

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ ENERJİLİ TEKNELERDE ENERJİ
VERİMLİLİĞİNİ ARTTIRMA TEKNİKLERİ**



Olgun KONUR

Ağustos, 2016
İZMİR

GÜNEŞ ENERJİLİ TEKNELERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ ARTTIRMA TEKNİKLERİ

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Gemi Makinaları İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı
Deniz Ulaştırma Sistemleri Mühendisliği Programı**

Olgun KONUR

Ağustos, 2016

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

OLGUN KONUR tarafından YRD. DOÇ. DR. KADİR EMRAH ERGİNER yönetiminde hazırlanan “GÜNEŞ ENERJİLİ TEKNELERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ ARTTIRMA TEKNİKLERİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



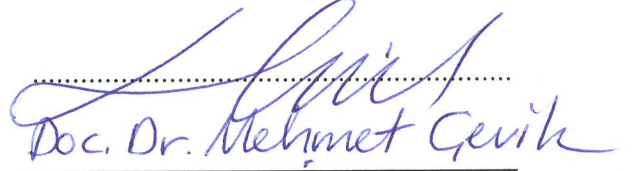
Yrd. Doç. Dr. Kadir Emrah ERGİNER

Yönetici



Prof. Dr. Zeki KIRAL

Jüri Üyesi



Doc. Dr. Mehmet Çevik

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başlangıcından sonuna kadar her konuda yardımcı olan, yol gösteren, daima yanımda olan değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Kadir Emrah ERGİNER'e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim süresince değerli vakitlerini harcayarak sundukları bilimsel ve yapıcı öneriler ile ufkumu açan değerli çalışma arkadaşlarım Yiğit GÜLMEZ'e ve Süleyman Aykut KORKMAZ'a; ayrıca tez çalışmam süresince desteğini hiç eksik etmeyen çok değerli arkadaşım Sinem UÇAR'a teşekkür ederim.

Bu günlere gelebilmem için maddi, manevi hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan, ilgi ve sevgisini esirgemeyen anneme, babama ve kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Olgun KONUR

GÜNEŞ ENERJİLİ TEKNELERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ ARTTIRMA TEKNİKLERİ

ÖZ

Güneş enerjisi, günümüzde elektrikli sevk sistemine sahip tekneler için uygulanabilir bir enerji kaynağı haline gelmiştir. Ayrıca teknenin servis ihtiyaçlarını karşılamak adına da güneş panelleri kullanılabilir. Buna rağmen teknenin tüm elektrik ihtiyacını güneş panellerinden karşılamak çoğunlukla mümkün olamamaktadır. Tekne üzerindeki panel alanının yetersizliği ve akülerin ağırlıkları sebepleriyle de tekne sevki için gerekli güç ihtiyacı sınırlı miktarda karşılanabilmektedir. Bu koşullarda, güneş enerjili teknelerde sürekliliği sağlamak için tekne elektrik sisteminin enerji verimliliğini artırıcı uygulamalar yapılması gerekmektedir. Bu sayede tekne menziline de önemli artışlar yaşanması beklenmektedir. Bu tez çalışmasında güneş enerjili teknelerde enerji verimliliğini arttırmak için uygulanabilecek teknikler irdelenmiştir. Güneş hücrelerinin karakteristikleri incelenmiş, enerji verimini artırıcı uygulamalar ile kazanılabilecek verim, güç ve menzil gibi değişkenler analiz edilmiştir. Akülerin ve elektrik motorlarının daha yüksek verimli olanları ile değiştirilmesinden elde edilecek güç kazanımları ortaya konmuş ve maliyet analizleri yapılmıştır. Maksimum güç noktası takip sisteminde ve elektrik kablolarlarında yapılabilecek iyileştirmeler ile elde edilebilecek kazanımlar açıklanmıştır. Son olarak, yapılan örnek bir deneysel çalışma ile güneş enerjili teknelerin fotovoltaiik panellerine uygulanan deniz suyu soğutma sistemi ile gün içindeki panel üstü sıcaklık farkının çıkış gücüne etkisi ve panel verim değişimi miktarları ortaya konmuştur. Ortaya çıkan sonuç, güneş enerjili teknelerde deniz suyu soğutma sistemi kurulması ihtiyacını destekler niteliktedir.

Anahtar kelimeler: Enerji verimliliği, fotovoltaiik teknolojiler, güneş enerjili tekneler.

ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT TECHNIQUES ON SOLAR POWERED BOATS

ABSTRACT

Solar power has become an applicable energy source for boats that have electric propulsion system today. Solar panels can also be used for providing service needs on boats. However, providing all of the power needed for a boat is mostly not possible by solar panels. Also, because of insufficient usable panel area and battery weight restrictions on solar powered boats, required power demand is compensated limitedly. On these conditions, energy efficiency improvement techniques for electrical systems need to be applied to obtain sustainability on solar powered boats. Thus, important incrementations on boat's range are expected. Applicable energy efficiency improvement techniques are studied in this thesis. Characteristics of solar cells are examined. Efficiency, power and range gains are analyzed with the energy efficiency improving applications. Power gains provided from the changing of electric motors and batteries with higher efficient ones and costs have been analyzed. Gains from the improvements of maximum power point tracking system and electric cabling have been explained. Finally, an experimental research has been carried out which reveals panel surface temperature effect on power output and panel efficiency changes in a day with the application of seawater cooling system to the photovoltaic panels of solar powered boats. The results support the need of seawater cooling system setup for solar powered boats.

Keywords: Energy efficiency, photovoltaic technologies, solar powered boats.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
BÖLÜM İKİ - TEKNELERDE KULLANILAN SEVK SİSTEMLERİ	3
2.1 İnsan Gücü ile Sevk Edilen Tekneler	3
2.2 Rüzgâr Kuvveti ile Sevk Edilen Tekneler	3
2.3 Su Jeti Sevk Sistemi	5
2.4 Teknelerde Dıştan Yanmalı Motorların Kullanımı	5
2.5 Teknelerde İçten Yanmalı Motorların Kullanımı.....	6
2.6 Teknelerde Elektrikli Sevk Sistemlerinin Kullanımı	8
2.6.1 Tamamen Elektrikli Sevk Sistemleri	10
2.6.2 Dizel Elektrik Sevk Sistemleri.....	12
2.6.3 Teknelerde Kullanılan Elektrikli Sevk Sistemlerinin Tarihçesi	15
BÖLÜM ÜÇ - YENİLENEBİLİR ENERJİ TEKNOLOJİLERİNİN TEORİK OLARAK İNCELENMESİ.....	20
3.1 Yenilenebilir Enerji Teknolojileri	20
3.1.1 Fotovoltaik (FV) Sistemler	20
3.1.2 Fotovoltaik Termal Sistemler (PV/T)	22
3.1.3 Rüzgâr Enerjisi.....	23
3.1.4 Yakıt Pilleri.....	24

3.1.5 Biyokütle Enerjisi	24
3.1.6 Dalga Enerjisi.....	25
3.2 Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı	26
3.2.1 Yarı İletken Malzemeler	27
3.2.2 Enerji Bantları.....	27
3.2.3 P-N Bitişimi	28

BÖLÜM DÖRT - GÜNEŞ ENERJİLİ TEKNELERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ SAĞLAYAN SİSTEMLERİN İNCELENMESİ 31

4.1 Güneş Panellerinde Enerji Verimliliğinin Arttırması.....	31
4.1.1 Güneş Pillerine Sıcaklığın Etkileri.....	32
4.1.2 Yüksek Verimli Güneş Paneli Kullanımı	36
4.1.3 Reflektör Kullanımının Panel Verimine Etkileri	43
4.1.4 Güneş Takip Sistemleri.....	47
4.1.5 Saate, Aya ve Bulunulan Enleme Göre Güneş Işınımı Miktarı Değişimlerinin İncelenmesi	52
4.1.6 Gölge Etkisinin İncelenmesi	57
4.1.7 Albedo Etkisinin İncelenmesi	61
4.2 Akü Grubu Seçiminin Enerji Verimine Etkisi	64
4.2.1 Akü Çeşitleri	64
4.2.1.1 Kurşun Asit Aküler (Pb-Asit)	65
4.2.1.2 Nikel-Kadmiyum Aküler (NiCd)	66
4.2.1.3 Lityum İyon Aküler (Li-ion).....	66
4.2.1.4 Sodyum-Sülfür Aküler (NaS)	66
4.2.1.5 Nikel-Hidrojen Aküler (NiH ₂)	67
4.2.1.6 Nikel-Metal Hidrit Aküler (NiMH)	67
4.2.1.7 Nikel-Çinko Aküler (NiZn).....	67
4.2.1.8 Sodyum Nikel Klorür Aküler (NaNiCl/ZEBRA)	68
4.2.1.9 Lityum-İyon Polimer Aküler (Li-Poly).....	68
4.2.1.10 Lityum-Metal (Li-Metal) Aküler	68
4.2.1.11 Yeni Gelişen Akü Teknolojileri	68

4.2.2 Akü Teknolojilerinin Karşılaştırmalı Teknik ve Ekonomik Analizi	69
4.3 MPPT (Maksimum Güç Noktası Takipçisi – Maximum Power Point Tracker) Kullanımının Enerji Verimine Etkisi	72
4.3.1 MPPT Metodları	73
4.3.2 MPPT Metodlarının Verimlilik Kıyaslamaları	77
4.4 Elektrik Motoru Verimliliğinin Teknenin Güç Tüketimine Etkisi.....	78
4.4.1 Verimlerine Göre Elektrik Motoru Sınıflandırmaları	79
4.4.2 Yüksek Verimli Elektrik Motoru Kullanımının Enerji Verimine Etkisi .	82
4.4.3 Yüksek Verimli Motorlar İçin Maliyet Analizi	85
4.5 Elektrik Sisteminde Kullanılan Kabloların Enerji Verimine Etkisi	87
BÖLÜM BEŞ - ÖRNEK ÇALIŞMA: BİR GÜNEŞ PANELİNE KURULAN DENİZ SUYU SOĞUTMA SİSTEMİNİN TOPLAM ENERJİ VERİMİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ	91
5.1 Deney Ekipmanları.....	91
5.1.1 Fotovoltaik Sistem ve Deniz Suyu Soğutma Sistemi	91
5.1.2 Ölçüm Cihazları	93
5.2 Deney Ortamı Koşulları	95
5.3 Kullanılan Matematiksel Formülasyonlar	97
5.3.1 Fotovoltaik Panelden Üretilen Güç Miktarının Bulunması	97
5.3.2 Fotovoltaik Panel Veriminin Hesaplanması	98
5.4 Araştırmanın Kısıtları.....	98
5.4 Deneysel Bulgular ve Tartışma	99
BÖLÜM ALTI - SONUÇLAR VE ÖNERİLER	104
KAYNAKLAR	107

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Tamamen elektrikli sevk sistemi mekanizması	11
Şekil 2.2 Tekne ve gemilerde dizel elektrik sevk sistemi mekanizması	13
Şekil 2.3 Elektrikli bir sevk sisteminde verim kayıpları	14
Şekil 2.4 Jacobi'nin tasarladığı elektromotor	15
Şekil 2.5 Gustave Trouvé tarafından 1880 yılında tasarlanan ilk kıçtan takma elektrikli motor	16
Şekil 2.6 1893 Chicago world's fair organizasyonunda yüzdürülen elektrikli tekne	17
Şekil 2.7 Del Proposto sistemi dizel elektrik sevk mekanizması	17
Şekil 3.1 Fotovoltaik termal sistem	22
Şekil 3.2 Dalga enerjisi dönüştürücüsü	25
Şekil 3.3 Yarı iletken malzemelerde enerji bantları	28
Şekil 3.4 Fotovoltaik etki ile elektrik akımı oluşumu	29
Şekil 4.1 Işık şiddeti ve hücre sıcaklığının FV hücre karakteristiğine etkisi (a) ışık şiddetinin artması sonucu oluşan etki ve (b) hücre sıcaklığının artması sonucu oluşan etki	35
Şekil 4.2 Bir fotovoltaik pilin I_{max} , V_{max} ve P_{max} değerlerinin (a) sıcaklığa göre ve (b) ışık şiddetine göre değişim grafikleri	36
Şekil 4.3 Yıllara göre güneş pillerindeki verim değerleri değişimi	38
Şekil 4.4 Örnek tekne üzerinde kullanılabilecek 5 farklı güneş modülü ile ve panelsiz şekilde oluşturulan tekne elektrik sistemleri için hesaplanan seyir süreleri	42
Şekil 4.5 Yoğunlaştırılmış fotovoltaik sistemlerden oluşturulmuş bir güneş tarlası	44
Şekil 4.6 Pasif kontrollü takip sistemi	48
Şekil 4.7 Bir ışık kaynağının yatay eksenle yaptığı açının değişimine göre ölçülen reflektörlü dinamik, sadece dinamik, reflektörlü statik ve tamamen statik sistemlerin veri grafikleri	50
Şekil 4.8 Sabit açılı bir güneş modülü ile güneş takip sistemli bir güneş modülünün maliyet karşılaştırması	51
Şekil 4.9 Küresel güneş haritası	53

Şekil 4.10 Türkiye’de ay içerisindeki bir günlük ortalama güneşlenme süreleri.....	54
Şekil 4.11 Türkiye’de ay içerisindeki bir günlük ortalama güneş radyasyonu değerleri	55
Şekil 4.12 İzmir ilinde 4,2 kW _p monokristal fotovoltaiik sistem ile üretilebilecek aylık ortalama enerji miktarları	56
Şekil 4.13 Güneş pili eşdeğer devresi	58
Şekil 4.14 Tek hücresi gölgelenmiş panelin eşdeğer devresi.....	58
Şekil 4.15 Gölgeleyen modül sayısına göre herhangi bir I akımında paneldeki gölgelenme etkisini gösteren I-V grafiği	59
Şekil 4.16 Blokaj diyotları ile donatılan güneş enerji sisteminde gölgelenmiş modül sayısına göre değişen I-V karakteristiği	60
Şekil 4.17 Akü hücre yapısı	64
Şekil 4.18 Akü tiplerinin verimlilik/kullanım ömrü grafiği.....	70
Şekil 4.19 0,3kW kesintisiz enerji sağlanan dört akü tipinin ekonomik değerlendirmesi	71
Şekil 4.20 Bir fotovoltaiik hücrenin güç-voltaj karakteristiği.....	72
Şekil 4.21 Karıştır ve gözlemle (P&O) algoritması akış şeması.....	74
Şekil 4.22 Geliştirilmiş karıştır ve gözlemle modeli.....	75
Şekil 4.23 Tepe tırmanma metodu akış şeması.....	76
Şekil 4.24 MPPT bulanık kontrol cihazı çalışma prensibi	77
Şekil 4.25 MPPT metodlarının enerji verimliliği kıyaslaması.....	78
Şekil 4.26 Elektrik motorları verim standartlarının verim değerleri karşılaştırması .	81
Şekil 4.27 Verim sınıflarına göre küresel piyasadaki tahmini elektrik motoru satış oranları.....	82
Şekil 4.28 Yüksek verimli motor tercihi ile sağlanacak enerji tasarrufuna etki eden değişkenler.....	83
Şekil 4.29 Örnek uygulama verilerine göre düşük verimli IE1 tipi elektrik motoru yerine IE3 tipi yüksek verimli elektrik motorunun tercih edilmesi ile elde edilebilecek enerji tasarrufu grafiği	84
Şekil 4.30 Elektrik motor sistemlerinde kullanım ömrü boyunca oluşan ortalama maliyetler.....	85

Şekil 4.31IE1 standartında elektrik motoru yerine yüksek verimli IE3 standartında elektrik motoru tercih edilmesi ile sağlanabilecek mali tasarruf miktarı ..	86
Şekil 5.1 Güneş paneli arkasına kurulan soğutma (kuler) sistemi düzeneği.....	92
Şekil 5.2 Güneş enerjili teknenin makine dairesi içerisinde kurulu deniz suyu girişini, filtresini, pompasını ve pompa çıkışını gösteren deniz suyu soğutma devresi	92
Şekil 5.3 Deniz suyu ile soğutulan fotovoltaik panel deney düzeneği.....	93
Şekil 5.4 Kızılötesi (infrared) termometre	94
Şekil 5.5 Dijital multimetre.....	94
Şekil 5.6 El tipi solar metre.....	95
Şekil 5.7 Deney düzeneğinin bulunduğu ortamın aylara göre küresel radyasyon değerleri	96
Şekil 5.8 Deney düzeneğinin bulunduğu ortamın aylara göre güneşlenme süreleri .	97
Şekil 5.9 Deney süresince ölçülen anlık güneş ışıınım değerleri	99
Şekil 5.10 Soğutmalı ve soğutmasız olarak ölçülen panel üstü sıcaklıkları ve iki durum arasındaki sıcaklık farkı	100
Şekil 5.11 Soğutmalı ve soğutmasız olarak ölçülen maksimum panel çıkış gücü değerleri ve iki durum arasındaki güç farkı.....	101
Şekil 5.12 Deniz suyu soğutma sistemi kullanımının örnek panelin çıkış gücünde meydana getirdiği artış oranları	102
Şekil 5.13 Soğutma uygulanmış ve uygulanmamış olarak hesaplanan panel verim değerleri ve soğutma sonucu meydana gelen panel verimi artış oranları	103

TABLÖLER LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1 Bir tekne üzerindeki 22m ² panel alanına sığdırılacak farklı firmalara ait güneş panellerinin verimlerine göre kıyaslanması	41
Tablo 4.2 Yoğunlaştırılmış fotovoltaik sistemler için avantaj ve dezavantaj analizi	45
Tablo 4.3 İzmir ilinde 4,2 kW _p monokristal fotovoltaik sistem ile üretilebilecek saatlik ortalama enerji miktarları	56
Tablo 4.4 Çeşitli yüzeyler için albedo değerleri	62
Tablo 4.5 İzmir ilinde üç farklı yüzeyin albedo etkisinde iken, 1200W _p fotovoltaik paneller ile alınabilecek yıllık enerji miktarları	63
Tablo 4.6 Çeşitli akü teknolojilerinin teknik karakteristik özellikleri	70
Tablo 4.7 Dünya genelinde minimum enerji performans standartları	80
Tablo 4.8 Bazı malzemelerinin 20°C'deki özdirençleri ve sıcaklık katsayıları	88

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Fosil yakıt kullanımının hâkim olduğu günümüz küresel enerji piyasası beraberinde küresel ısınma, hava kirliliği gibi çevresel sorunlar getirmiştir. Fosil yakıtların tükenebilirliği de bazı ciddi endişeler getirmektedir. Nükleer enerji santralleri ise radyoaktif salım gibi büyük riskleri içermektedir. Tüm bu etkenler düşünüldüğünde yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir enerji üretiminin parçası haline gelmesi kaçınılmazdır. Son teknolojik yenilikler göz önüne alındığında, güneş enerjisinin içinde bulunduğu yenilenebilir enerji pazarı, gelecek dünya enerji taleplerini karşılamada çok büyük bir paya sahip olacağı öngörülmektedir.

Güneş pillerinin 1950’li yıllarda %4 olan verimleri, 2010’da %15 verim değerine ulaşmıştır. Günümüzdeki fotovoltaik ürünler içinde en çok pazar payına sahip olan tek eklemli silikon güneş pillerinin verimlilikleri %25,6’ya çıkmıştır (Hicks, 2016). Laboratuvar koşullarında ise güneş pil verimi, nanoteknoloji yardımıyla ve çok eklemli (tandem) bağlantı yöntemleriyle teorik maksimum verim değerlerini aşarak %46 değerlerine ulaşmıştır (Krogstrup ve diğer., 2013). Fotovoltaik sistemlerin performansını arttırmak ve arttıran sistemler geliştirmek, sürdürülebilirliğin sağlanması ve yeni nesil fotovoltaik ürünlerin oluşumu için önem arz etmektedir.

Güneş enerjisi deniz taşıtları için uygun bir enerji kaynağı durumundadır. Fotovoltaik sistemlerin sağladığı temiz ve gürültüsüz enerji, deniz taşıtlarının servis ihtiyaçlarını karşılamanın yanı sıra sevk sistemi enerji ihtiyacına da destek olabilmektedir. Panel alanının yetersiz olması ve yüksek ilk kurulum maliyetleri, deniz taşıtının bütün ihtiyaçlarını karşılayacak enerjinin üretimini kısıtlamaktadır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde, genel olarak teknelerde kullanılan sevk sistemleri incelenmektedir. Güneş enerjili teknelerde hangi donanımlarda verim artışı sağlanabileceğini anlamak adına elektrikli sevk sistemleri detaylandırılmıştır. Yenilenebilir enerji teknolojileri ve fotovoltaik hücrelerin yapısı ile çalışma mantığı

bölüm üç başlığı altında teorik olarak incelenmiştir. Bölüm dörtte güneş enerjili teknelerde enerji verimliliği sağlayacak sistemler incelenerek, ne kadar fayda sağlayacakları konusunda çıkarımlar yapılmıştır. Güneş panellerinden, akü gruplarından, MPPT (Maksimum Güç Noktası Takipçisi – Maximum Power Point Tracker)’den, elektrik motorlarından ve elektrik sisteminde kullanılan kablolardan sağlanabilecek enerji verimleri çalışmanın amacına yönelik ana kısımları oluşturmaktadır. Bölüm beşte ise; güneş enerjili teknelerde kullanıma uygun, esnek ve hafif bir güneş paneline kurulan deniz suyu soğutma sisteminin panel verimine etkisini ve elde edilecek güç artış miktarlarını inceleyen deneysel bir çalışma yapılmıştır.



BÖLÜM İKİ

TEKNELERDE KULLANILAN SEVK SİSTEMLERİ

Bu bölümde insan gücü ile tekne sevk, rüzgâr kuvveti ile tekne sevk, su jeti sevk sistemleri, teknelerde kullanılan içten yanmalı ve dıştan yanmalı motorların kullanıldığı sevk sistemleri ile elektrikli sevk sistemleri incelenmiştir.

2.1 İnsan Gücü ile Sevk Edilen Tekneler

Sevki için gerekli itiş insan gücü ile karşılayan sevk sistemlerine sahip teknelerdir. Binyıllardır süregelen dünya denizciliğinin kullandığı en eski sevk sistemleridir. Kürek ve pedal gibi donanımlarla teknenin sevk sağlanır.

Kürekler, tekne sevk için kullanılan en eski ve en basit sevk donanımlarıdır. Mekanik sistemlerin gelişim gösterdiği 19. yy. başlarına kadar küçük botlardan savaş ve ticaret gemilerine kadar geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Buharlı makinelerin gelişimi ile birlikte büyük tonajlı gemilerde kullanımı zamanla sona ermiştir. Günümüzde teknelerinde hala kullanım örnekleri görülebilmektedir.

Pedallı tekneler, çarklı ve pervaneli mekanik sistemlerin gelişimi ile birlikte ortaya çıkmıştır. Güverte üzerinde bulunan pedalların çevrilmesi, pedalların bağlı olduğu sevk mekanizması, pervane veya çarklar yardımı ile su üzerinde teknenin itişini sağlamaktadır. Pedallı tekneler daha çok gezinti amaçlı kullanılmaktadır. Bazı sistemlerde hidrofiller ile birlikte kullanıldığı görülebilmektedir.

2.2 Rüzgâr Kuvveti ile Sevk Edilen Tekneler

Yelkenler yardımı ile rüzgârın gücünü kullanarak sevk edilen teknelerdir. M.Ö. 2400'lü yıllarda Mısırlılar tarafından keşfedilerek Nil nehri üzerinde kullanılmış; daha sonra Polinezyalılar'ın kanolarını sevk etmek için kullandıkları görülmüştür. Romalılar döneminde Avrupa'ya taşınan yelkenler, o dönemlerde Yunan, İspanyol, Portekiz, Fransız, Çin ve İngiliz teknelerinde ve gemilerinde yaygınlaştığı

bilinmektedir (Wikipedia, 2015). Rüzgâr olduğu veya olmadığı koşullarda yelkenli teknelerin tekne sevkini küreklerle desteklediği durumlar sıklıkla görülebilmektedir.

Rüzgârın olmadığı durumlarda yelkenlerde itiş oluşmayacağı için tekne sevkı sağlanamaz. Rüzgârlı havada ise itiş ve emme kuvvetleri ile oluşacak basınç farkı yelkene etki ederek tekne sevkı sağlanır. İtiş kuvveti, rüzgârın doğal itiş kuvvetinden doğar. Teknenin kık tarafından esmesi durumunda oluşur. Emme kuvveti ise rüzgâra karşı seyirlerde, rüzgârın yelkenin her iki tarafından akması sonucu oluşur. Burada yelkenin sağladığı itiş, Daniel Bernoulli'nin ünlü Bernoulli prensibine dayanmaktadır. Buna göre yelken içine giren hava molekülleri, yelkenin şişmesinden kaynaklanan uzunluk farkından dolayı, diğer taraftaki hava molekülleri ile aynı anda yelkenin dışına çıkmak isteyeceğinden dolayı hızlanmaya başlayacaklardır. Bernoulli teoremine göre akışkanların hızı arttıkça, basınçları azalmaktadır. Bunun sonucunda yelkenin iç kısmında, hızlı bir akış olacak ve basınç azalacaktır. Yelkenin dış tarafında yani kısa olan tarafında ise nispeten basınç daha yüksek kalacaktır. Sonuç olarak, yelkenin rüzgâr açısına göre aldığı yüke bağlı olarak, yelkenin bir yüzünde diğer yüzünden daha fazla hava basıncı oluşmaktadır. Oluşan basınç farkından dolayı yelken, düşük basıncın olduğu tarafa doğru itiş kuvveti meydana gelmektedir. Tekne, yelken üzerindeki bu yanal gücü yelkenlinin yana yatarak ileri doğru hareketine dönüştürür (Giray, 2016).

Yelkenliler; teknenin şekline, yelken sayısına ve düzenine göre farklı isimler ile adlandırılmışlardır. Türkiye'de en yaygın olarak kullanılan optimist, laser, pirat dingilerinin, bilinen her türlü yelken tipiyle kullanılan yüzlerce türü bulunmaktadır. Yelkenli teknelerde üç ya da dört yakalı yelkenler kullanılmaktadır. Bunlar dört köşe yelken, latin yelken, praçıra yelken, gizli (randa) yelken, açavela gönderli yelken ve bermuda yelken olarak sınıflandırılabilirler (Denizlerden, 2016).

Günümüzde yelkenli tekneler gezinti, spor, hobi ve turistik amaçlı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.3 Su Jeti Sevk Sistemi

Su jeti sevk sistemi en eski mekanik sevk sistemi olarak bilinir. Su jeti sevk mekanizmasının kökeni 1661 yılında Toogood ve Hayes tasarladığı, merkezi bir su kanalının içine yerleştirilen pompa ile sevk edilen gemiye dayanmaktadır. Benjamin Franklin'in 1775'te yeniden ortaya attığı su jeti sevk sistemi fikri, 1782 yılında Washington ile Alexandria arasında çalışan 24 metrelik bir yolcu botunda uygulanmıştır (Carlton, 2007).

Su jeti sevk sistemlerinde su, dış ortamdan bir nozul sistemi içerisinde dâhili bir su pompası vasıtasıyla çekilerek hızlandırılmaktadır. İvme kazanarak momentumu artan su, yüksek süratle geminin kıç tarafından dışarı atılmaktadır. Sonuç olarak kazanılan momentum, itme kuvvetine çevrilerek teknenin sevk sağlanır (Carlton, 2007).

Su jeti sevk sisteminde pompa içerisinde bulunan impellerin dönüş yönü hiçbir zaman değiştirilmez. Akım yönü değiştiriciler kullanılarak ileri yol, tornistan ve dönüş manevraları elde edildiğinden tornistan maksatlı dişli kutusu ihtiyacı ortadan kalkmaktadır (Anıl, 2009).

Su jetlerinin en önemli karakteristikleri, düşük hızlardaki verimsizliğine karşın yüksek hızlardaki yüksek verimi ve gemiye kazandırdığı manevra kabiliyetidir. Pervaneye kıyasla kavitasyon oluşumu da daha azdır. Su jeti sevk sistemi kayıcı olmayan yüksek süratli teknelerde sıklıkla tercih edilmektedir. Bu sistem sadece tekneler, yatlar ve ticari gemiler için değil, savaş gemileri için de popüler hale gelmiştir (Anıl, 2009).

2.4 Teknelerde Dıştan Yanmalı Motorların Kullanımı

Dıştan yanmalı motorlarda katı veya sıvı yakıtları yakmak üzere bir kazan bulunmaktadır. Bu kazanda yakılan yakıttan elde edilen ısı enerjisi çeşitli ısı değiştiriciler yardımıyla işi sağlayacak olan suya aktararak suyun buharlaşması

sağlanmaktadır. Oluşan su buharı (stim), buhar makinelerinde veya türbinlerde genişleyerek iş elde edilir. Buhar türbinleri ve gaz türbinleri dıştan yanmalı makineler olarak sınıflandırılmaktadır (Pulkrabek, 1997).

Pistonlu buhar makineleri sistemlerinde, kazandan elde edilen stim, slayd valf düzeneği yardımı ile silindir içindeki pistonun altına ve üstüne gönderilerek iş elde edilir. Bu sistemin verimi oldukça düşük olduğundan ve sınırlı miktarda güç elde edilebilmesinden dolayı tekne ve gemilerde kullanımı oldukça sınırlıdır.

Buhar türbinlerinde ise yüksek basınçlı stim, türbinde nozul veya hareketsiz kanatlara çaparak basıncını düşürüp hızlanır. Yüksek hızla türbin kanatlarına giren stim, türbin rotorunu yüksek hızlarda döndürerek işi oluşturur. İçten yanmalı motorların yetersiz kaldığı 1,5GW'a kadar olan güç ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri sayesinde transatlantikler, mothershipler ve savaş gemileri tarafından tercih edilebilmektedirler (Smil, 2008).

Dıştan yanmalı motorlardan gaz türbinlerinde ise; türbinin kompresör tarafının atmosferden aldığı temiz hava sıkıştırılarak, sıcaklığı ve basıncı yükseltilir. Hava yanma odasına gönderildikten sonra, yanma odasına püskürtülen yakıt yanmaya başlamaktadır. Yanmadan elde edilen basınçlı ve sıcak gazlar, gaz türbininin türbin tarafında genişletilerek iş elde edilmektedir. Son yıllarda genel verimlerinin yükselmesi ve fuel oil ile çalışma olanağı vermesi sebepleriyle, gaz türbinlerinin gemilerde kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

2.5 Teknelerde İçten Yanmalı Motorların Kullanımı

Teknelerin sevki için doğal güç kaynakları haricinde, fosil yakıtlar veya biyodizel ile çalışan büyük çoğunluğu pistonlu makinalardan oluşan içten yanmalı motorların tahrik ettiği sevk sistemleri kullanılmaktadır. Fosil yakıtlardan en yaygın olarak benzin, dizel, HFO (heavy fuel oil) ve MGO (marine gas oil) gibi akaryakıtlar kullanılmaktadır. Akaryakıtlar, kolay depolanabilmeleri, yüksek verim sağlamaları

ve yüksek ısı değerlerinden dolayı tekne ve gemilerde en sık olarak kullanılmaktadırlar.

İçten yanmalı motorların ilk örnekleri 17. ve 18. yüzyıllarda tek silindirli atmosferik motor olarak adlandırılan makinelerdir. Bu motorlarda yanma, bir ucu açık olan silindir içine, daha yaygın olarak barut kullanılmak üzere farklı yakıt türleri de kullanılarak yanma gerçekleştirilmiştir. Pistonun hareketi, bağlı olduğu dış sistemi hareketlendirmiş ve ağırlık kaldırma gibi işler yapılması sağlanmıştır (Pulkrabek, 1997).

İçten yanmalı motorlarda yakıt, makine içerisinde kaver ile piston arasında kalan yanma odası içinde yakılarak güç elde edilir. Bu gücün yarattığı itme kuvveti pistonu hareketlendirerek, pistonun bağlı olduğu krankşafta aktarılır. Krankşaftta oluşan tork şaftı ve dolayısıyla şafta bağlı pervanenin dönmesini sağlar. 1859'da ham petrolün keşfedilmesinden sonra gelişen yakıt teknolojileri gelişmiş hidrokarbon ürünlerinin geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Benzin, yağlama yağı ve içten yanmalı motorların hızlı gelişimi bu dönemden sonra başlamıştır. Nicolaus Otto'nun arabalar için tasarladığı dört zamanlı motor 1876 yılında prototip olarak üretildikten sonra 1880'li yıllarda arabalar üzerinde görülmeye başlanmıştır. Aynı yüzyılda iki zamanlı motorlar da boy göstermeye başlamıştır. 1892 yılında Rudolf Diesel günümüzde bilinen dizel motorunu tasarlamıştır. Dizel motorların ilk örnekleri tek silindirli, büyük ve yavaş makineler olmasına rağmen, bujili ateşleme sistemlerine göre daha verimli olduğu görülmüştür. 1920'li yıllardan itibaren çok silindirli ve küçük boyutlu dizel motorların arabalarda kullanıldığı görülmektedir (Pulkrabek, 1997).

Benzinli motorlarda belli oranlarda karıştırılarak silindir içine verilen yakıt-hava karışımı piston üst ölü noktaya çıkarken sıkıştırılır. Sıkıştırılan yakıt-hava karışımı oldukça yanıcı olmasına karşın kendiliğinden tutuşmaz. Bu tip motorlar tutuşmayı sağlamak için elektrotları yardımı ile kıvılcım yaratan bujiler ile donatılmıştır. Doğru zamanlamada çakılan buji, yakıt-hava karışımının ateşlenmesine yardımcı olarak güç üretilir. Daha sonra piston gücü krankşafta aktararak pervane şaftını ve pervaneyi döndürerek sevk sağlanır.

Dizel motorlarda iş döngüsü, temiz havanın silindir içine emilmesi ile başlar. Piston üst ölü noktaya yaklaşıncaya kadar hava sıkıştırılır ve ısınır. Yüksek sıcaklıkta piston üst ölü noktadan birkaç derece önceden, enjektör yardımıyla yakıt basınçlı ve pulvarize şekilde yanma odasına verilir. Isınan yakıt partikülleri yanar ve silindir içindeki basınç yükselir. Yüksek basıncın yarattığı itme ile birlikte piston itilir; güç krankşafta aktarılır ve iş meydana gelir. Krankşaftta oluşan tork pervaneye aktarılarak tekne veya geminin sevk için gerekli itiş sağlanmış olur. Dizel motorlar, özgül yakıt harcamalarının düşük olması, verimlerinin yüksek olması, HFO, IFO gibi uygun maliyetli yakıtları kullanabilmesi ve manevra yeteneklerinin üstünlüğü sebepleriyle çok yaygın olarak tekne ve gemi sevk sistemlerinde kullanılmaktadır.

İçten yanmalı motorların ana enerji kaynağı olan fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan egzoz gazları atmosfere salındığından hava kirliliği ve küresel ısınma gibi çevresel sorunlar baş göstermiştir. Bilincine geç varılan bu durumu telafi edebilmek için çevre dostu sistemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Elektrikli sistemler, alternatifler arasında en çevreci enerji olarak göze çarpmaktadır. Günümüzde yüksek verimli elektrikli sevk sistemleri için mevcut olsa da, bir seferde kat edilen mesafenin kısalığı sebebiyle içten yanmalı motorlara olan bağlılık devam etmektedir.

2.6 Teknelerde Elektrikli Sevk Sistemlerinin Kullanımı

Yakıt ve enerji verimliliği bakımından büyük kazançlar elde ettiren ve çevresel sorunların en büyük kaynaklarından insan kaynaklı sera gazı salımının azaltılmasına katkıda bulunan elektrikli sevk sistemleri, fosil yakıt kullanan sevk sistemlerine iyi bir alternatif olmuştur. Günümüzde elektrik tahrikli sevk sistemlerinin kullanımında önemli bir artış beklenmektedir (Ajioka ve Ohno, 2013).

Elektrikli tahrik sistemlerinin konvansiyonel sistemlere göre aşağıdaki gibi avantajları mevcuttur:

- Sistemi oluşturan parçaların bakım süreleri daha uzun olduğundan, daha düşük bakım maliyetleri ortaya çıkmaktadır (Ajioka ve Ohno, 2013).

- Elektrikli sevk sistemleri oldukça sessiz çalışan ve daha az titreşim yaratan sistemlerdir (Ajioka ve Ohno).
- Seyir halinde iken aynı gücü üretmek için daha az elektrik veya yakıt harcanır. Bu sayede enerji verimliliği artmaktadır (Ajioka ve Ohno, 2013).
- Çevreci bir sistemdir. Daha düşük sera gazı salımına sebep olmaktadır (Pereira, 2007).
- Devir ve yön değişimlerinde, daha az zaman ve enerji kaybına sebep olmaktadır (Erginer, Konur ve Gülmez, 2016).
- Yüksek motor torku sağlamaktadır (MAN, 2015).
- Ekipmanlar arasındaki bağlantılar genel olarak kablolar yardımıyla yapıldığından kurulum kolaylığı sağlayabilmekte ve gemi inşa takvimi açısından önemli süre kazanımları elde edilebilmektedir (Siemens, 2015).
- Elektrikli sevk sistemi elemanlarının kompakt yapısından dolayı, makine dairesi için daha etkili bir yerleşim planı oluşturulabilir.

Elektrikli sevk sistemlerinin bazı dezavantajlarından en önemlisi ise, yüksek ilk kurulum maliyetleri (Ajioka ve Ohno, 2013) olarak görülmektedir. Ayrıca üretilen veya akülere depolanan elektrik enerjisinin elektrik motoruna iletimi sırasında oluşan ısı kayıpları, sevk veriminde düşüşe sebep olmaktadır (MAN, 2015).

Elektrikli sevk sistemlerinde tekne veya geminin hız kontrolü, motor sürücüler yardımıyla elektrik motorunun; dolayısıyla ona bağlı olan pervanenin; devrinin değiştirilmesiyle veya motor ve pervane devri sabit tutularak hatve kontrollü pervane (CPP - Controllable Pitch Propeller) sistemi ile pervane kanat açılarını değiştirerek yapılabilmektedir (Doorduyn ve diğer., 2015).

Elektrik motorunun bağlantı şekline göre dıştan takmalı veya içten takmalı motor kullanımları mevcuttur. Bağlantı elemanları arası sürtünme ve ısı kayıpları göz önüne alındığında daha az bağlantı elemanı bulunan dıştan takmalı motorlardan daha iyi verim alınabileceği söylenebilir. Fakat tekne tonajı büyüdükçe kullanılacak sevk sistemi büyüyeceğinden, dıştan takmalı elektrik motorların kullanımı daha zor olmaktadır.

Elektrikli sevk sistemlerinin teknelerde kullanımı farklı şekillerde olabilmektedir. Tamamen elektrikli sevk sistemleri, sahil istasyonlarından veya güneş, rüzgâr gibi alternatif enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisini akülerde depolayarak ve oradan da enerjiyi doğrudan elektrik motorlarına ileterek tekne sevkini sağlamaktadır. Dizel elektrik sevk sisteminde ise, jeneratörler tarafından üretilen enerji, depo edilmeden elektrik motorlarına iletilmektedir.

2.6.1 Tamamen Elektrikli Sevk Sistemleri

Tamamen elektrikli sevk sistemleri, elektrik motorlarının ve akülerin icadı ile birlikte teknelerde kullanılmaya başlanmıştır. İçten yanmalı motorlardan daha eski bir sistem olmasına rağmen pahalı olması ve teknolojik açıdan akülerin ve elektrik motorlarının yetersizliği sebepleriyle ilgiyi kısa sürede yitirmiş ve gerekli gelişmeyi uzun süre gösterememiştir.

