Şekil 3.2	Yenilenebilir enerji kaynağı kullanan ev.	12
Şekil 3.3	Tek aşamalı hidrojen gaz sıkıştırma ve depolama sisteminin depo basıncına bağlı değişimi.	20
Şekil 4.1	Fosil enerji kaynağı kullanan ev için ekserjetik sürdürülebilirlik parametreleri.	30
Şekil 4.2	Yenilenebilir enerji kaynağı kullanan ev için ekserjetik sürdürülebilirlik parametreleri.	31
Şekil 5.1	Fosil ve yenilenebilir enerji kaynağı kullanan sistemler için ekserjetik sürdürülebilirlik parametreleri.	32

SİMGELER DİZİNİ

YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
PEM	Proton Değişimli Membran
η_{ek}^{sis}	Ekserjetik verim
$\gamma_{aéo}^{sis}$	Atık ekserji oranı
$\gamma_{gkó}^{sis}$	Ekserji geri kazanılabilirlik oranı
$\gamma_{eyó}^{sis}$	Ekserji yıkım oranı
$f_{çevre}^{sis}$	Çevresel etki faktörü
Θ_{esi}^{sis}	Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi
PV	Fotovoltaik
RT	Rüzgâr Türbini
$\dot{W}_{gşg}$	Güneş pili sisteminden şebekeye aktarılan enerji (kWh)
$\dot{W}_{rşg}$	Rüzgar türbini sisteminden şebekeye aktarılan enerji (kWh)
$\dot{W}_{şá}$	Şebekeden geri alınan enerji (kWh)

BÖLÜM I

GİRİŞ

Toplumun refahını arttıran, ekonomik büyümeyi sağlayan temel girdilerin başında enerji gelmektedir. Bir ülkenin yaşam standardı kullandığı enerji ile orantılı olmaktadır. Tüm ülkeler, özellikle gelişmiş ülkeler, yaşam standartlarını arttırmak için enerji kullanımına bağlı olarak enerji üretimlerini arttırmaya çalışmaktadır. Fosil enerji kaynakları en yaygın kullanılan enerji kaynaklarıdır. Başka bir deyişle enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan sağlanmaktadır [1].

Türkiye’de yaygın olarak kullanılan fosil enerji kaynakları; taşkömürü, linyit, petrol ve doğalgazdır. Fosil enerji kaynakları hem ömürlerinin giderek azalması hem de çevreye vermiş oldukları zararlardan dolayı önemlerini gün geçtikçe kaybetmektedirler. Yenilenemeyen enerji kaynakları adını da alan bu doğal kaynaklar açısından Türkiye dünya rezervlerinin sadece %5’ine sahiptir [2]. Yerel ve yenilenebilir doğal zenginlikler konumunda olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hem ülkesel hemde küresel ölçekte arz güvenliği için büyük önem taşımaktadır. Böylece dünyada sınırlı olan fosil yakıt rezervleri tükenmekten olabildiğince korunmuş olacaktır [3].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr, en basit ifade ile havanın hareketinin bir sonucudur. Rüzgar, yönü ve şiddeti ile tanımlanır. Rüzgar hızı ölçümleri genellikle analog veya sayısal anemometreler yardımıyla yapılmaktadır. Bunlar arasında kupa anemometre, pervane tipli anemometre veya ultrasonik anemometre gibi farklı çeşitleri bulunmaktadır [4]. Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisine dönüşüm, yenilenebilir enerji teknolojilerinin en ileri ve ticari uygulanması mevcut olanıdır. Rüzgâr enerjisi, tamamen doğal bir kaynak olarak kirliliğe neden olmayan ve tükenme olasılığı bulunmayan bir enerji kaynağıdır. [5].

Dünyanın güneşten aldığı ışık enerjisi, yaklaşık olarak $1,7 \times 10^{14}$ kW enerjiye eşittir. 1 m² alanın öğle vaktinde direkt olarak maruz kaldığı güneş ışığı enerjisi 1 kW enerji değerindedir [6]. Güneş enerjisi yoğunluğunun, yaz, kış, gece, gündüz ve hatta günün değişik saatlerinde belirli bir bölgede farklı olması nedeniyle, güneş enerjisinden farklı

şekilde yararlanmak mümkün görünmektedir. Bunlar sırasıyla; güneşin fotoelektrik etkisinden, orbital enerjisi şeklinde ve biyolojik kimyasal etkisinden yararlanmadır [7].

Sürdürülebilir kalkınmanın, ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarda temel unsuru olan sürdürülebilir enerji ve teknolojilerinin gereksinimi; dünya nüfusunun, teknolojik gelişmelerin ve yaşam standartlarının gün geçtikçe yükselmesi ile birlikte giderek artmaktadır [8]. Midilli'ye göre sürdürülebilirlik, mevcut sürdürülebilir kaynaklardan faydalanarak gelecek nesiller için insanlığa ve doğaya zarar vermeyen bilgi, ürün, teknoloji geliştirmek ve sunmaktır [9]. Ekserjetik sürdürülebilirlik yaklaşımı, bir sistemin çevreye olan etkisini ekserjiye bağlı formüllerle inceler. Sistemler ister geleneksel ister yeni teknoloji ürünü olsun her sistemin doğaya belli ölçüde zararı vardır. Sürdürülebilirlik analizinde sistemlerin çevreye olan bu etkileri incelenmektedir [10]. Bir sistemin çevreye ve kullandığı enerji kaynağına uyumlu olup olmadığını belirlemek için ekserjetik sürdürülebilirlik analizinin yapılması gerekir. Bir sistemin verimliliğinin artırılabilmesi, küresel ısınmaya neden olabilecek çevresel etkilerinin belirlenebilmesi ve bu etkilerin minimum düzeye indirilebilmesi için ekserji ve sürdürülebilirlik analizlerinin yapılması gerekmektedir [11].

1.1 Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi

Yapılan tez çalışmasının amacı, yenilenebilir enerji kaynağı kullanan bir evin (Dubleks ev, hidrojen üretim sistemi, güneş pili sistemi, rüzgâr türbini sistemi, dizel bir araç) ekserjetik sürdürülebilirlik parametrelerinin geliştirilmesi ve bu parametreler yardımıyla, fosil ve yenilenebilir enerji kaynağı kullanan evin çevresel sürdürülebilirlik farklılıklarının karşılaştırılmasıdır.

Bu tez çalışması kapsamında materyal olarak elektrik enerjisi üretimi için 1 adet 7.5 m/s rüzgâr hızında saatte 22 kW güç üretimi yapan bir rüzgâr türbini, 2.16 kWh/m² x gün güneş radyasyon dağılımında saatte 1 kW güç üretim kapasiteli 15,95 m² güneş pili sistemi ve 1 adet saatte 0.16128 kg H₂ üretim kapasiteli PEM elektrolizör model olarak seçilmiştir.

Tez çalışmasında metod, mevcut sistemin yenilenebilir enerji kaynakları kullanabilecek şekilde tasarlanması ve ekserjetik sürdürülebilirlik parametrelerinin geliştirilmesini içermektedir. Bu kapsamda sistemin tasarımı yapılmış ve ekserjetik sürdürülebilirlik

parametreleri hesaplanarak, fosil enerji kaynağı kullanan ev ile yenilenebilir enerji kaynağı kullanan evin ekserjetik sürdürülebilirlik karşılaştırılması yapılmıştır.

Bu tez çalışmasının aşağıda sıralanan bilimsel, endüstriyel, teknolojik ve akademik yararları sağlayacağı tahmin edilmektedir;

- Farklı türde enerji kaynaklarını ve teknolojilerini kullanan bir evin ekserjetik sürdürülebilirlik parametrelerinin geliştirilmesi konusunda yapılan akademik ve bilimsel nitelikli orijinal bir çalışma olması,
- Farklı fosil yakıtlarla beslenen evlerde yenilenebilir enerjinin entegre edilmesi durumunda ekserjetik sürdürülebilirlik kazanımları ortaya koyması,
- Fosil kaynaklı sistemlerin alternatifi olarak veya kısmen yerine kullanılacak yenilenebilir enerji destekli sistemlerin uygulanabilirliği konusunda hem bilimsel anlamda hem de endüstriyel anlamda bir örnek çalışma olması,
- Farklılığını, oluşturulan entegrasyon ünitesinden alan bu parametrik çalışmanın gelecekte yapılması düşünülen deneysel çalışmalara bir referans oluşturması,
- Fosil ve yenilenebilir enerji ile beslenen bir evin ekserjetik sürdürülebilirlik parametrelerinin en kapsamlı bir şekilde geliştirilerek literatüre kazandırılmış olması çalışmanın orijinalitesini açıkça ortaya koymaktadır.

BÖLÜM II

GENEL BİLGİLER

2.1 Literatür Araştırması

Bu tez çalışması kapsamında yapılan literatür araştırması, rüzgâr türbinleri, güneş pili sistemleri, PEM elektrolizör, hidrojen enerjisi ve üretim yöntemleri, ekserji, ekserjetik sürdürülebilirlik parametreleri, konularını içerir.

2.1.1 Rüzgâr türbinleri

Kullanımdaki rüzgâr türbinleri boyut ve tip olarak çeşitlilik göstermektedirler. Genel olarak türbinler, dönme eksenine, rüzgar akış yönüne ve rüzgar hızına göre sınıflandırılabilir. Bu konuda literatürde detaylı bilgiler mevcuttur [12].

Rüzgâr türbini genel olarak

1. Kanatlar
2. Rotor
3. Kanat Döndürme Mekanizması
4. Fren
5. Düşük Hız Şaftı
6. Dişli Kutusu
7. Jeneratör
8. Kontrol Kutusu
9. Anemometre
10. Yüksek Hız Şaftı
11. Rota Motoru
12. Kule

kısımlarından oluşmaktadır [13].

2.1.2 Güneş pili sistemleri

Güneş pilleri, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklerdir. Güneş pili geniş alanlı bir yarı iletken pn diyottur. Yarı iletkene giren ışığın yeterli düzeyde enerji taşıyan fotonlarının, kristalin n ve p bölgelerinde serbestleştirdikleri yük

taşıyıcılar, diyotun pn eklemesinde oluşan elektrik alanı etkisiyle ayrı kalarak diyot uçları arasında bir gerilim oluşturur. Diyot uçları bir iletkenle birleştirilerek yüklendiğinde ise diyottan akım çekilir [14].

2.1.3 Hidrojen enerjisi

Hidrojen evrende en çok bulunan ve çevreye en uygun elementtir ve doğada bileşik halinde çok yaygındır. Örneğin, su içinde hidrojen oksijen ile bileşik halindedir ve suyun %11,2' sini hidrojen oluşturmaktadır. Bunun yanında kil ve mineraller genellikle oksijenle birleşmiş halde önemli ölçüde hidrojen içerirler [15]. Hidrojenin tarihsel gelişimi Çizelge 2.1' de kronolojik olarak sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Hidrojenin tarihsel gelişimi [15].

