KIRIKKALE ÜNİVERSİTSİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE'NİN TEŞVİK UYGULAMALARININ EKONOMİK ANALİZ İLE RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNE ETKİSİ

FATİH BULUT

ŞUBAT 2018

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Fatih BULUT tarafından hazırlanan **TÜRKİYE'NİN TEŞVİK UYGULAMALARININ EKONOMİK ANALİZ İLE RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNE ETKİSİ** adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı Standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Nihat İNANÇ
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Murat LÜY
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan	: Prof. Dr. Ertuğrul ÇAM	_____
Üye (Danışman)	: Yrd. Doç. Dr. Murat LÜY	_____
Üye	: Doç. Dr. Necaattin BARIŞÇI	_____

……/…../…….

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

TÜRKİYE'NİN TEŞVİK UYGULAMALARININ EKONOMİK ANALİZ İLE RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNE ETKİSİ

BULUT, Fatih

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Murat LÜY

Şubat 2018, 126 sayfa

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip Türkiye'nin farklı bölgelerinden seçilen üç şehirde bir evin elektrik talebinin karşılanması için elektriksel ve ekonomik analiz gerçekleştirilmiştir. Bölgelere göre; Marmara Bölgesi'nden Balıkesir, İç Anadolu'dan Konya ve Karadeniz'den Samsun illeri seçilmiştir. Seçilen üç ilde kurulacak üç farklı tasarımın her biri yerli imalat teşviki olup olmadıklarına göre değerlendirilmiştir.

Her ile ait farklı güneş ve rüzgar değerleri dikkate alınarak seçilen iller için hangi tasarımın daha uygun olduğu ve yerli imalat teşvikinin tasarımlar üzerindeki etkisinin nasıl olduğu çizelge ve grafiklerle gösterilip açıklamaları yapılmıştır. Evsel yük olarak dört kişilik bir ailenin günlük ortalama elektrik ihtiyacı ele alınmış, HOMER programı kullanılarak bu ihtiyacı karşılayabilecek farklı senaryolar üretilmiştir. Şebekeye bağlı fotovoltaik, rüzgar türbini ve hibrit sistemler için tasarlanan sistemlerin yerli imalat teşvikleri olup olmamalarına göre çeşitli senaryolar ele alınmıştır.

Her bir tasarım için üretilen, şebekeden alınan, şebekeye satılan enerji ve emisyon değerlerini içerecek şekilde elektriksel analiz yapılmıştır. Yine her bir tasarım için net şimdiki maliyet değerleri, enerji birim maliyet değerleri, yatırım getirisi değerleri, iç verim oranı değerleri ve geri ödeme süresi değerlerini kapsayan ekonomik analiz yapılmıştır.

Yapılan analizlerle, yatırımlardaki yerli imalat teşviklerinin etkisi ve hangi şehir için hangi yatırım daha uygun olduğu amaçlanmıştır.

Üretilen, şebekeden satın alınan ve şebekeye satılan enerji değerleri incelendiğinde; fotovoltaik tasarımlarda en iyi değerlerin Konya'da, rüzgar türbini ve hibrit tasarımlarda ise en iyi değerlerin Balıkesir'de elde edildiği görülmüştür.

Karbondioksit emisyon değerlerinin fotovoltaik tasarımlarda en iyi değerlerin Konya'da, hem rüzgar türbini tasarımları hem de hibrit tasarımlarda ise Balıkesir'de elde edildiği görülmüştür.

Ekonomik analiz verilerinden net şimdiki maliyet değerleri incelendiğinde, yerli imalat teşviki olduğunda bu değerlerin teşvik olmayan sistemlere göre kayda değer şekilde azaldığı görülmüştür. Teşvikli sistemlerdeki enerji birim maliyetleri teşviksiz sistemlere göre daha düşük çıkmıştır.

Teşvikli sistemlerdeki yatırım getirisi ve iç karlılık oranlarının teşviksiz sistemlere göre daha yüksek olduğu, geri ödeme sürelerinin ise daha kısa süreli olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Yerli, Teşvik, Yatırım, Elektriksel Analiz, Ekonomik Analiz

ABSTRACT

EFFECTS OF INCENTIVE IMPLEMENTATIONS IN TURKEY TO WIND AND SOLAR POWER SYSTEMS VIA ECONOMIC ANALYSIS

BULUT, Fatih
Kırıkkale University
Graduate School of Natural anda Applied Sciences
Department of Elektrical anda Electronics Eng. M. Sc. Thesis
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Murat LÜY
February 2018, 126 pages

In this study, electrical and economical analysis for meeting the electricity demand of a house in three city chosen from different regions of Turkey which has renewable energy sources was carried out. According to the regions; Balikesir from the Marmara Region, Konya from the Central Anatolia Region and Samsun from the Black Sea Region were selected. Each of the three different designs to be installed on the selected three were assessed according to whether they were local manufacturing incentives.

Taking into consideration the different sun and wind values belonging to each, it is shown and explained with charts and graphs about which design is more suitable for the selected cities and how the effect of the domestic manufacturing incentive is on the designs. The average daily electricity demand for a family of four as a household load was handled and different scenarios were produced with the HOMER program. Several scenarios have been dealt with, depending on whether the systems designed for grid-connected photovoltaic, wind turbines and hybrid systems are indigenous manufacturing incentives.

An electrical analysis was carried out to include the energy and emission values that are generated for each design and received from the grid. Again, for each design, economic analysis including net present cost values, energy unit cost values,

investment return values, internal rate of return values and reimbursement period values were made.

With the analyzes made, it is aimed that the effect of the local manufacturing incentives in the investments and which investment is more suitable for the city.

As a result of the analyzes made, it is aimed to determine the impact of domestic manufacturing incentives on investments and to find out which design value and profitability of investment is better for selected cities.

When the energy values that are produced, bought from the grid and sold to the grid are examined,; the best values in photovoltaic designs were obtained in Konya and the best values in hybrid designs were obtained in Balikesir.

The best carbon dioxide emission values for photovoltaic designs are in Konya and these values are obtained in Balıkesir for hybrid turbine designs and wind turbine designs.

When the net present cost values from the economic analysis data are examined,, when the net present cost values are examined, it was seen that these values decreased significantly when compared to non-incentive systems when there was domestic manufacturing promotion. Energy unit costs in incentive systems are lower than incentive-free systems.

Investment incentive and internal profitability ratios in incentive systems were found to be higher than non-incentive systems and paypack periods were shorter.

Key Words: Renewable Energy, Indigenous, Incentive, Investment, Electrical Analysis, Economic Analysis

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimi, tezin hazırlanması ve sonuçlandırılması süresince her türlü desteği vermekten kaçınmayan, tecrübelerinden yararlanırken gösterdiği hoşgörü ve sabırdan dolayı tez yöneticisi hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat LÜY'e en içten duygularımla teşekkür ediyorum.

Yüksek lisans tezi hazırlama, yazma süresince manevi desteği ve sabrıyla hep yanımda olan sevgili eşim Gözde ÇELİKEL BULUT'a, eğitim ve öğretim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen annem Şahin BULUT, babam Hacı BULUT, kardeşim Ömer BULUT'a şükranlarımı sunarım.

Fatih BULUT

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ vi
ÇİZELGELER DİZİNİ x
ŞEKİLLER DİZİNİ xii
KISALTMALAR DİZİNİ xiv
1. GİRİŞ 1
1.1. Literatür Taraması 2
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 4
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ VE ÇEŞİTLERİ 6
2.1. Hidroelektrik (Su Gücü) Enerji 7
2.2. Biokütle Enerjisi 8
2.3. Jeotermal Enerji 8
2.4. Dalga Enerjisi 9
2.5. Rüzgar Enerjisi 9
2.6. Güneş Enerjisi 9
3. RÜZGAR ENERJİSİ 10
3.1. Rüzgar Enerjisi Hız ve Güç Bağıntıları 11
3.1.1. Rüzgar hızı 12
3.1.2. Türbin kanatlarının süpürdüğü alan 12
3.1.3. Hava yoğunluğu 12
3.1.4. Rüzgâr Vasıtasıyla Sağlanan Mekanik Güç 13
3.2. Rüzgar enerjisinin avantajları 14
3.3. Rüzgar enerjisinin dezavantajları 15
3.4 Rüzgar Enerjisinin Kullanım Alanları 15
3.5. Rüzgar Türbinleri Ve Elektrik Üretimi 16
3.6 Rüzgar türbini çeşitleri 16
3.6.1.Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri 17

3.6.2. Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri 17
3.6.3. Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri 18
3.6.4. Önden ve Arkadan Rüzgâr Alan Türbinler 19
3.7. Rüzgar türbini bileşenleri..... 20
3.8. Dünyada Rüzgar Enerjisinin Durumu..... 21
3.9.Türkiye'de Rüzgar Enerjisinin Durumu..... 24
4. GÜNEŞ ENERJİSİ 27
4.1.Güneş ve Güneşten Gelen Enerji..... 27
4.2.Güneş Enerjisi Kullanım Alanları…..... 29
4.3. Güneş Enerjisinin Faydaları ve Zararları 30
4.3.1. Güneş Enerjisinin Faydaları…..... 30
4.3.2. Güneş Enerjisinin Zararları……..... 31
4.4. Güneş Enerjisi ile Elektrik üretimi..... 31
4.4.1. Parabolik Çanak Sistemleri..... 32
4.4.2. Parabolik Oluk Kollektörler..... 32
4.4.3. Merkezi Alıcı Güç Santralleri..... 33
4.5. Fotovoltaik Teknolojiler 34
4.5.1. Güneş Pilleri ve Özellikleri..... 34
4.5.2. Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler..... 36
4.6. Fotovoltaik Sistemlerde Elektriksel Modelleme..... 37
4.7. Fotovoltaik Hücrenin Karakteristiği..... 39
4.8. Fotovoltaik Sistemler..... 39
4.9. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri..... 40
4.9.1. Fotovoltaik Panel..... 41
4.9.2. Solar Regülatör..... 41
4.9.3. Akü (Batarya)..... 41
4.9.4. İnvertör..... 41
4.10. Dünyada Güneş Enerjisi..... 42
4.11. Türkiye'de Güneş Enerjisi..... 44
5. HİBRİT ENERJİ..... 46
5.1. Hibrit Enerji Sistemi..... 46
5.5. Hibrit Enerji Sistemi Bileşenleri 47
6. TEŞVİK SİSTEMİ..... 48

6.1. Teşviklerin Tanımlanması 48
6.2. Yenilenebilir Enerji Teşvikleri 48
6.3.Yenilenebilir enerji kaynakları destekleme mekanizması (YEKDEM) 48
7. HOMER PROGRAMI 52
7.1. Simülasyon 53
7.2. Optimizasyon 54
7.3. Hassasiyet Analizi 54
8. UYGULAMA VE ANALİZLER 55
8.1. Çalışma Yöntemi 55
8.2. Şebeke Karakteristikleri 57
8.3. Tasarımların Elektriksel Değerleri 59
8.3.1. Üretilen Ve Şebekeden Alınan Enerji Değerleri 59
8.3.1.1. Fotovoltaik Sistem Tasarımları 59
8.3.1.2. Rüzgar Türbini Sistem Tasarımları 60
8.3.1.3. Hibrit Sistem Tasarımları 61
8.3.2. Şebekeye Satılan Enerji Değerleri 62
8.3.2.1. Fotovoltaik Sistem Tasarımları 62
8.3.2.2. Rüzgar Türbini Sistem Tasarımları 63
8.3.2.3. Hibrit Sistem Tasarımları 64
8.3.3. Karbondioksit(CO2) Emisyon Değerleri 65
8.3.3.1. Çalışmada Elde Edilen Emisyon Değerlerinin Nasıl Elde Edildiğine İlişkin Örnek Karbondioksit(CO2) Emisyon Değerleri Hesabı 66
8.3.3.2. Fotovoltaik Sistem Tasarımları 67
8.3.3.3. Rüzgar Türbini Sistem Tasarımları 68
8.3.3.4. Hibrit Sistem Tasarımları 68
8.4. Tasarımların Ekonomik Değerleri 69
8.4.1. Ekonomik Parametreler 69
8.4.1.1.İndirim(iskonto) faktörü 69
8.4.1.2. Reel iskonto oranı 70
8.4.2. Net Şimdiki Maliyet Değerleri 71
8.4.2.1. Örnek Net Şimdiki Maliyet Hesabı 71

8.4.2.2. Çalışmada Elde Edilen Net Şimdiki Maliyet Değerlerinin Nasıl Elde Edildiğine İlişkin Örnek Net Şimdiki Maliyet Hesabı . 73
8.4.2.3. Fotovoltaik Sistem Tasarımları 84
8.4.2.4. Rüzgar Türbini Sistem Tasarımları 85
8.4.2.5. Hibrit Sistem Tasarımları 86
8.4.3. Enerji Birim Maliyet Değerleri 87
8.4.3.1. Çalışmada Elde Edilen Enerji Birim Maliyeti Değerlerinin Nasıl Elde Edildiğine İlişkin Örnek Enerji Birim Maliyeti Hesabı 89
8.4.3.2. Fotovoltaik Sistem Tasarımları 90
8.4.3.3. Rüzgar Türbini Sistem Tasarımları 91
8.4.3.4. Hibrit Sistem Tasarımları 92
8.4.4. Yatırım Getirisi Değerleri 93
8.4.4.1. Fotovoltaik Sistem Tasarımları 93
8.4.4.2. Rüzgar Türbini Sistem Tasarımları 94
8.4.4.3. Hibrit Sistem Tasarımları 95
8.4.5. İç Verim Oranı Değerleri 97
8.4.5.1. Fotovoltaik Sistem Tasarımları 97
8.4.5.2. Rüzgar Türbini Sistem Tasarımları 98
8.4.5.3. Hibrit Sistem Tasarımları 99
8.4.6. Geri Ödeme Süresi Değerleri 100
8.4.6.1. Fotovoltaik Sistem Tasarımları 100
8.4.6.2. Rüzgar Türbini Sistem Tasarımları 101
8.4.6.3. Hibrit Sistem Tasarımları 102
9. SONUÇLAR 105
KAYNAKLAR 107
EKLER 116
EK-1 İllerin Alınan-Satılan Enerji Değerleri 116
EK-2 Tasarımların Bileşen Maliyetleri 121

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE Sayfa

2.1. Alternatif Enerji Türü Ve Kaynakları 6
3.1. Ülkelerin rüzgar enerjisindeki payı[40] 22
3.2. 10 m Yükseklikte Bölgelerin ve Ülkemizin Ortalama Rüzgâr Güç Yoğunlukları[42]. 26
3.3. Türkiye'de 50 m Yükseklikteki Rüzgâr Potansiyelleri[42] 26
4.1. Farklı sıcaklık gruplarına göre güneş enerjisi uygulamaları [50]. 30
4.2. A PVPS çalışmasına göre 2015 yılında güneş elektriği kurulu gücü en fazla olan 10 ülke..... 43
4.3. A PVPS çalışmasına göre 2015 yılında kapasite artışının en fazla arttığı 10 ülke 43
6.1. YEKDEM kapsamındaki teşvik sistemi..... 49
6.2. YEKDEM kapsamındaki yerli imalat teşvik sistemi 50
8.1. Konya ili 3 Kw ve 5 Kw fotovoltaik tasarımlara ait alınan ve satılan yıllık enerji miktarları 67
8.2. Nakit akışı çizelgesi 73
8.3. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 3 kw'lık tasarımın bileşen maliyet değerleri..... 75
8.4. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 3 kw'lık tasarımın aylık alınan, satılan enerji miktarları ile enerji ücret değerleri..... 75
8.5. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 3 kw'lık tasarımın nominal nakit akış tablosu 78
8.6. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 3 kw'lık tasarımın indirgenmiş nakit akış tablosu 79
8.7. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 5 kw'lık tasarımın bileşen maliyet değerleri 80
8.8. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 5 kw'lık tasarımın aylık alınan, satılan enerji miktarları ile enerji ücret değerleri..... 80

8.9. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 5 kw'lık tasarımın nominal nakit akış tablosu 82
8.10. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 5 kw'lık tasarımın indirgenmiş nakit akış tablosu 83
8.11. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 3 kw'lık tasarım bileşenlerin yıllıklandırılmış toplam maliyetleri 90
8.12. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 3 kw'lık tasarıma ait tüketilen ve şebekeye satılan enerji miktarları 90

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL Sayfa

2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Gelişimi ve Gelecek Kullanımı[17]. .. 7
3.1. Basınç farkıyla rüzgar oluşumu[25]. 10
3.2. Betz Limiti [31] 13
3.3. Betz kanununun grafiksel gösterimi 14
3.4. Yatay eksenli rüzgar türbini 17
3.5. Dikey eksenli rüzgar türbini 18
3.6. Eğik eksenli rüzgar türbini 18
3.7. Rüzgar türbini ve bileşenleri 20
3.8. Yıllara göre dünyadaki kurulu rüzgar gücü 22
3.9. Ocak-Aralık 2016 arası yeni kurulu güç ve kümülatif kapasitesi en yüksek ilk on ülkenin dağılımı 23
3.10. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücünün Yıllar İçindeki Gelişimi 24
3.11. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücünün İllere Göre Dağılımı 25
4.1. Yıl içinde değişen güneşten gelen enerji miktarı 28
4.2. Dünya üzerine düşen güneş ışınlarının dağılımı 28
4.3. Parabolik Çanak Sistemleri 32
4.4. Parabolik kolektör yapısı 33
4.5. Merkezi Alıcı Güç Santralleri 33
4.6. Fotovoltaik pilin yapısı 35
4.7. Fotovoltaik Yapılar: Hücre- Modül- Panel- Dizi 36
4.8. FV güneş pilinin genel eşdeğer devresi 38
4.9. PV hücresinin açık devre ve kısa devre eşdeğer modelleri 38
4.10. PV panelinin akım gerilim karakteristiğinin yükle değişimi 39
4.11. Şebekeden bağımsız (off grid) sistemin blok diyagramı 40
4.12. Şebekeye bağlı(on grid) sistemin blok diyagramı 40
4.13. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri 42
4.14. Türkiye'deki güneşlenme süreleri ve global radyasyon değerleri 44
5.1. Hibrit sistem yapısı 46
7.1. Simülasyon, optimizasyon ve hassasiyet analizi arasındaki ilişki. 53

8.1. Tasarımı yapılan sistemler 56
8.2. Modelde kullanılan günlük profil..... 57
8.3. Fotovoltaik tasarımda üretilen ve şebekeden alınan enerji miktarları 59
8.4. Rüzgar türbini tasarımda üretilen ve şebekeden alınan enerji miktarları….. 60
8.5. Hibrit tasarımda üretilen ve şebekeden alınan enerji miktarları 61
8.6. Fotovoltaik tasarımda şebekeye satılan enerji miktarları..... 62
8.7. Rüzgar türbini tasarımı şebekeye satılan enerji miktarları..... 63
8.8. Hibrit enerji tasarımı şebekeye satılan enerji miktarları 64
8.9. Fotovoltaik tasarımda emisyon değerleri..... 67
8.10. Rüzgar türbini tasarımında emisyon değerleri 68
8.11. Hibrit tasarımda emisyon değerleri..... 69
8.12. Fotovoltaik tasarımda net şimdiki maliyet değerleri..... 84
8.13. Rüzgar türbini tasarımında net şimdiki maliyet değerleri..... 85
8.14. Hibrit tasarımda net şimdiki maliyet değerleri..... 86
8.15. Fotovoltaik tasarımda enerji birim maliyet değerleri..... 91
8.16. Rüzgar türbini tasarımında enerji birim maliyet değerleri..... 92
8.17. Hibrit tasarımda enerji birim maliyet değerleri..... 92
8.18. Fotovoltaik tasarım yatırım getirisi değerleri..... 94
8.19. Rüzgar türbini tasarımı yatırım getirisi değerleri..... 95
8.20. Hibrit tasarım yatırım getirisi değerleri 96
8.21. Fotovoltaik tasarım iç verim oranları..... 98
8.22. Rüzgar türbini tasarımı iç verim oranları..... 99
8.23. Hibrit tasarım iç verim oranları..... 100
8.24. Fotovoltaik tasarım geri ödeme süreleri..... 101
8.25. Rüzgar türbini tasarımı geri ödeme süreleri..... 102
8.26. Hibrit tasarım geri ödeme süreleri..... 103

KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Alternative Current
DC	Direct Current
CF	Cash Flow
COE	Levelized Cost Of Energy
HOMER	Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources
IRR	Internal Rate Of Return
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GES	Güneş Enerji Santrali
NPC	Net Present Cost
O&M	Operation And Maintance
PV	Photovoltaic
RES	Rüzgar Enerji Santrali
REPA	Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
YEK	Yenilenebilir Enerji Kanunu

1. GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusu, yaşamın birçok noktasındaki teknolojik gelişmelerin artarak devam etmesi, insanların kaliteli yaşam sürme çabalarına bağlı sürekli artan bir tüketimin olması, sanayi yatırımlarının artarak devam etmesi ve benzer birçok neden farklı yüklerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Ülkeler, hızla değişen ve gelişen dünyada ortaya çıkan enerji ihtiyacını karşılamada, güvenilir, verimli, hesaplı enerji tedarikini sağlamada farklı enerji kaynaklarına yönelmiştir.

Petrol, kömür, doğal gaz gibi milyonlarca yılda oluşan fosil enerji kaynaklarının yer aldığı yenilenemeyen enerji kaynaklarında fosil yakıt kaynaklı sera gazı salınımları insanlık ve çevre için büyük bir tehlike haline gelmiştir. Bu tehlikeyi azaltmak için dünyada güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim olmuştur.

Doğada serbest halde bulunan yenilenebilir enerji kaynakları sürekli olarak kendilerini yeniledikleri için tükenme ihtimali bulunmamakta, sürdürülebilir enerji olarak karbon salımına yol açmamaktadır. Yenilenebilir enerjilerin kaynağının büyük bir kısmı güneş olmakta, farklı güneşin ısıları neticesinde rüzgar oluşmakta, rüzgar türbinleri kullanılarak elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Hem rüzgar hem de güneş enerjisi, tüketim ihtiyacına göre istenilen büyüklüklerde tasarlanabilmekte, beslenen yükün miktarına göre şebeken bağımsız kurulabildikleri gibi enterkonnekte şebeke sistemine bağlanarak elektrik üretimi de yapabilmektedir.

Dışardan alınan enerjinin maliyetinin fazla olduğundan, yenilenebilir enerji tesisleri insan ve malzeme gücü dikkate alınarak kurulur. Yenilenebilir Enerji Politika Ağı (REN21) tarafından hazırlanan 2014 yılı Yenilenebilir Enerji Küresel Durum Raporu'na göre 2013 yılı sonu itibariyle küresel elektrik üretiminin yüzde 77,9 fosil yakıtlardan ve nükleer enerji kaynaklarından sağlanırken, geriye kalan yüzde 22,1'lik kısım yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmıştır.

21. Yüzyıl için Yenilenebilir Enerji Politika Ağı (REN21)'in 2017'de hazırladığı raporda, dünyada yenilenebilir enerji ile elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayan yüz

milyona yakın insan olduğu, uluslararası ölçekte faaliyet gösteren birçok firmanın bu enerjiyi seçmeye başladığı ve yakın gelecekte yenilenebilir enerji maliyetlerinin fosil yakıt maliyetlerine göre daha az olacağı hususu yer almaktadır [1].

1.1. Literatür Taraması

2009 yılında, H.Özcan, tez çalışmasında, HOMER ile güneş ve rüzgar enerjisinin birlikte kullanıldığı şebeke bağlantılı hibrit bir sistem modellemesi yapmış, bu modellemede bir bölgede bulunan yükü besleyecek şekilde ekonomik yönden incelemesini yapmıştır. Üretilen enerji eğer şebekeye satılmayacaksa, tasarımın en iyi sonucu verebilmesi için minimum 7,34 m/s, şebekeye satılması durumunda ise bu hızın minimum 6,75 m/s olacak şekilde rüzgar hızının bulunması gerektiği sonucuna ulaşmıştır. Güneş enerjisinde ise 1 kWh enerji maliyetinin fazlalığından dolayı güneş ışınım değerinin 5,00 kWh/m2/gün seviyesine çıkması gerektiğini belirtmiştir [2].

2010 yılında Demiröreni, yenilenebilir enerji kaynakları için minimum seviyedeki toplam net bugünkü değeri ve en az maliyetle elektrik enerjisinin hesaplamak için HOMER ile çeşitli konfigürasyonlar oluşturmuştur. TEİAŞ'tan alınan saatlik verilerle yük profilleri programda oluşturulmuş, Gökçeada'ya kurulabilecek rüzgar santrali için bir çalışma yapmış, şebekeye satılan enerji değerlerinden elde edilen verilere göre, rüzgar enerjisiyle üretilen ve bu bölgenin ihtiyacı olan enerjinin fazlasının şebekeye satılması durumunda, toplam gelirlerin bütün giderlerden fazla olduğu sonucuna varmıştır [3].

2010 yılında, B. Başaran yaptığı tez çalışmasında, Sakarya Üniversitesi kampüs alanının elektrik ihtiyacını karşılamak maksadıyla kurulacak olan 6 MW'lık kurulu güçteki rüzgar enerji santralinin kurulması durumda kampusun elektrik ihtiyacının yaklaşık %40'ını bu santralden sağlayacağını, geri kalan üretimin piyasaya satılması durumunda yatırılan paranın 10-11 yılda yeniden kazanılacağını tespit etmiştir [4].

2011 yılında, M.D. Alam Mondal ve Islam A.K.M. çalışmalarında, Bangladesh bölgesinin güneş ışınımı verilerini kullanarak HOMER ve RETScreen programları

aracılığıyla, bölgeye 1MW'lık şebekeye bağlı güneş paneli kurulduğu takdirde, enerji üretimi, geri ödeme süresi, bugünkü değer gibi çeşitli analizleri yapmışlar ve bu yatırımın bölge için uygun olduğunu bulmuşlardır [5].

2012 yılında, G. Bekele ve G. Tadesse yaptıkları çalışmalarında, Etiyopya'da altı farklı bölge için, küçük ölçekli hidro, güneş ve rüzgar hibrit sistemleri için Homer paket programını kullanarak enerji optimizasyonu ve duyarlılık analizi yapmışlardır [6].

Güler vd, Aydın'da bir otelin yük talebini karşılamak için dört farklı senaryoyu HOMER programında oluşturmuş, şebeke bağlantılı rüzgar enerjisi sisteminin optimum sonuç olduğunu belirtmiş, bu sistemde yenilenebilir enerji oranının %74, net şimdiki maliyetin ise 2,932,891$ olduğu sonucuna varılmış, bu tasarım haricindeki tasarımların yüksek yatırım bedelleri olduğu için uygun yatırım araçları olmadığını ancak şebeke satış tarifesi artarsa uygun hale gelebileceğini belirtmiştir [7].

Rohani ve Nour, HOMER Programı kullanarak, Abu Dabi'de farklı yükler için hibrit bir sistem tasarlamış, farklı sayıda evlerden oluşan enerji ihtiyacını karşılayabilecek şekilde jeneratör, akü, güneş ve rüzgarın kullanıldığı farklı benzetimler yaparak tasarımların net enerji maliyet değerlerini karşılaştırmıştır. En uygun sistemin 500 Kw yükü besleyebilecek şekilde % 30 oranında rüzgar enerjisi, % 15 oranında güneş enerjisinin kullanıldığı tasarımın olduğunu, ilk yatırım maliyetinin 4.040.000 $ ve toplam maliyetin ise 25 yıl sonunda 14.504.952 $ olduğu sonucuna varmıştır [8].

2014 yılında, Y. Arıkan yaptığı tez çalışmasında, Matlab programı kullanarak Bartın ilinin Amasra ilçesi için çeşitli senaryolar irdelenerek, rüzgar, güneş ve hibrit enerji sistemlerinde üretilen enerji miktarları hesaplanmış ve yatırımların ekonomik ve emisyon analizleri yapılmış, elde edilen sonuçlara göre, hangi durumun bölge ve yatırımcı için daha kârlı olduğu araştırılmış, bu şekilde, bölge için en uygun yatırımın rüzgar enerjisinden elde etmek olduğu tespiti yapılmıştır [9].

Kalıncı, Bozacaada'da 375 evin yük talebini karşılamak maksadıyla farklı bileşenlerden oluşan hibrit sistemleri HOMER programı ile modelleyerek maliyet analizi yapmış, şebeke bağlantılı tasarımlarda en uygun sistemin şebeke/rüzgar türbini

sisteminin olduğunu, bu sistemde enerji birim maliyetinin $0.103/kWh olduğu, şebeke bağlantısız sistemlerde ise optimum sistemin rüzgar/PV/yakıt pili sistemi olduğunu bu sistemde ise enerji birim maliyetinin $0.836/kW h olduğunu ortaya koymuştur [10].

Kıymaz, HOMER vasıtasıyla Bağlıca'daki Başkent Üniversitesi Kampüsünün yenilenebilir enerji durumu üzerine çalışma yapmış, 900.000 $ ilk yatırım maliyeti olan en uygun sistemde 0,107 $ değerinde enerji maliyetinin bulunduğunu, yükün ihtiyacı olan enerjinin %20'sinin şebekeden karşıladığını, %24'ünün rüzgar enerjisinden %56'sının ise güneş enerjisinden karşılandığını, ekonomik açıdan değerlendirildiğinde tasarımların şebeke bağlantısı olacak şekilde yapıldığında şebeke bağlantısı olmayan sistemlere göre daha iyi şekilde uygulama imkanının olduğunu belirtmiştir [11].

Özkök, her bir coğrafi bölgede seçilen en düşük ve en yüksek güneş radyasyonuna göre seçilen pilot illerde, bir hanenin elektrik ihtiyacının 3kW, 4kW ve 5kW kapasiteli çatı üstü fotovoltaik sistemlerle karşılanması HOMER yazılımı kullanılarak analiz etmiştir. Türkiye'de mevcut durumda çatı üstü fotovoltaik sistem yatırımlarının geri ödeme süresi 12,4 yıl ve üzerinde olması dolayısıyla ekonomik açıdan cazip olmadığını ortaya koymuştur [12].

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, Türkiye'deki üç il seçilerek, bir evin elektrik ihtiyacının fotovoltaik, rüzgar türbini ve hibrit sistemlerle ayrı ayrı karşılanabildiği durumlardaki elektriksel ve ekonomik analizi yapılmıştır. Farklı bölgelerden seçilen üç ilde kurulacak üç farklı tasarımın her biri yerli imalat teşviki olup olmadıklarına göre değerlendirilmiş, HOMER programı kullanılarak sistemlerin benzetimi yapılmıştır. Evsel elektrik ihtiyacının farklı tasarımlarla şebeke bağlantılı PV modül, rüzgâr türbinleri ve hibrit sistemler tasarlanarak, her bir tasarıma ait verilerden tasarımların elektriksel ve ekonomik analizleri yapılmıştır. Çalışmaların yapıldığı illerin rüzgar hızı ve güneş ışınım değerleri HOMER programı aracılığıyla elde edilmiş, tasarımların ilk yatırım maliyeti, toplam yatırım maliyeti, şebeke satış tarifesi gibi unsurlar dikkate alınarak mevcut durumda yatırımların değerleri ve karlılıkları incelenmiştir. Her bir tasarım

için üretilen ,şebekeden alınan enerji, şebekeye satılan enerji ve emisyon değerlerini içerecek şekilde elektriksel analiz yapılmıştır. Yine her bir tasarım için net şimdiki maliyet değerleri, enerji birim maliyet değerleri, yatırım getirisi değerleri, iç verim oranı değerleri ve geri ödeme süresi değerlerini içerecek şekilde ekonomik analiz yapılmıştır. Yapılan analizlerle, yerli imalat teşviklerinin yatırımlar üzerinde ne kadar etkisinin olduğu, hangi il için hangi tasarımın daha uygun olduğu yani hangi tasarımın yatırım değeri ve karlılığının daha iyi olduğunu ortaya çıkarmak amaçlanmıştır.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ VE ÇEŞİTLERİ

Yenilenebilir enerji, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle gibi dünyada kendiliğinden bulunan kaynaklar vasıtasıyla elde edilen, doğada sürekli halde bulunan enerji çeşididir [13].

Çizelge 2.1. Alternatif Enerji Türü Ve Kaynakları

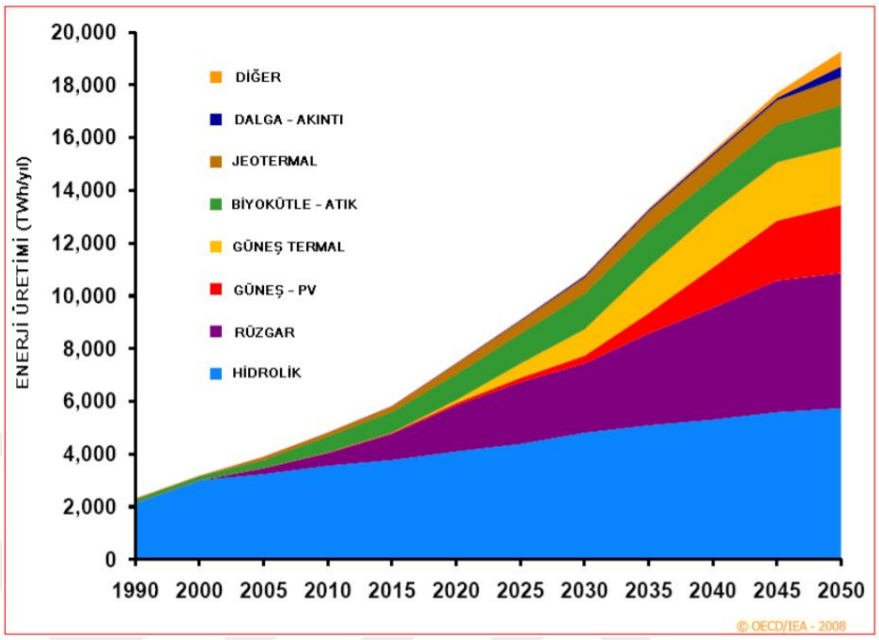
Alternatif Enerji Türü	Kaynak
Güneş Enerjisi	Güneş
Rüzgar Enerjisi	Atmosferin hareketi
Jeotermal Enerji	Enerji yer altı suları
Hidroelektrik Potansiyel Enerji	Barajlar
Biokütle Enerjisi	Biyolojik artıklar, yağlar
Dalga Enerjisi	Okyanus ve Deniz

Yenilenebilir enerji türleri ve bunların kaynakları Çizelge 2.1.'de yer almaktadır [14]. Dünyada fosil yakıtlardan kaynaklı endişeler ülkeleri yenilenebilir enerjiye yönelmelerini sağlamış, bu enerjiye sağlanan teşviklerle oldukça geniş alanda kullanılmasına zemin hazırlamıştır [15]. Şekil 2.1'de yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimi ve gelecek kullanımı gösterilmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının genel özellikleri;

- Yenilenebilen bu enerji kaynakları çevre kirliliğine sebep olmazlar.
- Teknolojileri mevcut teknolojilerden daha basittir.
- Mevcut teknolojilerden daha güvenlidirler.
- Kullanılışları daha kolaydır, hareketli parçaları yoktur.
- Enerjiyi kullanıldıkları yerde üretmeye müsaittirler.
- Kayıpları çok azdır.

- Kaynakları güneş, hava ve sudur [16].



Şekil 2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Gelişimi ve Gelecek Kullanımı [17].

2.1. Hidroelektrik (Su Gücü) Enerji

Temelinde akmakta olan suyun enerjisi kullanmak olan hidroelektrik enerji, barajlarda toplanan suyun gücünden, suyun düşü yüksekliğinden ve akma hızından yararlanılarak elde edilen enerjidir.

Su gücünün kullanımı tarihsel olarak, birçok ülkede oldukça gerilere gitmektedir. İlk olarak su milleri, su gücünü mekanik enerjiye dönüştürmek için kullanılmıştır. Su gücünden elektrik üretimi, 19. yy. sonlarında başlamış ve günümüzde teknik olgunluğa ulaşmıştır. Bir su bendi, bendin önünde ve arkasında bir yükseklik bendi oluşturmaktadır. Bu potansiyel fark, bir güç tesisi tarafından kullanılabilmektedir. Su, potansiyel enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren bir türbin boyunca akmaktadır ve elektrik jeneratörü ile elektrik enerjisine çevrilmektedir [18].

2.2. Biyokütle Enerjisi

Bitkilerin fotosentez yoluyla bünyelerinde depoladığı enerji biokütle kaynaklarının esasını oluşturmaktadır. Biyolojik kökenli bu enerji kaynaklarının kendilerini yenileyebilme gücü, bitkiden bitkiye değişiklikler göstermektedir. Bitkilerin yeşermesi ise, başta iklim koşulları olmak üzere, mevsimlere göre uygulanan tarım tekniklerine ve bitkinin biyolojik yapısına göre değişiklikler arz etmektedir. Dünya enerji ihtiyacının % 15' ini karşılayan klasik biokütle kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Biokütle, yenilenebilir enerji kaynakları arasında elektrik üretiminde temel yük özelliğini sağlayacak en büyük potansiyele sahip bir kaynak durumundadır. Biokütle enerjisi, günümüz dünyasında modern ve klasik olarak ayrılabilmekte, hayvandan dışkısından oluşan tezek ve ağaçların kesilmesiyle oluşan odunun yakılması klasik biokütle enerjisini tanımlamakta, enerji bitkileri ve ormanları atıklarından oluşan etanol, biodizel gibi yakıtlar ise modern biokütle enerjisinin tanımını oluşturmaktadır [18].

2.3. Jeotermal Enerji

Yerin iç katmanındaki sıcak kayalarda bulunan suların ısınarak buharlaşması sonucu zayıf yer kabuğu noktasından yeryüzüne ulaşan buhardan faydalanmak suretiyle elde edilen enerji çeşidi olup bu enerjinin ısısı alındıktan sonra bu suyun kayıplara uğramadan tekrar geldiği bölgeye gönderilmesi gerekir [16].