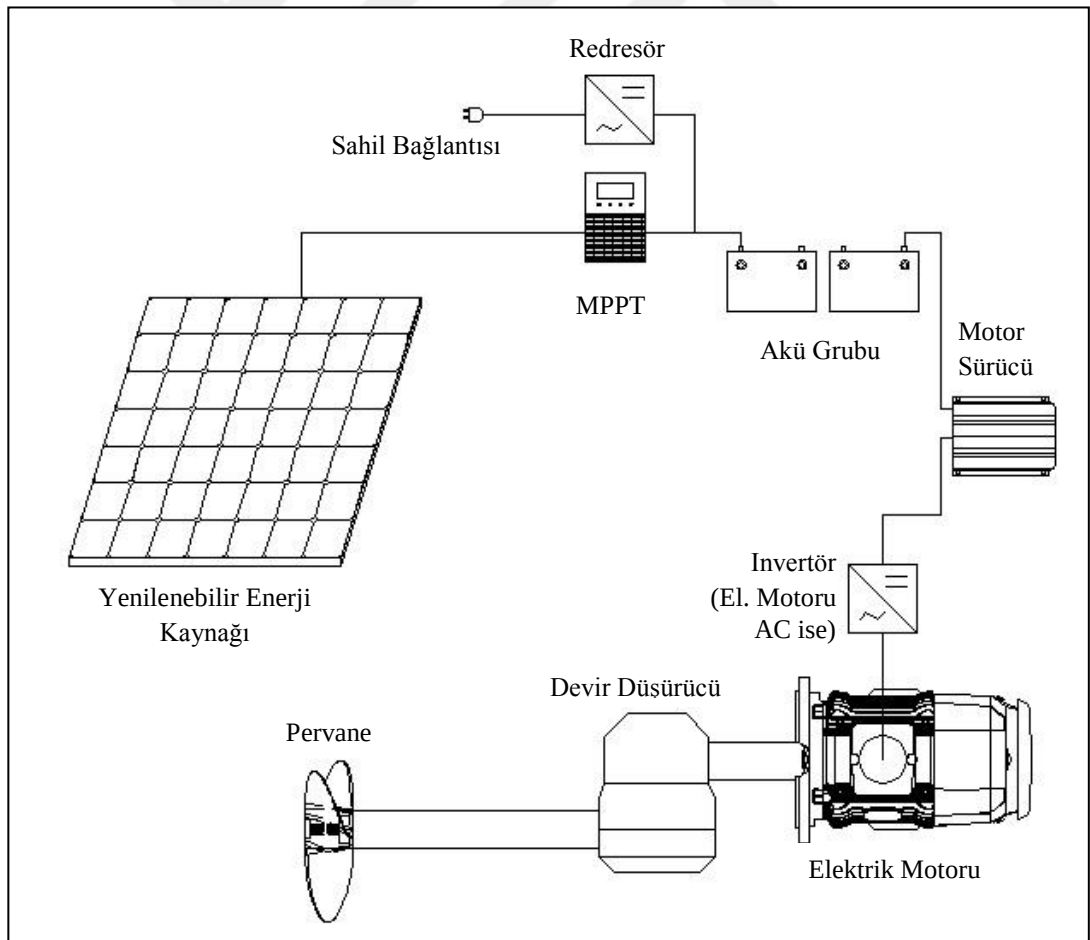
Zamanın koşullarında ancak 7 deniz mili hıza çıkabilen elektrikli tekneler (ETHW, 2014), günümüzde tamamen elektrikli sevk sistemlerinden alınan performansın yükselmesi ve tekne ağırlıklarının gelişen malzeme teknolojileri ile birlikte büyük oranda hafifletilebilmesi sayesinde oldukça yüksek hızlara ulaşabilmektedir. Bu sistemlerin en büyük sıkıntısı ise uzun süreli seyirlere izin verememesidir. Kullanışlılığı etkileyen bu sorun, hala yeterli verime erişememiş yenilenebilir enerji teknolojileri ile desteklenmeye çalışılsa da, günümüz şartlarında henüz aşılammıştır.

Tamamen elektrikli sevk sistemleri düşük hızlarda verimli olarak kullanılabilirler. Tamamen elektrikli sevk sistemine sahip teknelerin düşük hızlarda daha uzun menzil sağlayabildiğine ilişkin çalışmalar mevcuttur (Erginer, Konur ve Gülmez, 2016). Menzili etkileyen en önemli faktör olan elektrik depolama kapasitesi, teknelerin sınırlı yer kapasitesi dikkate alındığında, arttırılması oldukça güç bir değişken olmaktadır. Bu sorunu çözebilmek için tonajı daha fazla; fakat daha

hafif tekne tasarımları yapılmakta ve elektrik sevk sistemi elemanları ile yenilenebilir enerji kaynakları için verim artırma çalışmaları yapılmaktadır.

Yukarıda belirtilen sorunlara ek olarak ilk kurulum maliyetlerinin yüksekliği ve sistem yapısının karmaşıklığı da tamamen elektrikli sevk sisteminin, tekne kullanıcıları tarafından tercih edilmeme sebeplerinden sayılabilir.

Tüm bu dezavantajlara rağmen sistemin hiçbir şekilde sera gazı emisyonu üretmemesi, çevre için oldukça büyük önem arz etmektedir. Çevre konusunda oluşan duyarlılığın artması da tamamen elektrikli sevk sistemlerinin performansını artırarak kullanımını yaygınlaştırmaya yönelik bir baskı oluşturmaktadır. Ayrıca bakım maliyetlerinin düşük olması ve yenilenebilir enerji sayesinde ücretsiz enerji depolama imkânı tanınması, sistemin önemli avantajlarıdır.



Şekil 2.1 Tamamen elektrikli sevk sistemi mekanizması

Tamamen elektrikli sevk sistemlerinde güç pervaneye Şekil 2.1 ile gösterildiği şekilde aktarılmaktadır. Bu sistemde öncelikle, elektrik enerjisinin akülere depolanması gerekmektedir. Sahil bağlantısından alınan alternatif (AC) akım, redresör yardımı ile doğru akıma (DC) çevrilerek akülere aktarılır. Eğer tekne üzerinde fotovoltaiik güneş panelleri veya rüzgâr türbini gibi alternatif enerji sistemi bulunuyor ise, buradan elde edilen enerji MPPT (Maximum Power Point Tracker – Maksimum Güç Noktası Takipçisi) üzerinden geçerek maksimum verimde akülere depolanması sağlanır. Teknede CPP sistemi mevcut ise hız kontrolü sabit motor devrinde pervane kanat açıları değiştirilerek sağlanmaktadır. CPP harici sistemlerde elektrik motorunun devrini ayarlayan motor sürücüsü, akülerden ihtiyaç duyulan enerjiyi çeker. Elektrik motoru DC akım ile çalışıyorsa doğrudan, AC akım ile çalışıyorsa invertör yardımı ile DC akımı AC akıma çevirdikten sonra elektrik motoruna aktarır. Elektrik motorunun devri gerekli gücü üretebilmesi için, pervane tasarım devrinden daha fazla olabilmektedir. Bu durumda ihtiyaca uygun devir düşürücü şanzıman donanımı elektrik motoru ile pervane şaftı arasına yerleştirilir. Son olarak uygun devirde torku alan pervane şaftı ile birlikte pervane dönmeye başlayarak itiş sağlanır.

Hızlı gelişen teknolojiye ayak uyduran tamamen elektrikli sevk sistemlerinin, gelecekte özellikle teknelerde ve yatlarda yaygın olarak kullanılacağı öngörüsü yapılabilmektedir. Daha yüksek tonajlı deniz taşıtları için ise tamamen elektrikli sevk sistemlerinden ziyade dizel elektrik sevk sistemlerinin kullanımı makul olmaktadır.

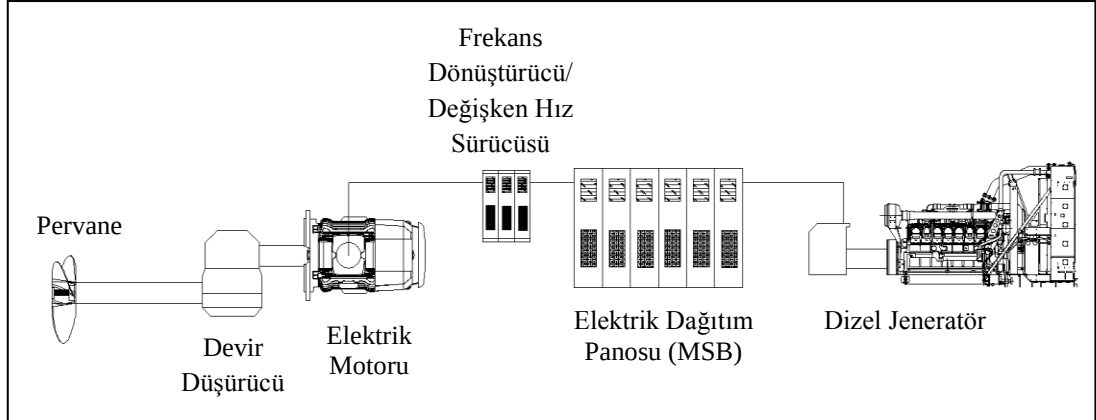
2.6.2 Dizel Elektrik Sevk Sistemleri

Yüz yılı aşkın bir geçmişe sahip dizel elektrik sevk sistemleri, 80’li yıllarda meydana gelen teknolojik gelişmelere paralel olarak önemini arttırmıştır. Değişken hız sürücüleri ile kontrol edilebilen ve yüksek güçler üretebilen elektrik motorları, güvenilir, kullanışlı ve maliyet açısından piyasa koşullarında rekabet edebilir seviyeye ulaşmıştır. Elektriğin depolanması konusunda karşılaşılan sıkıntılar sebebiyle, özellikle yüksek güç ihtiyacı duyan tekne, yat ve gemilerde dizel elektrik

sevk sistemlerine olan talep, tamamen elektrikli sevk sistemlerine olan talepten daha yüksek olmaktadır.

Günümüzde dizel elektrik sevk sistemleri; yolcu gemileri, feribotlar, dinamik konumlandırma (DP) gerektiren gemiler, buzkıran gemileri, tedarik gemileri, savaş gemileri, kablo ve boru döşeme gemileri tarafından sıklıkla tercih edilmektedir (Ådnanes, 2003).

Dizel elektrik sevk sistemleri, ana güç kaynağını dizel motorlardan elde ettiğinden dolayı belli miktar sera gazı emisyonu oluşturmaktadır. Dizel elektrik sevk sistemi, dizel motoru seyir boyunca optimum verimli yükte kullandığı için, oluşan egzoz gazındaki zararlı gaz miktarı minimum seviyede olmaktadır. Konvansiyonel sistemlerle kıyaslandığında daha düşük sera gazı salımı gerçekleştirdiği; dolayısıyla dizel elektrik sevk sistemlerinin daha verimli ve daha çevreci olduğu ortaya çıkmaktadır.

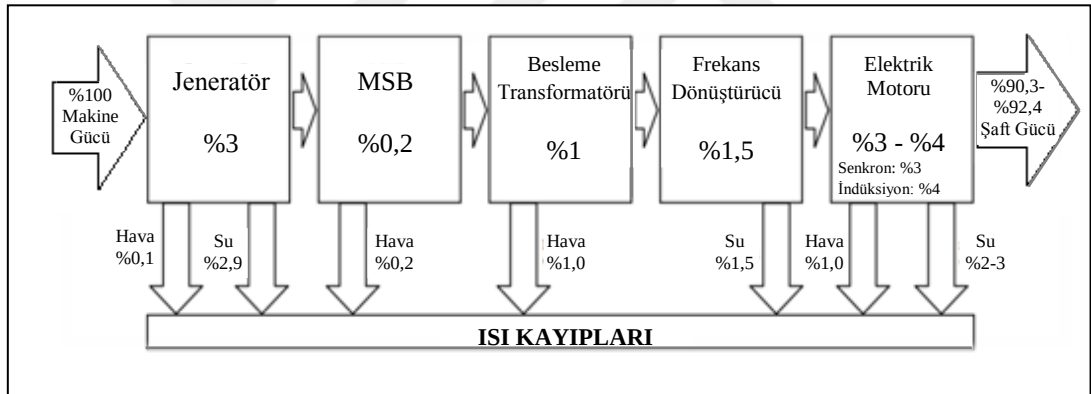


Şekil 2.2 Tekne ve gemilerde dizel elektrik sevk sistemi mekanizması

Şekil 2.2 tekne ve gemilerde kullanılan dizel elektrik sevk sistemlerinin düzenini temsil etmektedir. Dizel elektrik sevk sistemlerinde, içten yanmalı dizel motor ile tahrik edilen jeneratörden elde edilen elektrik enerjisi, elektrik dağıtım panosu (Main Switchboard – MSB) ve frekans dönüştürücü gibi sistemlerden geçerek, pervane şaftını döndürecek olan elektrik motorunu besler. Elektrik motoru devrinin, pervane tasarım devrinden yüksek olduğu sistemlerde devir düşürücü bulunabilmektedir.

Hatve kontrollü pervane bulunmayan sistemlerde gemi veya teknenin hız ayarını yapabilmek için frekans dönüştürücüler veya değişken hız sürücüler kullanılmaktadır. Pervane, motor ve uzun şaft bağlantısı, Z Drive ve V Drive vb. sistemler ile tahrik edilebilmektedir. Ayrıca elektrik motorunun dik konumda kullanılabilmesi sayesinde, L Drive sistemi ile pervane şaftının kısalması ve böylece sevk veriminin artırılması sağlanabilmektedir.

Dizel motoruna ek olarak sisteme elektrik motorunun donanımı şüphesiz ilk kurulum maliyetlerini arttırmaktadır. Bunun yanında sistemin jeneratör, değişken hız sürücü, kablolar, bağlantılar ve otomasyon sistemi gibi donanımları ile birlikte dizel elektrik sevk sistemi, ilk kurulum maliyetine %10-15 oranında etki etmektedir (Doordin ve diğer., 2011). Buna rağmen, gemi tipine göre yakıt harcamı ve periyodik bakım gibi operasyon maliyetleri oldukça düşük olabilmektedir.



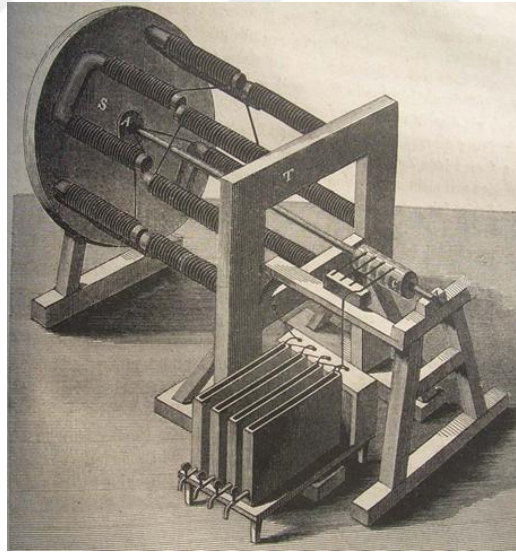
Şekil 2.3 Elektrikli bir sevk sisteminde verim kayıpları (MAN, 2015)

Dizel elektrik sevk sistemi elemanları üzerinde bazı mekanik kayıplar ve ısı kayıpları meydana gelebilmektedir (MAN, 2015). Şekil 2.3'te gösterildiği üzere dizel makineden alınan güç jeneratörde %3 dolayında kayba uğramaktadır. Su soğutma sistemi, jeneratörde oluşan ısıyı büyük bölümünü soğurmaktadır. Elektrik motorunda oluşan %3 - %4 arası verim kaybına ek olarak elektrik dağıtım panosu, transformatör ve frekans dönüştürücü sistemlerinde oluşacak ısı kayıpları ele alındığında, pervane şaftına dizel motordan alınan gücün ancak %90 - %92'si işe çevrilebilmektedir.

Dizel elektrik sevk sistemine sahip bir teknenin düşük hızlarda (0-6 deniz mili) oldukça ekonomik olduğu görülmektedir. Bu durumda, yüksek olan ilk kurulum maliyetleri de kısa sürede karşılanabilmektedir (ABB, 2015).

2.6.3 Teknelerde Kullanılan Elektrikli Sevk Sistemlerinin Tarihçesi

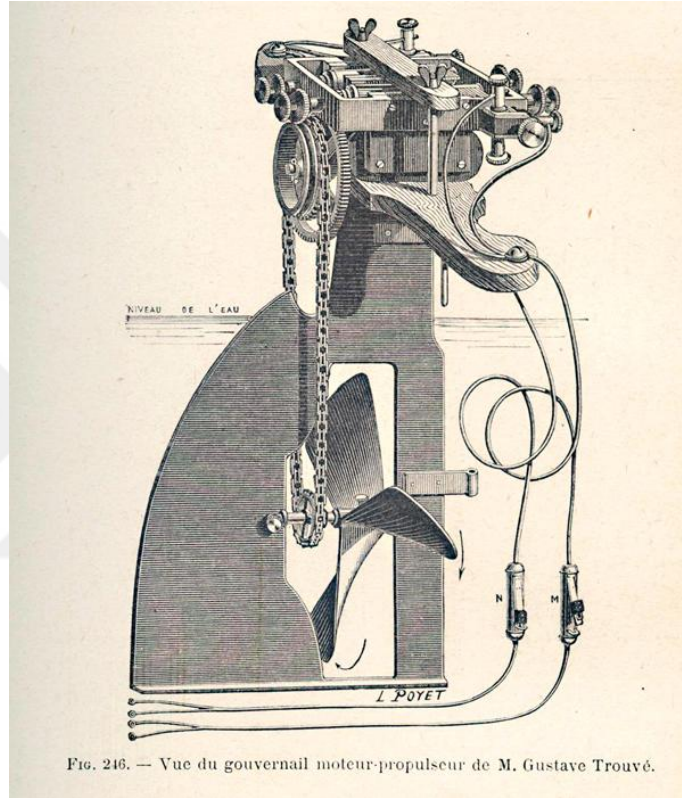
Son yıllarda popüler olmaya başlayan elektrikli sevk sistemleri, esas olarak denizcilik sektöründe yeni kullanılmaya başlanan bir tahrik sistemi değildir. Elektrikli sevk sistemlerinin ilk kullanım örneği, Alman mucit Moritz von Jacobi tarafından 1839 yılında Rusya’da yapılmıştır. Şekil 2.4’te gösterilen kendi elektrik motorunu tasarlayan Jacobi, dönemin Rus çarı I. Nikolay tarafından keşfedilerek İmparatorluk Bilimler Akademisi’ne alınmıştır. Jacobi’ye burada kendi tasarladığı elektrik motorunu geliştirerek bir elektrikli tekne yapması için finansal destek sağlanmıştır. Dünyanın ilk elektrik tahrikli teknesi 7,3 metre boyunda ve saatte 3 deniz mili hızla 14 yolcu taşıyabilme kapasitesindedir (ETHW, 2014).



Şekil 2.4 Jacobi’nin tasarladığı elektromotor (ETHW, 2014)

O yıllarda oldukça ağır ve verimsiz olan aküler, 1859 yılında Fransız fizikçi Gaston Planté tarafından ıslak tip kurşun asit akülerin icadı ve 1866 yılında George Lechlancé tarafından kuru tip akülerin icadı ile birlikte elektrikli sevk sistemlerinin kullanımını makul kılacak teknolojik ilerlemeyi gerçekleştirmiştir.

1880 yılında Gustave Trouvé tarafından tasarlanan Şekil 2.5’te gösterilen ilk kıçtan takma elektrikli motorun icadı ile birlikte, elektrik tahrikli tekneler için altın çağı yaşanmaya başlanmıştır. Üretilen ilk ticari amaçlı tekne ortalama 7 deniz mili hız ile 6 saat yol yapabilen 7,6 metrelik “Electricity” teknesidir. Bunun yanında 75 yolcu kapasiteli tekneler ile 29 metre uzunluğunda elektrikli tekneler de bu dönemde üretilmiştir (ETHW, 2014).



Şekil 2.5 Gustave Trouvé tarafından 1880 yılında tasarlanan ilk kıçtan takma elektrikli motor (Classic Boat, 2016)

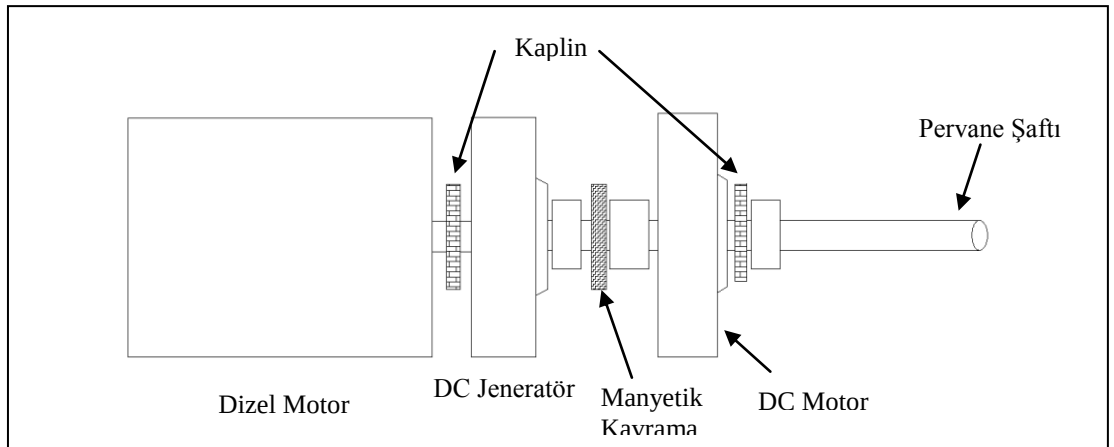
Şekil 2.6’da gösterilen Chicago World’s Fair organizasyonunda ilk olarak yüzdürülen 11 metre uzunluğundaki bu tekneden ise 55 adet üretilmiş; iki yıl içinde bir milyondan fazla yolcu taşımıştır (Microsec R&D Inc., 2014).



Şekil 2.6 1893 Chicago World's Fair organizasyonunda yüzdürülen elektrikli tekne (Plavidla, 2009)

1920'li yıllarda kıçtan takma benzinli motorların üretilmesi ve aktif olarak kullanımı ile elektrikli sevk sistemlerinin teknelerdeki önemi oldukça düşmüş ve elektrikli sevk sistemleri için altın çağ sona ermiştir. 1980'li yıllara kadar daha çok sessiz çalışması sebebiyle denizaltılar için değerli bir sistem olan elektrikli sevk sistemleri, 1980'li yıllarda güneş panellerinin öne çıkması ile birlikte tekrar popülerlik kazanmaya başlamıştır (Plavidla, 2009).

Dizel elektrik sevk sistemlerinin patlama noktası, 1903 yılında İtalyan elektrik mühendisi Cesidio Del Proposto'nun tasarladığı yeni sevk sistemi tasarımı ile olmuştur. Daha sonra Ludwig Nobel tarafından da benzer bir sistem geliştirilmiştir (Koehler ve Oehler, 1998).



Şekil 2.7 Del Proposto sistemi dizel elektrik sevk mekanizması (Del Proposto, 1906)

Şekil 2.7 ile gösterilen sistemde Del Proposto, manyetik kavrama mekanizması ile DC jeneratör ve DC elektrik motoru arasında verimli bir aktarma sistemi oluşturmuştur. Dizel motordan elde edilen güç, DC jeneratörü hareketlendirerek elektrik üretimi sağlanmaktadır. Dizel motorun çalışmadığı durumda ayırık olan manyetik kavrama, jeneratör güç üretmeye başladığında elektrikleterek DC motoru kapar. Motordan direkt mekanik güç aktarımı yapılan bu sistemde, dizel motor ile pervane şaftı aynı hızda dönmeye başlar. Tornistan yapabilmek için ise, jeneratör manyetik kavramayı elektriklemez. DC elektrik motoru enerjisini kablolar vasıtası ile jeneratörden elektriğini alır. Bu durumda pervane hızı da, elektrik motorunun hızını kontrol ederek ayarlanabilmektedir (Doordin ve diğer., 2011).

Dizel elektrik sevk sistemlerinin ilk kullanım örneği, 1903 yılında dönemin en büyük petrol şirketlerinden biri olan Branobel adına (Åsbrink, b.t), Rusya’da inşa edilen 800 metrik tonluk “M/S Vandal” isimli nehir tankeridir (Koehler ve Oehlers, 1998). Gemi sevk sistemi 250 RPM ve 120 HP gücünde üç dizel motor ile birlikte 75KW gücünde üç elektrik motoru ile donatılmıştır. 1913 yılına kadar faaliyet gösteren M/S Vandal, daha sonra hurdaya ayrılmıştır.

Dizel elektrik sevk sistemine sahip ikinci gemi, M/S Vandal’ın kardeşi M/S Ssarmat’tır. Aynı gemi formuna sahip bu gemi, sevk sistemi bakımından farklılıklar göstermektedir. İki adet 260 RPM ve 180 HP gücünde motora sahip olan bu gemi, Del Proposto’nun geliştirdiği manyetik kavrama ile donatılarak daha verimli hale getirilmiştir. 81 ton olan eski sevk sistemi elemanlarının toplam ağırlığı, yeni sevk sisteminde 65 tona düşürülmüştür. Maksimum hız ise 8,0 deniz milinden 8,6 deniz miline yükselmiştir. 1904 yılında faaliyete geçen M/S Ssarmat, 1923 yılına kadar kullanılmıştır (Koehler ve Oehlers, 1998).

Buhar türbinli gemilerin yaygın olduğu 20. yüzyılın başlarında, yeni gelişmeye başlayan dizel motorların gemilere uygulanmasında ağırlık ve manevra kabiliyetinin sınırlılığı gibi problemlerle karşılaşılması sebebiyle, daha çevik bir sistem olan dizel elektrik sevk sistemleri denenmiştir. Yüksek ilk kurulum maliyetleri ve karmaşık sistem yapısı, bu sistemin dezavantajlarıdır (Aichele, 2007). Tornistan yapılabilen

dizel motorların geliştirilmesi ile birlikte, dönemin koşullarında önemini büyük ölçüde yitirmiştir.

Buna rağmen az da olsa bazı gemiler için dizel elektrik sevk sistemi ihtiyacı duyulmaya devam etmiştir. 1930’lu yıllarda yüksek tork ihtiyacı duyan buzkıran gemilerde dizel elektrik sevk sistemi kullanımı görülmektedir. Yine 1930’lu yıllarda döneminin en büyük yolcu gemisi olan 16500 tonluk, 7500 HP gücünde iki ana makineye sahip, 249 yolcu, 241 mürettebat kapasiteli “Patria” gemisi, dizel elektrik sevk sistemi ile donatılmıştır (Koehler ve Oehlers, 1998).

1980’li yılların ortasına denk gelen güç elektroniği alanındaki yenilikler ile birlikte tekrar yükselişe geçen dizel elektrik sevk sistemleri, günümüzde özellikle yolcu gemileri ve yük gemilerinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Gürültü kirliliğini ve vibrasyonu azaltması; çevresel örgütlerin, IMO (International Maritime Organization) ve devletlerin karbon ayak izi konularındaki sınırlamaları sebebiyle dizel elektrik sevk sistemlerinin önümüzdeki dönemlerde daha fazla tercih edilmesi kaçınılmaz olacaktır.

BÖLÜM ÜÇ

YENİLENEBİLİR ENERJİ TEKNOLOJİLERİNİN TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

Bu bölüm tekneler üzerine uygulanma potansiyeli olan yenilenebilir enerji teknolojilerini incelemektedir. Mevcut tez konusunu oluşturan güneş enerji sistemlerinden teknelerde en sık kullanılan sistemler olan fotovoltaik sistemlerin nasıl elektrik enerjisi ürettiklerini anlamak için fotovoltaik hücre yapısı irdelenmiştir.

3.1 Yenilenebilir Enerji Teknolojileri

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artarken yenilenebilir enerji çeşitliliği de teknolojik gelişmeler ile her geçen gün artmaktadır. Teknelerde kullanılacak yenilenebilir enerji kaynağı olarak fotovoltaik sistemlerin başı çektiği görülmektedir. Bunun yanında fotovoltaik termal sistemler, rüzgâr enerjisi, yakıt pilleri, biyokütle enerjisi ve dalga enerjisi de hibrit olarak veya tek başına gemi sevkini sağlama potansiyeli olan ve halen gelişmekte olan yenilenebilir enerji teknolojileridir.

3.1.1 Fotovoltaik (FV) Sistemler

Fotovoltaik sistemler girdi olarak sadece güneş enerjisini kullanarak güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen sistemlerdir. Fotovoltaik hücreler üzerine çarpan fotonlar, hücrelerin yapısında bulunan yarı iletken malzemeler üzerindeki elektronlara enerjisini aktararak elektronları hareketlendirir ve elektrik akımı oluşturmaktadır. Sistemde hiçbir hareketli parça bulunmamakta ve çevreye zarar vermemektedir.

Fotovoltaik hücre, fotovoltaik sistemin en küçük birimidir. Oldukça kırılgan yapıda olmakta ve kolayca korozyona uğramaktadırlar. Bununla birlikte bir fotovoltaik hücrenin çalışma gerilimi 0,5V civarında olduğundan dolayı, birçok uygulama için tek bir hücre kullanımı ihtiyacı karşılayamamaktadır. Çalışma voltajını kullanılabilir seviyeye getirmek için fotovoltaik hücreler iletken şeritler

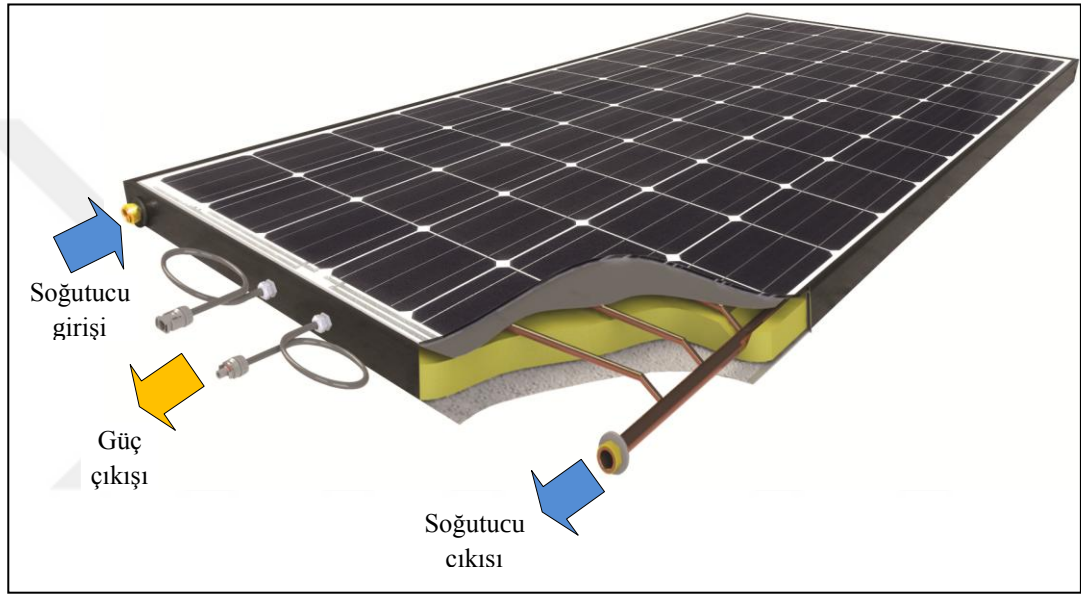
veya iletken plaka konektörler ile birleştirilerek lamine edilmekte ve modüller oluşturulmaktadır (Kammen, 2014). Kullanılan materyallere, hücre üretim teknolojisine ve laminasyon teknolojisine göre fotovoltaik paneller farklı performans karakteristikleri sergilemektedir (Kalogirou, 2009).

Fotovoltaik hücreler düşük güç tüketen saat, hesap makinesi gibi donanımlardan, yüksek enerji üretim kapasitesine sahip güneş enerji santrallerine kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Fotovoltaik sistemden elde edilen enerji harcanan enerjiden daha fazla ise, fazla enerji elektrik şebekesine bağlanarak ihraç edilebilmektedir. Bu sistemler şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler olarak adlandırılmaktadır. Bu sistemlerde fotovoltaik sistem için maliyeti yüksek olan kalemlerden akü kullanımı zorunluluğu bulunmamaktadır. Fazla enerji şebekeye gönderilebildiği gibi, fotovoltaik sistemin yetersiz geldiği durumda da şebekeden destek alınabilmektedir. Fotovoltaik sistemden elde edilen elektrik enerjisinin akülere depolandığı ve ihtiyaç halinde enerjinin buradan karşılandığı sistemler ise şebekeden bağımsız sistemler olarak adlandırılmaktadır. Bu sistemler daha çok elektrik şebekesinin ulaşmadığı konumlarda, güneş enerjili taşıtlarda ve karavan gibi gezici taşıtlarda evsel ihtiyaçları karşılamak için kullanılmaktadır. Ayrıca fosil yakıtlarla ve alternatif enerji kaynakları ile birlikte hibrit şekilde elektrik üretimi gerçekleştirilebilmektedir.

Fotovoltaik sistemlerin kullanım alanları düşen ve düşmeye devam eden fotovoltaik sistem maliyetleri ve artan çevre bilinci sayesinde giderek artmaktadır. Global anlamda ülkeler de enerji ihtiyaçlarını karşılamada yenilenebilir enerjiyi desteklemekte ve fotovoltaik sistemlere bu anlamda gereken ilgiyi göstermektedir. Fotovoltaik sistemlerin 30 yıl ve daha uzun ömürlü olmaları da avantaj sağlamaktadır. Son yıllarda artan fotovoltaik hücre verimleri ile ilgisini oldukça yükselten fotovoltaik sistemlerin, maliyetleri konusundaki sıkıntıların aşılması ile birlikte daha da geniş bir kitleye hitap edecektir.

3.1.2 Fotovoltaik Termal Sistemler (PV/T)

Fotovoltaik hücreler üzerine düşen ışınımın ufak bir kısmını elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir. Işınımın geri kalanı geri yansımakta ya da hücre içinde atık ısı olarak depolanmaktadır. Şekil 3.1’de örneklenen fotovoltaik termal (PV/T) sistemler, fotovoltaik sistemler ile aynı çalışma mantığında güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştürmektedir; fakat fotovoltaik sistemin üzerinde biriken atık ısıyı kullanılabilir ısıya dönüştürerek elektrik üretirken ısıdan da faydalanılmasını sağlar.



Şekil 3.1 Fotovoltaik termal sistem (Minimise Group, 2016)

Hücrelerde biriken atık ısı hücre verimini düşüren bir etken olmaktadır. Fotovoltaik sistemler ile düzenli soğutma uygulanan fotovoltaik modülün verimi optimum düzeye çıkarak toplam sistem verimini de arttırmaktadır. Hava ve su soğutmalı sistemler mevcuttur. Yüksek termofiziksel özelliklerinden dolayı su ile soğutmalı sistemler daha verimli olmaktadır. Buna rağmen, kolay kurulumları ve düşük maliyetleri sebebiyle hava soğutmalı fotovoltaik termal sistem kullanım örnekleri de görülebilmektedir (Tonui ve Tripanagnostopoulos, 2006).

Bina dış yüzeylerine entegre fotovoltaik termal sistemler ve çatı uygulamaları, fotovoltaik termal sistemlerin genel kullanım alanını oluşturmaktadır. Bina dış yüzeylerine entegre fotovoltaik termal sistemler, estetik özellikler göstermeleri

sebebiyle tercih edilebilmektedir. Son yıllarda yüksek verimli yoğunlaştırıcı fotovoltaik hücrelerin geliştirilmesi ile birlikte, %30 ve üzeri verimdeki fotovoltaik hücreleri soğutma ihtiyacı duyulmuş ve bu teknolojilere fotovoltaik termal sistemler entegre edilmiştir (Coutts, 1998).

3.1.3 Rüzgâr Enerjisi

Hava akımının rüzgâr türbini kanatlarına çarparak kanatları hareketlendirmesi ile kazanılan mekanik enerji, jeneratörler ile elektrik enerjisine çevrilerek rüzgâr enerjisi oluşmaktadır. Rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içinde temiz bir enerji oluşu ve geniş bir alanda uygulanabilirliği ile küresel enerji pazarında oldukça yüksek bir potansiyele sahiptir. Son 25 yıldaki güç elektroniği, aerodinamik ve mekanik alanlarındaki teknolojik gelişmeler ile birlikte rüzgâr türbini pazarı da büyüme göstermiştir. Sadece 2014'ten 2015 yılı sonuna kadar dünya genelinde rüzgâr türbini kapasitesi %17 artarak 432.883MW'a ulaşmıştır (GWEC, 2015).

Rüzgâr enerjisinde off-shore türbin platformları ve küçük ölçekli şebeke bağlantılı türbinler giderek popülerlik kazanan eğilimler olarak karşımıza çıkmaktadır. Yine de rüzgâr enerji sistemleri her konumda teknik açıdan uygulanamamaktadır. Rüzgâr hızının güçlü ve sabit olduğu bölgeler rüzgâr santralleri için uygun bölgeler olmaktadır.

Rüzgâr enerjisinin teknelere uygulanması konusunda da birtakım dezavantajlı durumlar mevcuttur. Öncelikle rüzgâr, net olarak öngörülemeyen bir enerji kaynağıdır. Bu sebeple teknelerde enerji üretiminin sürekliliği hakkında garanti verememektedir. Ayrıca seyir sırasında rüzgar türbininin kanatlarına çarpan rüzgâr direnç oluşturarak tekne sevk verimini düşürmektedir. Güneş enerjili teknelere hibrit olarak kullanılması belli koşullarda enerji verimini arttırabilmektedir; fakat bu konudaki çalışmalar oldukça sınırlıdır.

3.1.4 Yakıt Pilleri

Yakıt pilleri, yakıtın kimyasal enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren elektrokimyasal reaktörlerdir. Konvansiyonel jeneratör sistemlerinde meydana gelen enerji dönüşüm basamakları aradan kaldırılarak doğrudan bir dönüşüm gerçekleştiği için termodinamik verimi yüksektir. Genel olarak hidrojen yakıtı kullanılmaktadır. Çıktı olarak elektrik enerjisinin yanı sıra su ve bir miktar ısı açığa çıkmaktadır. Yakıt pilleri anot ve katot olmak üzere iki elektrottan oluşmaktadır. Elektrik enerjisi bu elektrotlardaki elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşmaktadır. Bu reaksiyon sonucunda pil içinde oluşan gerilim miktarı 1V civarındadır. Daha yüksek gerilim ve çıkış akımı elde edebilmek için yakıt pilleri seri veya paralel bağlantılı olarak birleştirilerek yakıt modülleri oluşturulmaktadır.

Yakıt pilleri sıfır veya sıfıra yakın sera gazı salımı üretmeleri, modülerlik, yüksek verim, uzun ömürlülük gibi avantajlara sahiptir. Yakıt pili üretim teknolojilerinin geliştirilmesi, gelişmiş materyallerin üretilmesi, maliyetlerin azaltılması ve hidrojenin depolanması konularında çalışmalar devam etmektedir (Saygılı, 2013). Yakıt pillerinin kullanım alanları yıllarca sessizliği sebebiyle askeri uygulamalarla kullanılmıştır. Maliyetlerin azalması ile birlikte elektrikli taşıtlarda, hibrit sistemlerde, taşınabilir aletlerin bataryalarında vb. kullanım alanı bulmuştur.

3.1.5 Biyokütle Enerjisi

Biyokütle organik yapısı sebebiyle birçok uygulamada hammadde olarak kullanılabilir. Organik, yanma özelliğine sahip her türlü madde biyokütle olarak tanımlanmaktadır. Biyokütlelerden elde edilen enerji literatürde biyoenerji olarak adlandırılmaktadır (Jenkins ve diğer., 1998).

Modern çağda özellikle atık konumundaki biyokütle fiziksel, kimyasal, termokimyasal ve biyolojik proseslerle işlenerek enerji yoğunluğu artırılarak kullanılır (Üçgül ve Akgül, 2010). Biyoenerji üretimi için tarımsal atıklar, orman kalıntıları, otsu ekinler, otlar, yosunlar, algler, hayvan dışkıları, gübre ve sanayi

atıkları, evsel organik atıklar, katı atıklar ve endüstriyel atıklar kaynak oluşturmaktadır (YEGM, 2012). Biyoenerji dünyanın biyosfer tabakası üzerindeki her yerde bulunabilmekte ve daha da önemlisi kendini sürekli yenileyebilmektedir. Tükenmez bir kaynak olması, her yerde elde edilebilmesi, özellikle kırsal alanlarda tarım ve hayvancılık sonucu oluşan artıklardan sosyo-ekonomik katkı sağlanabilmesi nedenleriyle önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir (Dadenov, 2015).

3.1.6 Dalga Enerjisi

Dünyanın %70'inden fazlası denizlerle kaplıdır. Bu yüzden denizlerimiz yüksek potansiyel taşıyan alternatif enerji kaynakları olmaktadır. Denizlerden elde edilebilecek yenilenebilir enerji potansiyeli dalga enerjisinin kullanılmasıyla mümkün kılınabilmektedir. Dalga enerjisinin güç yoğunluğu, rüzgâr ve güneşten elde edilecek güç yoğunluğundan daha fazladır (Özkop, 2012). Rüzgâr kaynaklı oluşan dalgaların ilerlemeleri sırasında kinetik enerjilerinin bir kısmı Şekil 3.2'de görülen dalga enerjisi dönüştürücüleri tarafından elektrik üretimi, tatlı su üretimi gibi faydalı işlere çevrilmektedir.



Şekil 3.2 Dalga enerjisi dönüştürücüsü (Carnegie Wave Energy, 2015)

Dalgalar enerjisinin çok az bir kısmını kaybederek çok uzun mesafeler kat edebilmektedir. Deniz yüzeyine, hava koşullarına, kıyı yapısına ve mevkisine göre dalgaların periyodik karakteristikleri ve şiddetleri değişim göstermektedir. Ayrıca belirli bir bölge için dalga karakteristikleri mevsimsel, günlük ve saatlik değişimler gösterebilmektedir. Buna rağmen güneş ve rüzgâr enerjisi zamanın %20-30'unda enerji üretiyorken, dalga enerjisi ile tasarım ve kullanım yerine göre %90'ına varan oranında enerji üretimini mümkün kılmaktadır (Özkop, 2012).

3.2 Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı

Fotovoltaik hücreler üzerlerine düşen foton enerjisi ile pozitif ve negatif yükler meydana getirerek fotoakım oluşturan; böylece güneş enerjisini kullanılabilir doğru akım elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır (Altaş, 1998).

Fotovoltaik hücre basit anlamda tek harcamı ışık olan güneş enerjisi ile çalışan bir pildir. Hücre üzerine çarpan güneş ışınımının tamamı, hücre tarafından enerjiye dönüştürülemez. Hücreden üretilen elektrik enerjisi miktarının, hücre üzerine düşen ışınım miktarına oranına hücre verimi denir. Hücreler birleştirilip birbirlerine lamine edildikten sonra elde edilen verime ise panel verimi veya modül verimi adı verilmektedir. Bir fotovoltaik hücrenin veya modülün performansı verimi ile ölçülmektedir. Fotovoltaik piller genel olarak dalga boyları belli enerji düzeyinin üzerindeki fotonları elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir. Geriye kalan ışık enerjisi ya hücre tarafından ısı olarak soğurulmakta ya da yansımaktadır.

