

Türkiye Kıyı Bölgelerinde Yenilenebilir Enerji Santrali Uygulamaları İçin: Hibrit Yüzer Modüler Tasarım Önerileri

*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 14.12.2023

Kabul/Accepted: 11.06.2024

Yayımlandı/Published: 20.08.2024

For Renewable Energy Plant Applications in the Coastal Regions of Turkey: Hybrid Floating Modular Design Suggestions

Büşra CESUR DURMAZ^{1*}, İbrahim ÜÇGÜL²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Öz

Çalışmada, temiz enerji üretiminde sürdürülebilirliğe katkı sağlamak için günümüz rüzgar ve güneş enerji teknolojisinin kullanıldığı, hibrit yüzer yenilenebilir enerji santrali tasarımı yapılmıştır. Türkiye'nin kıyı bölgelerini temsil eden 3 koordinat noktasına ait Global Wind Atlas ve Global Solar Atlas yazılımından elde edilen değerlere göre toplam enerji potansiyeli hesaplanmıştır. Küçük 6 tip (10x10 m²), orta 2 tip (20x20 m²) ve (30x30 m²), büyük 1 tip (60x60 m²) alana sahip toplam 9 tip modül geliştirilmiştir. Ancak küçük modül tipleri arasında açık deniz koşullarında altıgen platform yapının en uygun davranış sergileyecek olması ve üzerinde yakın toplam kurulu güç değerleri hesaplanmasından dolayı, küçük modül tip 5 için enerji hesapları yapılmıştır. Sonuçta, küçük modül tip 5, orta modül tip 1, orta modül tip 2 ve büyük modül tip 1'in 10'ar adet kullanımıyla bölgelere ait santral toplam enerji potansiyeli ve karşıladığı konut sayısı hesaplanmıştır. En yüksek santral toplam enerji potansiyeline Ege bölgesinin sahip olduğu sonucuna ulaşılarak, küçük modül tip 5 ile (1830 MWh/yıl) ~500 konutun, orta modül tip 1 ile (4370 MWh/yıl) ~1195 konutun, orta modül tip 2 ile (41930 MWh/yıl) ~11485 konutun, büyük modül tip 1 ile (183960 MWh/yıl) ~50400 konutun ihtiyacının karşılanabileceği ortaya konulmuştur. Aynı zamanda enerji santralinin açık deniz ortamından olumsuz etkilenmemesi için modül büyüklüklerine uygun öneri niteliğinde dalgakıran yapıları tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji; Yüzer hibrit yenilenebilir enerji; Günümüz yenilenebilir enerji teknolojileri; Yüzer hibrit yenilenebilir enerji santrali; Bölgelere ait toplam enerji potansiyeli.

Abstract

In this study, a hybrid floating renewable energy power plant was designed using today's wind and solar energy technology to contribute to sustainability in clean energy production. The total energy potential was calculated according to the values obtained from Global Wind Atlas and Global Solar Atlas software for 3 coordinate points representing the coastal regions of Turkey. A total of 9 types of modules were developed: 6 small (10x10 m²), 2 medium (20x20 m²) and (30x30 m²), 1 large (60x60 m²). However, since the hexagonal platform structure will exhibit the most appropriate behaviour in offshore conditions among the small module types and the total installed power values close to it are calculated, energy calculations have been made for small module type 5. As a result, the total energy potential of the power plant and the number of houses covered by the regions were calculated by using 10 units each of small module type 5, medium module type 1, medium module type 2 and large module type 1. It is concluded that the Aegean region has the highest total power plant energy potential, and it is revealed that the needs of 500 houses (1830 MWh/year) can be met with small module type 5, 1195 houses (4370 MWh/year) with medium module type 1, 11485 houses (41930 MWh/year) with medium module type 2, and 50400 houses (183960 MWh/year) with large module type 1. At the same time, in order to prevent the power plant from being adversely affected by the open sea environment, breakwater structures were designed in accordance with the module sizes.

Keywords: Renewable energy; Floating hybrid renewable energy; Today's renewable energy technologies; Floating hybrid renewable energy plant; Total energy potential of the region.