Kullanım alanları;

Endüstriyel Uygulamalarda Kullanılması: Balıkesir- Gönen ilçesinde deri tabakalama işinde kullanılmakta, Kızıldere' de 120.000 ton/yıl karbondioksit üretimi jeotermal akıştan faydalanarak yapılmaktadır.

Konutların Isıtılması Amacıyla Kullanılması: Bu enerji ile Sarayköy (Denizli), Sandıklı (Afyon), Kızılcahamam (Ankara), Diyadin (Ağrı), Edremit (Balıkesir)

Termal Turizm Uygulamalarda Kullanılması: Gönen, Bolu, Yalova, Sandıklı'daki otellerde jeotermal kaynaklar kullanılmaktadır.

Seraların Isıtılması Amacıyla Kullanılması: Edremit-Havran, Balçova, Sındırgı–Hisaralan, Afyon–Ömer, Hüdai [19].

2.4. Dalga Enerjisi

Dünyanın enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmakta ve bu ihtiyacını karşılamak amacıyla yapılan çalışmalarda da en önemli yere ve en fazla potansiyele sahip enerji kaynağı olarak dünyanın ¾' ünden fazlasını kaplayan okyanuslar oluşturmaktadır. Dalgalar, gelgitler, akıntılar ,metan gazı okyanus vasıtasıyla enerji üretmenin yollarından sayılabilmekte olup, dalga enerjisi deniz üzerinde esmekte olan rüzgarların oluşturduğu dalgaların arasındaki farklardan oluşan enerjidir [20].

2.5. Rüzgar Enerjisi

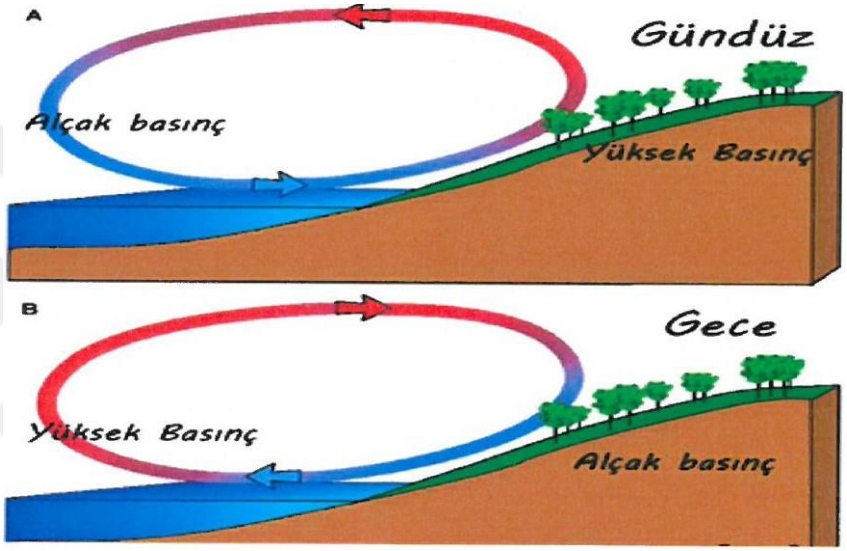
Rüzgar türbini kullanılarak rüzgar enerjisinin hareket enerjisine sonrasında jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürüldüğü bu enerji türüyle ilgili tezin "3. Rüzgar Enerjisi" başlığı altında detaylı açıklama yapılmıştır.

2.6. Güneş Enerjisi

Güneşin ışığından faydalanmak suretiyle elde edilen güneş enerjisi, güneş çekirdeğindeki füzyon aşaması sonrasında ortaya çıkan ışınım enerjisi olarak tanımlanmaktadır. sıcak su kullanılması, işyeri ve evlerin ısıtılması, termal sistemler ve elektriğin üretilmesinde kullanılan güneş enerjisi, elektrik şebekesinden oldukça uzak mesafede bulunan iş yeri, köy, ev, çiftlik gibi yerlerin elektrik ihtiyacı için de kullanılabilmektedir [21].

3. RÜZGAR ENERJİSİ

Yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru yönelen yani yer değiştiren bir hava akımı olarak tanımlanan rüzgar, ısı enerjisinin kinetik enerjiye dönüştüğü olay olup güneşin gün boyu dünyadaki farklı yüzey bölgelerindeki farklı hızlarla ısınıp soğuması sonucu oluşmaktadır [22].



Şekil 3.1. Basınç farkıyla rüzgar oluşumu [23].

Rüzgardan elde edilecek enerji rüzgarın hızına bağlı olup, yükseklik arttıkça bu hız artar, hız arttıkça da rüzgardan sağlanan güç artar. Yüksek basınçtan alçak basınca doğru oluşan rüzgarın gündüz ve gece oluşumu Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Rüzgar hızı, m/sn ya da km/saat olarak ifade edilmekte olup bu hız hava kütlesinin hareket hızıdır. Yerel hava şartları, yer şekilleri, basınç farkları, dünyanın günlük hareketleri gibi unsurlar rüzgar hareketine etki eden en önemli faktörlerdir. Rüzgârın etkilerini (şiddeti) tespit etmek için Beaufort (Bofor) ölçeğine göre; açık ve düz alanda 10 m. yükseklikteki tanımlanan rüzgar hızları, 10.8 m/s'den sonra kuvvetli rüzgar, 17.2 m/s'den sonra fırtına olarak tanımlanmaktadır [24].

Enerji açısından değerlendirildiğinde, rüzgar hızı 6.5 m/s olduğunda orta düzey, 7.5 m/s iyi, 8.5 m/s ve üzerindeki hızlar çok iyi olacak şekilde ifade edilmektedir [25]. Güneşten yer yüzüne ulaşan %1,5-2'si rüzgâr enerjisine dönüşebilmekte güneş yeryüzüne saatte 1017 kW enerjiyi güneş ışınları yoluyla göndermektedir [26].

3.1. Rüzgar Enerjisi Hız ve Güç Bağıntıları

Rüzgar hızından kaynaklı olan kinetik enerji, rüzgar enerjisini oluşturmaktadır.

$$E_k=1/2.m.V^2=1/2.(\ Avt\rho)V^2=1/2.At\rho V^3 \quad (3.1)$$

Bu denklemde;

V: Rüzgar hızı [m/s],

ρ: Rüzgarla taşınan hava yoğunluğu [kg/m³],

Avt: t süresince A alanından geçen havanın hacmi [m³],

Avtρ: A alanından t süresince geçen havanın kütlesi [kg],

Birim zamanda harcanan enerji olan rüzgarın gücünü şu denklem verir:

$$P=E/t=1/2.A\rho V^3 \quad (3.2)$$

Burada rüzgar şiddeti, güç ve güç yoğunluğu anlık değerler olup güç ifadesinin kanatların kestiği alanı ve rüzgarın hızı ile orantılı olduğu görülmektedir [27].

Bu denklemde bulunan bileşenleri inceleyecek olursak:

3.1.1. Rüzgar hızı

Denkleme rüzgar hızının küpüyle orantılı olan rüzgarın gücü oluşmakta, buna göre hız iki kat arttığında güç sekiz kat artmaktadır. Bundan dolayı, hıza karşı mekanik dayanımı dikkate alarak olabildiğince tüksek seviyedeki hızlar tercih edilmektedir. Rüzgar hızı datalarının alındığı, en yaygın kullanılan standart yükseklik 10m' dir. Üretilecek enerji, rüzgar hızının küpüyle değişeceği için, 30 ile 80m yüksekliğe yerleştirilecek türbin kulesi önemli bir avantaj sağlamış olacaktır [28].

3.1.2. Türbin kanatlarının süpürdüğü alan

Rotor kanatları tarafından süpürülen alan olup aynı rüzgar hacmi söz konusu olduğunda ne kadar geniş bir alan türbin kanatları tarafından süpürülürse o kadar fazla güç ortaya çıkar. Rotor kanatları boyu iki kat arttırıldığında, rüzgardan sağlanan güç dört kat artacaktır [28].

3.1.3. Hava yoğunluğu

Havanın yoğunluğunun artması temin edilen gücü de artıracaktır. Havanın yoğunluğu deniz seviyesinde, 1.23 kg/m^3 olup, 1000m yüksekliğe yerleştirilmiş bir türbin, deniz seviyesindeki bir bölgeye yerleştirilmiş bir türbinin üreteceği enerjinin %80' ine denk gelen bir enerji üretecektir [28].

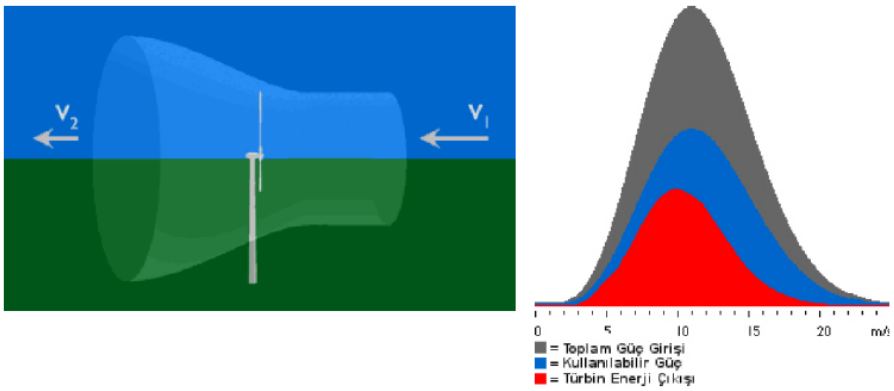
Rüzgar türbininin gücü P_{wt}, türbinin güç katsayısı C_p ile, rüzgar gücünün P_w çarpımı olarak ifade edilir .

$$P_{wt} = C_p . P_w = 1/2.C_p . A.\rho.V^3 \quad (3.3)$$

Rüzgar hızının ve şaft hızının bir fonksiyonu olan güç katsayısı C_p sabit bir çalışma noktasında, rüzgar hızı, şaft hızı ve pervane seçimine bağlı değişiklik gösterir.

3.1.4. Rüzgâr Vasıtasıyla Sağlanan Mekanik Güç

Rüzgârın tamamı rotorda mekanik güce dönüşmediğinden mekanik güç ifadesi için rotor veriminin hesaplanması gerekmektedir. Rotor kanatlarının yakaladığı gerçek güç miktarı, rüzgâr kanalının giriş ve çıkışındaki hava akışlarının arasındaki kinetik enerjilerin farkı olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3.2. Betz Limiti [31]

Betz Limitine göre maksimum gücün bağıntısı şudur:

$$P=1/2\ \rho v^3 \pi r^2 Cp \qquad (3.4)$$

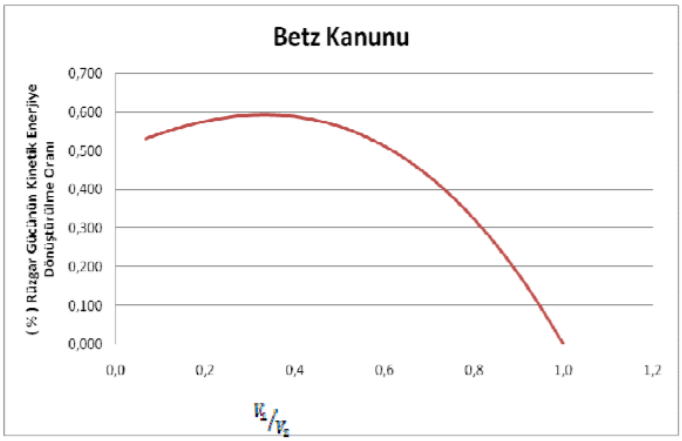
Bu bağıntıda

P = Rüzgar gücü [W]

ρ(rho) = Hava yoğunluğu = 1,225 [kg/m^3]

V = rüzgarın hızı [m/s]

r = rotorun yarıçapı [m]'dir.



Şekil 3.3. Betz kanununun grafiksel gösterimi

Betz limiti yâda Betz kanunu olarak nitelendirilen bu kavrama göre rüzgar türbininin giriş hızı ile çıkış hızı arasındaki fark ne kadar yüksek olsa da türbinden sağlanan enerji hiçbir şekilde 16/27'ü (0,59) aşmamaktadır. Betz kanunun gösterimi Şekil 3.2.'de görülmekte, Şekil 3.3.'te ise bu kanunun grafiksel gösterimi yer almaktadır. Betz kanununa göre, rüzgardan üretilen enerji, bölgedeki rüzgar potansiyeli, bölgenin topografik özellikleri, kullanılan rüzgar türbinlerinin gücü ve tipinden bağımsız şekilde rüzgârın enerjisinin %59'unu geçmemektedir [29].

3.2.Rüzgar enerjisinin avantajları

- Rüzgardan sağlanan enerji fosil yakıt tüketimini azaltan, temiz, sürekli, yakıt-ham madde gideri bulunmayan bir enerji türüdür.
- Elde edilecek enerji potansiyeli oldukça fazla olan rüzgar enerjisi üretimi devlet teşvikleri kapsamındadır.
- Fosil yakıtlar sonucu oluşan zararlı gazlar rüzgar enerjisinde söz konusu olmayıp rüzgar türbinleri, asit yağmurları ve sera etkisine yol açmayarak çevreye katkısı sağlamaktadır.
- Rüzgar enerjisi sektörü, başta rüzgar bileşenleri üreten firmalar olmak üzere, üretilen elektriği satan ve dağıtan şirketler, ar-ge şirketleri, pazarlama finans, montaj servis vb. bir çok sektörde istihdam oluşturmak suretiyle ülke

ekonomisine katkıda bulunmaktadır.

- Rüzgar enerjisinde kullanılan türbinlerin kurulduğu küçük kırsal yörelerde arazi için ödenen kira veya satın alma ücretleri bu bölgede yaşayan insanlara ekonomik katkı sağlamaktadır Rüzgar türbinlerin kapsadığı gerçekte olan alanın santral toplam alanının %1-1,2'si kadar olmakta ve bu durum çiftçilik faaliyetlerine engel teşkil etmemektedir [30].

3.3. Rüzgar enerjisinin dezavantajları

- Rüzgar türbinlerinin üretimi ve kurulumu çok yüksek miktarda yatırım gerektirmektedir.
- Rüzgar türbinleri, kuşların göç yollarını değiştirmelerine neden olarak doğal yaşama tehdit oluşturabilirler.
- Dalgalı bir yapıda bulunan rüzgarın hızı sürekli değişmekte, bunun sonucu olarak da, rüzgar santralleri istenilen her yere kurulamamaktadır. Böylece üretilen enerjisinin depolanması gerekmektedir.
- Rüzgar türbinlerinin oluşturduğu gürültü ve görüntü kirliliğinin, türbinlerin kurulduğu bölgede yaşayan insanlar üzerinde olumsuz etkisi bulunmaktadır [31].

3.4. Rüzgar Enerjisinin Kullanım Alanları

Eskilerden bu yana mekanik enerjinin ihtiyaç olduğu alanlarda kullanılan rüzgar enerjisinde güç kaynağı kanatların dönme hareketinden kaynaklanmaktadır. Günümüzde rüzgar enerjisi, ısıl enerjisi, elektriksel ve mekanik uygulamalarında etkin şekilde kullanılmaktadır. Türbin kapasitesinin 5-10 kW arasında olduğu bu tip rüzgar enerjileri, büyük hacimdeki seraların ve su ısıtılmasında kullanılabilmektedir. Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak iki şekilde elektrik üretmek amacıyla kullanılan rüzgar enerjisi sistemleri, bir yerleşim yerinin veya evlerin enerji ihtiyacının karşılanması, şarj sistemleri, soğutma sistemleri gibi elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan birçok yerde, kullanılan sisteme göre jeneratör, PV güneş paneli ile

birlikte kurularak enerji üretebilmektedirler. Tahıl öğütme sistemleri, tarımdaki su pompalaması gibi alanlarda ekonomik ve verimli olmasından dolayı rüzgar enerjisi kullanılabilmektedir [32].

3.5. Rüzgar Türbinleri Ve Elektrik Üretimi

Rüzgar vasıtasıyla elektrik üretilmesi, rüzgarda bulunan enerjinin türbindeki kanatların bağlı olduğu rotoru döndürmesiyle havanın sahip olduğu kinetik enerjinin önce mekanik enerjiye, bu enerjinin de rotor milinin dişli çarkla devrinin artırılarak jeneratöre iletilmesiyle elektrik enerjisine çevrilmesi şeklinde gerçekleşmektedir.

Rüzgar türbinleri, ancak belirli bir rüzgar hızında elektrik enerjisi üretimine başlayabilmekte, "Cut-in" olarak adlandırılan bu hızın altında sistem tümüyle durmaktadır. Rüzgar hızı arttıkça elde edilen elektrik enerjisi de artmaktadır. Belirlenen bir hızda herr bir rüzgar türbini için sistemden sağlanan güç maksimum düzeye çıkmaktadır. Buradaki maksimum hıza "nominal hız", maksimum güce ise "nominal güç" denilmektedir. Belli bir hızdan sonra türbinlerin otomatik şekilde durması sağlanır ki burada amaç sistemin hasar görmesini engellemektir. Ortaya çıkan bu en büyük hız değerine "Cut-out" hızı denilmektedir. Yani, Cut-in ve Cut-out rüzgar hızları arasındaki hızlarda rüzgar türbinleri enerji üretebilmektedir. Modern rüzgar türbinlerindeki Cut-in hız değerleri 3-4 m/s, nominal hız değerleri 11-15 m/s ve Cut-out hız değerleri 25-30 m/s arasında bulunmaktadır [33].

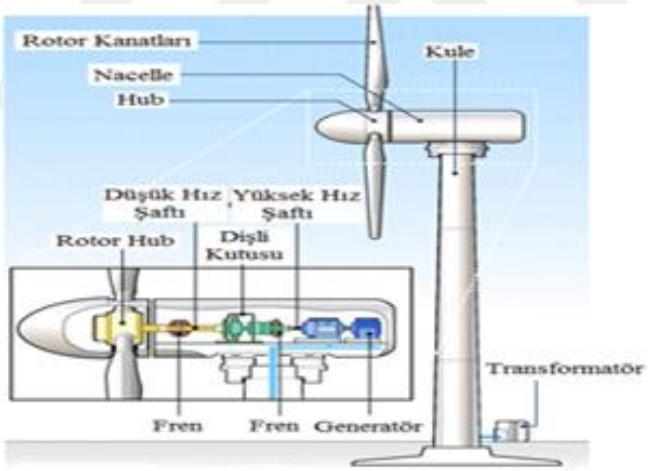
3.6. Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri

Kanat sayısı, dönme ekseni, güç, kontrol sistemleri ve jeneratör yapısına göre sınıflandırılan rüzgar türbinleri, dönme ekseni dikkate alınarak düşey, yatay ve eğik eksenli rüzgar türbini olacak şekilde sınıflandırılırlar.

3.6.1. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Kanatların rüzgâr yönüne dik, dönme ekseninin rüzgar yönüne paralel, olduğu türbinlerde azalan kanat sayısına oranla rotor daha hızlı dönme hareketi yapmaktadır. %45 verimle çalışan türbinler çevrede buluna engellerden 10m yüksekte olacak şekilde ve yer seviyesinden 20-30 m yükseklikle yerleştirilirler. Kanat uç hız oranı (λ), rüzgâr hızı değerinin rotor kanadı uç hızı değerine bölünerek elde edilen orandır. Şekil 3.4.'de yatay eksenli rüzgar türbini gösterilmektedir.

Eğer; λ= 1–5 arasında ise çok kanatlı,
λ= 6–8 arasında ise üç kanatlı,
λ= 9–15 arasında ise iki kanatlı,
λ>15 ise tek kanatlı rotor
kullanılmaktadır.

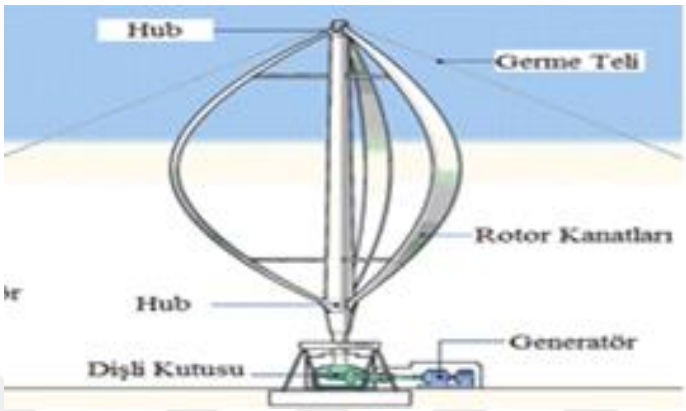


Şekil 3.4. Yatay eksenli rüzgar türbini

3.6.2. Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri

Düşey kanatlı, dönme ekseni rüzgar yönüne düşey ve dik olan türbinlerde rüzgar her yönden kabul edilebilmektedir. Türbinlerin verimi %35 seviyelerinde olup kulenin bulunmasına gerek duyulmadığından rüzgar hızları düşük seviyedeyken çalışmak

zorundadırlar ve “Yaw” sistemine gerek duymazlar. Şekil 3.5.’de dikey eksenli rüzgar türbini gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Dikey eksenli rüzgar türbini

3.6.3. Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri

Bu rüzgar türbinlerin dönme eksenleri ile kanatları arasında belli bir açı vardır. Şekil 3.6.’da eğik eksenli rüzgar türbini gösterilmektedir [34].



Şekil 3.6. Eğik eksenli rüzgar türbini

3.6.4. Önden ve Arkadan Rüzgâr Alan Türbinler

Günümüzde daha çok rüzgarı ön yüzden alacak şekilde kullanıldığı yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde, rüzgâr rotorunun yüzü rüzgâra doğru konumlanmıştır. Bu türbinler kulenin yapacağı gölgeleme etkisine maruz kalmamaktadırlar.

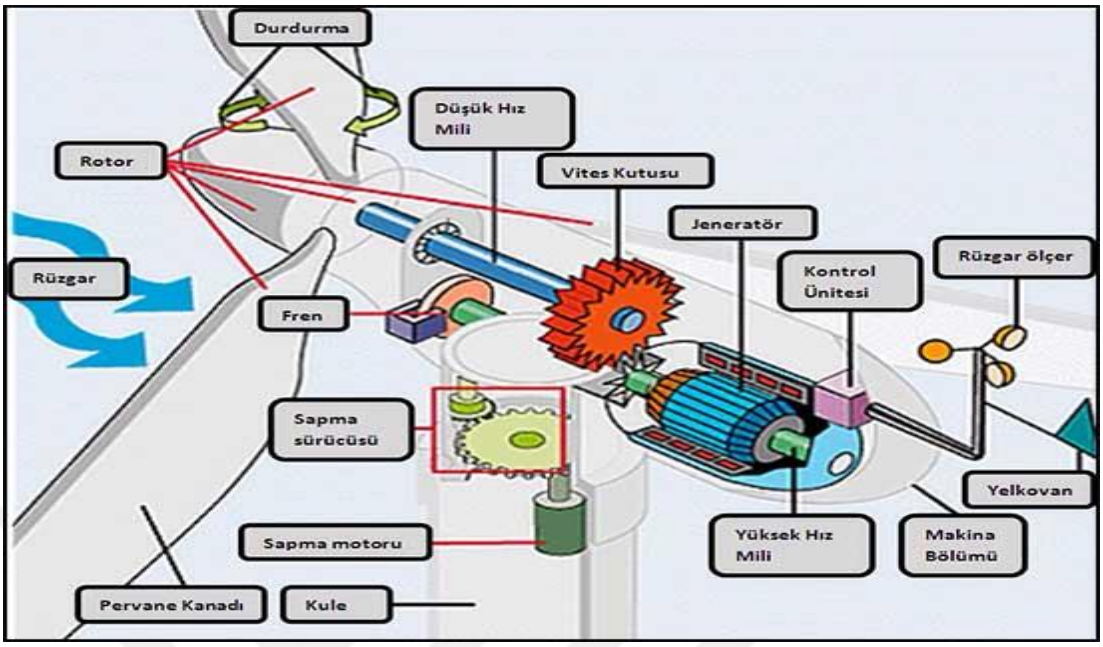
Rüzgârı arkadan alan rüzgâr türbinlerinde türbin rotorları kule arkasında bulunmakta ve yaw mekanizmasına gerek duymamaktadır. Rotor kanatlarının kuleye vurma riski olmadığından kanatlar çok esnek yapıda imal edilebilme özellikleri olup önden rüzgârlı türbinlere göre daha hafif yapıdadırlar [35].

Ayrıca rüzgâr türbinlerinin kurulacağı yer dikkate alınarak deniz üstü ve kara üstü, devirleri dikkate alınarak düşük devirli ve yüksek devirli olarak da sınıflandırılmaları yapılır [36].

Bu sınıflandırmaların yanında rüzgar türbinleri güçlerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılır:

- Küçük güçlü türbinler : 100 kW'dan az gücü olan türbinler
- Orta güçlü türbinler : 100 kW-1 MW arasında güçleri olan türbinler
- Büyük güçlü türbinler : 10 MW'a kadar güçleri olan türbinler
- Çok büyük güçlü türbinler: 10 MW veya daha fazla güçleri olan türbinler [37].

3.7.Rüzgar türbini bileşenleri



Şekil 3.7. Rüzgar türbini ve bileşenleri

Kanatlar: Rüzgarı yakalayan ve gücünü rotora aktaran ekipman olup birçok türbinler 2 veya 3 kanatlı olacak şekilde tasarlanmıştır.

Rotor: Türbindeki göbek ve kanatlar birlikte rotor diye adlandırılır.

Fren: Herhangi bir acil durumda rotoru elektriksel, hidrolik, veya mekanik durdurur.

Düşük Hız Mili: Rüzgar türbinini dişli kutusuna bağlayan mildir. Rotor, düşük hız milini dakikada 30-60 kez döndürebilmektedir.

Pitch: Kanadın eğim bölümüdür. Rüzgar yönüne göre eğim açısı ayarlanabilmektedir.

Jeneratör: Sistemdeki mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesini sağlar.

Dişli Kutusu: Düşük hız milini yüksek hız miline bağlayan kutudur. Dakikada 30-60 olan dönme hızını dakikada 1200-1500'e yükselterek jeneratörlerden üretilecek elektrik enerjisi için gerekli hızı sağlarlar.

Kontrolör : Türbinlerdeki 3 ile 5 m/sn' lik rüzgâr hızlarını 24-25 m/s'ye çıkaran, yüksek hız olduğunda sistemi durdurabilen sistemdir [38].

Türbin Kabini: Türbin jeneratörü, dişli kutusu, transformatörü kapsayan kısımdır.

Anemometre: Rüzgar hızını ölçerek bu bilgileri kontrolöre ileten parçadır.

Yön Belirteci: Rüzgar yönünü tespit etmek amacıyla kullanılır ve rüzgarın geliş yönünü kontrolöre bildirir.

Kule: Rüzgar türbini ana parçalarını taşıyan ekipman olup çelik kafesten veya çelik borudan imal edilirler.

Yüksek Hız Mili: 1500 devir/dakika ile dönerek jeneratörü çalıştırmaya yaramakta olup acil durumlarda mekanik disk freniyle hareket eder.

Yön Saptırma Motoru: Kontrolörden gelen veriyi dikkate alarak türbin kabininin dönmesini başlatır.

Yön Saptırma Sürücüsü: Rüzgar yönünü dikkate alarak türbin kabinini döndürür [39].

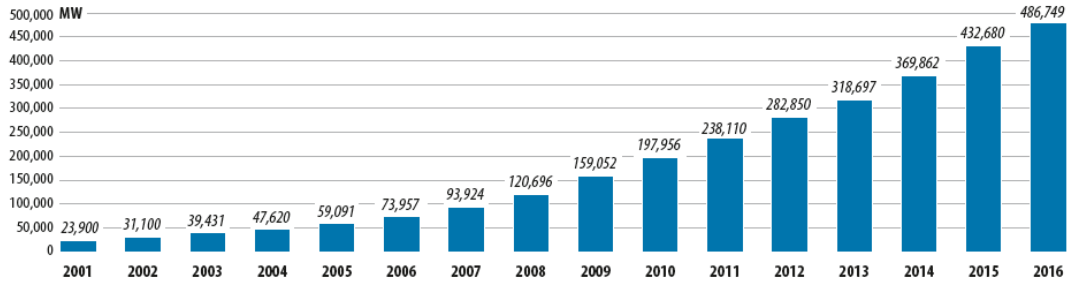
3.8.Dünyada Rüzgar Enerjisinin Durumu

Rüzgar enerjisi, siyasi ve ekonomik yönden değerlendirildiğinde tüm dünya devletleri için oldukça önemli konuma gelmiştir. Dünyada devletler, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak ve dışa bağımlılığı azaltabilmek için çetin bir mücadele sürdürmektedirler.

Çizelge 3.1. Ülkelerin rüzgar enerjisindeki payı [40].

Ülke	MW	%Oran	Ülke	MW	%Oran
Cin Halk Cumhuriyeti	23,328	42.7	Cin Halk Cumhuriyeti	168,690	34.7
Amerika Birleşik Devletleri	8,203	15.0	Amerika Birleşik Devletleri	82,184	16.9
Almanya	5,443	10.0	Almanya	50,018	10.3
Hindistan	3,612	6.6	Hindistan	28,700	5.9
Brezilya	2,014	3.7	İspanya	23,074	4.7
Fransa	1,561	2.9	Birleşik Krallık	14,543	3.0
Türkiye	1,387	2.5	Fransa	12,066	2.5
Hollanda	887	1.6	Kanada	11,900	2.4
Birleşik Krallık	736	1.3	Brezilya	10,740	2.2
Kanada	702	1.3	İtalya	9,257	1.9
Diğer Ülkeler	6,727	12.3	Dünyanın geri kalanı	75,577	15.5
Toplam TOP 10	**47,873**	**88**	**Toplam TOP 10**	**411,172**	**84**
Dünya Toplam	**54,600**	**100**	**Dünya Toplamı**	**486,749**	**100**

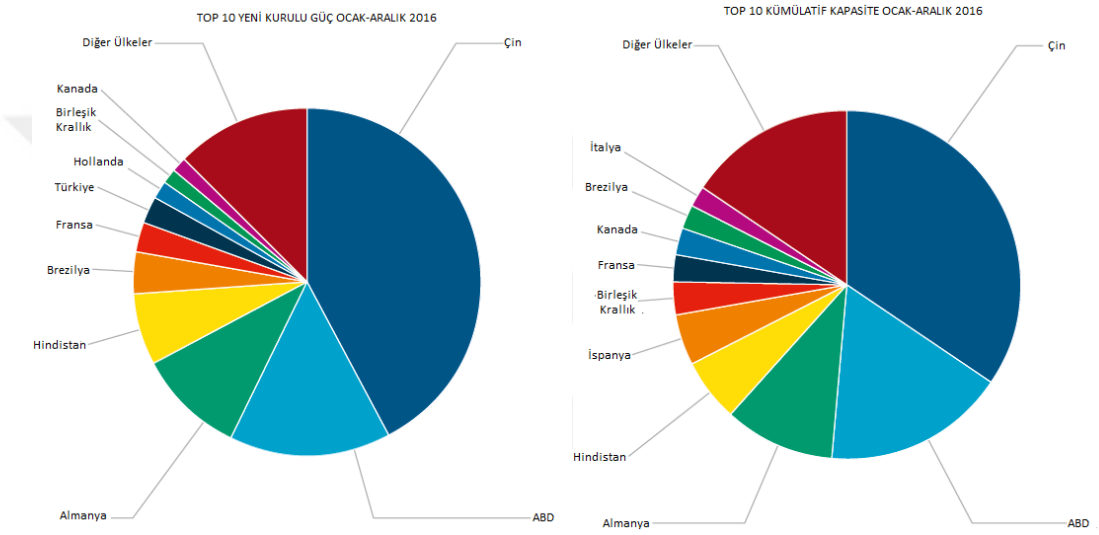
Çizelge 3.1.'te ülkelerin rüzgar enerjisindeki payları gösterilmekte olup, dünya rüzgar enerjisi pazarında Çin liderliğini korumakta olup ABD, Almanya, Hindistan da bu pazarın büyük paya sahip ülkeleri arasında bulunmaktadır. Şekil 3.8.'de görüldüğü üzere, 2015 yılı sonunda 432,680 MW olan kurulu rüzgar gücü %12'lik bir artış sergileyerek 2016 yılı sonu 486,749 MW kurulu rüzgar gücüne ulaşmış ve aynı yıl içerisinde 54,600 MW kapasite kurulmuştur. Rüzgar enerjisi sektörünün büyümesinde, dünyadaki iklim değişikliği, doğalgaz ve petrol teminindeki belirsizlikler, ekonomi yönünden avantajları gibi sebepler etkili olmuştur.



Şekil 3.8. Yıllara göre dünyadaki kurulu rüzgar gücü

Dünyadaki rüzgar enerjisi kurulu gücünün yıldan yıla yaklaşık %10 seviyelerinde artmasında bu enerji için uygulanan teşviklerin etkisi kaçınılmazdır.

Şekil 3.9'da ülkeler bazında 2016 yılı ikinci yarısındaki rüzgâr enerjisi kurulu güç artış dağılımları yer almaktadır. Bu zaman diliminde, Çin (23.328 MW), ABD (8.203 MW) Almanya (5.443 MW), Hindistan (3.612 MW) ve Brezilya (2.014 MW) güç ile en çok kapasite artışı sağlayan ülkeler olmuştur. 2016'daki Çin'de meydana gelen bu artışla, Çin'deki rüzgâr enerjisi kurulu gücü 168.690 MW seviyesine çıkmış ve dünya rüzgâr türbini kurulu gücündeki payı %34.7 olarak gerçekleşmiştir [40].

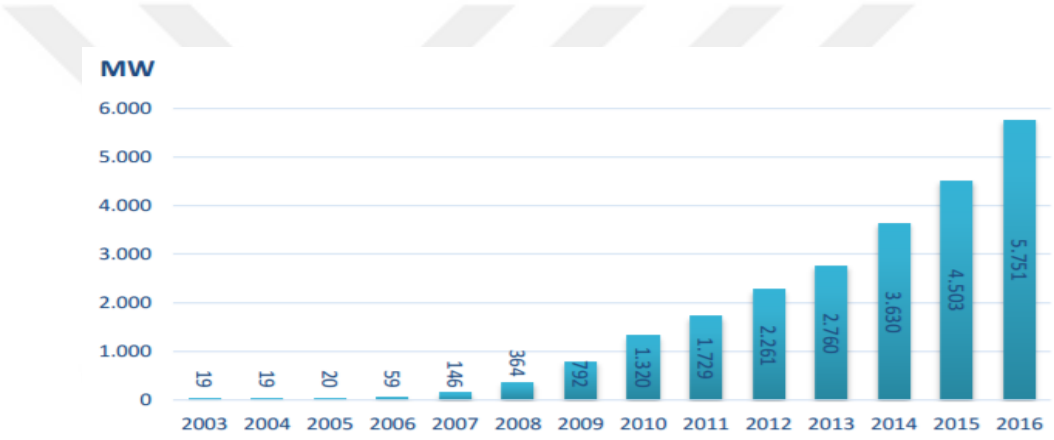


Şekil 3.9. Ocak-Aralık 2016 arası yeni kurulu güç ve kümülatif kapasitesi en yüksek ilk on ülkenin dağılımı

2016 yılı sonunda Avrupa Birliği kurulu rüzgar enerji kapasitesi 161,330 MW'a ulaşmış olup 2015'te 147.899 MW olan bu değer %9'luk bir artış göstermiştir. Almanya, 50.018 MW kurulu gücüyle en büyük Avrupa rüzgar enerji marketi olurken 23.074 MW ile İspanya ikinci sırada yer alırken, 16 Avrupa ülkesi 1 GW üstü kurulu kapasiteye sahip olurken 10 ülke de 5 GW barajını aşmıştır [40].

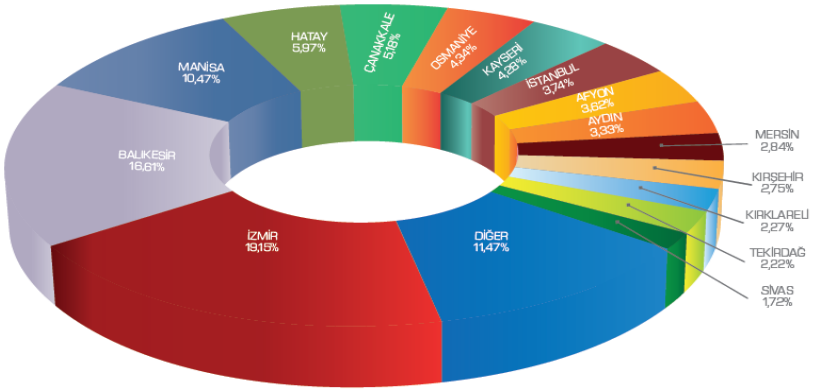
3.9. Türkiye'de Rüzgar Enerjisinin Durumu

Son zamanlarda Türkiye'de yenilenebilir enerji üzerine yapılan yatırımlar hızlanmıştır. 2016 yılı sonunda yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye kurulu gücündeki payı yüzde 44'e çıkarak 34.575 MW olmuştur. Türkiye'de, 2016 yılsonu itibarıyla rüzgâr enerjisi santrali için 209,9 MW kurulu gücünde önlisans ve 9.893,6 MW kurulu gücünde lisans verilmiş olup, aynı yılın sonunda toplam kurulu gücü 5.751 MW olan işletme halinde olan rüzgâr santrali bulunmaktadır. Türkiye'de rüzgâr enerjisi kurulu gücünün yıllar içindeki gelişimi Şekil 3.10.'da gösterilmiştir [41].