Fotovoltaik piller fotovoltaik ilkeye göre çalışmaktadır; yani iki yarı iletken maddenin yüzeyleri üzerine düşen fotonlar, yarı iletkenlerin uçları arasında gerilim oluşturmaktadır. Bu uçlar bir dış devreye bağlandığında devre üzerinden akım akmaya başlamaktadır.

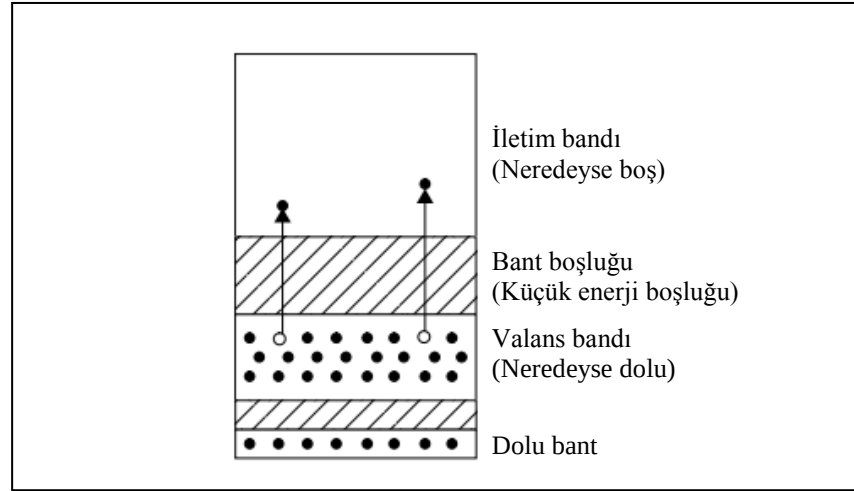
3.2.1 Yarı İletken Malzemeler

Elektrik iletkenliği yalıtkanlar ve iletkenler arasında kalan malzemelere yarı iletken denilmektedir. İletken malzemelerden metallerin iletkenliği $10^7 (\Omega.m)^{-1}$ iken, yalıtkan malzemelerin iletkenliği 10^{-10} ile $10^{-20} (\Omega.m)^{-1}$ arasında değişmektedir. Yarı iletken malzemelerin iletkenliği ise 10^{-6} ile $10^4 (\Omega.m)^{-1}$ arasındadır.

Bir fotovoltaiik hücre iki veya daha fazla ince yarı iletken katmanın bir araya gelmesi ile oluşur. Yarı iletken malzeme olarak en fazla silikon ve galyum arsenit, kadmiyum tellürid, indiyum fosfid bileşikleri kullanılmaktadır (Meral ve Dinçer, 2011). Bunların yanında bakır oksit, indiyum, titanyum dioksit, çinko oksit gibi yarı iletkenler de güneş pili yapımında kullanılabilmektedir.

3.2.2 Enerji Bantları

Çok sayıda enerji seviyesine sahip bir atomda, çekirdeğe yakın olan elektronları koparmak için oldukça yüksek bir enerji gereklidir. Tekil haldeki atomların enerji seviyeleri, atomlar bir araya geldiklerinde enerji bantlarına ayrılır. Çekirdeğe en uzakta kalan elektronlar, diğer atomlarla bağlantı halindedir. Bu valans elektronları dolu bir bantın üzerinde valans bandını oluştururlar. Valans elektronları çekirdeğe zayıf bir bağ ile bağlandıklarından, komşu atomlara negatif yüklerini vererek rahatça bağlanabilirler. Valans bandındaki bazı elektronlar yüksek miktarda enerji kazanarak bir üst bant olan iletim bandına sıçrayabilirler. Bu elektronlar ısı ve elektriğin iletimini sağlarlar (Kalogirou, 2009). İletim bandı ile valans bandı arasında geçiş için gereken enerji farkının yarattığı boşluğa da bant boşluğu adı verilir. Yarı iletken malzemelerde görülen enerji bandı karakteristiği Şekil 3.3'te gösterilmiştir (Meral ve Dinçer, 2011).



Şekil.3.3 Yarı iletken malzemelerde enerji bantları (Kalogirou, 2009)

Her yarı iletken malzeme fotovoltaiik hücre üretiminde kullanılabilir. Yarı iletkenleri iyi veya kötü olma ayrımını belirleyen özelliklerden biri yarı iletkenin bant boşluğudur. Güneş pili üretiminde en çok kullanılan malzeme 1.12eV bant boşluğuna sahip silikon olmasına karşın, Galyum Arsenit (GaAs) ve Kadmiyum Tellürid (CdTe) gibi malzemeler 1.5eV'a ulaşan bant boşluğuna sahiptirler. Bu durum GaAs ve CdTe ile üretilen güneş hücrelerinin teorik olarak daha verimli olduğunu göstermektedir (Çapar, 2005)

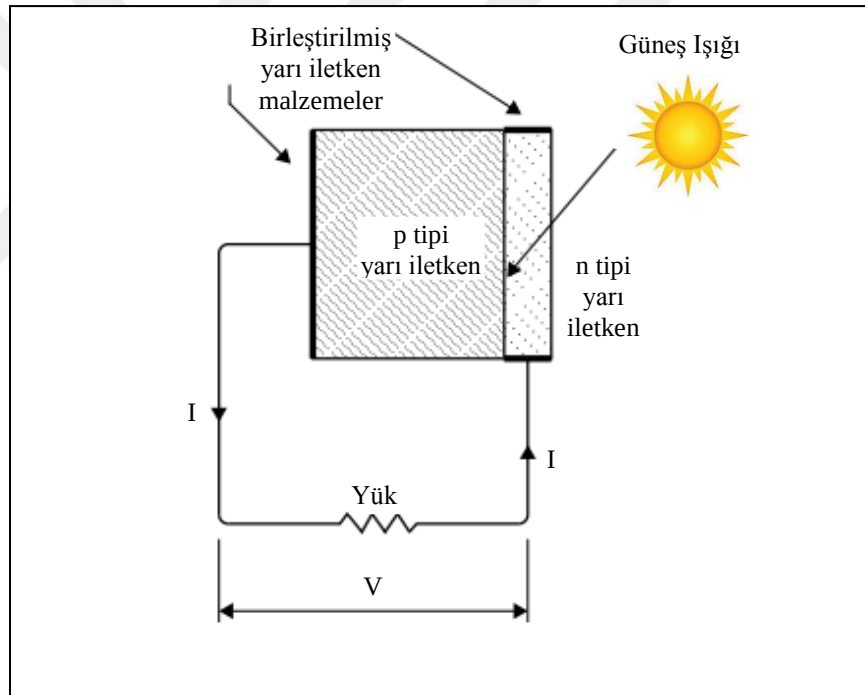
3.2.3 P-N Bitişimi

Yarı iletkenler kendi valans boşluğundan daha fazla elektrona sahip bir malzeme ile katkılandırılırsa N tipi yarı iletken adını alır. Bu tip yarı iletkenler yapısında elektrik iletimini sağlayacak fazla elektron bulundurulur. Yarı iletken olarak periyodik cetvelin 4A grubu elementlerinden Silikon (Si) seçildiğini varsayarsak, Silikon atomları 5A grubu elementlerinden Fosfor (P), Arsenik (As) ve ya Antimon (Sb) ile katkılandırıldığında n tipi bir yarı iletken elde edilmiş olur (Kalogirou, 2009).

Yarı iletkenler kendi valans boşluğundan daha az elektrona sahip bir malzeme ile katkılandırılırsa P tipi yarı iletken adını alır. Bu tip yarı iletkenlerin yapısında fazla elektronları yerleştirebileceği pozitif boşluklar vardır. Silikon atomuna periyodik

cetvelin 3A grubu elementlerinden Galyum (Ga), İndiyum (In) veya Boron (B) ile katkılandırılması ile oluşur (Kalogirou, 2009).

Fotovoltaik hücreler güneşe bakan tarafı negatif, diğer tarafı pozitif olacak şekilde P ve N tipi yarı iletkenlerin bitleştirilmesi ile bir elektrik alan oluşturur. İki malzeme birleştirildiğinde N tipi yarı iletkendeki fazla elektronlar P tipindeki boşluklara sıçrar. Aynı zamanda P tipi yarı iletkenin pozitif yükleri de N tipi yarı iletkenine kayar. P tipi yarı iletkenindeki negatif yükler, N tipi yarı iletkeninden gelecek daha fazla elektronun hareketine engel olur. Buna karşın N tipi yarı iletken, üzerindeki pozitif yüklerden dolayı P tipi yarı iletken üzerinden daha rahat elektron çeker. Bu durumda P-N bitişimi diyot gibi davranmış olur (Kalogirou, 2009).



Şekil 3.4 Fotovoltaik etki ile elektrik akımı oluşumu (Kalogirou, 2009)

Bir güneş pili üzerine bir foton demeti düştüğünde, fotonun enerjisi pilin valans bandında bir elektron ve delik çifti oluşturur. Elektron bu durumda kinetik enerji harcayarak kendisini iletim bandına taşımaya çalışır. Bant boşluğundan daha küçük enerjili fotonlar valans elektronuna çarptığı durumda, elektron iletim bandına sıçrayamaz ve enerji ısı enerjisine dönüşür. Eğer bant boşluğundan daha büyük bir foton valans elektronuna çarparsa, elektron fotonu absorbe ederek iletim bandına

sıçrar. Elektron-delik çiftinin oluşturacağı elektrik alan yüklerin ayrışmasına; elektronların N tipi tarafına ve deliklerin P tipi tarafına hareket etmesini sağlar (Kalogirou, 2009). Eğer Şekil 3.4 ile gösterildiği gibi N ve P tipi yarı iletkenler birbirine bağlanarak arasına bir yük konulursa, artık yeterli güneş ışığı geldiği sürece elektrik akımı sağlanacaktır (Meral ve Dinçer, 2011).



BÖLÜM DÖRT

GÜNEŞ ENERJİLİ TEKNELERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ SAĞLAYAN SİSTEMLERİN İNCELENMESİ

Bu bölümde güneş enerjili teknelerde enerji verimliliği sağlayacak sistemlerin incelenmektedir. Bu bağlamda güneş panellerinin karakteristiklerinden yararlanılması ile ve yeni fotovoltaik teknolojilerin kullanılması ile sağlanabilecek kazanımlar ilk olarak incelenmiştir. Daha sonra tekne üzerinde kullanılacak akü gruplarında yeni teknolojilere yönelimin sağlayacağı teknik ve ekonomik analizler sunulmuştur. Panellerden akülere verimli şekilde enerji depolanmasını sağlayan maksimum güç noktası takipçilerinin (MPPT) takip metotları ve verimlilik kıyaslamaları incelenmiştir. Yüksek verimli elektrik motoru kullanımının enerji verimine etkisi ve sağlanabilecek mali tasarruf miktarları ortaya konmuştur. Son olarak tekne elektrik sisteminde kullanılan kablo kabloların boy ve kesit gibi özelliklerinin enerji verimine etkisi incelenmiştir.

4.1 Güneş Panellerinde Enerji Verimliliğinin Arttırması

Güneş enerjisinden enerji elde edilmesi konusundaki çalışmalar 1970’li yıllardan sonra hız kazanmıştır. Güneş enerjisi sistemleri, fotovoltaik ve termal sistemlerin ortaya çıkması ile birlikte teknolojik açıdan ilerleme ve maliyetlerde düşüş göstermiş, çevreci, temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir (YEGM, 2015). 2008 yılından bu yana tek bir fotovoltaik panelin fiyatı Watt başına %75 düşüş göstermiş; aynı zamanda panelden alınan güç miktarı da ciddi oranda artmıştır. Bir başka örnek olarak, 2012 yılında üretilen güneş panellerinin fiyatı, 1979’da üretilen güneş paneli fiyatının %1’i kadardır (Kammen, 2014).

Fotovoltaik enerjinin dünya üzerindeki potansiyeli oldukça büyüktür. Yapılan çalışmalara göre, tüm insanlık tarihinde harcanacak elektrikten 10 kat daha fazla üretilbileceği öngörülmüştür (Duke ve Kammen, 1999). Buna rağmen, güneş enerjisinin küresel enerji pazarındaki payını artırma çabaları, teknolojik ve finansal zorluklar sebebiyle sektöre ugramaktadır.

Fotovoltaik sistemler için hem ekonomik açıdan daha az maliyete sahip olacak hem de enerji verimi açısından güneş pillerinin verimini yükseltecek inovatif yaklaşımlar gelişmektedir. Bu sayede fotovoltaik sistem uygulamalarının artması ve yeşil enerjinin yaygınlaşması beklenmektedir.

Fotovoltaik güç üreten paneller, güneş hücrelerinin yanı sıra mekanik ve elektriksel bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Panelin güç birimi, açık bir havada panele doğrudan gelen güneş ışınları ile üretilebilecek elektriksel güç miktarını ifade eden kilowatt pik (kW_p)'tir.

Güneş enerjili teknelerde güneş panellerinin enerji verimi birçok etmene göre değişebilmektedir. Hava koşulları, deniz koşulları, fotovoltaik sistem üzerindeki teknolojiler ve panel sıcaklığı gibi etmenler fotovoltaik sistemleri olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

4.1.1 Güneş Pillerine Sıcaklığın Etkileri

Bir fotovoltaik sistemden elde edilebilecek güç miktarı, birçok dış çevre koşuluna göre etkilenebilmektedir. Hücre sıcaklığı, sistem verimini önemli derecede etkileyen bir parametredir. Buna ek olarak ışık şiddeti ve ortam sıcaklığı da sistem verimine etki etmektedir (Meral ve Dinçer, 2011).

Bir güneş pilinin verimini arttırmak için pilin karakteristik özelliklerinden faydalanılabilir. Literatürde güneş pillerinin sıcaklık ile ilişkisini, güneş pili sıcaklığının düşürülmesi ile kazanılabilecek enerji miktarlarını ve pil verimi artışlarını ortaya koyan çalışmalar mevcuttur.

Öztürk (2014) çalışmasında, tasarladığı soğutma sistemi üzerine fotovoltaik modül monte ederek modül altında sızdırmaz kapalı bir hacim oluşturmuştur. Modül altı soğutulmuş elde edilen verimi minimum 14,9°C sıcaklığında %12 ve 51,3°C sıcaklığında %10,7 olarak hesaplamıştır.

Ceylan ve diğer. (2014), hibrit fotovoltaik termal su sistemleri üzerindeki fotovoltaik modül verimlerini incelemiştir. Bu sistemde soğutma suyu, elektrik üreten fotovoltaik modülü alt kısmından bir ısı değiştirici yardımı ile soğutarak, kazandığı ısı ile birlikte güneş kolektörüne girer. Burada atık ısı, evsel sıcak su ihtiyacını karşılayarak verimli hale gelmektedir. Basit bir soğutma sistemi ile soğutulan modülün verimi ise %10 değerinden %12 - %16 arası değişen verim değerlerine ulaşmaktadır.

Croitoru ve Badea (2013), ellerindeki mevcut güneş panellerinin altına bir ısı değiştirici monte ederek Bükreş hava koşullarında ne kadar enerji kazanabileceklerinin teorik hesaplamalarını yapmışlardır. Soğutma sistemi olmadan elde edilen yıllık enerji miktarı 4208 MWh/yıl olan bir fotovoltaik sistemden, harcanacak ekstra enerji miktarları çıkartıldığında 200 kWh/yıl enerji kazancı elde edileceği sonucuna varmışlardır.

Chandrasekar ve diğer. (2013) çalışmasında, bir fotovoltaik modül altına su ile ıslatılmış pamuk fitili sarmal bir şekilde yerleştirerek pasif soğutma sağlamıştır. Çalışma sonucu, %9 olan soğutmasız modül veriminin pasif soğutma ile maksimum %10,4 verim değerini görebildiğini kanıtlanmıştır.

Moharram ve diğer. (2013), eğik bir fotovoltaik modül için hazırladıkları düzenek ile modül üzerine su damlacıkları sıkarak hücreleri doğrudan soğutmuşlardır. Sistemin 5 dakika çalışması sonucu güneş pilleri sıcaklıkları 10°C düşmüştür. Bu durum aynı zamanda %10,5 olan enerji verimini %12'ye çıkarmıştır.

Bahaidarah ve diğer. (2013) çalışmasında sıcak iklim koşullarında fotovoltaik modüllerin arka yüzünün soğutulması ile gerçekleşen verim değişimini incelemiştir. Modülün üretebildiği maksimum gücün güneş ışıını ve sıcaklık ile değişim gösterdiğini açıklayarak, modül soğutmanın kendi düzenekleri için %10 verim artışı sağladığını bildirmişlerdir.

Sıcaklık, hücre verimini ve dolayısıyla çıkış gücünü doğrudan etkileyen bir faktördür. Denklem 4.1’de verilen Shockley diyot denklemi (diyot kanunu) ile diyot özelliği gösteren fotovoltaik hücrelerin I-V karakteristiğinden sıcaklık ile ilişkisi görülebilmektedir.

$$I = I_S(e^{\frac{qV_{AD}}{kT}} - 1) \quad (4.1)$$

Burada;

I: Hücre üzerinden geçen net akım (mA),

I_S : Işık olmadığı durumda oluşan ters doyma akımı (mA),

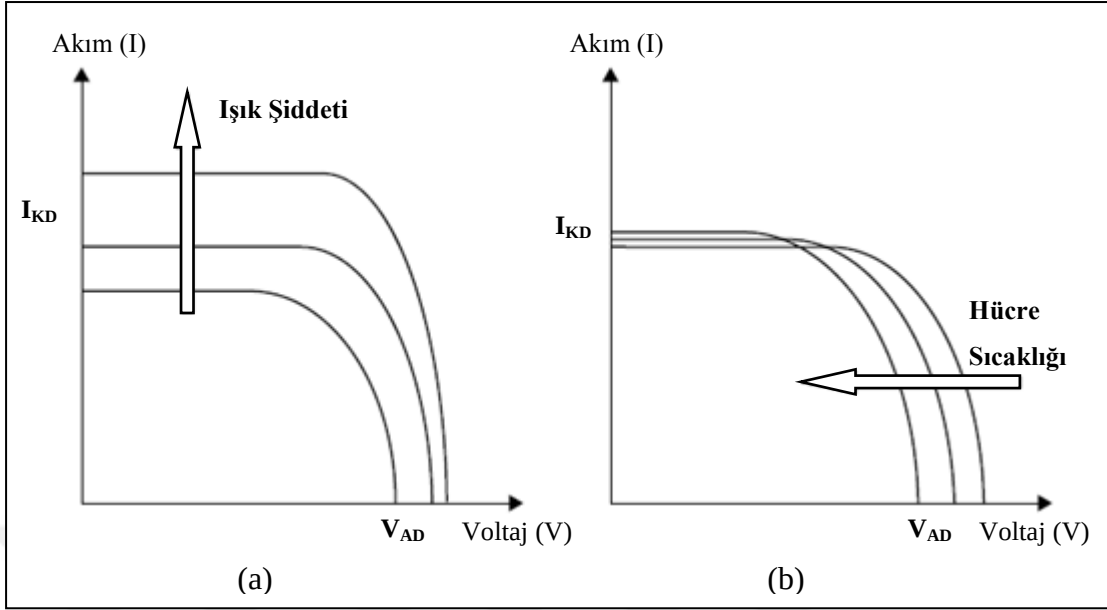
q: Elektron yükü ($1,60 \times 10^{-19}$ V),

V_{AD} : Devrede yük yokken hücrenin bağlantı uçları arasındaki gerilimi (V),

k: Boltzmann sabiti ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

T: Sıcaklıktır (K).

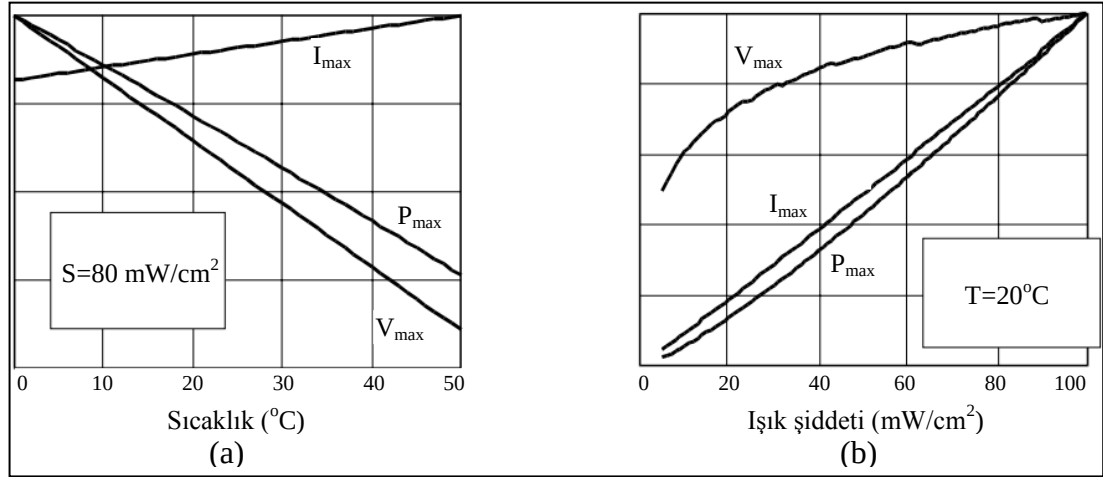
Ters doyma akımı, I_S , fotovoltaik hücreler için sabit olmayıp sıcaklık ile birlikte değişim göstermektedir. Sıcaklık yükseldikçe, yarı iletkenin bant boşluğu daralmaktadır. q/kT diyot faktöründen hareketle p-n bitişiminin gerilim-sıcaklık ilişkisine bağlı olarak açık devre voltajında (V_{AD}) düşüş meydana gelmektedir. Bu gerilim, hücre veya panelin standart test koşulları altında artı ve eksi çıkış uçları arasında herhangi bir yük yokken, yani herhangi bir akım akmazken ölçülen açık devre gerilimidir. Aynı fotoakım verilmeye devam edildiğinde, elektronlar daha düşük potansiyelde taşınacağı için çıkış gücü de daha düşük olacaktır. Ayrıca sıcaklık artışı ile birlikte yarı iletkenin bant boşluğunun daralması, valans bandından iletim bandına geçecek yük miktarını arttıracığından kısa devre akımında (I_{KD}) artış sağlayacaktır (Meral ve Dinçer, 2011).



Şekil 4.1 Işık şiddeti ve hücre sıcaklığının FV hücre karakteristiğine etkisi (a) Işık şiddetinin artması sonucu oluşan etki ve (b) hücre sıcaklığının artması sonucu oluşan etki (Kalogirou, 2009).

Işık şiddeti ve hücre sıcaklığının, güneş hücresinin I-V karakteristiğine etkisi Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Şekil 4.1(a)’da görüldüğü üzere ışık şiddetindeki artış açık devre voltajını logaritmik olarak arttırırken kısa devre akımını da lineer olarak arttırmıştır. Şekil 4.1(b) ise hücre sıcaklığındaki artışın açık devre voltajını lineer olarak düşürdüğü görülmektedir. Kısa devre akımında ufak bir miktar artış görülse de, açık devre voltajındaki düşüş hücre verimini azaltmaktadır (Kalogirou, 2009).

Bu durum Altaş (1998)’ın yaptığı çalışmada Şekil 4.2’de bulduğu verilerle daha iyi görülebilmektedir. Şekil 4.2(a), ışık şiddetinin sabit olduğu bir ortamda hücre sıcaklığının artması ile birlikte oluşan maksimum akım (I_{max}) değerindeki artışa karşın maksimum gerilim (V_{max}) değerindeki düşüşü ve bunun sonucu olarak da maksimum elde edilebilecek gücün (P_{max}) düştüğünü göstermektedir. Şekil 4.2(b)’de ise sabit 20°C sıcaklıktaki bir ortamda ışık şiddetinin artması ile birlikte maksimum akım, gerilim ve güç değerleri birlikte artmaktadır (Altaş, 1998).



Şekil 4.2 Bir fotovoltaik pilin I_{max} , V_{max} ve P_{max} değerlerinin (a) sıcaklığa göre ve (b) ışık şiddetine göre değişim grafikleri (Altaş, 1998)

Bir güneş modülünün çıkış gücünü arttırabilmek için modül sıcaklığının düşürülmesi gerekir. Soğuk ve güneşli bir ortam fotovoltaik güneş pilleri için en uygun ortamdır. Sıcak bir ortamda ise soğutma sistemlerinin kullanımı modül veriminde artış sağlayacaktır.

Sıcaklığın sistem verimine etkisi, kristal silikon bazlı güneş modüllerinin doğal karakteristiklerinin bir sonucudur. Sıcaklık düştükçe çıkış gerilimi ve gücü artmaktadır. Sonuç olarak, tekne üzerinde bulunacak güneş panellerine uygulanan bir soğutma sistemi, panel verimini önemli ölçüde arttırma potansiyeline sahip olacaktır.

4.1.2 Yüksek Verimli Güneş Paneli Kullanımı

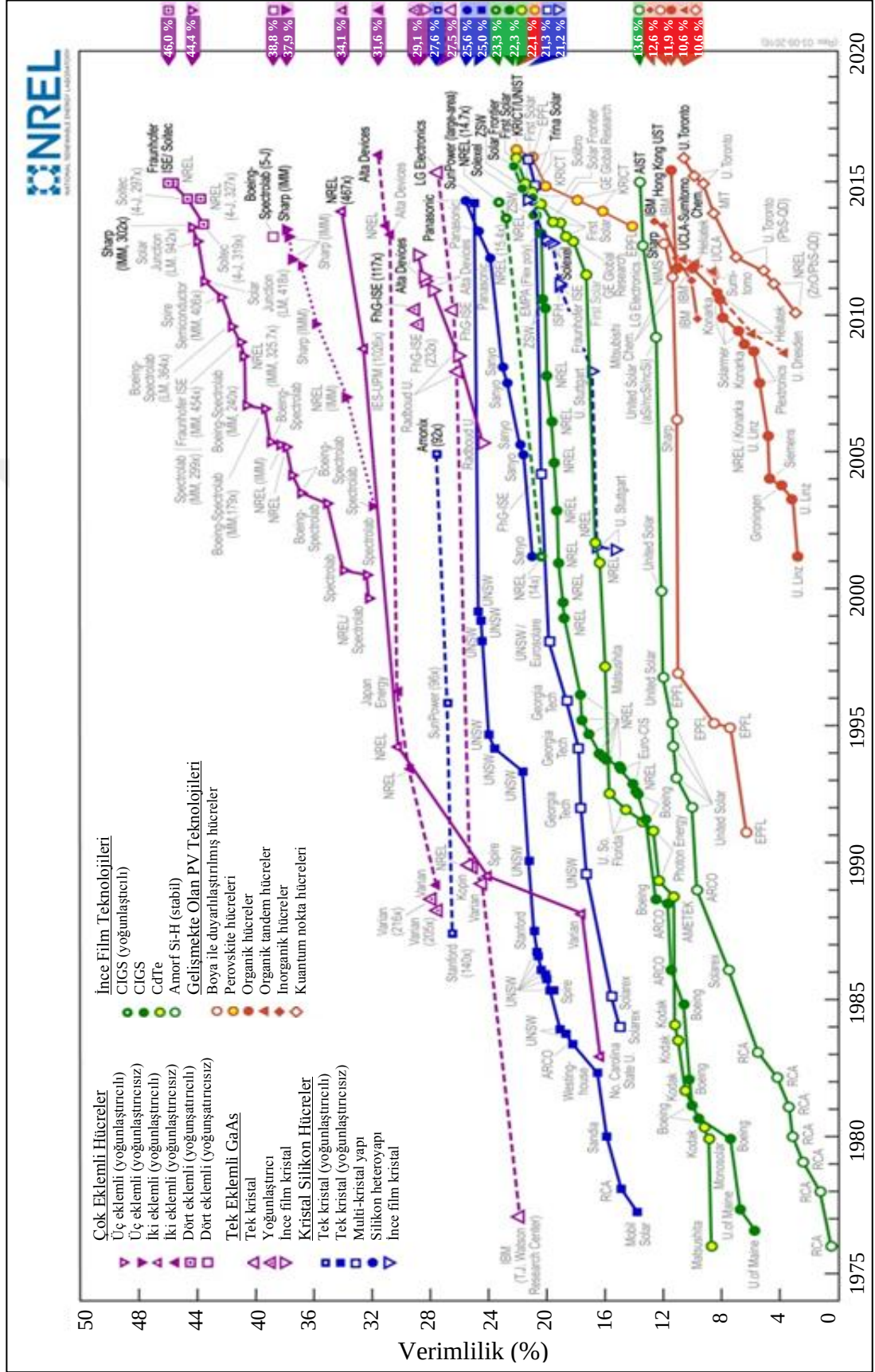
19. yüzyılda varlığı kanıtlanan fotovoltaik enerji, 1970'li yıllardan sonra fotovoltaik enerji teknolojilerinde büyük bir atılım göstererek yüksek verim değerlerine çıkabilmiştir. Günümüzde kristal yapılı silikon güneş pillerinin maksimum verimi %25,6 değerine kadar çıkmıştır (Hicks, 2016). Çift eklemler birleşimler yapılarak elde edilen silikon bazlı güneş pillerinin verim değerleri silikon piller için teorik olarak belirlenmiş olan %29,4 teorik maksimum güneş pili verimini (Shockley ve Quisser, 1961) aşmıştır. Son olarak 2014 yılı Aralık ayında, 4 eklemler

birleşim yapılarak %46 verime ulaşan kristal yapıdan farklı güneş pilleri de üretilmiştir.

Fotovoltaik etki ilk olarak 1839'da Alexander Edmond Becquerel'in platin plakalar üzerinde yaptığı bir çalışmayla saptanmıştır. 1873 yılında Willoughby Smith'in selenyumun içindeki fotoiletkenliği keşfederek ilk fotovoltaik düzeneği oluşturmuştur. Charles Fritts ise, 1883'te selenyumu kullanarak ilk fotovoltaik pili oluşturmuştur. 1954'te %6 verimli, 1957'de ise %8 verimli silisyum güneş pilleri geliştirilmiştir. 1958'de ise, Hoffman (Siemens) Elektronik tarafından üretilen %9 verimli silisyum güneş pilleri, Vanguard I isimli uzay aracında kullanılmıştır. 1960 yılında Hoffman Elektronik bu pillerin verimini %14'e çıkartmıştır (Orton, 2006). 1970 yılında Zhores Alferov, Galyum Arsenit (GaAs) fotovoltaik hücreler geliştirmiştir. 1970'lerin sonlarına denk gelen dönemde ortaya çıkan petrol krizi ile birlikte başlayan alternatif enerji kaynakları arayışı, güneş pillerinde de etkisini göstermiştir.

Şekil 4.3, Amerikan Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) verilerine göre 1975 yılı ve sonrasında güneş hücrelerinde kullanılan malzeme teknolojileri için ulaşılan maksimum verim değerlerini göstermektedir. 1980'li yıllardan beri yapılan yatırımlar geri dönüş olarak yükselen bir verim grafiği çizmekle beraber organik hücreler, inorganik hücreler ve Perovskite hücreleri gibi farklı teknolojik gelişmeleri de tetiklemiştir.

Güneş hücrelerinin yüzey yapısında yapılan geliştirmeler ve hücre içine doldurulan malzemelerin hacimce azaltılması vb. geliştirmeler de güneş pili performanslarını arttırmıştır. Optik olarak, yüzeydeki yansımanın azaltılması ve ışığı hapsedme özelliklerinin geliştirilmesi de güneş pillerinde verimi arttıran etmenler olmuşturlardır.



Şekil 4.3 Yıllara göre güneş pillerindeki verim değerleri değişimi (NREL,2016)

Fotovoltaik güneş hücreleri teknolojik gelişim süreçlerine göre aşağıdaki gibi sınıflara ayrılmaktadır:

- **1. nesil fotovoltaik hücreler;** ilk üretilen hücreler olması sebebiyle bu grupta yer almışlardır. Silikon veya Germanyum'un Fosfor ve Boron ile bitleştirilmesi sonucu oluşan tek kristalli, çok kristalli ve wafer temelli silikon hücreler bu gruba girmektedir. Üretim kolaylığı ve göreceli olarak yüksek verimleri sebebiyle piyasanın büyük bir çoğunluğunu elinde bulundurmaktadır. Buna rağmen üretimlerinde saf silikon kullanılma ihtiyacından kaynaklı yüksek enerji ihtiyacından dolayı, ürettikleri güce kıyasla hücre fiyatları yüksektir. (Doğan, 2014)
- **2. nesil fotovoltaik hücreler;** ince film teknolojisinin geliştirilmesi ile ortaya çıkan hücreleri kapsamaktadır. 1-2 mikrometre kalınlığındaki tabakalara yarıiletkenlerin yerleştirilmesi ile ince film piller oluşturulmaktadır. Polikristal silisyum, amorf silisyum(a-Si), kadmiyum tellür(CdTe) ve bakır indiyum diselenid(CIS) güneş pilleri bu grupta yer almaktadır. İnce film teknolojisi ile üretim maliyetlerinin düşürülmesine karşın, panel verimlerinin düşük olması yaygınlaşmasını engellemiştir. Fakat son 5 yılda ortaya çıkan gelişmelere bakarak, verim olarak ihtiyacı karşılayabilecek ince film pillerin piyasada varlık gösterebileceği öngörüsü yapılabilmektedir. Seri üretime elverişli olmaları, büyük ebatlarda üretilebilir olmaları ve hücreler arası bağlantıların daha kolay yapılabilmesi ince film pillerin maliyetlerinin düşürülmesine yardımcı olmaktadır.
- **3. nesil fotovoltaik hücreler;** yarı iletken maddelerin düzgün şekilde üst üste eklenerek çoklu katlar oluşturulması ile verim artışı gözlenmesi ile ortaya çıkmışlardır. Nanoteknoloji ile birlikte gelişen kuantum nokta teknolojisi de, 3. nesil fotovoltaikler üzerindeki çalışmaları hızlandırmaktadır. Boya ile duyarlılaştırılmış güneş pilleri (DSSC), maliyetinden dolayı daha çok uzay çalışmalarında kullanılan yüksek verimli ve yoğunlaştırılmış galyum arsenit (GaAs) piller ve organik piller bu grupta yer almaktadır (Ceppi, 2012).

Güneş pillerinin yanı sıra güneş paneli üreticileri de tam bir ayrımdan bahsetmek zor olsa da endüstriyel kabullere göre aşağıdaki gibi derecelendirilmişlerdir:

- **1. derece (Tier I)** panel üreticileri, fotovoltaik marketin en üst %2 içinde yer alan şirketlerden oluşmaktadır. Bu şirketler ar-ge çalışmalarına yüksek yatırımlar yapmakta, ileri robotik teknolojiler kullanmakta ve 5 yıldan fazladır güneş paneli üretimi yapmaktadırlar. En iyi kalite silikon kullanılan bu şirketlerin ürettikleri piller de daha uzun ömürlü olmakta, performansları yüksek olmakta ve performansa göre makul fiyatlar sunabilmektedir.
- **2. derece (Tier II)** panel üreticileri, ar-ge çalışmalarına fazla yatırım yapamayan ve üretim sırasında robotik kullanımının yanı sıra manuel operasyonların da yapıldığı şirketleri kapsar. Genel olarak 2-5 yıldır panel üretimi yapmakta ve iyi fiyatlara orta kalite paneller sağlamaktadırlar.
- **3. derece (Tier III)** panel üreticileri ise, fotovoltaik panel üreticilerinin yaklaşık %90'ını oluşturmaktadır. Bu üreticiler daha çok kendilerinin üretmedikleri güneş pillerini alıp birleştirerek panel imal etmektedirler. İnsan gücünden çok fazla faydalanan bu üreticilerin ürettikleri paneller, performans açısından günden güne ve operatörden operatöre değişebilmektedir (Energymatters, 2016).

Alan sorunu olmayan bir kara tesisinde ihtiyaç duyulan enerjinin, yüksek verimli ve ilk kurulum maliyeti yüksek güneş panelleri ile karşılanma zorunluluğu bulunmamaktadır. Daha düşük verimli ve maliyeti daha düşük olan paneller de enerji ihtiyacını karşılayabilecektir. Burada önemli olan husus güneş paneli yerleşim alanının yeterliliğidir. Panel verimi azaldıkça, ihtiyacı karşılamaya yönelik daha fazla panel konulacak; bu durumda kullanılan alan büyüyecektir.

Güneş enerjili teknelerde ise, kullanılabilir panel alanının azlığı, panellerden elde edilebilecek maksimum güç miktarını sınırlamaktadır. Bu yüzden, elektrik enerjisi ile tahrik edilen sistemler için yüksek verimli panel kullanımı bir zorunluluk teşkil etmektedir. Az miktardaki panel alanını maksimum verimde paneller ile doldurmak elde edilecek elektrik enerjisi miktarını yükseltecektir.

Yüksek verimli güneş panellerinin kullanımı ile şarj edilen aküler, henüz tamamen elektrikli sevk sistemlerini uzun süreler beslemeye yetememektedir. Gelişen güneş pili teknolojilerinin bu durumu tersine çevireceği görülmektedir. Yakın gelecekte, geliştirilmekte olan boya ile duyarlılaştırılmış güneş pili teknolojisinin tuzlu ve tatlı su şartlarına uygun hale getirilebilmesi başarlarsa, teknelere uygulanması ile yüksek süratli veya uzun süreli seyirler yapabilen tamamen elektrikli tekneler ve gemiler görebiliriz. Bunun yanında egsoz salımlarını azaltan ve verim artışı sağlayan hibrit sistemler için de fayda sağlayabilecektir.

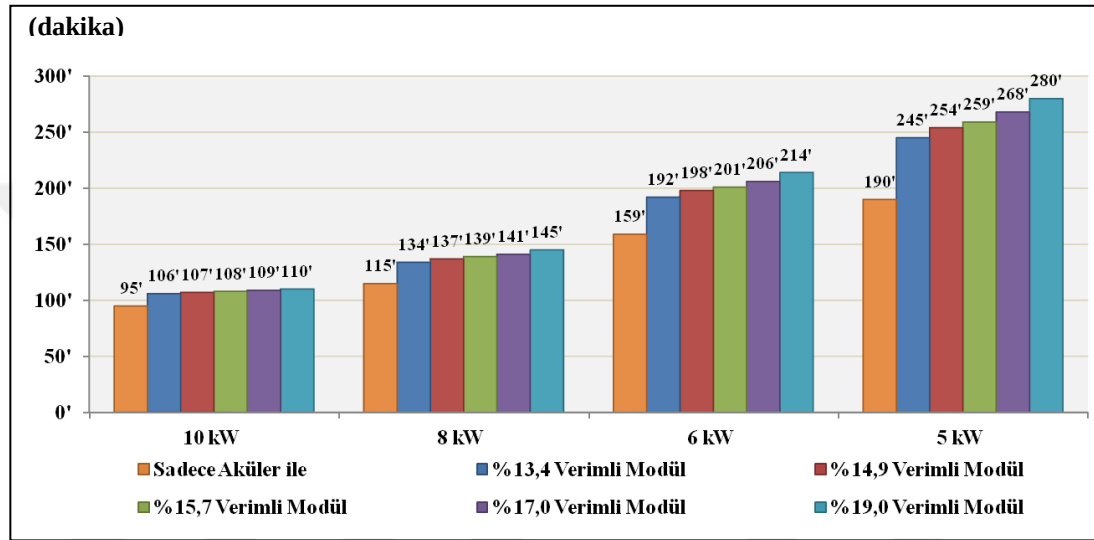
Tablo 4.1 Bir tekne üzerindeki 22m² panel alanına sığdırılacak farklı firmalara ait güneş panellerinin verimlerine göre kıyaslanması

	Kullanılan Alan (m ²)	Panel Ölçüleri (mm)	Panel gücü (W _p)	Panel ihtiyacı (adet)	Panel verimi (%)	Toplam panel gücü (W _p)	Toplam panel ağırlığı (kg)
A	21,4816	1005x668x35	90W	32 panel	% 13,4	2880W	256kg
B	21,8114	1580x1062x45	250W	13 panel	% 14,9	3250W	214,5kg
C	21,7146	1196x534x35	100W	34 panel	% 15,7	3400W	272kg
D	21,7985	1109x546x2	102W	36 panel	% 17,0	3672W	50,4kg
E	21,4336	1580x798x35	240W	17 panel	% 19,0	4080W	255kg

Tablo 4.1 ile gösterilen kıyaslama tablosunda, güneş paneli donatılmaya müsait 22 m²'lik tavan alanı bulunan bir tekne için kullanılabilecek, farklı verim değerlerine sahip 5 fotovoltaiik sistemin standart test koşullarında elde edebilecekleri pik güç miktarları gösterilmiştir. Toplam panel gücü açısından bakıldığında, hemen hemen aynı panel alanına sahip %13,4 verimli A paneli ile %19,0 verimli E paneli arasında 1200W_p'lik fark göze çarpmaktadır. Tekne üzerinde bulunacak elektrik motorunun gücüne göre oldukça düşük kalacak olan toplam panel gücünün, %29,4 oranındaki fazlalığı şüphesiz teknenin menzilini önemli oranda arttıracak ve akülerin dolum sürelerini kısaltacaktır.