1. Giriş

Enerji, insanların günlük hayattaki ihtiyaçlarını karşılayabilme noktasında önemli bir yere sahiptir. Sürekli artan nüfus ile birlikte insanların barınma talebinin karşılanması, tarımsal faktörler ve sanayi kullanımları gibi yaşamımızın her noktasında giderek büyüyen bir ihtiyaç haline gelmektedir (Daş vd. 2019, Solomin vd. 2021).

Günümüzde daha yoğun olarak kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil kökenli enerji kaynakları kullanılmaktadır. Kömür ve petrol gibi yenilenemeyen kaynakların tükenme tehdidi ise yenilenebilir enerji kaynaklarına olan geçişi hızlandırmaktadır (Solomin vd. 2021). Aynı zamanda fosil enerji kaynaklarının tüketimi çevresel tahribatın ciddi şekilde artmasına, küresel ölçekte oluşan krizler

sonucunda enerji fiyatlarının yükselmesine de neden olmaktadır (Penna 2020). Bundan dolayı, dünya ülkelerinin çoğu fosil kaynak tüketimindeki etkileri azaltmak için yeni politikalar geliştirmektedir (Uyan 2017).

Özellikle fosil kaynak kullanımına bağlı olarak küresel ısınmanın önüne geçmek için devletler 1997 yılında Kyoto protokolünü ve 2015 yılında küresel sıcaklık artışını 2°C'nin altında tutmayı taahhüt eden Paris İklim Antlaşması'nı imzalamışlardır (Karakaya 2016, Tortumluoğlu ve Doğan 2021). Fosil enerji kaynak kullanımının azalmasına yönelik imzalanan antlaşmalar gereğince son 20 yıl içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep artmaktadır (Lee vd. 2012, Penna 2020). Nitekim, Dünya Enerji Konseyi'nin (WEC) 2050 yılına ilişkin senaryolarına bakıldığında nüfus artışıyla birlikte yenilenebilir enerji talebine olan artışın da en yüksek büyüme oranına sahip olacağı görülmektedir (Rajpar et al. 2021, İnt.Kay.26). Dünyadaki yenilenebilir enerji kaynakları kurulu gücünün bu doğrultuda 2011-2020 yılları arasında iki kattan fazla arttığı bilinmektedir (IRENA 2021).

Türkiye açısından bakıldığında ise fosil kökenli enerji kaynaklarının yetersizliği dışa bağımlılığı arttırmaktadır. Ancak, alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli bakımından ülkemiz oldukça iyi bir yere sahiptir (Üçgül ve Elibüyük 2016a). Türkiye'nin bu noktada hidroelektrik, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, dalga ve akıntı gibi kara kurulumu (onshore) ve açık deniz kurulumu (offshore) bakımından yenilenebilir enerji kaynaklarını ekonomiye kazandırması gerekmektedir. Özellikle açık deniz yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirerek, bu kaynakların hibrit kombinasyonu ile tepe değerlerinin sürekli mümkün olmadığı koşullarda dahi verimlilik artışı sağlanabilecektir (Qu vd. 2021). Böylece sürdürülebilir enerji temini için yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelini daha etkin kullanmak, kendi kendine yeterli hale gelmek ve dışa bağımlılığı azaltmak mümkün hale gelecektir (Daş vd. 2019).

Yüzer yenilenebilir enerji çalışmaları ve hibrit enerji sistemleri dünyada ve Türkiye'de hızla gelişme göstermeye devam etmektedir (Çizelge 1).

Bu doğrultuda firmaların ürünlerine ve akademik çalışmalara bakıldığında; HydroSun firması, güneş hareketine göre dönen aynı zamanda çift yönlü PV sistemi ile yaz ve kış aylarında da enerji üretebilen Water Lily yüzer fotovoltaik sistemi kurmuştur (İnt.Kay.14). Temiz Yaratıcı Teknolojiler firması HydroSolar yüzer güneş enerjisi sistemini üretmiştir (İnt.Kay.21).