Şekil 3.10. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücünün Yıllar İçindeki Gelişimi

2016 yılı içinde Erzurum ve Elazığ'da toplam 12,9 MW'lık Lisanslı Güneş Enerji Santrali(GES) işletmeye geçmiştir. 2016 yılında toplam 147 MW'lık lisanslı GES için Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi(TEİAŞ) ile ilgili şirketler arasında Katkı Payı Anlaşmaları imzalanmıştır. 2016 yılı sonu itibariyle devrede olan lisanssız GES kurulu gücü 819,6 MW ve lisanssız RES kurulu gücü 12,9 MW olarak gerçekleşmiştir. Şekil 3.11.'de Türkiye'de illere göre rüzgâr enerjisi kurulu gücü değerleri gösterilmiştir [41].



Şekil 3.11. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücünün İllere Göre Dağılımı

Rüzgâr Enerji Santrallerinin (RES) kurulu gücü ülkemizde her yıl artmakta olup, 2003 yılında kurulu gücümüz 19 MW iken 2016 yılı Temmuz ayı itibarıyla kurulu gücümüz 5.751 MW olarak gerçekleşmiştir. Son beş yıl içerinde rüzgâr enerji santrallerinin kurulu gücündeki artış 4000 MW'dan fazladır. Bu durum, RES'lere yönelik yapılan yatırımların önemli miktarda arttığını göstermektedir. 2016 yılı sonu itibariyle işletme halinde olan, yani elektrik enerjisi üretimi gerçekleştiren ülkemizde toplam 152 RES bulunmaktadır [41].

Çizelge 3.2'de Türkiye'deki bütün bölgelerin 10 m yükseklikteki rüzgâr güç yoğunlukları ve ortalama rüzgâr hızları verilmiş olup, sırasıyla; Marmara, Güneydoğu Anadolu, Ege, Akdeniz, Karadeniz, İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgesi rüzgâr enerji potansiyeli yüksek olan bölgelerdir. En düşük rüzgâr güç yoğunluğuna sahip bölge olan Doğu Anadolu Bölgesi'nde herhangi bir rüzgâr enerji santrali faaliyet göstermemektedir.

Çizelge 3.2. Bölgelerin ve Ülkemizin 10 m Yükseklikte Ortalama Rüzgar Hızları ve Ortalama Rüzgâr Güç Yoğunlukları[42].

Bölge Adı	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)	Ortalama Rüzgâr Gücü Yoğunluğu (W/m^2)
Marmara Bölgesi	3.3	51.91
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	2.7	29.33
Ege Bölgesi	2.6	23.47
Akdeniz Bölgesi	2.5	21.36
Karadeniz Bölgesi	2.4	21.31
İç Anadolu Bölgesi	2.5	20.14
Doğu Anadolu Bölgesi	2.1	13.19
Türkiye Toplanı	**2.54**	**24**

Çizelge 3.3. Türkiye'de 50 m Yükseklikteki Rüzgâr Potansiyelleri [42].

Rüzgar Kaynak Derecesi	Rüzgar Sınıfı	50 m'de Rüzgar Gücü Yoğ.(W/m^2)	50 m'de Rüzgar Hızı (m/s)	Toplam Alan (km^2)	Rüzgarlı Arazi Yüzdesi	Toplam Kurulu Güç(MW)
Orta	3	300-400	6,5-7,0	16 781,39	2,27	83,906
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
Sıra dışı	7	>800	>9,0	1 079,98	0,01	195,84
Toplam				26 351,28	3,57	131756,4

Ülkemizdeki rüzgar enerji potansiyelinin verildiği Çizelge 3.3 incelendiğinde, iyi ile sıra dışı rüzgar sınıfı toplamının 47.849,44 MW olduğu, bu arazilerin Türkiye toplam arazisinin % 1,30'u olduğu görülmüştür. Rüzgar sınıfının orta ile sıra dışı arası değerlerinde ise potansiyelin 131.756,40 MW düzeyinde olduğu ve rüzgarlı arazinin toplam alanının ülkemizin % 3,57'sine denk geldiği ortaya çıkmıştır [11].

4. GÜNEŞ ENERJİSİ

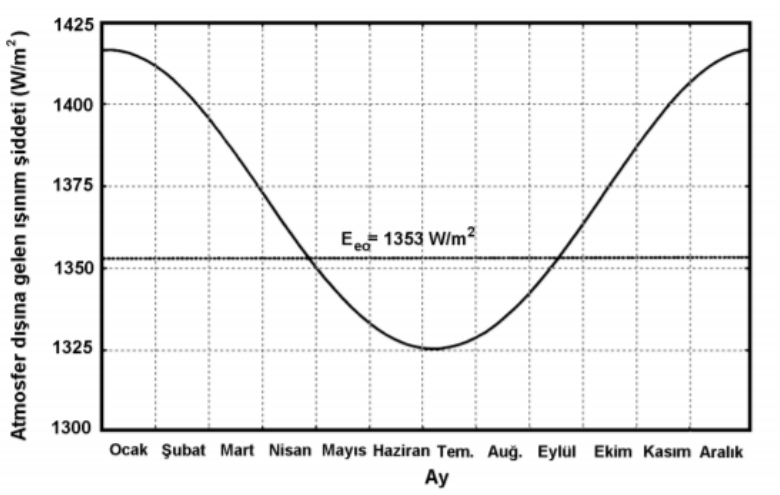
4.1. Güneş ve Güneşten Gelen Enerji

Samanyolu galaksisindeki milyarlarca yıldızdan biri olan güneş, dünyadan 110 kat büyüklüğünde ve 150 milyon km uzaklıktadır. Yüzey sıcaklığının 6000 K'i bulduğu güneşin merkez sıcaklığının yaklaşık 40 milyar K olduğu varsayılmaktadır [43].

Hidrojenin % 84'ünü, Helyumun % 6'sını ve diğer elementlerin ise % 0.13'ünü oluşturduğu güneş içindeki saniyede 564 milyon ton olarak bulunan H atomu 560 milyon ton olacak şekilde He atomuna evrilir ve 4 milyon ton kayıp kütleye denk şekilde radyasyon olarak uzaya yayılan 3,86x1026 J enerji açığa çıkmış olur [44].

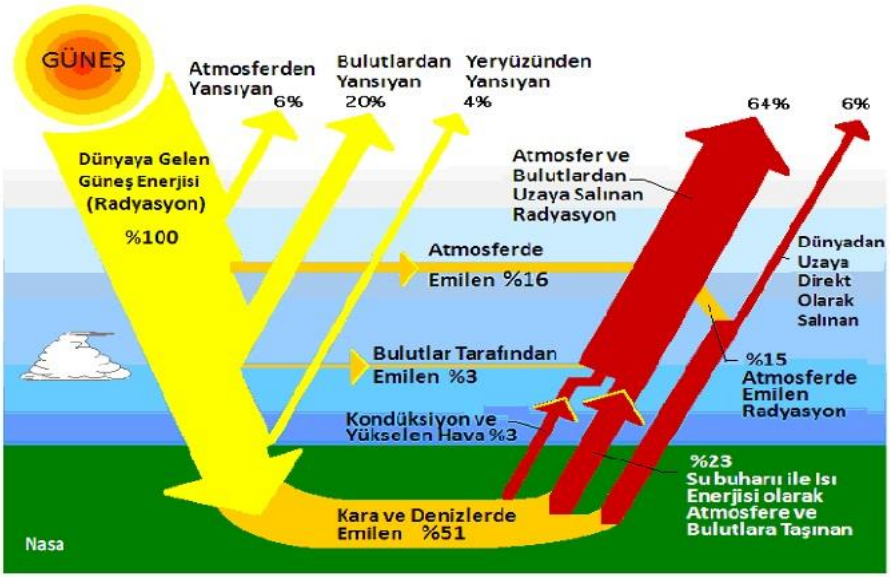
1370 W/m² seviyesinde olan güneş enerjisinin şiddetinin dünyaya gelen miktarı 0-1100 W/m2 seviyesi arasında olup bunun nedeni gelen enerjinin geriye kalan kısmının atmosferden soğurulmasıdır [45].

Atmosferi geçerken bir kısmı yansıtılan güneş ışınımının, atmosfer dışında güneş ışınlarına dik olan birim yüzeye birim zaman diliminde gelen değerine güneş sabiti adı verilmektedir ve bu değer 1353 W/m^2 dir, Yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı miktarı, kendi etrafında dönmesine, dünyanın, atmosferik şartlara, coğrafik faktörlere güneş etrafındaki yörüngesine göre değişiklik gösterir. Şekil 4.1.'de yıl içinde değişen güneşten gelen enerji miktarı verilmiştir [46].



Şekil 4.1. Yıl içinde değişen güneşten gelen enerji miktarı

Gün içinde geliş açısına göre değişen ışınım şiddeti, öğle vaktinde maksimum değere ulaşır ki bunun sebebi, ışınların öğle vaktinde atmosferde en az yolu izlemesidir. Atmosferdeki CO_2, su buharı ve ozon dünyaya gelen ışınımın büyük kısmını absorbe ederken metan, azot ve oksijen gibi gazlar da mor ötesi ışınımın bir bölümünü absorbe ederler [47].



Şekil 4.2. Dünya üzerine düşen güneş ışınlarının dağılımı

Radyasyon adı verilen dünyaya gelen güneş enerjisinin bir kısmı yansımakta bir kısmı da farklı bölgelerde farklı oranlarda absorbe edilmektedir. Sırasıyla atmosferden, bulutlardan ve yeryüzünden toplam %30'luk bir oranda yansıyan radyasyonun belirtilen bu alanlarda da emilimi %70 düzeyindedir. Yıl içinde değişen güneşten gelen enerji miktarı Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.

4.2. Güneş Enerjisi Kullanım Alanları

Güneş enerjisi sonucu oluşan ya ısı doğrudan ya da elektriğin üretilmesinde kullanılmakta olup düşük sıcaklık sistemleri ve yoğunlaştırıcı sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Güneş havuzları, vakum-tüp güneş kolektörleri, su arıtma sistemleri, sera sistemleri, ürün kurutma sistemleri düşük sıcaklık sistemlerindendir. Merkez alıcı sistemler parabolik çanak sistemler, parabolik oluk kolektörler de yoğunlaştırıcı sistemler grubuna girmektedir [48].

Güneş pilleri, akü şarj kontrol üniteleri, invertörler, aküler ve farklı devreler kullanılarak fotovoltaik sistem oluşturmakta, ihtiyaç olan alanlarda bu sistem kullanılmaktadır. Güneş enerjisi sistemleri, daha çok şebekenin bulunmadığı yerlerde, jeneratör için kullanılan yakıtın pahalı ve taşımasının zor olduğu hallerde kullanılmaktadır.

Güneş enerjisinden pek çok alanda faydalanılmakta olup direkt faydalanan sistemler, aktif ve pasif sistemler olarak iki gruba ayrılır. Aktif sistemler; toplayıcılar ve diğer dönüştürücüler aracılığı ile güneş enerjisinden faydalanmayı esas alırken pasif sistemler ise binaların yön, geometri ve yapı elemanları ile güneş enerjisinden faydalanmayı esas almaktadır [49].

Yüksek sıcaklık, orta sıcaklık ve düşük sıcaklık olacak şekilde üçlü şekilde sınıflandırılan güneş enerjisinin uygulama alanlarının bazıları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı sıcaklık gruplarına göre güneş enerjisi uygulamaları [50].

Düşük Sıcaklık Uygulamaları	**Orta Sıcaklık Uygulamaları**	**Yüksek Sıcaklık Uygulamaları**
Fotovoltaik sistemler Güneş fırınları ve ocakları Sulama sistemleri Konutların ısıtılması Kullanmak için sıcak su temini Seraların ısıtılması Tarım ürünlerinin kurutulması	Büyük seviyedeki soğutma-ısıtma sistemleri Endüstriyel kullanım için buhar üretimi	Güneş fırınları

4.3. Güneş Enerjisinin Faydaları ve Zararları

Temiz bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin birçok avantajı olmakla birlikte dezavantajları da mevcuttur.

4.3.1. Güneş Enerjisinin Faydaları

Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre avantajları daha çok olan güneş enerjisine ait avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- Yakıt kullanımı gerektirmediğinden tükenmez bir enerji kaynağıdır.
- Güneşten elektrik üreten tesislerin amortisman süreleri yaklaşık 5-6 yıl arasındadır. Bu durum diğer enerji üretim yöntemlerinin önüne geçme imkanı tanır.
- Sıcak su temini, elektrik enerjisinin üretilmesi gibi çevreye zararı olmayan kullanım alanları vardır.
- Oldukça kolay tesis kurulumu ve elektrik üretim süreci bulunmakta, tesislerin işletme ve bakım giderleri düşüktür.
- Güneş enerjisiyle elektrik üretilen tesislerin geri dönüş süresi 5 ila 6 yıl arasında olmaktadır.
- Hava şartları tahmin edilebilmekte olup dayanıklı malzemeden yapıldığı için

kötü hava şartlarına karşı korunaklı olmaktadır [51].

4.3.2. Güneş Enerjisinin Zararları

Güneş enerjisinin bazı dezavantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Elektrik enerjisi üretmek için kullanıldığında ilk yatırım giderleri fazladır
- Güneş enerji sistemleri için araziler geniş yer tutmaktadır.
- Güneşten gelen ışınların %12'si ile %20'si arasındaki miktarı kullanılabilmektedir yani verimleri yüksek değildir.
- Dünyada hızlı şekilde yayılan üretimden kaynaklı yeni teknolojiler ile eskiyen fotovoltaik paneller çevre kirliliği oluşturmaktadır.
- Küçük ölçekli sistemlerdeki aküler kısa ömürlü olup kolay şekilde bozulmaktadırlar [51].

4.4. Güneş Enerjisi ile Elektrik üretimi

Elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılan güneş enerjisi farklı sistemlerle bunu sağlayabilmekte olup dünyada bu amaçla kullanılan sistemler yoğunlaştırıcı ve fotovoltaik sistemlerdir. Yoğunlaştırıcı sistemler, yüksek sıcaklık esasına göre işlevini yerine getirir, ilk enerji kaynağı olarak güneş kullanılır ve farklı tipteki toplayıcılar ile doğrudan gelen güneş ışığı yansıtılarak toplanarak oluşan yüksek ısı buhara çevrilir, elde edilen buhar türbine gönderilir ve buradan da elektrik üretilir.

Güneş enerjisi sistemlerinde en çok kullanılan yoğunlaştırıcı sistemler şunlardır:
- Parabolik Çanak Sistemleri
-Parabolik Oluk Kolektörleri
- Merkezi Alıcı Güç Santralleri [52].

4.4.1. Parabolik Çanak Sistemleri

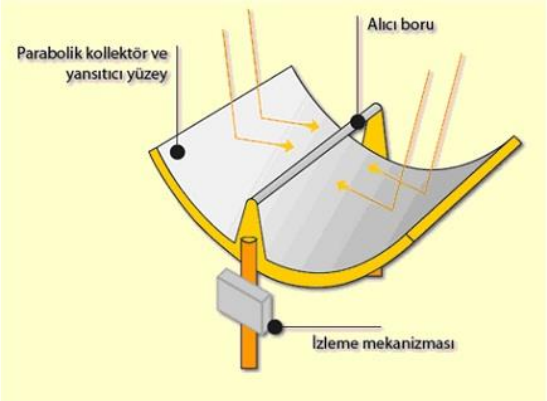
Güneş ışınları, heliostat denilen aynalar ile odaklanır, ortaya çıkan ısı çanak merkezindeki boruda bulunan sıvıya aktarılır. Burada bulunan eşanjörler sayesinde yüksek sıcaklık ve basınçta oluşturulan buhar türbine gönderilerek elektrik üretilir. Şekil 4.3.'te parabolik çanak sistemleri görülmektedir.



Şekil 4.3. Parabolik Çanak Sistemleri

4.4.2. Parabolik Oluk Kollektörler

Çizgisel yoğunlaştırma durumunun söz konusu olduğu bu sistemde, parabolik oluklar maksimum düzeydeki güneş ışınlarını yoğunlaştırma görevi üstlenmekte, güneşi izleyen sensör ve takip sistemi içermektedir. Kollektör merkezindeki boru üzerinde, yansıtıcı yüzeyden dolayı ışınlar yoğunlaşarak boruda bulunan yağda oluşan ısı, santrallere iletilerek elektrik üretilir. Şekil 4.4.'te parabolik kolektör yapısı görülmektedir.



Şekil 4.4. Parabolik kolektör yapısı

4.4.3. Merkezi Alıcı Güç Santralleri

Merkezi alıcı sistemlerde güneşten gelen enerji, üzerindeki aynalar(heliostat) aracılığıyla kulede bulunan alıcıya yansıtılmış olur. Kulenin etrafına yerleştirilen bu heliostatlar, güneşi takip eden merkezi bilgisayar sistemi aracılığıyla kulede bulunan alıcıya güneş enerjisini yansıtırlar. Alıcıda bulunan boru sisteminde tuzlu eriyiğin ısı enerjisi buhar türbininde elektrik üretmek için kullanılır. Şekil 4.5.'te merkezi alıcı güç santralleri görülmektedir.



Şekil 4.5. Merkezi Alıcı Güç Santralleri

Parabolik çanak sistemlerinin maliyetlerinin fazla olmasında, yüksek kapasitede kullanım imkanının olmaması ve bu sistemdeki teknolojinin yaygın halde bulunmaması etkili olmuştur. Merkezi alıcı güç santralleri de üzerinde bulunan hantal yapıdaki heliostatlar yüzünden pahalıdır. Parabolik oluk kolektörlerinde ise özel teknoloji içeren ısı toplama borusu ve aynalar maliyetleri artırmaktadır [53].

Güneş termal güç santralleri tasarlarken şu parametreler dikkate alınır;

- Güneş enerjisinin ve iklimin üzerinde yapılacak değerlendirmeler,
- Parametrelerin uyumlaştırılması
- Bölgenin Seçilmesi

Tesisin kurulacağı bölge seçilirken şu kriterler dikkate alınır;

- Düşük seviyedeki yıllık yağış miktarı
- Orman alanlarından uzakta yer alması
- Sis ve bulut olmayan bir atmosfer
- Düşük rüzgar hızı
- Hava kirliliğin bulunmaması [45].

4.5. Fotovoltaik Teknolojiler

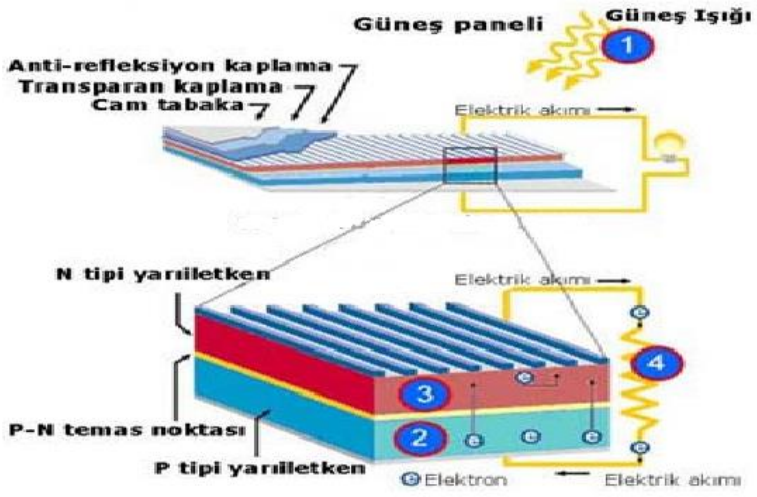
Işığı temsil eden “Photo” ve elektriği temsil eden “Voltaic” kelimelerinin birleşmesi ile oluşan Photovoltaic (PV) deyimi ışık enerjisi anlamına gelmekte ve “güneş pili” olarak da ifade edilmektedir. Enerji dönüştürme sırasında gün ışığından başka herhangi bir yakıt kullanmayan güneş pilleri, çatı veya herhangi bir cepheye montaj edildiklerinde ek olarak başka bir yüzey ve mekan gerektirmemektedirler [54].

4.5.1. Güneş Pilleri ve Özellikleri

Fotovoltaik hücreler, üzerine düşen fotonları DC elektrik enerjisine dönüştüren ve bunu yaparken yarı iletken malzeme olarak Galyum, Silikon,Arsenit, Bakır İndiyum

Diselenid veya Kadmiyum Tellurid kullanan sistemlerdir. 0,2-0,4 mm kalınlığında ve 100/156/243 cm² alanlarına sahip dikdörtgen, kare veya daire biçimindeki yüzeylere sahip olan hücrelerin verimleri %5-%20 aralığında olup yüksek düzeyde gerilim elde edebilmek için hücreler seri bağlanacak şekilde fotovoltaik sistemleri ortaya çıkarmaktadır [55].

Fotovoltaik hücrelerde yansımayı ve enerji kaybını önleyecek şekilde koruma ve kaplamalardan oluşan üst tabaka bulunmakta, bunun altında P tipi ve N tipi yarıiletken malzemeler yer almakta olup çok kristalli silisyumlar güneş en çok kullanılan yarıiletken malzemelerdir.



Şekil 4.6. Fotovoltaik pilin yapısı

Şekil 4.6.'da görüldüğü gibi fotovoltaik pilin çalışması aşağıda ifade edilmiştir:

1) Çok elektronlu P tipi yarıiletken malzeme ve az elektronlu N tipi yarıiletken malzemenin bulunduğu güneş pili üzerine düşen güneş ışığı ve fotovoltaik hücreler aracılığıyla emilir.

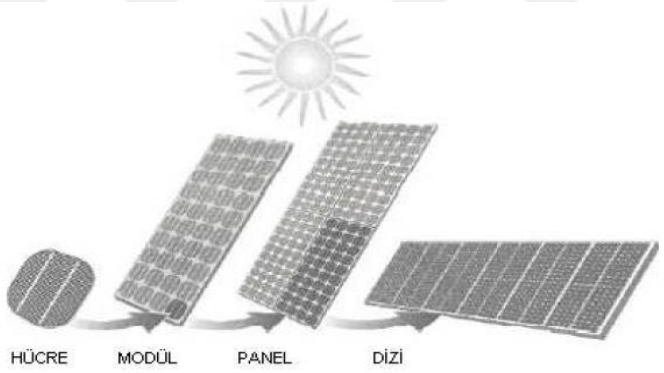
2) Güneş ışığı aracılığıyla P tipi yarıiletken malzemeden elektron kopar.

3) Enerjili haldeki elektronlar N tipi yarıiletken malzemeye doğru ilerler.

4) Tek yönlü ve sabit olan elektron akışı doğru akımı oluşturur. Elde edilen elektronlar pilleri şarj etmekte veya değişik alanlarda kullanılmaktadır [56].

Bir fotovoltaik hücreden elde edilebilecek güç miktarı düşük sevilerde olduğundan, yüksek düzeylerde güç elde edilebilmesi için bu hücreler istenilen güç oranında bir araya getirilirler.

Fotovoltaik hücrelerin birleşmesinden modüller, modüllerin birleşmesinden güneş panelleri oluşur. Güneş panelleri ise istenilen güce göre oluşturularak fotovotaik diziyi meydana getirirler. Güç talebiyle doğru orantılı şekilde birkaç W'tan MW hatta GW seviyelerinde modüller seri ya da paralel bağlanarak fotovoltaik sistemler oluşturmaktadır.



Şekil 4.7. Fotovoltaik Yapılar: Hücre- Modül- Panel- Dizi

4.5.2. Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler

Yarı iletken malzemelerden imal edilen güneş pilleri, maliyetleri ve verim oranları dikkate alınarak tercih edilirler**.** Silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddeler güneş pili imalinde yarı-iletken özellik gösteren en elverişli olan malzemelerdir.

Monokristal silikon hücreli güneş pilleri: Yüksek maliyetli olan bu yapıda, tek parça olan silikon kristali, ince silikon şeklinde parçalara dönüştürülür. Malzeme kaybının imalat sürecinde fazla olması bunların dezavantajı olsa da %15 ila %23 arasında değişen verime sahiptir.

Polikristal silikon hücreli güneş pilleri: Mavi renkli yüzeye sahip olup kolay imal edilmesi ve verimliğin maliyetlerine oranı fazla olmasından dolayı en çok tercih edilen güneş pilleridir. Çok kristalli silisyum (pc-Si) güneş pili verimi %12-15 arasında değişmektedir.

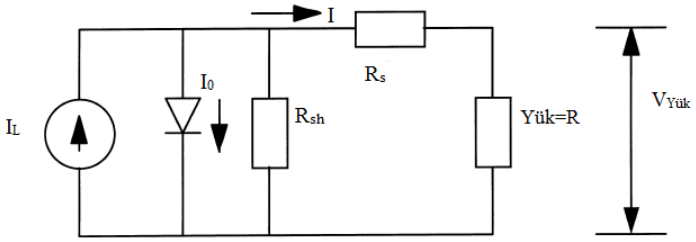
Amorf ince tabaka güneş pilleri: Verimleri diğer pillere göre düşük olup esnek yapıda olmaları ve gölgede dahi elektrik üretebilmeleri özellikleri arasındadır. Kırmızı veya kahverengi renkte olan ince film modülleri bulunur ve geniş yüzey kaplamalarında kullanılırlar. Enerji dönüşüm verimleri %5-9 dolayındadır.

Bakır indiyum güneş pilleri: Soğurma katsayıları yeterince fazla olup, diğer güneş pillerine kıyasla tabakalar daha ince ve %10 dolayında verimliliğe sahiptir.

Kadmiyum tellür güneş pilleri: Büyük paneller için ideal olup kolay üretim mekanizmasına sahiptir. Verimleri, deney çalışmalarında %16 olup ticari ürünlerde %7 düzeyinde seyretmektedir [57].

4.6. Fotovoltaik Sistemlerde Elektriksel Modelleme

Güneş hücresinin basite indirgenmiş tek diyottan oluşan eşdeğer devresi aşağıda gösterilmiş olup güneş hücresi, akım kaynağı şeklinde düşünülebilir ve kaynağa paralel bağlı bir adet doğrultucu diyot bulunmaktadır. Bu modeldeki parametreler ışık şiddeti ve sıcaklığa bağlıdır.



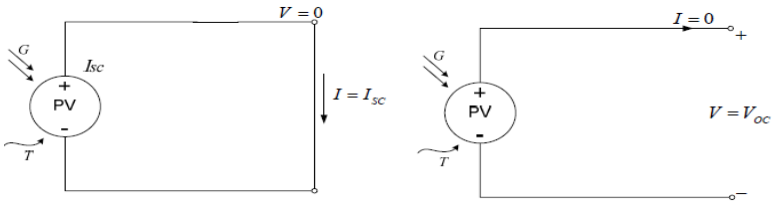
Şekil 4.8. FV güneş pilinin genel eşdeğer devresi

Şekil 4.8.'de FV güneş pilinin genel eşdeğer devresi görülmekte olup Rsh ve Rs paralel ve seri direnç etkisindedirler. Seri direnç etkisini metal kontaklar ile yarıiletken maddede bulunan tabakadaki iç dirençler oluştururken paralel direnç etkisini ise kristal kusurları oluşturmaktadır [58].

$$I = \mathrm{I_L} - I_0[\ (e^{q(V0+IRs)/(A\cdot k\cdot T)}) - 1]V_0 + (I.\ Rs/Rsh\ ) \qquad (4.1)$$

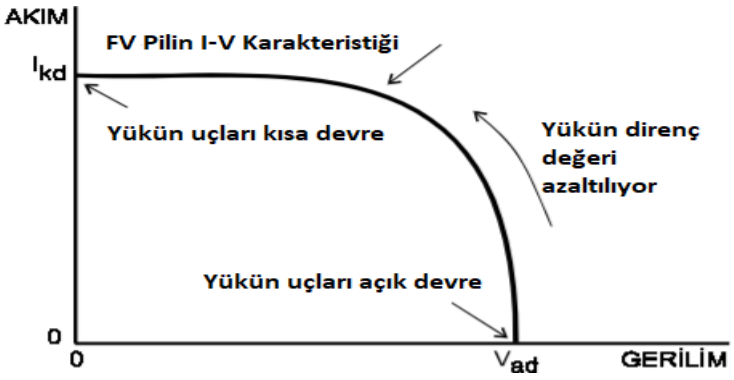
Bu bağıntıda; diyot akımı I_0, fotoakımı I_L, diyot gerilimi V_0, seri direnci Rs, paralel direnci Rsh, uç gerilimi $V_{Yük}$, yük direnci R, yük akımı ise I olarak ifade edilmektedir.

Fotonlar üzerine düşen ışık elektron hareketi meydana getirir ve bu hareket de akımı ortaya çıkarır. Fotovoltaik panel açık devre olarak bırakılırsa, akım, karakteristik p-n bileşenli diyot üzerinden, kısa devre edilirse de harici yük üzerinden devreyi tamamlar [59].



Şekil 4.9. PV hücresinin açık devre ve kısa devre eşdeğer modelleri

4.7. Fotovoltaik Hücrenin Karakteristiği



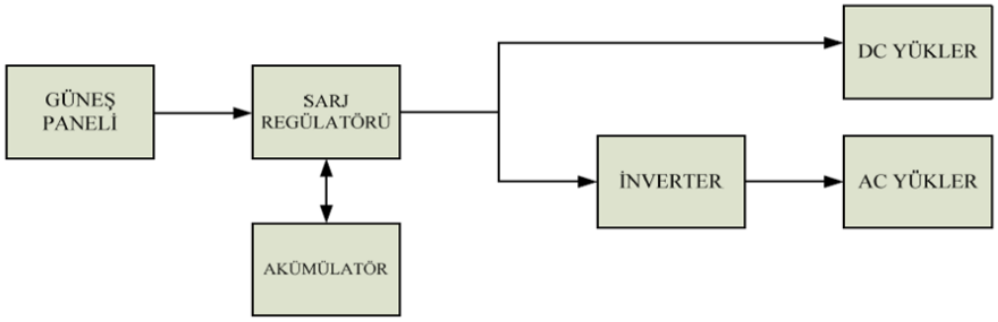
Şekil 4.10. Fotovoltaik paneldeki yükle değişim gösteren gerilim akım karakteristiği

- Belli aralıklardaki gerilim ve akımda çıkıştaki güç en büyük değeri alır.
- Fotovoltaik panelin veya hücrenin çıkıştaki gücün değeri, sıcaklığa ve günışığı değerine göre değişkenlik gösterir.
- Fotovoltaik panelden en iyi verimi alabilmek için panelden elde edilen çıkış gücünün en yüksek seviyede olacak şekilde tutulması gerekmektedir.

4.8. Fotovoltaik Sistemler

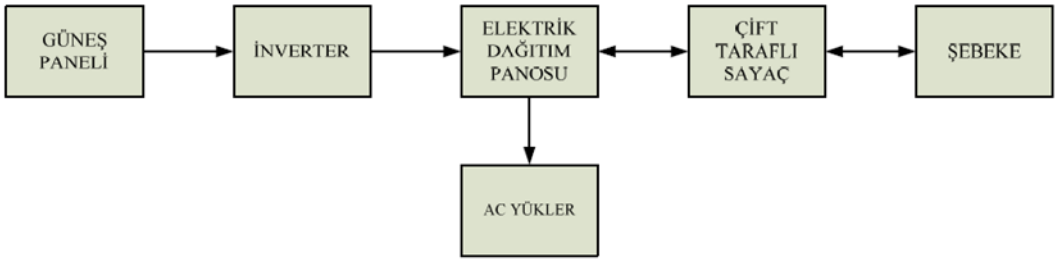
Güneşten elde edilen enerjinin elektrik enerjisine çeviren yapılar olarak adlandırılan fotovoltaik sistemler şebekeye bağlı sistemler ve şebekeden bağımsız sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Şebekeden Bağımsız Sistemler (Off-Grid): Bu sistemler şebekeye erişimin zor olduğu durumlarda kullanılmakta olup elektrik enerjisinin üretilmediği durumlarda hazır halde bir akü ve bunu şarj eden bir sistem vardır. Şekil 4.11'de şebekeden bağımsız (off grid) sistemin blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerin blok diyagramı

***Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistemler (On-Grid*):** Üretilen elektrik enerjisinin ihtiyaç olanı kullanıldıktan sonra fazla ola enerjiyi şebekeye verilmesini sağlayan yani güneş panellerinin ürettiği fazla enerji depolamayarak şebekeye veren sistemler olup bulutlu havalarda veya gece fotovoltaik sistemden enerji edilemeyeceğinden ihtiyaç olan enerjinin şebekeden alınması gerekmektedir. Şekil 4.12'de şebekeye bağlı(on grid) sistemin blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin blok diyagramı

4.9. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri

Fotovoltaik sistemlerin diğer elektrik üretim sistemlerinden farkı olmayıp sistemde kullanılan ekipmanlar değişkenlik göstermektedir. Tasarımı yapılan sistemin ihtiyaçları dikkate alınarak akü, DC-AC invertör, şarj kontrol ünitesi, sistem

kontrolörü ve yedek güç kaynağı ekipmanları kullanılabilir. Şekil 4.13'te solar regülatör, solar batarya ve invertörün görselleri bulunmaktadır.

4.9.1. Fotovoltaik Panel

Fotovoltaik panelin üretebileceği elektrik enerjisi değerini gösteren KwP şeklindeki güç seviyeleri olan fotovoltaik panellerin, kapalı hava şartlarında, gölge durumunda, güneşten gelen ışınların dik olacak şekilde gelemediği durumlarda, panellerde herhangi bir kirlilik olduğu durumlarda istenilen seviyede enerji üretememesi söz konusu olabilecektir. Bu durumlar dikkate alınarak genelde hedeflene değeri geçecek şekilde fotovoltaik panel seçimi yapılır.

4.9.2. Solar Regülatör

Sistemde kullanılan akünün boşalmasını ya da tamamen dolmasını önleyen regülatörler, sistemin gerektirdiği akım seviyesi dikkate alınarak seçimi yapılır. Doğrudan DC çıkışı alınabilen regülatörlerin akü gerilimiyle uyum göstermesi gerekir.

4.9.3. Akü (Batarya)

Fotovoltaik paneller tarafından üretilen elektrik enerjisini depolayan ekipmanlar olup güneşsiz günlerdeki elektrik enerjisinin üretilemediği anlarda ihtiyaç olan enerjinin karşılanması için kullanılmaktadır. Sistemde kullanılacak aküyü seçerken ihtiyaç olan enerjiyi minimum iki gün karşılayacak şekilde olmasına özen gösterilmelidir.

4.9.4. İnvertör

DC enerjinin AC enerjiye dönüşmesini sağlayan ekipman olup tam sinüs çıkışı veren invertörler hassas yüklerin olduğu tasarımlarda kullanılmaktadır [60].



a) Solar Regülatör b) Solar Batarya c) İnvertör

Şekil 4.13. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri

4.10. Dünyada Güneş Enerjisi

Güneş enerjisinden kaynaklı elektrik üretimi 2015'te önceki yıla kıyasla %32,6 seviyesinde artış göstermiş ve toplamda 253 TWh değerine çıkmıştır.

Çin'de %69,7, Japonya'da %58,6 ve ABD'de %41,8 oranında bir artış meydana gelmiş, Türkiye'deki güneş elektriği üretimi %328,9 oranında artış gösterirken, güneş enerjisinin toplam elektrik üretimdeki payı %0,1 seviyesine çıkmıştır. Küresel güneş elektriği üretim kapasitesi geçen yıl %28,1 artışla 230,606 GW düzeyine çıkarken, Türkiye'deki kurulu güç de %360,5 oranında artarak 266 MW seviyesine ulaşmıştır [61].

2015'te solar enerji Avrupa'da %15 oranında büyürken, 8 GW solar enerji şebekede kullanılmaya başlanmıştır. 2015 yılında Avrupa'nın güneş enerjisi talebi büyük oranda İngiltere, Almanya ve Fransa'da gerçekleşmiş olup 100 GW'lık kurulu kapasitesiyle Avrupa, güneş enerjisini en fazla kullanan kıta olmayı sürdürmüştür. Enerji tüketiminin ortalama %4'ünü güneşten sağlayan Avrupa'da Almanya, Yunanistan ve İtalya gibi ülkelerde bu oran %8'e çıkmıştır[62].

Çizelge 4.2. Uluslararası Enerji Ajansı Fotovoltaik Güç Sistemleri Programı çalışmasına göre 2015 yılında güneş elektriği kurulu gücü en fazla olan 10 ülke

Sıra	Ülke	Toplam Kapasite
1	Çin	43,5 GW
2	Almanya	39,7 GW
3	Japonya	34,4 GW
4	ABD	25,6 GW
5	İtalya	18,9 GW
6	İngiltere	8,8 GW
7	Fransa	6,6 GW
8	İspanya	5,4 GW
9	Avustralya	5,1 GW
10	Hindistan	5 GW

Çizelge 4.3. Uluslararası Enerji Ajansı Fotovoltaik Güç Sistemleri Programı çalışmasına göre 2015 yılında kapasite artışının en fazla arttığı 10 ülke

Sıra	Ülke	Kapasite Artışı
1	Çin	15,2 GW
2	Japonya	11 GW
3	ABD	7,3 GW
4	İngiltere	3,5 GW
5	Hindistan	2 GW
6	Almanya	1,5 GW
7	Kore	1 GW
8	Avustralya	0,9 GW
9	Fransa	0,9 GW
10	Kanada	0,6 GW

2014'te gerçekleşen 40 GW düzeyindeki güç artışına karşın, 2015'teki 50 GW'lık artış küresel güneş elektriği gücünün 227 GW'a yükselmesini sağlamıştır. Ulaşılan bu rakam küresel kurulu gücün yalnızca altı yıl içinde 10 kat, pazar büyüklüğünün ise 10 yıl içinde 40 kat büyümesi anlamına gelmektedir.