Tarih	Bilim Adamı	Destek
16. Yüzyıl	Paracelsus	Hidrojen gazının tabiatı ortaya çıkarılmış
16. Yüzyıl	Van Helmot	Hidrojen havanın özel bir türü olarak tanımlanmış.
1671	Robert Boyle	Demir tozu + Seyreltik asit reaksiyonunda hidrojene rastlanmıştır
1766	Henry Cavandish	Hidrojen gazının özellikleri tanımlanmıştır
1783	Lavoisier	Hidrojen gazının adı verilmiştir
1820	Anonim	Hidrojenin yenilenebilir enerji olarak kullanılma fikri doğmuştur
1911	Carl Bosch	Hidrojen gübre üretiminde kullanılmış
1970	Enstitüler	Hidrojen enerji taşıyıcısı olarak düşünülmüştür
1974	T. Nejat Veziroğlu	Çağdaş boyutta hidrojen enerjisi kullanılmaya başlanmıştır ve ilk defa uluslararası arenada tartışılmış

Yalnızca bir proton ve bir elektrondan oluşan ve periyodik tablonun başında yer alan hidrojen, en hafif elementtir. Hidrojen evrendeki en bol bulunan elementlerden biridir. Rensiz, kokusuz, tatsız ve zehirsiz özelliklere sahip hidrojen, içten yanmalı motorda yakıldığında neredeyse hiç zararlı emisyon açığa çıkarmaz ve tek yan ürün sudur. Evrendeki en bol bulunan element olmasına karşın, hidrojen gezegenimizde saf halde bulunmamaktadır. Hidrojen, suda oksijenle birleşik olarak ve fosil yakıtlarda ve sayısız hidrokarbon bileşiklerde, karbon ve diğer elementlerle birleşik halde bulunmaktadır [11].

Hidrojen enerjisinin avantajları [16,17];

Hidrojen aşağıda sıralandığı gibi çeşitli avantajlara sahip ideal bir enerji taşıyıcısıdır.

- Hidrojen, toksit içermez yüksek özgül enerji taşıyıcısıdır. (9,5 kg hidrojen 25 kg benzine eşdeğerdir)
- Hidrojen, bazı fosil yakıtlar yardımıyla, suyun elektrolizi ile, doğrudan ya da dolaylı olarak termokimyasal ayrıştırma ile ve güneş ışığı yardımı ile birçok üretim prosesinde oluşturulabilir
- Hidrojen borular ile güvenli bir şekilde taşınabilir.
- Hidrojen, temiz sürdürülebilir enerji sistemlerinde petro kimyasal, gıda, mikro elektronik, demir ve demir olmayan metaller, kimyasal ve polimer bileşim ve metalürjik endüstri proseslerinde kimyasal bir hammadde olarak avantajlı bir şekilde kullanılabilir.
- Hidrojen yakıldığı zaman zehirli egzoz emisyonları üretmez.
- Elektriğe oranla, hidrojen daha uzun sürelerde depolanabilir.

Hidrojen enerjisinin dezavantajları [16,17];

- Doğada son derece bol olmasına karşın enerji üretiminde kullanılan hidrojen gazının son derece saf olması gerekir. Saflaştırma işlemi maliyeti arttıran en önemli süreçtir. Bu nedenle saf hidrojen üretiminin maliyeti petrol ve doğalgaza göre yaklaşık 4 kat daha yüksektir. İlave olarak, hidrojen ile çalışan yakıt hücreleri içten yanmalı motorlardan 10 kez daha pahalıdır,
- Hava ile karıştığında düşük yoğunluklarda yanabilir ve güvenlik sorunlarına neden olabilir.
- Hidrojeni sıvı formda depolamak zordur çünkü hidrojeni sıvılaştırmak için oldukça düşük sıcaklıklara gereksinim vardır.
- Hidrojen enerjisinden yararlanırken uygulamada birtakım zorluklarla karşılaşmaktadır. Örneğin, enerjinin üretildiği yakıt hücreleri ve hidrojenin depolandığı tankların hacmi geniş yer kaplamaktadır.

2.1.4. Elektroliz yöntemi ile hidrojen üretimi

Elektroliz, bilinen en eski hidrojen üretim yöntemlerinden biridir ve yenilenebilir enerji kaynakları ile entegrasyonu, son yıllarda kaydedilen teknolojik gelişmelerle mümkün gözükmektedir. Suyun doğru akım kullanarak hidrojen ve oksijenlerine ayrılması

işlemine elektroliz denmektedir . Suyun elektrolizi için normal basınç ve sıcaklıklarda 1.23 volt yeterlidir. Tepkimenin yavaş olması ve elektroliz işlemi sırasında meydana gelen dirençlerden dolayı elektroliz işlemi için daha fazla gerilime ihtiyaç vardır. Hidrojen üretim hızı, gerçek akım şiddeti ile orantılı olduğundan, ekonomik nedenlerle yüksek akım yoğunlukları yeğlenmektedir. Bundan dolayı pratikte suyun ayrışması için hücre başına uygulanan gerilim 2 volt dolayındadır. Bir elektroliz düzeneğinde ayrıştırılan elementlerin miktarı, devreden geçen yük miktarı ile doğru orantılıdır [11]. Çizelge 2.2' de çeşitli elektrolizör çeşitleri ve özellikleri detaylı olarak bulunmaktadır.

Çizelge 2.2 Elektrolizör çeşitleri ve özellikleri [18].

	Katot Malzemesi	Anot Malzemesi	Ayrıştırma Aracı	Elektrolit	Çalışma Sıcaklığı
Geleneksel Alkaline Elektrolizör	Çelik veya Nikel	Nikel	Asbestos	% 25-35 KOH	50 – 60 °C
Geliştirilmiş Alkaline Elektrolizör	Aktive Edilmiş Nikel	Aktive Edilmiş Nikel	Aktive Edilmiş Nikel	Polimer Takviyelendirilmiş Asbestos	80 – 100 °C
PEM elektrolizör	Pt,Ir,Ru Kaplama	Pt kaplama	Proton Geçirgen Membran	Ayrıştırıcı Katı Elektrolit	70 – 90 °C
Solid Oksit Elektrolizör	Nikel Zirkonyum	Platinyum Noktalar	—————	Katı Seramik Elektrolit	800 – 1000 °C

Alkaline elektrolizörün genel çalışma koşulları aşağıda gösterildiği gibidir [19],

- Kullanılan zar: NiO (20-40 % KOH)
- Çalışma sıcaklığı: 70, 90 °C
- Çalışma basıncı (yüksek basınçlarda): 7-30 bar
- Hidrojen üretim kapasitesi: 1-760 Nm³/saat

Elektrolizör; hidrojen gazı üretmek için suyun elektrolizini kolaylaştıran bir alettir. En çok kullanılan elektrolizörler alçak basınçta hidrojen oluşturur ve sıvı bazik bir

elektrolit kullanır (KOH veya NaOH). Bu basınçlarda hidrojenin depolanması aşırı derecede büyük kaplar gerektirir.

2.1.4.1 PEM elektrolizör sistemi

PEM elektrolizör, potansiyel olarak hidrojeni oluşturmak, sıkıştırmak ve depolamak için basit ve dayanıklı olan etkili bir teknolojidir ve çalışma prensibi olarak yakıt pilinin tam tersi olarak düşünülebilir Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak hidrojen üretiminde en yaygın kullanılan elektrolizör tipidir. Bunun nedeni PEM elektrolizörlerin geniş akım yoğunluklarında ve düşük çalışma sıcaklıklarında çalışabilmesidir. [20].

2.1.5 Ekserji

Dinçer' e göre bir enerji şeklinin ya da maddenin ekserjisi, onun çevre üzerinde değişim yapabilme potansiyeli, kalitesi ya da kullanılabilirliğinin bir ölçüsüdür [21].

2.1.6 Sürdürülebilirlik ve sürdürülebilirlik parametreleri

Dinçer ve arkadaşları (2011) tarafından yapılan çalışma kapsamında PEM yakıt pili, Doğrudan Methanol Yakıt Pili gibi farklı türdeki yakıt pillerinde sürdürülebilirlik parametrelerinin geliştirilerek hidrojen yakıt pillerinde sürdürülebilirliğin önemi ortaya konulmuştur [22].

Hidrojen üretim sistemlerinin sürdürülebilirliği kapsamında bir çalışma Tugnoli ve arkadaşları (2008) tarafından metan buhar reforming'i ile hidrojen üretiminin sürdürülebilirliğinin belirlenmesi kapsamında yapılmıştır [23].

Başka bir çalışmada Onat ve Bayar (2010) tarafından güç üretim sistemlerinin sürdürülebilirlik indikatörleri incelenmiş ve sürdürülebilirlik analizi kapsamında birim enerji maliyeti, karbondioksit emisyonu, kaynakların bulunabilirliği, verimlilik, taze su kaynaklarının tüketimi, sistemin kurulacağı yer kullanımı ve sosyal etkileri incelenmiştir [24].

Midilli ve arkadaşları (2005) yapmış oldukları bir çalışma ile sürdürülebilir gelişimde yeşil enerjinin önemini vurgulamış ve sürdürülebilir gelişim için yeşil enerji teknolojilerinde gerekli olan faktörleri belirlemiştir [25].

Ekserjetik sürdürülebilirlik parametreleri konusunda önemli bir çalışma Midilli ve Dinçer tarafından (2009) yapılmıştır. Çalışma kapsamında PEM yakıt hücrelerinin çevresel etki ve sürdürülebilir gelişimi ile bağlantılı ekserjetik parametreler

geliştirilmiştir. Geliştirilen bu parametreler, ekserjetik verimlilik, atık ekserji oranı, yeniden kullanılabilir atık ekserji oranı, tekrar kullanılamaz atık ekserji oranı, ekserji yıkım faktörü, çevresel yıkım katsayısı, çevresel yıkım indeksi, çevresel uyumluluk indeksi, ekserjetik denge faktörü ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi gibi sürdürülebilirliği ekserjetik açıdan irdeleyen faktörlerdir [26].

Midilli ve arkadaşları (2011) kapalı devre balık üretim çiftliği için ekserjetik sürdürülebilirlik parametrelerini geliştirmişlerdir [9].

Küçük ve arkadaşları (2009) kapalı devre balık yetiştiricilik sisteminin her bir ünitesinin ekserjetik performansını değerlendirmiştir [27].

Sürdürülebilirlik parametrelerinin geliştirilmesinde yapılan bir diğer çalışmada Özsaban (2009) yüksek basınçlarda hidrojen depolama işlemlerinin aşamalarını detaylı bir şekilde ortaya koymuştur. Hidrojenin sıkıştırılması işleminde tek aşamalı ve dört aşamalı sıkıştırma ve depolama aşamalarının termodinamik modellenmesi ve enerji sürdürülebilirlik analizi yapılmıştır [10].

İnaç (2009) hidrolik enerji destekli çalışma basıncı 1-200 bar, çalışma sıcaklığı 70-80°C olan bir PEM elektrolizör sisteminin termodinamik modellemesi ve Ekserjetik sürdürülebilirlik parametrelerinin geliştirilmesini ortaya koymuştur [11].

2.1.7 Rüzgâr enerjisi destekli hidrojen üretimi konusunda yapılan çalışmalar

Gökçek (2010) yapmış olduğu bir çalışmada, Kırklareli şartlarında 36 m yükseklikte 6 kW kapasiteli bir rüzgar türbini ile 2 kW kapasiteli bir PEM elektrolizör kullanarak ortalama 15,148.6 kWh/yıl elektrik enerjisi ile 102,37 kg/yıl hidrojen üretimi sağlamıştır. Tasarlanan sistemde maksimum elektrik enerjisi üretimi 1574,76 kWh ile kış döneminde; minimum elektrik üretimi ise 924,35 kWh ile yaz döneminde gerçekleşmiştir [28].

Granovskii ve arkadaşları (2007) 6 MW kapasiteye sahip bir rüzgar santralinde %72 verimle çalışan bir elektroliz sistemi ile hidrojen üretiminin ekserjetik değerlendirmesini yapmışlardır. Elektriğin taşınımı sırasındaki kayıpların %7 olduğu kabul edilirse hidrojen üretiminin verimi %66.9 olmaktadır. Bu nedenle 6 MW'lık bir santrale entegre edilen elektroliz sistemi ile 3.93 MJ^s⁻¹ ekserji değerinde hidrojen üretimi gerçekleştirilebilir [29].

