

# GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ÇALIŞAN BİR SU ÜSTÜ TEKNESİ ELEKTRİK SİSTEMİ

Kenan Askan<sup>2</sup>, Esin İlhan<sup>3</sup>, Berkin Kılıç<sup>4</sup>, Deniz Yıldırım<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, *yildiri1@itu.edu.tr*

<sup>2</sup> Eaton Industries Austria GmbH, *kenanaskan@yahoo.com*

<sup>3</sup> Bosch Transmission Technology, *esinilhan@hotmail.com*

<sup>4</sup> Horizon İleri Endüstri Teknoloji A. Ş., *berkin.kilic@horizonadvanced.com*

## ÖZET

Bu çalışmada güneş enerjisi ile çalışan bir teknenin elektrik sistemi ve bu sistemi oluşturan ekipmanların özellikleri verilmektedir. Elektrikli bir teknede bir elektrik motoru miline monte edilmiş bir pervane yardımıyla gerekli itme gücü oluşturulmaktadır. Elektrik motoru için gerekli olan enerji bir batarya grubundan sağlanmakta ve batarya tekne üzerine yerleştirilen fotovoltaik paneller yardımıyla şarj edilmektedir. Tekne üzerinde kullanılacak olan fotovoltaik panel gücü ve batarya enerji kapasitesi, teknenin kullanıldığı bölgedeki güneş enerjisi potansiyeli ve çalışma süresine göre belirlenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** fotovoltaik sistem, maksimum güç noktası izleme, motor sürücü, güneş enerjili tekne

## ABSTRACT

This study describes the main components and electrical system of a solar powered boat. Required thrust power in an electric powered boat is obtained by driving a DC motor coupled to a propeller. The energy required for the DC motor is provided by a battery bank where batteries are charged by photovoltaic panels mounted on top of the boat. Photovoltaic panel power and battery energy capacity to be used in the boat is determined based on the region where boat is used and operational time.

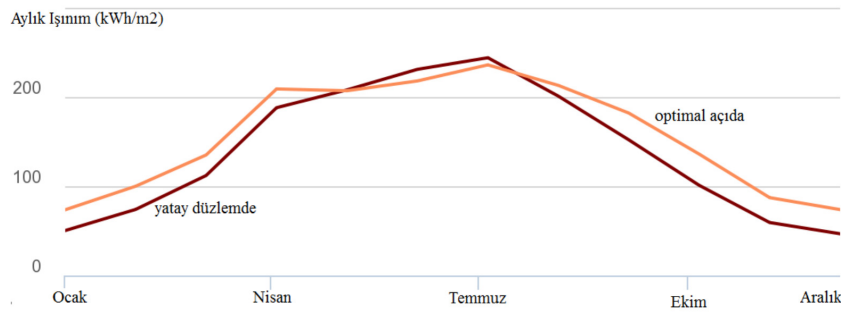
**Keywords:** photovoltaic system, maximum power point tracking, motor driver, solar powered boat.

## 1. GİRİŞ

Enerjiye olan talebin gün geçtikçe artması, geleneksel enerji kaynaklarının giderek azalması ve artan sera gazı emisyonlarının yol açtığı kirlilik yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının giderek artmasını doğurmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi, fotovoltaik paneller kullanılarak ışık enerjisinden elektrik üretilmesine imkan vermektedir. Bu dönüşüm yapılırken herhangi bir mekanik hareket olmaması, bu tür sistemlerin uzun ömürlü olmasını sağlamakta (minimum 25 yıl) ve bakım maliyetlerini minimum düzeye indirmektedir. Bu avantaj ve giderek düşen panel maliyetleri, güneş enerjisini diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre ön plana çıkarmaktadır [1].

Su yolu yakınlarında bulunan veya içerisinde su kanalları geçen şehir merkezlerinde taşıma ve gezi amaçlı olarak kullanılan dizel motorlar ile tahrik edilen teknelerin oluşturduğu sera gazı emisyonları şehirlerdeki kirliliğin artmasına sebep olmaktadır [2]. Örnek olarak, Amsterdam şehrindeki kanallarda kullanılan tekneler için tekne boyutuna göre 2020 veya 2025 yılına kadar her bir teknenin sıfır emisyon yayma zorunluluğu getirilmiştir [3]. Bu yasal zorunluluk bu tür yerlerde kullanılan teknelerin elektrikle tahrik edilmesi ile mümkün olabilmektedir [4]. Elektrikle tahrik edilen küçük boyutlu bir teknede batarya grupları enerji kaynağı olarak kullanılabilirken, büyük boyutlu tekneler ve yüksek tonajlı gemiler için bir dizel jeneratör grubu gerekli olan elektrik enerjisini üretmektedir. Bu tür sistemlerde her ne kadar geminin tahrik sistemi elektrik motorları yardımıyla sağlansa da, elektrik üretimi için kullanılan dizel jeneratör çevreye sera gazı emisyonu yaymaktadır. Batarya grubu kullanılan teknelerde fotovoltaik (FV) paneller teknenin gereksinimi olan enerjiyi bataryaları şarj ederek sağlayabilmektedir.