12 adet 12V, 100Ah kapasiteli aküler ile tasarlanan bir tekne örneğinde, İzmir/Çeşme'de Temmuz ayı ışınlımı altında (YEGM, 2015), 5-10 kW arası değişen elektrik motoru yükleri için, Tablo 4.1'de sunulan güneş panelleri ile ve panelsiz olarak kurulan elektrik sistemi için hesaplanan seyir süreleri Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Yapılan hesaplamalarda elektrik motorunun harcadığı gücün sürekli ve sabit olduğu ve her deney başlangıcında akülerin tam dolu olduğu

varsayılmıştır. İzmir Kalkınma Ajansı tarafından TR31/12/YE02/0015 Numaralı "Entegre Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin İmal Edilmesi ve Ulaşım Taşıtlarında Uygulanması" adlı proje kapsamında finanse edilen ve Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi tarafından sistem tasarımı ve kurulumu gerçekleştirilen “Yeşil Eylül” tamamen elektrikli güneş enerjili teknesi üzerindeki elektrik ve sevk sistemleri, çalışma verisi olarak birebir örnek alınmıştır.



Şekil 4.4 Örnek tekne üzerinde kullanılabilecek 5 farklı güneş modülü ile ve panelsiz şekilde oluşturulan tekne elektrik sistemleri için hesaplanan seyir süreleri

10 kW gücünde elektrik motoru, kapasitesinden daha düşük güçlerde çalıştırıldığında üstel olarak artan seyir süreleri elde edilmektedir. Bu sayede güneş panellerinin sağlayacağı elektrik enerjisi katkısı da, düşük motor güçlerinde üstel olarak artmaktadır. Modül verimlilik farklarından kaynaklanan seyir süreleri ise, her motor güç harcamı değeri için kendi içinde %19 verimli panel yönünde doğrusal olarak artmaktadır. Bu artışın eğimi düşük motor güçlerinde daha da yükselmektedir. Motorun sabit ve sürekli olarak 10 kW güç tükettiği koşulda, E paneline sahip sistem ile A paneline sahip sistem arasında oluşacak seyir süresi farkı 4 dakikadır. 10 kW'lık elektrik motorunun 5 kW güç harcadığı koşulda ise aradaki fark 35 dakikaya çıkmaktadır. Elektrikli taşıtların genel olarak yaşadığı menzil sorununa binaen 35 dakika oldukça önemli bir süre teşkil etmektedir (Erginer, Konur ve Gülmez, 2016).

4.1.3 Reflektör Kullanımının Panel Verimine Etkileri

Güneş paneli alanı dışına düşen güneş ışınlarının bir reflektör yardımı ile panel yüzeyine yönlendirilmesi ile panel üzerine düşen foton miktarını arttırmak mümkündür. Reflektör olarak aynaların yanı sıra alüminyum malzemeler, gümüşlü polimer malzemeler, çok katmalı polimer malzemeler (PML), lensler vb. ışığı yansıtan materyaller kullanılabilmektedir.

Aynaların sıklıkla kullanıldığı ilk reflektörlü düzeneklere alternatif olarak yoğunlaştırıcı reflektör sistemleri ön plana çıkmaya başlamıştır. Çukur aynaların, parabolik reflektörlerin ve lenslerin kullanıldığı bu sistemler yoğunlaştırılmış fotovoltaiik sistemler (CPV – Concentrated Photovoltaic) olarak adlandırılmaktadır. CPV kullanımında ana amaç, maliyet olarak güneş pillerine göre oldukça ekonomik olan optik reflektörler kullanarak, panel alanını ciddi oranda düşürmektir (Chemisana, 2011). Şekil 4.5'te örneklenen bu sistemlerde, sadece bant açıklıkları oranındaki dalga boylarında ışığı soğurabilen tek eklemli fotovoltaiik hücrelerin yanı sıra, ışığın küçük dalga boylarındaki enerjisini soğurabilen, daha maliyetli; fakat yüksek verimli, çok eklemli (tandem) fotovoltaiik hücreler kullanılmaktadır. Yoğun ışımaya maruz kalan fotovoltaiik hücrelerde soğutma ihtiyacı olabilmektedir. Panel arkasına konveksiyon ile soğutma yapacak finler yerleştirilerek veya bir soğutma sistemi kurularak güneş paneli üzerinden fazla ısı enerjisi uzaklaştırılır. Bazı sistemlerde, oluşan atık ısı enerjisinden faydalanabilmek mümkündür. Bu sistemler de yoğunlaştırıcı fotovoltaiik termal sistemler (CPVT) olarak adlandırılmaktadır.

Yoğunlaştırılmış fotovoltaiik sistemlerde doğrusal Fresnel lenslerinin kullanımı sıklıkla görülmektedir. 1748 yılında Georges-Louis Leclerc tarafından ilk tasarımı oluşturulan Fresnel lenslerinin kullanımı, ilk olarak 1820 yılında Fransız matematikçi ve fizikçi Augustin-Jean Fresnel tarafından tasarlanan deniz fenerlerinde uygulanmıştır. Fresnel lenslerin yüzeyinde, birçok yoğunlaştırıcı küçük ölçekli çentikler bulunmaktadır. Lens yüzeyine çarpan ışınlar, lensten çıkarken her bir çentiğin kendine özel kavisliliğine göre kırılırlar. Fresnel lensler konvansiyonel lenslere oranla daha hafiftir. Daha düşük hacimlerde, daha geniş açıklık ve daha kısa

odak uzunluğu sağlarlar. Düz levha formunda tasarlandıklarında standart lenslerden daha ince olabilmektedirler. Doğrusal ve dairesel olmak üzere iki çeşit Frensel lensten bahsetmek mümkündür. Doğrusal Frensel lensler, birbirine paralel çentiklere sahip olup, üzerine düşen ışığı, düz bir çizgi oluşturacak şekilde odağında yoğunlaştırır. Dairesel Frensel lensler ise ışığı daire şeklinde bir odakta yoğunlaştırır (Sierra ve Vazquez, 2005).



Şekil 4.5 Yoğunlaştırılmış fotovoltaik sistemlerden oluşturulmuş bir güneş tarlası (Electric-vehiclenews, 2013)

Yoğunlaştırma oranı, yoğunlaştırıcının açıklık alanının aktif güneş hücrelerinin yüzey alanına oranıdır. Düşük yoğunluk oranlı fotovoltaikler (LCPV – Low Concentrated Photovoltaic), 2-100 güneş yoğunlaştırma oranındaki fotovoltaik sistemlerden oluşmaktadır. LCPV’de ısı akısı düşük olduğu için genellikle güneş takip sistemi ve aktif bir soğutma sistemi ihtiyacı duyulmaz. Ekonomik olmasından dolayı çoğunlukla konvansiyonel güneş pilleri kullanılır. Orta derece yoğunluk oranlı fotovoltaik sistemler, 100-300 güneş yoğunluğu oranına sahiptir. Bu sistemde, en az iki eksenli güneş takip sistemi ve aktif veya pasif soğutma yapabilen bir soğutma sistemine ihtiyaç duyulur. 400 ve üzeri yoğunluk oranına sahip sistemler ise yüksek

yoğunluklu fotovoltaik sistemler (HCPV – High Concentrated Photovoltaic) olarak adlandırılmaktadır (Kurtz, 2012). Çanak reflektörlerin ve Frensel lenslerin yoğunlaştırdığı güneş ışınları, çok eklemlili fotovoltaik piller üzerine yansıtılarak enerji elde edilir. Oluşan yüksek ısının, termal tahribatlara ve performans kayıplarına sebebiyet vermemesi için yüksek kapasiteli soğutuculara ihtiyaç duyulmaktadır. HCPV sistemlerin çıkış güçleri, yüksek sıcaklıklardan fazla etkilenmediğinden dolayı sıcak iklim koşullarında oldukça avantajlı olmaktadır (Philipps ve diğer., 2016). Yoğunlaştırılmış fotovoltaik sistemler için oluşturulmuş avantaj ve dezavantaj analizi Tablo 4.2’de gösterilmektedir.

Tablo 4.2 Yoğunlaştırılmış fotovoltaik sistemler için avantaj ve dezavantaj analizi (Komoto, 2013; Khamooshi ve diğer., 2014)

CPV Sistemi Avantajları	CPV Sistemi Dezavantajları
Panel üzerine direkt güneş ışınımı gönderildiğinde yüksek verim sağlamaktadır.	HCPV sistemler dağınık ışınımlardan enerji elde edemez. LCPV sistemler ise sadece bir kısmını enerjiye dönüştürebilmektedir.
Düşük sıcaklık katsayısına sahiplerdir.	Güneş takip sistemlerine ihtiyaç vardır.
Aktif soğutma sistemleri ile atık ısının geri kazanımı mümkündür.	Yüksek güneş ışınımına sahip bölgelerde verimli olmaktadır.
Daha az fotovoltaik pil kullanılır.	İlk kurulum maliyetleri yüksektir.
Güneş takip sistemleri ile daha verimli ve istikrarlı elektrik üretimi sağlar.	Kullanılan optik elemanlarda ekstra optik kayıplar meydana gelmektedir.
Yatırım geri dönüş süreleri kısadır.	Karmaşık bir yapıya sahiptirler.
kW’tan GW’a kadar olan geniş ölçekte modüler kurulum imkânı vardır.	Üretimine yeni başlanılmış olması beraberinde yeni riskler getirmektedir.
Konvansiyonel güneş panellerine göre daha da yüksek verimlere ulaşma potansiyeline sahiptir.	Fotovoltaik pillerde yüksek yoğunlukta ısımadan dolayı aşırı ısınma sorunları oluşabilmektedir.

CPV sistemler için ar-ge çalışmaları on yıllardan beri sürmektedir; fakat ticari hayata ancak 2000’li yılların ortalarında girebilmiştir. Ticari kullanımı başladığından beri CPV sistemlerin ilk kurulum maliyetlerinde yüksek oranda düşüş meydana gelmiştir. Fraunhofer ISE firmasının 2013 yılı raporlarına göre 10 MW’lık güç santrali projeleri için kurulum maliyetleri 1400€/kW ile 2200€/kW arasında değişmektedir (Philipps ve diğer., 2016).

Matsushima ve diğer. (2003) çalışmalarında %14 verimli 1800cm^2 alana sahip bir güneş panelini 30° açı ile yerleştirdiğinde aldığı güç değerlerini aldıktan sonra, aynı panele yatayla 30° açı yapacak şekilde düz ayna reflektör yerleştirmiş ve alanını 900cm^2 'ye indirerek tekrar güç değerlerini ölçmüştür. Sonuç olarak, reflektörlü panelin konvansiyonel panele 1,5 kat daha fazla elektrik üretebildiği ortaya çıkmıştır.

Zan (2006) yaptığı deneyde bir güneş paneline, bir düz ayna monte ederek reflektör görevi üstlendirmiş ve reflektörlü ile reflektörsüz güneş paneli verilerini karşılaştırmıştır. Işık kaynağının yatay eksenle yaptığı açığı 90° olarak konumlandırmış; güneş panelinden reflektör olmadan aldığı gücü 58,86W, reflektör kullanıldığındaki gücü ise 75,95W olarak ölçmüştür. Bu durumda, hareketsiz bir düzeneğe sahip olan bu reflektörlü sistemde maksimum %29 verim artışı gözlemlendiği ortaya çıkmaktadır. Yine aynı çalışmada ışık kaynağının yatayla yaptığı açının 60° altında olması durumunda, reflektörsüz sisteme göre daha düşük güç ürettiği gözlemlenmiştir. Bu sistem için, ışık kaynağının belli konumlarında güneş takip sistemi kullanımının gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Zimmermann ve diğer. (2015), yüksek yoğunluklu bir fotovoltaik termal sistem için ekserji analizi yapmıştır. Bu tip fotovoltaik pillere gönderilen yoğunlaştırılmış ışınların yüksek verimde elektrik enerjisine çevrilmesinin yanı sıra oluşan yüksek ısı enerjisinin de kullanılabilmesi enerji verimi sağlamaktadır. Yapılan çalışmada, %15 olan toplam sistem verimi, ısı enerjisinden faydalanılarak %60 değerine çıkartılmıştır.

Tandem güneş pilleri, günümüzdeki ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle konvansiyonel fotovoltaik sistemlerle rekabet etmekte zorlanmaktadır. Buna rağmen tek eklemli güneş pillerine göre daha verimli olmaları ve daha düşük sıcaklık katsayısına sahip olmaları; yani yüksek sıcaklıklarda daha az verim kaybı yaşamaları; tandem güneş pillerine olan ilgiyi arttırmıştır. Henüz yeni ve hızlı şekilde gelişen bir teknoloji olması da, sistem verimlerinin yükseltilerek maliyetlerinin azaltılması konusunda umut vermektedir. 2011 yılından sonra CPV sistemi kurulu tesis sayılarında ciddi bir artış gözlemlenmiştir. Yine de, yeni bir teknolojiye sahip olan

CPV sistemlerinin henüz küçük bir pazara hitap etmesi, güvenilir veri eksikliğine ve makul olmayan maliyetlerine bağlanmaktadır.

CPV sistemlerinin güneş enerjili teknelerde uygulanması güneş takip sistemi gereksinimi sebebiyle oldukça zor olmaktadır. Güneş takibinin düzgün sağlanamayacağı hafif dalgalı deniz koşullarında dahi panel veriminde ciddi düşüşler yaşanacaktır. Ayrıca güneş takibi aktif olarak sağlanması gerektiğinden, güneş takip sisteminin harcayacağı enerji miktarı da yüksek olacaktır. Bu sebeple CPV sistemlerin güneş enerjili tekneler üzerinde kullanımı ancak marinalarda veya nehir, göl gibi durgun ve dalgasız su koşullarında mümkün olabilmektedir.

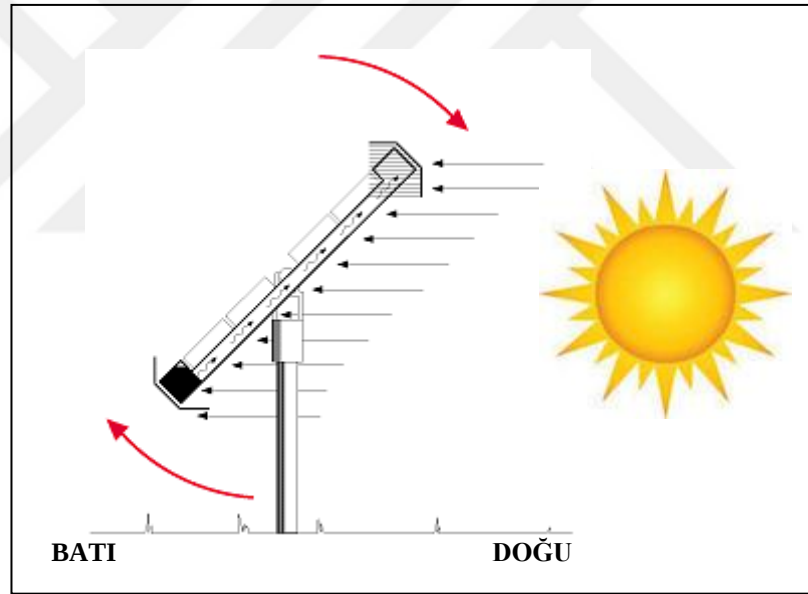
4.1.4 Güneş Takip Sistemleri

Fotovoltaik sistemlerden elde edilebilecek enerji miktarı, güneş ışınlarının panel üzerine dik geldiği konumda en verimli şekilde sağlanır. Güneşin gün ve yıl içerisindeki hareketlerine göre değişen konumunu takip eden güneş takip sistemleri, güneş panellerini güneş ile dik açı yapacak şekilde döndürerek maksimum verimde güç üretilmesini sağlarlar. Güneş takibini bir eksen boyunca takip eden tek eksenli takip sistemleri ve daha yüksek verim elde edebilen çift eksenli güneş takip sistemleri mevcuttur. Takip yöntemine göre açık çevrim kontrollü (mikroişlemci kontrollü), kapalı çevrim kontrollü (geri beslemeli; aktif kontrollü; elektro-optik kontrollü) ve pasif kontrollü olmak üzere üç tip güneş takip sistemi bulunmaktadır.

Güneşin konumunun belli bir alana göre günlük, aylık ve yıllık olarak nerede bulunabileceği matematik formüller ile önceden hesaplanabilmektedir. Açık çevrim kontrol sistemine sahip güneş takip sistemlerinde, bu hesaplardan gelen koordinat bilgileri ilgili bilgisayar yazılımlarına yüklenerek, güneş takip sistemi mekanizmalarına belli periyotlarla panelleri döndürmesi gereken açıların bilgileri aktarılmış olur. Güneş panelleri döndürme işlemi daha çok step motorlar kullanılarak yapılmaktadır. Bir kontrolör yardımıyla birden fazla panelin kontrol edildiği büyük çaplı güneş paneli sistemlerinde kullanımları görülmektedir. Takip sisteminin

kalibrasyonunu denetlemek amacıyla GPS ve elektro-optik sensörlerin kullanımı da görülmektedir.

Güneş takibi için kullanılan bir diğer yöntem ise kapalı çevrim (geri beslemeli; aktif kontrollü; elektro-optik kontrollü) kontrol sistemine sahip takip sistemidir. Bu sistemlerde güneşin konumu sürekli olarak elektro-optik sensörler yardımı ile saptanmaktadır. Sensörün ışığı fazla alan tarafındaki akım ile daha az ışık alan tarafındaki akım farkına göre bilgiyi alan kontrolör, panellerin yönünü değiştirmektedir. Akım farkı sıfırlandığında ise güneş ışığı yakalanmış olur ve panel hareketi durdurulur. Elektro-optik sensörler, havanın açık olduğu koşullarda oldukça iyi sonuçlar verebilmektedir. Bulutlu havalarda ise güneş takibi oldukça sıkıntılı olmaktadır (Roth, Georgiev ve Boudinov, 2005).



Şekil 4.6 Pasif kontrollü takip sistemi (Zomeworks, b.t)

Pasif kontrol takip sistemleri, elektronik kontrollere ve motorlar olmadan güneş takibi yapabilmektedir. Bu takip sistemlerinde panel üzerindeki tüpler içinde Freon vb. sıvılar bulunmaktadır. Güneş panellerinin hizası güneşe dik değilken, güneş freon dolu tüplerin bir tarafını diğer tarafından daha fazla ısıtarak freonun buharlaşmasına neden olur. Buharlaşan freon gazı bir pistonu iterek hareketi sağlayabileceği gibi, Şekil 4.5'te gösterildiği gibi diğer tarafa uçtukten sonra yaratacağı gravite ile de

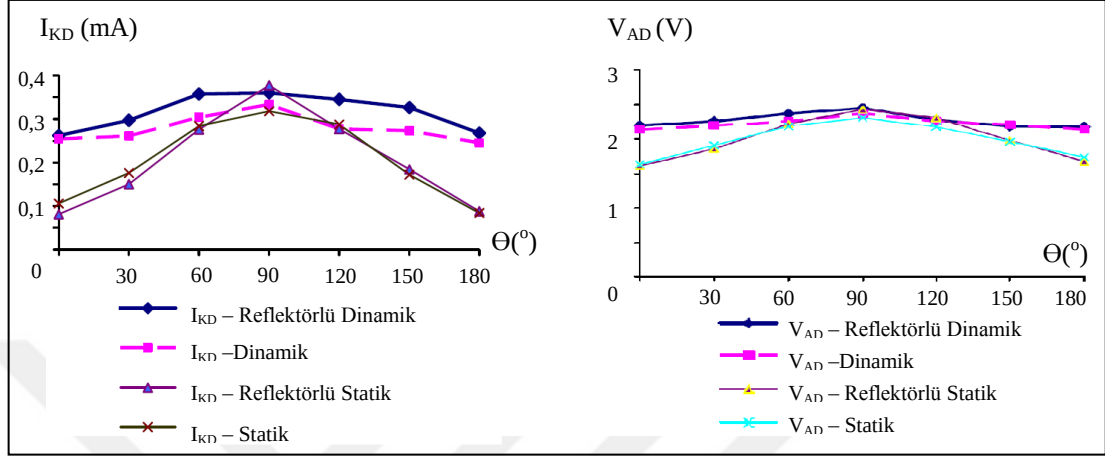
paneli hareketlendirebilir. Pasif kontrollü takip sistemleri basit olmalarına rağmen, hassas bir güneş takibi sunamamaktadır.

Güneş takip sistemlerinin ilk örneği 1962 yılında Şili’de Finster tarafından tamamen mekanik olarak yapılmıştır (Finster, 1962). 1963’te ise Saavedra tarafından Eppley pirheliometresi için tasarlanmış, otomatik elektronik kontrollü bir güneş takip sistemi yapılmıştır (Roth, Georgiev ve Boudinov, 2005). 1983 yılında Maldonado tarafından mikroişlemci kontrollü bir güneş takip sistemi ile birlikte, hassasiyetin artırılması ve takip doğruluğunun kontrolü için pirheliometre ile bütünleştirilmiş bir kontrol sistemine sahip UTFSM tasarımı geliştirilmiştir. 2002 yılında İsviçreli Brusag şirketi tarafından UTFSM sistemi geliştirilerek INTRA’yı oluşturmuşlardır. INTRA, mikro işlemci kontrolü ile elektro-optik kontrolün avantajlarını bir sistemde toplayarak daha isabetli bir güneş takibi sunabilmektedir. Bulutlu havalarda sorun yaratan elektro-optik sistem, sistem kontrolünü mikro işlemciye bırakarak güneşi takip etmektedir. Bulutsuz havalarda ise, mikro işlemci kontrolünün kurulumdan kaynaklanan ufak çaplı takip hatalarını, elektro-optik sensörler azaltmaktadır.

A.M. Omar, Shaari, A.R. Omar ve Yahir (2006), iki eksenli aktif kontrollü SolT2A prototipini oluşturmuşlardır. Burada güneş ışınlarının açısının dik olarak panele düşmediği koşulda, iki sensör arasındaki perde sebebiyle bir sensörün bir kısmı veya tamamı gölgede kalmakta ve aralarında gerilim farkı oluşmaktadır. Sistem, gerilim farkı sıfırlanana kadar DC motorlarını harekete geçirerek güneş modülünü eksen boyunca çevirmektedir. SolT2A sistemi üzerinde yapılan ölçümlerde ise; sabit sistemler ile karşılaştırıldığında öğle vakitlerinde belirgin bir artış gözlemlenmemişse de, özellikle sabah ve gün batımı saatlerindeki güç üretiminde %82’ye varan verim artışı olmuştur. Sistem voltajında ortalama %15-20 arası artış görülmüştür.

Zan (2006), reflektör kullanımının etkilerini araştırdığı tez çalışmasında, güneş takip sistemi ile birlikte de ölçümler almıştır. Işık kaynağının yatay eksenle yaptığı açıya göre akım ve voltaj ölçümleri Şekil 4.7 ile gösterilmektedir. Çalışmada ayna reflektör ve tek eksenli bir takip sistemi kullanılmıştır. Sonuçlara göre reflektörlü

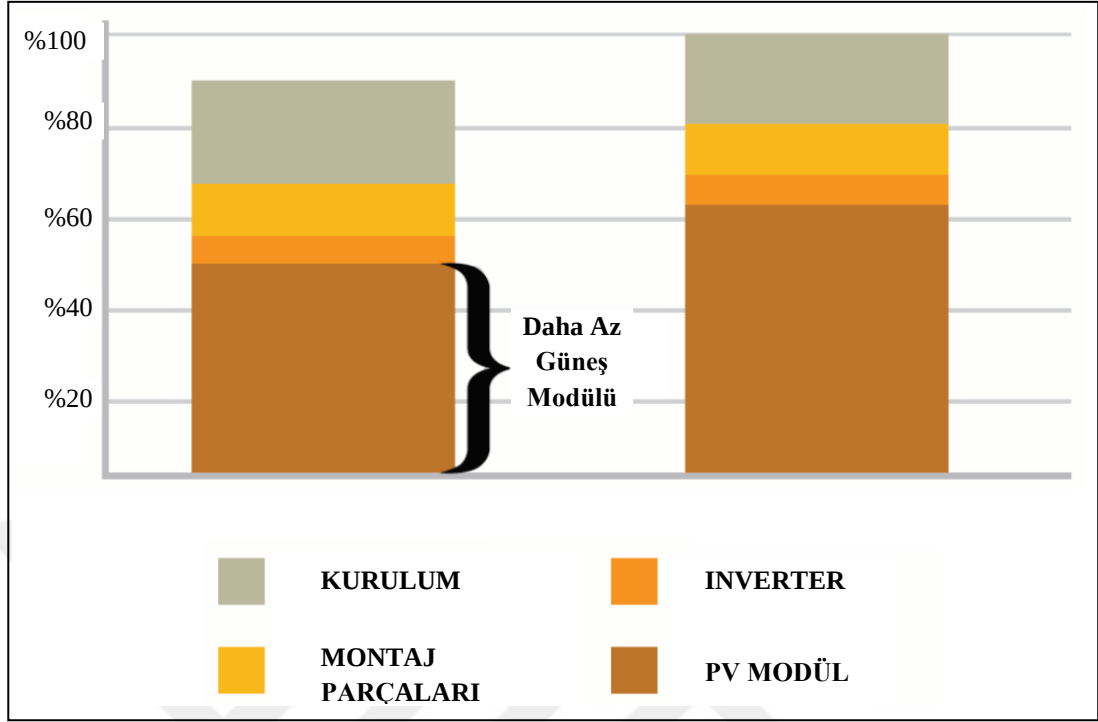
veya reflektörsüz her açıda güneş takip sisteminin sisteme statik sistemden daha fazla güç sağladığı görülmektedir. Özellikle ışık kaynağının yatay ile olan açısının küçüldüğü aralıklarda elde edilen güç miktarı %57'ye varan oranlara yükselmektedir.



Şekil 4.7 Bir ışık kaynağının yatay eksenle yaptığı açının değişimine göre ölçülen reflektörlü dinamik, sadece dinamik, reflektörlü statik ve tamamen statik sistemlerin veri grafikleri (Zan, 2006)

Kelly ve Gibson (2009) çalışmasında bulutlu havalarda güneş takip sisteminden alınacak enerji miktarını arttırmaya çalışmışlardır. Bulutlanma oluştuğu sırada güneş ışınları izotropik olarak dünya yüzeyine dağılmaktadır. Çalışmaya göre bulutlanma oluştuğu sırada güneş panellerini zenit açısına yaklaştırmak yani yatay konuma getirmek, çift eksenli güneş takibine oranla %50'ye varan bir avantaj sağlamaktadır. Yine aynı çalışmada havanın bulutlu veya bulutsuz olmasına bakılmadan 30 yıllık veriler ve modellemeler baz alınarak, mikroişlemci kontrollü bir güneş takip sisteminin yatay pozisyonunda yerleştirilmiş güneş takipsiz bir sisteme göre %52 oranında daha fazla enerji topladığı hesaplanmıştır. Bulunulan konuma göre hesaplanan optimum açıda yerleştirilen güneş takipsiz güneş paneli sistemine göre ise %33 daha fazla enerji elde edilmiştir.

Bayrak ve Gençoğlu (2011), güneş pozisyonunu PLC (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) ile sistem saatine göre tahmin eden açık çevrim kontrollü iki eksenli bir güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Çalışmanın sonucunda, sabit güneş panellerine güneş takip sisteminin uygulanması sonucu ortalama %33,85 oranında güç artışı sağlanmıştır.



Şekil 4.8 Sabit açılı bir güneş modülü ile güneş takip sistemli bir güneş modülünün maliyet karşılaştırması (Mastar, 2011).

Mastar (2011) yaptığı tez çalışmasında, aynı miktarda kurulu güce sahip biri sabit açılı güneş panellerine sahip, diğeri güneş takip sistemine sahip iki güneş santralinin ilk kurulum maliyetlerini karşılaştırmıştır. Şekil 4.8’de gösterildiği üzere güneş takip sistemine sahip güneş enerji santrali daha düşük maliyetlerde kurulabilmektedir. Mastar (2011) aynı çalışmada 15 kW_p güçlü güneş panel sistemine, tasarladığı açık çevrim kontrollü iki eksenli güneş takip sistemini entegre ederek sabit güneş modülüne göre karşılaştırmalar yapmıştır. Buna göre, güneş takip sistemi ile güneş modülünden yıllık bazda %32,7 daha fazla güç elde edilmektedir. Sabit fotovoltaiik sistemin yatırım geri dönüş süresi 10,2 yıl iken, iki eksenli güneş takip sistemine sahip güneş modülünün yatırım geri dönüş süresi 8,04 yıl olarak hesaplanmıştır.

Bir başka çalışmada, kuzey-güney eksenli ile doğu-batı eksenli üzerinde hareket eden iki eksenli açık çevrim kontrollü bir güneş takip sistemine sahip güneş paneli ile aynı özellikte sabit güneş panelinden aynı anda güç ölçümleri alınarak karşılaştırması yapılmıştır. Elazığ’da kurulan bu iki sistemden güneş takip sistemine sahip olanın,

sabit sistemden ortalama %13,25 daha fazla güç elde ettiği gözlemlenmiştir (Şenpınar ve Cebeci, 2012).

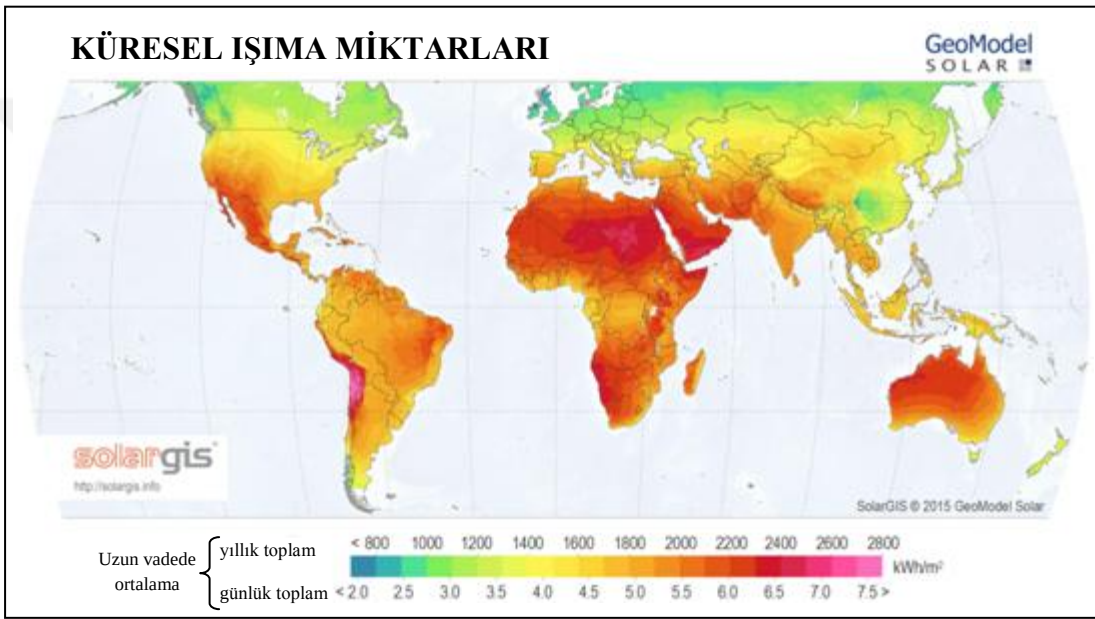
Yapılan akademik çalışmalardan da anlaşılacağı üzere güneş takip sistemleri fotovoltaik sistemlere belli zamanlarda %50'yi aşan verim artışları sağlayabilmektedir. Maliyetinin yüksek olması ve güvenilirliğinin henüz tam olarak sağlanamamış olması, güneş takip sistemlerinin geniş çaplı kullanımına engel olan en önemli etmenlerdir. Fotovoltaik sistemlerdeki yeni trendlerden yüksek verimli yoğunlaştırılmış fotovoltaiklerin (HCPV) güneş takip sistemine ihtiyaç duyması, güneş takip sistemlerinin önemini ve bu alandaki ar-ge faaliyetlerini arttırmaktadır.

Var olan güneş takip sistemi uygulamalarına bakıldığında aktif kontrollü güneş takip sistemlerinin güneş enerjili teknelerde güneş panel verimini arttırabilmek adına en uygun sistemler olduğu görülmektedir. Bu durum dalgalı deniz koşullarında aksine daha fazla enerji tüketimine sebep olabilmektedir. Bu sebeple, güneş takip sistemine sahip bir teknenin dalgalı deniz koşullarında güneş takibini devre dışı bırakarak sabit panel konumuna geçmesi makul olacaktır. Sakin su koşullarında ise güneş takibi, tekne üzerindeki panellerin enerji verimini yüksek oranda arttırma potansiyeline sahip olmaktadır. Bu durumda güneş enerjili teknelerde güneş takip sistemlerinin kullanımı, enerji verimini arttırmak adına makul bir uygulama olmaktadır.

4.1.5 Saate, Aya ve Bulunulan Enleme Göre Güneş Işınımı Miktarı Değişimlerinin İncelenmesi

Güneş ışınlarının atmosferde aldığı yol arttıkça, atmosferde tutulma, yansıma ve dağılma artmaktadır. Güneşten elde edilebilecek enerji miktarı bulutsuz gökyüzü koşulunda, güneş ışınlarının dünya yüzeyine düşene kadar izlediği yolun uzunluğuna ve düştüğü açıya göre değişmektedir. Dünyanın ekseninin eğikliğinden dolayı, güneş ışınları her bölgeye farklı açılarda düşmektedir. Güneşi daha dik alan oğlak ve yengeç dönenceleri arası bölgede güneş enerjisi potansiyeli yüksek iken, kutup noktalarına yaklaştıkça güneşten elde edilebilecek m^2 başına enerji miktarı

azalmaktadır. Yengeç dönencesin güneşi dik açıda aldığı 21 Haziran günü, kuzey yarım kürede en yüksek enerji potansiyeli alınmaktadır. Güneş ışınlarının dik açıda alınabildiği son nokta olan oğlak dönencesine 21 Aralık'ta güneş ışınları dik gelmekte ve güney yarım küre genelinde en verimli güneş ışıını gerçekleşmektedir. Dünyamız her yılın 4 Ocak tarihinde güneşe en yakın konumunu almaktadır. Bu tarihte yaz mevsimini yaşanmakta olan güney yarım kürede, Şekil 4.9'da görüleceği üzere güneş ışıını miktarı; dolayısıyla elde edilebilecek enerji miktarı; kuzey yarım küreye göre daha yüksek olmaktadır (Kininmonth, 2004).

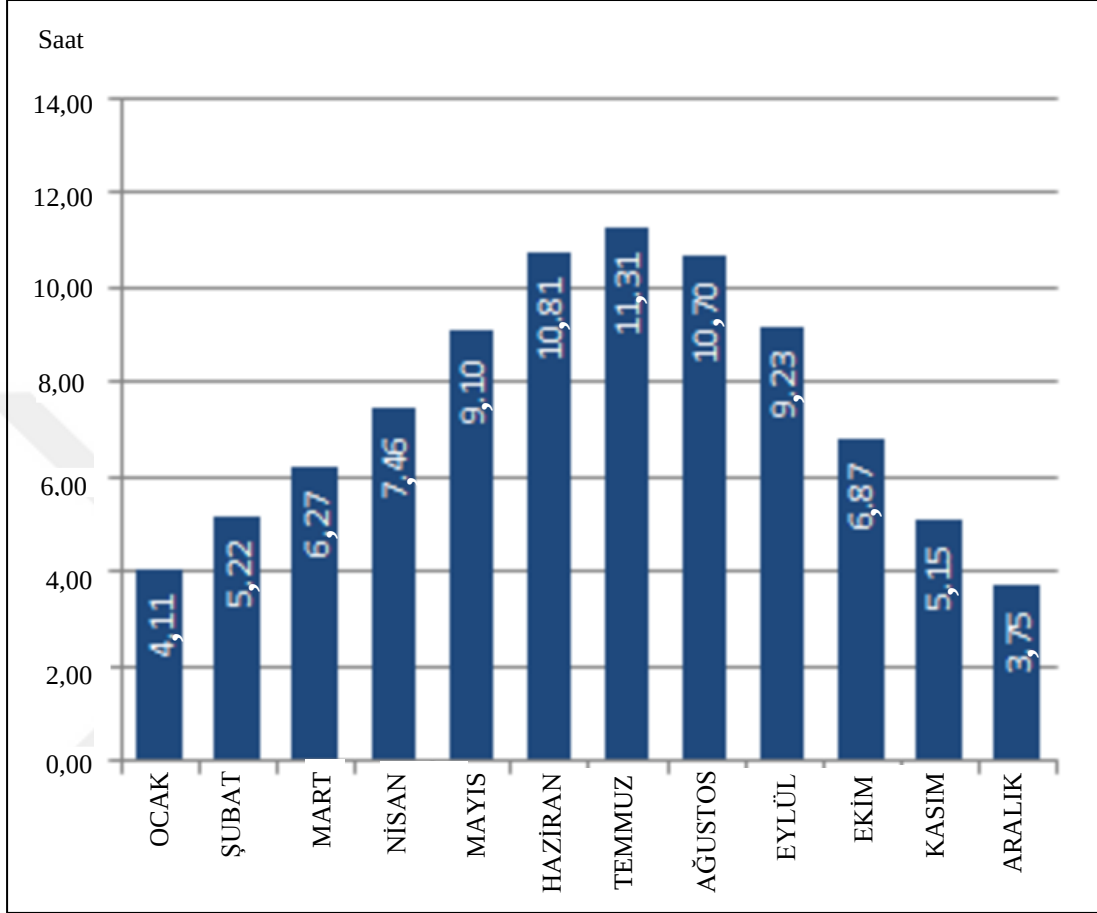


Şekil 4.9 Küresel güneş haritası (Solargis, 2015)

Güneşin gökyüzünde görünebildiği süreye güneşlenme süresi denir. Bir bölgede güneşlenme süresinin uzaması ile doğru orantılı olarak güneşten alınan enerji miktarı artar. Bulutluluk, bakı ve enleme bağlı olarak güneşlenme süreleri de değişmektedir. Kuzey yarım kürede gece ve gündüz sürelerinin eşitlendiği 21 Mart ilkbahar ekinoksundan sonra, güney yarımkürede ise gece ve gündüz sürelerinin yıl içinde tekrar eşitlendiği 23 Eylül sonbahar ekinoksundan sonra gündüz süreleri gece sürelerinden daha uzun olmaya; güneşlenme süreleri de artmaya başlamaktadır.

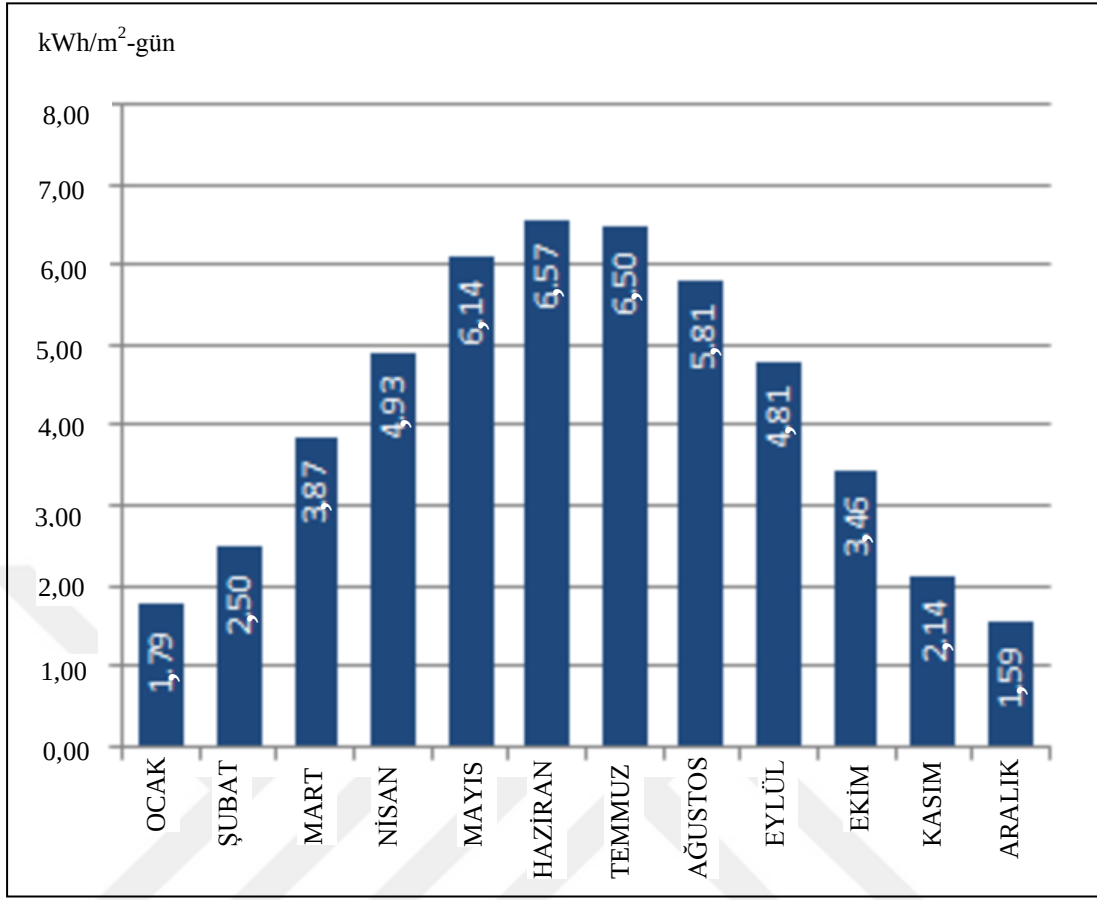
Şekil 4.10 ile YEGM verilerine dayanarak Türkiye için günlük güneşlenme sürelerinin aylara göre günlük ortalama değerleri verilmiştir. Grafikten görüldüğü

üzere gündüz sürelerinin uzun olduğu yaz aylarındaki güneşlenme süreleri diğer aylardan daha fazladır.