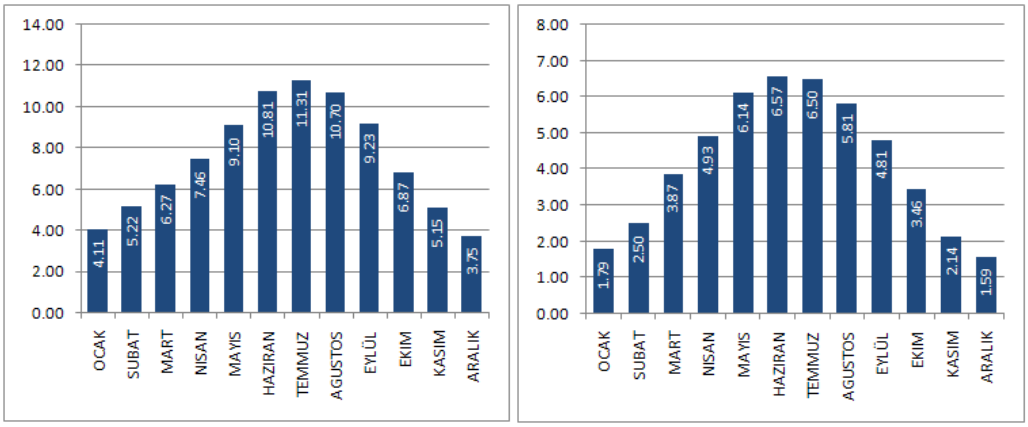
Verilere göre 2015'teki kurulu güç artışının %60'ı ağırlıklı olarak Çin ve Japonya olmak üzere Asya kıtasında gerçekleşmiştir. Çin resmi hedefinin gerisinde kalsa da,

2015'te gerçekleştirdiği 15,3 GW'lık kurulu güç artışı ile toplamda 43,6 GW'lık kapasiteye ulaşarak şimdiye kadar sektörün lider ülkesi olan Almanya'yı geride bırakmıştır. Aynı dönemde Japonya'daki kurulu güç artışı ise 11 GW düzeyinde gerçekleşmiştir. ABD pazarında 7,3 GW'lık güç artışı gerçekleşirken, bu artışta büyük ölçekli santral projeleri ve solar kiralama iş modelleri etkili olmuştur [62].

4.11. Türkiye'de Güneş Enerjisi

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın hazırladığı verilerde, ülkemizde yıllık 1.527 kWh/m² seviyesinde toplam gelen güneş enerjisi değerinin olduğu, 2.737 saat miktarında da yıllık toplam güneşlenme süresinin olduğu yer almaktadır. Şekil 4.14'te Türkiye'deki güneşlenme süreleri ve global radyasyon değerleri gösterilmiştir.

Türkiye'de faal olan santrallerin büyük kısmı fotovoltaik sistemi kullanmakta olup 1 MW'lık lisanssız elektrik üretimi sınırı altındaki santraller çoğunluğu oluşturmaktadır. Konya Karatay Kızören Güneş Enerji Santrali 23 MW kurulu güç ile Türkiye'nin en büyük santrali konumunda olup 2023'te lisanslı güneş enerjisi santralinin en az 3 GW düzeyinde olması hedeflenmektedir [63].



Güneşlenme süreleri (Saat) Global radyasyon değerleri (KWh/m2-gün)

Şekil 4.14. Türkiye'deki güneşlenme süreleri ve global radyasyon değerleri

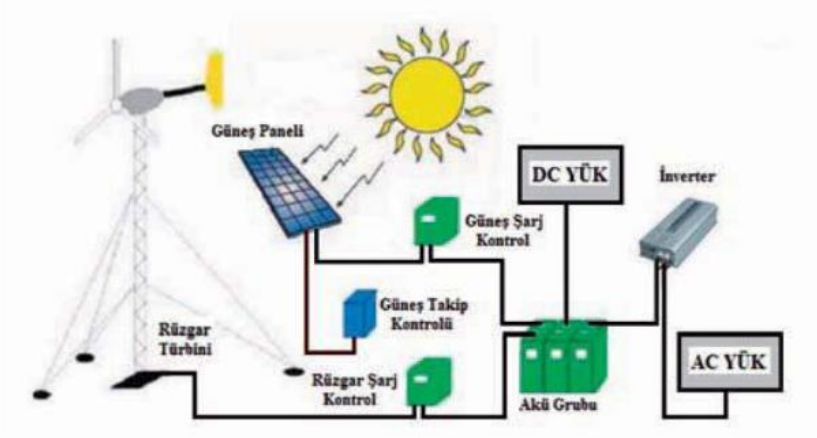
Türkiye’de 2016 sonunda 34 güneş santralinin toplam kurulu gücü 402 MW olup 1.043 güneş enerjili santrali lisanssız elektrik üretim santralleri konumundadır [64]. Konya Karapınar’da, 600 bin hanenin ihtiyacını karşılayacak, yıllık 1.7 milyar kilowatsaat elektrik üretmesi beklenen Türkiye'nin en büyük güneş enerji santrali kurulacaktır.

5. HİBRİT ENERJİ

5.1. Hibrit Enerji Sistemleri

Birden fazla enerji kaynağı kullanılması suretiyle oluşturulan hibrit enerji sistemlerinin rüzgar ve güneş, rüzgar ve dizel jeneratör, güneş ve dizel jeneratör gibi farklı kombinasyonları bulunmaktadır. Küçük değerdeki rüzgar türbinleri ve fotovoltaik paneller değişkenlik gösteren iklim koşulları dikkate alındığında her biri tek başına zengin enerji kaynağı olarak değerlendirilmemektedir.

Yılın ve günün değişik zaman dilimlerinde farklılık arz eden güneş ve rüzgar enerjisi sistemlerinde verimli enerji üretimi için her iki sistemin birlikte kullanılabileceği hibrit sistemler tasarlanarak, verimi düşük veya yeterli seviyede olmayan rüzgar hızı olduğu zamanlarda güneş enerjisinden yararlanılmaktadır. Temelinde sürekliliği olmayan farklı enerji kaynaklarının birlikte kullanılması prensibini içeren hibrit sistemlerde amaçlanan şey enerji üretiminin devamlılığıdır.



Şekil 5.1. Hibrit sistem yapısı

Hibrit sistemlerin verimleri ve amortismanları dikkate alınarak optimum planlama ve boyutlandırma yapılması gerekmekte olup hibrit sistemlerin, rüzgar türbinleri ve güneş

panellerinin tekil kullanıldığı sistemlerin maliyetlerinden daha fazla olması olumsuz yönlerindendir [65].

Rüzgar veya güneş enerjisinin çalışma prensibinden farkı olmayan hibrit sistemlerde rüzgar, güneş ve dizel jeneratörler farklı kombinasyonlarda kullanılabilmektedir. Yapılması düşünülen projeye göre şebeke bağlantılı veya şebekeden bağımsız şekilde tasarımları yapılabilmektedir. Şebekeden bağımsız (off-grid) sistemlerde enerji nakil hatlarına uzak yerlerde enerji temin etmek amacıyla dizel jeneratörlerle birlikte kullanılmaktadır [66].

Fotovoltaik panelleri aracılığıyla oluşan DC gerilim/akım akü şarj ünitelerine geldikten sonra akülere iletilerek akülerin dolması sağlanır. Rüzgar enerjisiyle elde edilen AC gerilim/akım invertör vasıtasıyla DC'ye dönüştürülür ve yine aküye iletilerek akülerin solması sağlanır [67].

5.2. Hibrit Enerji Sistemi Bileşenleri

Güneş-rüzgar hibrit sistemlerinin bileşenleri arasında rüzgar türbini, fotovoltaik paneller, şarj regülatörü, kontrol ünitesi, bataryalar, invertör yük bulunmakta olup bu bileşenlerin bir kısmı hakkında 3. ve 4. bölümlerde detaylı bilgi verilmiş bu bölümde ise şarj regülatörü ve bataryalar hakkında kısaca bilgi verilecektir.

Şarj Regülatörü; batarya şarj işlemlerini kontrol etmek ve rüzgar türbini ile güneş paneli tarafından üretilen gerilim değerini dengelemek için kullanılmakta olup seçiminde batarya gerilimi ile uyumu ve gerekli en büyük akıma dayanacak şekilde olması dikkate alınmalıdır.

Bataryalar, rüzgar ve güneş enerjisi tarafından üretilen elektrik enerjisini depolarlar ve istenen kapasite için paralel veya seri bağlanabilirler. İhtiyaca göre farklı çeşitlerde bataryalar imal edilmekte olup güneş ile rüzgar enerji sistemlerinde özel elektrolit kullanılan kuru tip bataryalar en avantajlı olanlarıdır [68].

6. TEŞVİK SİSTEMİ

6.1. Teşviklerin Tanımlanması

Enerji üretimindeki maliyeti düşürerek üreticilerin elde ettiği gelirleri yükselten devlet önlemleri olarak tanımlanan teşvikler genel anlamda dört ayrı sınıflandırmaya tabi tutulur ki bunlar fiyat ve gelir desteği, hizmet ve malların piyasadaki değerinden daha da aşağıda temin edilmesi, devlet gelirinden feragat edilmesi, dolaylı veya doğrudan borç ve fon aktarılması şeklindedir. Devletler enerjide güvenliği tesis etmek, ülkedeki ekonomik kalkınmaya katkı sağlamak, toplumda kırılgan haldeki kesimlerin enerji teminini sağlamak ve bu kesimi korumak, amaçlayarak teşvik uygulamalarına yönelirler.

6.2. Yenilenebilir Enerji Teşvikleri

Elektrik Piyasası Kanunu ile birlikte ruhsatlarda oluşan giderleri azaltma ve kurulacak yenilenebilir enerji yapılarının sisteme bağlanmasında TEİAŞ'a öncelik verme zorunluluğu getirilmiştir. 2005 yılında çıkarılan yenilenebilir enerjiye ait ilk kanunda, üretilen enerji yenilenebilir kaynak kullanılarak üretilmişse megawatt-saat başına 225 EUR düzeyince tarife garantisi on yıl süreyle sağlanmıştır. Tarife garantisindeki düşüklük yatırım yapmak isteyenlerin bu alandan uzaklaşmasına neden olduğundan 2010'da yapılan değişiklikle ş yıl süreli yerli imalat teşviki getirilmiş ve tarifeler çeşitlendirilmiştir. Tarife garantisi ile sağlanan teşvik sisteminde yenilenebilir enerji üreticilerine belli miktarda güvence verilmesi amaçlanmıştır [69].

6.3. Yenilenebilir enerji kaynakları destekleme mekanizması (YEKDEM)

Yenilenebilir enerji sistemlerinde yerli imalat seviyesi ve kaynağın çeşidine göre teşvik verilmesi Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı

Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun ile düzenlenmiş, YEKDEM'in ayrıntıları da yönetmelik ile belirlenmiştir.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklemesine İlişkin Yönetmelik kapsamında YEKDEM kurulumu, işletimini düzenleyen esaslar, lisansa sahip olanlara Yenilenebilir Enerji Kaynak Belgesi verilmesine yönelik düzenlemeler yer almaktadır [70].

YEKDEM içeriğinde, ne kadar elektrik üretirse üretsin, devlet bunları belli bir fiyattan almayı garanti etmektedir. YEKDEM kapsamında uygulanan kWh başına alım garantisi fiyatı, rüzgar ve hidroelektrik santrallerde 7,3 dolar-cent olup, jeotermal enerjide 10,5 dolar-cent, güneş ve biyokütle enerjisinde ise 13,3 dolar-centtir. Bu rakamlara yerli ekipman kullanımına bağlı olarak 0,4-3,5 dolar-cent arasında değişen ilaveler de yapılabilmektedir. YEKDEM kapsamındaki teşvik sistemi Çizelge 6.1'de gösterilmiştir. Yenilenebilir enerji santralleri, bu mekanizmadan yararlanmak için yılda bir kez başvuruda bulunmakta olup kabul edilenler bir yıl boyunca ürettiği elektriği belli bir fiyattan devlete satmaktadır [71].

Çizelge 6.1. YEKDEM kapsamındaki teşvik sistemi

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

Kanuni düzenlemeyle birlikte yenilenebilir enerji tesislerinde kullanılan ekipmanların yurt içinde yani yerli olarak üretilmesi durumunda proje tasarımına göre 0.4 - 3.5 cent aralığında destek sağlanmaktadır.

Çizelge 6.2. YEKDEM kapsamındaki yerli imalat teşvik sistemi

Tesis Tipi	**Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat**	**Yerli Katkı İlavesi (cent/kWh)**
A- Hidroelektrik üretim tesisi	1-Türbin	1.3
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	1.0
B- Rüzgâr 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 akşamın 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- İnvertör	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 akşamı	1.3
	5- Kulede güneş ışınını toplayarak buhar üretim sisteminin mekanik akşamı	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- içten 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

Güneş enerjisi santrallerinde kullanılan ekipmanların tamamı yurt içinde üretilmiş ise ek olarak toplam 6.7 cent/kWh destekle birlikte 20 cent/kWh düzeyinde teşvik söz konusu olabilmektedir. YEKDEM kapsamında tesis tipi ve yurt içinde gerçekleşen imalata göre yerli katkı ilaveleri Çizelge 6.2'de gösterilmiştir.

2016 yılında YEKDEM'e tabi olan toplam güç 15.172 MW iken 2017 yılında ise toplam 17.971 MW santral, YEKDEM'e tabi olmuştur. Yani Türkiye'nin kurulu gücünün yaklaşık % 23'ü YEKDEM'e katılım anlamında, 2016 yılına göre %18,4'lük bir artış olmuştur. USD kurunun artması ve TL bazında elektrik fiyatlarının düşük kalması, YEKDEM'e katılımı ciddi ölçüde arttırmıştır [72]. YEKDEM uygulaması özelinde 2017'de 99 santralin ek katkı payı başvurusu kabul edilmiştir.

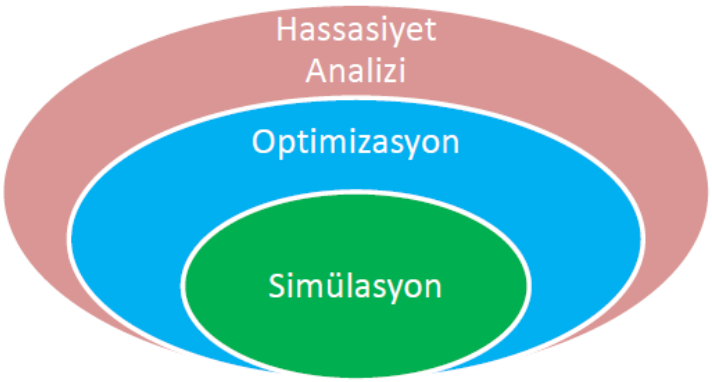
7. HOMER PROGRAMI

Yenilenebilir Hibrid Enerji Sistemleri için Optimizasyon Modeli (HOMER - Hybrid Optimization Model for Electric Renewables), çeşitli uygulamalar için hem şebeke dışı hem de şebekeye bağlı güç sistemlerinin tasarımlarını basitleştirildiği bir mikro güç optimizasyon modelidir.

HOMER'ı kullanmak için modele, teknoloji seçeneklerini, bileşen maliyetlerini ve kaynak kullanılabilirliğini tanımlayan girdileri girilir. HOMER, farklı sistem konfigürasyonlarını veya bileşenler kombinasyonunu simüle etmek için bu girdileri kullanır ve net şimdiki maliyetle sıralanmış olası konfigürasyonların bir listesi olarak görüntülenebilen sonuçlar üretir. HOMER ayrıca simülasyon sonuçlarını, yapılandırmaları karşılaştırabilecek, ekonomik ve teknik avantajlarıyla değerlendirebilecek çok çeşitli tablolar ve grafikler halinde görüntüler. Raporlar ve sunumlarda kullanmak üzere tablo ve grafikleri dışa aktarabilmektedir.

Kaynak kullanılabilirliği ve ekonomik koşulların farklı sistem konfigürasyonlarının maliyet etkinliği gibi faktörlerdeki değişikliklerin etkisini keşfetmek istenildiğinde, hassasiyet analizleri yapmak için modeli kullanabilmektedir. Bir duyarlılık analizi yapmak için, bir dizi kaynak kullanılabilirliği ve bileşen maliyeti tanımlayan duyarga değerlerini HOMER'a verilmektedir. HOMER, her sistem konfigürasyonunu değer aralığında simüle eder. Bir güç sisteminin tasarımı ve çalışması üzerinde en fazla etkiye sahip faktörleri belirlemek için bir hassasiyet analizinin sonuçlarını kullanabilmektedir. Planlama ve politika kararlarını bildirmek için teknoloji seçenekleri ile ilgili genel soruları cevaplamak için HOMER duyarlılık analizi sonuçları da kullanabilmektedir.

HOMER, simülasyon, optimizasyon ve hassas analiz işlevlerini yerine getirmektedir.



Şekil 7.1. Simülasyon, optimizasyon ve hassasiyet analizi arasındaki ilişki.

HOMER programının kullandığı safhalar arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 7.1.'de tek bir optimizasyonun bir çok simülasyonu kapsadığı görülmektedir.

7.1. Simülasyon

HOMER, yılın her zaman adımında enerji dengesi hesaplamaları yaparak bir sistemin çalışmasını benzetir. Her bir zaman adımında HOMER, o zaman adımındaki elektrik ve termal talebi, sistemin o zaman adımında tedarik edebileceği enerjiyle karşılaştırır ve sistemin her bileşeni arasındaki enerjinin akışlarını hesaplar. HOMER, bu enerji dengesi hesaplamalarını, düşünmek istenilen her sistem yapılandırması için gerçekleştirir. Daha sonra bir yapılandırmanın uygulanabilir olup olmadığını (yani, belirtilen koşullar altında elektrik talebini karşılayıp karşılayamayacağını belirler) ve maliyetini tahmin eder. Sistemin kurulumunu ve çalıştırılmasını sağlar, sistem maliyet hesaplamaları, sermaye, yenileme, işletme, bakım, yakıt ve faiz gibi maliyetleri hesaba katar.

HOMER istenilen şekilde farklı enerji sistemlerinin bir araya getirilmesiyle farklı simülasyonlar yapabilmektedir. Örnek olarak şebeke bağlantılı veya şebekeden bağımsız şekilde rüzgar türbininin, fotovoltaik panelin, akünün, jeneratörün, invertörün simülasyonu yapılabilmektedir [73].

7.2. Optimizasyon

HOMER optimizasyon algoritmasından olan orijinal grid arama algoritması, Arama Alanı tarafından tanımlanan uygulanabilir sistem konfigürasyonlarını taklit eder. HOMER, en düşük maliyet sistemini bulmak için tescilli bir türevsiz algoritma kullanmaktadır. HOMER daha sonra sistem tasarım seçeneklerini karşılaştırmak için kullanabilecek, net şimdiki maliyet (bazen yaşam ömrü maliyeti olarak adlandırılır) ile sıralanmış yapılandırmaların bir listesini görüntüler [73].

7.3. Hassasiyet Analizi

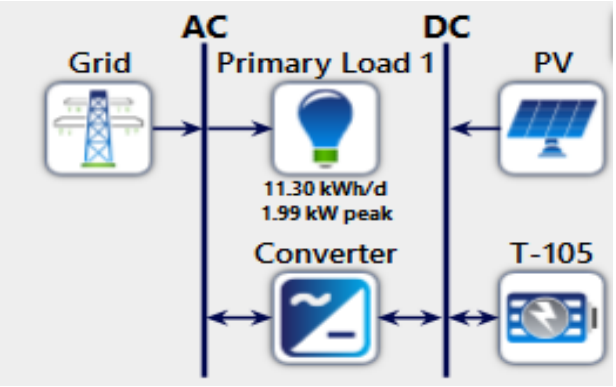
Hassasiyet değişkenlerini girdi olarak tanımladığında HOMER, belirlenen her hassasiyet değişkeni için optimizasyon işlemini tekrarlar. Örneğin, rüzgar hızı bir hassasiyet değişkeni olarak tanımlanırsa, HOMER belirtilen rüzgar hızları aralığı için sistem konfigürasyonlarını simule eder [74].

8. UYGULAMA VE ANALİZLER

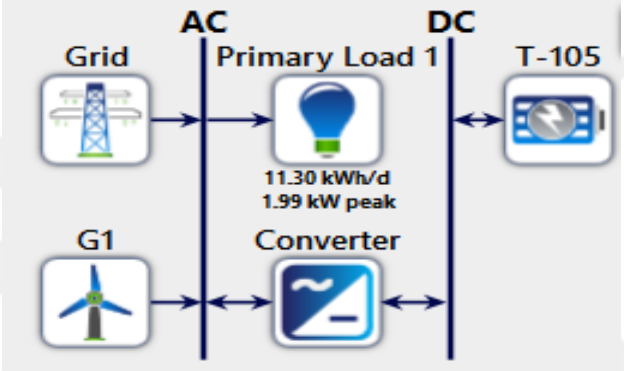
8.1. Çalışma Yöntemi

Bu çalışmada, HOMER programı kullanılarak simülasyonlar yapılmış, bir evin elektrik ihtiyacının fotovoltaik, rüzgar türbini ve hibrit sistemlerle karşılanabilmesinin elektriksel ve ekonomik analizleri yapılmıştır. Sistem çalışmasının simülasyonunu yapmak ve her bir tasarım için teknik-ekonomik parametreleri hesaplamak için. HOMER programıyla, evsel elektrik ihtiyacının farklı tasarımlarla şebeke bağlantılı PV modül, rüzgâr türbinleri ve hibrit sistemler tasarlanarak, her bir tasarıma ait verilerden tasarımların elektriksel ve ekonomik analizleri yapılmıştır. HOMER programı vasıtasıyla çalışma yapılan alanın rüzgar hızı ve güneş ışınım verileri elde edilmiş, tasarımların ilk yatırım maliyeti, toplam yatırım maliyeti, şebeke satış tarifesi gibi unsurlar dikkate alınarak mevcut durumda yatırımların değerleri ve karlılıkları incelenmiştir. Evsel yük olarak dört kişilik bir ailenin günlük ortalama elektrik ihtiyacı ele alınmış, HOMER programı kullanılarak bu ihtiyacı karşılayabilecek farklı senaryolar üretilmiştir. Senaryolar, şebeke bağlantılı fotovoltaik, rüzgar türbini ve hibrit sistemler üzerinden yapılmış, tasarlanan sistemler yerli imalat teşviki olup olmadıklarına göre ele alınmıştır.

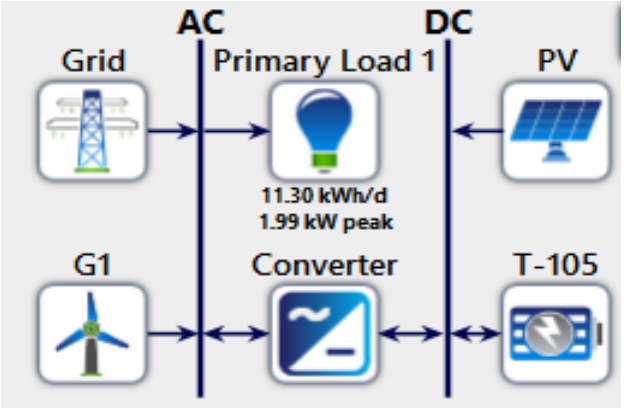
Türkiye'de farklı bölgelerden üç il seçilmiş, her ile ait farklı güneş ve rüzgar değerleri dikkate alınarak her bir il için hangi tasarımın daha uygun olduğu çizelge ve grafiklerle gösterilip açıklamaları yapılmıştır. Bölgelere göre; Marmara'dan Balıkesir, Karadeniz'den Samsun ve İç Anadolu'dan Konya illeri seçilmiştir. Bu iller belirlenirken GEPA aracılığıyla illerin global radyasyon değerleri, güneşlenme süreleri ve REPA aracılığıyla da illerin rüzgar hızı dikkate alınarak rüzgar enerjisi santralı kurulabilir alanları, kurulabilecek rüzgar enerjisi güç kapasitesi verilerinden faydalanmış, bölgelerdeki illerin optimum güneş ve rüzgar verileri dikkate alınmış, sistem tasarımlarının en uygun olabileceği iller seçilmiştir. HOMER'da tasarımı yapılan sistemler Şekil 8.1'de gösterilmiştir.



a-Fotovoltaik Sistem



b-Rüzgar Türbini Sistem



c-Hibrit Sistem

Şekil 8.1. Tasarımı yapılan sistemler

Çalışmada günlük ortalama tüketimi 11,30 kWh olan ve en yüksek tüketimi 1.9 kW olan bir evin elektrik tüketimi otonom yük olarak HOMER yazılımı tarafından belirlenmiştir. Modelde kullanılan bir gün boyunca tüketilen saatlik ortalama yük profili Şekil 8.2'de ile gösterilmiştir.



Şekil 8.2. Modelde kullanılan günlük profil.

HOMER programı vasıtası ile her bir ile ait meteorolojik verilerle illerin günlük radyasyon verileri, berraklık indeksleri ve rüzgar hızları değerleri elde edilmiştir. Çalıma kapsamında, sistem tasarımlarında etkin bir karşılaştırma yapabilmek için, uygulanan senaryonun niteliğine göre, fotovoltaik panel, rüzgar türbini, invertör ile aküler için her bir senaryoda eşdeğer kapasite ve adet üzerinden değerlendirme yapılmıştır.

8.2. Şebeke Karakteristikleri

Yenilenebilir enerji kaynaklı sistemler şebeke bağlantılı veya şebeke bağlantısız olabilirler. Yenilebilir enerji kaynağı tarafından üretilen ve ihtiyaç fazlası olan enerji şebekeye satılabildiği gibi ihtiyaç anında şebekeden temin edilebilmektedir.

Sistemde bulunacak çift yönlü sayaç sayesinde şebekeye verilen ve şebekeden alınan enerji miktarları kWh cinsinden anlık olarak kaydedilebilmektedir. Böylece yenilebilir enerji kaynağı tarafından üretilen şebekeye verilen enerji şebekeden alınan enerjiden fazla ise, üretilen fazlalık dağıtım şirketlerinden tahsis edilebilecektir [75].

Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik'e göre, 1 MW altındaki güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulumu ve işletime alınması için lisans işlemlerine gerek kalmamaktadır.

Yapılan tasarımlarda, şebekeye bağlantılı sistemlerde, sistem kararlılığı, kısa devre gücü, harmonikler ve enerji kalitesi ihmal edilmiştir. Her bir tasarımda, ihtiyaç üzerinde üretilen elektrik enerjisinin dağıtım sistemine verilmesi halinde, 6094 sayılı YEK kanunu kapsamında Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları için sağlanan şebekeye satış miktarı ve yerli imalat teşvikleri ele alınmıştır. Yapılan çalışmadaki ilk tasarımlarda her bir yenilenebilir enerji tesisinde bulunan aksamların ithal olduğu, ikinci tasarımlarda ise bu aksamın tamamının yerli olduğu değerlendirilmiştir. Türkiye'de şebekeye satış tarife garantisi 10 yıl, yerli imalat teşvik garantisi 5 yıl süreli olup, Avrupa'da bu süreler 20-25 yıl arasında değişmektedir. Çalışma kapsamında, proje süresince sabit fiyat garantisinin sağlanacağı varsayılarak Türkiye'de de teşvik garantisi 20 yıl olarak ele alınmıştır.

Bu kapsamda; şebeke bağlantılı ilk tasarımlarda şebeke satış tarifeleri fotovoltaik ve rüzgar türbini sistemler için sırasıyla 13,3 $ cent/kWsaat ve 7.3 $ cent/kWsaat alınmış, hibrit sistemler için maksimum teşvik değeri olan 13,3 $ cent/kWsaat alınmıştır. İkinci tasarımlarda, belirtilen sistemler için yerli imalat teşvikleri fotovoltaik ve rüzgar türbini sistemler için sırasıyla 6,7 $ cent/kWsaat ve 3,7 $ cent/kWsaat alınmış, hibrit sistemler için de maksimum yerli imalat teşvik değeri olan 13,3 $ cent/kWsaat alınmış, şebeke satış tarifeleri fotovoltaik ve rüzgar türbini sistemler için sırasıyla 20 $ cent/kWsaat, 11 $ cent/kWsaat, hibrit sistemler için yine 20 $ cent/kWsaat olarak ele alınmıştır. Türkiye'de elektrik tüketim maliyeti KDV hariç 33,1833 kuruş/kWsaat'tir [76]. KDV dahil edildiğinde Türkiye'de elektrik enerjisinin maliyeti 39.15 kuruş/kWsaat'tir. Senaryolarda günlük döviz kuru dikkate alınarak şebekeden alınan elektrik fiyatı 0,125 $ cent/kWsaat olarak ele alınmıştır [77].

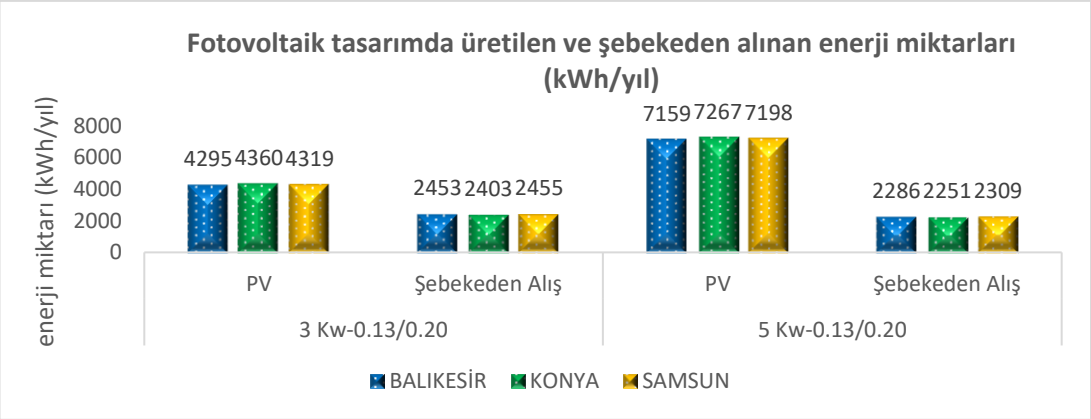
8.3. Tasarımların Elektriksel Değerleri

8.3.1. Üretilen Ve Şebekeden Alınan Enerji Değerleri

Yapılan çalışmada, 3 Kw ve 5 Kw'lık fotovoltaik panel ile rüzgar türbini kapasitelerine göre tasarımlar sonucu üretilen elektrik enerjisi ve şebeken alınan enerji miktarları incelenmiş ve her bir tasarıma ilişkin sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

8.3.1.1. Fotovoltaik Sistem Tasarımları

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tasarımlarda, her bir tasarımda üretilen ve şebekeden alınan toplam elektrik enerjisi miktarını gösterir bilgiler Şekil 8.3.'de yer almaktadır. 3 Kw ve 5 Kw paneller için elde edilen sonuçların yer aldığı şekilde, her bir tasarımda fotovoltaik panel ile üretilen enerji ve şebekeden alınan enerjinin miktarları bulunmaktadır. Şekilden de görüleceği üzere, 3 Kw ve 5 Kw PV panel bulunduran PV sistem tasarımlarında, her il için fotovoltaik panelin 3 Kw seçildiği tasarımlarda ortalama 4300 kWh/yıl olan fotovoltaik üretim kapasitesi, panelin 5 Kw seçildiği tasarımlarda toplam üretilen enerjinin artışına paralel olarak ortalama 7200 kWh/yıl seviyelerine çıkmıştır.

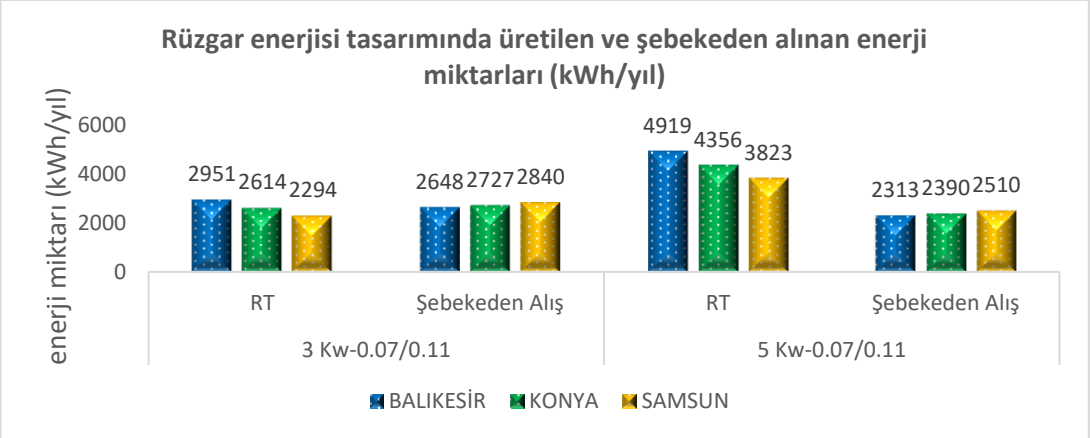


Şekil 8.3. Fotovoltaik tasarımda üretilen ve şebekeden alınan enerji miktarları

Seçilen üç il arasında, elektrik enerjisinin üretimine ve şebekeden alınan enerji miktarına dayalı en iyi değerin güneş enerjisi potansiyeli diğer iki ilden daha fazla olan Konya'da elde edildiği görülmüştür.

8.3.1.2. Rüzgar Türbini Sistem Tasarımları

Şekil 8.4.'te gösterilen rüzgar türbini tasarımlarında, her il için rüzgar türbini 3 Kw seçildiği tasarımlarda 2300-2900 kWh/yıl olan rüzgar türbini üretim kapasitesi, türbinin 5 Kw seçildiği tasarımlarda toplam üretilen enerjinin artışına paralel olarak ortalama 3800-4900 kWh/yıl seviyelerine çıkmıştır.

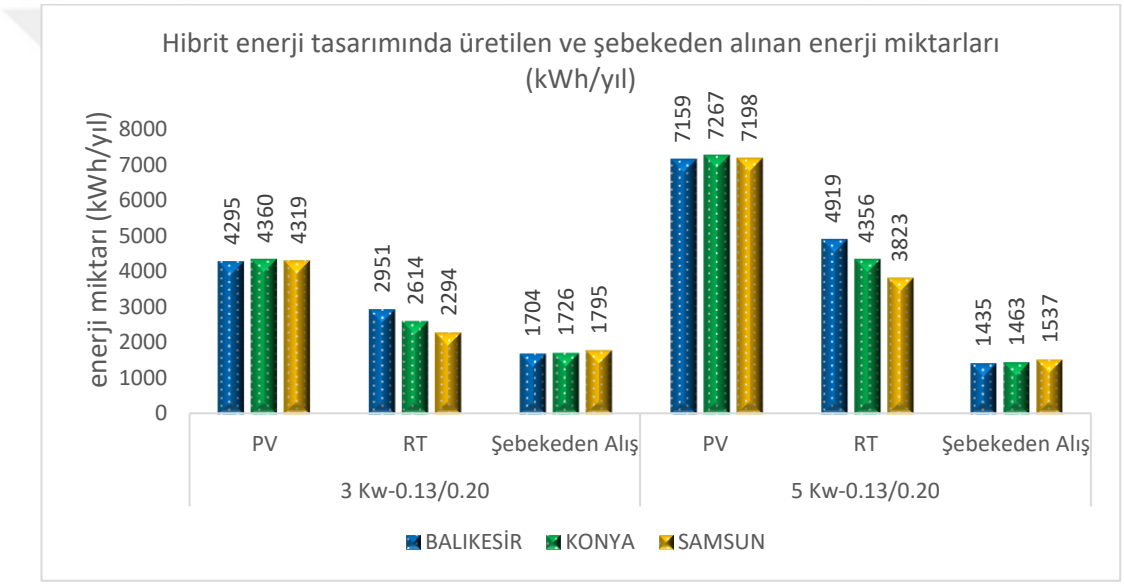


Şekil 8.4. Rüzgar türbini tasarımda üretilen ve şebekeden alınan enerji miktarları

Hem 3 Kw'lık tasarımlarda hem de 5 Kw'lık tasarımlarda en iyi değerlerin Balıkesir'e ait olduğu görülmekte olup, bunun nedeni Balıkesir'deki rüzgar potansiyelinin seçilen diğer iki ile oranla fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

8.3.1.3. Hibrit Sistem Tasarımları

Şebeke bağlantılı hibrit sistem tasarımlarda, 3 Kw ve 5 Kw paneller ile aynı güçteki rüzgar türbinleri için elde edilen sonuçların yer aldığı Şekil 8.5. incelendiğinde, 3 Kw ve 5 Kw PV panel ve rüzgar türbini bulunduran hibrit sistem tasarımlarında, her il için fotovoltaik panel ve rüzgar türbininin 3 Kw seçildiği tasarımlarda ortalama 6500-7200 kWh/yıl olan hibrit üretim kapasitesi, panelin ve türbinin 5 Kw seçildiği tasarımlarda toplam üretilen enerjinin artışına paralel olarak ortalama 11000-12000 kWh/yıl seviyelerine çıkmıştır.



Şekil 8.5. Hibrit tasarımda üretilen ve şebekeden alınan enerji miktarları

Üretilen enerji miktarları değerlendirildiğinde, hibrit sistem tasarımlarında üretilen enerji miktarının yalnız PV panel ve rüzgar türbini kullanılarak yapılan tasarımlara göre oldukça fazla olduğu görülmüştür. Bunun yanında, yine hibrit sistemlerde diğer sistemlere göre şebekeden alınan enerjinin azaldığı görülmüştür.