Şarj süresi teknenin kullanılacağı bölgedeki güneş enerjisi potansiyeline, kurulu panel gücüne ve teknenin kullanım sıklığına bağlıdır. Tekne üzerinde sınırlı bir alan olduğundan tekne boyutuna göre panel gücünün belli bir değerin üzerine çıkması mümkün değildir. Şekil 1’de İstanbul ili için güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre değişimi yatay düzlemde ve optimal açıda yerleştirilmiş bir yüzey için verilmektedir [6].



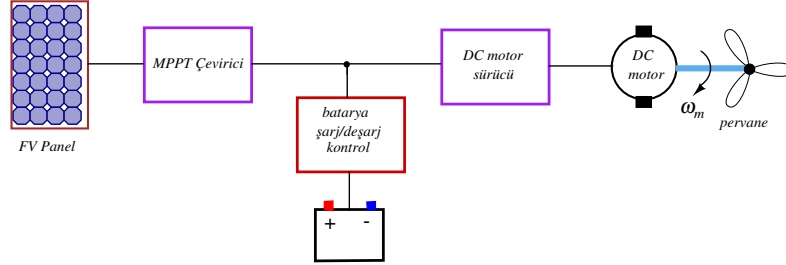
Şekil 1: İstanbul (Beşiktaş) için aylık güneş ışınlama değerleri [6].

Yer üstü uygulamalarda fotovoltaik paneller güneye bakacak şekilde yatay düzlemle belli bir açı yapacak şekilde yerleştirilmektedir. Optimal açı olarak adlandırılan bu açı panelin yerleştirildiği bölgenin enlem derecesine yakın bir değer olarak alınmaktadır. Su üstünde giden bir tekne için tekne yönü sürekli değişkenlik göstereceğinden, paneller tekne üzerine yatay olarak yerleştirilmektedir. Şekil 1’den görülebileceği gibi yaz aylarında panellerin yatay veya optimum açıda yerleştirilmesi durumunda aylık ışınlama değerleri arasında fazla bir fark bulunmazken, kış aylarında bu fark daha belirgindir.

## 2. GÜNEŞ TEKNESİ ELEKTRİK SİSTEMİ

Elektrikle tahrik edilen ve enerji kaynağı fotovoltaik paneller olan bir teknenin elektrik sistemini oluşturan ana elemanlar Şekil 2’de verilmektedir. Fotovoltaik paneller tarafından üretilen elektrik enerjisi, bir DC-DC çevirici yardımıyla sürekli olarak maksimum güç noktasında (MPPT) çalıştırılarak bataryaları şarj etmektedir. Batarya grubunda depolanan elektrik enerjisi doğru akım motor sürücüsü yardımıyla DC motorun hızı ayar edilmektedir. Ayrıca bir şarj/deşarj kontrol devresi bataryanın aşırı şarj olması veya derindeşarj olması durumlarını kontrol etmekte ve gerekli gördüğü zamanlarda koruma amacıyla bataryayı yükten ayırmaktadır.

Şekil 2’de gösterilen FV paneller güneş ışınımını belli bir verimle elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Kullanılan hücre tipine ve jonksiyon sayısına göre bu verim değeri laboratuvar ortamında yapılan çalışmalarda tek jonksiyonlu silikon hücrelerde %25 değerlerinde iken (seri üretimde %20), 4-jonksiyonlu hücre yapılarında %47 seviyelerindedir [7].



Şekil 2: Güneş enerjili tekne elektrik sistemi ana elemanları.