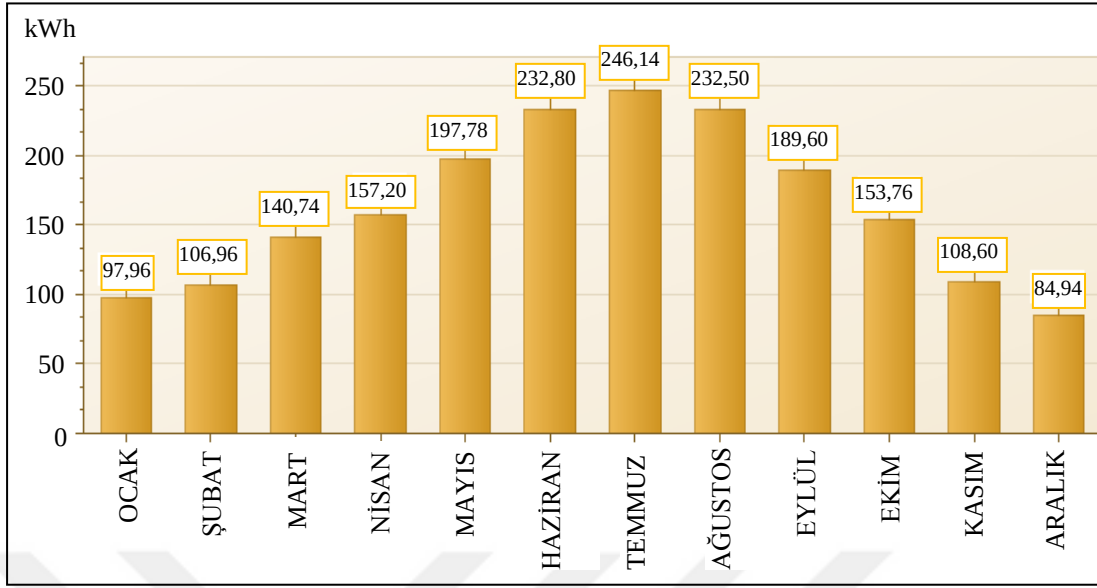
Şekil 4.10 Türkiye’de ay içerisindeki bir günlük ortalama güneşlenme süreleri (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2015)

Aynı şekilde güneş radyasyon değerleri de güneşlenme süreleri gibi Şekil 4.11’de gösterildiği üzere yaz aylarında daha yüksek olmaktadır. 21 Mart ve 23 Eylül tarihleri arasında kalan aylardaki güneş enerjisi potansiyeli oldukça yükselmektedir. Kuzey yarımkürede en yüksek enerji potansiyelinin oluştuğu 21 Haziran tarihi yakınlarındaki aylarda da günlük güneş ışıınımı ortalamasının daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.11 Türkiye’de ay içerisindeki bir günlük ortalama güneş radyasyonu değerleri (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2015)

Dünyanın eksen eğikliğinden kaynaklı olarak, mevsimsel döngüler sırasında belli bir noktaya güneş ışınları farklı açılarda düşmektedir. Bu sebeple belli bir noktaya düşen ortalama enerji miktarı yılın her ayı için farklı değerler göstermektedir. Şekil 4.12’de İzmir ilinde %17 verimli monokristal paneller ile kurulacak 4,2 kW_p fotovoltaik sistemin üretebileceği aylık ortalama enerji miktarları verilmiştir. Grafik verileri, Solarius-PV yazılımı ile İzmir ili için hesaplanmıştır. Grafikten elde edilen veriye göre bu sistemden elde edilebilecek en yüksek gücün yaz aylarında alınabileceği görülmektedir. Kış aylarında ise, dünya güneşe en yakın konumunda olmasına rağmen, kuzey yarımküre güneş ışınlarını dar açıda aldığından elde edilebilecek güneş enerjisi miktarı azalmaktadır.



Şekil 4.12 İzmir ilinde 4,2 kW_p monokristal fotovoltaik sistem ile üretilebilecek aylık ortalama enerji miktarları

Dünyanın kendi etrafındaki dönüşü, gün içerisinde güneş ışınımının yeryüzüne sürekli 0° - 180° arasında değişen açılarda ulaşmasına neden olur. Güneşin konumu ile yeryüzü arasındaki açı dik açıya yaklaştıkça birim alana düşen enerji miktarı artmaktadır.

Tablo 4.3 İzmir ilinde 4,2 kW_p monokristal fotovoltaik sistem ile üretilebilecek saatlik ortalama enerji miktarları (Tablo, Solarius-PV yazılımı ile İzmir ilinde bulunan tekne üzerinde yatay konumlandırılmış güneş panelleri için oluşturulmuştur.)

	İzmir'de 4,2 kW Güneş Paneli ile Üretilebilecek Saatlik Ortalama Enerji Miktarları (kWh)													
	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Ocak			0,04	0,19	0,34	0,47	0,54	0,54	0,47	0,34	0,19	0,04		
Şubat			0,11	0,26	0,41	0,53	0,60	0,60	0,53	0,41	0,26	0,11		
Mart		0,04	0,18	0,33	0,48	0,59	0,65	0,65	0,59	0,48	0,33	0,18	0,04	
Nisan		0,11	0,25	0,40	0,53	0,64	0,69	0,69	0,64	0,53	0,40	0,25	0,11	
Mayıs	0,06	0,19	0,33	0,48	0,62	0,73	0,78	0,78	0,73	0,62	0,48	0,33	0,19	0,06
Haziran	0,10	0,25	0,42	0,59	0,74	0,86	0,92	0,92	0,86	0,74	0,59	0,42	0,25	0,10
Temmuz	0,09	0,24	0,42	0,60	0,77	0,89	0,96	0,96	0,89	0,77	0,60	0,42	0,24	0,09
Ağustos	0,03	0,19	0,37	0,57	0,75	0,88	0,96	0,96	0,88	0,75	0,57	0,37	0,19	0,03
Eylül		0,09	0,27	0,47	0,65	0,80	0,88	0,88	0,80	0,65	0,47	0,27	0,09	
Ekim			0,16	0,35	0,53	0,68	0,76	0,76	0,68	0,53	0,35	0,16		
Kasım			0,06	0,23	0,39	0,53	0,60	0,60	0,53	0,39	0,23	0,06		
Aralık			0,02	0,16	0,30	0,41	0,48	0,48	0,41	0,30	0,16	0,02		

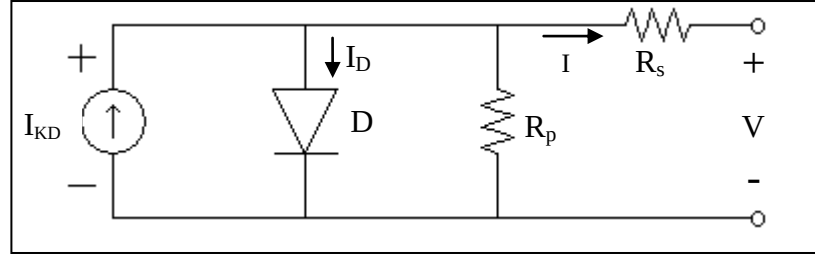
Tablo 4.3'te aynı koşullardaki fotovoltaik sistemin üretebileceği, aylara göre saatlik ortalama enerji miktarları verilmiştir. Güneş ışınlarının yeryüzüne dik indiği öğle saatlerinde en verimli olduğu görülmektedir.

Verilerden anlaşılacağı üzere güneş ışınımının yeryüzüne dik indiği konumlarda, güneşten en verimli şekilde güç elde edilebilmektedir. Güneşten en verimli enerji, öğle saatlerinde ve yaz aylarında elde edilmektedir. Dönencelere yaklaştıkça güneş enerjisi potansiyeli artmaktadır. Dönenceler arasındaki bölgede güneş ışınımının açısı fazla değişmediğinden ve ışınım o bölgeye yılda iki kez dik düştüğünden güneş enerjisi potansiyeli diğer bölgelere kıyasla oldukça yüksektir.

4.1.6 Gölge Etkisinin İncelenmesi

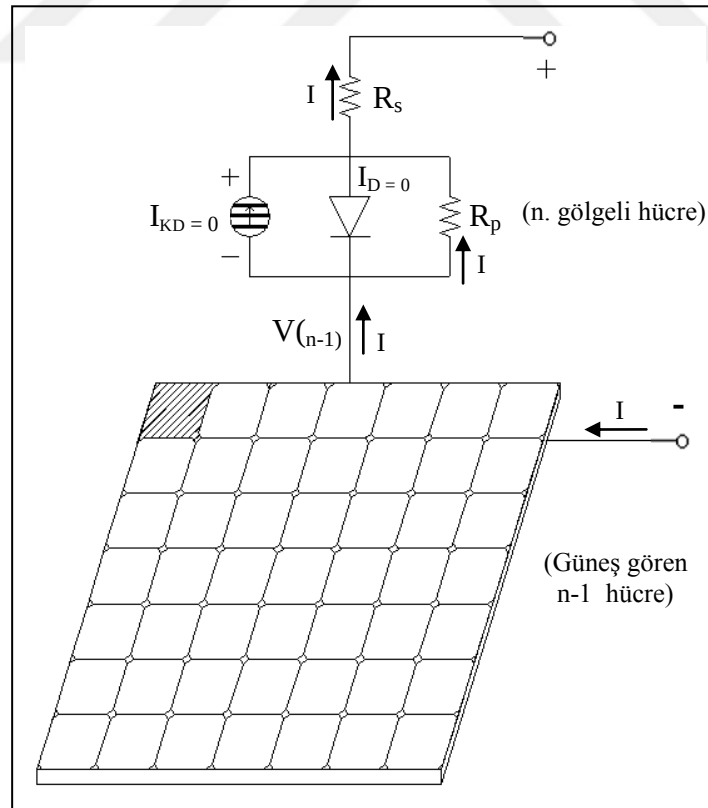
Gölge, güneş panellerinin verimini düşüren en etkili faktörlerden biridir. İyi tasarlanamamış bir güneş modülünün bir güneş pili üzerine düşecek küçük miktar gölge, bütün sistemin enerji üretimini durduracak kadar etkili olabilmektedir. Fotovoltaik panellerin bir parçası veya tamamı bulut, ağaç, bina veya başka objelerle gölgelendiğinde, güneş hücrelerinin bazıları ters taraflı çalışmaktadır. Bu durumda gölgeli hücreler güç üretmek yerine yük olarak davranarak, $I^2 \times R$ miktarında güç kaybı ve ısı meydana getirir. Sistem koruması düzgün yapılmadığında panel üzerinde sıcak bölge problemleri doğabilmektedir. Bazı durumlarda bu sorundan kaynaklı olarak, sistem ciddi hasarlar görebilmektedir.

Şekil 4.13 bir güneş pilinin enerji ürettiği durumdaki eşdeğer devre şemasını göstermektedir. Üzerine düşen fotonlar ile akım üreten bir akım kaynağı, akım kaynağına paralel bağlı bir direnç ile bir diyot ve devreye seri bağlı bir direnç güneş pilini temsil etmektedir. Akım kaynağında üretilen akım seri direnç üzerinden akarak elektrik üretimi gerçekleşir.



Şekil 4.13 Güneş pili eşdeğer devresi

Sistem gerilimini arttırmak için fotovoltaik hücreler seri bağlanarak paneller oluşturulur. Şekil 4.14 ile gösterilen şema, birbirine seri bağlı fotovoltaik hücrelerin bir hücrenin gölgelenmesi durumundaki eşdeğer devreyi göstermektedir. Bu durumda gölgelenmiş hücrenin kısa devre akımı (I_{KD}) sıfıra eşit olmaktadır. Fotovoltaik sistemden üretilen akım bu hücreye geldiğinde R_p direnci üzerinden geçmektedir. Fotovoltaik sistem n sayıda hücresi ile V gerilimi yarattığı varsayılırsa, gölgelenmiş hücreden dolayı toplam sistem gerilimi azalarak $V_{(n-1)}$ gerilimi oluşturabilecektir.



Şekil 4.14 Tek hücresi gölgelenmiş panelin eşdeğer devresi

Herhangi bir hücrenin gölgelenmesi durumunda meydana gelen gerilim farkı aşağıdaki formül ile bulunmaktadır:

$$V_g = V_{(n-1)} - (R_p + R_s) \times I \quad (4.2)$$

$V_{(n-1)}$: Gölgeleme olmayan hücrelerin yarattığı gerilim (V),

V_g : Bir hücrede gölgelenme olduğu durumdaki toplam sistem gerilimi (V),

n : Fotovoltaik sistem üzerindeki hücre sayısı,

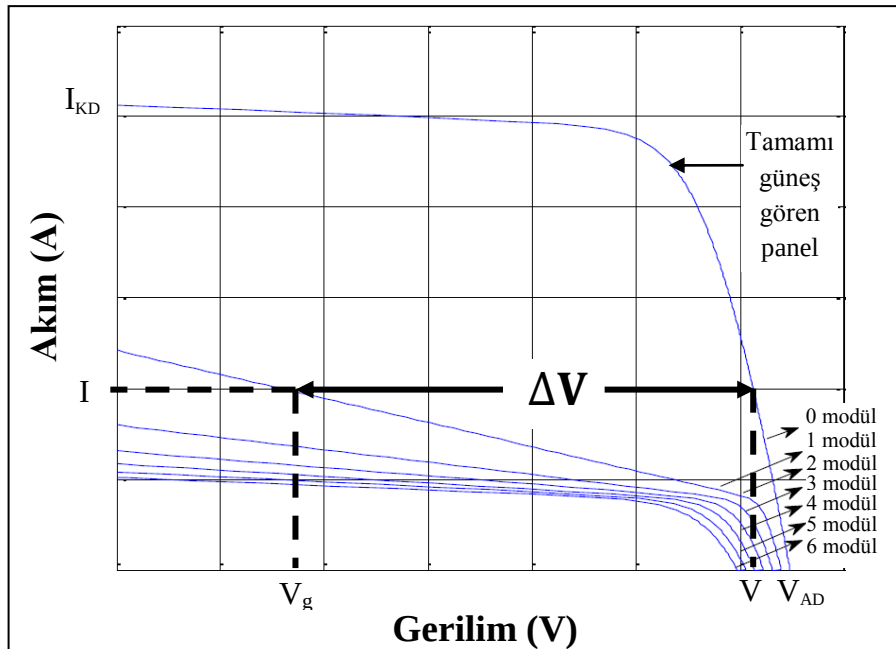
R_p : Hücrenin paralel kaçak direnci (Ω),

R_s : Hücrenin seri direnci (Ω),

I : Devre üzerinden geçen akım miktarıdır (A).

R_s , R_p 'den çok daha küçük bir direnç olduğundan ihmal edilebilmektedir. Bu durumda gerilim farkı aşağıdaki formül ile bulunmaktadır:

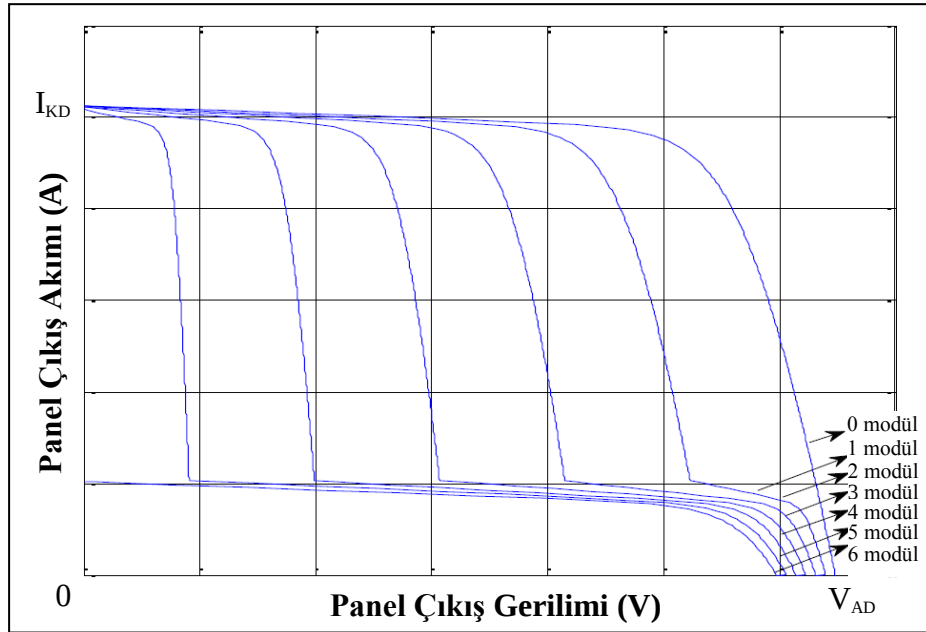
$$\Delta V \cong \frac{V}{n} + (R_p) \times I \quad (4.3)$$



Şekil 4.15 Gölgeleme modül sayısına göre herhangi bir I akımında paneldeki gölgelenme etkisini gösteren I-V grafiği (Ünlü ve diğer., 2015)

Fotovoltaik panelde bulunan hücrelerin birbirine seri bağlı olmasından dolayı, panel çıkış akımı, en zayıf akımı veren hücrenin akım değerine eşittir. Hücrelerin ufak bir kısmının gölgelenmesi sonucu çıkış gücü aynı oranda azalmaktadır. Bir hücrenin tamamının gölgelenmesi ise bütün panelin elektrik üretimini durdurmaktadır (Reuk, 2014). Şekil 4.15'te gölgelenme sonucu oluşacak ΔV gerilim farkı görülebilmektedir.

Deniz koşullarında panel performansını düşürecek en büyük etken bulutlanmanın yarattığı gölgedir. Bulutun geometrik şekline göre dağılan ışınının enerjisi kararsız ve dalgalı bir grafik çizmektedir. Bu da hücrelerden alınan enerjinin düşmesine sebep olmaktadır. Fotovoltaik panellerin arasında ve ayrıca hücre gruplarının çıkışlarında kullanılacak köprüleme diyotları, akımın gölgelenmiş olan hücre veya panelin etrafından akmasını sağlayarak güç kaybının sadece gölgeli hücrelerde meydana gelmesini sağlar. Böylece Şekil 4.16'dan da görülebileceği gibi ΔV farkı en aza indirgenebilmektedir. Hücre üzerindeki paralel dirençten (R_p) akım geçmesini önleyerek sıcak noktaların oluşumunu da önleyebilmektedir. Köprüleme diyotları, hücre güneş alırken inaktif konumdadır. Güneş hücresi gölgelendiğinde aktif hale gelmektedir.



Şekil 4.16 Blokaj diyotları ile donatılan güneş enerji sisteminde gölgelenmiş modül sayısına göre değişen I-V karakteristiği (Ünlü ve diğer., 2015)

Fotovoltaik panellerin paralel bağlanması durumunda gölgelenen panel diğer panellerden akım çekmeye başlar. Paralel bağlı fotovoltaik panellerin çıkışına bağlanacak blokaj diyotları bu akım harcamını engelleyeceği gibi, aküden gelebilecek ters akımlara karşı da koruma sağlayacaktır.

Sonuç olarak, bulutlu ve kapalı havalara karşı önlem olarak güneş enerjili deniz taşıtlarında panellerin seri veya paralel bağlanmasına bakılmaksızın blokaj diyotlarının kullanımı gereklidir. Paneli oluşturan hücrelerin de kendi aralarında blokaj diyotu korunmaları sisteme verimlilik açısından avantaj sağlayacak ve gereksiz ısı kayıplarını önleyecektir.

4.1.7 Albedo Etkisinin İncelenmesi

Albedo bir yüzeyin yansıtıcılığının ölçüsüdür. Işık yansıtma katsayısı olarak da bilinir. Kelime olarak “Albedo”, Latince’den gelmekte ve “Beyazlık” anlamına gelmektedir. Üzerine çarpan enerjinin tamamını yansıtan yüzeylerin albedosu 1’dir. Siyah bir yüzeyin albedosu ise 0’a çok yakındır. Bu tür yüzeyler, üzerine çarpan ışınımın tamamını absorbe ederler (Wikipedia, 2016a).

Albedo etkisi yerküreye soğutucu etki yapmaktadır. Yansımayan ışınlar yüzey tarafından absorbe edileceğinden yüzeyin ısınmasına sebep olur. Açık renkli ve yansıtıcı yüzeyler ise ışığı geri yansıtarak ısınmayı engeller. Binaların dış yüzeylerini beyaza boyayarak içinin serin kalması ve yaz aylarında açık renkli giysilerin tercih edilmesi bu sebeptendir.

Yerküre için albedo, güneşten gelen ışınımın ne kadarının uzaya geri yansıdığını gösteren bir ölçüdür. Yerkürenin albedosu Tablo 4.4’te gösterildiği üzere bulunan çevrenin karlı, buzlu, orman, toprak vb. olmasına göre değişmekle birlikte, ortalama olarak 0,3 değeri kabul edilmektedir (Tepper ve diğer, 2016). Dünyada iki kutup noktası yüksek albedo değerlerine sahip iken, okyanuslar oldukça düşük albedo değerlerine sahiptir.

Tablo 4.4 Çeşitli yüzeyler için albedo değerleri (Oke, 1992; Ahrens, 2006)

Yüzey	Detaylar	Albedo
Toprak	Koyu ve ıslak	0,05 -
	Açık renk ve kuru	0,40
Kum		0,15 - 0,45
Çim	Uzun	0,16 -
	Kısa	0,26
Tarımsal Ürünler		0,18 - 0,25
Tundra		0,18 - 0,25
Orman	Yaprak döken	0,15 - 0,20
	İğne yapraklı	0,05 - 0,15
Su / Okyanus	Küçük zenit açısında	0,03 - 0,10
	Büyük zenit açısında	0,10 - 1,00
Kar	Oturmuş	0,40 -
	Taze	0,95
Buz	Deniz	0,30 - 0,45
	Buzul	0,20 - 0,40
Bulut	Yoğun	0,60 - 0,90
	İnce	0,30 - 0,50

Dünya yüzeyi, beyaz karlı ve buzlu yüzeylerden okyanusların ve ormanların koyu yüzeylerine varana kadar birçok renkte yüzeyden oluşmaktadır. Albedo değerlerinden dolayı her yüzeyin dünyanın sıcaklığına olan etkisi farklıdır. Karlı ve buzlu yüzeylerde ışıının büyük çoğunluğunu yansıtıldığı için az miktarda ısı alınırken, okyanus yüzeylerinde ısı absorbe edilerek suları ısınır. Bu sebeple yerkürenin ısısının tutulmasında dünyanın %70,8'ini kaplayan suların payının büyük olduğunu söylemek mümkündür (Cook, 2010).

Güneş ışınları yerküreye çarpmadan önce bulutlar tarafından da yansıtılabilmektedir. Bu durumda bulutların da yerkürenin soğumasına katkıda bulunduğu söylenebilir. Fakat aynı zamanda içerisinde bulunan su buharının ısıyı alarak yerkürenin ısınmasına da sebep olabildiği göz ardı edilmemelidir. Mevsimsel olarak yerkürenin albedosu yılda iki kez pik yapmaktadır (IPCC, 2007). İlki Antartika'nın kış zamanının gelmesi ile çoğalan buzulların etkisi ile albedo pik yapar. Daha yüksek albedoya ulaşılan ikinci seferi ise; kuzey yarım kürenin çoğunun karla kaplı olduğu kış zamanındadır.

Tablo 4.5 İzmir ilinde üç farklı yüzeyin albedo etkisinde iken, 1200W_p fotovoltaik paneller ile alınabilecek yıllık enerji miktarları

<i>Albedo</i>	0° eğim	38° eğim	75° eğim	İki eksenli güneş takipli
Okyanus (0,07)	1314,14 kW	1289,88 kW	991,14 kW	1749,30 kW
Çim (0,26)	1314,14 kW	1316,78 kW	1084,40 kW	1795,10 kW
Kar (0,75)	1314,14 kW	1382,60 kW	1324,78 kW	1894,30 kW

Tablo 4.5'te gösterilen veriler, PVsyst yazılımı ile simule edilmiş 1200W_p gücünde bir fotovoltaik sistemin, farklı albedo değerindeki yüzeyler için İzmir ilindeki ışınlam koşullarında üretilebilecek toplam yıllık ortalama enerji miktarlarını göstermektedir. 0° eğim açısında yansıyan ışınların fotovoltaik sistem üzerine düşme ihtimali olmadığından, albedo etkisinin değişimi fotovoltaik sistem performansını etkilememektedir. Panellerin yatay ile sabit 38° eğim yaptığı açıda, artan albedo değerlerinde alınacak güç miktarının yıllık bazda %0,07 artış göstermiş olduğu görülmektedir. 75° eğimde güneş ışınları panele çoğunlukla dik gelememesinden dolayı güç miktarı düşüş göstermektedir. Fakat yansıyan ışınlar panellere daha dar açıda vuracağından, artan albedo değerlerinde elde edilecek enerji miktarları farkı daha fazla olmaktadır. İki eksenli güneş takip sisteminin sisteme oldukça yüksek verim sağladığı tablodan görülebilmektedir. Okyanus yüzeyinde alınan güç ile karlı bir yüzey arasındaki güç miktarları arasında %0,08 oranında verim farkı meydana gelmektedir.

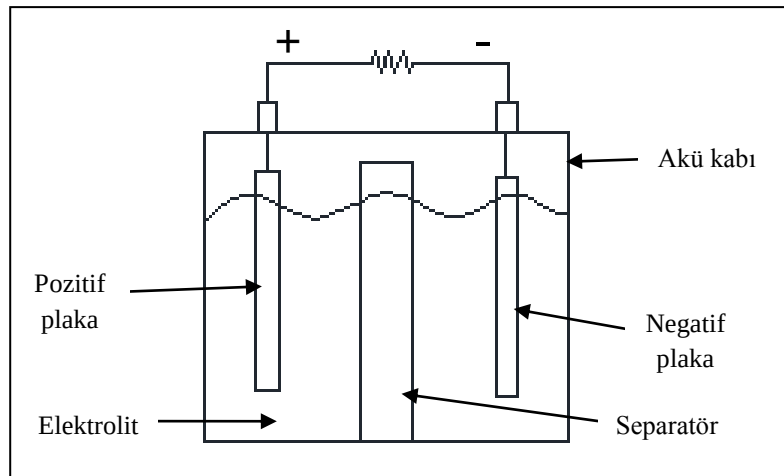
Albedo faktörünün fotovoltaik sistemlerde meydana getirdiği enerji farkı için, Tablo 4.5'ten de anlaşılacağı üzere, ihmal edilemeyecek seviyede olduğunu söylemek mümkündür. Elektrik sistemleri için bu miktar verim artışları oldukça önem arz etmektedir. Bir güneş enerjili tekne için seyir halinde iken albedo etkisinden yararlanmak, güneş takip sistemi olmadığı sürece ihmal edilebilir boyutlardadır. Fakat iskeleye yanaştıktan sonra deniz dışında kalan çevrenin etkisi panellere etki edebilecektir.

4.2 Akü Grubu Seçiminin Enerji Verimine Etkisi

Güneş enerjili deniz taşıtları için günümüzde yaygın olarak en eski şarj edilebilir akü tipi olan kurşun asit akülerin kullanıldığı görülmekte beraber, lityum iyon tip aküler de son zamanlarda kullanılmaya başlamıştır. Son yıllarda çok sayıda akü teknolojisi geliştirilmesi ve halen geliştirilmeye devam edilmesi ile akü gruplarının şarj/deşarj verimliliği, enerji depolama yoğunlukları, çevrim süreleri, maliyet, kompaktlık ve çevre dostu olma gibi karakteristik özelliklerinin geliştirilmesi sağlanmaktadır. Bu bölümde elektrik tahrikli teknelerde kullanılması muhtemel şarj edilebilir akü çeşitleri, bunların birbirleri üzerine üstünlükleri ve zayıf yönleri irdelenmektedir.

4.2.1 Akü Çeşitleri

Akü, elektrik enerjisinin kimyasal enerjiye çevrilerek depolandığı ve depolanmış kimyasal enerjinin elektrik enerjisine çevrildiği elektrokimyasal yapıdır (Rekioua & Matagne, 2012). Akü hücresi ise, akü içindeki en temel elektrokimyasal ünedir. Yapısında elektrolit solüsyon içinde bulunan ve bir separatör ile birbirinden ayrılmış pozitif ve negatif plakalar bulunmaktadır (Martinez, 2011). Akü hücresi içindeki negatif plakalar, pozitif plakanın iki yüzeyinin de aktif tutularak bükülmesini önlemek amacıyla, pozitif plakalardan bir fazla olmaktadır (Anonim, 2015). Bir akü hücresinin yapısı Şekil 4.17 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.17 Akü hücre yapısı

Fotovoltaik modüllerden üretilen elektrik enerjisini depolamak ve gerekli birimlere elektrik enerjisi sağlayabilmek için akülere ihtiyaç duyulmaktadır. Aküler düzenli akım ve voltajlarda, ihtiyaç duyulan elektriği yüksek akım değerlerinde sağlayabilmektedir (Rekioua ve Matagne, 2012).

Enerji depolamak amacıyla çeşitli alanlarda farklı çeşitlerde aküler kullanılabilmektedir. Fotovoltaik sistemlerde düşük maliyetleri, farklı ebatlarda bulunabilirliği ve performans karakteristiğinin anlaşılmış olması sebebiyle en yaygın olarak kurşun asit aküler kullanılmaktadır. Bazı kritik, düşük sıcaklık isteyen fotovoltaik uygulamalarda nikel-kadmiyum hücrelerin kullanıldığı; fakat bunların yüksek maliyetleri sebebiyle sınırlı sayıda kaldıkları görülmektedir (Poullikas, 2013). Güneş enerjili teknelerde daha yaygın olarak marin tip kurşun asit aküler kullanılmakla birlikte lityum iyon akülerin kullanıldığı da görülmektedir.

4.2.1.1 Kurşun Asit Aküler (Pb-Asit)

Kurşun asit aküler, 1859 yılında Gaston Planté tarafından icat edilmesiyle ticari olarak kullanılan ilk şarj edilebilir akü çeşidi olmuştur. Şekil 4.17 ile gösterildiği üzere yapısında sıvı bir elektrolit kullanılmaktadır (Poullikas, 2013). Asidik maddelerin kullanımı, yapısında kurşun bulunması, depolanan enerji/ağırlık oranının ve depolanan enerji/hacim oranının düşüklüğü gibi dezavantajlara sahiptir. Düşük üretim maliyetleri sebebiyle elektrikli araçlarda kullanımı oldukça yaygındır (Manzetti ve Mariasiu, 2015). Özellikle şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerde damlatma yapmaz oluşu (Linden ve Reddy, 2002) ve kolay taşınması sebebiyle sıklıkla tercih edilmektedir (Rekioua ve Matagne, 2012).

Kurşun asit teknolojisinin sakıncaları arasında sınırlı kullanım ömrü, yüksek ve düşük ortam sıcaklıklarında performansının düşük olması ve doğa dostu olmayan kurşun içeriğinin ve asit yapıli elektrolitlerin kullanılması sayılabilmektedir (Nirmal-Kumar ve Garimella, 2010).

4.2.1.2 Nikel-Kadmiyum Aküler (NiCd)

NiCd aküler göreceli olarak güçlü ve ucuz olmaktadır (Rekioua & Matagne, 2012). Nikel-kadmiyum akülerin kurşun asit akülere göre şebekeden bağımsız sistemlerde kullanımına yönelik çeşitli avantajları bulunmaktadır. Uzun ömürlü olmaları, düşük bakım giderleri, düşük sıcaklıklardaki performansları bu avantajlardan bazılarıdır. NiCd akülerin en büyük dezavantajları ise yüksek maliyetleri ve kurşun-asit akülere kıyasla daha sınırlı sayıda bulunabilirliğidir (Martinez, 2011).

4.2.1.3 Lityum İyon Aküler (Li-ion)

Lityum iyon tipi aküler yüksek enerji yoğunluğu/ağırlık oranı sayesinde daha büyük enerji depolama kapasitesine sahiptirler. Buna rağmen yüksek maliyetleri, ısınma problemleri ve sınırlı kullanım ömrü gibi faktörler geniş çaplı kullanımlarını kısıtlamaktadır (Manzetti ve Mariasiu, 2015). Lityum iyon akülerin kullanım alanı henüz taşınabilir elektronik pazarında daha çok oluşmuş olsa da, elektrikli taşıtlarda ve yenilenebilir enerji depolanan uygulamalarda yaygınlaşmaya yeni yeni başlamaktadır. Lityum iyon aküler %100'e yakın enerji depolama verimliliği ile en yüksek enerji yoğunluğuna sahip akülerdir (Hall ve Bain, 2008).

Lityum iyon aküler şarj olurken lityum iyonları pozitif elektrottan negatif elektrota doğru akar. Enerjisini verirken de bu işlemin tam tersi meydana gelir. Pozitif elektrot, lityum iyonlarını tutan lityum metal oksitlere sahiptir. Negatif elektrot ise karbondan oluşmuştur. Elektrolit ise organik karbonatlar içinde çözülmüş lityum tuzlarından oluşmaktadır (Rekioua ve Matagne, 2012).

4.2.1.4 Sodyum-Sülfür Aküler (NaS)

Sodyum-sülfür aküler metalik sodyumdan yararlanmakta ve yüksek sıcaklıklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu tip aküler büyük çaplı elektrik şirketlerinde enerji depolama uygulamalarında sıklıkla görülmektedir. Yüksek enerji yoğunluğu,

yüksek şarj/deşarj verimliliği (%75 – %86), uzun kullanım ömrü ve ucuz materyallerden üretiliyor olması gibi yararları bulunmaktadır. Diğer yandan, çalışma sıcaklıklarının 300-350°C civarında olması ve sodyum polisülfür bileşiklerinin yüksek korozif özellikleri sebepleriyle, NaS akülerin kullanım alanı öncelikli olarak büyük çaplı şebeke bağımlı enerji depolama uygulamalarına uygun olmaktadır. (Poullikas, 2013).

4.2.1.5 Nikel-Hidrojen Aküler (NiH_2)

Nikel-Hidrojen aküler 15 yıldan daha uzun kullanım ömrüne ve yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Aşırı yüklenmeye karşı da iyi bir direnç göstermektedir. Fakat yüksek maliyete, yüksek hücre içi basıncına ve düşük hacimsel enerji yoğunluğuna sahiptir. Daha çok uzay uygulamalarında ve iletişim uydularında kullanılmaktadır.

4.2.1.6 Nikel-Metal Hidrit Aküler ($NiMH$)

NiMH akü üretim teknolojisi ve çalışma prensibi NiCd akülere benzemektedir. NiCd akülere göre en önemli avantajı, akü tam dolu olmadığı durumda tekrar tekrar şarj edildiğinde maksimum enerji kapasitesinin azalmasına yol açan hafıza etkisinin (Linden ve Reddy, 2002) NiMH akülerde görülmemesidir. Ayrıca, yüksek performanslı NiCd akülerden %25-30 oranında daha fazla enerji yoğunluğuna sahiptirler (Crompton, 2000). Li-ion akülerle kıyaslandığında NiMH aküler daha düşük enerji depolama kapasitesine ve ayrıca daha yüksek özboşalım katsayısına sahip olmaktadır (Manzetti ve Mariasiu, 2015).

4.2.1.7 Nikel-Çinko Aküler ($NiZn$)

Nikel-Çinko akülerin pozitif elektrotları nikel oksitten negatif elektrotları ise çinkodan oluşmaktadır. Daha çevre dostu bir akü tipi olmanın yanında, NiCd akülere göre yaklaşık %25 oranında daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptirler. Çalışma prensipleri redoks tepkimelerine dayanmaktadır (Rekioua ve Matagne, 2012).

4.2.1.8 Sodyum Nikel Klorür Aküler (NaNiCl/ZEBRA)

NaNiCl aküler, 270-350°C çalışma sıcaklığı aralığında eriyik halde tuz elektrolit kullanarak çalışmaktadır. “Zebra akü” olarak da adlandırılmaktadırlar. Yüksek enerji yoğunluğunda enerji depolama imkânı sunmaktadırlar. Bu tip akülerde operasyon güvenliği ve uzun süreli depolama konularında sıkıntılar yaşanabilmektedir (Manzetti ve Mariasiu, 2015).

4.2.1.9 Lityum-İyon Polimer Aküler (Li-Poly)

Li-ion akülerden en belirgin farkı, yapısında bulunan elektrolitin katı halde iyon iletimi sağlayan polimer malzemeden oluşmuş olmasıdır. Polimer elektrolit ayrıca ayırıcı görevi de görmektedir. Li-poly akülerde enerji yoğunluğunun artması, taşınabilir elektronik cihazlar için daha ince tasarımlar oluşturulmasına imkân vermektedir. Sıvı bir elektrolit barındırmaması sebebiyle daha emniyetli, enerji yoğunluğu yüksek ve uzun ömürlü bir sistemdir (Rekioua ve Matagne, 2012).

4.2.1.10 Lityum-Metal (Li-Metal) Aküler

Lityum, iyonik formu yerine metalik formda saklandığında enerji yoğunluğunda ve özgül enerjisinde artış meydana gelmektedir. Li-metal akülerde kullanılan metalik haldeki lityum ayrıca yüksek reaktivitesi sebebiyle ciddi problemler meydana getirmektedir (Rekioua ve Matagne, 2012).

4.2.1.11 Yeni Gelişen Akü Teknolojileri

Akü teknolojileri alanında yeni anot ve katot materyalleri üzerine yapılan çalışmalar ile kapasite artırımı, çevrimlerin düzenliliği, iletkenlik ve iyon taşınması konularında performans artışı sağlamak amaçlanmaktadır.

Şarj edilebilir akü teknolojilerinden olan Li-hava piller, pahalı kimyasallar yerine havadaki oksijeni kullanması sebebiyle son yıllarda oldukça ilgi çekmektedir. Bu

pilller susuz ortamda $2\text{Li} + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{Li}_2\text{O}_2$ tepkimesine ile 3505 Wh/kg'lık oldukça yüksek bir özgül enerji üretebilmektedir (Bruce ve diğer., 2012). Bunun yanında kompakt, hafif ve düşük maliyetli olması sistemin avantajlarıdır. Henüz ticari pazarda aktif olamamış bu sistemde karşılaşılan stabilite sorunlarının üstesinden gelindiğinde ve akım alma/verme kabiliyeti artırıldığında, li-ion gibi yüksek performanslı akü tiplerinden çok daha iyi performanslı bir akü tipi olma potansiyeline sahip olacaktır (Cheng ve Scott, 2014). $\text{LiCoO}_2/\text{SrLi}_2\text{Ti}_6\text{O}_{14}$ aküler, $\text{SrLi}_2\text{Ti}_6\text{O}_{14}$ malzemesinin yüksek elektronik iletkenliği sayesinde %50'ye varan deşarj derinliği ve 3973W/kg güç yoğunluğu ile oldukça önemli bir potansiyel teşkil etmektedirler (Liu ve diğer., 2014). $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$ materyalinin katot olarak kullanımını inceleyen çalışmalar, bu tip akülerin yüksek teorik kapasitelere sahip, düşük maliyetli ve çevre dostu olduklarını göstermektedir (Gummov ve He, 2014).

Maliyet azaltan etmenlerden biri olan akü çevrim ömrünün artırılması konusunda, anot ve katot materyallerinin geliştirilmesi için nanoteknoloji kullanımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Nanoteknolojik çalışmaların, akü teknolojileri için daha yeşil teknolojiler geliştirecek kapılar açacağı öngörülmektedir (Manzetti ve Mariasiu, 2015).

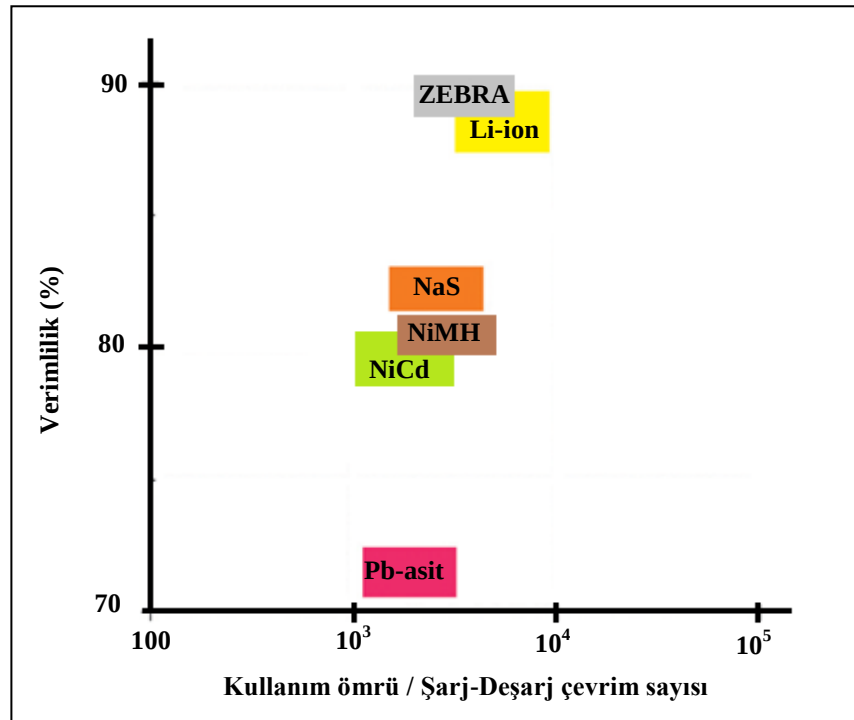
4.2.2 Akü Teknolojilerinin Karşılaştırmalı Teknik ve Ekonomik Analizi

Bir önceki bölümde belirtilen akü tiplerinin birbirleri üzerine avantajlı ve dezavantajlı oldukları durumlar mevcuttur. Teknolojisi yeni olan sistemler daha fazla performans vaad etmelerine rağmen genel olarak çevrim sayılarının düşük olmakta ve kullanılan malzemeler yüksek maliyetli olmaktadır. Bu teknolojilerin günümüz koşullarında birbirleri üzerindeki üstünlüklerini anlayabilmek adına akü karakteristiklerini iyi analiz etmek gerekmektedir.