Bütün hibrit tasarımlarda, üretilen enerji miktarları ve şebekeden alınan enerji miktarları değerlendirildiğinde, en iyi değerlerin Balıkesir iline ait olduğu

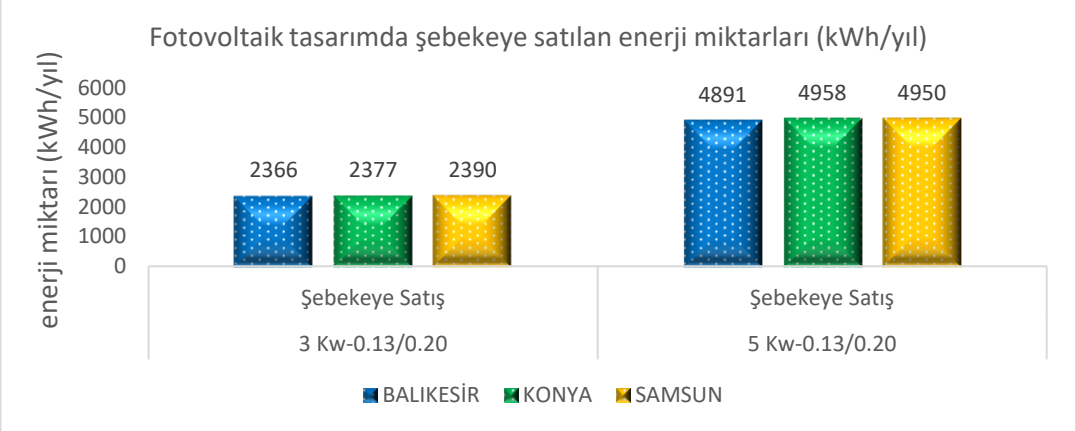
görülmüştür. Bunda etken olan husus ise, üç il için yapılan hibrit tasarımlarda fotovoltaik panel ile elde edilen üretim değerlerinin birbirine yakın olmasına karşın, rüzgar türbini ile üretilen üretim değerlerinde Balıkesir'de elde edilen sonuçların diğer illere göre yüksek olmasıdır.

8.3.2. Şebekeye Satılan Enerji Değerleri

Yapılan çalışmada, 3 Kw ve 5 Kw'lık fotovoltaik panel ile rüzgar türbini kapasitelerine tasarımlar sonucu üretilen elektrik enerjisi sonucu şebekeye satılan enerji miktarları incelenmiş, her bir tasarıma ilişkin sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bir evin nominal yükü olarak AC Yük 4125 kWh/yıl alınmış, DC yük ise sıfır alınmıştır.

8.3.2.1. Fotovoltaik Sistem Tasarımları

Bir evin otonom yük değeri olarak 4.125 kWh/yıl alındığı çalışmada, fotovoltaik panel ile üretilen elektrik enerjisini ihtiyaç olan kadarı kullanılmış ihtiyaç fazlası da şebekeye satışı yapılmış her bir tasarım için şebeke satış miktarları Şekil 8.6.'da gösterilmiştir. 3 Kw ve 5 Kw PV panel bulunduran PV sistem tasarımlarında, her il için fotovoltaik panelin 3 Kw seçildiği tasarımlarda 2300 kWh/yıl civarında olan şebekeye satılan elektrik enerjisi miktarları, panelin 5 Kw seçildiği tasarımlarda oldukça yüksek bir artışla 4900 kWh/yıl seviyelerine çıkmıştır.

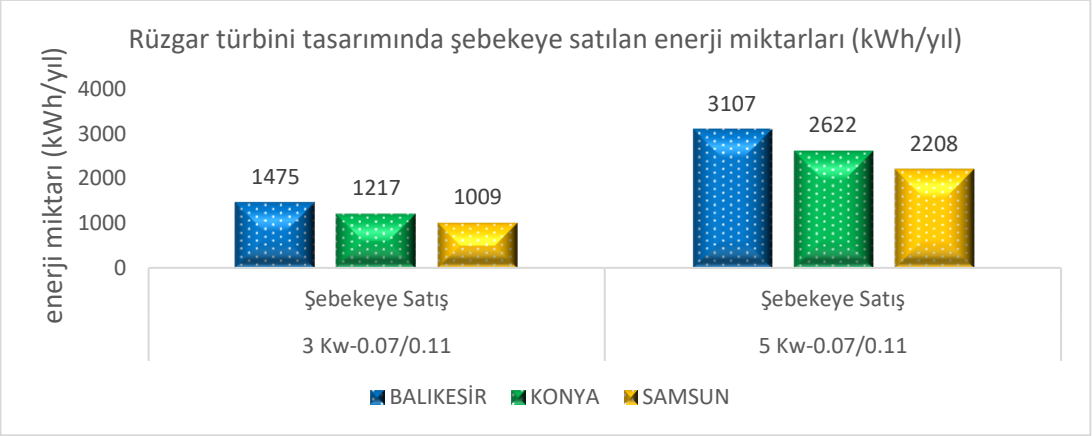


Şekil 8.6. Fotovoltaik tasarımda şebekeye satılan enerji miktarları

Şebekeye satış değerleri değerlendirildiğinde, fotovoltaik tasarımlarda, en yüksek şebeke satış değerlerinin Konya'ya ait olduğu görülmüş, bunda etkili olan husus Konya'daki güneş enerjisi potansiyelinin diğer illerden fazla olmasıdır.

8.3.2.2. Rüzgar Türbini Sistem Tasarımları

Şekil 8.7.'de sonuçları gösterilen şebeke bağlantılı rüzgar türbini tasarımlarında, her il için rüzgar türbini 3 Kw seçildiği tasarımlarda 1000-1400 kWh/yıl arasında olan şebekeye satılan elektrik enerjisi miktarları, türbinin 5 Kw seçildiği tasarımlarda oldukça yüksek bir artışla 2200-3100 kWh/yıl seviyelerine çıkmıştır.

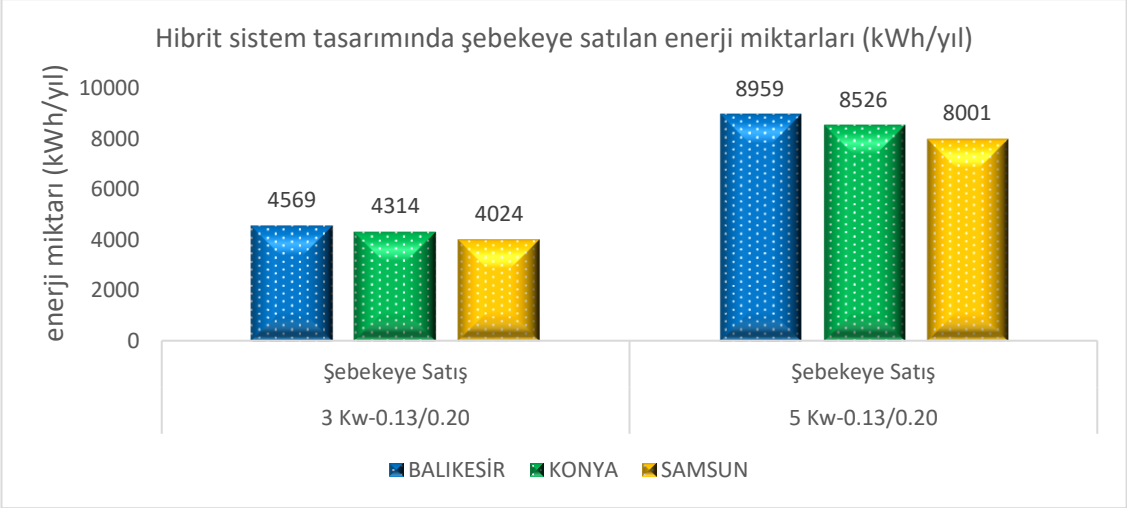


Şekil 8.7. Rüzgar türbini tasarımı şebekeye satılan enerji miktarları

Şebekeye satış değerleri değerlendirildiğinde, rüzgar türbin tasarımlarında, en yüksek şebeke satış değerlerinin Balıkesir'e ait olduğu görülmüş, bunda etkili olan husus Balıkesir'deki rüzgar potansiyelinin diğer illerden fazla olmasıdır.

8.3.2.3. Hibrit Sistem Tasarımları

Fotovoltaik panel ve rüzgar türbininin birlikte kullanıldığı hibrit sistem tasarımlarında üretilen elektrik enerjisini ihtiyaç olan kadarı kullanılmış ihtiyaç fazlası da şebekeye satışı yapılmış her bir tasarım için şebeke satış miktarları Şekil 8.8.'de gösterilmiştir. 3 Kw ve 5 Kw paneller ile aynı güçteki rüzgar türbinleri için elde edilen sonuçların yer aldığı şekilde, her bir tasarımda fotovoltaik panel ve rüzgar türbini tasarımlarına göre şebekeye satılan enerjinin miktarları bulunmaktadır. Şekilden de görüleceği üzere, 3 Kw ve 5 Kw fotovoltaik panel ve rüzgar türbini bulunduran hibrit sistem tasarımlarında, her il için fotovoltaik panel ve rüzgar türbininin 3 Kw seçildiği tasarımlarda ortalama 4000-4500 kWh/yıl olan şebekeye satılan enerji miktarlarının 5 Kw'lık tasarımlarda 8000-9000 kWh/yıl seviyelerine çıktığı görülmüştür.



Şekil 8.8. Hibrit sistem tasarımı şebekeye satılan enerji miktarları

Hibrit enerji tasarımı şebekeye satılan enerji miktarları değerlendirildiğinde, hibrit sistem tasarımlarında şebekeye satılan enerji miktarının yalnız PV panel ve rüzgar türbini kullanılarak yapılan tasarımlara göre oldukça fazla olduğu görülmüştür. Yine hibrit tasarımlarda, rüzgar türbini ile üretime paralel olarak, şebeke satış miktarları

dikkate alındığında Balıkesir'de elde edilen sonuçların diğer illere göre yüksek çıktığı görülmüştür.

8.3.3. Karbondioksit(CO_2) Emisyon Değerleri

Kömür, petrol gibi karbon içeren fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkan karbondioksitin atmosfere yayılması CO_2 emisyonunu vermektedir. Rüzgar ve güneş enerjisi kirletici fosil yakıtları devre dışı bırakmak için geçerli bir alternatif olup karbondioksit ya da diğer kirleticileri salmazlar.

Avrupa'nın 2020 hedeflerinde, sera gazını ve enerji tüketimini % 20 azaltma buna karşın toplam enerji türleri içerisinde yenilenebilir enerji oranının %20'ye yükseltmesi bulunmaktadır [79].

Kirleticilerin emisyonları aşağıdakilerden kaynaklanmaktadır:

- Jeneratörler tarafından elektrik üretimi.
- Isı enerjisinin kazan ile üretilmesi.
- Şebeke elektriğinin tüketimi.

Elektrik üretiminden kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının düşmesi, yenilenebilir enerji tesislerinin kurulumunun artması ve fosil kaynaklara yönelimin azalması ile olacaktır.

Şebekeye bağlı bir sistemin simülasyonunda, HOMER, net şebekeden alınan değeri hesaplar ki, bu değer şebekeden alınan toplam enerji değeriyle şebekeye satılan toplam enerji değerinin farkıdır. Bu net şebeke alımlarıyla ilişkili her kirleticinin emisyonlarını hesaplamak için, HOMER, net şebeke alım değerlerini(kWh cinsinden) her kirletici için emisyon faktörü(kullanılan yakıt birimi başına yayılan kirletici madde, kg) ile (g / kWh olarak) çarpar. Sistem yıl boyunca şebekeden aldığı güce daha fazla enerji satıyorsa, net şebeke alımları negatif olur ve bu da her kirleticinin şebekeye bağlı emisyonlarıdır.

8.3.3.1. Çalışmada Elde Edilen Emisyon Değerlerinin Nasıl Elde Edildiğine İlişkin Örnek Karbondioksit(CO2) Emisyon Değerleri Hesabı

Tez çalışması kapsamında, tablolarda ortaya çıkan değerlerin nasıl elde edildiğine ilişkin örnek olarak, Konya ilinde kurulacak 3 Kw ve 5 Kw panelli fotovoltaik tasarımlar sonucu ortaya çıkan emisyon değerlerinin incelenmesi aşağıda yapılmıştır. Aşağıda iki örnekte anlatılan yöntem, bu tez kapsamında yapılan bütün fotovoltaik, rüzgar türbini ve hibrit tasarımlar için aynı yöntemdir.

Aşağıdaki Çizelge 8.1'de Konya ili için yapılan fotovoltaik tasarıma ait ay bazında alınan ve satılan enerji miktarları görülmektedir. EK-1'de bütün tasarımlara ait alınan, satılan enerji miktarını gösterir çizelgeler verilmiştir. HOMER, CO_2 emisyonunu hesaplama için net satın alınan enerji değerini CO_2'in emisyon faktörü ile çarpmaktadır. Çizelge 8.1 incelendiğinde, 3 Kw'lık tasarımda yıllık net satın alınan enerji miktarının 26 kWh(2403 kWh -2277 kWh) olduğu görülmektedir. Türkiye için CO_2 emisyon faktörü 0.442 kg/kWh alınmıştır [80]. Dolayısıyla, bu tasarım için elde edilen emisyon değeri 26 kWh * 0.442 kg/kWh =11,492 kg olacaktır ve bu değer yuvarlanarak Şekil 8.9.'da 11,5 olarak belirtilmiştir.

Aynı şekilde, 5 Kw'lık tasarımda yıllık net satın alınan enerji miktarının -2.706 kWh(2.251 kWh -4.958 kWh) olduğu görülmektedir. Bu tasarım için elde edilen emisyon değeri de -2.706 kWh * 0.442 kg/kWh = -1196,1 kg olacaktır ki bu değer yine Şekil 8.9.'da belirtilmiştir.

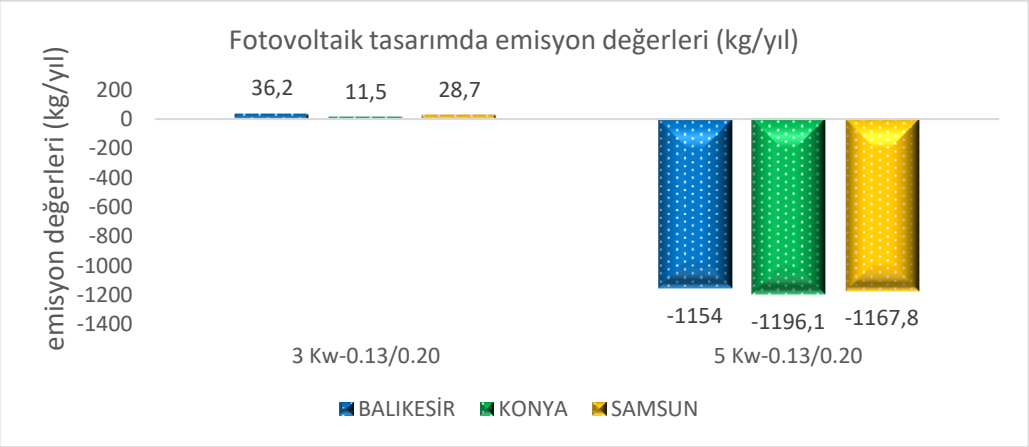
HOMER, tasarımlardaki hesapları net satılan enerji üzerinden değil de net satın alınan enerji üzerinden hesapladığı için emisyon için hesaplanan bir çok değer (hibrit tasarımlarda tamamı) negatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Yani çizelgelerde yer alan negatif değerler, satılan enerji miktarının alınan enerji miktarından fazla olması ve buna paralel olarak net satın alınan enerji miktarının da negatif değer olarak oluşmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 8.1. Konya ili 3 Kw ve 5 Kw fotovoltaik tasarımlara ait alınan ve satılan yıllık enerji miktarları

3 Kw-0.13/0.20				5 Kw-0.13/0.20			
Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)	Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)
Ocak	233	166	66,6	Ocak	221	342	-121
Şubat	193	174	19,2	Şubat	184	358	-174
Mart	204	217	-13,1	Mart	191	452	-261
Nisan	189	205	-15,8	Nisan	176	430	-254
Mayıs	182	217	-34,6	Mayıs	167	454	-287
Haziran	176	222	-45,4	Haziran	161	466	-304
Temmuz	178	242	-63,7	Temmuz	163	501	-338
Ağustos	189	229	-39,8	Ağustos	176	483	-307
Eylül	189	233	-44,8	Eylül	177	481	-303
Ekim	199	192	7,05	Ekim	189	407	-218
Kasım	224	152	71,9	Kasım	213	316	-104
Aralık	246	127	119	Aralık	233	269	-36,2
Yıllık	2.403	2.377	26	Yıllık	2.251	4.958	-2.706

8.3.3.2. Fotovoltaik Sistem Tasarımları

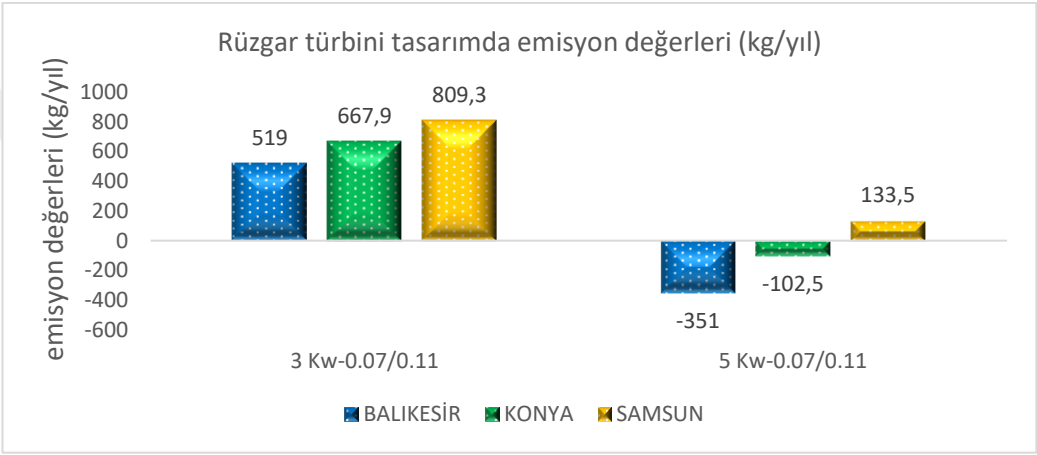
Şekil 8.9.'dan görüleceği üzere, 3 Kw ve 5 Kw PV panel bulunduran PV sistem tasarımlarında, her il için fotovoltaik panelin hem 3 Kw hem de 5 Kw seçildiği tasarımlarda, en düşük emisyon değerleri Konya'da elde edilmiştir. Güneş potansiyeli diğer illere göre daha fazla olan Konya'da alınan enerji miktarı diğer illerden az ve satılan enerji miktarı diğer illerden fazla olduğu için net satın alınan enerji değeri daha düşük çıkmakta, her tasarım için aynı emisyon faktörüyle çarpımı sonucu emisyon değeri de buna paralel düşük çıkmaktadır.



Şekil 8.9. Fotovoltaik tasarımda emisyon değerleri

8.3.3.3. Rüzgar Türbini Sistem Tasarımları

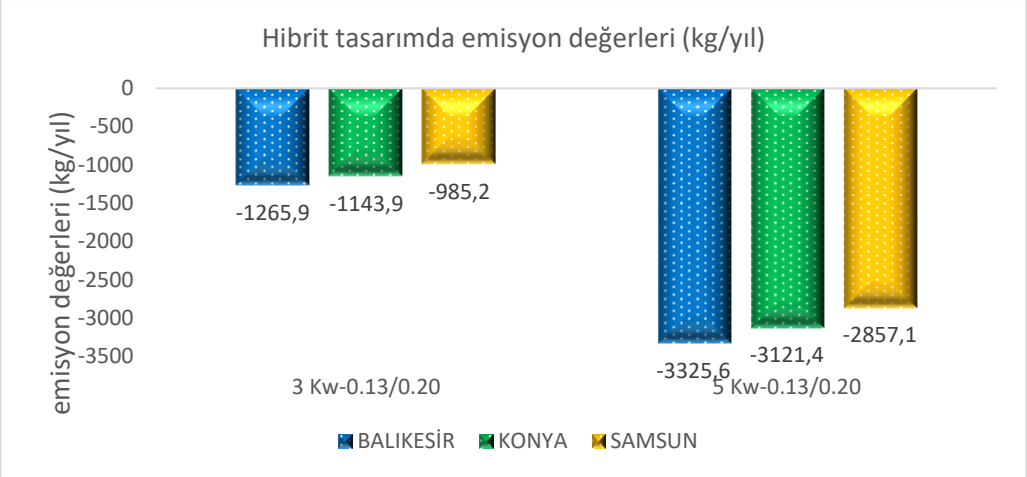
Rüzgar türbini tasarımlarda, türbinin hem 3 Kw hem de 5 Kw seçildiği durumlarda, en iyi emisyon değerlerinin Balıkesir'de olduğu görülmüştür ki, bunda da sebep bu sefer rüzgar potansiyelinin Balıkesir'de diğer illere göre fazla olması ve net satın alınan enerji değerinin diğer illere göre daha düşük olmasıdır. Şekil 8.10.'da rüzgar türbini tasarımında elde edilen emisyon değerleri görülmektedir.



Şekil 8.10. Rüzgar türbini tasarımında emisyon değerleri

8.3.3.4. Hibrit Sistem Tasarımları

Şekil 8.11.'den görüleceği üzere, hibrit tasarımlarda elde edilen bütün sonuçların negatif değerde olduğu görülmekte, yani her il ve her güçteki panel ile türbin için satılan enerji miktarının alınan enerji miktarından oldukça fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu tasarımda da yine en iyi değerler Balıkesir'de elde edilmiştir.



Şekil 8.11. Hibrit tasarımda emisyon değerleri

8.4. Tasarımların Ekonomik Değerleri

8.4.1. Ekonomik Parametreler

8.4.1.1. İndirim(iskonto) faktörü:

İndirim faktörü, proje ömrünün herhangi bir yılda ortaya çıkan bir nakit akışının bugünkü değerini hesaplamak için kullanılan bir orandır. HOMER, aşağıdaki denklemi kullanarak iskonto faktörünü hesaplar:

$$f_d = 1/(1+i)^N \quad (8.1)$$

Burada;

i =reel iskonto oranı [%]

N = yılların sayısı

ifade eder.

Örnek: N = 12 yıl ve i =% 5 alındığında iskonto faktörü 0.557'ye eşittir. Bu, 12. yılda 1000 $ nominal nakit akışının bugünkü değeri 557 dolar olduğu anlamına geliyor. Başka bir deyişle, 12. yılda 1.000 $ nakit akışı, sıfıra doğru 557 dolar nakit akışına

eşdeğerdir. Bu, paranın zaman değerinin bir gösterimidir; bugünkü bir dolar gelecek on iki yıldaki bir dolardan daha değerlidir.

8.4.1.2. Reel iskonto oranı:

Reel iskonto oranı, bir defalık maliyetler ve yıllıklaştırılan(yıllık olarak hesaplanmış) maliyetler arasında dönüşüm yapmak için kullanılır. HOMER, "Nominal iskonto oranı" ve "Beklenen enflasyon oranı" girdilerinden yıllık reel iskonto oranını (reel faiz oranı veya faiz oranı da denir) hesaplar. HOMER, indirgenmiş faktörleri hesaplamak için reel iskonto oranını ve net bugünkü maliyetlerden yıllıklaştırılmış maliyetleri hesaplar.

Programda ekonomi sayfasında nominal iskonto oranını ve beklenen enflasyon oranını girebilmektedir. HOMER, reel iskonto oranını hesaplamak için aşağıdaki denklemi kullanır:

$$i = (i' - f) / (1 + f) \tag{8.2}$$

i = reel iskonto oranı

i'= nominal iskonto oranı(para ödeyebilme oranı)

f= beklenen enflasyon oranı

Örneğin nominal iskonto oranı% 8, beklenen enflasyon oranı % 3.5 ise, yıllık reel iskonto oranı% 4.35'dir. Reel yıllık faiz oranını doğrudan girmek istenirse (örneğin, bir hassasiyet analizi yapmak için), beklenen enflasyon oranını sıfıra ayarlanabilir ve nominal iskonto oranı girişi içine gerçek ıskonto oranı için değerler girebilir.

Bu çalışmada, TÜİK verileri dikkate alınarak yıllık enflasyon oranı olan f değeri 9.22 olacak şekilde kullanılmıştır. [81]. Merkez Bankası verileri baz alınarak yıllık nominal faiz oranı 10,32 olarak belirlenmiştir [77]. Yıllık reel faiz oranı i=%1,01 bulunmuştur. (i=(0,1032-0,0922)/(1+0,0922))

8.4.2. Net Şimdiki Maliyet Değerleri

Bir sistemin toplam net şimdiki maliyeti(net present cost, NPC); proje ömrü boyunca, gelir ve giderlerin şimdiki değerleri karşılaştırılır. Giderler; yatırım maliyeti, yer değiştirme maliyeti bakım-onarım maliyeti, yakıt maliyeti, emisyon cezaları ve şebekeden alınan enerji maliyetini kapsar. Gelirler ise hurda değeri ve şebeke satış gelirini kapsar. Bir bileşenin net şimdiki maliyeti (veya ömür maliyeti), o bileşeni proje ömrü boyunca kurmanın ve çalıştırmanın tüm masraflarının şimdiki değeri ve proje ömrü boyunca kazandığı tüm gelirlerin mevcut değeri farkıdır [78].

HOMER, toplam net şimdiki maliyeti, proje ömrü boyunca her yıl için indirgenmiş nakit akışını toplayarak hesaplar ve optimizasyon sonuçlarında bütün sistem konfigürasyonların değerini sıralar, temelde toplam yıllığa indirgenmiş maliyeti ve enerji birim maliyetini hesaplar.

Bir bileşenin net şimdiki maliyeti (veya ömrü maliyeti), bileşeni projenin ömrü boyunca kurmanın ve çalıştırmanın tüm maliyetlerinin bugünkü değerinden proje ömrü boyunca kazandığı tüm gelirlerin bugünkü değeri çıkarılarak bulunur. HOMER, sistemdeki ve bir bütün olarak sistemin her bileşeninin net şimdiki maliyetini hesaplar.

8.4.2.1. Örnek Net Şimdiki Maliyet Hesabı

Bir dizel jeneratörün başlangıç sermayesi(İlk yatırım maliyeti) 96.000 $, değiştirme maliyeti 48.000 $ ve ömrü 3.52 yıl olarak gerçekleşmiştir. İşletme ve bakım maliyeti (O & M) 2.471 $ / yıl olup yakıt maliyeti 34.969 $ / yıl'dır. Bu jeneratörün 25 yıllık proje ömrü boyunca net bugünkü maliyeti% 6'lık bir yıllık reel iskonto oranı ile ne kadardır?

Bu hesaplamayı yapmak için, HOMER Çizelge 8.2.'deki gibi bir Nakit Akışı çizelgesi üretir. 25. yılın sonunda ortaya çıkan hurda değeri haricinde, bu nakit akışlarının tümü maliyetlerdir, bu nedenle tabloda negatif sayılar olarak görünürler.

İlk sütunda, projenin başlangıcından bu yana geçen yıllarda, her bir nakit akışının gerçekleştiği zaman(yıl) gösterilir. Yıllık işletme ve bakım maliyeti(operation and maintence, O&M) ile yakıt masrafları her yılın sonunda gerçekleşir. Değiştirme maliyetleri her 3,52 yılda bir ortaya çıkar.

Sarı renkle vurgulanan ikinci sütun, indirim faktörünü içerir. Yeşil vurgulanan sütunlar nominal nakit akışlarını içerir. Morla vurgulanan sütunlar, yılın sıfırına indirgenen aynı nakit akışını içerir. HOMER, indirgenmiş maliyetleri, nominal maliyetlerin indirgeme faktörü ile çarpımı ile hesaplar.

Mor renkle gösterilen indirgenmiş nakit akışı sütunlarının en alttaki satırı, kırmızı renkle gösterilen -725,240 $ toplam net şimdiki değerinin yanında her nakit akış kategorisinin net şimdiki değerini içerir. Net şimdiki değer ve net şimdiki maliyet sadece işaret olarak farklılık gösterir, bu nedenle bu jeneratörün 25 yıllık proje ömrü boyunca net şimdiki maliyeti 725.240 dolardır. HOMER, sistemdeki her bileşen için ve sistemin tamamı için benzer bir analiz yapar.

HOMER, enflasyon yerine paranın zaman değerini hesaplamak için indirim faktörünü kullanır. Enflasyon, nominal iskonto oranı yerine reel iskonto oranını kullanarak analizden çıkarılır.

Analizden çıkarılan enflasyonla bile, paranın zaman değeri, gelecekteki bir nakit akışının aynı miktardaki mevcut nakit akışından daha düşük bir değere sahip olduğunu belirtir. İndirgeme faktörü bu etkiyi hesaplar; projenin başlangıcından bu yana geçen yılların sayısının artmasıyla birlikte değeri azalmaktadır [78].

Çizelge 8.2. Nakit akışı çizelgesi

Yıl	İndirgeme Faktörü	Nominal Nakit Akışları						İndirgenmiş Nakit Akışları					
		Sermaye	Yerdeğiştirme	Hurda	O&M	Yakıt	Toplam	Sermaye	Yerdeğiştirme	Hurda	O&M	Yakıt	Toplam
0	1.000	-96,000					-96,000	-96,000					**-96,000**
1	0.943				-2,471	-34,969	-37,441				-2,331	-32,990	**-35,321**
2	0.890				-2,471	-34,969	-37,441				-2,200	-31,123	**-33,322**
3	0.840				-2,471	-34,969	-37,441				-2,075	-29,361	**-31,436**
3.52	0.815		-48,000				-48,000		-39,098				**-39,098**
4	0.792				-2,471	-34,969	-37,441				-1,958	-27,699	**-29,657**
5	0.747				-2,471	-34,969	-37,441				-1,847	-26,131	**-27,978**
6	0.705				-2,471	-34,969	-37,441				-1,742	-24,652	**-26,394**
7	0.665				-2,471	-34,969	-37,441				-1,644	-23,257	**-24,900**
7.04	0.663		-48,000				-48,000		-31,847				**-31,847**
8	0.627				-2,471	-34,969	-37,441				-1,551	-21,940	**-23,491**
9	0.592				-2,471	-34,969	-37,441				-1,463	-20,698	**-22,161**
10	0.558				-2,471	-34,969	-37,441				-1,380	-19,527	**-20,907**
10.56	0.540		-48,000				-48,000		-25,941				**-25,941**
11	0.527				-2,471	-34,969	-37,441				-1,302	-18,421	**-19,723**
12	0.497				-2,471	-34,969	-37,441				-1,228	-17,379	**-18,607**
13	0.469				-2,471	-34,969	-37,441				-1,159	-16,395	**-17,554**
14	0.442				-2,471	-34,969	-37,441				-1,093	-15,467	**-16,560**
14.08	0.440		-48,000				-48,000		-21,130				**-21,130**
15	0.417				-2,471	-34,969	-37,441				-1,031	-14,592	**-15,623**
16	0.394				-2,471	-34,969	-37,441				-973	-13,766	**-14,738**
17	0.371				-2,471	-34,969	-37,441				-918	-12,986	**-13,904**
17.60	0.359		-48,000				-48,000		-17,212				**-17,212**
18	0.350				-2,471	-34,969	-37,441				-866	-12,251	**-13,117**
19	0.331				-2,471	-34,969	-37,441				-817	-11,558	**-12,375**
20	0.312				-2,471	-34,969	-37,441				-771	-10,904	**-11,674**
21	0.294				-2,471	-34,969	-37,441				-727	-10,286	**-11,013**
21.12	0.292		-48,000				-48,000		-14,020				**-14,020**
22	0.278				-2,471	-34,969	-37,441				-686	-9,704	**-10,390**
23	0.262				-2,471	-34,969	-37,441				-647	-9,155	**-9,802**
24	0.247				-2,471	-34,969	-37,441				-610	-8,637	**-9,247**
24.64	0.238		-48,000				-48,000		-11,420				**-11,420**
25	0.233			43,120	-2,471	-34,969	5,679			10,047	-576	-8,148	**1,323**
Toplam		-96,000	-336,000	43,120	-61,784	-874,234	-1,324,899	-96,000	-160,668	10,047	-31,593	-447,026	-725,239

8.4.2.2.Çalışmada Elde Edilen Net Şimdiki Maliyet Değerlerinin Nasıl Elde Edildiğine İlişkin Örnek Net Şimdiki Maliyet Hesabı

Tez çalışması kapsamında, çizelgelerde ortaya çıkan değerlerin nasıl elde edildiğine ilişkin, örnek olarak, Balıkesir ilinde kurulacak yerli imalat teşvikli olan 3 Kw ve 5 Kw panelli fotovoltaik tasarımlar sonucu ortaya çıkan net şimdiki maliyet değerlerinin incelenmesi aşağıda yapılmıştır. Aşağıda iki örnekte anlatılan yöntem, bu tez

kapsamında yapılan bütün fotovoltaik, rüzgar türbini ve hibrit tasarımlar için aynı yöntemdir. Yani, her bir tasarım için bileşen maliyetleri ve indirgenmiş nakit akış çizelgeleri oluşmakta, bu çizelgelerde elde edilen her bir bileşene ait proje ömrü olan 20 yıl sonraki indirgenmiş nakit akış değerleri ortaya çıkmakta ve ortaya çıkan bu her bir değer toplanarak sistemin toplam indirgenmiş nakit akış değeri elde edilmektedir. Tasarımlara ait oluşan bu toplam indirgenmiş nakit akış değerleri ise o tasarımın net şimdiki maliyet değerini yansıtmaktadır.

Çizelge 8.3'de Balıkesir ilinde kurulacak yerli imalat teşvikli olan ve 3 Kw panelli fotovoltaik tasarımda kullanılan her bir bileşen için sermaye(ilk yatırım maliyeti), işletme, yer değiştirme ,hurda, kaynak maliyet değerleri gösterilmektedir. EK 2'de bütün tasarımlara ait bileşen maliyet değerlerini gösterir çizelgeler verilmiştir. Bu tabloya göre, bileşenlerin her bir parametredeki maliyetleri belirtilmiş olup, tasarım kapsamında ele alınan 20 yıllık proje ömrü boyunca PV fotovoltaik paneller ile konvertörün bu süre boyunca kullanacağı kabulü yapılmış bundan dolayı bu bileşenler için yer değiştirme maliyeti uygulanmamıştır. Sistemde kullanılan akü için ise on yıl sonunda yer değiştirme maliyeti uygulanmıştır.

Sistem şebekeye bağlıysa ve başka bir güç üreten cihaz (mikro türbin, yakıt hücresi, PV dizisi veya rüzgar türbini gibi) içeriyorsa, şebeke sermaye maliyeti ara bağlantı ücretine eşittir. Aksi takdirde, şebeke sermaye maliyeti sıfırdır. Şebeke değiştirme maliyeti daima sıfırdır. HOMER, sistemin sabit işletme(O&M)maliyeti ve emisyon cezaları ve kapasite yetersizliği cezası gibi diğer yıllık maliyetleri diğer O&M maliyetleri gibi sınıflandırır.

Başka bir güç üreten cihaz (mikro türbin, yakıt hücresi, PV dizisi veya rüzgar türbini gibi) içeren şebekeye bağlı sistemler için, şebeke O&M maliyeti, şebeke bekleme ücretini de içerir. Modellemekte olunan sistem bir rüzgar türbini ve/veya bir fotovoltaik sistem ve bir elektrik yükü sağlayan şebeken oluşuyorsa, sistem yükü kısmen rüzgar enerjisiyle ve/veya güneş enerjisiyle ve kısmen şebekeli güç ile karşılamaktadır. Şebeke gücünü satın alma maliyeti şebeke O&M maliyeti olarak bildirilir.

Çizelge 8.3. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 3 kw'lık tasarımın bileşen maliyet değerleri

İsim	Sermaye	İşletme	Yer değiştirme	Hurda	Kaynak	Toplam
Konvertör	1.500 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	0,00 $	2.582 $
Şebeke	0,00 $	-3.023 $	0,00 $	0,00 $	0,00 $	-3.023 $
PV	2.100 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	0,00 $	3.182 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	705,62 $	0,00 $	0,00 $	1.486 $
Sistem	4.380 $	-858,15 $	705,62 $	0,00 $	0,00 $	4.228 $

Çizelge 8.3 incelendiğinde, şebeke işletme değerinin(O&M) negatif değerde olduğu görülecektir. Burada görülen -3.023 $ işletim maliyeti, şebekeden satın alınan enerjinin yıllık maliyetinin şebekeye satılan enerjiden elde edilen gelirin farkı olup aşağıda bu husus anlatılmıştır.

Çizelge 8.4. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 3 kw'lık tasarımın aylık alınan, satılan enerji miktarları ile enerji ücret değerleri

Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)	Enerji Ücreti
Ocak	249	137	112	3,75 $
Şubat	199	136	63,4	-2,25 $
Mart	210	199	10,6	-13,63 $
Nisan	190	215	-25,4	-19,32 $
Mayıs	180	255	-75,4	-28,59 $
Haziran	175	262	-87,7	-30,65 $
Temmuz	176	281	-104	-34,09 $
Ağustos	189	257	-68,1	-27,79 $
Eylül	192	237	-44,5	-23,30 $
Ekim	207	173	34,2	-8,68 $
Kasım	230	122	107	4,27 $
Aralık	256	96,8	160	12,69 $
Yıllık	2.453	2.371	81,8	-167,59 $

Şöyle ki, Çizelge 8.4'de bir yıl boyunca her bir ay bazında şebekeden alınan, şebekeye satılan, şebekeden alınan net enerji ve enerji ücreti değerleri görülmektedir. Bu çizelgede, yapılan tasarıma göre, ay bazında alınan ve satılan enerji miktarları belirlenerek bu miktarların farkıyla net alınan enerji değeri hesaplanmakta, daha sonra da bu değer referans alınarak aşağıdaki formül kullanılarak her ay için enerji ücreti hesaplanmaktadır. Şebekeye satılan enerji miktarı, şebeken alınan enerji miktarından fazla olduğunda şebeken net alınan enerji miktarı doğal olarak negatif değer çıkmaktadır. Yıl boyunca hesaplanan enerji ücreti toplandığında, tablodan görülen negatif değer olan -167.59 $ enerji ücreti ortaya çıkmaktadır.