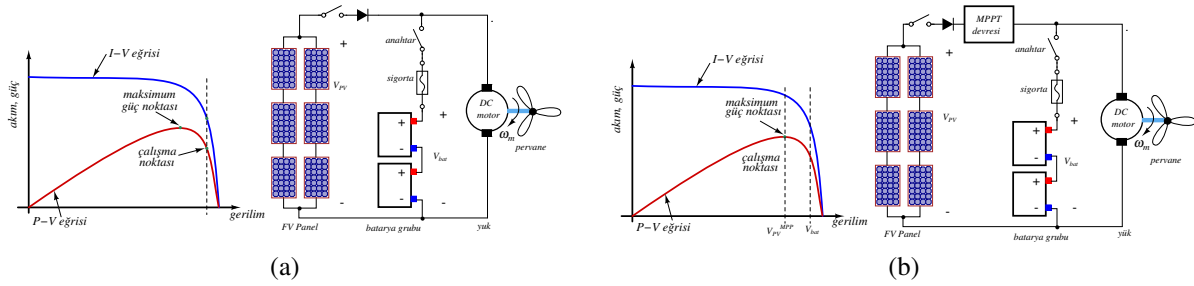
İstanbul Teknik Üniversitesi öğrencilerinden oluşan güneş teknesi ekibi Amerika Birleşik Devletlerinde her yıl düzenlenen güneş enerjili tekneler yarışına [8] katılabilmek için güneş enerjisi ile çalışan bir teknenin tasarımını, üretimini ve testlerini gerçekleştirmişlerdir (Şekil 3). Bu teknede 87W gücünde olan tek kristal silikon FV panellerden 6 adet kullanılmıştır. FV paneller 3,1W gücünde 125mm x 125mm boyutunda %21.5 verime sahip hücrelerden oluşmaktadır. Bu hücrelerden belli sayıda kullanılarak istenilen ebatta ve güçte, tekne üzerindeki uygun alanlara yerleştirilecek FV panel yapılabilir.



Şekil 3: İTÜ güneş teknesi.

Eğer FV paneller herhangi bir devre olmadan doğrudan yüke bağlanırsa çalışma noktası batarya gerilimine tekabül eden noktada olacaktır. Bu çalışma noktasının her zaman

maksimum güç noktası olması mümkün değildir (Şekil 4a). Bu nedenle FV paneller ile yük arasında bir elektronik devre yerleştirilerek, FV panellerin her zaman maksimum güç noktasında çalışması sağlanır (Şekil 4b). Yeryüzüne gelen güneş ışınımı öğle vakti maksimum değere ulaşmakta ve gün içerisinde değişkenlik göstermektedir. Değişen güneş ışınımı değerlerinde, MPPT çevirici kontrol sinyali otomatik olarak ayarlanarak FV panellerin her koşulda maksimum güç noktasında çalışması sağlanmaktadır [9 – 11].



Şekil 4: Maksimum güç noktası takip devresi (a) olmadığı ve (b) olduğu durumda FV panel çalışma noktası.

Fotovoltaik paneller tarafından üretilen elektrik enerjisini depolama amacıyla bakımsız kurşun-asit bataryalar kullanılmaktadır. Bataryanın performansı tekne elektrik sistemin çalışma süresinin belirlenmesi amacıyla önem arz etmektedir. Bu çalışmada seri bağlı iki adet 12V – 45Ah kurşun asit batarya kullanılarak 1kWh enerji depolama kapasitesi elde edilmiştir. Batarya kapasitesi teknenin tam yüklü halde tükettiği güç değeri ve günde ne kadar süre çalışacağı göz önünde bulundurularak Denklem 1 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$E_t = P_t \cdot t_c$$