Tablo 4.6 Çeşitli akü teknolojilerinin teknik karakteristik özellikleri (Manzetti ve Mariasiu, 2015; Cai ve diğer., 2010; Hall ve Bain, 2008)

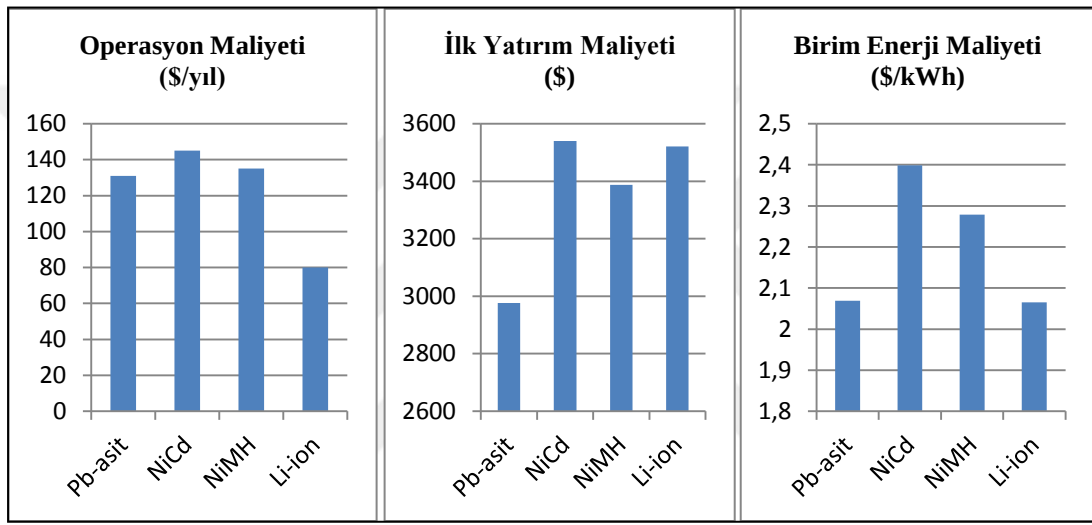
Akü tipi	Özgül Enerji (Wh/kg)	Enerji Yoğunluğu (Wh/L)	Özgül Gücü (W/kg)	Özboşalım katsayısı (%/24h)	Çevrim ömrü	Çalışma sıcaklığı (°C)	Maliyet (₺kWh ⁻¹)
Pb-asit	40	70	180	1	500	-15 - 45	105-175
NiCd	60	100	150	5	1350	-40 - 70	200-300
NiMH	70	250	1000	2	1350	-30 - 70	250-350
Li-ion	125	270	1800	1	1000	-20 - 60	250-1000
Li-Poly	200	300	3500	1	1000	-20 - 60	350-750
ZEBRA	125	300	1500	0	1000	275 - 350	70-270

Tablo 4.6 elektrikli teknelerde kullanılabilecek bazı akü teknolojilerinin çeşitli kaynaklardan alıntılanmış akü karakteristiklerinin ortalama verilerini ve ortalama maliyet aralıklarını göstermektedir. Elektrikli teknelerde kullanılan elektrik motorlarını besleyecek olan akünün mümkün olduğunca yüksek enerji yoğunluğunda olması, elektrik tahrikli araçların en büyük sorunlarından biri olan menzilin (Erginer, Konur ve Gülmez, 2016), elektrik motorunun yüküne göre değişen miktarlarda artmasını sağlayacaktır.



Şekil 4.18 Akü tiplerinin verimlilik/kullanım ömrü grafiği (Hall ve Bain, 2008; Cai ve diğer., 2010)

Şarj edilebilir akülerin şarj/deşarj verimlilikleri ile kullanım ömrünü kıyaslayan grafik Şekil 4.18 ile verilmiştir. Li-ion ve Zebra teknolojisi diğer akü tipleri arasında enerji yoğunluğu ve şarj/deşarj verimi en yüksek olan akü tipleridir. Bu da birçok ileri düzey temiz enerji depolama uygulamalarında zebra ve lityum akü kullanımının en iyi yol olabileceğine işaret etmektedir (Hall ve Bain, 2008). Diğer yandan, lityum akülerin yüksek akım üretme kabiliyetlerinin yetersizliği sebebiyle, elektrolit ve elektrot materyalleri konusunda yapılacak geliştirmeler lityum teknolojisi için önem arz etmektedir.



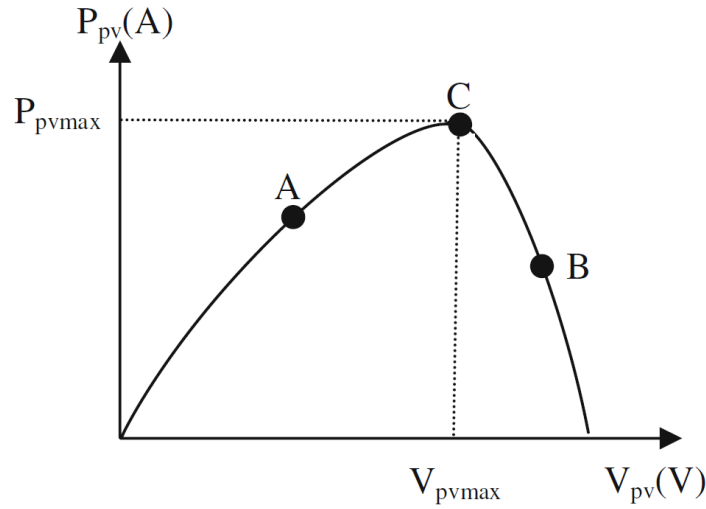
Şekil 4.19 0,3kW kesintisiz enerji sağlanan dört akü tipinin ekonomik değerlendirmesi (Nair ve Garimella, 2010)

0,3kW kesintisiz enerji ürettiği varsayılan yenilenebilir enerji kaynağının kullanıldığı modelleme sonucu elde edilen ekonomik analiz verileri Şekil 4.19'da verilmiştir (Nair ve Garimella, 2010). Buna göre Lityum iyon akülerin ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasına rağmen, operasyon maliyetleri düşük olduğu için birim enerji maliyeti olarak kurşun asit aküler ile yarışır durumdadır. Bu sonuca bakarak Lityum akülerin kurşun asit akülere kıyasla daha pahalı olduklarını söylemek doğru değildir. Geliştirilen yeni malzeme teknolojileri sayesinde kurşun asit teknolojisinden daha ekonomik ve daha hafif ürünlerin ortaya çıkacağı öngörülebilmektedir.

4.3 MPPT(Maksimum Güç Noktası Takipçisi – Maximum Power Point Tracker) Kullanımının Enerji Verimine Etkisi

Fotovoltaik modüllerden elde edilen çıkış gücü büyük oranda güneş ışımasına ve sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu değişimlere göre fotovoltaik pillerde üretilen dalgalı çıkış voltajlarının güç elektroniği dönüştürücüleri ile sistemin maksimum güç noktası voltajına ayarlanması, fotovoltaik sistemler için mantıklı bir kullanım teşkil etmektedir. Bu sebeple, fotovoltaik modülün maksimum güç noktasını takip etmek, maksimum sistem verimini elde etmek için gerekli olmaktadır.

Bir fotovoltaik modülün belli bir yük üzerine maksimum güç sağlayabildiği özel bir çalışma noktası bulunmaktadır. Bu nokta maksimum güç noktası (Maximum Power Point – MPP) olarak adlandırılmaktadır. Fotovoltaik modülün MPP’de çalışmasını sağlayabilmek için maksimum güç noktası takipçileri (Maximum Power Point Tracker – MPPT) kullanılmaktadır. Tanım olarak MPPT (Zhou ve diğer., 2010), meteorolojik koşullar ne şekilde değişirse değişsin, tümleşik olduğu DC/DC dönüştürücü ile fotovoltaik pilden maksimum sürekli gücün üretilmesini sağlar.



Şekil 4.20 Bir fotovoltaik hücrenin güç-voltaj karakteristiği (Rekioua ve Matagne, 2012)

Maksimum güç noktası (MPP), fotovoltaik gücün gerilime göre türevinin sıfır olduğu noktada ($dP_{pv}/dV_{pv} = 0$) elde edilmektedir. Sistemin maksimum güç noktasına ulaşabilmesi için; dP_{pv}/dV_{pv} eğimi pozitif iken fotovoltaik (PV) voltajı

V_{pv} artırılarak, dP_{pv}/dV_{pv} negatif iken V_{pv} azaltılarak ayarlama yapılmaktadır. Bir fotovoltaiik hücrenin güç-voltaj karakteristiğini gösteren grafik Şekil 4.20’de gösterilmiştir.

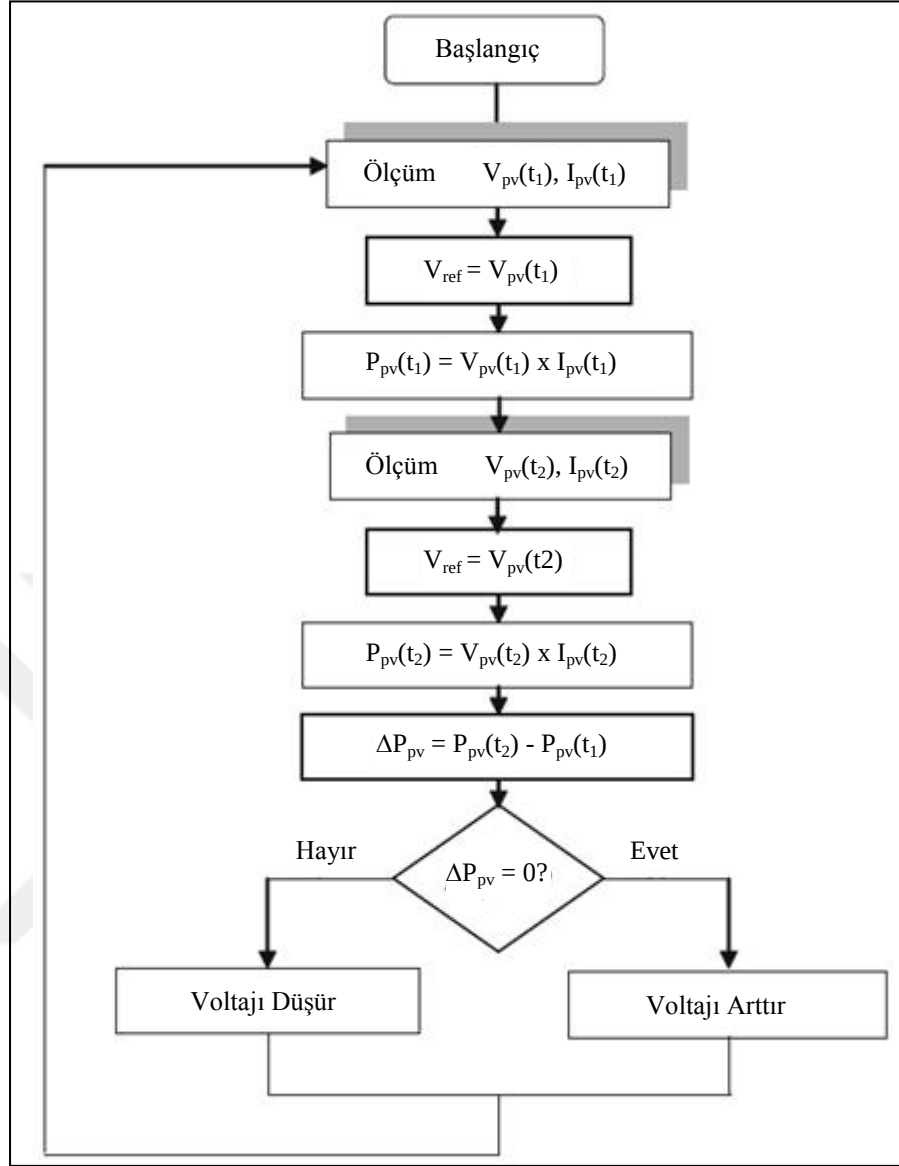
Yapılan bu kontrol, sistemin maksimum çalışma noktaları olan $V_{pv,max}$ ve $I_{pv,max}$ ’a ulaşarak optimum gücün üretilmesini sağlar. İlk MPPT sistemi 1968 yılında bir uzay aracında kullanılmıştır. Daha sonraki yıllarda maksimum güç noktasını belirlemek için birçok MPPT algoritması geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılmıştır (Esrarn ve Chapman, 2007).

4.3.1 MPPT Metodları

Maksimum güç noktasına erişmek için birçok farklı maksimum güç noktası takibi metodu geliştirilmiştir. Bu metodlar birbirlerinden karmaşıklık, sensör ihtiyacı, yakınsama hızı, maliyet, etkinlik aralığı, donanım, popülerlik gibi özellikler bakımından ayrılmaktadır. Metodlar arasında belirgin bir ayrım olmadığından, belirli bir fotovoltaiik sistem için hangi MPPT metodunun daha uygun olacağına karar vermek oldukça zor olmaktadır (Esrarn ve Chapman, 2007).

Bir MPPT sisteminde (İbrahim ve diğer., 1999), mikroişlemciye yerleştirilen, değişen ışınım ve sıcaklık değerleri için fotovoltaiik pile özel parametrelerin ve verilerin işlendiği bir referans tabloya göre maksimum güç noktası takibi yapılmaktadır. Bu sistemde verileri depolamak için büyük bir belleğe ihtiyaç duyulmakta ve farklı güneş panelleri için MPPT tekrar kalibre edilmelidir. Ayrıca her türlü değişkeni sisteme yüklemek ve saklamak oldukça zor olmaktadır.

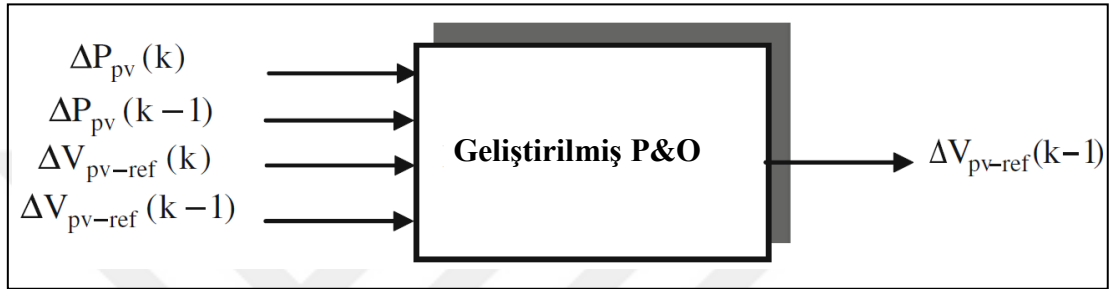
Fotovoltaiik pillerin lineer olmayan karakteristiklerinin matematiksel denklemlerle ve nümerik yaklaşımlarla modellendiği eğri uydurma (curve-fitting) metodu da MPPT metodları arasında yer almaktadır. Bu algoritma da matematiksel işlemler için yüksek kapasitede bir belleğe ihtiyaç duymaktadır (Rekioua ve Matagne, 2012).



Şekil 4.21 Karıştır ve gözlemlerle (P&O) algoritması akış şeması (Rekioua ve Matagne, 2012)

Yukarıda anlatılan metodlar basit ve ekonomik olmalarına rağmen, değişen çevre koşullarına hızlı bir şekilde uyum sağlayamamaktadır. Karıştır ve gözlemlerle (P&O) algoritması, tekrarlayan akım ve voltaj ölçümlerini temel alarak sürekli bir MPP takibi sağlamaktadır. Panel voltajı bilerek artırılarak veya azaltılarak elde edilen güç, karıştırma yapılmadan önce elde edilen güç ile karşılaştırılmaktadır. Şekil 4.21 ile P&O algoritmasının akış şeması gösterilmektedir. Eğer panel gücü yapılan karıştırmadan dolayı artıyorsa, bir sonraki karıştırma da aynı yönde yapılmaktadır. Eğer güç azalma eğiliminde ise, yeni karıştırma ters yönde yapılmaktadır. Günümüzde P&O metodu kolay uygulanabilirliği sebebiyle birçok uygulamada

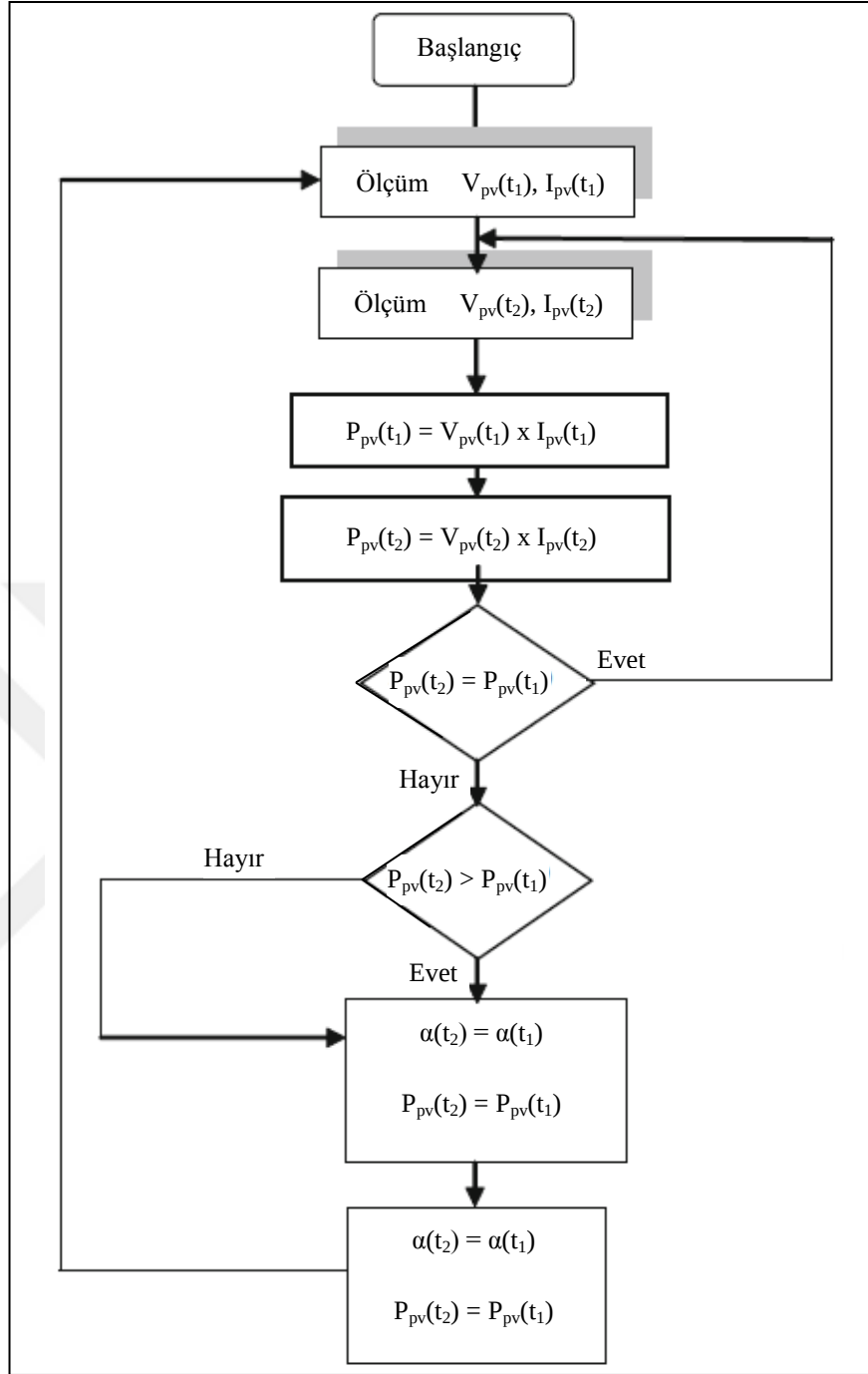
kullanılmaktadır. Fakat P&O tekniğinde salınım problemleri yine devam etmektedir (Rekioua ve Matagne, 2012). P&O algoritmasının anlık atmosferik değişimlerde yaşadığı sıkıntıları azaltmak amacıyla, $\Delta P_{pv}(k), \Delta P_{pv}(k-1), \Delta V_{pv-ref}(k), \Delta V_{pv-ref}(k-1)$ değişkenlerini girdi olarak alarak, bir sonraki karıştırmayı $\Delta V_{pv-ref}(k-1)$ çıkışından başlatan geliştirilmiş P&O metodu uygulanmaktadır. Geliştirilmiş P&O algoritması modeli Şekil 4.22’de gösterilmektedir.



Şekil 4.22 Geliştirilmiş karıştır ve gözlemle modeli (Rekioua ve Matagne, 2012)

Karmaşık kontrol devrelerine ihtiyaç duyan artan iletkenlik metodunda, doğrudan güç değişimlerine odaklanılmıştır. Fotovoltaik panelin çıkış akımı ve gerilimi ile iletkenlik ve artan iletkenlik değerleri hesaplanmaktadır (Won ve diğer., 1994). Bu metodun yüksek maliyet, karmaşıklık, operasyon düzensizliği ve zorluğu gibi dezavantajları mevcuttur. Parazitik kapasitans algoritması, artan iletkenlik metodu ile büyük oranda benzeşmektedir. Artan iletkenlik modeline, güneş hücrelerinin p-n bitişimlerindeki kapasitans eklenerek parazitik kapasitans modeli elde edilmektedir.

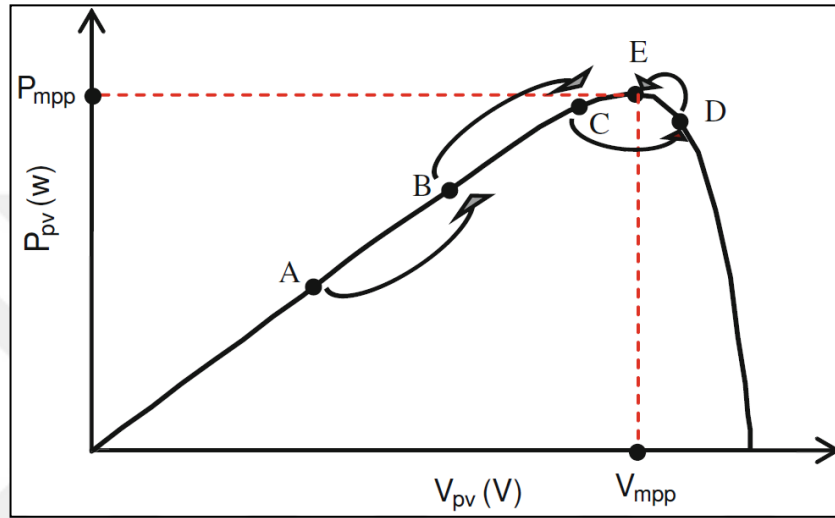
Şekil 4.23’de gösterilen tepe tırmanma metodu prensibi, periyodik olarak $P_{pv}(t_2)$ gücünün $P_{pv}(t_1)$ gücü ile kıyaslanmasına dayanmaktadır. Kıyaslamadan gelen sonuca göre çevrim sayısı artırılır veya azaltılır. Maksimum güç noktasına erişildiğinde sistem bu noktada sonsuz kez salınım yapmaktadır.



Şekil 4.23 Tepe tırmanma metodu akış şeması (Rekioua ve Matagne, 2012)

Akıllı bulanık mantık kontrol cihazları da MPP taramalarında başarılı olmaktadır. Burada da referans gerilimi V_{pv-ref} ile P_{pv} güç değişimleri gözlenmektedir. Verilen referans voltajı yüksek bir güç artırımına sebep oluyorsa, bir sonraki referans gerilimi büyük oranda arttırılarak tekrar gönderilir. Yüksek V_{pv-ref} gücün düşmesine neden oluyorsa bir sonraki voltaj daha düşük verilmektedir. Eğer düşürülen voltaj

küçük miktar enerji artırımı sağlıyorsa, bu MPP'ye yaklaşıldığını ve stabilizasyona başlanması gerektiğini ifade eder. Bulanık mantık maksimum güç noktası takipçilerinde genel olarak girdileri hatalar ve hata değişimleri oluşturmaktadır. P&O metodunda meydana gelen salınımları minimize ederek tepki süresini hızlandırmaktadır (Rekioua ve Matagne, 2012). Bulanık mantık çalışma prensibi Şekil 4.24'te açıklanmaktadır.

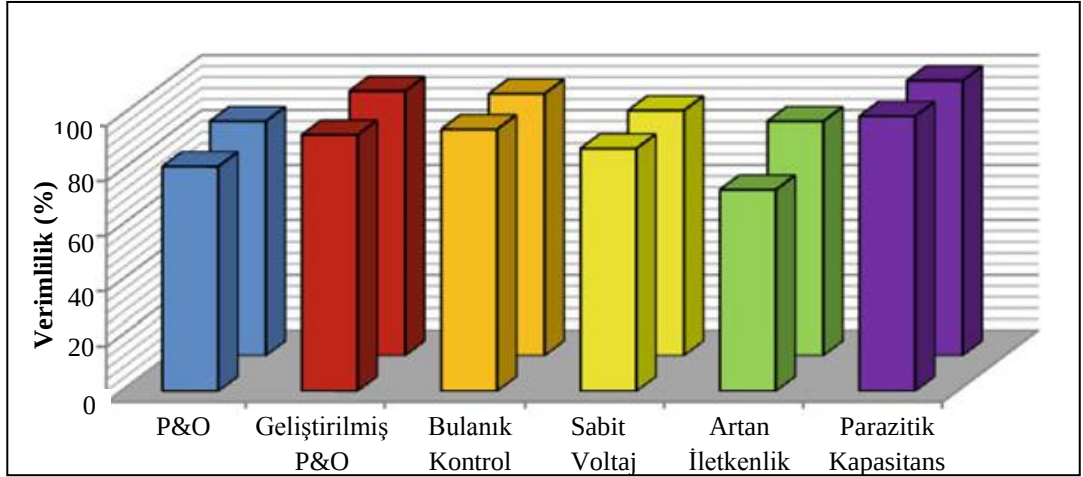


Şekil 4.24 MPPT bulanık kontrol cihazı çalışma prensibi (Lalouni, 2009)

Bulanık kontrol, sistemin dayanıklılığını arttırmaktadır. Matematik modellemelere ihtiyaç duymadan yük değişimlerinde ve farklı parametreler altında düzgün bir takip kontrolü sağlayabilmektedir (Rekioua ve Matagne, 2012).

4.3.2 MPPT Metodlarının Verimlilik Kıyaslamaları

Bugüne kadar geliştirilmiş MPPT metodlarının birbirleri üzerine avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Bazı MPPT metodlarının maksimum ve minimum verim değerlerini gösteren grafik Şekil 4.25 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.25 MPPT Metodlarının Enerji Verimliliği Kıyaslaması (Rekioua ve Matagne, 2012)

P&O algoritmasının maliyeti daha uygun ve uygulanabilirliği daha basit olmasına karşın, enerji verimi açısından diğer metodlara kıyasla daha düşük kaldığı görülmektedir. Matematiksel ve nümerik hesaplamaların kullanıldığı geliştirilmiş karıştır ve gözlemle ve parazitik kapasitans tekniği ile yapay zekânın kullanıldığı bulanık kontrol cihazları yüksek maliyetli olsalar da, %99'a varan oranda enerji verimi sağlayabilmektedirler. Artan iletkenlik metodunun hızlı bir güç takibi sağlamak gibi bir avantajı bulunmaktadır. Parazitik kapasitans algoritması ise daha çok büyük çaplı, birbirine paralel bağlı fotovoltaik uygulamalarda ilgi çekici miktarda verim artışı sağlayabilmektedir.

4.4 Elektrik Motoru Verimliliğinin Teknenin Güç Tüketimine Etkisi

Elektrik motoru güneş enerjili teknelerin sevkini sağlamak üzere güç harcayan ana elemandır. Bu sebeple elektrik motorları enerji verimliliğini doğrudan etkileyen önemli etkenlerdendir. Elektrik motorlarının verim yüzdesindeki ufak bir değişim, motorun çalışma ömrüne bağlı olarak yüksek miktarlarda enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Bu da elektrikli tekneler için maliyet kazancı ve menzil artışı sağlayabilmektedir.

Standart motorlara kıyasla yüksek verimli motorların yatırım geri dönüşleri genellikle daha kısa olmaktadır. Buna rağmen son kullanıcıların çok azı yüksek

verimli motorları tercih etmektedir. Buna yüksek verimli motor kullanımının sağladığı enerji verimi ve maliyet kazancına ilişkin bilincin oluşmamış olması sebep olarak gösterilebilir. Sonuç olarak kullanıcılar ilk yatırım maliyeti daha uygun olan düşük verimli motorlara yönelmektedir.

Devletler tarafından uygulanan zorunlu düzenlemeler, kullanıcıları yüksek verimli motor kullanımına yönleltmek konusunda önemli rol oynamaktadır. Günümüzde dünya nüfusunun üçte birini kapsayan alandaki birçok ülkede, endüstriyel elektrik motorları için minimum enerji performans standartları uygulanmaktadır. Birçoğunda da bu standartlara geçiş süreci yaşanmaktadır. Bu politik müdahaleler, enerji verimi sağlarken maliyet etkinliği de sağlayan yüksek verimli elektrik motorlarının kullanılması için pratik bir yol olarak görülmektedir (IEA, 2011).

4.4.1 Verimlerine Göre Elektrik Motoru Sınıflandırmaları

Dünya devletleri artan enerji ihtiyacına karşılık, elektrik motor sistemlerinde enerji verimi sağlamak için önlemler almakta ve periyodik olarak güncellenen standartlar belirlemektedir.

2005 yılında ABD’de, ülkedeki artan enerji sorunlarıyla başa çıkmak üzere çeşitli vergi teşvikleri ve mali teminatlar sağlanarak enerji politikalarının belirlendiği EPACT (Enerji Politikası Yasası) kabul edildikten sonra, Avrupa Birliğine sunulan CEMEP (Elektrik Makinaları ve Güç Elektroniği üreticileri Avrupa Komitesi) standartları gönüllü olarak uygulamaya konulmuştur. 1,1kW ile 90kW arasındaki 2 ve 4 kutuplu elektrik motorlarını kapsayan standartlar, daha sonra IE (International Efficiency) standartlarının yürürlüğe girmesiyle birlikte hükmünü yitirmiştir. CEMEP standartlarında EFF1, EFF2 ve EFF3 olarak üç gruba ayrılan motor verimlerinden EFF3 sınıfı, standart motor verimini ifade etmektedir. EFF2 sınıfı iyileştirilmiş verim olarak adlandırılır ve IE1 standartına eşdeğerdir. EFF1 sınıfı motorlar ise yüksek verimli motorlar olup 16 Haziran 2011’den yasal sınır olan IE2 standardı ile denktir. CEMEP standartlarında süper yüksek verimli IE3 sınıfı

motorların karşılığı olmadığından, IE3 standartına yasal zorunluluk olarak geçiş tamamlandığında CEMEP standartları tamamen ortadan kalkacaktır.

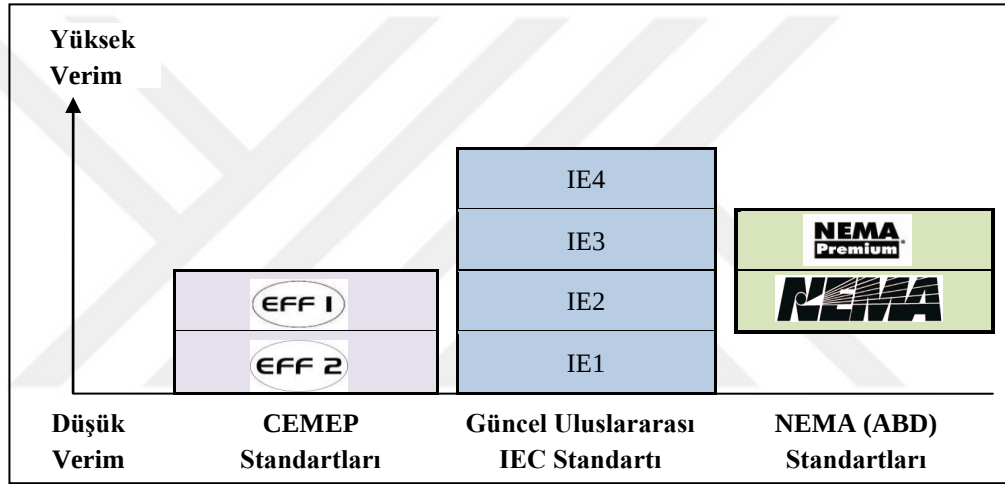
CEMEP üzerine 2008 yılında IEC (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) tarafından daha kapsamlı bir şekilde tüm dünya ülkelerinde tek bir standardizasyona gitmek amacıyla indüksiyon motorları için uygulanacak IEC 60034-30: 2008 uluslararası IEC standardı ve IE kodları yayınlanmıştır. Bu standart Tablo 4.7’de belirtildiği üzere, günümüzde Avrupa Birliği ülkeleri dâhil birçok ülkede minimum enerji performans standardı olarak uygulanmaktadır (IEC, 2015). IEC Standardı IE1, standart verim; IE2, yüksek verim; IE3, çok yüksek verim (süper yüksek verim) ve IE4, süper çok yüksek verim olmak üzere 4 motor verimlilik seviyesini içermektedir.

Tablo 4.7 Dünya genelinde minimum enerji performans standartları (Werle ve Conrad, 2014)

Verim Seviyesi	Verim Sınıfı	Performans Standardı
	IE Code 2014 (Çıkış gücü 0.12-1000kW arasındaki, 50Hz ve 60Hz, 2-4-6 ve 8 kutuplu, üç fazlı elektrik motorları için)	
Süper Çok Yüksek Verim	IE4	Henüz bir zorunluluk bulunmamaktadır.
ÇokYüksek Verim	IE3	Kanada (<150kW)
		ABD (<150kW)
		Meksika (<150kW)
		Güney Kore
		İsviçre
		Japonya
		Avrupa Birliği*
Yüksek Verim	IE2	Türkiye*
		Avustralya
		Kanada (>150kW)
		ABD (>150kW)
		Meksika (>150kW)
		Brezilya
		Çin
		Avrupa Birliği*
Standart Verim	IE1	Türkiye*
		Yeni Zelanda
		Kosta Rika
		İsrail
		Tayvan

*2015 yılı itibarı ile 7,5-375kW arası güçteki üç fazlı elektrik motorları için yasal zorunluluk olarak IE3 verim sınıfı kullanılacak veya IE2 sınıfı motor ile birlikte frekans dönüştürücü kullanılacaktır. 2017 yılında bu kapsam 0,75-375kW arası güçlerdeki motorlar için genişletilecektir.

ABD tarafına bakıldığında, EPACT yasası ile yürürlüğe giren NEMA (Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği) standartları, 2010 yılında EISA (Bağımsız Enerji Güvenlik Hareketi) tarafından getirilen düzenlemelerle daha etkili bir duruma gelmiştir. Bu sayede 0,75-150 kW arası güçlerdeki 2, 4 ve 6 kutuplu, 460 V a kadar olan elektrik motorlarının minimum enerji performans standartı IE2'ye karşılık gelen NEMA standartında iken, 2010 yılından itibaren IE3 standartına denk gelen NEMA Premium standartına geçmiştir (Ercan, 2014). CEMEP, IEC ve NEMA standartlarının birbirleri ile olan eşdeğer karşılaştırma grafiği Şekil 4.26'da gösterilmektedir.

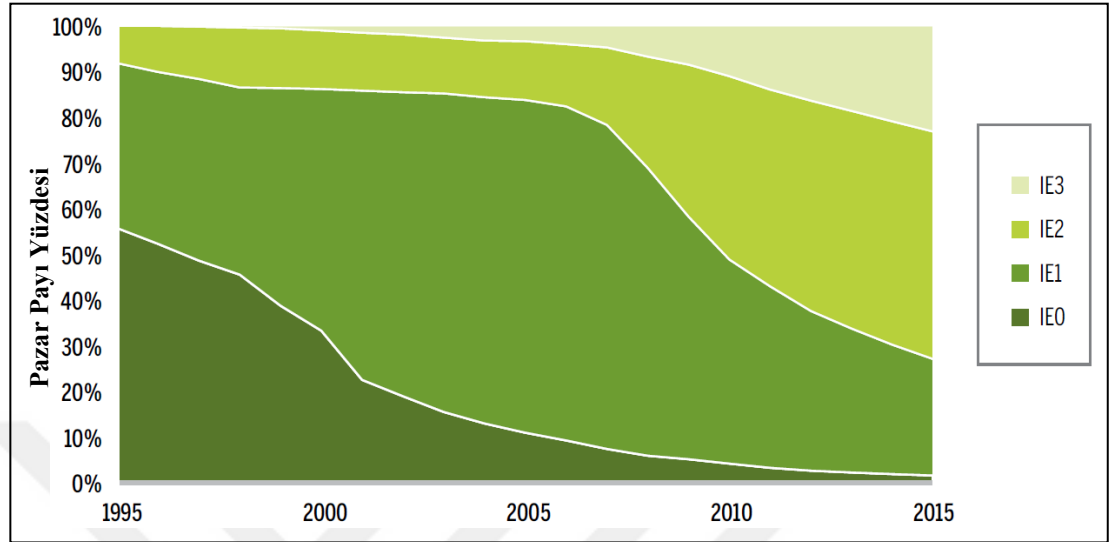


Şekil 4.26 Elektrik motorları verim standartlarının verim değerleri karşılaştırması (Ercan, 2014)

Bu standartlar, küresel piyasada yüksek güç tüketen uygulamalarda en çok kullanılan üç fazlı alternatif akım tüketen elektrik motorları için uygulanmaktadır. Doğru akım (DC) elektrik motorlarının verim sınıflandırması için henüz bir düzenleme yapılmamıştır.

Yapılan düzenlemeler ile birlikte 1995 yılından bu yana küresel piyasadaki verimli elektrik motoru miktarları da artış göstermiştir. Şekil 4.27, 1995-2015 yılları arasında üretilen elektrik motorlarının verim sınıflarına göre küresel satış oranlarını göstermektedir. IE1 ve IE2 standartlarının zorunlu tutulduğu dönemlerdeki satış oranlarının logaritmik bir şekilde artış gösterdiği göz önüne alındığında, geçiş süreci

yaşayan IE3 sınıfı elektrik motorlarının önümüzdeki 5 yıl içinde küresel piyasada büyük yer edineceği kaçınılmaz olmaktadır (IEA, 2015).



Şekil 4.27 Verim sınıflarına göre küresel piyasadaki tahmini elektrik motoru satış oranları (IE0, IE1 verim sınıfı altında kalan motorları göstermektedir.) (IEA, 2015)

Gelecek yıllarda verimliliğin sadece elektrik motoru verimliliği olarak değil, elektrik motor sistemi olarak standartlarca tarif edilmesi ve ölçülmesi hedeflenmektedir. Bu durumda elektrik motorları için verim, sadece bir noktadaki verimlilik için değil, bir matris şeklinde farklı devirler ve farklı yüklenmeler için ölçülebilecektir (Biliz, b.t).

4.4.2 Yüksek Verimli Elektrik Motoru Kullanımının Enerji Verimine Etkisi

Elektrik motorlarına verilen gücün karşılığında mekanik enerji alınmaktadır. Bu enerji dönüşümü sırasında stator ve rotor direnci, gövde kayıpları, rüzgâr ve sürtünmeden kaynaklanan kayıplar, elektrik kayıpları gibi sebeplerle %100'ün altında iş verimi alınmaktadır. Güç kontrol sisteminden kaynaklanan küçük miktar güç harcamı da elektrik motor sisteminin elektrik harcamasına eklenmektedir.

Elektrik motorunun mekanik çıkış gücünün harcanan elektrik enerjisine oranı motor verimliliğini vermektedir. Bu oran günümüz koşullarında %70 ile %97 arasında değişmektedir (IEA, 2015).

$$\eta_{\text{motor}} = P_{\text{şaft}} / P_{\text{giriş}} \quad (4.4)$$

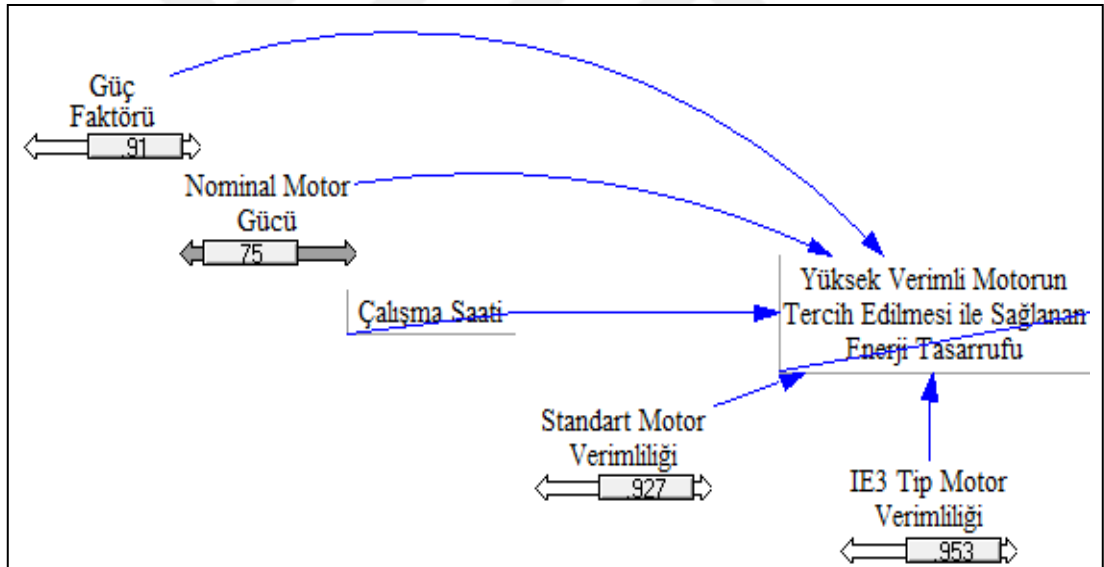
Burada;

η_{motor} : Motor verimliliği (%)

$P_{\text{şaft}}$: Şafta aktarılan mekanik çıkış gücü miktarı (W)

$P_{\text{giriş}}$: Elektrik motorunun harcadığı güç miktarıdır (W).