Her ay için hesaplanan enerji ücretleri toplanarak yıllık enerji ücreti hesaplanmakta, hesaplanan bu ücret, Çizelge 8.5'de gösterildiği üzere, nominal nakit akış tablosunda proje ömrü boyunca her yıl aynı değer olarak yansıtılmaktadır.

Çalışma kapsamında hesaplanan net şimdiki maliyetler indirgenmiş nakit akış değeri referans olarak hesaplandığından, nominal nakit akış tablosundaki enerji ücretlerine yıl bazında indirgenme faktörü uygulanarak Çizelge 8.6'da gösterilen indirgenmiş nakit akış tablosundaki yıllık enerji ücretleri ayrı ayrı belirlenir ve sonrasında her yıl ortaya çıkan bu ücretler toplanarak yıllık enerji ücreti bulunur. Bulunan bu yıllık enerji ücreti, yukarıda da bahsedildiği üzere, şebeke işletme ücreti olarak yansıtılır.

Çizelge 8.6 incelendiğinde, indirgeme faktörü uygulanarak oluşturulan indirgenmiş nakit akış tablosunda, yirmi yıllık proje ömrü boyunca şebeke işletme için belirtilen net şimdiki değerinin toplam 3.023 $, konvertör, fotovoltaik panel ve akünün toplam net şimdiki değerlerinin ise sırayla -2.582 $, -3.182 $ ve -1.486 $ olduğu görülür. Yukarıda da bahsedildiği gibi, negatifle gösterilen bu nakit akışlarının tümü maliyetlerdir, bu nedenle tabloda negatif sayılar olarak görünürler. Şebeke gücünü satın alma maliyeti şebeke O&M maliyeti olarak ele alındığından Çizelge 8.4'de görülen negatif değerdeki -167.59 $ enerji ücreti tam sayıya tamamlanarak -168 $ olarak alınmıştır. Daha sonra bu değer nominal nakit akış tablosunda diğer parametrelerdeki gibi maliyet olarak ele alınarak -(-168 $) yani 168 $ olarak yansıtılmıştır. İndirgenmiş nakit akış tablosunda, 168 $ alınan değere her yıl indirgeme faktörü uygulanmış, birinci yılda 166 $'dan başlayarak yirminci yıla kadar

137 $'a gelmiş, yirmi yıllık proje ömrü boyunca şebeke işletme için belirtilen net şimdiki değerinin toplam 3.023 $ olduğu görülmüştür. Ortaya çıkan bu değer, Çizelge 8.3'de - 3.023 $ olarak karşımıza çıkmaktadır. Net şimdiki değer ve net şimdiki maliyet sadece işaret olarak farklılık gösterir ve bu nedenle Çizelge 8.6'daki net şimdiki değerler Çizelge 8.3'de zıt işaret olarak yansıtılır. Aynı şekilde, Çizelge 8.6'daki - 4.228 $'ın Çizelge 8.3'de 4.228 $ görülmesi ve Çizelge 8.6'da elde edilen diğer değerlerin Çizelge 8.3'de zıt işaretli olarak görülmesi de aynı sebeptendir.

Çizelge 8.5. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 3 kw'lık tasarımın nominal nakit akış tablosu

Nominal Nakit Akışları

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Toplam
Konvertör																						
Sermaye	-1.500 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-1.500 $
İşletme	0 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-1.200 $
Hurda	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yakıt	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yerdeğiştirme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Konvertör Toplam	-1.500 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-2.700 $
Şebeke																						0 $
Sermaye	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
İşletme	0 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	3.360 $
Hurda	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yakıt	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yerdeğiştirme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Şebeke Toplam	0 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	168 $	3.360 $
PV																						0 $
Sermaye	-2.100 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-2.100 $
İşletme	0 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-1.200 $
Hurda	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yakıt	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yerdeğiştirme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
PV Toplam	-2.100 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-60 $	-3.300 $
Akü																						0 $
Sermaye	-780 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-780 $
İşletme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Hurda	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yakıt	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yerdeğiştirme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-780 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-780 $
Akü Toplam	-780 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-780 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-1.560 $
Nominal Toplam	-4.380 $	48 $	48 $	48 $	48 $	48 $	48 $	48 $	48 $	48 $	-732 $	48 $	48 $	48 $	48 $	48 $	48 $	48 $	48 $	48 $	48 $	-4.200 $

Çizelge 8.6. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 3 kw'lık tasarımın indirgenmiş nakit akış tablosu

	İndirgenmiş Nakit Akışları																					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Toplam
Konvertör																						
Sermaye	-1.500 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-1.500 $
İşletme	0 $	-59 $	-59 $	-58 $	-58 $	-57 $	-56 $	-56 $	-55 $	-55 $	-54 $	-54 $	-53 $	-53 $	-52 $	-52 $	-51 $	-51 $	-50 $	-50 $	-49 $	-1.082 $
Hurda	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yakıt	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yerdeğiştirme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Konvertör Toplam	-1.500 $	-59 $	-59 $	-58 $	-58 $	-57 $	-56 $	-56 $	-55 $	-55 $	-54 $	-54 $	-53 $	-53 $	-52 $	-52 $	-51 $	-51 $	-50 $	-50 $	-49 $	-2.582 $
Şebeke																						0 $
Sermaye	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
İşletme	0 $	166 $	164 $	163 $	161 $	159 $	158 $	156 $	155 $	153 $	152 $	150 $	149 $	147 $	146 $	144 $	143 $	141 $	140 $	139 $	137 $	3.023 $
Hurda	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yakıt	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yerdeğiştirme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Şebeke Toplam	0 $	166 $	164 $	163 $	161 $	159 $	158 $	156 $	155 $	153 $	152 $	150 $	149 $	147 $	146 $	144 $	143 $	141 $	140 $	139 $	137 $	3.023 $
PV																						0 $
Sermaye	-2.100 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-2.100 $
İşletme	0 $	-59 $	-59 $	-58 $	-58 $	-57 $	-56 $	-56 $	-55 $	-55 $	-54 $	-54 $	-53 $	-53 $	-52 $	-52 $	-51 $	-51 $	-50 $	-50 $	-49 $	-1.082 $
Hurda	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yakıt	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yerdeğiştirme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
PV Toplam	-2.100 $	-59 $	-59 $	-58 $	-58 $	-57 $	-56 $	-56 $	-55 $	-55 $	-54 $	-54 $	-53 $	-53 $	-52 $	-52 $	-51 $	-51 $	-50 $	-50 $	-49 $	-3.182 $
Akü																						0 $
Sermaye	-780 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-780 $
İşletme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Hurda	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yakıt	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yerdeğiştirme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-706 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-706 $
Akü Toplam	-780 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-706 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-1.486 $
İndirgenmiş Toplam	-4.380 $	47 $	47 $	46 $	46 $	45 $	45 $	44 $	44 $	43 $	-663 $	43 $	42 $	42 $	41 $	41 $	41 $	40 $	40 $	39 $	39 $	-4.228 $

Benzer şekilde, Balıkesir ilinde kurulacak yerli imalat teşvikli olan ve 5 Kw panelli fotovoltaik tasarım için net şimdiki maliyet değerinin neden -2.271 $ olduğu incelendiğinde(Çizelge 8.7), aşağıdaki her bir bileşenin maliyet tablosu ve indirgenmiş nakit akış tablosu üzerinden değerlendirme yapılır. Çizelge 8.9'da nominal nakit akış tablosu verilmiştir.

Çizelge 8.7. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 5 kw'lık tasarımın bileşen maliyet değerleri

İsim	Sermaye	İşletme	Yer değiştirme	Hurda	Kaynak	Toplam
Konvertör	2.000 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	0,00 $	3.442 $
Şebeke	0,00 $	-12.504 $	0,00 $	0,00 $	0,00 $	-12.505 $
PV	3.500 $	1.802 $	0,00 $	0,00 $	0,00 $	5.302 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	705,62 $	0,00 $	0,00 $	1.486 $
Sistem	6.280 $	-9.258 $	705,62 $	0,00 $	0,00 $	-2.271 $

Çizelge 8.8. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 5 kw'lık tasarımın aylık alınan, satılan enerji miktarları ile enerji ücret değerleri

Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)	Enerji Ücreti
Ocak	236	278	-41,4	-26,02 $
Şubat	187	287	-99,8	-33,98 $
Mart	195	417	-222	-58,97 $
Nisan	175	445	-270	-67,06 $
Mayıs	164	519	-355	-83,29 $
Haziran	159	533	-375	-86,87 $
Temmuz	161	567	-406	-93,21 $
Ağustos	174	529	-354	-83,93 $
Eylül	178	481	-303	-73,91 $
Ekim	196	369	-173	-49,33 $
Kasım	218	262	-44,3	-25,18 $
Aralık	241	209	32,1	-11,65 $
Yıllık	2.285	4.895	-2.610	-693,39 $

Çizelge 8.10 incelendiğinde, indirgeme faktörü uygulanarak oluşturulan indirgenmiş nakit akış tablosunda, yirmi yıllık proje ömrü boyunca şebeke işletme için belirtilen net şimdiki değerinin toplam 12.505 $, konvertör, fotovoltaik panel ve akünün toplam net şimdiki değerlerinin ise sırayla -3.442 $, -5.302 $ ve -1.486 $ olduğu görülür. Negatifle gösterilen bu nakit akışlarının tümü maliyetlerdir, bu nedenle tabloda negatif sayılar olarak görünürler. Şebeke gücünü satın alma maliyeti şebeke O&M maliyeti olarak ele alındığından Çizelge 8.8'de görülen negatif değerdeki -693.39 $ enerji ücreti tam sayıya tamamlanarak -693 $ olarak alınmıştır. Daha sonra bu değer nominal nakit akış tablosunda diğer parametrelerdeki gibi maliyet olarak ele alınarak -(-693 $) yani 693 $ olarak yansıtılmıştır. İndirgenmiş nakit akış tablosunda, 693 $ alınan değere her yıl indirgeme faktörü uygulanmış, birinci yılda 686 $'dan başlayarak yirminci yıla kadar 567 $'a gelmiş, yirmi yıllık proje ömrü boyunca şebeke işletme için belirtilen net şimdiki değerinin toplam 12.505 $ olduğu görülmüştür. Ortaya çıkan bu değer, Çizelge 8.7'de - 12.505 $ olarak karşımıza çıkmaktadır. Net şimdiki değer ve net şimdiki maliyet sadece işaret olarak farklılık gösterir ve bu nedenle Çizelge 8.10'daki net şimdiki değerler Çizelge 8.7'de zıt işaret olarak yansıtılır. Aynı şekilde Çizelge 8.10'daki indirgenmiş toplam değer olan 2.271 $ değeri Çizelge 8.7'de zıt işarette yani - 2.271 $ olarak görülmektedir.

Çizelge 8.9. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 5 kw'lık tasarımın nominal nakit akış tablosu

Nominal Nakit Akışları																						
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Toplam
Konvertör																						
Semaye	-2.000 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-2.000 $
İşletme	0 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-1.600 $
Hurda	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yakıt	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yerdeğiştirme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Konvertör Toplam	-2.000 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-80 $	-3.600 $
Şebeke																						0 $
Semaye	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
İşletme	0 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	13.860 $
Hurda	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yakıt	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yerdeğiştirme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Şebeke Toplam	0 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	693 $	13.860 $
PV																						0 $
Semaye	-3.500 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-3.500 $
İşletme	0 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-2.000 $
Hurda	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yakıt	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yerdeğiştirme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
PV Toplam	-3.500 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-100 $	-5.500 $
Akü																						0 $
Semaye	-780 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-780 $
İşletme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Hurda	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yakıt	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yerdeğiştirme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-780 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-780 $
Akü Toplam	-780 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-780 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-1.560 $
Nominal Toplam	-6.280 $	513 $	513 $	513 $	513 $	513 $	513 $	513 $	513 $	513 $	-267 $	513 $	513 $	513 $	513 $	513 $	513 $	513 $	513 $	513 $	513 $	3.200 $

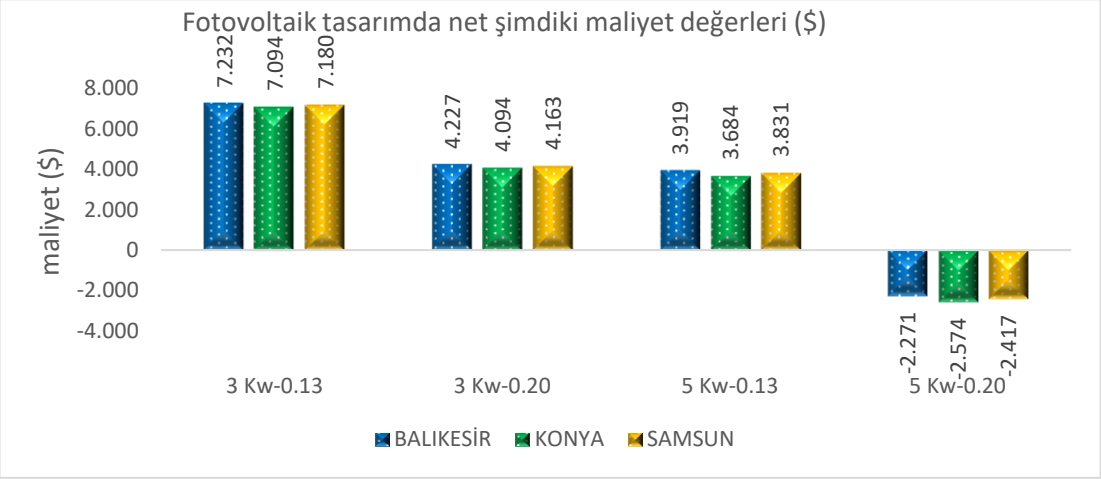
Çizelge 8.10. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 5 kw'lık tasarımın indirgenmiş nakit akış tablosu

İndirgenmiş Nakit Akışları																						
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Toplam
Konvertör																						
Sermaye	-2.000 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-2.000 $
İşletme	0 $	-79 $	-78 $	-78 $	-77 $	-76 $	-75 $	-75 $	-74 $	-73 $	-72 $	-72 $	-71 $	-70 $	-70 $	-69 $	-68 $	-67 $	-67 $	-66 $	-65 $	-1.442 $
Hurda	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yakıt	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yerdeğiştirme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Konvertör Toplam	**-2.000 $**	**-79 $**	**-78 $**	**-78 $**	**-77 $**	**-76 $**	**-75 $**	**-75 $**	**-74 $**	**-73 $**	**-72 $**	**-72 $**	**-71 $**	**-70 $**	**-70 $**	**-69 $**	**-68 $**	**-67 $**	**-67 $**	**-66 $**	**-65 $**	**-3.442 $**
Şebeke																						0 $
Sermaye	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
İşletme	0 $	686 $	680 $	673 $	666 $	660 $	653 $	646 $	640 $	634 $	627 $	621 $	615 $	609 $	603 $	597 $	591 $	585 $	579 $	573 $	567 $	12.505 $
Hurda	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yakıt	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yerdeğiştirme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Şebeke Toplam	**0 $**	**686 $**	**680 $**	**673 $**	**666 $**	**660 $**	**653 $**	**646 $**	**640 $**	**634 $**	**627 $**	**621 $**	**615 $**	**609 $**	**603 $**	**597 $**	**591 $**	**585 $**	**579 $**	**573 $**	**567 $**	12.505 $
PV																						0 $
Sermaye	-3.500 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-3.500 $
İşletme	0 $	-99 $	-98 $	-97 $	-96 $	-95 $	-94 $	-93 $	-92 $	-91 $	-90 $	-90 $	-89 $	-88 $	-87 $	-86 $	-85 $	-84 $	-83 $	-83 $	-82 $	-1.802 $
Hurda	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yakıt	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yerdeğiştirme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
PV Toplam	**-3.500 $**	**-99 $**	**-98 $**	**-97 $**	**-96 $**	**-95 $**	**-94 $**	**-93 $**	**-92 $**	**-91 $**	**-90 $**	**-90 $**	**-89 $**	**-88 $**	**-87 $**	**-86 $**	**-85 $**	**-84 $**	**-83 $**	**-83 $**	**-82 $**	**-5.302 $**
Akü																						0 $
Sermaye	-780 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-780 $
İşletme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Hurda	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yakıt	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $
Yerdeğiştirme	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-706 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	0 $	-706 $
Akü Toplam	**-780 $**	**0 $**	**0 $**	**0 $**	**0 $**	**0 $**	**0 $**	**0 $**	**0 $**	**0 $**	**-706 $**	**0 $**	**0 $**	**0 $**	**0 $**	**0 $**	**0 $**	**0 $**	**0 $**	**0 $**	**0 $**	**-1.486 $**
İndirgenmiş Toplam	**-6.280 $**	**508 $**	**503 $**	**498 $**	**493 $**	**488 $**	**483 $**	**479 $**	**474 $**	**469 $**	**-241 $**	**460 $**	**455 $**	**451 $**	**446 $**	**442 $**	**437 $**	**433 $**	**429 $**	**424 $**	**420 $**	2.271 $

8.4.2.3. Fotovoltaik Sistem Tasarımları

3 Kw PV panel bulunduran PV sistem tasarımında; yerli imalat teşvikleri olmadan yani şebeke satış tarifesinin 13 $ cent/kWsaat alndığı şebeke bağlantılı fotovoltaik(PV) sistemin net şimdiki maliyetleri incelendiğinde, üç il arasında en küçük net şimdiki maliyet değerinin 7094 $ ile Konya'da en büyük değerin ise 7232 $ ile Balıkesir'de elde edildiği görülmektedir. Aynı panel için teşvik uygulandığında ise, net şimdiki maliyet değerlerinin yaklaşık % 40 oranında azalarak 4000-4200 $ seviyelerinde olduğu, en küçük değerin yine Konya'ya ait olduğu görülmüştür.

PV panel olarak 5 Kw seçildiğinde ise, yerli imalat teşvikleri olmadığında, net şimdiki maliyet değerlerinin 3600-3900 $ seviyelerinde olduğu, aynı panel için teşvik uygulandığında, bu değerlerinin negatif değerlere ulaştığı, en düşük değerin -2.574 $ ile yine Konya'ya ait olduğu görülmüştür. Şekil 8.12.'de elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Şekilde ortaya çıkan bu negatif değerlerin sebebi yukarıda detaylı şekilde anlatılmış olup, negatif değerler gelirlerin maliyeti aştığı anlamına gelir ki bu gelir, şebekeye elektrik satmaktan kaynaklanmaktadır [78].



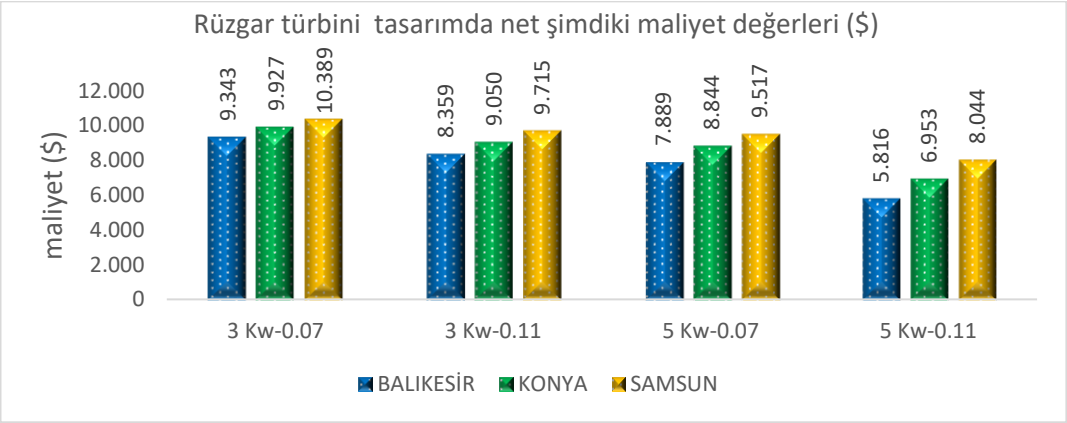
Şekil 8.12. Fotovoltaik tasarımda net şimdiki maliyet değerleri

Fotovoltaik tasarımlarda, net şimdiki maliyet değerleri üzerinden yapılan incelemeye göre; seçilen iller arasında en uygun ilin Konya olduğu görülmüştür. Yerli imalat teşvikli ve teşviksiz olarak yapılan hem 3 Kw'lık hem de 5 Kw'lık fotovoltaik panel kullanılarak yapılan tasarımlarda, Konya'nın güneş enerjisi potansiyelinin diğer illere göre daha fazla olmasına paralel olarak Konya'da üretilen elektrik enerjisinin diğer iki ile göre daha yüksek olması ve şebekeye satılan elektrik enerjisinin fazla olması Konya ili için elde edilen net şimdiki maliyet değerlerinin diğer illere göre daha düşük olmasında etkili olmuştur.

8.4.2.4. Rüzgar Türbini Sistem Tasarımları

Şekil 8.13.'de sonuçları gösterilen, 3 Kw rüzgar türbini sistem tasarımında; yerli imalat teşvikleri olmadan yani şebeke satış tarifesinin 0.07 $ cent/kWsaat alndığı şebeke bağlantılı rüzgar türbini(RT) sistemin net şimdiki maliyetleri incelendiğinde, üç il arasında en küçük net şimdiki maliyet değerinin 9343 $ ile Balıkesir'de en büyük değerin ise 10.389 $ ile Samsun'da elde edildiği görülmektedir. Aynı türbin için teşvik uygulandığında ise, net şimdiki maliyetlerin yaklaşık % 10 oranında azalarak 8300-9700 $ seviyelerinde görülmüştür.

Rüzgar türbini olarak 5 Kw seçildiğinde ise, yerli imalat teşvikleri olmadığında, en düşük değerin 7889 $ ile Balıkesir'de, aynı türbin için teşvik uygulandığında, en düşük net şimdiki maliyet değeri 5.816 $ ile yine Balıkesir'de elde edilmiştir.



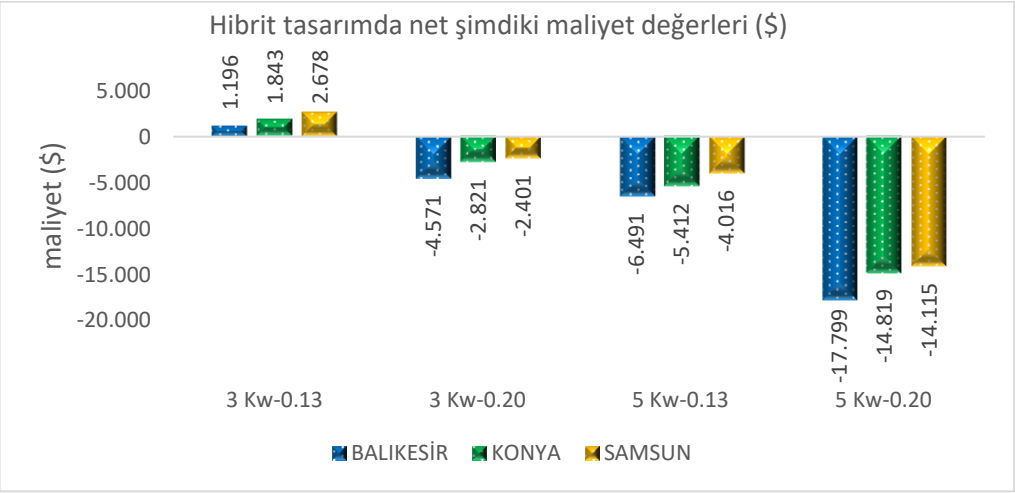
Şekil 8.13. Rüzgar türbini tasarımında net şimdiki maliyet değerleri

Rüzgar türbini tasarımlarda, net şimdiki maliyet değerleri üzerinden yapılan incelemeye göre; seçilen iller arasında en uygun ilin Balıkesir olduğu görülmüştür. Balıkesir'in rüzgar potansiyelinin diğer illere göre daha fazla olmasına paralel olarak Balıkesir'de üretilen elektrik enerjisinin diğer iki ile göre daha yüksek olması ve şebekeye satılan elektrik enerjisinin fazla olması Balıkesir ili için elde edilen net şimdiki maliyet değerlerinin diğer illere göre daha düşük olmasında etkili olmuştur.

8.4.2.5. Hibrit Sistem Tasarımları

Şekil 8.14.'te sonuçları gösterilen 3 Kw PV panel ve 3 Kw rüzgar türbini bulunduran hibrit sistem tasarımında; yerli imalat teşvikleri olmadan net şimdiki maliyetleri incelendiğinde, üç il arasında net şimdiki maliyet değerinin 1.196 $ ile Balıkesir'de en büyük değerin ise 2.678 $ ile Samsun'da elde edildiği görülmektedir. Aynı güçteki panel ve rüzgar türbini için teşvik uygulandığında ise, negatif değerlerde seyrederek net şimdiki maliyet değerlerinin -4.571 $ ile Balıkesir'de, -2.401 $ ile Samsun'da minimum ve maximum değerler elde edilmiştir.

PV panel ve rüzgar türbini olarak 5 Kw seçildiğinde ise, hem yerli imalat teşvikli tasarımda hem de teşviksiz tasarımlar, en düşük ve en büyük net şimdiki maliyet değerlerin yine aynı illere ait olduğu görülmüştür.



Şekil 8.14. Hibrit tasarımda net şimdiki maliyet değerleri

5 Kw'lık tasarımlarda yerli imalat teşviki olduğunda, net şimdiki maliyet değerlerinin negatif değerlerde çift haneli sayılara ulaştığı görülmekte olup, hem fotovoltaik panel ve rüzgar türbininin kapasatilerinin artırılmasına paralel olarak satılan elektrik enerjisinin fazla olması hem de yerli imalat teşviğinin uygulanması böyle değerlerin ortaya çıkmasında etkili olmuştur.

Hibrit tasarımlarda, net şimdiki maliyet değerleri üzerinden yapılan incelemeye göre; seçilen iller arasında en uygun ilin Balıkesir olduğu görülmüştür. Fotovoltaik panelle üretilen enerjinin üç il için yaklaşık değerlerde olmasına karşın Balıkesir'in rüzgar potansiyelinin diğer illere göre daha fazla olmasına paralel olarak Balıkesir'de rüzgar türbini ile üretilen elektrik enerjisinin diğer iki ile göre daha yüksek olması ve bunun sonucunda şebekeye satılan elektrik enerjisinin de diğer illere göre daha fazla olması Balıkesir ili için elde edilen net şimdiki maliyet değerlerinin diğer illere göre daha düşük olmasında etkili olmuştur.

8.4.3. Enerji Birim Maliyeti Değerleri

Enerji Birim Maliyeti, sistemin tarafından üretilen faydalı elektrik enerjisinin 1 kWh başına düşen ortalama maliyetidir. COE'yi hesaplamak için HOMER, yıllıklandırılmış toplam maliyetini AC yükün tükettiği enerji ve şebekeye satılan enerjinin toplam miktarına böler. COE değerini şu bağıntı verir:

$$COE = (C_{yıl,top} - C_{kazan} H_{arz}) / E_{arz} \quad (8.3)$$

$C_{yıl,top}$ = yıllığa indirgenmiş toplam sistem maliyeti [$/yıl]

C_{kazan} = kazan marjinal maliyeti [$/kWh]

H_{arz} = termik yük arzı[kWh/yıl]

E_{arz} = toplam elektrik arzı [kWh/yıl]

Denklemdeki payda yer alan ikinci terim, termik yük arzı sonucu oluşan yıllığa indirgenmiş maliyet oranıdır. Sistemlerde termik yük arzı yoksa ($H_{termal}=0$) bu değer sıfıra eşit olacaktır.

Denklemde yer alan yıllığa indirgenmiş toplam sistem maliyeti, toplam net şimdiki değer maliyetinin yıllığa indirgenmiş halidir. HOMER bu değeri aşağıdaki formülle hesaplar:

$$C_{yıl,top} = \text{CRF}(i, R_{proj}). C_{NPC,top} \quad (8.4)$$

$C_{NPC,top}$ = Toplam net şimdiki maliyet [$]

i = Yıllık gerçek faiz oranı [%]

R_{proj} = Projenin ömrü [yıl]

CRF() = anapara geri kazanım faktörü

CRF, yıl bazındaki gelir ve gider akış değerlerinin şimdiki değerini hesaplamada kullanılan oran olup HOMER bu değeri aşağıdaki formülle hesaplar:

$$CRF(i,N) = i(1 + i)^N / (1 + i)^N - 1 \quad (8.5)$$

denklemde:

i = reel (gerçek) faiz oranı

N = yıl sayısı'dır.

Proje ömrü, sistemin maliyetlerinin üstünde oluşma süresidir. HOMER, net mevcut maliyetlerden yıllık maliyetlerin hesaplanması için proje ömrünü kullanır. HOMER, kurtarmaya ilişkin değerlerin proje ömrünün sonunda olduğunu varsayar [78].

Tez çalışması kapsamında, tablolarda ortaya çıkan değerlerin nasıl elde edildiğine ilişkin, örnek olarak, örnek olarak, Balıkesir ilinde kurulacak yerli imalat teşvikli olan 3 Kw ve 5 Kw panelli fotovoltaik tasarımlar sonucu ortaya çıkan enerji birim maliyet değerlerinin incelenmesi aşağıda yapılmıştır. Aşağıda iki örnekte anlatılan yöntem, bu tez kapsamında yapılan bütün fotovoltaik, rüzgar türbini ve hibrit tasarımlar için aynı yöntemdir.

Yukarıda da bahsedildiği üzere, HOMER programı COE'yi hesaplamak için, yıllıklandırılmış toplam maliyetini AC yükün tükettiği enerji ve şebekeye satılan enerjinin toplam miktarına bölmektedir. Bir bileşenin yıllıklandırılmış(yıla indirgenmiş) maliyeti, projenin ömrünün her yılında eşit olarak gerçekleşmesi durumunda, o bileşene ilişkin gerçek nakit akışı dizilimi ile aynı net şimdiki maliyeti verecek maliyettir. Yıllıklandırılmış toplam maliyet ise, toplam net şimdiki maliyetin yıllıklandırılmış değeridir.

8.4.3.1. Çalışmada Elde Edilen Enerji Birim Maliyeti Değerlerinin Nasıl Elde Edildiğine İlişkin Örnek Enerji Birim Maliyeti Hesabı

Balıkesir ilinde kurulacak yerli imalat teşvikli olan ve 3 Kw panelli fotovoltaik tasarım için tasarımda kullanılan her bir bileşen için sermaye(ilk yatırım maliyeti), işletme, yer değiştirme, hurda, kaynak maliyet değerleri Çizelge 8.3'de verilmişti. Çizelge 8.11'de ise bu bileşenlerin yıllıklandırılmış toplam maliyetleri gösterilmiştir. Çizelge 8.12'te ise tasarım sonucunda tüketilen ve şebekeye satılan enerji miktarları bulunmaktadır.

Sunulan toplam elektrik yükü, yıl boyunca primer ve ertelenebilir yüklere ve ayrıca şebekeye satılan enerjinin miktarına yönelik toplam enerji miktarıdır. HOMER, aşağıdaki denklem kullanılarak sunulan toplam elektrik yükünü hesaplar:

$$E_{arz} = E_{arz,ACbir} + E_{arz,DCbir} + E_{arz,ert} + E_{şeb,satış} \tag{8.6}$$

$E_{arz,ACbir}$ = AC birincil yük [kWh/yıl]
$E_{arz,DCbir}$ = DC birincil yük [kWh/yıl]
$E_{arz,ert}$ = ertelenebilir yük [kWh/yıl]
$E_{şeb,satış}$ = şebekeye satılan enerji [kWh/yıl]

HOMER programı COE'yi hesaplamak için, yıllıklandırılmış toplam maliyeti AC yükün ile şebekeye satılan enerjinin toplam miktarına bölerek hesaplama yapmaktadır [78]. Tablolardan görüleceği üzere, tasarlanan sistemin yıllıklandırılmış toplam maliyeti 234,44 $, Çizelge 8.12'te görülen AC yük ve şebekeye satılan enerjinin

toplam 6.495 (kWh/yr) olduğu görülmektedir. 234,44 değeri 6.495 değerine bölündüğü zaman Şekil 8.15'te görülen 0.036 $ enerji birim maliyetini vermektedir.

Çizelge 8.11. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 3 kw'lık tasarım bileşenlerin yıllıklandırılmış toplam maliyetleri

İsim	Sermaye	İşletme	Yer değiştirme	Hurda	Toplam
Konvertör	83,18 $	60,00 $	0,00 $	0,00 $	143,18 $
Şebeke	0,00 $	-167,59 $	0,00 $	0,00 $	-167,59 $
PV	116,46 $	60,00 $	0,00 $	0,00 $	176,46 $
Batarya	43,26 $	0,00 $	39,13 $	0,00 $	82,39 $
Sistem	242,89 $	-47,59 $	39,13 $	0,00 $	234,44 $

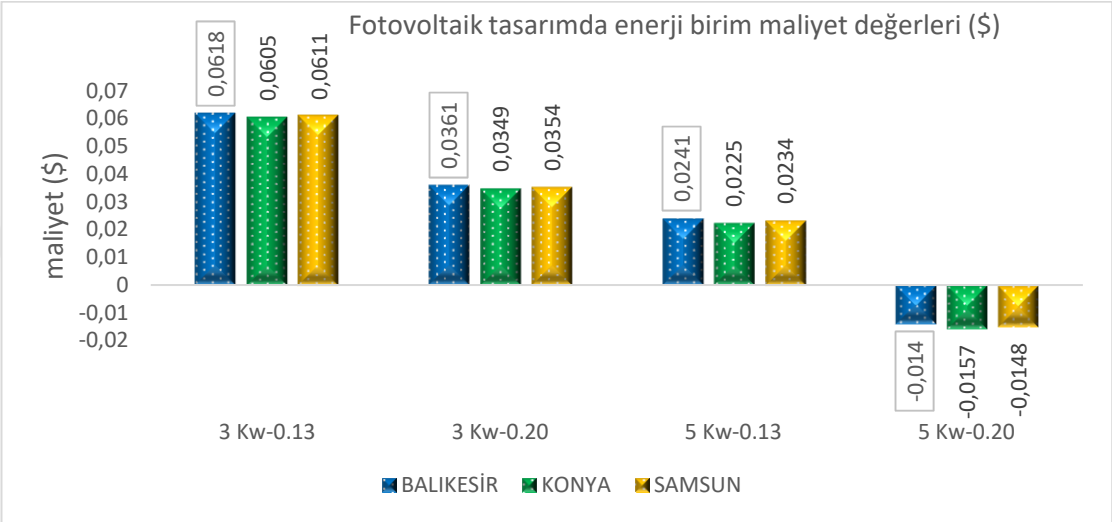
Çizelge 8.12. Balıkesir için yapılan yerli imalat teşvikli 3 kw'lık tasarıma ait tüketilen ve şebekeye satılan enerji miktarları

Bileşen	Tüketim (kWh/yr)	Oran
AC Yük	4.125	63,5
DC Yük	0	0
Şebekeye Satış	2.371	36,5
Toplam	6.495	100

8.4.3.2. Fotovoltaik Sistem Tasarımları

Üç il için yapılan fotovoltaik sistem tasarımlarında, her bir ilde yapılan tasarımların enerji birim maliyetleri incelenmiş, buna göre; 3 Kw PV panel bulunduran PV sistem tasarımında; bu maliyet değerlerinin üç ilde yaklaşık 0.061 $ ile aynı değerde olduğu görülmüştür. Aynı güçteki panel için teşvik uygulandığında ise, enerji birim maliyetlerinin yaklaşık %40 oranında azalarak 0.034-0.036 $ arasında seyrettiği görülmüştür.

PV panel olarak 5 Kw seçildiğinde ise, teşviksiz tasarımlarda 0,023 $ dolayında olan enerji birim maliyeti değeri teşvikli tasarımlarda -0,015 $ dolayındaki negatif değerlere ulaştığı görülmüştür. Ortaya çıkan negatif değerler yukarıda anlatıldığı üzere şebekeye fazla enerji satışından kaynaklanmakta olup sonuçlar Şekil 8.15.'de gösterilmiştir.

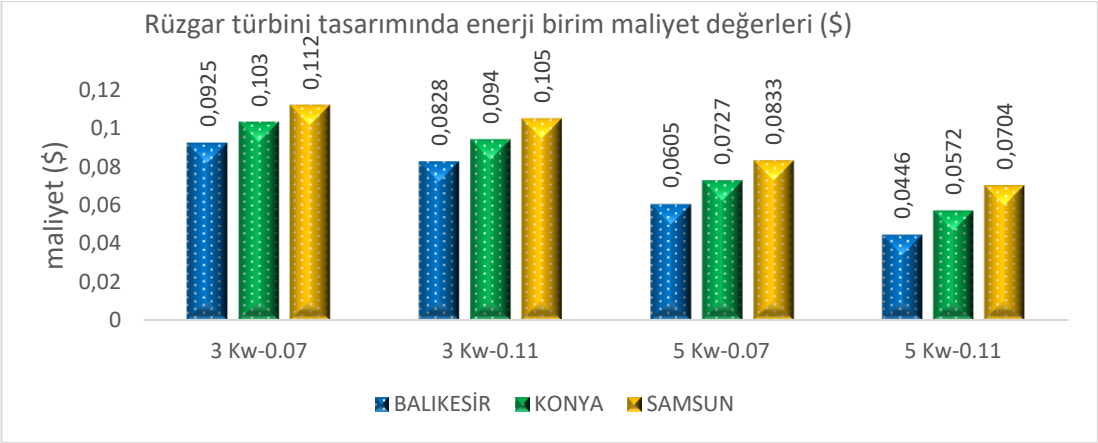


Şekil 8.15. Fotovoltaik tasarımda enerji birim maliyet değerleri

8.4.3.3. Rüzgar Türbini Sistem Tasarımları

Üç il için 3 Kw rüzgar türbini bulunduran rüzgar türbini sistem tasarımında; enerji birim maliyet değerlerinin teşviksiz tasarımlarda 0.09-0.11 $ dolayında, aynı türbin için teşvikli tasarımlarda 0.08-010 $ dolayında olduğu görülmüştür. Rüzgar türbini olarak 5 Kw seçildiğinde ise, enerji birim maliyet değerlerinin teşviksiz tasarımlarda 0.06-0.08 $, teşvikli tasarımlarda 0.04-0.07 $ dolayında olduğu görülmüştür.