$$C_b = \frac{E_t}{V_b \cdot \eta_d} \quad (1)$$

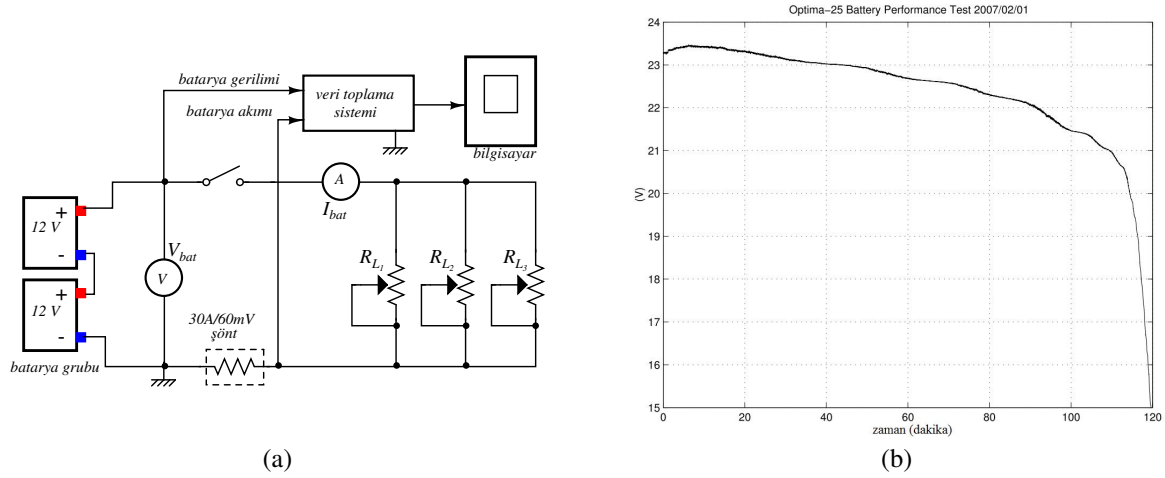
burada

- $E_t$  teknenin günlük enerji gereksinimi (Wh)
- $P_t$  teknenin tam yüklü halde tükettiği güç değeri (W)
- $V_b$  batarya gerilimi (V)
- $C_b$  batarya akım kapasitesi (Ah)
- $\eta_d$  sürücü verimi (%)
- $t_c$  teknenin günlük çalışma süresi (saat)

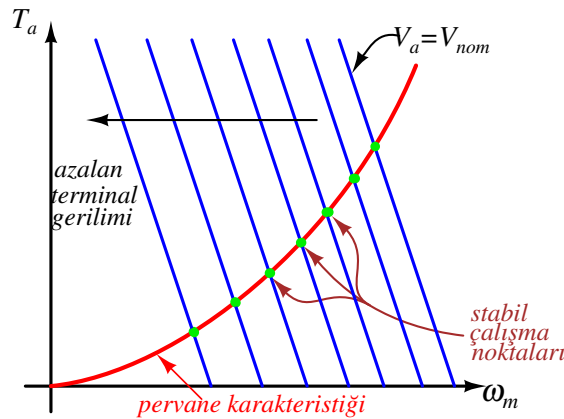
Denklem 1 de hesaplanan enerji günlük çalışma süresi boyunca teknenin çektiği gücün sabit olduğu varsayılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan günlük enerji değerinin batarya gerilimine ve sürücü verimine bölünmesiyle batarya Ah değeri belirlenmektedir. Bataryaların Ah değerleri 20 saatlik deşarj süresi için verilmektedir ve batarya gerilimi katalogta belirtilen minimum gerilim değerinin altına düştüğünde, derin deşarjı önlemek için batarya beslediği yükten ayrılmalıdır. Bir batarya sabit akımda yüklenecek batarya gerilimi ve batarya akımı bir veri toplama sistemi yardımıyla kayıt altına alınarak deşarj durumundaki karakteristiği Şekil 5a'da gösterilen ölçüm devresi yardımıyla çıkarılabilir. İTÜ güneş teknesinde kullanılan batarya grubunu deşarj karakteristiği Şekil 5b' de verilmektedir [12]. Buradan görülebileceği gibi bu batarya grubu yaklaşık 2 saat boyunca istenilen akımı verebilmektedir.

Motor miline bağlı bulunan pervane kalıcı mıknatıslı bir doğru akım motoru tarafından tahrik edilmektedir. Doğru akım motorunun hızı A-sınıfı bir doğru akım kısıyıcısı ile kontrol edilerek DC motora uygulanan terminal gerilimi sıfırdan nominal değere kadar ayar edilebilmektedir. Farklı motor terminal gerilimlerinde doğru akım motorunun moment-hız

grafığı Şekil 6'dan görülebileceği gibi birbirine paralel doğrular olmaktadır. Bu eğri üzerine pervanenin moment-hız grafığı de eklendiğinde her iki eğrinin kesişme noktası stabil çalışma noktası olmaktadır. Buradan görülebileceği gibi motora uygulanan gerilimin azaltılması ile kesişme noktaları sıfıra doğru yaklaşmakta ve teknenin hızı düşmektedir.