Dinçer (2011) yapmış olduğu bir çalışma ile hidrojen üretiminde kullanılabilir yenilenebilir kaynakları ayrıntılı bir şekilde belirtmiş ve bu kaynakları kullanarak hangi üretim metotlarının uygulanabileceğini ortaya koymuştur. Hidrojen üretimi konusunda kapsamlı bir bilgi veren bu çalışma yenilenebilir destekli hidrojen üretimi konusunda yol gösterici bir çalışma olmuştur [30].

Engel ve arkadaşları (2000) güneş enerjisinden elde ettikleri 6 kW lık DC elektrik enerjisini PEM elektrolizörde kullanarak dakikada 20 litre ve 100 psi basınçla hidrojen üreten sistem tasarlamışlardır [31].

Yılmaz ve arkadaşları (2011) jeotermal enerji ile hidrojen üretilmesi ve sıvılaştırılması konulu bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma kapsamında jeotermal enerji ısı ve elektrik formlarına dönüştürülerek ayrı ayrı hidrojen üretiminde kullanılmış ve hidrojenin sıvılaştırılması ile ilgili farklı 7 model oluşturulup termodinamik açıdan analizleri gerçekleştirilmiştir [32].

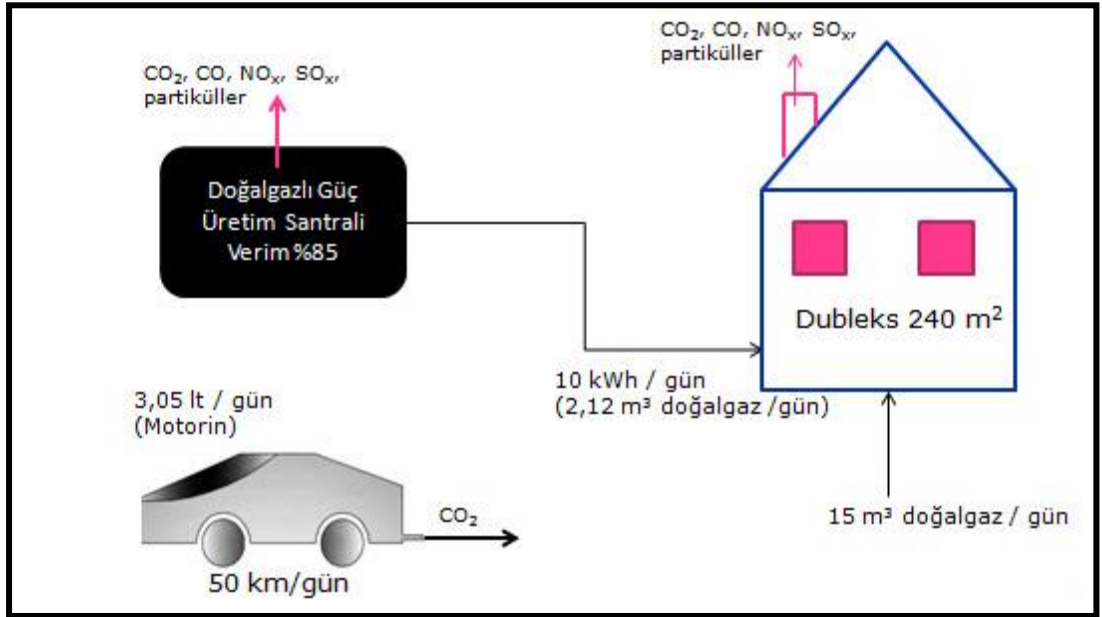
BÖLÜM III

YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1 Fosil Enerji Kaynağı Kullanan Model Ev

3.1.1 Model evin özellikleri

Fosil enerji kaynağı kullanan model evin tüm enerji ihtiyacı fosil enerji kaynaklı yakıtlardan karşılanmaktadır. Evin elektrik ihtiyacı doğalgazlı elektrik üretimi yapan şehir santralinden karşılanmaktadır. Günde ortalama 10 kWh enerji ihtiyacı olan evin bu ihtiyacını karşılayabilmek için santralde günde 2,12 m³ doğalgaz yakılmaktadır. Bu yanma sonucunda önemli ölçüde CO₂, CO, NO_x, SO_x ve diğer partiküller, atmosfere atılmaktadır. Ayrıca kış dönemlerinde evin ısınma ihtiyacı da doğalgaz yakıcı ısınma cihazları ile sağlanmakta olup önemli bir gaz salınımı da bu nedenle gerçekleşmektedir.

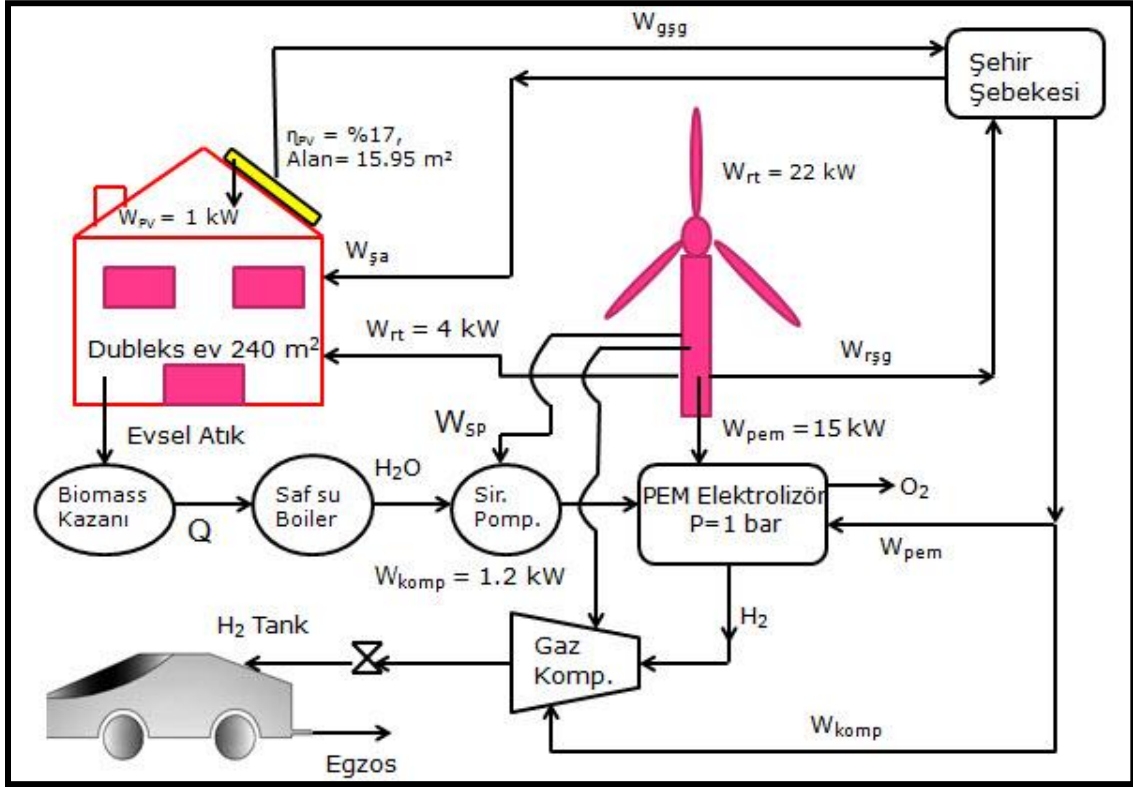


Şekil 3.1 Fosil enerji kaynağı kullanan ev

Model evde kullanılan ulaşım aracının günde ortalama 50 km yol kat ettiği kabul edilmiştir. Bu kabul doğrultusunda araç ortalama 3,05 lt fosil yakıt tüketimi sağlamaktadır. Aracın kullanmış olduğu bu fosil yakıt nedeni ile de atmosfere önemli oranda CO₂ salınımı gerçekleştirilmektedir.

3.2 Yenilenebilir Enerji Kaynağı Kullanan Model Ev

Yenilenebilir enerji kaynağı kullanan model evin enerji ihtiyacı tamamen temiz enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Evin elektrik ihtiyacı, bünyesinde kurulan 7,5 m/s rüzgâr hızında saatte 22 kW güç üretim kapasiteli bir rüzgâr türbini ile 2,16 kWh/m²xgün güneş yoğunluğunda saatte 1 kW güç üretim kapasiteli PV sisteminden karşılanmaktadır.



Şekil 3.2 Yenilenebilir enerji kaynağı kullanan ev

Kurulan bu güç üretim sistemlerinden elde edilen elektrik enerjisi ile evin elektrik ihtiyacı karşılanmakla birlikte aynı zamanda da evin aracının yakıtı kurulan PEM elektrolizör sisteminden elde edilen hidrojen ile sağlanmaktadır. Böylece evin enerji ihtiyacı giderilirken aynı zamanda da aracın fosil kaynaklı yakıt kullanımı önlenmiş olmaktadır. Evin elektrik ihtiyacı saatte 5 kW'dir. Bu ihtiyacın saatte 4 kW'lık kısmı ısınma ihtiyacı için klima sistemine aktarılmaktadır. Isınma ihtiyacı için evin salonunda 1 adet 12000 Btu ve 4 oda için 4 adet 9000 Btu kapasiteli split klima sistemi kullanılmaktadır. Sistemde kurulan güç üretim sistemlerinin tam kapasite çalışmaları durumunda üretilen fazla enerji şehir şebekesine aktarılabilir. Böylece sisteme ekonomik anlamda da katma değer sağlanmaktadır.

3.3 Ekserjetik Sürdürülebilirlik Parametrelerinin Geliştirilmesi

Bir sistemin sürdürülebilirliğinin belirlenmesi çeşitli parametrelere bağlıdır. Bu parametreler oluşturulan sistemin çalışma şartlarına, çalıştığı bölgenin özelliklerine, çevreye vermiş olduğu zararın boyutuna, ekonomik kalkınmadaki yerine, kaynakları verimli kullanmasına, kullandığı kaynakların bulunabilirliğine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Literatürde yapılan ekserjetik sürdürülebilirlik çalışmalarında türetilen parametreler dikkate alınarak model evler için parametrik tanımlamalar yapılmıştır [9,10,11,26]. Bu kapsamda aşağıdaki maddeler ele alınmıştır;

- a) Ekserjetik Verim
- b) Atık Ekserji Oranı
- c) Ekserji Geri Kazanılabilirlik Oranı
- d) Ekserji Yıkım Oranı
- e) Çevresel Etki Faktörü
- f) Ekserjetik Sürdürülebilirlik İndeksi.

3.3.1 Fosil enerji kaynağı kullanan ev için ekserjetik sürdürülebilirlik parametrelerinin geliştirilmesi

a) **Ekserjetik Verim (η_{ek}^{sis}):** Ekserjetik verimlilik ifadesi sistemde faydalı kullanılabilen ekserjinin toplam sisteme giren ekserjiye oranı olarak tanımlanabilir [9,10,11,26].

Fosil kaynaklı modelde sisteme giren toplam ekserji aracın kullanmış olduğu yakıtın ekserjisi, model evde ısınma için kullanılan yakıtın ekserjisi, model evin elektrik ihtiyacı için kullanılan yakıtın ekserjileri toplamıdır. Faydalı olarak kullanılan ekserji evin ısınma ve elektrik ihtiyacı için kullanılan yakıtların ekserjileri toplamıdır.