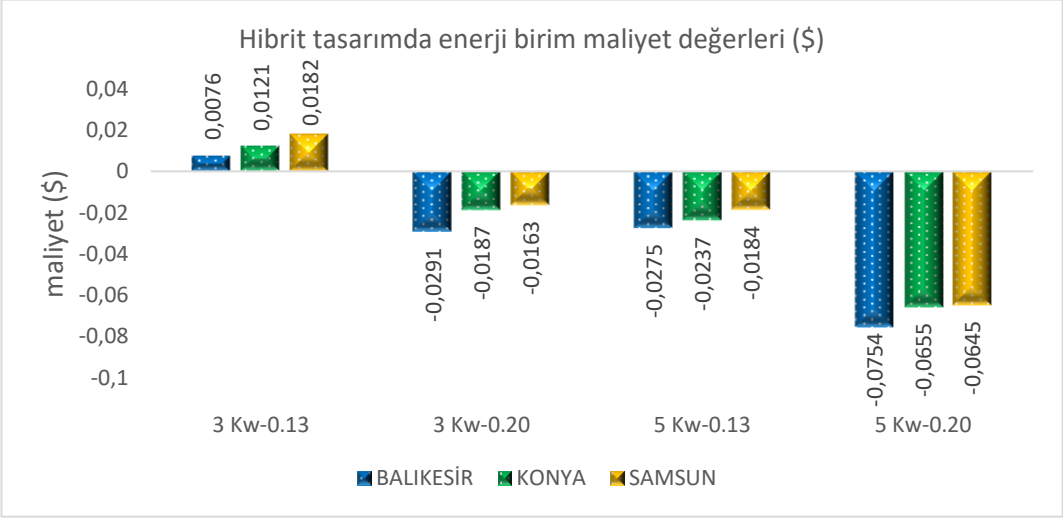
Hem 3 Kw'lık hem de 5 Kw'lık tasarımlarda, teşvikli tasarımlardaki enerji birim maliyet değerlerinin teşviksiz tasarımlara oranla yaklaşık % 10 azaldığı görülmüş olup sonuçlar Şekil 8.16.'da gösterilmiştir.



Şekil 8.16. Rüzgar türbini tasarımında enerji birim maliyet değerleri

8.4.3.4. Hibrit Sistem Tasarımları

Üç il için 3 Kw PV panel ve rüzgar türbini bulunduran hibrit sistem tasarımında; enerji birim maliyet değerlerinin teşviksiz tasarımlarda 0,0076 $ ile Balıkesir'de en düşük değere ulaştığı, aynı güçteki panel ve türbin için teşvikli tasarımlarda -0.0291 $ ile yine aynı ile ait olduğu görülmüştür. 5 Kw'lık hem teşvikli hem teşviksiz tasarımlarda en düşük enerji birim maliyet değerlerinin yine Balıkesir'e ait olduğu görülmüş ve sonuçlar Şekil 8.17.'de gösterilmiştir.



Şekil 8.17. Hibrit tasarımda enerji birim maliyet değerleri

8.4.4. Yatırım Getirisi Değerleri

Yatırımın ne kadar getiri sağladığını yani verimliliğini ve bu yatırımın sürdürülmesi gerekip gerekmediğini göstermektedir. Kısaca, kazanılan miktarın, yatırılan miktara oranıdır. HOMER programı, yatırım getirisi oranını aşağıda verilen formülle hesaplayarak bu getiriyi yüzde(%) olarak ifade etmektedir [78].

$$ROI = \frac{\sum_{i=0}^{\mathrm{R}proj} Ci,ref - Ci}{\mathrm{R}proj(Cyat - \mathrm{Cyat,ref})} \quad (8.7)$$

$C_{i,ref}$ = baz(referans) sistem için nominal yıllık nakit akışı $C_{i,ref}$ - C_i

Ci = mevcut sistem için nominal yıllık nakit akışı

Rproj = proje ömrü

Cyat = mevcut sistem yatırım maliyeti

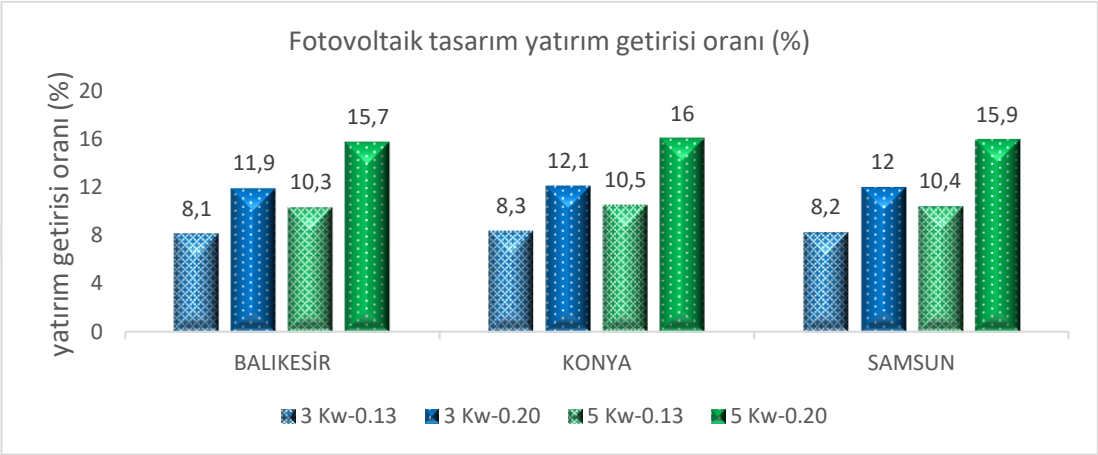
Cyat,ref = temel(baz/referans) sistem yatırım maliyeti

Yapılan bu çalışmada, her bir tasarım için, yatırımların ne kadar getiri sağladığını yani verimliliklerini göstermesi için yatırım getirileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında tasarlanan sistemler yine yerli imalat teşvikleri olup olmamasına göre hesaplanarak çıktılar alınmış ve çıktılar her bir tasarım için ayrı ayrı aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

8.4.4.1. Fotovoltaik Sistem Tasarımları

Şekil 8.18.'de gösterilen **s**onuçlar incelendiğinde; şebeke bağlantılı 3 Kw PV panel bulunduran fotovoltaik(PV) sistem için, yatırım getirisi oranının yerli imalat teşvikleri olmadığında iller bazında %8 bandında olduğu görülürken, bu oranın aynı güçteki panel için teşvik olduğunda ise %12 bandında olduğu görülmüştür. Bu oranlardan da anlaşılacağı üzere, 3 Kw PV panel tasarımlarında yerli imalat teşvikinin yatırım getirisi üzerinde oldukça etkili olduğu, artış oranının %50 civarında gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

PV panel olarak 5 Kw seçildiğinde ise, teşviksiz tasarımlarda yatırım getirisi oranının %10 civarında seyrettiği, aynı panel için teşvik uygulandığında bu oranın yaklaşık % 50 artarak %15-16 düzeyine çıktığı görülmüştür. Fotovoltaik(PV) sistem ile yapılan bütün tasarımlarda seçilen üç ile ait yatırım getirisi oranlarının yaklaşık aynı değerlerde olduğu görülmüştür.



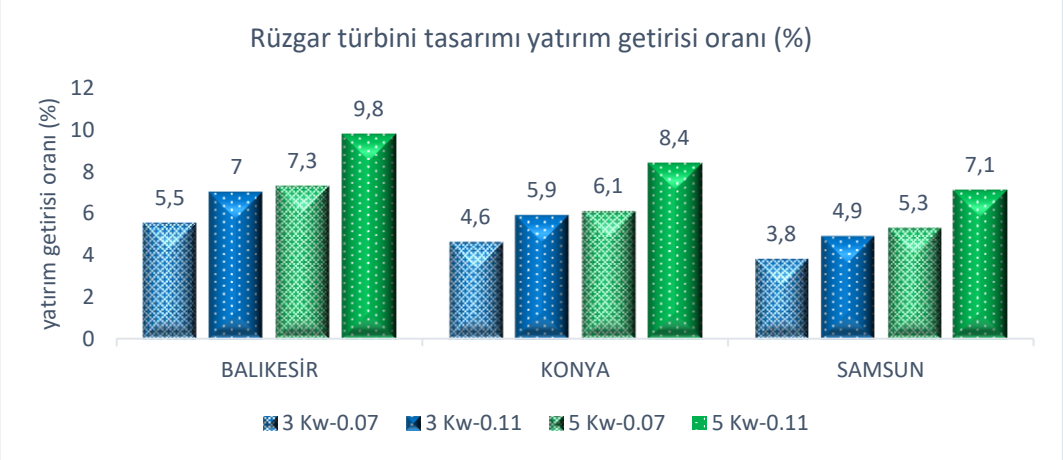
Şekil 8.18. Fotovoltaik tasarım yatırım getirisi değerleri

8.4.4.2. Rüzgar Türbini Sistem Tasarımları

Rüzgar türbini kullanarak yapılan tasarımlarda, farklı şebeke satış tarifeleri üzerinden yerli imalat teşviki olup olmamasına göre hesaplanan ve elde edilen yatırım getirisi oranı sonuçları Şekil 8.19.'da gösterilmiştir. 3 Kw rüzgar türbini bulunduran sistem tasarımında; şebeke satış tarifesinin 7.3 $ cent/kWsaat alındığı yani yerli imalat teşvikleri olmadığında, yatırım getirisi oranının Balıkesir'de % 5.5 ile en yüksek seviyeye ulaştığı görülmüştür. Aynı güçteki rüzgar türbini için yerli imalat teşviki uygulandığında ise, oranların artış göstererek yine en yüksek oranın Balıkesir'de % 7 ile elde edildiği görülmüştür.

Rüzgar türbinin 5 Kw seçildiği durumlarda ise, artan türbin gücüne paralel olarak yatırım getirisi oranların her ilde artış gösterdiği, yerli imalat teşviki olmadığında % 5-7 bandında seyrettiği, teşvik olduğunda bu oranın % 7-10 seviyelerine kadar çıktığı

görülmüştür. Bütün tasarımlarda en iyi oranların diğer illere göre daha fazla rüzgar potansiyeline sahip olan Balıkesir'e ait olduğu görülmüştür.

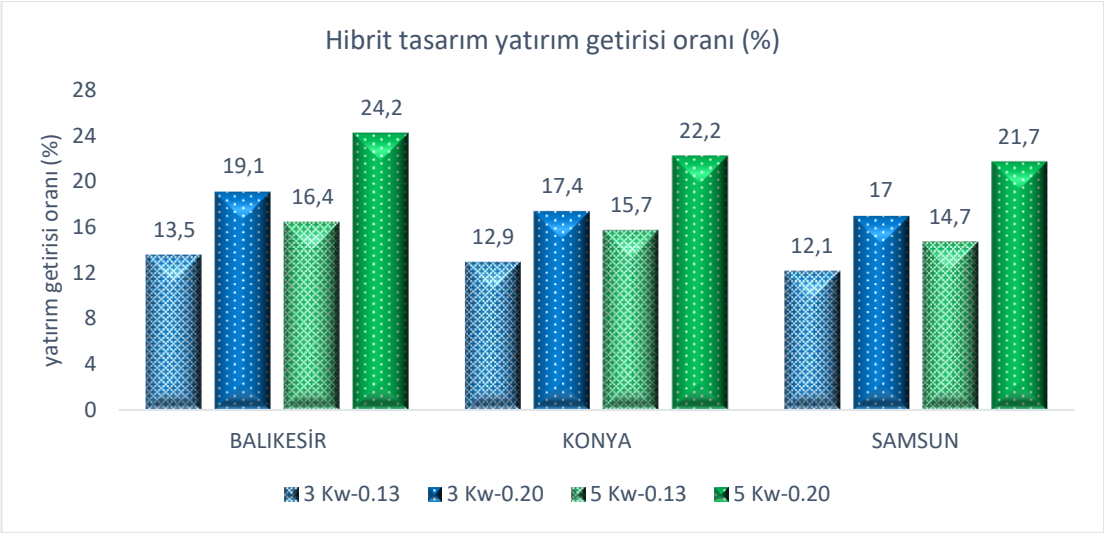


Şekil 8.19. Rüzgar türbini tasarımı yatırım getirisi değerleri

8.4.4.3. Hibrit Sistem Tasarımları

Hibrit sistemle yapılan tasarımlarda elde edilen sonuçların gösterildiği Şekil 8.20.'de görüleceği üzere, ortaya çıkan yatırım getirisi oranı sonuçları yalnız PV ve yalnız rüzgar türbini tasarımlarına göre oldukça yüksek çıkmaktadır. 3 Kw rüzgar türbini ve 3 Kw PV panel bulunduran sistem tasarımında; yerli imalat teşviki olmadığında, %10'u aşan yatırım getirisi oranı, aynı güçteki türbin ile panel kullanıldığında ve teşvik olduğunda yaklaşık %40 artışla % 19 seviyelerine kadar çıkmış, Balıkesir'de %19.1 ile en yüksek düzeye gelmiştir.

Rüzgar türbini ile PV panelin 5 Kw seçildiği tasarımlarda ise, yerli imalat teşviki olmadığında %14.7 ile % 16.4 arasında değişen yatırım getirisi oranları, teşvik olduğu anda % 20 bandını aşmış, yine Balıkesir'de %24.2'ye çıkarak en yüksek değere ulaşmıştır.



Şekil 8.20. Hibrit tasarım yatırım getirisi değerleri

Yatırım getirisi oranları üzerine yapılan bu çalışmalarda şu çıkarımlar yapılmıştır:

- Yalnız fotovoltaik(PV) sistem tasarımlarında; her bölgedeki iller için PV panel kapasitesi arttıkça sistemlerin yatırım getirisi oranlarının arttığı, aynı güçteki tasarımlarda yerli imalat teşviki kapsamındaki oranların teşviksiz oranlara göre daha fazla olduğu, her il için farklı güç ve tarifelerde edilen oranların birbirlerine yakın değerler olduğu,

- Yalnız rüzgar türbini sistem tasarımlarında; PV panel tasarımlara göre yatırım getirisi oranlarının daha düşük seviyelerde seyrettiği, en iyi oranların rüzgar potansiyelinin fazla olduğu Balıkesir elde edildiği

- Hibrit sistem tasarımlarında, edilen enerjinin şebekeye satış oranlarının diğer sistemlere göre fazla olmasından dolayı yatırım getirisi oranlarının da oldukça yüksek çıktığı görülmüştür.

- Çalışmada ortaya çıkan sonuçlara göre; yatırımlarda yerli imalat teşvikleri olduğunda yatırım getirisi oranlarının daha yüksek olduğunu, yani, teşvik arttıkça yatırımdan kazanılan miktarın da arttığını göstermektedir

8.4.5. İç Verim Oranı Değerleri

Yatırımın hedeflenen karlılık oranı yatırım iç verim oranından küçük ise yatırım kararı alınmaz, büyükse yatırım kararı alınır ve yatırım tercihlerinde iç verim oranı fazla olan projeler seçilir [15].

HOMER programı, yatırım getirisi oranını aşağıda verilen formülle hesaplayarak bu getiriyi yüzde(%) olarak ifade etmektedir.

$$\sum_{t=0}^{T} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0 \tag{8.8}$$

T : projenin ekonomik ömrü

CF : Projeden elde edilecek yıllık net nakit akışı

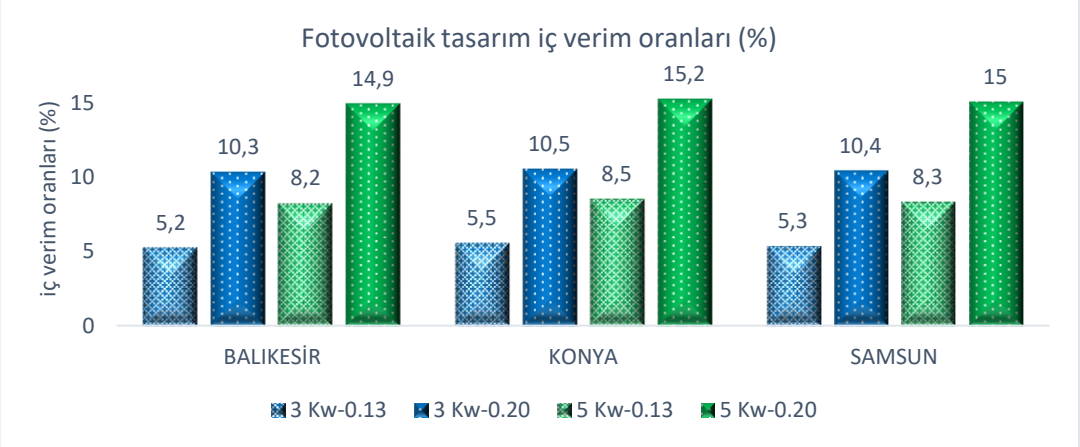
IRR : İç verim oranı

HOMER programı, yatırım getirisi oranlarının %5'in altında olduğu değerler için sabit bir IRR değeri üretmemekte olup bu değere "n/a" değeri atamaktadır [78]. Belirtilen bu "n/a" değeri, literatürde ilgili değerin hesaplanmaya değer görülemeyecek kadar değersiz olduğunu ifade etmektedir. Aşağıdaki tablolarda görülen "0" değerleri aslında birer "n/a" değerleri olup, grafikte bu "n/a" değeri atanamadığı için yerine "0" değeri atanmıştır.

8.4.5.1. Fotovoltaik Sistem Tasarımları

Şekil 8.21.'de gösterilen sonuçlar incelendiğinde; şebeke bağlantılı 3 Kw PV panel bulunduran fotovoltaik(PV) sistem için, iç verim oranının yerli imalat teşvikleri olmadığında iller bazında %5 bandında olduğu görülürken, bu oranın aynı güçteki panel için teşvik olduğunda bütün illerde ise %10 bandını aştığı görülmüştür. Bu oranlardan da anlaşılacağı üzere, 3 Kw PV panel tasarımlarında yerli imalat teşvikinin yatırım getirisi üzerinde oldukça etkili olduğu, bütün illerde ise %100 civarında olduğu gözlemlenmiştir.

PV panel olarak 5 Kw seçildiğinde ise, yerli imalat teşvikleri olmadığında, bütün illerde %8 civarında olan iç verim oranının aynı panel için teşvik uygulandığında yaklaşık % 90 artarak %15 düzeyine çıktığı görülmüştür. Fotovoltaik(PV) sistem ile yapılan bütün tasarımlarda seçilen üç il için iç verim oranlarının yaklaşık aynı değerlerde olduğu görülmüştür.

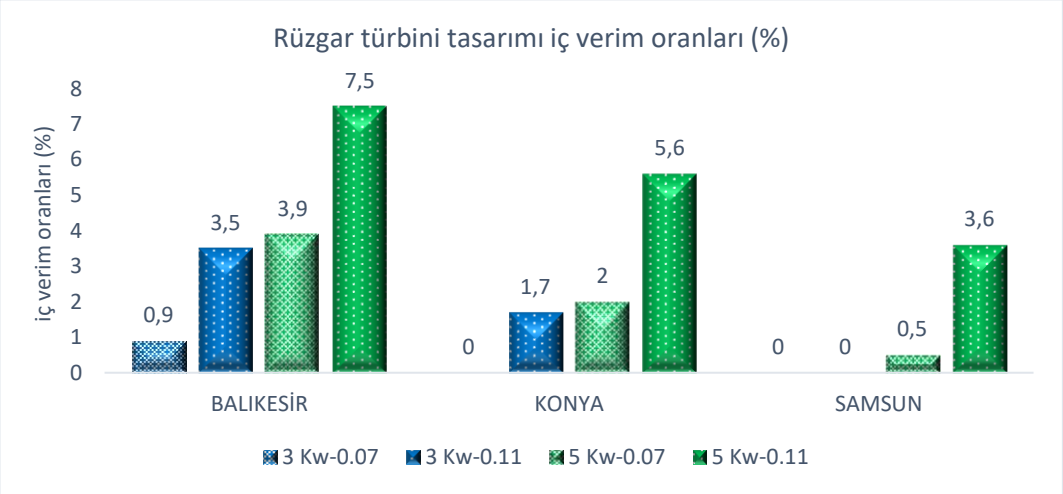


Şekil 8.21. Fotovoltaik tasarım iç verim oranları

8.4.5.2.Rüzgar Türbini Sistem Tasarımları

Rüzgar türbini kullanarak yapılan tasarımlarda, farklı şebeke satış tarifeleri üzerinden yerli imalat teşviki olup olmamasına göre hesaplanan ve elde edilen iç verim oranı sonuçları Şekil 8.22'de gösterilmiştir. 3 Kw rüzgar türbini bulunduran sistem tasarımında; şebeke satış tarifesinin 7.3 $ cent/kWsaat alındığı yani yerli imalat teşvikleri olmadığında, HOMER programı Balıkesir haricindeki iller için herhangi bir sonuç üretmemiş olup bu nedeni yukarıda açıklanmıştır. Yerli imalat teşvikinin olduğu 3 Kw'lık tasarımlarda iç verim oranlarının Balıkesir'de % 3.5 seviyelerine çıktığı, Konya'da %1.7 olarak gerçekleştiği, Samsun için ise yine sonuç üretilemediği görülmüştür.

Rüzgar türbinin 5 Kw seçildiği durumlarda ise, artan türbin gücüne paralel olarak iç verim oranların her ilde artış gösterdiği, teşviksiz ve teşvikli tasarımlarda Balıkesir'in diğer illere göre yüksek değerlerin ortaya çıktığı görülmüş, bunun sebebi de yine Balıkesir'in rüzgar potansiyelinin diğer illere göre daha yüksek olmasıdır.

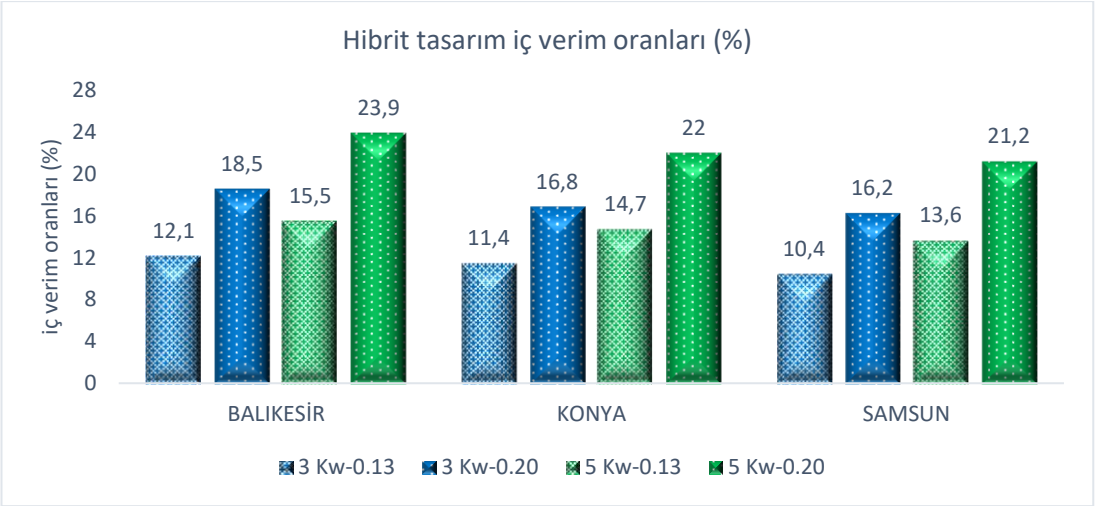


Şekil 8.22. Rüzgar türbini tasarımı iç verim oranları

8.4.5.3. Hibrit Sistem Tasarımları

Hibrit sistemle yapılan tasarımlarda elde edilen sonuçların gösterildiği Şekil 8.23'de görüleceği üzere, ortaya çıkan iç verim oranı sonuçları yalnız PV ve yalnız rüzgar türbini tasarımlarına göre oldukça yüksek çıkmaktadır. 3 Kw rüzgar türbini ve 3 Kw PV panel bulunduran sistem tasarımında; yerli imalat teşviki olmadığında, seçilen illerde %10'u aşan iç verim oranı, aynı güçteki türbin ile panel kullanıldığında ve teşvik olduğunda yaklaşık %50 artışla % 18 seviyelerine kadar çıkmış, Balıkesir'de %18.5 ile en yüksek düzeye gelmiştir.

Rüzgar türbini ile PV panelin 5 Kw seçildiği tasarımlarda ise, yerli imalat teşviki olmadığında %13.6 ile % 15.5 arasında değişen iç verim oranları, teşvik olduğu anda % 21-23 bandına çıkmış, Balıkesir'de % 23.9'a çıkarak en yüksek değere ulaşmıştır.



Şekil 8.23. Hibrit tasarım iç verim oranları

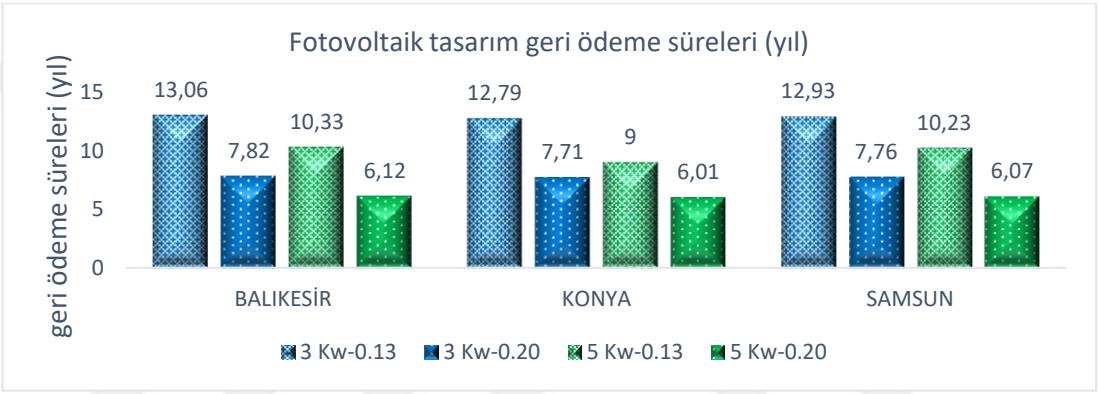
8.4.6. Geri Ödeme Süresi Değerleri

Baz(referans) sistemle mevcut sistem arasındaki kümülatif nakit akışı farkındaki yılların sayısıdır. Geri ödeme süresi, baz(referans) sistemle mevcut sistem arasındaki yatırım maliyeti farkının ne kadar sürede kurtarılacağının belirtisidir. HOMER programı, geri ödeme süresini bir sistemle başka bir sistemi kıyaslayarak bulur [78]. Öncelikle yatırım için para harcanır, sonra yatırımdan gelir edilir, geri ödeme süresi ise ilk yatırım değerine eşit olan toplam gelire denk yılların sayısıdır.

8.4.6.1.Fotovoltaik Sistem Tasarımları

3 Kw PV panel bulunduran PV sistem tasarımında; referans sistem olarak alınan şebeke bağlantısı ile yerli imalat teşvikleri olmadan şebeke bağlantılı fotovoltaik(PV) sistemin geri ödeme sürelerinin, üç il arasında en küçük 12,79 yıl ile Konya'da en büyük değerin ise 13,06 ile Balıkesir'de elde edildiği görülmektedir. Aynı güçteki panel için teşvik olduğunda, belirtilen sürenin yaklaşık % 40 oranında azalarak % 7.7 seviyelerine indiği gözlemlenmiştir.

PV panel olarak 5 Kw seçildiğinde ise, yerli imalat teşvikleri olmadığında, bütün iller için 9 ila 10.4 yıl arasında değişsen geri ödeme sürelerinin aynı panel için teşvik uygulandığında Konya için yaklaşık % 33 azalarak 9 yıldan 6.01 yıla, diğer illerde ise yaklaşık % 40 azalarak 10'lu yıllardan 6'lı yıllara düştüğü görülmüştür. Fotovoltaik sistem ile yapılan bütün tasarımlarda seçilen illere ait geri ödeme sürelerinin yaklaşık aynı değerlerde olduğu, süre farkları az olsa da en iyi değerlerin diğer illere göre daha fazla güneş potansiyeline sahip olan Konya'da elde edildiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar Şekil 8.24.'te gösterilmiştir.



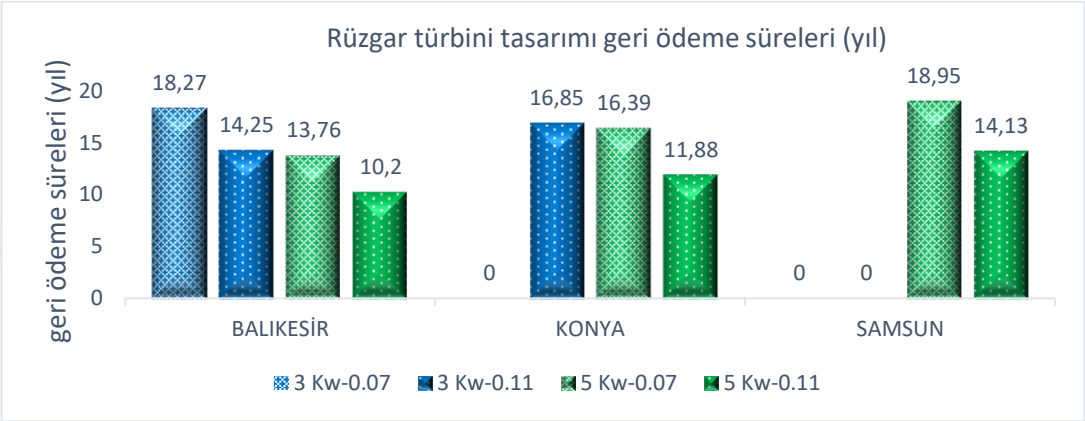
Şekil 8.24. Fotovoltaik tasarım geri ödeme süreleri

8.4.6.2.Rüzgar Türbini Sistem Tasarımları

3 Kw rüzgar türbini kullanarak yapılan tasarımlarda; şebeke satış tarifesinin 7.3 $ cent/kWsaat alındığı yani yerli imalat teşvikleri olmadığında, HOMER programı 8.5.5 bölümünde de bahsedildiği üzere yatırım getirisi oranı % 5'ten düşük olduğu durumlarda Balıkesir haricindeki iller için herhangi bir sonuç üretmemiştir. Yerli imalat teşvikinin olduğu 3 Kw'lık tasarımlarda, Samsun için yine sonuç üretilememiş, Balıkesir ve Konya illerinde geri ödeme sürelerinin 14-16 yıl olarak gerçekleştiği örülmüştür.

Rüzgar türbinin 5 Kw seçildiği durumlarda ise, artan türbin gücüne paralel olarak Balıkesir ve Konya illerinde geri ödeme sürelerinin azaldığı, 3 Kw'lık tasarımda diğer

iller için üretilemeyen sonuçların bu tasarımda üretilebildiği görülmüştür. Aynı güçteki türbin için teşvik olduğunda, belirtilen sürenin seçilen illerde yaklaşık % 25-30 oranında azalarak Balıkesir'de 10.2, Konya'da, 11.8 yıla indiği, Samsun'da ise 18.9 yıl olarak gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 8.25.'te gösterilmiştir.

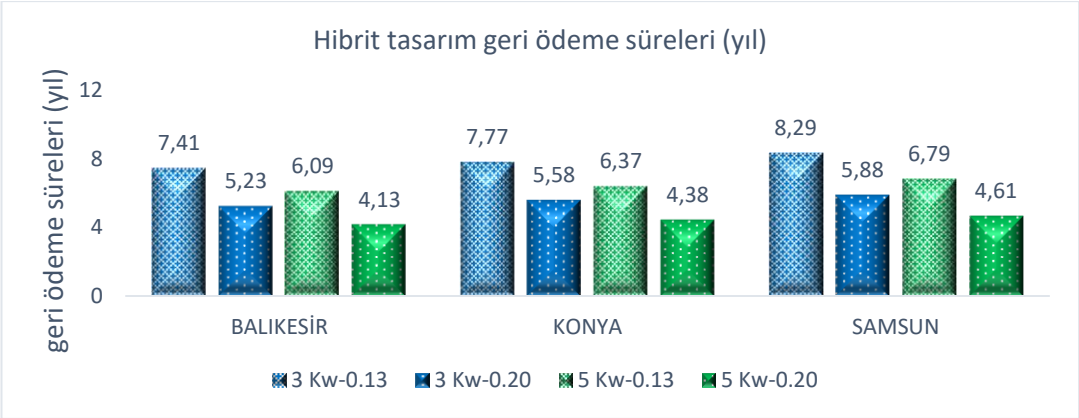


Şekil 8.25. Rüzgar türbini tasarım geri ödeme süreleri

8.4.6.3. Hibrit Sistem Tasarımları

Hibrit sistemle yapılan tasarımlarda elde edilen sonuçların gösterildiği Şekil 8.26'da görüleceği üzere, ortaya çıkan geri ödeme süreleri sonuçları yalnız PV ve yalnız rüzgar türbini tasarımlarına göre düşük çıkmaktadır. 3 Kw rüzgar türbini ve 3 Kw PV panel bulunduran sistem tasarımında; yerli imalat teşviki olmadığında, seçilen illerde 7-8 yıl bandında olan geri ödeme süreleri, aynı güçteki türbin ile panel kullanıldığında ve teşvik olduğunda yaklaşık %30 azalışla 5.2-5.8 yıl seviyelerine kadar inmiştir.

Rüzgar türbini ile PV panelin 5 Kw seçildiği tasarımlarda ise, yerli imalat teşviki olmadığında 6 yıl civarında olan geri ödeme süreleri, teşvik olduğu 4,1 ile 4,6 yıl arasına düşmüştür.



Şekil 8.26. Hibrit tasarım geri ödeme süreleri

Geri ödeme süreleri üzerine yapılan bu çalışmalarda şu çıkarımlar yapılmıştır:

- Yalnız Fotovoltaik(PV) sistem tasarımlarında; her bölgedeki iller için PV panel kapasitesi arttıkça sistemlerin geri ödeme sürelerinin azaldığı, aynı güçteki tasarımlarda yerli imalat teşviki olan sürelerin teşviksiz sürelere göre daha az olduğu, her il için farklı güç ve tarifelerde edilen değerlerin birbirlerine yakın değerler olduğu,

- Yalnız rüzgar türbini sistem tasarımlarında; PV panel tasarımlara göre geri ödeme sürelerinin daha yüksek seviyelerde seyrettiği, rüzgar türbini kapasitesi arttıkça bu sürelerin de azaldığı, yerli imalat teşviki arttıkça geri ödeme sürelerin de azaldığı,

- Hibrit sistem tasarımlarında, bütün iller için yapılan her tasarımda geri ödeme sürelerinin 10 yılın altına indiği, yalnız PV panel ve rüzgar türbini tasarımlarına göre daha düşük olan geri ödeme sürelerinin bu iki bileşenin kapasitesi ve teşvik arttıkça belirtilen sürenin 5 yılın altına inebileceği,

- Elde edilen enerjinin şebekeye satış oranlarının diğer sistemlere göre fazla olmasından dolayı şimdiki değerlerin oldukça yüksek çıktığı görülmüştür.

- Çalışmada ortaya çıkan süreler; yatırımlarda, bir yatırımı kurtarmanın ne kadar süreceğini ifade ettiğinden, yatırımlarda yerli imalat teşvikleri olduğunda geri ödeme sürelerinin daha kısa süreli olduğunu, yani, teşvik arttıkça yatırım geri ödeme süresinin de azaldığını göstermektedir.

9. SONUÇLAR

Bu çalışmada, HOMER programı kullanarak, Türkiye'deki farklı bölgeden üç il seçilmiş, her ildeki aynı yükteki bir evin elektrik ihtiyacının fotovoltaik, rüzgar ve hibrit sistemlerle karşılanabilmesinin elektriksel ve ekonomik analizleri yapılmıştır. Şebeke bağlantılı fotovoltaik, rüzgar türbini ve hibrit sistemler tasarlanarak farklı senaryolar oluşturulmuş, tasarlanan sistemlerin her biri yerli imalat teşviği olup olmadıklarına göre ele alınmıştır.

Fotovoltaik tasarımlarda, seçilen üç il arasında, elektrik enerjisinin üretim, şebekeden alınan ve şebekeye satılan enerji miktarına dayalı en iyi değerlerin güneş enerjisi potansiyeli diğer iki ilden daha fazla olan Konya'da elde edildiği görülmüştür. Rüzgar türbini tasarımlarında Balıkesir'deki rüzgar potansiyelinin seçilen diğer iki ile oranla fazla olmasından belirtilen değerlerin bu ilde daha fazla olduğu görülmüştür. Hibrit tasarımlarda ise rüzgar türbini ile üretilen enerji miktarının aynı tasarımdaki fotovoltaik panelden üretilen enerji miktarına oranla fazla olmasından dolayı üretim-tüketim ve alınan-satılan enerji değerlerinin yine Balıkesir'de diğer illere göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Karbondioksit emisyon değerleri incelendiğinde fotovoltaik tasarımlarda en iyi değerlerin güneş potansiyelinin fazla olduğu Konya'da, hem rüzgar türbini tasarımları hem de hibrit tasarımlarda ise Balıkesir'de elde edildiği görülmüştür.