Düşük verimli elektrik motoru yerine yüksek verimli elektrik motoru kullanımı ile elde edilebilecek enerji tasarrufu miktarı Şekil 4.28 ile gösterildiği üzere motorun güç faktörüne, nominal motor gücüne, motorun ortalama çalışma ömrüne ve kullanılacak olan motorun verimine göre değişim göstermektedir.



Şekil 4.28 Yüksek verimli motor tercihi ile sağlanacak enerji tasarrufuna etki eden değişkenler

Denklem (4.5) ile verilen formül ile düşük verimli elektrik motoru kullanımı yerine daha yüksek verimli bir elektrik motoru kullanılması ile elde edilebilecek enerji tasarrufu bulunabilmektedir:

$$E_{\text{tasarruf}} = P_{\text{nom}} \times \text{PF} \times h \times ((1 / \eta_{\text{m,düşük}}) - (1 / \eta_{\text{m,yüksek}})) \quad (4.5)$$

E_{tasarruf} : Yüksek verimli motor tercihinden sağlanan enerji tasarrufu miktarı (kWh)

P_{nom} : Nominal motor gücü (W)

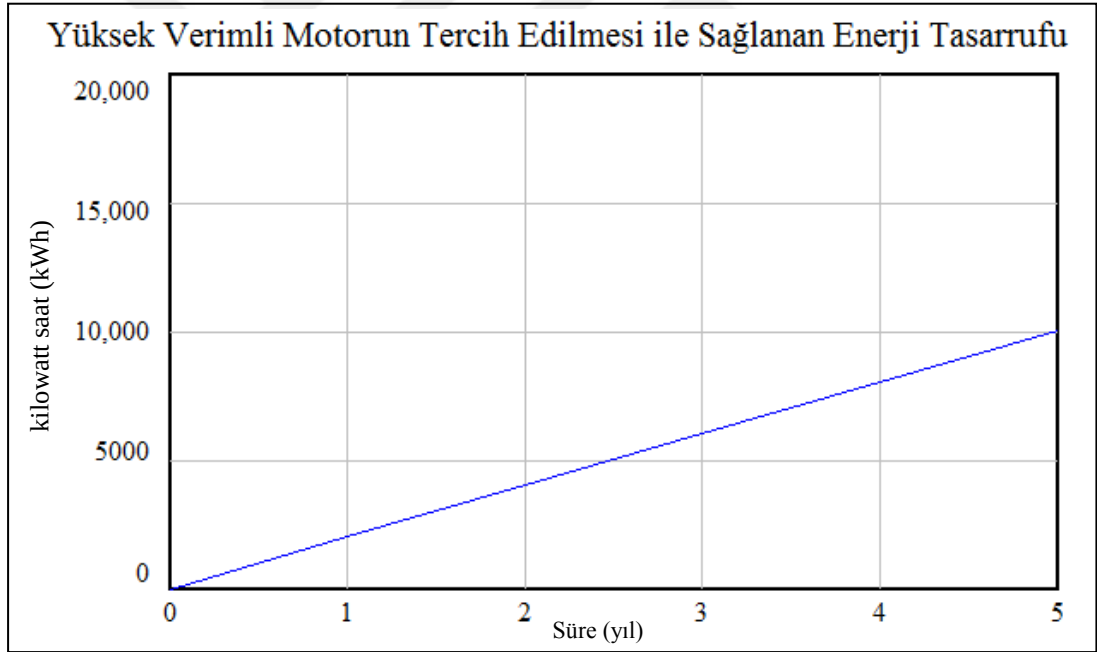
PF: Güç faktörü (Boyutsuz)

h: Çalışma saati (h)

$\eta_{m,\text{düşük}}$: Düşük verimli motor verimi (%)

$\eta_{m,\text{yüksek}}$: Yüksek verimli motor verimi (%) (Çengel ve Çerçi, 2000).

Şekil 4.29’da verilen grafikte, yapılan bir örnek çalışmada nominal gücü 75 kW olan %92,7 verimlilikte IE1 standartında bir elektrik motoru yerine, aynı güçte %95,3 verimlilikte IE3 standartında bir elektrik motoru kullanımı ile sağlanabilecek yıllık enerji tasarrufu miktarı gösterilmektedir. Her iki motor için de güç faktörü 0,91 ve yıllık ortalama çalışma saati 1000 saat alınmıştır.



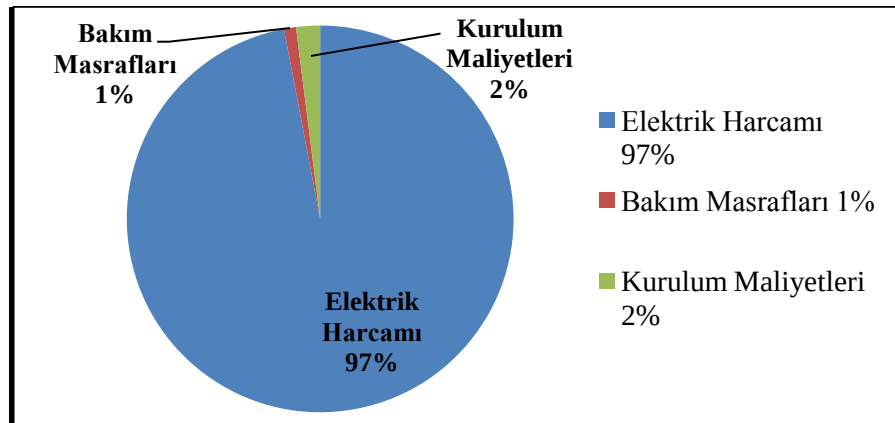
Şekil 4.29 Örnek uygulama verilerine göre düşük verimli IE1 tipi elektrik motoru yerine IE3 tipi yüksek verimli elektrik motorunun tercih edilmesi ile elde edilebilecek enerji tasarrufu grafiği

Grafikten anlaşılaacağı üzere yüksek verimli motorlar enerji harcamasını azaltarak kullanıcıya yüksek miktarda enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Artan yıllık çalışma saatlerinde bu miktarın daha da fazla olacağı göz önüne alınmalıdır. Küresel elektrik motoru kullanımından kaynaklı elektrik harcamı düşünülecek olursa, kanun

koyucuların řu ana kadar oldukça büyük çaplı bir enerji tasarrufu sağladıkları ve yakın gelecekte de bu tasarrufun daha da artacağı görülebilmektedir. Piyasada bulunan en iyi elektrik motorlarını kullanmak, kullanıcıya elektrik motoru enerji harcamından yaklaşık %4-5 oranında tasarruf ettirmektedir (IEA, 2011). Güneş enerjili tekneler üzerinde yüksek verimli elektrik motorlarının kullanımı ile seyir sürelerinde ufak çaplı artışlar görülebilir. Elektrikli sevk sistemlerinde her ince detayın ufak miktar enerji tasarrufu yaratabildiği göz önüne alındığında, %1-3 arasında bir elektrik motoru verimi artışı ince detayların içinde oldukça büyük bir yer tutacaktır.

4.4.3 Yüksek Verimli Motorlar İçin Maliyet Analizi

Düşük verimlilik sınıfındaki indüksiyon motorlarını yüksek verimli motorlar ile değiştirmek, tüketilen elektrik enerjisinde azalma sağlamaktadır. Günün her saatinde elektrik enerjisi üretemeyen ve bu sebeple kara bağlantısı ile akülerine elektrik depolama ihtiyacı duyabilen güneş enerjili teknelerde bu azalma, hem ekonomik hem de seyir süresi olarak önemli katkılar sağlamaktadır (Arslan, 2015).

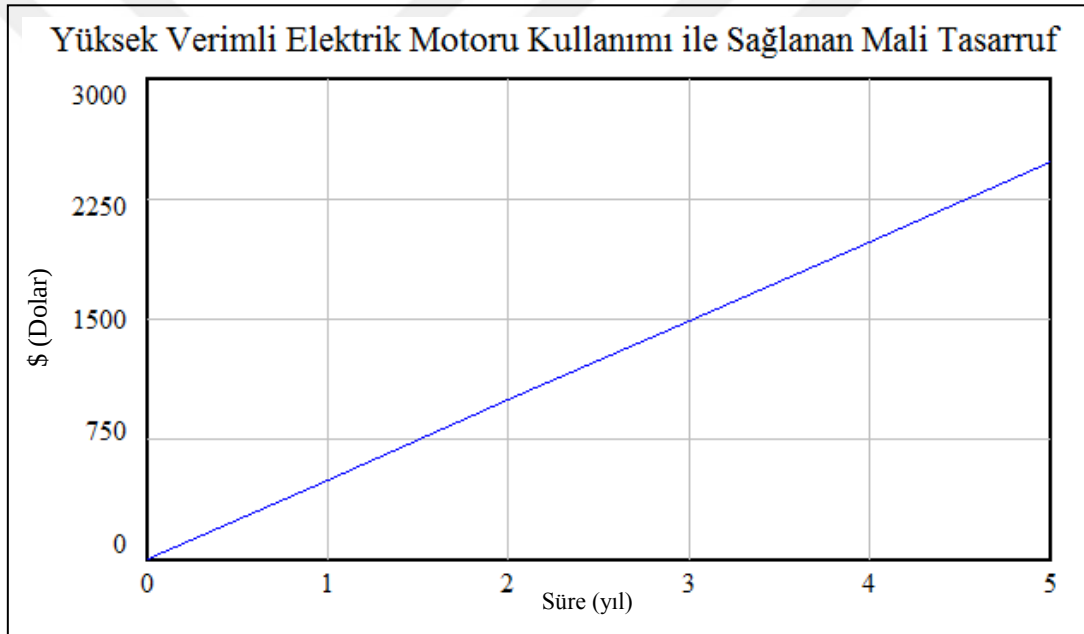


Şekil 4.30 Elektrik motor sistemlerinde kullanım ömrü boyunca oluşan ortalama maliyetler (Elias-Rodriguez, 2016)

Şekil 4.30 ile gösterilen grafikte elektrik harcamı, bakım masrafları ve kurulum maliyetlerinin elektrik motorunun toplam kullanım ömrü maliyeti üzerindeki yüzdeleri belirtilmiştir. Elektrik enerjisi tüketimi, elektrik motorlarının 20-30 yıllık kullanım ömrü boyunca oluşturduğu maliyetlerin %97'sini kapsamaktadır (Elias-

Rodriguez, 2016). Kurulum maliyeti ise kullanım ömrü maliyetlerinin sadece %2'sini oluşturmaktadır. Bu durumda yıllık çalışma saati 1000 saatin üzerinde olan sistemler için ilk yatırım maliyeti en düşük olan elektrik motoru yerine, enerji verimi en yüksek elektrik motor sistemini oluşturmak oldukça önemlidir.

Bölüm 5.4.2'deki örnek çalışma verileri kullanılarak standart verimde IE1 elektrik motoru yerine IE3 tipi elektrik motoru kullanımı ile oluşacak yıllık mali tasarruf miktarı Şekil 4.31'de gösterilmektedir. Bu hesap yapılırken birim enerji maliyeti olarak, marinaların teknelere sağladığı elektrik için ortalama bir değer olan 0.22 €/kWh kullanılmıştır (West Istanbul Marina, 2016).



Şekil 4.31 IE1 standartında elektrik motoru yerine yüksek verimli IE3 standartında elektrik motoru tercih edilmesi ile sağlanabilecek mali tasarruf miktarı

Seçilen elektrik motorları ile yapılan kıyaslamada, IE3 ile IE1 standartlarındaki elektrik motorları arasındaki ilk yatırım maliyeti farkının amortismanının bir yıldan kısa sürede, yaklaşık 11 ayda sağlanabildiği görülmüştür. Örnek çalışma verilerine göre, yüksek verimli motor yıllık olarak kullanıcıya 500\$ tasarruf sağlamaktadır. Böylece 20-30 yıllık kullanım ömrü boyunca 10000-15000\$ kazanç sağlanacaktır. Bu da elektrik motorunun ilk kurulum maliyetinin yaklaşık 3 ile 5 katı kadar bir tasarruf demektir.

Yapılan bu hesaplamalar görev döngüsü, motor aşınması, fazlar arası dengesizlik vb. etmenler ihmal edilerek yapılmıştır. Bu sebeple yüksek verimli elektrik motoru seçimi ile enerji veriminin artacağına dair bir garanti bulunmamaktadır. Bu sebeple elektrik motorlarının testleri ve bakımları periyodik olarak yapılarak optimum performansında tutulmalıdır.

4.5 Elektrik Sisteminde Kullanılan Kabloların Enerji Verimine Etkisi

Elektrik sistemi elemanları arasında enerji iletimini sağlamak amacıyla elektrik kabloları kullanılmaktadır. Bu kablolar, öz dirençleri gereği elektrik iletimi sırasında direnç oluşturmakta ve ısı kayıpları meydana getirmektedir. Bu sebeple fotovoltaik modüllerde üretilen enerjinin akülere ve akülerden çıkan enerjinin elektrik motorlarına ulaştığı sırada enerji veriminde bir miktar kayıp oluşmaktadır.

Elektrik iletimi için kullanılan kabloların dirençleri sıfır olmasa da oldukça düşüktür. Aşağıda verilen formül ile kabloların elektrik dirençlerini hesaplamak mümkündür (Rekioua ve Matagne, 2012):

$$R = \frac{\rho \times l_c}{S} \quad (4.6)$$

R: Direnç (Ω)

ρ : İletkenin öz direnci ($\Omega \cdot m$)

l_c : İletken kablo uzunluğu (m)

S: Kablo kesit alanı (m^2)

Verilen formülden de anlaşılacağı üzere kablo direnci iletkenin öz direncine, uzunluğuna ve kesit alanına; yani iletkenin çapına bağlı olarak değişim göstermektedir.

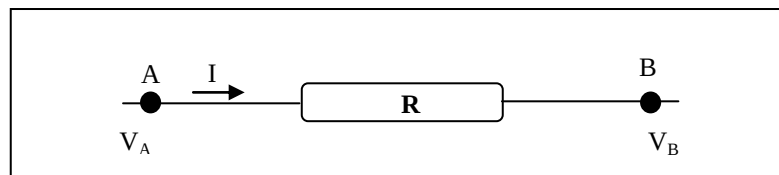
Kablo içerisindeki iletkenin yapıldığı malzemeye göre iletken öz direnci değişmektedir. Tablo 4.8'de kablo yapımında kullanılan bazı malzemelerin 20°C'deki öz dirençleri gösterilmektedir. Elektrik iletiminde ve elektriksel

bağlantılarda en çok kullanılan materyal genel olarak bakırdır. Alüminyum ile birlikte bakır, düşük özdirençleri ve düşük maliyetleri sebepleriyle yüksek oranda tercih edilmektedir. Altın da yüksek maliyetine rağmen bazı kritik uygulamalarda kullanılmaktadır. Düşük akım çeken bağlantılarda altın kaplama kullanılarak oldukça düşük değme dirençleri elde edilmektedir. Düşük özdirencine rağmen gümüş, ilerleyen zamanlarda oksitlenerek kararmakta ve daha yüksek değme dirençlerine sebep olmaktadır. Bu sebeple elektrik iletim kablolarında pek sık tercih edilmemektedir.

Tablo 4.8 Bazı malzemelerinin 20°C'deki özdirençleri ve sıcaklık katsayıları (Wikipedia, 2016b)

Materyal	ρ_c ($\Omega \cdot m$)	Sıcaklık Katsayısı (K^{-1})
Karbon (Grafen)	$1,00 \times 10^{-8}$	-0,0005
Gümüş	$1,59 \times 10^{-8}$	0,0038
Bakır	$1,68 \times 10^{-8}$	0,0039
Altın	$2,44 \times 10^{-8}$	0,0034
Alüminyum	$2,82 \times 10^{-8}$	0,0039
Tungsten	$5,60 \times 10^{-8}$	0,0045
Demir	$1,00 \times 10^{-7}$	0,0050

Kablo sistemindeki fazlalık kablo uzunlukları sistem verimini düşürmektedir. Bu yüzden oluşturulan elektrik sisteminin kompakt yapıda olması ve gereksiz kablo uzunluklarından arındırılmış olması önemlidir. Sistemde kullanılan kablonun kesit alanı da dikkat edilmesi gereken önemli bir faktördür. Elektrik motorları yüklenmeye başladığında yüksek akım çekme ihtiyacı oluşabilmektedir. Sistemin ihtiyaç duyduğundan daha küçük çapta bir kablo kullanıldığında oluşacak ısı kayıpları ve dolayısıyla enerji verimi azalacaktır. Çapı büyük kablolar ise direnci azaltacak olmasına rağmen maliyeti yüksek oranda artacaktır.



Şekil 4.32 Elektrik kablosu modellemesi

Şekil 4.32’de gösterilen elektrik kablosu modellemesine göre iletken direnci, iletkeninin giriş ve çıkış gerilimleri arasında $\Delta V = V_A - V_B = R \times I$ kadar fark meydana getirmektedir. Burada $R > 0$ olduğundan V_B çıkış gerilimi bir miktar azalacaktır. Çıkış gerilimindeki azalma da enerji kaybı meydana geldiğini göstermektedir. DC elektrik devrelerinde meydana gelen enerji kaybı miktarı aşağıdaki formül ile bulunmaktadır (Rekioua ve Matagne, 2012):

$$E_{\text{kayıp,DC}} = \Delta V \times I \times t = R \times I^2 \times t \quad (4.7)$$

$E_{\text{kayıp, DC}}$: DC devrelerde iletken direncinden kaynaklanan enerji kaybı (Wh)

I: İletken üzerinden geçen akım (A)

t: Akımın iletken üzerinde aktığı süre (saat)

R: Direnç (Ω)

Burada R yerine konulduğunda:

$$E_{\text{kayıp,DC}} = \frac{\rho \times l_c}{S} \times I^2 \times t \quad (4.8)$$

olmaktadır. AC elektrik sistemlerinde ise gerilim düşümü aşağıdaki formül ile bulunabilmektedir (Rekioua ve Matagne, 2012):

$$\Delta V = b \left(\rho \times \frac{1}{S} \times \cos\phi + \lambda \times l \times \sin\phi \right) \times I_{\text{max}} \quad (4.9)$$

b: 3 fazlı sistemlerde $\sqrt{3}$ ’e, 2 fazlı sistemlerde 2’ye eşit olan katsayı

ρ : İletkenin öz direnci ($\Omega \cdot m$)

l: İletken kablo uzunluğu (m)

S: Kablo kesit alanı (m^2)

$\cos\phi$: Güç faktörü (ϕ , AC akımı ve voltajı arasındaki faz kaymasını ifade eder.)

λ : İletkenin reaktansı (Ω/m)

λ (reaktans), alternatif akım kaynağının frekansına göre değişim gösteren bir dirençtir. Fotovoltaik sistemlerde güç faktörü $\cos\phi$ genellikle 1'e eşit olmaktadır. Böylece $\sin\phi = 0$ olmaktadır. Bu da reaktans değerine bakılmaksızın eşitliğin ikinci kısmının sıfıra eşit olması anlamına gelmektedir. Sonuç olarak fotovoltaik sistemlerde AC devreler için gerilim düşümü aşağıdaki ifadeye dönüşmektedir:

$$\Delta V = b \left(\rho \times \frac{1}{S} \times \cos\phi \right) \times I_{\max} \quad (4.10)$$

Elektrik iletim kablolarının direncine etki eden bir diğer faktör de sıcaklıktır. Sıcaklık değişiminin kablolardaki enerji verimine etkisi, kablo uzunluğu ve kesit alanı faktörlerine göre daha az belirgin olmaktadır. Tablo 4.8'de, verilen materyaller için sıcaklık katsayıları görülmektedir. Bazı materyaller için sıcaklık katsayısı negatif iken bazıları için pozitif olabilmektedir. Bakır alüminyum gibi malzemelerin sıcaklık artışıyla dirençleri artarken, karbon, porselen gibi malzemelerde sıcaklık artışı dirençlerinin azalmasına sebep olur. Sıcaklık değişimi ile oluşacak yeni iletken direnci aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$R_2 = R_1 \times [1 + (\alpha \times \Delta T)] \quad (4.11)$$

R_2 : Sıcaklık değişimi sonrası iletken direnci (Ω)

R_1 : İlk durumdaki iletken direnci (Ω)

α : Sıcaklık katsayısı (K^{-1})

ΔT : Sıcaklık değişimi miktarı (K)

Aşırı düşük sıcaklıklarda bazı materyallerin ölçülebilen bir direnci olmamaktadır. Bu tarz iletkenler süperiletken olarak adlandırılmaktadır. Henüz yeterli teknolojik gelişmeye ulaşmamış olan bu teknoloji için oda sıcaklığında süperiletken özellik gösteren materyaller bulmak konusunda çalışılmaktadır. Bu koşul sağlandığında ise elektrik enerjisinin taşınması gereken birçok alanda kayıpsız enerji iletimi sağlanabilecektir.

BÖLÜM BEŞ

ÖRNEK ÇALIŞMA: BİR GÜNEŞ PANELİNE KURULAN DENİZ SUYU SOĞUTMA SİSTEMİNİN TOPLAM ENERJİ VERİMİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Fotovoltaik hücrelere soğutma uygulandığı durumlarda, çıkış gücünde farklı oranlarda artış meydana geldiği Bölüm 5.1.1’de açıklanmıştır. Buna göre fotovoltaik hücrelere pasif soğutma uygulandığı durumda test koşullarına göre %1,4 (Chandrasekar ve diğer.), aktif soğutma uygulandığı durumda ise %10’a varan (Bahaidarah ve diğer., 2013; Ceylan ve diğer., 2014; Öztürk ve diğer., 2014) panel verimi artışı sağlanabilmektedir. Yapılan bu çalışmaların büyük çoğunluğunda cam laminasyonlu güneş panelleri kullanıldığı görülmektedir. Cam laminasyon kara uygulamalarında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır; fakat güneş enerjili teknelerde kullanımı açısından esnek olmama ve ağırlık gibi dezavantajlara sahiptir. Güneş enerjili deniz taşıtlarında halen cam laminasyonlu panellere rastlamak mümkün olsa da, esnek güneş panelleri günümüzde deniz koşullarına daha elverişli, ince ve oldukça hafif olmaları ile giderek artan bir popülerlik kazanmaktadır. Bu sebeple bu bölümde yapılan örnek çalışmada, güneş enerjili teknelerde kullanıma uygun bir esnek güneş paneli üzerinde deniz suyu ile soğutmanın etkisi incelenerek, elde edilecek panel verim artışının ortaya konması amaçlanmıştır. Panel üzerine soğutma yapıldığı ve soğutma yapılmadığı koşullardaki güç değişimleri ölçülmüştür.

5.1 Deney Ekipmanları

Deneyin uygulandığı fotovoltaik sistem, tasarlanan deniz suyu soğutma sistemi ve deney sırasında kullanılan ölçüm cihazları bu bölümde tanıtılmaktadır.

5.1.1 Fotovoltaik Sistem ve Deniz Suyu Soğutma Sistemi

Güneş enerjili teknelerde fotovoltaik panellerin deniz suyu soğutması ile performansını incelemek için Şekil 5.1 ile gösterilen bir deney düzeneği tasarımı gerçekleştirilmiştir.



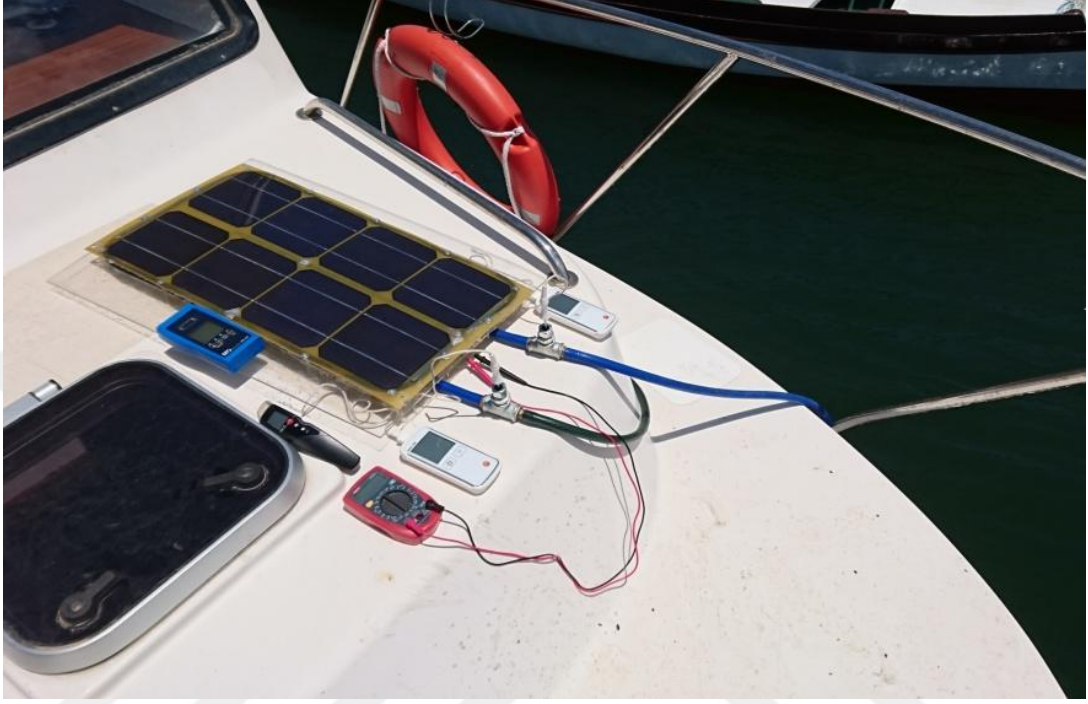
Şekil 5.1 Güneş paneli arkasına kurulan soğutma (kuler) sistemi düzeneği

Üzerinde çalışılan güneş paneli 8 adet %17 verimli monokristal yapıli fotovoltaiik hücreden oluşmaktadır. Hücreler, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü tarafından, alt kısmı FR4 malzemesi ile ve üst kısmı teflon floropolimer malzeme ile ısıl laminasyon yapılarak birleştirilmiştir. Üretilen panel hafiflik ve esneklik özelliklerine sahiptir. Panelin tam ölçüleri 700 x 360 mm'dir ve 2 mm kalınlığa sahiptir. Fotovoltaiik hücreler panel üzerinde toplamda 0,1886 m² alan kaplamaktadır. Ölçümler güneş paneli yere göre yatay pozisyonunda iken yapılmıştır. Panel arkasına pleksiglas yerleştirilerek soğutma alanı oluşturulmuştur. Pleksiglas ile panel arasında 10 x 10 mm boyutlarında lastik conta kullanılarak hem sızdırmazlık sağlanmış hem de soğutma alanı boşluğu oluşturulmuştur. Soğutma suyu olarak kullanılacak deniz suyu Şekil 5.2 ile gösterilen 67 W gücünde ve 1,5 bar basınçta 8 litre/dakika basma kapasitesine sahip bir deniz suyu pompası yardımı ile denizden çekilmektedir.



Şekil 5.2 Güneş enerjili teknenin makine dairesi içerisinde kurulu deniz suyu girişini, filtresini, pompasını ve pompa çıkışını gösteren deniz suyu soğutma devresi

Deniz suyu pompasından çıkan deniz suyu, panel arkasına kurulan soğutma sistemi içerisine girerek soğutmayı gerçekleştirdikten sonra açık soğutma suyu devresi mantığına göre çıkış devresinden çıkarak tekrar denize dökülmektedir.



Şekil 5.3 Deniz suyu ile soğutulan fotovoltaik panel deney düzeneği

5.1.2 Ölçüm Cihazları

Şekil 5.3, deniz suyu ile soğutma deneyinin yapıldığı deney düzeneğini ve ölçüm aletlerini göstermektedir. Panel soğutma sistemine giren ve çıkan deniz suyu sıcaklıklarını ölçmek için iki adet dijital problu termometre kullanılmıştır. Problu termometrelerin her biri suyun sıcaklığını $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ hassasiyette ölçebilmektedir. Kulerin girişindeki termometreden alınan değerlere göre deniz suyu sıcaklığı gün içerisinde 20°C ile 22°C arasında değişim göstermiştir.

Sıcaklığın güneş paneli üzerindeki etkisini anlamak için, gün içerisinde belli periyotlarla panel üzeri sıcaklık değerleri soğutmalı ve soğutmasız olmak üzere Şekil 5.4'te gösterilen kızılötesi termometre ile ölçülmüştür. Kullanılan kızılötesi termometrenin ölçüm hassasiyeti $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ 'dir.



Şekil 5.4 Kızılötesi (infrared) termometre

Sıcaklık ölçümleri alındığı sırada, Şekil 5.5'te gösterilen multimetre ile panel çıkışından ölçülen akım ve gerilim değerleri kaydedilmiştir. Kullanılan multimetrenin DC gerilim için ölçüm hassasiyeti $\pm 0,5\%$, akım için ise $\pm 1\%$ 'dir.



Şekil 5.5 Dijital multimetre

Deney sahasında bulunan el tipi solar metre ile anlık W/m^2 cinsinden güneş ışıınımı değerleri ölçülmüştür. Solar metrenin ışıınım değerleri için ölçüm hassasiyeti

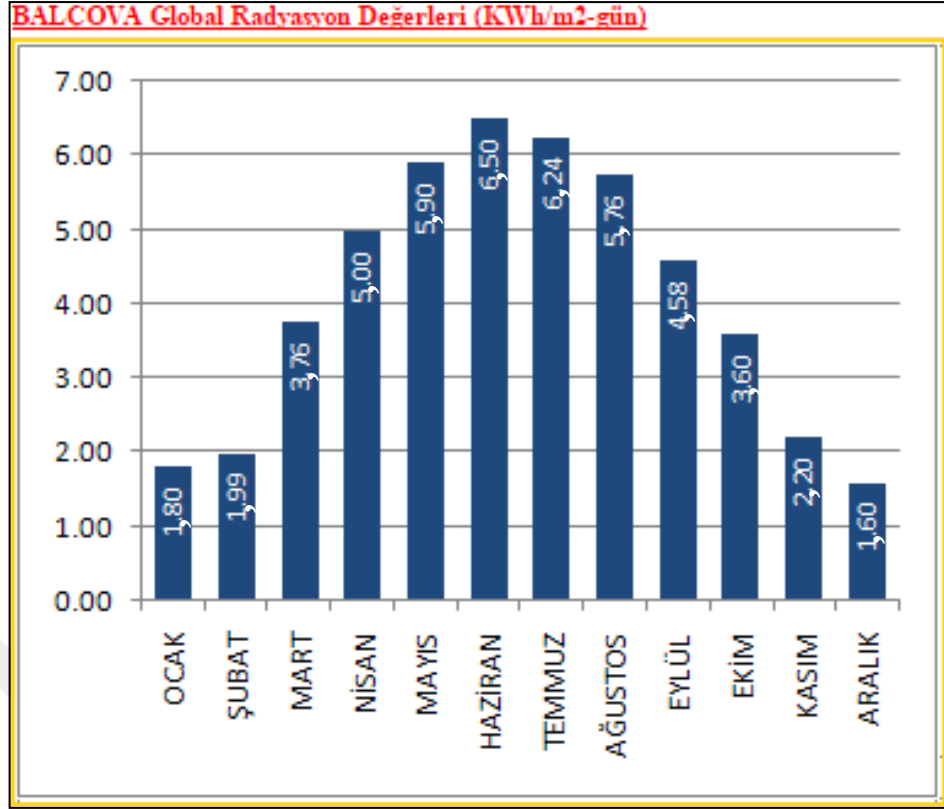
$\pm 5\%$ 'tir. Panelin yere göre paralel açıda bulunduğunun teyiti, solar metre içine entegreli pusula ve eğimölçer yardımı ile sağlanmıştır. Deney sırasında kullanılan solar metre Şekil 5.6 ile gösterilmektedir.



Şekil 5.6 El tipi solar metre

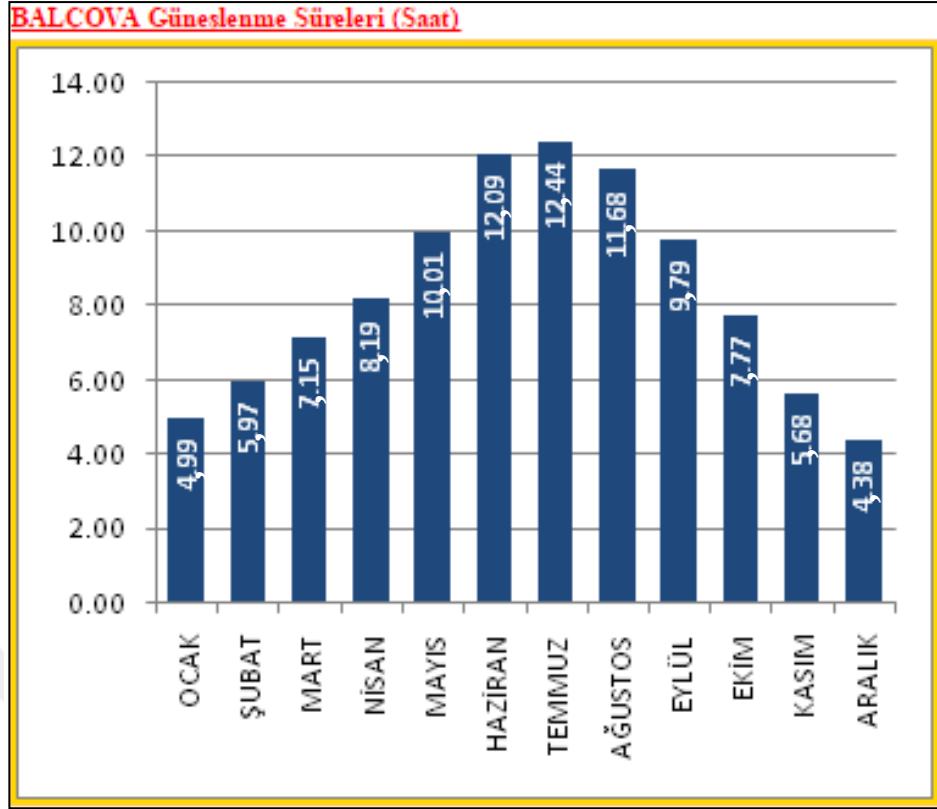
5.2 Deney Ortamı Koşulları

Fotovoltaik panelin deniz suyu soğutma sistemi ile soğutulmasını sağlayan deney düzeneği, İzmir Kalkınma Ajansı tarafından TR31/12/YE02/0015 Numaralı "Entegre Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin İmal Edilmesi ve Ulaşım Taşıtlarında Uygulanması" adlı proje kapsamında finanse edilen ve Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi tarafından sistem tasarımı ve kurulumu gerçekleştirilen, İzmir Balçova'nın İnciraltı Mahallesi kıyısında bulunan "Yeşil Eylül" tamamen elektrikli güneş enerjili teknesi üzerinde test edilmiştir.



Şekil 5.7 Deney düzeneğinin bulunduğu ortamın aylara göre küresel radyasyon değerleri

Teknenin bulunduğu konumun YEGM verilerine göre küresel radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 ile gösterilmiştir. Deney, küresel radyasyon değerlerinin en yüksek olduğu 2016 yılının Haziran ayında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.8 Deney düzeneğinin bulunduğu ortamın aylara göre güneşlenme süreleri (YEGM, 2015)

5.3 Kullanılan Matematiksel Formülasyonlar

5.3.1 Fotovoltaik Panelden Üretilen Güç Miktarının Bulunması

Fotovoltaik panelden elde edilen çıkış gücü, panel çıkışından ölçülen akım ve gerilim değerlerine bağlı olarak aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$P_{\text{çıkış}} = V \times I \quad (5.1)$$

Burada;

$P_{\text{çıkış}}$: Panelden üretilen çıkış gücü (W),

V: Panel çıkışından ölçülen gerilim değeri (V),

I: Panel çıkışından ölçülen akım değeridir (A).

5.3.2 Fotovoltaik Panel Veriminin Hesaplanması

Fotovoltaik panelin elektriksel verimi, güneş paneli ile üretilen güç miktarının, fotovoltaik yüzey alanına çarpan güneş ışıması miktarına oranı olarak tanımlanmış ve aşağıdaki şekilde hesaplama yapılmıştır.

$$\eta = \frac{P_{\text{çıkış}}}{A \cdot I_t} \quad (5.2)$$

Burada;

η : Fotovoltaik panelin verimi (%),

$P_{\text{çıkış}}$: Panelden üretilen çıkış gücü (W),

A : Panel üzerindeki güneş hücrelerinin toplam alanı (m^2),

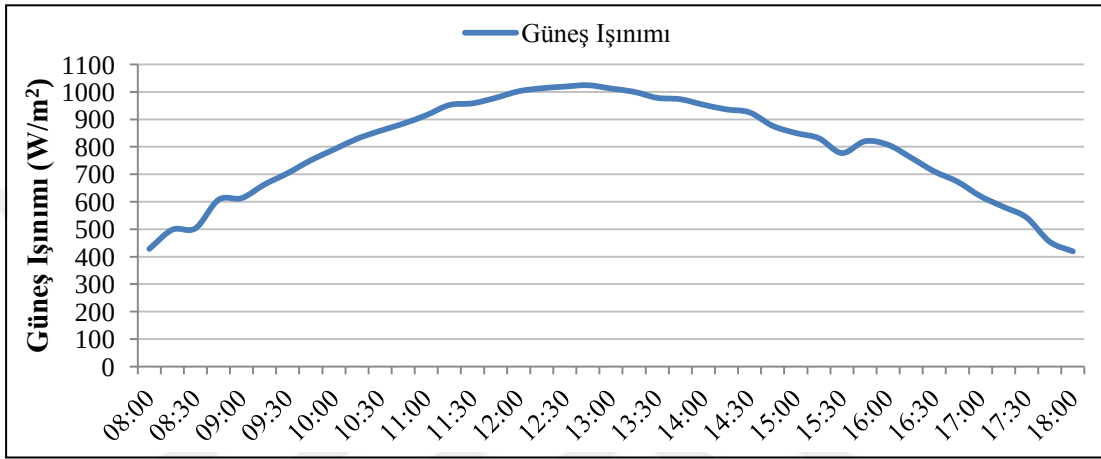
I_t : Güneş ışıması değeridir (W/m^2).

5.4 Araştırmanın Kısıtları

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan deniz suyu pompası ayrıca teknenin şanzıman soğutmasını sağlayan pompadır. Pompa, hem şanzımanın soğutulması için hem de panel soğutmasının sağlanması için yeterli kapasitede akış sağlamaktadır. Bu çalışmada soğutmanın ilk olarak panellere uygulanacağı varsayılabilir. Ayrıca, tekne üzerindeki mevcut deniz suyu pompası teknenin motoru çalıştığı sürece mecburi olarak çalıştığı için panel soğutmasında ekstra bir güç tüketimi gerçekleşmemektedir. Bu sebeple, panel büyüklüğüne göre ısı transferi hesapları yapılarak, optimum debide minimum güç harcayan deniz suyu pompasının seçilmesi ile elde edilebilecek net enerji kazancı bu çalışmada hesaplanmamıştır. Bu konuda yapılacak gelecek çalışmalar, güneş enerjili teknelere bağımsız bir deniz suyu soğutma sistemi kurulumu konusuna ışık tutacaktır.