Fosil enerji kaynağı kullanan sistem için literatürden alınan ekserjetik verim ifadesi [9,10,11,26];

$$\eta_{ek}^{sis} = \frac{\dot{E}x_{faydalı}}{\dot{E}x_{giren}} \quad (3.1)$$

$$\dot{E}x_{faydalı} = \dot{E}x_{elk,ev} + \dot{E}x_{ısı,ev} \quad (3.2)$$

$$\dot{E}x_{ısı,ev} = \dot{m}_{ısı} \times ex_{ng}^{ch} \quad (3.3)$$

$$\dot{E}x_{giren} = \dot{E}x_{elk,ev} + \dot{E}x_{isi,ev} + \dot{E}x_{yakit,oto} \quad (3.4)$$

$$\dot{E}x_{yakit,oto} = \dot{m}_{oto,ng} \times ex_{ng}^{ch} \quad (3.5)$$

$$\eta_{ek} = \frac{\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times Q_{LHV,ng} \times \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)}{\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times ex_{ng}^{ch} + \dot{m}_{oto,ng} \times ex_{ng}^{ch}} \quad (3.6)$$

Denklem 3.6 kullanılarak fosil yakıt kullanan sistem için ekserjetik verim değeri hesaplanabilir.

b) Atık Ekserji Oranı ($\gamma_{aéo}^{sis}$): Atık ekserji oranı sistemdeki reaksiyonlar sonucunda atılan atıkların ekserjisinin toplam sisteme giren ekserjiye oranı olarak tanımlanabilir. Diğer tanımlama olarak toplam sisteme giren ekserji ile toplam faydalı kullanılabilir ekserjinin farkının toplam giren ekserjiye oranı olarakta tanımlanabilir [9,10,11,26].

Fosil enerji kaynağı kullanan sistem için literatürden alınan atık ekserji oranı ifadesi [9,10,11,26];

$$\gamma_{aéo}^{sis} = \frac{\sum \dot{E}x_{giren} - \sum \dot{E}x_{faydalı}}{\sum \dot{E}x_{giren}} \quad (3.7)$$

$$\gamma_{aéo}^{sis} = \frac{\left[(\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times ex_{ng}^{ch} + \dot{m}_{oto,ng} \times ex_{ng}^{ch}) - \left(\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times Q_{LHV,ng} \times \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \right) \right]}{(\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times ex_{ng}^{ch} + \dot{m}_{oto,ng} \times ex_{ng}^{ch})}$$

Denklem 3.8 şeklinde geliştirilir ve bu denklem kullanılarak fosil yakıt kullanan sistem için atık ekserji oranı değeri hesaplanabilir.

c) Ekserji Geri Kazanılabilirlik Oranı (γ_{gko}^{sis}): Ekserji geri kazanılabilirlik oranı sistemden atılan atık ekserjinin bir bölümünün tekrar sistem içerisindeki proseslerde kullanılmak üzere geri kazanılması olarak tanımlanabilir [9,10,11,26].

Fosil kaynaklı sistemlerde atık ısı doğrudan atmosfere atıldığı için ekserji geri kazanılabilirlik oranı 0 olmaktadır. Ekserji geri kazanılabilirlik oranı 0 ile 1 arasında değişmektedir.

d) Ekserji Yıkım Oranı (γ_{eyo}^{sis}): Ekserji yıkım oranı sistemde meydana gelen ekserji yıkımının sisteme giren toplam ekserjiye oranı olarak hesaplanabilir. Sistemde meydana

gelen ekserji yıkımı da sistemdeki faydalı ve atık ekserjiler toplamının, toplam sisteme giren ekserji değerinden çıkarılması ile bulunabilir [9,10,11,26].

Fosil enerji kaynağı kullanan sistem için literatürden alınan ekserji yıkım oranı ifadesi [9,10,11,26];

$$\gamma_{eyo}^{sis} = \frac{\sum \dot{E}x_{yıkım}}{\sum \dot{E}x_{giren}} \quad (3.9)$$

$$\sum \dot{E}x_{yıkım} = \sum \dot{E}x_{giren} - \left(\sum \dot{E}x_{faydalı} + \sum \dot{E}x_{egzos} \right) \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} \sum \dot{E}x_{yıkım} = & \left[(\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times ex_{ng}^{ch} + \dot{m}_{oto,ng} \times ex_{ng}^{ch}) \right] \\ & - \left[\left(\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times Q_{LHV,ng} \times \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) + (\dot{m}_{CO_2} \times ex_{CO_2}^{ch}) \right) \right] \end{aligned} \quad (3.11)$$

Denklem 3.11 kullanılarak fosil yakıt kullanan sistem için ekserji yıkım oranı değeri hesaplanabilir.

e) Çevresel Etki Faktörü ($f_{çevre}^{sis}$): Çevresel etki faktörü sistemdeki atık ekserji oranının sistemin ekserjetik verimine oranı olarak hesaplanabilir. Bu değer artış gösterdikçe sistemin çevreye olan etkisi artmaktadır [9,10,11,26].

Fosil enerji kaynağı kullanan sistem için literatürden alınan çevresel etki faktörü ifadesi [9,10,11,26];

$$f_{çevre}^{sis} = \frac{\gamma_{aeo}^{sis}}{\eta_{ek}} \quad (3.12)$$

$$f_{çevre}^{sis} = \quad (3.13)$$

$$\frac{\left[(\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times ex_{ng}^{ch} + \dot{m}_{oto,ng} \times ex_{ng}^{ch}) - \left(\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times Q_{LHV,ng} \times \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \right) \right]}{\frac{(\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times ex_{ng}^{ch} + \dot{m}_{oto,ng} \times ex_{ng}^{ch})}{\frac{\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times Q_{LHV,ng} \times \left(1 - \frac{T_0}{T} \right)}{\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times ex_{ng}^{ch} + \dot{m}_{oto,ng} \times ex_{ng}^{ch}}}}$$

Denklem 3.13 kullanılarak fosil yakıt kullanan sistem için çevresel etki faktörü değeri hesaplanabilir.

f) Ekserjetik Sürdürülebilirlik İndeksi (Θ_{esi}^{sis}) : Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 1 / Çevresel etki faktörü olarak tanımlanabilir. Bu değerin sıfıra yaklaşması sistemin sürdürülebilirliğinin olmadığı anlamına gelmektedir. Bir sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ne kadar yüksekse sistem o kadar sürdürülebilir ve çevreseldir [9,10,11,26].

Fosil enerji kaynağı kullanan sistem için literatürden alınan ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ifadesi [9,10,11,26];

$$\Theta_{esi}^{sis} = \frac{1}{f_{\text{çevre}}^{sis}} = \frac{\eta_{ek}}{\gamma_{aéo}^{sis}} \quad (3.14)$$

$$\Theta_{esi}^{sis} = \frac{\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times Q_{LHV,ng} \times \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)}{\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times ex_{ng}^{ch} + \dot{m}_{oto,ng} \times ex_{ng}^{ch}} \quad (3.15)$$

$$\left[\frac{(\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times ex_{ng}^{ch} + \dot{m}_{oto,ng} \times ex_{ng}^{ch}) - \left(\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times Q_{LHV,ng} \times \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)\right)}{(\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times ex_{ng}^{ch} + \dot{m}_{oto,ng} \times ex_{ng}^{ch})} \right]$$

Denklem 3.15 kullanılarak fosil yakıt kullanan sistem için ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi değeri hesaplanabilir.

3.3.2 Yenilenebilir enerji kaynağı kullanan ev için ekserjetik sürdürülebilirlik parametrelerinin geliştirilmesi

a) Ekserjetik Verim (η_{ek}^{sis}): Ekserjetik verimlilik ifadesi sistemde faydalı kullanılabilen ekserjinin toplam sisteme giren ekserjiye oranı olarak tanımlanabilir [9,10,11,26]. Yenilenebilir kaynaklı sistemde RT ve PV sistemlerinden üretilen elektrik enerjileri sisteme giren ekserji olarak ele alınabilir. Faydalı kullanılan ekserji değeri ise, üretilen hidrojenin ekserjisi, evin ihtiyacı için sağlanan ekserji değeri olarak alınmaktadır.

$$\eta_{ek}^{sis} = \frac{\dot{E}x_{faydalı}}{\dot{E}x_{giren}} \quad (3.1)$$

$$\dot{E}x_{faydalı} = \dot{E}x_{H_2} + \dot{E}x_{ev} \quad (3.16)$$

$$\dot{E}x_{giren} = \dot{E}x_{RT} + \dot{E}x_{PV} \quad (3.17)$$

Denklem 3.1' de verilen parametreleri yerine koyacak olursak;

$$\eta_{ek}^{sis} = \frac{\dot{m}_{H_2} \times ex_{H_2}^{ch} + \dot{W}_{elk,ev}}{\dot{W}_{RT} + \dot{W}_{PV}} \quad (3.18)$$

Denklem 3.18 kullanılarak yenilenebilir enerji kaynağı kullanan sistem için ekserji verim değeri hesaplanabilir.

b) Atık Ekserji Oranı (γ_{aek}^{sis}): Atık ekserji oranı sistemdeki reaksiyonlar sonucunda atılan atıkların ekserjisinin toplam sisteme giren ekserjiye oranı olarak tanımlanabilir. Diğer tanımlama olarak toplam sisteme giren ekserji ile toplam faydalı kullanılabilir ekserjinin farkının toplam giren ekserjiye oranı olarakta tanımlanabilir [9,10,11,26].

$$\gamma_{aek}^{sis} = \frac{\sum \dot{E}x_{giren} - \sum \dot{E}x_{faydalı}}{\sum \dot{E}x_{giren}} \quad (3.7)$$

$$\gamma_{aek}^{sis} = \frac{(\dot{W}_{RT} + \dot{W}_{PV}) - (\dot{m}_{H_2} \times ex_{H_2}^{ch} + \dot{W}_{elk,ev})}{\dot{W}_{RT} + \dot{W}_{PV}} \quad (3.19)$$

Denklem 3.19 kullanılarak yenilenebilir enerji kaynağı kullanan sistem için atık ekserji oranı değeri hesaplanabilir.

c) Ekserji Geri Kazanılabilirlik Oranı (γ_{gko}^{sis}): Ekserji geri kazanılabilirlik oranı sistemden atılan atık ekserjinin bir bölümünün tekrar sistem içerisindeki proseslerde kullanılmak üzere geri kazanılması olarak tanımlanabilir [9,10,11,26].

$$\gamma_{gko}^{sis} = \frac{\sum \dot{E}x_{şebeke}}{\sum \dot{E}x_{giren}} \quad (3.20)$$

$$\gamma_{gko}^{sis} = \frac{\dot{W}_{gşg} + \dot{W}_{rşg}}{\dot{W}_{RT} + \dot{W}_{PV}} \quad (3.21)$$

Denklem 3.21 kullanılarak yenilenebilir enerji kaynağı kullanan sistem için ekserji geri kazanılabilirlik oranı değeri hesaplanabilir.

d) Ekserji Yıkım Oranı (γ_{eyo}^{sis}): Ekserji yıkım oranı sistemde meydana gelen ekserji yıkımının sisteme giren toplam ekserjiye oranı olarak hesaplanabilir. Sistemde meydana gelen ekserji yıkımı da sistemdeki faydalı ve atık ekserjiler toplamının, toplam sisteme giren ekserji değerinden çıkarılması ile bulunabilir [9,10,11,26]. Yenilenebilir kaynaklı

sistemlerde ekserji yıkım oranının düşük olması beklenir. Aksi takdirde sistem ekserjetik açıdan verimli çalışamaz bu da sistemin sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkiler.