Çalışma kapsamında, en önemli ekonomik göstergelerinden olan net şimdiki maliyet değerleri incelendiğinde, yerli imalat teşviki olduğunda bu değerlerin teşvik olmayan sistemlere göre kayda değer şekilde azaldığı görülmüştür. Tasarımlara ait enerji birim maliyetlerinin de benzer şekilde, teşvikli sistemlerde daha düşük olduğu görülmüştür. Yatırım getirileri incelendiğinde; yatırımlarda yerli imalat teşvikleri olduğunda yatırım getirisi oranlarının daha yüksek olduğu, yani, teşvik arttıkça yatırımdan kazanılan miktarın da arttığını görülmüştür.

İç karlılık oranları incelendiğinde, ortaya çıkan oranlar; yatırımlarda yerli imalat teşvikleri olduğunda iç karlılık oranlarının daha yüksek olduğunu, yani, teşvik arttıkça yatırım katma değerlerinin de arttığını görülmüştür.

Geri ödeme süreleri incelendiğinde, çalışmada ortaya çıkan süreler; yatırımlarda yerli imalat teşvikleri olduğunda geri ödeme sürelerinin daha kısa süreli olduğunu, yani, teşvik arttıkça yatırım geri ödeme süresinin de azaldığını göstermiştir.

Devlet tarafından sağlanan satış tarifesi üzerindeki teşvikler artırıldığında veya teşvik süresi uzadığında, yenilenebilir enerji kaynakları için yapılan yatırımlar artacak, etkin, karlı ve sürdürülebilir bir yatırım da dışa bağımlılığı azaltacaktır. Yatırım getirisinin fotovoltaik ve rüzgar türbini sistemlere göre daha yüksek, geri ödeme süresinin de daha kısa süreli olduğu hibrit enerji sistemlerinin kullanılmasının yaygınlaştırılması gerektiği soncuna varılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları için yapılan yatırımlarda, kurulan sistemler için devlet tarafından verilen yerli imalat teşviklerinin miktarlarının artırılması veya teşvik sürelerinin uzatılması, hem yatırımın karlılığını artıracak hem de yerli üreticilerin artmasına dolayısıyla ülkede kaliteli malzeme üretimi için etkin bir rekabet ortamına yol açacaktır. Yerli imalat teşvikleri, ayrıca, bu alanda nitelikli personellerin çalıştırılmasıyla ülke istihdamına da katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Renewable Energy Policy Network For The 21st Century, Renewables Global Futures Report:Great debates towards 100% renewable energy, REN21 Secretariat, Paris, 2017

[2] H.Özcan, Bir Hibrid Enerji Sisteminin Modellenmesi Ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.

[3] Demirören, A., Analysis of change in electric energy cost with using renewable energy sources in Gökceada, Turkey: An island example, Renewable and Sustainable Energy Reviews , 14, 323–333, 2010

[4] B. Başaran, Rüzgar Enerjisi Santrali Esentepe Yerleşkesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2010.

[5] Mondal, Md.A.H., Islam, A.K.M.S, Potential and viability of grid-connected solar Pv-system in Bangladesh. Renewable Energy 36 (6), 1869-1874, 2011.

[6] Bekele, G., Tadesse, G., Feasibility study of small Hydro/PV/Wind hybrid system for off-grid rural electrification in Ethiopia. Applied Energy 97, 5-15, 2012.

[7] Güler, Feasibility analysis of medium-sized hotel's electrical energy consumption withhybrid systems, Sustainable Cities and Society, 9, 15-22, 2013.

[8] Rohani, G., Nour, M., Techno-economical analysis of stand-alone hybrid renewable power system for Ras Musherib in United Arab Emirates, Energy, 64, 828-841, 2014.

[9] Y. Arıkan, Yenilenebilir Enerji Sistem Yatırımlarında Enerji Potansiyeli Ve Ekonomik Analiz Tabanlı Yazılım Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2014

[10] Kalıncı, Y., Alternative energy scenarios for Bozcaada island, Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews , 45, 468-480, 2015.

[11] Ö. Kıymaz, Rüzgar Santrallerinin Melez Elektrik Sistemine Entegrasyonu Ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Başkent Üniversitesi, Ankara, 2015

[12] A. Özkök, Türkiye'nin Yedi Coğrafi Bölgesinde Evsel Elektrik İhtiyacının Çatı Üstü Fotovoltaik Sistemler İle Karşılanmasının Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İstanbul, 2015.

[13] Anonim, http://eusolar.ege.edu.tr/yenilenebilir_enerji_kaynaklari.html (Erişim tarihi: 20.01.2017)

[14] Ünalan, S., Alternatif Enerji Kaynakları (Ders Notları). https://staff.emu.edu.tr/mustafailkan/tr/Documents/elet319/Okuma%20materyalleri/materyal3.pdf (Erişim tarihi: 16.03.2017)

[15] ABD Enerji Bilgi İdaresi (EIA), International Energy Outlook 2011, Washington, 2011

[16] Yaman, Y., Enerji Tasarrufu ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları. Birsen Yayınevi, İstanbul, 2007

[17] Çalışkan, M., Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Mevcut Yatırımlar, İstanbul, 2011

[18] Dinçer, M.Z., Aslan, Ö., Sürdürülebilir Kalkınma, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Hidrojen Enerjisi: Türkiye Değerlendirmesi, İstanbul Ticaret Odası,2008

[19] Ankara'da Yenilenebilir Enerji Konusunda Kümelenme Analizi. Ankara Sanayi Odası, 83-84, Ankara, 2011

[20] S. Akkaya, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi ve Bir Rüzgar Enerjisi Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, 2007

[21] Türkiye Bilim Araştırma Vakfı, Türkiye' nin Enerji Geleceği. 1(2), 36-44, 2008

[22] Özdamar., A., Dünya Ve Türkiye'de Rüzgar Enerjisinden Yararlanılması Üzerine Bir Araştırma, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 6 (2-3) 133-145, 2000

[23] T.C.M.E.B. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ve Önemi, Ankara, 2012

[24] Anonim, https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/sss/beaufort.pdf (Erişim tarihi: 20.03.2017)

[25] Anonim, http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar (Erişim tarihi: 28.03.2017)

[26] S. Uçar, Rüzgar Enerjisiyle Elektrik Üretimi ve Kayseri İli İçin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2007

[27] Patel, M. R., Wind and Solar Power Systems Design, Analysis, and Operation Second Edition. 25-26. U.S.A CRC Press, Washington, 2006

[28] Niyazi CELAYİR, Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki Gelişimi Ve Türkiye' Deki Potansiyeli. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008

[29] M.T. Kazıcı, Rüzgar Enerjisi Ve Türbin Seçiminin Maliyete Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. İ.T.Ü, İstanbul, 2009

[30] Bayraç, H.N., Küresel Rüzgar Enerjisi Politikaları Ve Uygulamaları, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 30 (1), 37-57, 2011

[31] E. Şipar, Rüzgar Enerjisi Türbin Sistemleri İçin Gerçek Zamanlı Dinamik Analiz Simülatörü Gercekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Y.T.Ü, İstanbul, 2011.

[32] Ş. Canpolat, Rüzgar Enerjisi Ve Isparta Şartlarında Prototip Bir Rüzgar Türbini Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2013

[33] Anonim, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx (Erişim tarihi: 07.04.2017)

[34] Nurbay, N., Çınar, A., Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması. http://www.emo.org.tr/ekler/4986d86 a17424ee_ek.pdf (Erişim tarihi: 10.04.2017)

[35] C. Civelek, Bulanık PID Kontrolör ile Rüzgâr Türbininin Hatve Açısının Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2013.

[36] Elibüyük, U. ve Üçgül, İ., Rüzgar Türbinleri, Çeşitleri ve Rüzgar Enerjisi Depolama Yöntemleri, Süleyman Demirel Üniversitesi , Yekarum e-Dergi, Yıl 2(3) , Isparta, 2014

[37] Anonim, http://www.green-mechanic.com/2013/03/classification-of-wind-turbine.html (Erişim tarihi: 21.04.2017)

[38] G. Köse, Hibrit (Güneş +Rüzgar) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi: Kütahya Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 2010.

[39] K. Tekin, Rüzgar Santrali İçeren Elektrik Sistemlerinde Etkilenmeler ve Kısa-Devre İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006.

[40] Global Wind Energy Council, Global Wınd Statıstıcs 2016, Brussels, Belgium, 2017

[41] 2016 yılı faaliyet raporu, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, 2016

[42] Türkiye rüzgar potansiyeli (REPA) T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, 2017

[43] A.T. Sözer, Karabük Üniversitesi Güneş Enerjisi Ölçüm Laboratuarı İçin Veri Edinim Ve Depolama Sistem Tasarımı Ve Kullanıma Geçirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi, Karabük, 2012.

[44] C. Suda, 25,6 kWp Gücündeki Şebekeye Bağlı Binaya Entegre Fotovoltaik Güç Sisteminin Üç Yıllık Performansının Parametrelere Göre Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Muğla Üniversitesi, Muğla, 2007.

[45] Anonim, http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx (Erişim tarihi: 03.05.2017)

[46] Anonim, https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/f50893f80d6830d_ek.pdf (Erişim tarihi: 11.05.2017)

[47] M.A. Batman, Elektrik üretimi için güneş pillerinin kullanımında verimi artırıcı yeni bir yöntem. İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora tezi, İstanbul, 2001.

[48] Kapluhan, E., Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Güneş Enerjisinin Dünya'daki Ve Türkiye'deki Kullanım Durumu, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi, 70-98, İstanbul, 2014

[49] S. Karataş, Türkiye' de Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçerisinde Rüzgar ve Güneş Enerjilerinin Yeri. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2009.

[50] Anonim, http://web.iyte.edu.tr/egetek/pages/links/energy/solarIzmir.html (Erişim tarihi: 19.05.2017)

[51] Anonim, http://www.enerjibes.com/gunes-enerjisinin-avantajlari-dezavantajlari-nelerdir/ (Erişim tarihi: 28.05.2017)

[52] A. Ablabekova, İktisadi Etkinlik Açısından Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Fosil Yakıtlar İle Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2009.

[53] K.T., Muhtaroğlu, Güneş Enerjisini Elektrik Enerjisine Çeviren Çevre Dostu Sistemin Tasarlanması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2012.

[54] Yerebakan, M. , Güneş kolektörü uygulamaları. İstanbul Ticaret Odası Yayınları, İstanbul, 2010

[55] Anonim, http://www.yegem.com/bilgidetay/1116/fotovoltaik-nedir (Erişim tarihi: 08.06.2017)

[56] Anonim, http://www.robotiksistem.com/gunes_pilleri_nedir.html (Erişim tarihi: 08.06.2017)

[57] Y. Seyis, Güneş Enerjisi İle Beslenebilen Kesintisiz Güç Kaynağı Tasarımı Ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. Düzce Üniversitesi, Düzce, 2014

[58] Özçalık H.R., Yılmaz Ş., Kılıç E., Güneş Pilinin Bir Diyotlu Eşdeğer Devre Yardımıyla Matematiksel Modelinin Çıkartılması ve Parametrelerinin

İncelenmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(1), 23-24, 2013

[59] Altaş, İ.H., Fotovoltaj Güneş Pilleri: Eşdeğer Devre Modelleri ve Günışığı ile Sıcaklığın Etkileri, Elektromekanik-3e, SSayı 46, s.86-91, Bilesim yayıncılık A.Ş., İstanbul, 1998

[60] Anonim, http://www.konerji.com/gunes_enerjisi_ile_elektrik.asp (Erişim tarihi: 14.06.2017)

[61] BP Statistical Review of World Energy June 2016, 65th edition, Pureprint Group Limited, p 38, London, 2016

[62] Gündergi, Matus Basımevi Reklam ve Yay. Tic. Ltd. Şti., 3(9), 12, Ankara, 2016.

[63] Anonim, http://molekulerbiyolojivegenetik.org/turkiyenin-temiz-enerji-devrimi (Erişim tarihi: 01.07.2017)

[64] Anonim, http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes (Erişim tarihi: 21.07.2017)

[65] Çakmak Ç., Kurban M., Dokur E., Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Ekonomik Analizi, VI. Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi Bildirileri, Sakarya, 2015

[66] Anonim, http://www.ksrenergy.com/hibrid.asp (Erişim tarihi: 16.07.2017)

[67] Yanıktepe B., Özalp C., Savrun M. M., Köroğlu T., Cebeci Ç., Rüzgar-Güneş Hibrid Güç Sistemi Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Uygulama Örneği, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 89-94, Elazığ,2011

[68] C. Karaca, Güneş Ve Rüzgar Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi Sistemi Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Konya, 2012.

[69] Acar S., Kitson L., Bridle R. Türkiye'de Kömür ve Yenilenebilir Enerji Teşvikleri, International Institute for Sustainable Development, 8-9, 2015

[70] T.C. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı – Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2013

[71] U. Berkmen, Avrupa Birliği'nde Rüzgar Enerjisi Politikaları Ve Türkiye Karşılaştırması. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, İzmir, 2015.

[72] Anonim, www. ensiatr.com.tr. (Erişim tarihi: 11.02.2017)

[73] https://www.homerenergy.com (Erişim tarihi: 18.08.2017)

[74] D. Ayhan, Bina Montajlı Güneş-Rüzgar Hibrid Elektrik Güç Sistemlerinin Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2011.

[75] 6094 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun, Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı – Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2010

[76] T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları ,http://www.epdk.org.tr/TR/Dokumanlar/TDB/Elektrik (Erişim tarihi: 02.01.2017)

[77] T.C. Merkez Bankası, http://www.tcmb.gov.tr (Erişim tarihi: 02.01.2017)

[78] HOMER Pro Version 3.7,User Manual, Boulder, 2016

[79] Anonim, http://energyworld.com.tr (Erişim tarihi: 16.12.2017)

[80] Anonim, https://www.emissionfactors.com/factor/178122/ (Erişim tarihi: 16.12.2017)

[81] Türkiye İstatistik Kurumu, http://www.tuik.gov.tr (Erişim tarihi: 02.01.2017)

EKLER

EK-1 İLLERİN ALINAN-SATILAN ENERJİ DEĞERLERİ

BALIKESİR FOTOVOLTAİK TASARIM

Fotovoltaik 3 Kw-0.13/0.20				Fotovoltaik 5 Kw-0.13/0.20			
Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)	Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)
Ocak	249	132	117	Ocak	237	273	-36,4
Şubat	199	136	63,4	Şubat	187	287	-99,8
Mart	210	199	10,6	Mart	195	417	-222
Nisan	190	215	-25,4	Nisan	175	445	-270
Mayıs	180	255	-75,4	Mayıs	164	519	-355
Haziran	175	262	-87,7	Haziran	159	533	-375
Temmuz	176	281	-104	Temmuz	161	567	-406
Ağustos	189	257	-68,1	Ağustos	174	529	-354
Eylül	192	237	-44,5	Eylül	178	481	-303
Ekim	207	173	34,2	Ekim	196	369	-173
Kasım	230	122	107	Kasım	218	262	-44,3
Aralık	256	96,8	160	Aralık	241	209	32,1
Yıllık	2.453	2.366	86,8	Yıllık	2.286	4.891	-2.605

BALIKESİR RÜZGAR TÜRBİNİ TASARIMI

Rüzgar Türbini 3 Kw-0.07/0.11				Rüzgar Türbini 5 Kw-0.07/0.11			
Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)	Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)
Ocak	217	118	99	Ocak	185	252	-66,7
Şubat	134	284	-149	Şubat	113	567	-454
Mart	191	230	-39,5	Mart	163	468	-305
Nisan	207	125	81,2	Nisan	177	269	-92
Mayıs	256	48,3	207	Mayıs	231	115	116
Haziran	254	48,7	205	Haziran	225	112	113
Temmuz	254	56,8	197	Temmuz	227	130	97
Ağustos	279	29,8	250	Ağustos	252	76,8	175
Eylül	252	47,3	205	Eylül	223	111	112
Ekim	173	239	-66,2	Ekim	144	484	-340
Kasım	214	115	99,5	Kasım	185	243	-57,6
Aralık	218	133	85,2	Aralık	187	279	-91,8
Yıllık	2.648	1.475	1.173	Yıllık	2.313	3.107	-794

BALIKESİR HİBRİT TASARIM

Hibrit 3 Kw-0.13/0.20				Hibrit 5 Kw-0.13/0.20			
Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)	Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)
Ocak	172	304	-131	Ocak	148	598	-451
Şubat	94,9	489	-394	Şubat	78,1	941	-862
Mart	121	509	-388	Mart	101	986	-885
Nisan	135	420	-285	Nisan	113	815	-702
Mayıs	144	356	-212	Mayıs	122	704	-582
Haziran	137	363	-226	Haziran	114	719	-605
Temmuz	142	397	-255	Temmuz	120	776	-656
Ağustos	160	339	-180	Ağustos	137	677	-540
Eylül	156	339	-183	Eylül	133	667	-533
Ekim	116	493	-377	Ekim	95,5	954	-858
Kasım	163	291	-128	Kasım	139	576	-437
Aralık	163	269	-106	Aralık	135	546	-410
Yıllık	1.704	4.569	-2.864	Yıllık	1.435	8.959	-7.524

KONYA FOTOVOLTAİK TASARIM

Fotovoltaik 3 Kw-0.13/0.20				Fotovoltaik 5 Kw-0.13/0.20			
Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)	Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)
Ocak	233	166	66,6	Ocak	221	342	-121
Şubat	193	174	19,2	Şubat	184	358	-174
Mart	204	217	-13,1	Mart	191	452	-261
Nisan	189	205	-15,8	Nisan	176	430	-254
Mayıs	182	217	-34,6	Mayıs	167	454	-287
Haziran	176	222	-45,4	Haziran	161	466	-304
Temmuz	178	242	-63,7	Temmuz	163	501	-338
Ağustos	189	229	-39,8	Ağustos	176	483	-307
Eylül	189	233	-44,8	Eylül	177	481	-303
Ekim	199	192	7,05	Ekim	189	407	-218
Kasım	224	152	71,9	Kasım	213	316	-104
Aralık	246	127	119	Aralık	233	269	-36,2
Yıllık	2.403	2.377	26	Yıllık	2.251	4.958	-2.706

KONYA RÜZGAR TÜRBİNİ TASARIMI

Rüzgar Türbini 3 Kw-0.07/0.11				Rüzgar Türbini 5 Kw-0.07/0.11			
Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)	Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)
Ocak	211	129	82,3	Ocak	179	274	-94,5
Şubat	145	236	-91,1	Şubat	122	479	-357
Mart	205	184	21,9	Mart	176	379	-203
Nisan	224	88,5	135	Nisan	195	197	-1,62
Mayıs	256	47,6	208	Mayıs	231	113	118
Haziran	245	59,8	185	Haziran	216	135	80,2
Temmuz	248	66,9	181	Temmuz	221	151	70,4
Ağustos	265	46,4	218	Ağustos	236	113	123
Eylül	262	35,5	226	Eylül	235	86,3	148
Ekim	206	137	69,4	Ekim	177	291	-114
Kasım	232	79	153	Kasım	204	173	30,9
Aralık	229	108	121	Aralık	198	231	-32,6
Yıllık	2.727	1.217	1.511	Yıllık	2.390	2.622	-232

KONYA HİBRİT TASARIM

Hibrit 3 Kw-0.13/0.20				Hibrit 5 Kw-0.13/0.20			
Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)	Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)
Ocak	161	360	-198	Ocak	138	697	-559
Şubat	100	480	-380	Şubat	84,1	910	-826
Mart	127	477	-350	Mart	106	916	-810
Nisan	143	364	-221	Nisan	122	710	-588
Mayıs	145	315	-170	Mayıs	124	627	-504
Haziran	134	337	-203	Haziran	110	670	-559
Temmuz	141	371	-230	Temmuz	118	724	-606
Ağustos	153	336	-183	Ağustos	131	668	-537
Eylül	158	320	-162	Eylül	137	628	-490
Ekim	130	398	-268	Ekim	109	777	-668
Kasım	170	280	-111	Kasım	146	547	-401
Aralık	164	276	-111	Aralık	136	547	-410
Yıllık	1.726	4.314	-2.588	Yıllık	1.460	8.420	-6.960

SAMSUN FOTOVOLTAİK TASARIM

Fotovoltaik 3 Kw-0.13/0.20				Fotovoltaik 5 Kw-0.13/0.20			
Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)	Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)
Ocak	246	149	97	Ocak	240	308	-68,1
Şubat	196	166	30,4	Şubat	187	341	-155
Mart	210	210	-0,107	Mart	197	436	-239
Nisan	191	222	-31	Nisan	179	458	-279
Mayıs	181	238	-57,2	Mayıs	168	492	-324
Haziran	174	250	-75,6	Haziran	160	515	-355
Temmuz	177	257	-80,1	Temmuz	163	529	-365
Ağustos	192	237	-45,7	Ağustos	179	496	-317
Eylül	197	218	-21,6	Eylül	185	450	-265
Ekim	205	178	27,4	Ekim	194	378	-184
Kasım	234	134	99,7	Kasım	221	279	-57,3
Aralık	253	131	122	Aralık	240	271	-31,2
Yıllık	2.455	2.390	64,9	Yıllık	2.313	4.953	-2.640

SAMSUN RÜZGAR TÜRBİNİ TASARIMI

Rüzgar Türbini 3 Kw-0.07/0.11				Rüzgar Türbini 5 Kw-0.07/0.11			
Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)	Ay	Satın Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji(kWh)	Net Satın Alınan Enerji (kWh)
Ocak	185	196	-11,6	Ocak	153	404	-251
Şubat	172	147	24,9	Şubat	145	309	-164
Mart	254	65,2	189	Mart	227	152	75,3
Nisan	252	43,4	208	Nisan	225	105	120
Mayıs	273	26,6	247	Mayıs	250	67,7	182
Haziran	286	16,6	269	Haziran	263	43,2	220
Temmuz	253	58,7	194	Temmuz	226	134	91,9
Ağustos	248	70,8	178	Ağustos	218	163	55,4
Eylül	251	48,9	202	Eylül	222	115	108
Ekim	252	47,5	204	Ekim	224	113	111
Kasım	213	119	94,4	Kasım	184	250	-66,1
Aralık	202	170	32,6	Aralık	173	353	-180
Yıllık	2.840	1.009	1.831	Yıllık	2.510	2.208	302

SAMSUN HİBRİT TASARIM

Hibrit 3 Kw-0.13/0.20				Hibrit 5 Kw-0.13/0.20			
Ay	**Satın Alınan Enerji (kWh)**	**Satılan Enerji(kWh)**	**Net Satın Alınan Enerji (kWh)**	**Ay**	**Satın Alınan Enerji (kWh)**	**Satılan Enerji(kWh)**	**Net Satın Alınan Enerji (kWh)**
Ocak	149	411	-262	**Ocak**	125	793	-668
Şubat	116	369	-253	**Şubat**	98,3	725	-627
Mart	155	326	-170	**Mart**	134	657	-523
Nisan	156	320	-164	**Nisan**	137	637	-500
Mayıs	151	305	-154	**Mayıs**	132	618	-486
Haziran	150	299	-149	**Haziran**	130	608	-478
Temmuz	141	374	-234	**Temmuz**	120	741	-621
Ağustos	148	377	-229	**Ağustos**	126	749	-623
Eylül	159	322	-163	**Eylül**	137	637	-500
Ekim	158	271	-113	**Ekim**	137	555	-418
Kasım	163	304	-141	**Kasım**	138	596	-458
Aralık	148	345	-197	**Aralık**	123	684	-561
Yıllık	1.795	4.024	-2.229	**Yıllık**	1.537	8.001	-6.464

EK-2 TASARIMLARIN BİLEŞEN MALİYETLERİ

BALIKESİR İÇİN YAPILAN TASARIMLARIN BİLEŞEN MALİYETLERİ

Fotovoltaik(0.13)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.500 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.582 $
Şebeke	0,00 $	-17,59 $	0,00 $	0,00 $	-17,59 $
PV	2.100 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	3.182 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	705,62 $	0,00 $	1.486 $
Sistem	4.380 $	2.146 $	705,62 $	0,00 $	7.232 $

Fotovoltaik(0.13)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	2.000 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.443 $
Şebeke	0,00 $	-6.313 $	0,00 $	0,00 $	-6.313 $
PV	3.500 $	1.803 $	0,00 $	0,00 $	5.303 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	705,62 $	0,00 $	1.486 $
Sistem	6.280 $	-3.067 $	705,62 $	0,00 $	3.919 $

Fotovoltaik(0.20)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.500 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.582 $
Şebeke	0,00 $	-3.022 $	0,00 $	0,00 $	-3.022 $
PV	2.100 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	3.182 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	705,62 $	0,00 $	1.486 $
Sistem	4.380 $	-858,15 $	705,62 $	0,00 $	4.227 $

Fotovoltaik(0.20)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	2.000 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.443 $
Şebeke	0,00 $	-12.504 $	0,00 $	0,00 $	-12.504 $
PV	3.500 $	1.803 $	0,00 $	0,00 $	5.303 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	705,62 $	0,00 $	1.486 $
Sistem	6.280 $	-9.258 $	705,62 $	0,00 $	-2.272 $

Rüzgar Türbini(0.07)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.250 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.332 $
Rüzgar Türbini	1.500 $	270,49 $	0,00 $	0,00 $	1.770 $
Şebeke	0,00 $	4.028 $	0,00 $	0,00 $	4.028 $
Batarya	780,00 $	432,78 $	0,00 $	0,00 $	1.213 $
Sistem	3.530 $	5.813 $	0,00 $	0,00 $	9.343 $

Rüzgar Türbini(0.07)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.750 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.193 $
Rüzgar Türbini	2.000 $	360,65 $	0,00 $	0,00 $	2.361 $
Şebeke	0,00 $	1.123 $	0,00 $	0,00 $	1.123 $
Batarya	780,00 $	432,78 $	0,00 $	0,00 $	1.213 $
Sistem	4.530 $	3.359 $	0,00 $	0,00 $	7.889 $

Rüzgar Türbini(0.11)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.250 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.332 $
Rüzgar Türbini	1.500 $	270,49 $	0,00 $	0,00 $	1.770 $
Şebeke	0,00 $	3.043 $	0,00 $	0,00 $	3.043 $
Batarya	780,00 $	432,78 $	0,00 $	0,00 $	1.213 $
Sistem	3.530 $	4.829 $	0,00 $	0,00 $	8.359 $

Rüzgar Türbini(0.11)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.750 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.193 $
Rüzgar Türbini	2.000 $	360,65 $	0,00 $	0,00 $	2.361 $
Şebeke	0,00 $	-949,88 $	0,00 $	0,00 $	-949,88 $
Batarya	780,00 $	432,78 $	0,00 $	0,00 $	1.213 $
Sistem	4.530 $	1.286 $	0,00 $	0,00 $	5.816 $

Hibrit(0.13)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.250 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.332 $
Rüzgar Türbini	1.500 $	270,49 $	0,00 $	0,00 $	1.770 $
Şebeke	0,00 $	-6.869 $	0,00 $	0,00 $	-6.869 $
PV	2.100 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	3.182 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	0,00 $	0,00 $	780,00 $
Sistem	5.630 $	-4.434 $	0,00 $	0,00 $	1.196 $

Hibrit(0.13)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.750 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.193 $
Rüzgar Türbini	2.000 $	360,65 $	0,00 $	0,00 $	2.361 $
Şebeke	0,00 $	-17.767 $	0,00 $	0,00 $	-17.767 $
PV	3.500 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	4.943 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	0,00 $	0,00 $	780,00 $
Sistem	8.030 $	-14.521 $	0,00 $	0,00 $	-6.491 $

Hibrit(0.20)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.250 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.332 $
Rüzgar Türbini	1.500 $	270,49 $	0,00 $	0,00 $	1.770 $
Şebeke	0,00 $	-12.635 $	0,00 $	0,00 $	-12.635 $
PV	2.100 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	3.182 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	0,00 $	0,00 $	780,00 $
Sistem	5.630 $	-10.201 $	0,00 $	0,00 $	-4.571 $

Hibrit(0.20)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.750 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.193 $
Rüzgar Türbini	2.000 $	360,65 $	0,00 $	0,00 $	2.361 $
Şebeke	0,00 $	-29.075 $	0,00 $	0,00 $	-29.075 $
PV	3.500 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	4.943 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	0,00 $	0,00 $	780,00 $
Sistem	8.030 $	-25.829 $	0,00 $	0,00 $	-17.799 $

KONYA İÇİN YAPILAN TASARIMLARIN BİLEŞEN MALİYETLERİ

Fotovoltaik(0.13)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.500 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.582 $
Şebeke	0,00 $	-155,71 $	0,00 $	0,00 $	-155,71 $
PV	2.100 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	3.182 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	705,62 $	0,00 $	1.486 $
Sistem	4.380 $	2.008 $	705,62 $	0,00 $	7.094 $

Fotovoltaik(0.13)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	2.000 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.443 $
Şebeke	0,00 $	-6.547 $	0,00 $	0,00 $	-6.547 $
PV	3.500 $	1.803 $	0,00 $	0,00 $	5.303 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	705,62 $	0,00 $	1.486 $
Sistem	6.280 $	-3.301 $	705,62 $	0,00 $	3.684 $

Fotovoltaik(0.20)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.500 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.582 $
Şebeke	0,00 $	-3.156 $	0,00 $	0,00 $	-3.156 $
PV	2.100 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	3.182 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	705,62 $	0,00 $	1.486 $
Sistem	4.380 $	-991,85 $	705,62 $	0,00 $	4.094 $

Fotovoltaik(0.20)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	2.000 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.443 $
Şebeke	0,00 $	-12.806 $	0,00 $	0,00 $	-12.806 $
PV	3.500 $	1.803 $	0,00 $	0,00 $	5.303 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	705,62 $	0,00 $	1.486 $
Sistem	6.280 $	-9.560 $	705,62 $	0,00 $	-2.574 $

Rüzgar Türbini(0.07)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.250 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.332 $
Rüzgar Türbini	1.500 $	270,49 $	0,00 $	0,00 $	1.770 $
Şebeke	0,00 $	4.612 $	0,00 $	0,00 $	4.612 $
Batarya	780,00 $	432,78 $	0,00 $	0,00 $	1.213 $
Sistem	3.530 $	6.397 $	0,00 $	0,00 $	9.927 $

Rüzgar Türbini(0.07)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.750 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.193 $
Rüzgar Türbini	2.000 $	360,65 $	0,00 $	0,00 $	2.361 $
Şebeke	0,00 $	2.078 $	0,00 $	0,00 $	2.078 $
Batarya	780,00 $	432,78 $	0,00 $	0,00 $	1.213 $
Sistem	4.530 $	4.314 $	0,00 $	0,00 $	8.844 $

Rüzgar Türbini(0.11)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.250 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.332 $
Rüzgar Türbini	1.500 $	270,49 $	0,00 $	0,00 $	1.770 $
Şebeke	0,00 $	3.735 $	0,00 $	0,00 $	3.735 $
Batarya	780,00 $	432,78 $	0,00 $	0,00 $	1.213 $
Sistem	3.530 $	5.520 $	0,00 $	0,00 $	9.050 $

Rüzgar Türbini(0.11)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.750 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.193 $
Rüzgar Türbini	2.000 $	360,65 $	0,00 $	0,00 $	2.361 $
Şebeke	0,00 $	187,09 $	0,00 $	0,00 $	187,09 $
Batarya	780,00 $	432,78 $	0,00 $	0,00 $	1.213 $
Sistem	4.530 $	2.423 $	0,00 $	0,00 $	6.953 $

Hibrit(0.13)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.250 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.332 $
Rüzgar Türbini	1.500 $	270,49 $	0,00 $	0,00 $	1.770 $
Şebeke	0,00 $	-6.222 $	0,00 $	0,00 $	-6.222 $
PV	2.100 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	3.182 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	0,00 $	0,00 $	780,00 $
Sistem	5.630 $	-3.787 $	0,00 $	0,00 $	1.843 $

Hibrit(0.13)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.750 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.193 $
Rüzgar Türbini	2.000 $	360,65 $	0,00 $	0,00 $	2.361 $
Şebeke	0,00 $	-16.688 $	0,00 $	0,00 $	-16.688 $
PV	3.500 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	4.943 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	0,00 $	0,00 $	780,00 $
Sistem	8.030 $	-13.442 $	0,00 $	0,00 $	-5.412 $

Hibrit(0.20)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.250 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.332 $
Rüzgar Türbini	1.500 $	270,49 $	0,00 $	0,00 $	1.770 $
Şebeke	0,00 $	-11.417 $	0,00 $	0,00 $	-11.417 $
PV	2.100 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	3.182 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	695,32 $	-163,42 $	1.312 $
Sistem	5.630 $	-8.983 $	695,32 $	-163,42 $	-2.821 $

Hibrit(0.20)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.750 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.193 $
Rüzgar Türbini	2.000 $	360,65 $	0,00 $	0,00 $	2.361 $
Şebeke	0,00 $	-27.075 $	0,00 $	0,00 $	-27.075 $
PV	3.500 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	4.943 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	1.376 $	-395,92 $	1.760 $
Sistem	8.030 $	-23.830 $	1.376 $	-395,92 $	-14.819 $

SAMSUN İÇİN YAPILAN TASARIMLARIN BİLEŞEN MALİYETLERİ

Fotovoltaik(0.13)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.500 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.582 $
Şebeke	0,00 $	-69,28 $	0,00 $	0,00 $	-69,28 $
PV	2.100 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	3.182 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	705,62 $	0,00 $	1.486 $
Sistem	4.380 $	2.095 $	705,62 $	0,00 $	7.180 $

Fotovoltaik(0.13)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	2.000 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.443 $
Şebeke	0,00 $	-6.401 $	0,00 $	0,00 $	-6.401 $
PV	3.500 $	1.803 $	0,00 $	0,00 $	5.303 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	705,62 $	0,00 $	1.486 $
Sistem	6.280 $	-3.155 $	705,62 $	0,00 $	3.831 $

Fotovoltaik(0.20)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.500 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.582 $
Şebeke	0,00 $	-3.087 $	0,00 $	0,00 $	-3.087 $
PV	2.100 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	3.182 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	705,62 $	0,00 $	1.486 $
Sistem	4.380 $	-922,89 $	705,62 $	0,00 $	4.163 $

Fotovoltaik(0.20)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	2.000 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.443 $
Şebeke	0,00 $	-12.649 $	0,00 $	0,00 $	-12.649 $
PV	3.500 $	1.803 $	0,00 $	0,00 $	5.303 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	705,62 $	0,00 $	1.486 $
Sistem	6.280 $	-9.403 $	705,62 $	0,00 $	-2.417 $

Rüzgar Türbini(0.07)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.250 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.332 $
Rüzgar Türbini	1.500 $	270,49 $	0,00 $	0,00 $	1.770 $
Şebeke	0,00 $	5.074 $	0,00 $	0,00 $	5.074 $
Batarya	780,00 $	432,78 $	0,00 $	0,00 $	1.213 $
Sistem	3.530 $	6.859 $	0,00 $	0,00 $	10.389 $

Rüzgar Türbini(0.07)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.750 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.193 $
Rüzgar Türbini	2.000 $	360,65 $	0,00 $	0,00 $	2.361 $
Şebeke	0,00 $	2.751 $	0,00 $	0,00 $	2.751 $
Batarya	780,00 $	432,78 $	0,00 $	0,00 $	1.213 $
Sistem	4.530 $	4.987 $	0,00 $	0,00 $	9.517 $

Rüzgar Türbini(0.11)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.250 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.332 $
Rüzgar Türbini	1.500 $	270,49 $	0,00 $	0,00 $	1.770 $
Şebeke	0,00 $	4.400 $	0,00 $	0,00 $	4.400 $
Batarya	780,00 $	432,78 $	0,00 $	0,00 $	1.213 $
Sistem	3.530 $	6.185 $	0,00 $	0,00 $	9.715 $

Rüzgar Türbini(0.11)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.750 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.193 $
Rüzgar Türbini	2.000 $	360,65 $	0,00 $	0,00 $	2.361 $
Şebeke	0,00 $	1.278 $	0,00 $	0,00 $	1.278 $
Batarya	780,00 $	432,78 $	0,00 $	0,00 $	1.213 $
Sistem	4.530 $	3.514 $	0,00 $	0,00 $	8.044 $

Hibrit(0.13)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.250 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.332 $
Rüzgar Türbini	1.500 $	270,49 $	0,00 $	0,00 $	1.770 $
Şebeke	0,00 $	-5.386 $	0,00 $	0,00 $	-5.386 $
PV	2.100 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	3.182 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	0,00 $	0,00 $	780,00 $
Sistem	5.630 $	-2.952 $	0,00 $	0,00 $	2.678 $

Hibrit(0.13)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.750 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.193 $
Rüzgar Türbini	2.000 $	360,65 $	0,00 $	0,00 $	2.361 $
Şebeke	0,00 $	-15.292 $	0,00 $	0,00 $	-15.292 $
PV	3.500 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	4.943 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	0,00 $	0,00 $	780,00 $
Sistem	8.030 $	-12.046 $	0,00 $	0,00 $	-4.016 $

Hibrit(0.20)-3 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.250 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	2.332 $
Rüzgar Türbini	1.500 $	270,49 $	0,00 $	0,00 $	1.770 $
Şebeke	0,00 $	-10.465 $	0,00 $	0,00 $	-10.465 $
PV	2.100 $	1.082 $	0,00 $	0,00 $	3.182 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	0,00 $	0,00 $	780,00 $
Sistem	5.630 $	-8.031 $	0,00 $	0,00 $	-2.401 $

Hibrit(0.20)-5 kw					
İsim	**Sermaye**	**İşletme**	**Yer değiştirme**	**Hurda**	**Toplam**
Konvertör	1.750 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	3.193 $
Rüzgar Türbini	2.000 $	360,65 $	0,00 $	0,00 $	2.361 $
Şebeke	0,00 $	-25.391 $	0,00 $	0,00 $	-25.391 $
PV	3.500 $	1.443 $	0,00 $	0,00 $	4.943 $
Batarya	780,00 $	0,00 $	0,00 $	0,00 $	780,00 $
Sistem	8.030 $	-22.145 $	0,00 $	0,00 $	-14.115 $