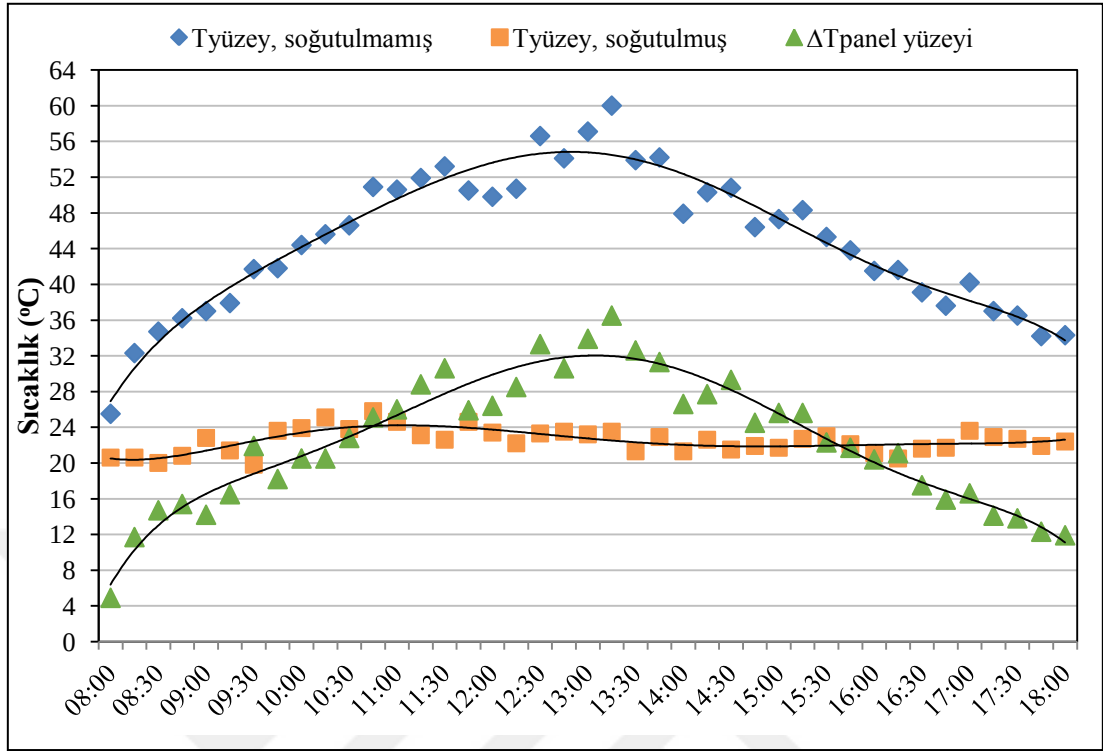
5.4 Deneysel Bulgular ve Tartışma

Fotovoltaik sistemin soğutulması ile elde edilen güç değişimi, panel verimi ve yüzey sıcaklığı ölçümleri bu bölümde tartışılmaktadır. Deneyin yapıldığı 10 Haziran 2016 tarihinde, deney ortamında bulunan el tipi solar metre ile ölçülen güneş ışınlam değerleri Şekil 5.9’da verilmektedir.



Şekil 5.9 Deney süresince ölçülen anlık güneş ışınlam değerleri

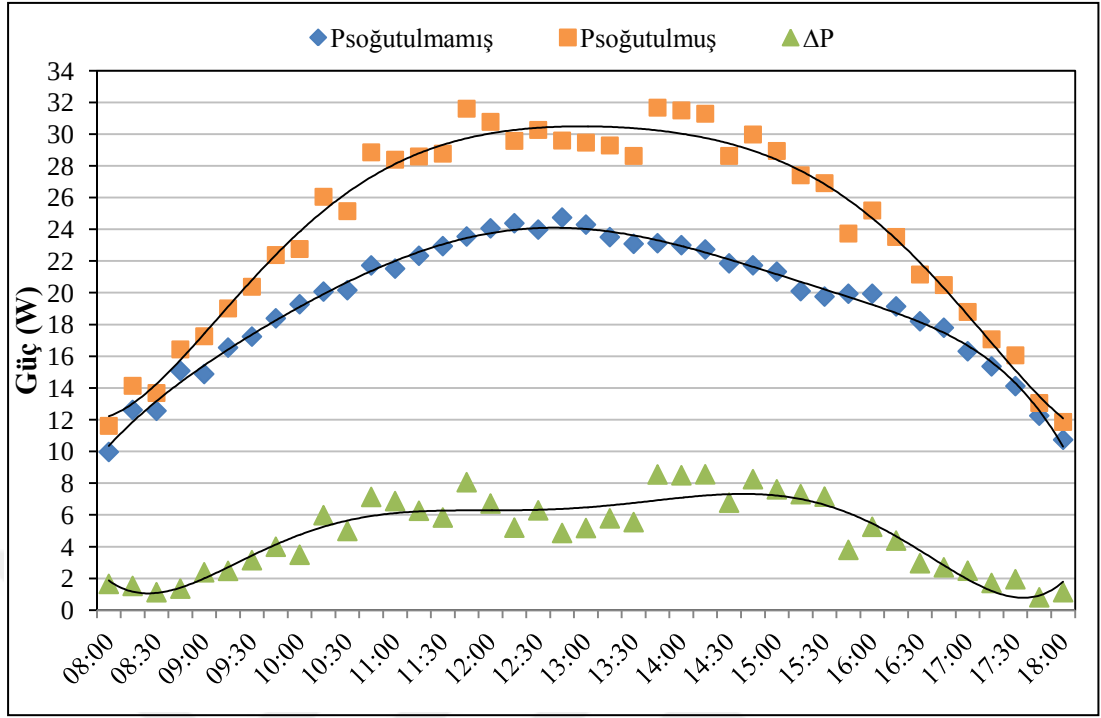
Güneş paneli ile kuleri arasında tamamen kapalı bir alan oluşmaktadır. Soğutucu olarak kullanılan deniz suyu panelin doğrudan arka yüzeyinden ısı çekmektedir. Panelin arka yüzeyinin tamamen kapalı olması sebebiyle, fotovoltaik panelin sıcaklık değişimi ölçümleri panelin ön kısmından alınmıştır. Fotovoltaik panel önce soğutmasız olarak elektrik üretimi gerçekleştirmiştir. Yeterli ısı enerjisi soğurulduğunda, panel yüzeyi sıcaklığı kaydedilerek deniz suyu pompası çalıştırılmıştır. Soğutma, deniz suyu çıkış sıcaklığı durağan konuma gelene kadar devam ettirilmiştir. Soğutma yapıldıktan sonra yüzey sıcaklığı tekrar ölçülmüştür. Daha sonra soğutma durdurulmuş ve panel yeterli ısıyı soğurana kadar beklenmiştir. Ölçümler 08:00 ile 18:00 saatleri arasında 15 dakikalık aralıklarla yapılmıştır.



Şekil 5.10 Soğutmalı ve soğutmasız olarak ölçülen panel üstü sıcaklıkları ve iki durum arasındaki sıcaklık farkı

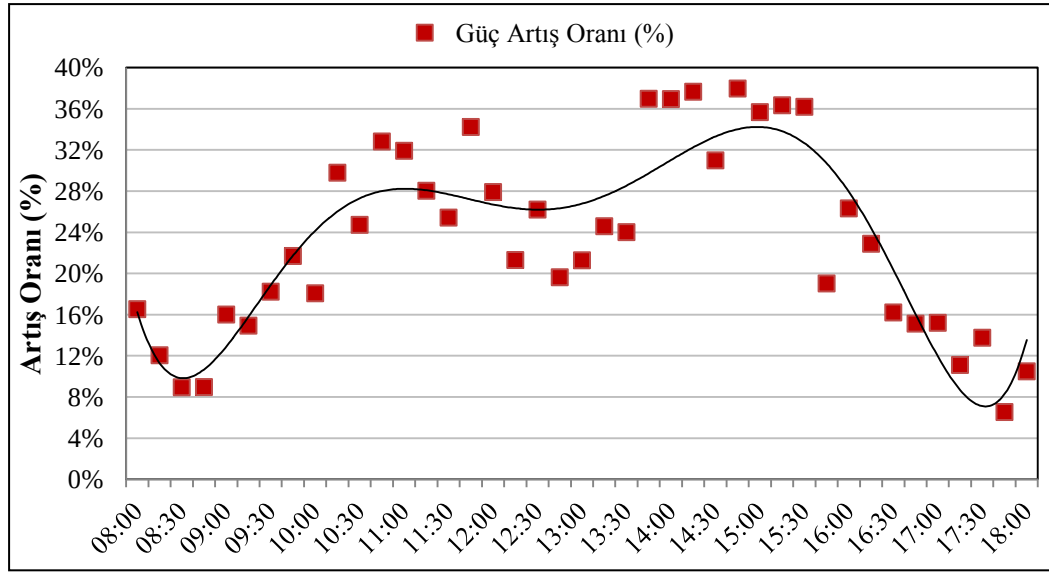
Şekil 5.10'da soğutmasız ve soğutmalı olarak ölçülen panel yüzey sıcaklık değerleri ve iki durum arasındaki ΔT sıcaklık farkı gösterilmektedir. ΔT farkının öğle saatlerinde 36,5 °C'ye ulaştığı buradan görülebilmektedir. Güneş ışınımının oldukça yüksek olduğu 13:15 saatinde, soğutmasız panel yüzeyinin gün içinde en yüksek 60°C sıcaklığa eriştiği anlaşılmaktadır.

Sıcaklık ölçümleri alındığı sırada bir yandan da güneş paneli çıkışından çıkış gerilimi ve akım değerleri alınmıştır. Bu değerlerin denklem (5.1)'de verildiği üzere birbirleri ile çarpımı sonucu panelden elde edilen maksimum çıkış güçleri bulunmuştur. Şekil 5.11, soğutma yapılmadığı durumda ve soğutma yapıldığında hesaplanmış çıkış güçlerini ve iki durum arasındaki güç değişim farkını göstermektedir.



Şekil 5.11 Soğutmalı ve soğutmasız olarak ölçülen maksimum panel çıkış gücü değerleri ve iki durum arasındaki güç farkı

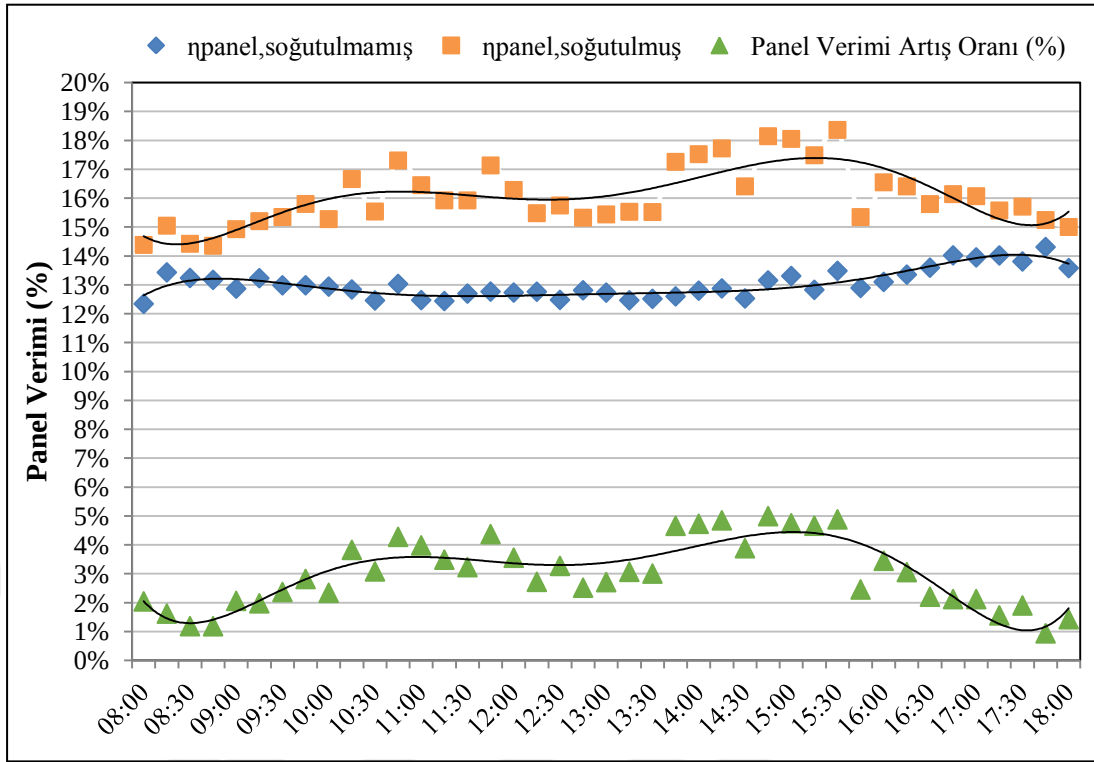
Deney sırasında kullanılan fotovoltaik panele deniz suyu soğutma sistemi uygulanması ile elde edilecek çıkış güçlerinin saatlere göre yüzdelik verim artış grafiği Şekil 5.12’de verilmektedir. Ortam koşullarına göre panel çıkış gücünde %37’ye varan güç artışı meydana gelmiştir. Güç artışı oranlarının güneş ışıınının az olduğu sabah ve akşamüzeri saatlerinde daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 5.12 Deniz suyu soğutma sistemi kullanımının örnek panelin çıkış gücünde meydana getirdiği artış oranları

Deniz suyu soğutma sistemi ile panel sıcaklığının düşürülmesinin sistemin enerji verimine etkisi hakkında daha doğru bir yargıya varmak adına Bölüm 5.2.2’de verilen verim denklem kullanılarak soğutmalı ve soğutmasız durumda ayrı ayrı fotovoltaik panel verim değerleri hesaplanmıştır. Şekil 5.13’te yeşil ile gösterilen değerler fotovoltaik panelin verim artış yüzdesini ifade etmektedir.

Fotovoltaik panele soğutma uygulanmadığı durumda panel verimi %12,4 ile %14,3 arasında değişim göstermiştir. Deniz suyu soğutma sistemi fotovoltaik panele ölçüm yapılan her saatte verim artışı sağlamıştır. Verim artış miktarı maksimum %5, minimum %1,5 olmuştur. Sabah ve akşamüzeri saatlerinde güneş ışınlamı düşük olduğundan panel üzeri ısınma miktarı az olmuş ve dolayısıyla verim artış yüzdesi minimum seviyelerde kalmıştır. Öğle ve öğleden sonraki saatlerde ise, deniz suyu soğutma sisteminin güneş enerjili teknelerde bulunan fotovoltaik panellerin soğutulmasında kullanımı ile enerji veriminin artırılması konusunda oldukça yüksek bir potansiyel sağlanmıştır.



Şekil 5.13 Soğutma uygulanmış ve uygulanmamış olarak hesaplanan panel verim değerleri ve soğutma sonucu meydana gelen panel verimi artış oranları

Sonuç olarak, panel verimi ve panelden üretilen güç miktarı, panel sıcaklığından etkilenmektedir. Soğutma ile oluşan sıcaklık farkı ΔT büyüdükçe, fotovoltaik panelden alınan güç miktarı ve panel verimi de artmaktadır. Haziran ayında güneş ışınımının yüksek olduğu 09:30 ile 16:30 saatleri arasında soğutma etkisi daha gözle görülür olmaktadır. Güneş ışınımının 700 W/m^2 'nin altında kaldığı saatlerde panel sıcaklığının fazla yükselmemesinden dolayı daha az miktarda verim artışı gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışma ile güneş enerjili teknelerde fotovoltaik panellere uygulanan deniz suyu soğutma işleminin enerji verimini artırdığı kanıtlanmaktadır. Panel soğutma sistemleri teknenin menzilini arttırmak için etkili bir yöntem olmaktadır. Ayrıca bu sayede tekne durağan konumdayken güneş panelleri ile akü şarj süreleri de daha kısa olacaktır.

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında güneş enerjili teknelerde enerji verimliliğini arttırmak adına uygulanabilecek teknikler incelenmiştir.

1. İlk olarak güneş panellerinde enerji verimini artırma uygulamaları araştırılmıştır.

Araştırma bulgularına göre;

i. Güneş pillerinin karakteristiğinden dolayı sıcaklıktan etkilendiği, sıcaklık artışının fotovoltaiik hücre verimini olumsuz etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda panel arkasına uygulanan pasif soğutma ile %1,4'e, aktif bir soğutma sistemi ile %10'a varan panel verimi artışları gözlemlenmiştir. Güneş enerjili teknelerde güneş panellerine uygulanacak bir soğutma sisteminin yüksek verim artışı sağlayacağı öngörülerek deneysel bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada FR4 ve teflon materyalleri ile lamine edilmiş 2mm kalınlıktaki panelin arkasına tasarlanan deniz suyu soğutma sistemi ile doğrudan deniz suyu soğutması uygulandığında, soğutmasız panele göre maksimum %5 panel verimi artışı gözlemlenmiştir.

ii. Yüksek verimli güneş paneli kullanımı ile elektrik sisteminden daha fazla çıkış gücü alınabilmektedir. Fotovoltaiik panelleri konumlandırarak alanın kısıtlı olmasının ciddi bir sorun teşkil ettiği güneş enerjili teknelerde yüksek verimli panel kullanımı ile tekne menzili önemli ölçüde arttırılabilmektedir.

iii. Reflektör kullanımı panel üzerine düşen ışıınım miktarını arttırarak panel verimini arttırmaktadır. Ayna reflektörler ile yapılan deneysel çalışmalar konvansiyonel sistemlere göre 1,5 kat daha fazla güç elde edilebilmektedir. Yeni fotovoltaiik eğilimler ise lenslerin veya çukur aynaların sıklıkla kullanıldığı yoğunlaştırılmış yüksek verimli modüllere kaymıştır. Yoğunlaştırıcı fotovoltaiik sistemler ile günümüzde maksimum %46 hücre verimine ulaşılmıştır. Yoğunlaştırıcı

fotovoltaik sistemler hassas güneş takip sistemlerine ihtiyaç duymasından dolayı güneş enerjili teknelere uygulanması konusunda sorunlar bulunmaktadır.

iv. Güneş takip sistemleri gün içinde güneşin konumunu takip ederek panel üzerine düşen ışıının miktarını optimum seviyede tutmaktadır. Güneş ışıının yere dik konumda gelemediği sabah ve akşam saatlerinde %50'nin üzerinde daha fazla güç elde edilmektedir. Güneş takip sistemleri belli aralıklarla enerji harcadığı için güneş enerjili teknelerin seyri sırasındaki güç kazanç etüdünün yapılması gereklidir. Dalgalı su koşullarında tekne üzerindeki güneş panellerini en kötü ihtimalle optimum açıda sabit tutarak enerji verimini arttırması beklenmektedir.

v. Güneş hücreleri üzerine düşen gölge, panel verimini düşürmektedir. Güneş enerjili teknelerin performansına etki edecek parçalı bulutlu ve kapalı havalarda, paneller arasına yerleştirilecek blokaj diyotları sistem verimini arttırarak ısı kayıplarını azaltacaktır.

2. Çeşitli akü teknolojileri için yapılan çalışmalar, piyasaya hâkim durumda olan kurşun asit akülerin verimlilik ve kullanım ömrü bakımından yeni teknolojilerin gerisinde kaldığını göstermektedir. Ağır olmaları nedeniyle tekne sevk veriminde de kayıplar yaşanmaktadır. Enerji yoğunluğu daha yüksek olan Li-ion akülerin birim enerji maliyeti kurşun asit akülerle yarışır durumdadır. Bu sebeple güneş enerjili teknelerde kullanılacak Li-ion aküler hem tekne sevk verimini arttıracak hem de tekne menzilini arttıracaktır.

3. Farklı algoritmalar ile çalışan MPPT cihazları, değişen verim değerlerinde fotovoltaik sistemin maksimum güç noktasını takip edebilmektedir. Parazitik kapasitans, geliştirilmiş P&O ve bulanık kontrol mantıkları ile çalışan cihazlar oldukça verimli bir takip sağlamaktadır. Bunun yanında ilk kurulum maliyetlerinin yüksekliğini de hesaba katarak bir tercih yapılması gereklidir.

4. Yüksek verimli elektrik motoru kullanımı kullanıcısına %4-5 oranında enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Ayrıca maliyet analizi incelendiğinde standart verimli motor ile kıyaslandığında yüksek verimli motorların ilk kurulum maliyeti farkını bir yıl gibi kısa bir sürede karşılayabildiği sonucuna varılmıştır. Bu sebeple güneş

enerjili teknelerin sevk sistemini oluştururken verimi yüksek elektrik motoru seçimi sistemin enerji verimini ve tekne menzilini arttırmak adına mantıklı bir tercih olmaktadır.

5. Güneş enerjili teknenin elektrik sisteminde kullanılan kabloların kalınlığı, uzunluğu ve kablonun yapıldığı malzeme de sistem verimini etkilemektedir. Bunun yanında kablo sıcaklığı da verimi etkileyen bir etmen olmaktadır. Bu sebeple tekne elektrik sisteminde fazla kablo uzunlukları olmamalı ve kablo kalınlıkları üzerinden geçecek akım miktarı hesaplanarak standartlara uygun kablolar seçilmelidir.

Güneş enerjili teknelerin güneş panellerinden sağlanacak panel verimleri; deniz suyu soğutma sistemi ile %5'e kadar, yüksek verimli panel seçimi ile %2 - %6 arasında artış gösterebilmektedir. Reflektörlü sistemlerin kullanımı ile panel çıkış gücünde %29 ile %50 arasında bir artış gözlemlenebilmektedir. Güneş takip sistemleri ise %52'ye varan oranda ekstra bir gç üretimi gerçekleştirebilmektedir.

Kurşun asit tip akülerin şarj/deşarj verimlilikleri Lityum tip aklerinkine göre yaklaşık %15-25 arasında daha düşük olduğundan aradaki bu fark Li-ion akülerden elde edilecek enerji kazancı olmaktadır. Güneş enerjili teknelerde panel çıkışında maksmum güç noktası takibini verimsiz bir metotla yapan bir MPPT cihazı tercihi %15'e varan oranda enerji üretimini düşürebilmektedir. Standart verimde bir motor yerine yüksek verimli bir motor tercihi ile de %4-5 oranında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Bunlara göre bu tez çalışmasında bahsi geçen güneş enerjili teknelerde enerji verimi arttırma teknikleri hep birlikte uygulandığında teorik olarak %105 ile %147 arasında enerji verimi artışı gerçekleştirebilme olasılığı vardır. Bunun yanında güneş panel verimi de %7 ile % 11 arasında arttırılma imkânı bulunmaktadır. Bu sonuçlar göz önüne alındığında yeterli donanıma sahip olmayan bir güneş enerjili teknenin menzili yaklaşık olarak 2 katına çıkarılabilmektedir. Bu sayede güneş enerjili teknelerin yaşadığı yetersiz sürat ve menzil gibi sorunlar önemli ölçüde çözülecektir.

KAYNAKLAR

- ABB. (2015). *Electrical auxiliary propulsion*. 01 Aralık 2015, <https://library.e.abb.com/public/a61a797894b37b95c1257c8c00387350/Electrical%20auxiliary%20propulsion.pdf>.
- Ådnanes, A.K. (2003). *Maritime electrical installations and diesel electric propulsion*. 30 Kasım 2015, <https://www192.abb.com/LVPCanada/Catalogues/Segment%20Information/Marine/Tech%20Paper%20Marine%20Electrical%20Installation.pdf>.
- Ahrens, C.D. (2006). *Meteorology today: An introduction to weather, climate, and the environment*. (8. Baskı). USA: Thompson, Brooks/Cole.
- Aichele, R.O. (2007). Diesel-electric propulsion pushes ahead. *Professional Mariner Dergisi, Kasım 2007*, 83-88.
- Ajioka, Y. ve Ohno, K. (2013). Electric propulsion systems for ships. *Hitachi Review Dergisi*, 62 (3), 231-232.
- Altaş, İ.H. (1998). Fotovoltaj güneş pilleri: Yapısal özellikleri ve karakteristikleri. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, (47), 66-71.
- Anıl, K.A. (2009). *Alternatif sevk cihazları*. 20 Mart 2016, <https://tr.scribd.com/doc/49410456/Alternatif-Sevk-Cihazlar%C4%B1#scribd>.
- Arslan, F. (2015). IE3 sınıfı indüksiyon motorlarda enerji tüketimi. *Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 3 (1), 1-3.
- Åsbrink, B. (b.t). *M/S Vandal - a historical ship*. 09 Mart 2016, <http://www.branobelhistory.com/themes/innovations/ms-vandal-a-historical-ship/>.

- Bahaidarah, H., Subhan, A., Gandhidasan, P. ve Rehman, S. (2013). Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions. *Energy*, 2013 (59), 445-453.
- Bayrak, G. ve Gençoğlu, M.T. (2011). İki eksenli güneş takip sisteminin tasarımı ve PLC ile kontrolü. *Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi Ulusal Toplantısı TOK 2011* (6), 407-411.
- Biliz, Ö. (b.t). *Yüksek verimli elektrik motorları ve yeni standartlar*. 20 Mayıs 2016. <http://www.makinatek.com.tr/arsiv/yazi/138-yuksek-verimli-elektrik-motorlari-ve-yeni-standartlar>.
- Bruce, P.G., Freunberger, S.A., Hardwick, L.J. ve Tarascon, J.M. (2012). Li-O₂ and Li-S batteries with high energy storage. *Nature Materials*, 11, 19-29.
- Cai, Q., Brett, D.J.L., Browning, B. ve Brandon, N.P. (2010). A sizing-design methodology for hybrid fuel cell power systems and its application to an unmanned underwater vehicle. *Journal of Power Sources*, 195, 6559–6569.
- Carlton, J.S. (2007). *Marine propellers and propulsion* (2. Baskı). Elsevier Ltd.
- Carnegie Wave Energy (2015). *CETO 6 Garden Island Project: Western Australia. Community Information Sheet*. 21 Haziran 2016. http://carnegiewave.com/wp-content/uploads/2015/06/CP115-0020-0_PRS-CETO-6-Community-Information-Sheet_Web.pdf.
- Ceppi, M. (2012). *Güneş pilleri*. 28 Mart 2016, <http://www.slideshare.net/mehmetceppi/gunes-pilleri>.
- Ceylan, İ., Gürel, A.E., Demircan, H. ve Aksu, B. (2014). Cooling of a photovoltaic module with temperature controlled solar collector. *Energy and Buildings*, 72 (2014), 96-101.

- Chandrasekar, S., Suresh, S., Senthilkumar, T. ve Karthikeyan, M.G. (2013). Passive cooling of standalone flat PV module with cotton wick structures. *Energy Conversion and Management*, 71 (2013), 43-50.
- Chemisana, D. (2011). Building integrated concentrating photovoltaics: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2011), 603–611.
- Cheng, H. ve Scott, K. (2014). Improving performance of rechargeable Li-air batteries from using Li-Nafion® binder. *Electrochimica Acta*, 116, 51–58.
- Classic Boat. (2016). *Gustave Trouve: Inventor of the outboard re-discovered*. 09 Mart 2016. <http://www.classicboat.co.uk/articles/gustave-trouve-memoirs-of-a-motorboating-man/>.
- Cook, J. (2010). *The albedo effect and global warming*. 20 Nisan 2016, <https://www.skepticalscience.com/earth-albedo-effect-intermediate.htm>.
- Coutts, T.J. (1998). A review of progress in thermophotovoltaic generation of electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3, 77-184.
- Croitoru, A. ve Badea, A. (2013). Water cooling of photovoltaic panels from passive house located inside the University Politehnica of Bucharest. *UPB Scientific Bulletin, Series C: Electrical Engineering*, 75 (3), 277-290.
- Crompton, T.R. (2000). *Battery reference book*. (3. Basım), Oxford: Newnes.
- Çapar, Ş. (2005). *Photovoltaic power generation for polycrystalline solar cells and turning sunlight into electricity*. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep.

Çengel, Y. A. ve Çerçi, Y. (2000). Opportunities to save energy in industry. 12. *Turkish National Conference on Thermal Sciences and Technologies with International Participation, Conference Proceeding*, Sakarya, Turkey, 392-399.

Dadenov, S. (2015). *Hydrothermal treatment of biomass in hot-pressurized water*. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir.

Del Proposto, C. (1906). *Operation of ships' propellers*. Patent no. 832,622. Yayınlanma no. US 832622 A.

Denizlerden. (b.t). *Yelkenler ve tipleri*. 20 Mart 2016, <http://www.denizlerden.com/?action=contents&page=content&catno=19&no=58>.

Doğan, H. (2014). *Fotovoltaik güneş pilleri*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Doorduyn, W., Witlox, L., Lageweb, M. ve Brakel, R.V. (2011) The use of electric motors for the propulsion of seagoing vessels. *The Maritime Symposium 2011*. 22 Aralık 2011. Rotterdam, Hollanda.

Duke, R. ve Kammen, D.M. (1999). The economics of energy market transformation programs. *Energy Journal*, 20 (4), 15-64.

Elektrikport. (2005). *Akü nedir, nasıl çalışır?*. 29 Nisan 2016, <http://www.elektrikport.com/makale-detay/akuler/4230#ad-image-0>.

Electric-vehiclenews. (2013). *1.5 MW concentrated PV solar demonstration facility commences operation in Mildura*. 19 Haziran 2016. <http://www.electric-vehiclenews.com/2013/04/15-mw-concentrated-pv-solar.html>.

Elias-Rodriguez, G. (2016). *Working the motor maze*. 18 Mayıs 2016.

<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-taking-a-total-cost-of-ownership-approach-to-motor-replacement-can-save-big-dollars-and-help-save-the-planet!-technical-article-english.pdf>.

Energymatters (2016). *Choosing the best solar panels – tips*. 28 Mart 2016, <http://www.energymatters.com.au/panels-modules/choosing-solar-panels/>.

Ercan, A.A. (2014). Elektrik motorlarının verimlilik standartları. *Journal of ETA Maritime Science*, 2 (1), 31-40.

Erginer, K.E., Konur, O. ve Gülmez, Y. (2016). Elektrikli sevk sistemlerinde, hatve kontrollü pervaneler ile sabit hatveli pervane mekanizmaları arasında enerji verimliliği karşılaştırması. *III. Ulusal Deniz Turizmi Sempozyumu*. 520-536. 20 Mart 2016, <http://denizturizmi2016.deu.edu.tr/0032>.

Esrar, T. ve Chapman, P.L. (2007). Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 22 (2), 439-449.

ETHW (2014). *Electric boats*. 09 Mart 2016, http://ethw.org/Electric_Boats.

Finster, C. (1962). El heliostato de la Universidad Santa Maria. *Scientia*, 119, 5-20.

Giray, D. (b.t). *Yelkenin çalışması*. 20 Mart 2016, <http://www.yelkenokulu.com/yelken-bilgileri/temel-yelken-bilgileri/yelken-calismasi.html>.

Gummov, R.J. ve He, Y. (2014). Recent progress in the development of Li₂MnSiO₄ cathode materials. *Journal of Power Sources*, 253, 315-331.

GWEC (2015). *Global wind report: Annual market update 2015*. 20 Haziran 2016.
http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report_April-2016_22_04.pdf.

Hall, P. J. ve Bain, E. J. (2008). Energy - storage technologies and electricity generation. *Energy Policy*, 36 (12), 4352–4355.

Hicks, W. (2016). *Claims for solar cell efficiency put to test at NREL*. 25 Mart 2016,
<http://www.nrel.gov/news/features/2016/21635>.

Ibrahim, H.E.-S.A., Houssiny, F.F., El-Din, H.M.Z. ve El-Shibini, M.A. (1999). Microcomputer controlled buck regulator for maximum power point tracker for DC pumping system operates from photovoltaic system. *Fuzzy Systems Conference FUZZ-IEEE '99*, 406-407.

IEA (International Energy Agency) (2011). *Energy-efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems*. 18 Mayıs 2016.
https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EE_for_ElectricSystems.pdf.

IEA (International Energy Agency) (2015). *4E: Energy efficiency roadmap for electric motors and motor systems*. 18 Mayıs 2016.
https://www.iea.org/media/openbulletin/4e_roadmap_for_motors_and_vfd_oct2015.pdf.

IEC (International Electrotechnical Commission) (2015). *Major energy efficiency moves for electric motors*. News release – 2015 Number 10. 12 Mayıs 2015.
<http://www.iec.ch/newslog/2015/nr1015.htm>.

IPCC (2007). *Climate change 2007: Synthesis report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland.

- IRENA (International Renewable Energy Agency). (2012). Solar photovoltaics. *Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series. Volume 1: Power Sector Issue 4/5*. 24 Mart 2016,
https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-SOLAR_PV.pdf.
- Jenkins, B.M., Baxter, L.L., Miles Jr., T.R. ve Miles, T.R. (1998). Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology*, 54, 17-46.
- Kalogirou, S. (2009). *Solar energy engineering: processes and systems*. Academic Press, 469–517.
- Kammen, D.M. (2014). Solar energy innovation and Silicon Valley. *Bulletin of the Atomic Scientists 2014*, 70 (5), 45–53.
- Kelly, N.A. ve Gibson, T.L. (2009). Improved photovoltaic energy output for cloudy conditions with a solar tracking system. *Solar Energy*, 83 (2009), 2092–2102.
- Khamooshi, M., Salati, H., Egelioglu, F., Faghiri, A.H., Tarabishi, J. ve Babadi, S. (2014). A review of solar photovoltaic concentrators. *International Journal of Photoenergy*, 2014, 17.
- Kininmonth, W. (2004). *Climate change: A natural hazard*. Multi-Science Publishing Co. Ltd.
- Koehler, H.W. ve Oehler, W. (1998). 95 years of diesel-electric propulsion form a mekeshift solution to a modern propulsion system. *2nd International Diesel Electric Propulsion Symposium*. 26-29 Nisan 1998. Helsinki, Finlandiya.
- Komoto, K. (2013). *Energy from the desert: Very large scale photovoltaic power - State of the art and into the future*. Londra: Routledge Press.

- Krogstrup, P., Jørgensen, H.I., Heiss, M., Demichel, O., Holm, J.V., Aagesen, M. ve diğer. (2013). Single-nanowire solar cells beyond the Shockley–Queisser limit, *Nature Photonics* 7, 306–310. 03 Mart 2016,
<http://www.nature.com/nphoton/journal/v7/n4/full/nphoton.2013.32.html>.
- Kurtz, S. (2012). *Opportunities and challenges for development of a mature concentrating photovoltaic power industry*. 04 Nisan 2016.
<http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/43208.pdf>.
- Lalouni S. (2009). *Study and control of hybrid electric wind power — photovoltaic*. Doktora Tezi, Bejaia Üniversitesi, Cezayir.
- Li, D.H.W., Cheung, G.H.W. ve Lam, J.C. (2005). Analysis of the operational performance and efficiency characteristic for photovoltaic system in Hong Kong. *Energy Conversion and Management* 2005, 46, 1107–18.
- Linden, D. ve Reddy, T.B. (2002). Lead acid batteries. *Handbook of batteries and fuel cells*. (3. basım), New York: Mc-Graw-Hill.
- Liu, J., Sun, X., Li, Y., Wang, X., Gao, Y., Wu, K. ve diğer. (2014). Electrochemical performance of LiCoO₂/SrLi₂Ti₆O₁₄ batteries for high-power applications. *Journal of Power Sources*, 245, 371-376.
- MAN. (2015). *Diesel-electric drives guideline*. 01 Aralık 2015,
<http://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/marine-broschures/diesel-electric-drives-guideline.pdf?sfvrsn=0>.
- Manzetti, S. ve Mariasiu, F. (2015). Electric vehicle battery technologies: From present state to future systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1004–1012.

- Martinez, J.B.M. (2011). *Batteries in PV systems*. 29 Nisan 2016, <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/12628?locale-attribute=en#preview>.
- Mastar, E. (2011). *Güneş panelleri için güneş takip mekanizmasının tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Matsushima, T., Setaka, T. ve Muroyama, S. (2003). Concentrating solar module with horizontal reflectors. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 75 (2003), 603–612.
- Meral, M.E. ve Dinçer F. (2011). A review of factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 2116-2186.
- Microsec R&D Inc. (2014). *The plug in electric boat of 1893*. 10 Mart 2016. <http://www.microsec.net/historic-technology/>.
- Minimise Group. (2016). *Hybrid PV-T range*. 20 Haziran 2016. <http://www.minimisegroup.com/hybrid-solar-pvt-panels.html>.
- Moharram, K.A., Abd-Elhady, M.S., Kandil, H.A. ve El-Sherif, H. (2013). Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling. *Ain Shams Engineering Journal*, 2013 (4), 869-877.
- Nair, N.K.C. ve Garimella, N. (2010). Battery energy storage systems: Assessment for small-scale renewable energy integration. *Energy and Buildings*, 42, 2124–2130.
- NREL (National Renewable Energy Laboratory). (2016). *Research cell efficiency records*. 28 Mart 2016, http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg.
- Oke, T.R. (1992). *Boundary layer climates*. (2. Baskı). New York: Routledge.

Orton, J. (2006). *The story of semiconductors*. (2. Baskı). New York: Oxford University Press.

Özkop, E. (2012). *An intelligent controlled novel power conditioning for wave energy converter systems*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Öztürk, E. (2014). *Fotovoltaik panellerin verimine modül sıcaklığının etkisinin deneysel olarak araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük.

Park, J. ve Kaya, N. (2011). Duyarlılaştırılmış boya güneş paneli (DBGP). *Atılım Üniversitesi İz Dergisi. Ankara*. (13) , 46-47. 23 Mart 2016.
http://acikarsiv.atilim.edu.tr/browse/460/nese_kaya.pdf.

Pereira, N.N. (2007). A diagnostic of diesel-electric propulsion for ships. *Ship Science and Technology Dergisi*, 1 (2), 1-14.

Philipps, P., Bett, A.W., Horowitz, K. ve Kurtz, S. (2016). Current status of concentrator photovoltaic (CPV) technology. *Fraunhofer ISE | NREL CPV Report 1.2, February 2016, TP-6A20-63916*, 3 | 26.

Plavidla. (2009). *Historie elektrolodi*. 12 Mart 2016.
<http://www.plavidla.cz/rservice.php?akce=tisk&cisloclanku=2009101701&PHPS ESSID=ece4e1495e65165aa9a50f11b4b66231>.

Poullikas, A. (2013). A comparative overview of large-scale battery systems for electricity storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 778–788.

Pulkrabek, W.W. (1997). *Engineering fundamentals of the internal combustion engine*. Prentice Hall.

- Rekioua, D. ve Matagne, E. (2012). *Optimization of photovoltaic power systems: Modelization, simulation and control*. London: Springer.
- Reuk. (2014). *Effects of shading on solar panels*. 12 Nisan 2016, <http://www.reuk.co.uk/Effects-of-Shading-on-Solar-Panels.htm>.
- Roth, P., Georgiev A. ve Boudinov, H. (2005). Cheap two axis sun following device. *Energy Conversion and Management*. 46 (2005), 1179–1192.
- Saygılı, Y. (2013). *Modeling and control of a PEM fuel cell system*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Shockley, W. ve Queisser, H.J. (1961). Detailed balance limit of efficiency of P-N junction solar cells. *Journal of Applied Physics*, 32, 510–519.
- Siemens. (2015). *Elektrikle tahrik sistemi*. 01 Aralık 2015, http://siemens.com.tr/web/1416-12393-1-1/siemens_urunler___cozumler/marine/uygulamalar/elektrikle_tahrik_sistemi.
- Smil, V. (2008). *Energy in nature and society: General energetics of complex systems*. Londra: MIT Press.
- Sierra C. ve Vazquez A.J. (2005). High solar energy concentration with a Fresnel lens. *Journal of Materials Science*. 40 (2005), 1339 – 1343.
- Solargis. (2015). *Global horizontal irradiation*. 10 Nisan 2016, http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-World-map-en.png.
- Şenpınar, A. ve Cebeci, M. (2012). Evaluation of power output for fixed and two-axis tracking PV arrays. *Applied Energy*, 92 (2012), 677–685.

Tepper, F., Watkins, C. ve Pierce, J.M. (2016). *Albedo*. 19 Nisan 2016, <http://www.appropedia.org/Albedo>.

Tonui, J.K. ve Tripanagnostopoulos, Y. (2006). Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements. *Solar Energy*, 81, 498-511.

Üçgöl, İ. ve Akgöl, G. (2010). Biyokütle teknolojisi. *Yekarum Dergi*, 1 (1), 3-11.

Ünlü, M., Çamur, S. ve Arifoğlu, B. (2015). Fotovoltaik enerji dönüşüm sistemlerinde parçalı gölgelenme durum analizi. *Elektrik Enerji, Elektrik, Aydınlatma, Elektronik ve Otomasyon Mühendisliği Dergisi*, (314), 83-87.

Werle, R. ve Conrad, B. (2014). *Examples by industry sector: Electric motors*. 20 Mayıs 2016, http://www.iec.ch/perspectives/government/sectors/electric_motors.htm.

West Istanbul Marina. (2016). *Genel hizmetler fiyat listesi*. 02 Haziran 2016. <http://www.westistanbulmarina.com/#!/hizmet-fiyat-listesi/c1ljz>.

Wikipedia. (2015). *Yelken*. 20 Mart 2016, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Yelken>.

Wikipedia. (2016a). *Albedo*. 07 Haziran 2016, <https://en.wikipedia.org/wiki/Albedo>.

Wikipedia. (2016b). *Electrical resistivity and conductivity*. 23 Mayıs 2016, https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistivity_and_conductivity.

Won, C.Y., Kim, D.H., Kim, S.C., Kim, W.S. ve Kim H.S. (1994). A new maximum power point tracker of photovoltaic arrays using fuzzy controller. *25th annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*, 396.

YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü) (2012). *Biyokütle enerjisi nedir*. 20 Haziran 2016, http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_enerjisi.aspx.

YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü). (2015). Güneş enerjisi potansiyeli atlası. 07 Mart 2016, <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/35.aspx>.

Zan, B. (2006). *Bir fotovoltaiik sistemden optimal gücün sağlanması*. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.

Zhou, S., Kang, L., Sun, J., Guo, G., Cheng, B., Cao, B. ve diğer. (2010). A novel maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic system. *International Journal of Control, Automation, and Systems*, 8 (6), 1364-1371.

Zimmermann, S.,Helmerts, H., Tiwari, M.K., Paredes, S., Michel, B., Wiesenfarth, M. ve diğer. (2015). A high-efficiency hybrid high-concentration photovoltaic system. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 89 (2015), 514–521.

Zomeworks. (b.t). *How trackers work*. 04 Nisan 2016, <http://www.zomeworks.com/photovoltaic-tracking-racks/how-trackers-work/>.