$$\gamma_{\text{eyo}}^{\text{sis}} = \frac{\sum \dot{E}x_{\text{yıkım}}}{\sum \dot{E}x_{\text{giren}}} \quad (3.9)$$

$$\sum \dot{E}x_{\text{yıkım}} = \sum \dot{E}x_{\text{giren}} - \left(\sum \dot{E}x_{\text{faydalı}} + \sum \dot{E}x_{\text{atık}} \right) \quad (3.10)$$

$$\sum \dot{E}x_{\text{yıkım}} = (\dot{W}_{\text{RT}} + \dot{W}_{\text{PV}}) - [(\dot{m}_{\text{H}_2} \times \text{ex}_{\text{H}_2}^{\text{ch}} + \dot{W}_{\text{elk, ev}}) + (\dot{W}_{\text{gşg}} + \dot{W}_{\text{rşg}})] \quad (3.22)$$

$$\gamma_{\text{eyo}}^{\text{sis}} = \frac{(\dot{W}_{\text{RT}} + \dot{W}_{\text{PV}}) - [(\dot{m}_{\text{H}_2} \times \text{ex}_{\text{H}_2}^{\text{ch}} + \dot{W}_{\text{elk, ev}}) + (\dot{W}_{\text{gşg}} + \dot{W}_{\text{rşg}})]}{\dot{W}_{\text{RT}} + \dot{W}_{\text{PV}}} \quad (3.23)$$

Denklem 3.23 kullanılarak yenilenebilir enerji kaynağı kullanan sistem için ekserji yıkım oranı değeri hesaplanabilir.

e) Çevresel Etki Faktörü ($f_{\text{çevre}}^{\text{sis}}$): Çevresel etki faktörü sistemdeki atık ekserji oranının sistemin ekserjetik verimine oranı olarak hesaplanabilir. Bu değer artış gösterdikçe sistemin çevreye olan etkisi artmaktadır. Çevreci sistemlerde bu değer sıfıra oldukça yaklaşır [9,10,11,26].

$$f_{\text{çevre}}^{\text{sis}} = \frac{\gamma_{\text{aeo}}^{\text{sis}}}{\eta_{\text{ek}}} \quad (3.13)$$

$$f_{\text{çevre}}^{\text{sis}} = \frac{\frac{(\dot{W}_{\text{RT}} + \dot{W}_{\text{PV}}) - (\dot{m}_{\text{H}_2} \times \text{ex}_{\text{H}_2}^{\text{ch}} + \dot{W}_{\text{elk, ev}})}{\dot{W}_{\text{RT}} + \dot{W}_{\text{PV}}}}{\frac{\dot{m}_{\text{H}_2} \times \text{ex}_{\text{H}_2}^{\text{ch}} + \dot{W}_{\text{elk, ev}}}{\dot{W}_{\text{RT}} + \dot{W}_{\text{PV}}}} \quad (3.24)$$

Denklem 3.24 kullanılarak yenilenebilir enerji kaynağı kullanan sistem için çevresel etki faktörü değeri hesaplanabilir.

f) Ekserjetik Sürdürülebilirlik İndeksi ($\Theta_{\text{esi}}^{\text{sis}}$): Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 1 / Çevresel etki faktörü olarak tanımlanabilir. Bu değer in sıfıra yaklaşması sistemin sürdürülebilirliğinin olmadığı anlamına gelmektedir. Bir sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ne kadar yüksekse sistem o kadar sürdürülebilir ve çevreseldir [9,10,11,26].

$$\Theta_{esi}^{sis} = \frac{1}{f_{\text{cevre}}^{sis}} = \frac{\eta_{ek}}{\gamma_{aao}^{sis}} \quad (3.14)$$

$$\Theta_{esi}^{sis} = \frac{\frac{\dot{m}_{H_2} \times ex_{H_2}^{ch} + \dot{W}_{elk,ev}}{\dot{W}_{RT} + \dot{W}_{PV}}}{(\dot{W}_{RT} + \dot{W}_{PV}) - (\dot{m}_{H_2} \times ex_{H_2}^{ch} + \dot{W}_{elk,ev})} \quad (3.25)$$

Denklem 3.25 kullanılarak yenilenebilir enerji kaynağı kullanan sistem için ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi değeri hesaplanabilir.

3.4 Yapılan Hesaplamalar

3.4.1 Yapılan kabuller

Kabul 1: Model evin toplam kullanım alanı 240 m² ve saatlik enerji ihtiyacı 5 kW olarak kabul edilmiştir. Bu ihtiyacın 4 kW'lık kısmı evin ısınması için kullanılan klima ünitesine aktarılmaktadır. Isınma ihtiyacı için evin salonunda 1 Adet 12000 Btu ve 4 oda için 4 Adet 9000 Btu kapasiteli split klima sistemi kullanılmaktadır

Kabul 2: Ulaşımında kullanılan aracın günlük ortalama kat ettiği yol: 50 km

Kabul 3: Isınma ihtiyacı için tüketilen doğalgaz miktarı: 15 m³ / gün

Kabul 4: Doğalgazın yoğunluğu 0,717 kg/m³, tür [30].

Kabul 5: Doğalgazlı güç santralinde 1 kWh elektrik üretimi için 0,212 m³ doğalgaz gereklidir [34].

Kabul 6: Isınma ihtiyacı için tüketilen doğalgaz miktarı: 15 m³ / gün

Kabul 7: Aracın 50 km' de yakıt tüketimi: 3,05 lt [35].

Kabul 8: Tasarlanan modelde kullanılan aracın km' deki CO₂ atığı 123 gr olarak kabul edilmiştir. Aracın günde ortalama 50 km yol kat ettiği varsayılırsa 6,15 kg CO₂ atmosfere atılmaktadır [35].

Kabul 9: Mevcut evin bulunduğu bölgenin günlük güneş radyasyon dağılımı 2.16 kWh / m²*gün ve güneşlenme süresi 5.86 saattir [36].

Kabul 10: Evde yakıt olarak kullanılan doğalgazın 15 m³ ünün yanması sonucu 28,78 kg CO₂, 141,49 kg N₂ atmosfere salınmaktadır [37].

Doğalgazın hava ile yanma denklemi şeklinde gösterildiği gibidir [37].



Kabul 11: Mevcut evin bulunduğu bölgede ortalama rüzgâr hızı 7.5 m/s kabul edilmiştir.

Kabul 12: Sistemde kullanılan PEM elektrolizör ünitesindeki sirkülasyon pompasının tüketmiş olduğu güç değeri oldukça küçük olduğundan ihmal edilmiştir.

Kabul 13: Sistemde kullanılan PEM elektrolizörün H₂ çıkış basıncı 1 bar olarak seçilmiştir.

Kabul 14: Üretilen hidrojen, gaz kompresörü ile 350 bar basınçta sıkıştırılıp depolanmaktadır (Araç yakıtı olarak).

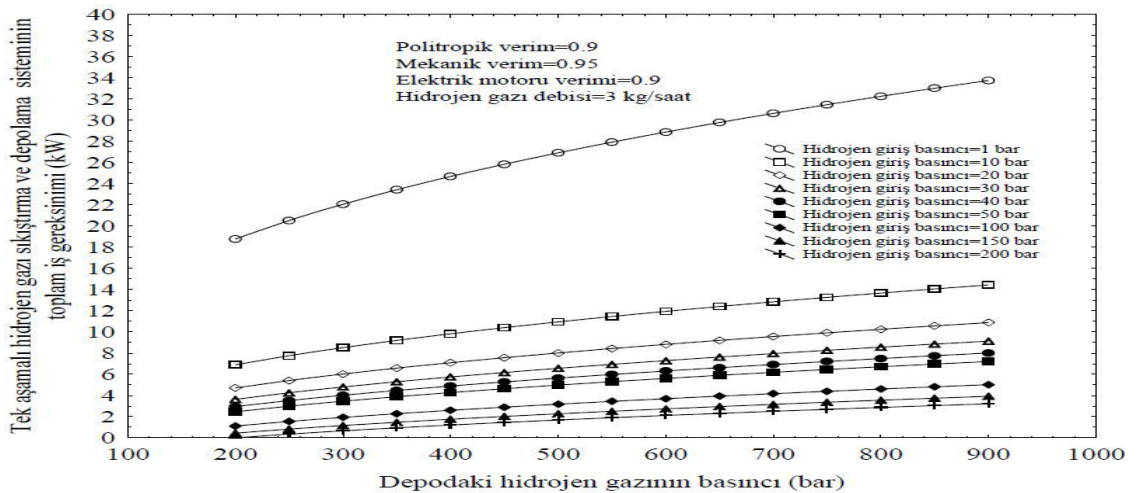
3.4.2 Sistemde kullanılan PEM elektrolizörün tayini

Sistemde kullanılacak olan PEM elektrolizörün saatte H₂ üretim kapasitesinin 0.16128 kg olması istenmektedir. Sektörde bulunan PEM elektrolizörler arasından bu kapasitede olan bir PEM elektrolizör seçilmiştir.

Kullanılan PEM elektrolizörün çalışma sıcaklığı 65 °C, H₂ çıkış basıncı 1 bar olarak seçilmiştir.

PEM elektrolizörden 1 bar basınçta çıkan H₂ gaz kompresörü ile 350 bar değerine sıkıştırılmakta ve araç kullanımı için depo edilmektedir.

Kullanılacak olan kompresörün gereksinim duyacağı güç hesabı yapılacak olursa;



Şekil 3.3 Tek aşamalı hidrojen gaz sıkıştırma ve depolama sisteminin depo basıncına bağlı değişimi [10].

Şekil 3.3 e göre 3 kg/saat H₂ üretimi olan bir sistemde basıncı 1 bar değerinden 350 bar değerine çıkarabilmek için ihtiyaç duyulan güç saatte 23 kW' dır [10].

Bu durumda 0,16128 kg/saat H₂ üretimi olan sistemde H₂ basıncını 1 bar değerinden 350 bar değerine çıkarabilmek için ihtiyaç duyulan güç saate 1.2 kW olarak hesaplanabilir.

Kompresörün ihtiyaç duyacağı bu güç gereksinimi rüzgâr türbininden sağlanan güç ile karşılanmaktadır.

Çizelge 3.1' e göre PEM elektrolizör'e sağlanması gereken saf su debisi 1500 ml/saat dir. Kullanılacak olan sirkülasyon pompasının güç tüketim değeri oldukça küçük olduğundan dolayı ihmal edilmektedir.

Çizelge 3.1 Kullanılan PEM elektrolizörün özellikleri [38].

Elde edilebilecek Değerler / Model	Sağlanması gereken su (ml / saat)	Sağlanması gereken güç (kWh / saat)	H ₂ Gazı Üretimi (ml / dk)	H ₂ Gazı Üretimi (l / sa)	H ₂ Gazı Üretimi (m ³ / sa)	H ₂ Gazı Üretimi (kg / sa)	Saatlik Megajoule Üretimi
LM 200	10	0,1	200	12	0,012	0,010752	0,1526784
LM -300	15	0,15	300	18	0,018	0,0016128	0,2290176
LM -500	25	0,25	500	30	0,03	0,002688	0,381696
LM -1000	50	0,5	1000	60	0,06	0,005376	0,763392
LM -2000	100	1	2000	120	0,12	0,010752	1,526784
LM -3000	150	1,5	3000	180	0,18	0,16128	2,290176
LM -5000	250	2,5	5000	300	0,3	0,02688	3,81696
LM -10000	500	5	10000	600	0,6	0,05376	7,63392
LM -20000	1000	10	20000	1200	1,2	0,10752	15,26784
LM -30000	1500	15	30000	1800	1,8	0,16128	22,90176

3.4.3 Rüzgâr türbini sisteminin tayini

Seçilen rüzgâr türbini 50 kW max. kapasiteli "Clima – Beijing FD- 50000" modeli olup çizelge 3.2' ye göre ortalama 7.5 m / s rüzgâr hızında saatte 22 kW güç üretmektedir [39]. Türbinden üretilen güç değeri, evin enerji ihtiyacının karşılanmasında, PEM elektrolizörün enerji ihtiyacının karşılanmasında ve gaz kompresörünün enerji

ihtiyacının karşılanmasında kullanılmaktadır. Türbinde üretilen fazla güç şebekeye aktarılmaktadır.