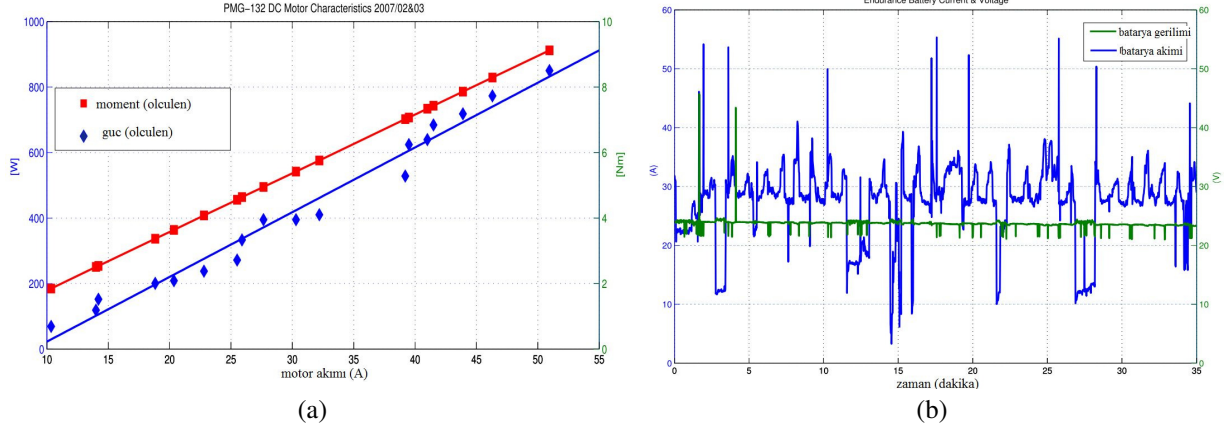
Şekil 5: (a) Batarya grubu test düzeneği ve (b) bir batarya grubunun sabit akımda deşarj karakteristiği [12].



Şekil 6: Doğru akım motoru ve pervanenin moment-hız karakteristikleri.

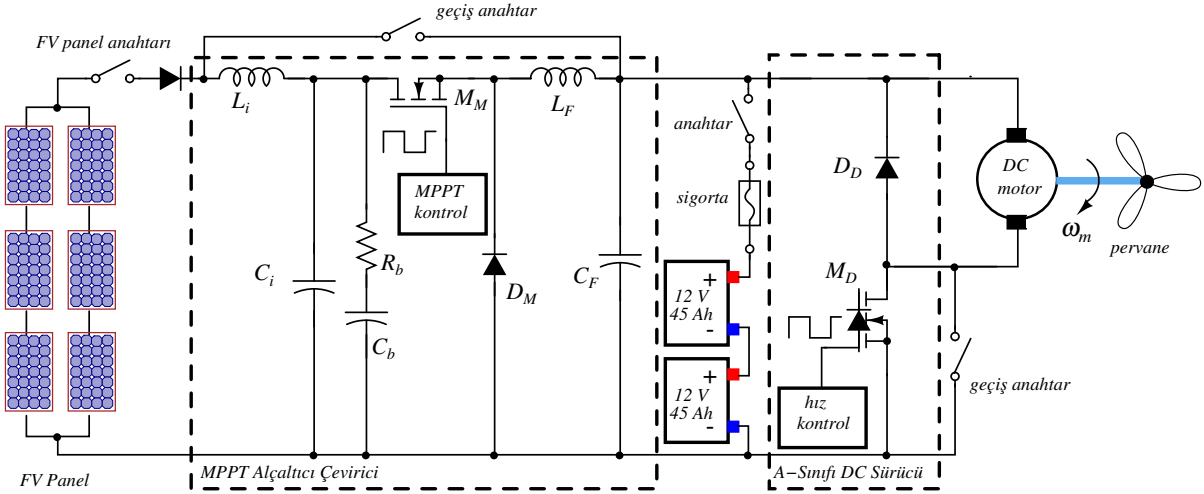
Kalıcı mıknatıslı doğru akım motoru laboratuvar ortamında yüklenerek moment ve güç ölçümleri düşük yük durumundan nominal yük değerine kadar çalışma durumu için moment ve güç değerleri belirlenmiştir (Şekil 7a). Ölçüm sonuçları dikkate alındığında DC motor sürücü devresinin emniyet payı da göz önünde bulundurularak 60A akım mertebesinde boyutlandırılması sonucu ortaya çıkmaktadır.

Bir sonraki aşamada motor ve sürücü devresi tekne üzerine monte edilerek üniversite kampüsünde bulunan bir gölette (durgun su) gerçek çalışma koşullarında saha testleri yapılmıştır. Bu testin amacı su içerisinde belli bir hızda giderken bataryadan çekilen akım değerinin ölçülerek teknenin çalışma süresinin belirlenmesidir. Şekil 7b de verilen test sonuçlarına bakıldığında batarya akımı ortalama değerinin 30A mertebesinde olduğu ve akımın oldukça dalgalı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Akımdaki bu yüksek darbeler suda çeşitli nedenlerle (rüzgar, başka tekneler, vb.) oluşan dalgaların tekne üzerinde kısa süreli yüksek güç/düşük güç talebi doğurmasıdır.