Çizelge 3.2 Ortalama rüzgâr hızına göre güç üretim kapasitesi [39 nolu kaynaktan derlenmiştir].

Üretilen Güç Kapasitesi (kW)	Ortalama Rüzgâr Hızı (m / s)
10	4.5
15	5
22	7.5
35	10
50	12

Seçilen türbinin rotor çapı 13 m yüksekliği 30 m dir. Türbinin kurulacağı bölgede 30 m deki rüzgar hızı 7.5 m / s dir. Türbin bu mevcut hızda saatte 22 kW güç üretebilmektedir.

3.4.4 PV sisteminin tayini

Tesisin kurulacağı bölgenin aylara göre güneşlenme süreleri ve m²' ye düşen günlük radyasyon miktarı değerleri çizelge 3.3' te gösterildiği gibidir;

- Verimi %17 olan bir PV sisteminden 2,16 kW/m²xgün radyasyon değerinde ve 5.86 güneşlenme süresinde;
- $2160 \text{ W/m}^2 / 5.86 = 368.600 \text{ W / m}^2$ saatlik radyasyon değerinde,
- $368.600 \times 0.17 = 62.662 \text{ W / m}^2$
- 1 saatte üretilebilecek güç 62.662 W / m² dir.
- PV sisteminde saatte 1 kW güç üretmek istenirse,
- Bu durumda sistemde kullanılacak olan PV alanı $1000 / 62.662 = 15.95 \text{ m}^2$ dir.

Çizelge 3.3 Evin bulunduğu bölgede aylara göre ortalama radyasyon değeri ve güneşlenme süreleri [36 nolu kaynaktan derlenmiştir].

Aylar	Ortalama Radyasyon Değeri (kWh / m ² xgün)	Güneşlenme Süreleri (sa)
Ocak	1.81	4.86
Şubat	2.16	5.86
Mart	3.79	6.96
Nisan	4.99	8.03
Mayıs	5.94	9.77
Haziran	6.50	11.89
Temmuz	6.27	12.20
Ağustos	5.76	11.48
Eylül	4.63	9.47
Ekim	3.54	7.61
Kasım	2.20	5.55
Aralık	1.62	4.27

3.4.5 Fosil enerji kaynağı kullanan evin ekserjetik sürdürülebilirlik parametrelerinin hesaplanması

3.4.5.1 Ekserjetik verim (η_{ek}^{sis})

Ekserjetik verimlilik ifadesi sistemde faydalı kullanılabilen ekserjinin toplam sisteme giren ekserjiye oranı olarak tanımlanabilir [9,10,11,26].

Denklem 3.6 ya göre ekserji veriminin hesabını yapacak olursak,

$$\eta_{ek}^{sis} = \frac{\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times Q_{LHV,ng} \times \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)}{\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times e_{x_{ch}}^{ng} + \dot{m}_{oto,ng} \times e_{x_{ch}}^{ng}} \quad (3.6)$$

Denklem (3.6) de bilinmeyen ifadeler,

- T_0 : Referans ev ortam sic. (18 °C)
- T : Referans peteklere aktarılan sıcak su (90 °C)
- $\dot{W}_{ev}=10$ kWh / gün
- $\dot{m}_{isi,ng}=10.05$ kg / gün , $Q_{LHV, ng}=38,0$ $\left(\frac{MJ}{kg}\right)$
- $\dot{m}_{oto,ng}=2,04$ kg / gün , $ex_{ch}^{ng}=39,390$ $\left(\frac{MJ}{kg}\right)$ bu durumda,

$$\eta_{ek}^{sis} = \frac{10 + (10,05 \times 38 / 3,6) \times \left(1 - \frac{291}{363}\right)}{10 + (10,05 \times 39,390 / 3,6) + (2,04 \times 39,390 / 3,6)}$$

$$\eta_{ek}^{sis} = \left(\frac{31,21}{142,27}\right)$$

$\eta_{ek}^{sis}=0,219$ =%22 olarak hesaplanır.

3.4.5.2 Atık ekserji oranı (γ_{aao}^{sis})

Fosil enerji kaynağı kullanan sistem için literatürden alınan atık ekserji oranı ifadesi; [9,10,11,26];

$$\gamma_{aao}^{sis} = \frac{\sum \dot{E}x_{giren} - \sum \dot{E}x_{faydalı}}{\sum \dot{E}x_{giren}} \quad (3.7)$$

$$\gamma_{aao}^{sis} = \frac{\left[(\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{ng} \times e_{x_{ch}}^{ng} + \dot{m}_{oto,ng} \times e_{x_{ch}}^{ng}) - \left(\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times Q_{LHV,ng} \times \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \right) \right]}{(\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{ng} \times e_{x_{ch}}^{ng} + \dot{m}_{oto,ng} \times e_{x_{ch}}^{ng})} \quad (3.8)$$

Sistemin atık ekserji oranı 3.8 nolu denklem ile hesaplanır.

$$\gamma_{aao}^{sis} = \frac{\left[(10 + 10.05 \times 39,390 + 2.04 \times 39,390) - \left(10 + 10.05 \times 38 \times \left(1 - \frac{291}{393}\right) \right) \right]}{(10 + 10.05 \times 39,390 + 2,04 \times 39,390)}$$

$$\gamma_{aao}^{sis} = 0.781$$

3.4.5.3 Ekserji geri kazanılabilirlik oranı (γ_{gko}^{sis})

Ekserji geri kazanılabilirlik oranı sistemden atılan atık ekserjinin bir bölümünün tekrar sistem içerisindeki proseslerde kullanılmak üzere geri kazanılması olarak tanımlanabilir [9,10,11,26].

$\gamma_{gko}^{sis} = \dot{E}x_{atık} / \dot{E}x_{giren}$ olarak tanımlanabilir.

Fosil kaynaklı sistemlerde atık ısı doğrudan atmosfere atıldığı için ekserji geri kazanılabilirlik oranı 0 olmaktadır. Ekserji geri kazanılabilirlik oranı 0 ile 1 arasında değişmektedir.

3.4.5.4 Ekserji yıkım oranı (γ_{eyo}^{sis})

Ekserji yıkım oranı sistemde meydana gelen ekserji yıkımının sisteme giren toplam ekserjiye oranı olarak hesaplanabilir [9,10,11,26].

Fosil enerji kaynağı kullanan sistem için literatürden alınan ekserji yıkım oranı ifadesi [9,10,11,26].

$$\gamma_{eyo}^{sis} = \frac{\sum \dot{E}x_{yıkım}}{\sum \dot{E}x_{giren}} \quad (3.9)$$

$$\sum \dot{E}x_{yıkım} = \sum \dot{E}x_{giren} - \left(\sum \dot{E}x_{faydalı} + \sum \dot{E}x_{egzos} \right) \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} \sum \dot{E}x_{yıkım} = & \left[(\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{ng} \times ex_{ch}^{ng} + \dot{m}_{oto,ng} \times ex_{ch}^{ng}) \right] \\ & - \left[\left(\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times Q_{LHV,ng} \times \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) + (\dot{m}_{atık} \times ex_{ch}^{CO_2}) \right) \right] \end{aligned} \quad (3.11)$$

Ekserji yıkım oranı denklem 3.9 kullanılarak hesaplanabilir.

$$\sum \dot{E}x_{yıkım} = [(10 + 10.05 \times 39.390 + 2.04 \times 39,390)]$$

$$- \left[\left(10 + 10.05 \times 38 \times \left(1 - \frac{291}{393} \right) + 34,96 \times 456,9 \right) \right]$$

$$\sum \dot{E}x_{yıkım} = 106.63$$

$$\sum \dot{E}x_{giren} = [(\dot{W}_{ev} + \dot{m}_{isi,ng} \times ex_{ng}^{ch} + \dot{m}_{oto,ng} \times ex_{ng}^{ch})]$$

$$\sum \dot{E}x_{giren} = 10 + 10.05 \times 39,390 + 2,04 \times 39,390$$

$$\sum \dot{E}x_{giren} = 142.27$$

$$\gamma_{eyo}^{sis} = 106.63 / 142.27$$

$$\gamma_{eyo}^{sis} = 0.749$$

3.4.5.5 Çevresel etki faktörü ($f_{\text{çevre}}^{sis}$)

Fosil enerji kaynağı kullanan sistem için literatürden alınan çevresel etki faktörü ifadesi; [9,10,11,26].

$$f_{\text{çevre}}^{sis} = \frac{\gamma_{aeo}^{sis}}{\eta_{ek}}$$

denklemleri kullanılarak hesaplanabilir,

$$f_{\text{çevre}}^{sis} = \frac{0.781}{0.219}, \quad f_{\text{çevre}}^{sis} = 3.566$$

3.4.5.6 Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi (Θ_{esi}^{sis})

Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 1 / Çevresel etki faktörü olarak tanımlanabilir. Bu değer in sıfıra yaklaşması sistemin sürdürülebilirliğinin olmadığı anlamına gelmektedir. Bir sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ne kadar yüksekse sistem o kadar sürdürülebilir ve çevreseldir [9,10,11,26].

Fosil enerji kaynağı kullanan sistem için literatürden alınan ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ifadesi [9,10,11,26];

$$\Theta_{esi}^{sis} = 1 / f_{\text{çevre}}^{sis} \text{ olarak hesaplanabilir.}$$

$$\Theta_{esi}^{sis} = 1 / 3,566$$

$$\Theta_{esi}^{sis} = 0,280$$

3.4.6 Yenilenebilir enerji kaynağı kullanan evin ekserjetik sürdürülebilirlik parametrelerinin hesaplanması

3.4.6.1 Ekserjetik verim (η_{ek}^{sis})

Ekserjetik verimlilik ifadesi sistemde faydalı kullanılabilen ekserjinin toplam sisteme giren ekserjiye oranı olarak tanımlanabilir [9,10,11,26].