Şekil 7: (a) Doğru akım motoru moment/güç değerleri ve (b) teknenin durgun bir gölde çalışması durumunda batarya akım ve gerilimi.

Fotovoltaik paneller, MPPT çevirici, batarya grubu, DC sürücü ve DC motor-pervane elemanlarından oluşan tüm sistemin elektrik devre şeması Şekil 8 de verilmektedir. Bu şekilde gösterilen geçiş anahtarları bakım ve acil durumlarda çevirici ve sürücüyü ayırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bir mikro kontrolör tekne sürücüsünden aldığı hız bilgisini işleyerek motor sürücü içi gerekli olan hız kontrol sinyalini üretmektedir.



Şekil 8: Güneş enerjili bir teknenin elektrik sistemi.

### 3. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışma İTÜ güneş teknesi ekibi tarafından tasarlanan, gerçekleştirilen, laboratuvar ve saha testleri yapılan güneş enerjisi ile çalışan elektrik tahrikli bir teknenin ana elemanlarının özelliklerini vermektedir. 1080Wh akü kapasitesiyle tekne durgun su koşullarında iki saat boyunca kesintisiz olarak seyahat edebilmektedir. İstanbul ili için günlük ortalama güneş ışınımı  $4.5\text{kWh/m}^2$  değerinde olduğu düşünülürse, %20 verime sahip bir FV panel günde  $900\text{Wh/m}^2$  elektrik enerjisi üretecektir. 480W gücündeki FV panellerin kapladığı alan  $2,6\text{m}^2$  olduğundan, bu paneller ile günlük 2340Wh elektrik üretimi mümkün olmaktadır. FV panellerin çalışma sıcaklığı yaz aylarında güneş altında yüksek sıcaklık değerlerine çıkmaktadır ve bu FV panel çıkış gücünün azalması anlamına gelmektedir. Bu nedenle panel

sıcaklığını düşürecek tarzda bir soğutma sisteminin gerçekleşmesi tüm sistemin verimini arttıracaktır.

#### 4. KAYNAKLAR

- [1]. Mertens, K., *Photovoltaics - Fundamentals, Technology and Practice*, 2<sup>nd</sup> Ed., John Wiley & Sons Ltd., 2018.
- [2]. Walker, H., Conolly, C., Norris, J., and Murrells, T., “Greenhouse Gas Emissions from Inland Waterways and Recreational Craft in the UK”, *Task 25 of the 2010 DA / UK GHG Inventory Improvement Programme*, 2011.
- [3]. Mensch, P., Verbeek, R. P., “Electric Shipping in the City of Amsterdam”, *2<sup>nd</sup> World Electric and Hybrid Boat Summit*, 2015.
- [4]. Jacobs, F. A. G., “Zero Emission Concept of a Future Amsterdam Canal Boat”, Yüksek Lisans Tezi, Delft University of Technology, 2015.
- [5]. Hansen, J. F. and Wendt, F., “History and State of the Art in Commercial Electric Ship Propulsion, Integrated Power Systems, and Future Trends”, *Proceedings of IEEE*, Vol. 103, No. 2, 2015.
- [6]. PVGIS, Photovoltaic Geographical Information System, European Commission, [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html), son erişim: 2017.
- [7]. Best Research-Cell Efficiencies, NREL, <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>, son erişim: 2019.
- [8]. Solar Splash Website, <http://solarsplash.com>, son erişim: 2019.
- [9]. Hohm D.P., Ropp M. E., “Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms Using an Experimental, Programmable, Maximum Power Point Tracking Test Bed”. *Photovoltaic Specialists Conference, 2000. Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE 15-22 Sept. 2000* Pages:1699 – 1702
- [10]. Weidong Xiao, Dunford W. G., “A modified adaptive hill climbing MPPT method for photovoltaic power systems” *Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. 2004 IEEE 35th Annual Volume 3, 20-25 June 2004* Pages: 1957 - 1963 Vol.3
- [11]. Demirok, E., Graduation Project “Maximum Power Point Tracker”, 2005
- [12]. Ozden, M. C., Demir, E., Ozcan, E., Askan, K., Kılıc, B., Ilhan, E., *ITU Solar Splash Technical Report*, 2007.