Yenilenebilir enerji kaynağı kullanan sistem için literatürden alınan ekserjetik verim ifadesi [9,10,11,26];

$$\eta_{ek}^{sis} = \frac{\dot{E}x_{faydalı}}{\dot{E}x_{giren}}$$

$$\dot{E}x_{faydalı} = \dot{E}x_{H_2} + \dot{E}x_{ev} \quad (3.16)$$

$$\dot{E}x_{giren} = \dot{E}x_{RT} + \dot{E}x_{PV} \quad (3.17)$$

$$\eta_{ek}^{sis} = \frac{\dot{E}x_{H_2} + \dot{E}x_{ev}}{\dot{E}x_{RT} + \dot{E}x_{PV}}$$

$$\eta_{ek}^{sis} = \frac{\dot{m}_{H_2} \times ex_{H_2}^{ch} + \dot{W}_{elk,ev}}{\dot{W}_{RT} + \dot{W}_{PV}} \quad (3.18)$$

$$\eta_{ek}^{sis} = \frac{(0.16128 \times 117113/3600) + 5}{23}$$

$$\eta_{ek}^{sis} = 0.443$$

3.4.6.2 Atık ekserji oranı ($\gamma_{aéo}^{sis}$)

Atık ekserji oranı sistemdeki reaksiyonlar sonucunda atılan atıkların ekserjisinin toplam sisteme giren ekserjiye oranı olarak tanımlanabilir. Diğer tanımlama olarak toplam sisteme giren ekserji ile toplam faydalı kullanılabilir ekserjinin farkının toplam giren ekserjiye oranı olarakta tanımlanabilir [9,10,11,26].

$$\gamma_{aéo}^{sis} = \frac{\sum \dot{E}x_{giren} - \sum \dot{E}x_{faydalı}}{\sum \dot{E}x_{giren}} \quad (3.7)$$

$$\gamma_{aéo}^{sis} = \frac{(\dot{W}_{RT} + \dot{W}_{PV}) - (\dot{m}_{H_2} \times ex_{H_2}^{ch} + \dot{W}_{elk,ev})}{\dot{W}_{RT} + \dot{W}_{PV}} \quad (3.19)$$

$$\gamma_{\text{aéo}}^{\text{sis}} = \frac{23 - (10.24)}{23}$$

$$\gamma_{\text{aéo}}^{\text{sis}} = 0.554$$

3.4.6.3 Ekserji geri kazanılabilirlik oranı ($\gamma_{\text{gko}}^{\text{sis}}$)

Ekserji geri kazanılabilirlik oranı sistemden atılan atık ekserjinin bir bölümünün tekrar sistem içerisindeki proseslerde kullanılmak üzere geri kazanılması olarak tanımlanabilir [9,10,11,26]. Yenilenebilir kaynaklı sistemde sisteme giren saatlik 23 kW'lık güç değerinin max. kullanım durumunda saatte 21.2 kW'lık bölümü kullanılmaktadır. Bunun dışındaki saatte 1.8 kW'lık güç şehir şebekesine gönderilmektedir. Gönderilen bu enerji sistemde PV ve RT sistemlerinin güç üretimlerinin azaldığı dönemlerde tekrar kullanılmak üzere şebekeden çekilebilmektedir.

$$\gamma_{\text{gko}}^{\text{sis}} = \frac{\sum \dot{E}x_{\text{şebeke}}}{\sum \dot{E}x_{\text{giren}}} \quad (3.20)$$

$$\gamma_{\text{gko}}^{\text{sis}} = \frac{\dot{W}_{\text{gsg}} + \dot{W}_{\text{rsg}}}{\dot{W}_{\text{RT}} + \dot{W}_{\text{PV}}} \quad (3.21)$$

Denklem 3.21 kullanılarak yenilenebilir kaynak kullanan sistem için ekserji geri kazanılabilirlik oranı değeri hesaplanacak olursa;

$$\gamma_{\text{gko}}^{\text{sis}} = \frac{1.8}{23}$$

$$\gamma_{\text{gko}}^{\text{sis}} = 0.078$$

3.4.6.4 Ekserji yıkımı oranı

Ekserji yıkımı oranı sistemde meydana gelen ekserji yıkımının sisteme giren toplam ekserjiye oranı olarak hesaplanabilir [9,10,11,26].

$$\gamma_{\text{eyo}}^{\text{sis}} = \frac{(\dot{W}_{\text{RT}} + \dot{W}_{\text{PV}}) - [(\dot{m}_{\text{H}_2} \times \text{ex}_{\text{H}_2}^{\text{ch}} + \dot{W}_{\text{elk, ev}}) + (\dot{W}_{\text{gsg}} + \dot{W}_{\text{rsg}})]}{\dot{W}_{\text{RT}} + \dot{W}_{\text{PV}}} \quad (3.23)$$

$$\gamma_{\text{eyo}}^{\text{sis}} = \frac{23 - (10.24 + 1.8)}{23}$$

$$\gamma_{\text{eyo}}^{\text{sis}} = 0.476$$

3.4.6.5 Çevresel etki faktörü ($f_{\text{çevre}}^{\text{sis}}$)

Çevresel etki faktörü sistemdeki atık ekserji oranının sistemin ekserjetik verimine oranı olarak hesaplanabilir. Bu değer artış gösterdikçe sistemin çevreye olan etkisi artmaktadır [9,10,11,26].

$$f_{\text{çevre}}^{\text{sis}} = \frac{\gamma_{\text{aeo}}^{\text{sis}}}{\eta_{\text{ek}}}$$
$$f_{\text{çevre}}^{\text{sis}} = \frac{(\dot{W}_{\text{RT}} + \dot{W}_{\text{PV}}) - (\dot{m}_{\text{H}_2} \times \text{ex}_{\text{H}_2}^{\text{ch}} + \dot{W}_{\text{elk, ev}})}{\dot{W}_{\text{RT}} + \dot{W}_{\text{PV}}} \quad (3.24)$$
$$f_{\text{çevre}}^{\text{sis}} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2} \times \text{ex}_{\text{H}_2}^{\text{ch}} + \dot{W}_{\text{elk, ev}}}{\dot{W}_{\text{RT}} + \dot{W}_{\text{PV}}}$$

$$f_{\text{çevre}}^{\text{sis}} = \frac{0.554}{0.443}$$

$$f_{\text{çevre}}^{\text{sis}} = 1.227$$

3.4.6.6 Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ($\Theta_{\text{esi}}^{\text{sis}}$)

Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi $1 / \text{Çevresel etki faktörü}$ olarak tanımlanabilir. Bu değer in sıfıra yaklaşması sistemin ekserjetik sürdürülebilirliğinin olmadığı anlamına gelmektedir. Bir sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ne kadar yüksekse sistem o kadar sürdürülebilir ve çevreseldir [9,10,11,26].

$$\Theta_{\text{esi}}^{\text{sis}} = 1 / f_{\text{çevre}}^{\text{sis}} \text{ olarak hesaplanabilir.}$$

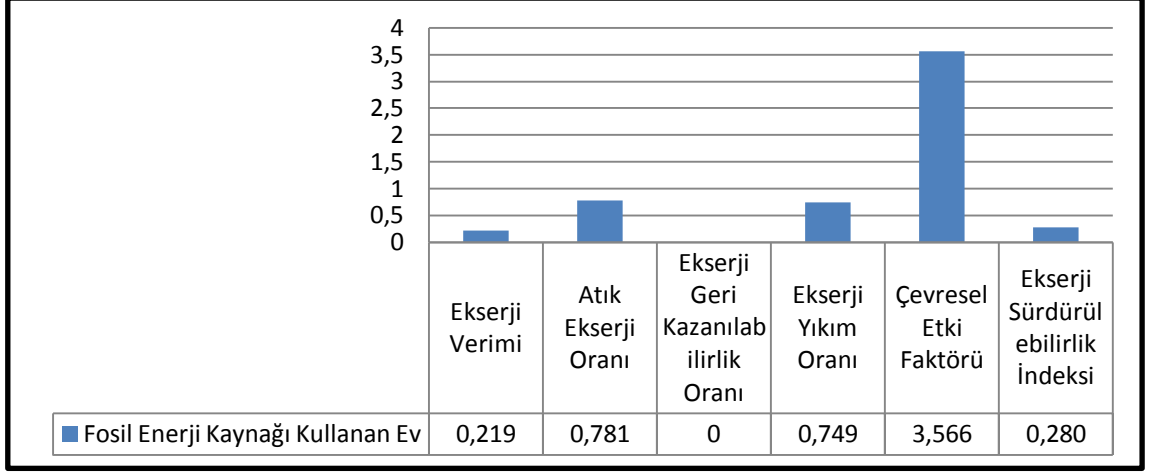
$$\Theta_{\text{esi}}^{\text{sis}} = 1 / 1.227$$

$$\Theta_{\text{esi}}^{\text{sis}} = 0.814 \text{ olarak hesaplanır.}$$

BÖLÜM IV

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Fosil Enerji Kaynağı Kullanan Ev İçin Tablo Değerleri

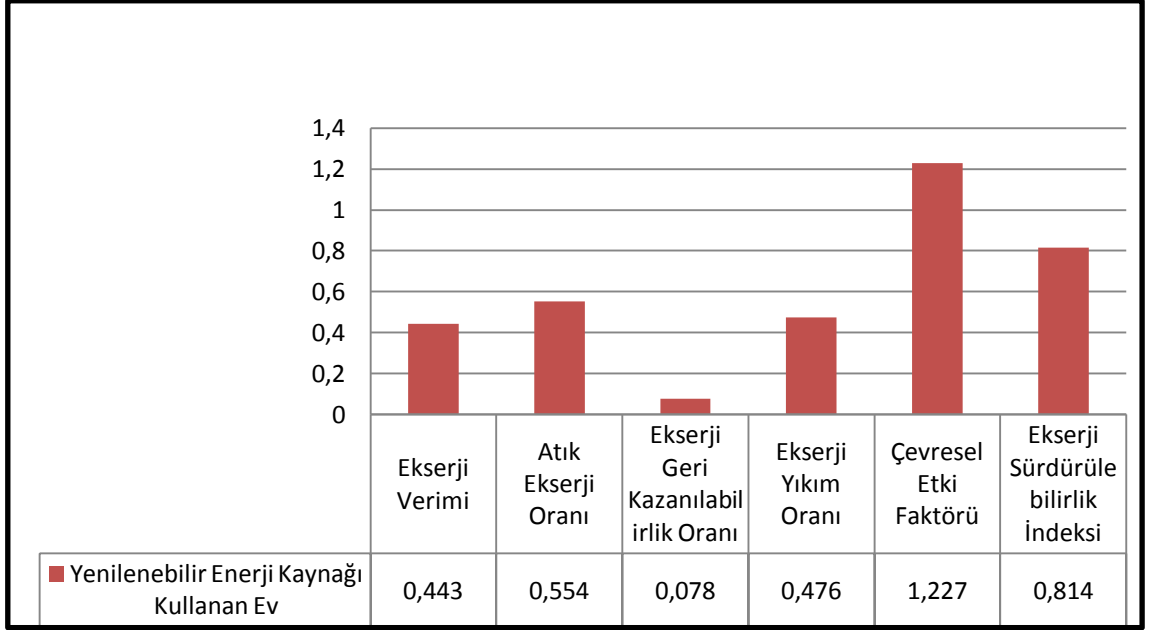


Şekil 4.1 Fosil enerji kaynağı kullanan ev için ekserjetik sürdürülebilirlik parametreleri

Fosil enerji kaynağı kullanan evde ekserjetik sürdürülebilirlik parametrelerinin incelenmesi durumunda en yüksek oranı atık ekserji oranı ve ekserji yıkım oranı almaktadır. Sürdürülebilir açıdan en olumsuz etkiyi yapmakta olan bu iki faktörün çok yüksek değerlerde olması sistemin sürdürülebilir olmadığını ve aynı zamanda da çevresel etki faktörünün oldukça yüksek olması nedeni ile çevre içinde olumlu etki yaratmadığı söylenebilir. Bu durumda sistem üzerinde yapılacak iyileştirmelerin hangi parametreleri iyileştireceği yukarıdaki grafikte açık olarak görülmektedir. Fosil enerji kaynağı kullanan sistemlerin karakteristik özelliklerinden birisi olan ekserjetik sürdürülebilirlik faktörünün 0 değerine oldukça yakın olması sistemin sürdürülebilir açıdan olumsuz olduğunu ortaya koymaktadır.

Ayrıca fosil enerji kaynağı kullanan evin ekserji veriminin düşük olması kullanılan kaynaklardan verimli bir şekilde faydalanılmadığını göstermektedir. Sistemlerin ekserji verimlerinin düşük olması da sürdürülebilirliği olumsuz yönden etkileyen faktörlerin başında gelmektedir.

4.2 Yenilenebilir Enerji Kaynağı Kullanan Ev İçin Tablo Değerleri

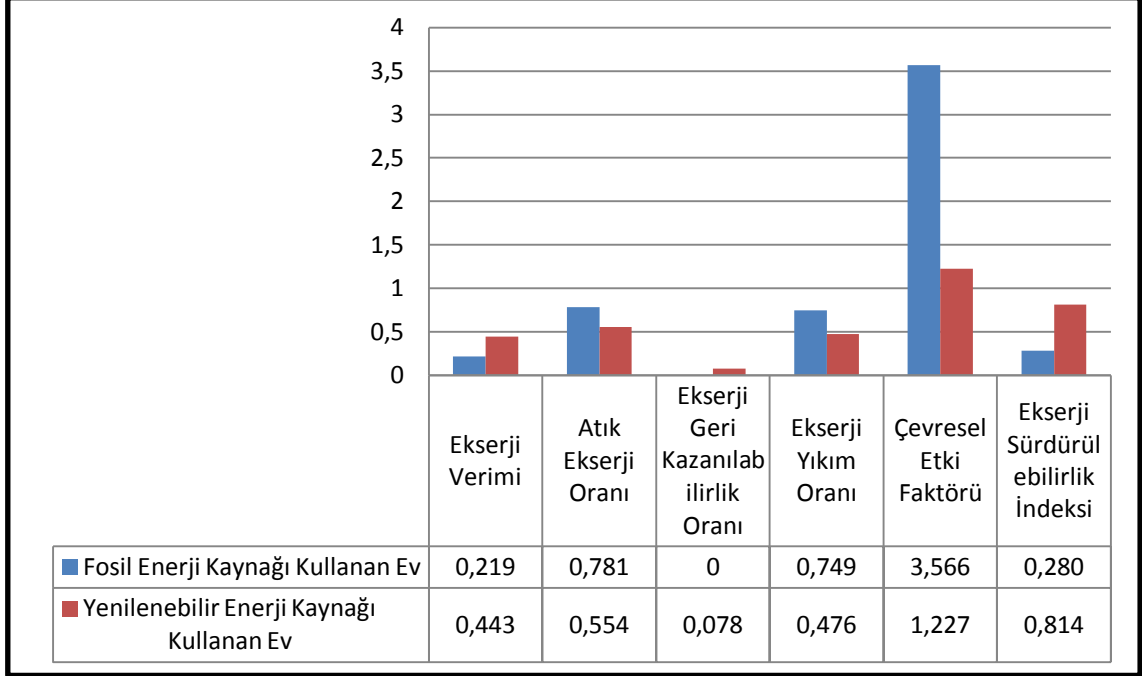


Şekil 4.2 Yenilenebilir enerji kaynağı kullanan ev için ekserjetik sürdürülebilirlik parametreleri

Yenilenebilir enerji kaynağı kullanan ev için tablo değerlerine bakıldığı zaman sürdürülebilirlik ve çevre için gerekli olan parametrelerin fosil kaynaklı sisteme oranla iyileştirilmiş oldukları göze çarpmaktadır. Özellikle atık ekserji oranı ve ekserji yıkım oranı parametrelerindeki iyileştirme sistemde meydana gelen kayıpların minimize olduğu anlamı çıkarmaktadır. Sistemin sürdürülebilir olduğunu gösteren sürdürülebilirlik indeksi fosil yakıtlı sisteme oranla oldukça yüksektir. Ayrıca sistemin çevreye vermiş olduğu olumsuz etkilerin bir sonucu olan çevresel etki faktörü yaklaşık olarak 3 kat daha azalmış ve sistemin fosil kaynaklı sisteme oranla ne derece çevreci olduğunu ortaya koymuştur. Sistemde kullanılan kaynakların verimli kullanıldığı da ekserji veriminin artışı ile göze çarpmaktadır.

BÖLÜM V

SONUÇLAR



Şekil 5.1 Fosil ve yenilenebilir enerji kaynağı kullanan evlerin ekserjetik sürdürülebilirlik parametreleri

Şekil 5.1 de görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynağı ile beslenen sistemler fosil enerji kaynağı ile beslenen sistemlere oranla daha çevreci ve daha sürdürülebilir sistemlerdir. Ekserjetik verimleri açısından bakıldığında 2 kat bir fark gözle çarpılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynağı kullanan sistemde ekserjetik açıdan kayıplar fosil enerji kaynağı kullanan sisteme oranla oldukça azdır. Bunun yanı sıra ekserjetik geri kazanım fosil enerji kaynağı kullanan sistemde mümkün olmazken yenilenebilir enerji kaynağı kullanan sistemde kayıp ekserjinin % 7' si geri kazanılabilmektedir. Buda çevresel etki açısından oldukça önem arz etmektedir. Tasarlanan bu sistem ile günde yaklaşık 17,12 m³ doğalgazdan ve bunun neden olduğu 33,75 kg CO₂ ve 161,5 kg N₂ atık gazının doğaya salınımı engellenmiştir. Ayrıca sistemde üretilen fazla enerjinin şebekeye satılması sonucu sisteme ekonomik açıdan da önemli bir katma değer sağlanmaktadır. Sonuç olarak sistem, enerji ihtiyacını temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağından karşılamakla birlikte ekonomik açıdan sürdürülebilirliğini de sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynağı kullanan sistem fosil enerji kaynağı kullanan sisteme göre yaklaşık 3 kat daha sürdürülebilir olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Lütfi, N. and Veziroğlu, T.N., A clean and permanent energy infrastructure for Pakistan, Solar hydrogen energy system, Int J. Hydrogen Energy, 16, 3, 169-200, 1991.
- [2] Ediger, S. V. and Kentel, E., Renewable energy potential as an alternative to fossil fuel in Turkey, Energy Conversion & Management, 40, 743-755, 1999.
- [3] DPT, Sekizinci beş yıllık kalkınma planı elektrik enerjisi özel ihtisas komisyonu raporu, DPT yayını, 73, Ankara, 2001.
- [4] Türksoy, F., Rüzgar verisi ölçümü ve analizi, Rüzgar Enerjisi Sempozyumu, 87-88, 95-98, 101-102, İzmir, 2001.
- [5] Dünya enerji konseyi – Türk milli komitesi, Genel enerji kaynakları yenilenebilir enerji, 5-18, Ankara, 2004.
- [6] Glaser, P.E., The potential of satellite solar power, Proceeding of IEEE, 65,8, 1162-1117, 1977.
- [7] Akkaya, S., Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye açısından önemi ve bir rüzgar enerjisi uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2007.
- [8] Kaçar, O., Akarsu tipi bir hidroelektrik santralden güç üretiminin termodinamik modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2009.
- [9] Midilli, A., Küçük, H. and Dinçer, I., Environmental and sustainability aspects of a recirculating aquaculture system, Environment Progress & Sustainable Energy, DOI: 10. 1002/ep. 10580, 2011.
- [10] Özsaban, M., Yüksek basınçta hidrojen depolama işleminin termodinamik modellenmesi ve enerji sürdürülebilirlik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2009.
- [11] Selçuk I., Yüksek basınçlı hidrojen üreten bir sistemin termodinamik modellenmesi ve ekserjetik sürdürülebilirlik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2009.

- [12] Özdamar, A., Rüzgar enerjisi ve rüzgar türbinlerine genel bakış, Teksen 2001 Sempozyumu, 242-254, İzmir, 2001.
- [13] Ackerman, T., Wind power in power systems, John Willey & Sons Ltd., 53-59, England, 2005.
- [14] Zahedi, A., Solar photovoltaic (PV) energy; latest developments in the building integrated and hybrid PV systems, Renewable energy, 31, 711-718, 2006.
- [15] Şen, Z., Karaosmanoğlu, F. ve Şahin, A. D., 4. Ulusal temiz enerji sempozyumu, s.85-90, İstanbul, 2002.
- [16] Midilli, A., Ay, M., Dinçer, I. and Rosen, M. A., On hydrogen and hydrogen energy strategies I: current status and needs, Renewable and sustainable reviews 9, 255-271, 2005.
- [17] Rosen, M. A., Scott, D. S., Comparative efficiency assessments for a range of hydrogen production processes, Int J. Hydrogen Energy, 23 (8): 653-9, 1998.
- [18] Aksakal, Z. C., Hydrogen production from water using solar cells powered nafion membrane electrolyzers”, Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2007.
- [19] Mangold K-M., Advanced electrolyzers, Dechema e.v. Karl-Winnacker-Institut Frankfurt am Main, Germany, 2008.
- [20] Friedland R., H₂ Generating and Fueling Station for Vermont, Proton Hydrogen Technology Group, 2005.
- [21] İnternet: ekserji nedir? <http://www.ekserji.com/page001.html>, 06.10.2011, 14:57.
- [22] Dinçer, I. and Rosen, A.M., Sustainability aspects of hydrogen and fuel cell systems, Energy for sustainable development, 15:137-146, 2011.
- [23] Tugnoli A., Landucci, G., and Cozzani V., Sustainability assessment of hydrogen production by steam reforming. Int. J. of Hydrogen Energy, 33(16), 4345-4357, 2008.
- [24] Onat, N. and Bayar, H., The sustainability indicators of power production systems, Renewable and sustainable energy reviews 14, 3108-3115, July, 2010.

- [25] Midilli, A., Dinçer, I. and Ay, Murat., Green energy strategies for sustainable development, Energy policy, 34, 3623-3663, 2005.
- [26] Midilli A. and Dincer I., Development of some exergetic parameters for PEM fuel cells for measuring environmental impact and sustainability, International Journal of Hydrogen Energy, 34, 3858-3872, 2009.
- [27] Küçük, H., Midilli, A., Özdemir, A., Çakmak, E. and Dinçer, I., Exergetic performance analysis of a recirculating aquaculture system, Energy conversion and management 51 1033 – 1043, 2009.
- [28] Gökçek, M., Hydrogen generation from small-scale wind-powered electrolysis matching modes, Int J. of Hydrogen Energy, Volume 35, issue 19, 10050-10059, 2010.
- [29] Granovskii, M., Dinçer, I. and Rosen M. A., Exergetic life cycle assessment of hydrogen production from renewables. J Power Sources; 167:461–71, 2007.
- [30] Dinçer, I., Green methods for hydrogen production, International Journal of Hydrogen Energy xxx, 1-18, 2011.
- [31] Engel, R. A., Chapman, G. S., Chamberlin, C. E. and Lehman, P.A., JOS6 Talioy, Byron Mortan, Lois zoo and Nicholas E. Vanderborgh, Los Alamos, New Mexico, 2000.
- [32] Yılmaz, C., Kanoğlu, M., ve Bolattürk, A., Jeotermal enerji ile hidrojen üretilmesi ve sıvılaştırılması, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir , 2011.
- [33] İnternet: Wikipedia özgür ansiklopedi
http://tr.wikipedia.org/wiki/Do%C4%9Fal_gaz , 20.12.2011, 00.12.
- [34] İnternet: İstanbul enerji kütüphanesi hidrolik enerji ile diğer santrallerin karşılaştırılması <http://istanbulenerji.com.tr/enerjiKutuphanesi.asp> , 20.12.2011, 00.09.
- [35] İnternet: Fiat otomobil modelleri teknik özellikleri.
http://www.fiat.com.tr/Pages/tr/otomobiller/linea_tekniktablo.aspx , 20.12.2011,00.27.
- [36] İnternet: EİE güneş enerjisi potansiyel atlası.
<http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/35.aspx>, 06.10.2011, 15:20.

[37] Emre, U., Doğalgaz yakılan bir ocaktaki katı yüzeyin emisyon ve verim üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.

[38] İnternet: Hidronerji hidrojen jeneratörleri. <http://hidronerji.com/?olay=ujen> , 30.09.2011, 14:47.

[39] İnternet: Clima – Beijing Time Progress Technology Development Co. Ltd. Product List. <http://www.wind-turbine-site.com/50kw.html>, 30.09.2011, 13:30.