Çizelge 1. Yüzer yenilenebilir enerji sistemi örnekleri

Enerji Tipi	Uygulamalar
Güneş	HydroSun, Temiz Yaratıcı Teknolojiler
Rüzgar	EnerOcean
Dalga	Ocean Power Technologies; Blue Deal; Wave Star
Dip Akıntısı	Simec Atlantis Energy; Verdant Power;
Güneş + Rüzgar	OceanH2
Dalga + Rüzgar	Floating Power Plant; InSPIRE; Spar-Torus; W2Power
Güneş + Dalga	FDN
Güneş + Rüzgar + Dalga	Sinn Power; Energy Island Design

EnerOcean, W2Power projesinde yüzer rüzgar enerjisi üretiminin yanı sıra dalga enerjisi ve su ürünleri yetiştiriciliğinin de yapılabildiği bir sistem geliştirmiştir (Hanssen vd. 2015, İnt.Kay.4). Ocean Power Technologies firması, Power Buoy dalga enerjisi dönüştürücüsü ile 8.4 kW enerji üretebilmektedir (İnt.Kay.15). Blue Deal, açık deniz dalga enerji şamandıra sistemini dalga çiftlikleri uygulaması için tasarlamıştır (İnt.Kay.1). WaveStar firması, çok noktalı emici sistem olan dalga enerjisi dönüştürücüsü inşa etmiştir (İnt.Kay.25). Simec Atlantis Energy firması, SeaGen 'S' gelgit ve dip akıntısı türbini sayesinde 2 MW'a kadar kurulu kapasite sağlamaktadır (Jackson ve Persoons 2012). Verdant Power, 5 m rotor çapına sahip üç kanatlı yatay eksenli bir türbin ile gelgit ve dip akıntısı enerjisi üretmektedir (İnt.Kay.23). İspanyol yenilenebilir enerji üreticisi Acciona Hexicon tarafından yüzer rüzgar ve güneş enerjisi birlikte tasarlanarak "OceanH2" dünyanın ilk yeşil hidrojen santrali oluşturulmuştur (İnt.Kay.18). Floating Power Plant tarafından geliştirilen Poseidon P37, hibrit rüzgar ve dalga enerjisi üretim teknolojisi dünyanın ilk yüzer temel yapısıdır (İnt.Kay.6, İnt.Kay.24). TechnipFMC ve Bombora ortaklığı ile geliştirilen InSPIRE projesi dalga + rüzgar enerjisi üretebilen yüzer platform sistemidir (İnt.Kay.9). Ding vd. (2015)'in çalışmasında Spar-Torus rüzgar ve dalga enerjisi kombinasyonu ile nokta soğurucu, salınımlı ve dikey plakalar olmak üzere dalga dönüştürücüsüne üç şekilde öneri geliştirilmiştir. Pelagic Power tarafından W2Power rüzgar türbini ve dalga enerjisi dönüştürme sistemi hafif ve tek bir yüzer platform üzerinde üretilmiştir (İnt.Kay.16). FDN firması tarafından deniz dalgalarında periyodik olarak aşağı ve yukarı hareket eden dalga enerjisi dönüştürücüsü tasarlanmıştır. Ayrıca bu sistem ile güneş enerjisini birlikte üretecek proje planlanmaktadır (İnt.Kay.5). Sinn Power tarafından hibrit dalga, güneş ve rüzgar enerjisi yüzer bir platform üzerinde modüler sistemler olarak tasarlanmıştır (İnt.Kay.17). Dominic Michaelis ve Alex Michaelis (2008) tarafından, Energy

Island Design projesi ile güneş, rüzgar, dip akıntısı ve okyanus termal enerjisi birlikte kullanılarak her biri 250 MW üretebilen toplam 8 altıgen modül ile 2000 MW güç üretimi hedeflenmiştir (İnt.Kay.12).

Dünyada gelişme gösteren bu yüzer yenilenebilir enerji sistemlerine bakıldığında hibrit kombinasyonların artışı ortadadır. Türkiye’de ise hibrit teknolojilerden ziyade yüzer GES (Bulut vd. 2018, Dal 2021, Gökmener vd. 2023) çalışmalarının özellikle hidrolik santraller üzerinde kurulu örneklerine rastlanırken, yüzer RES çalışmalarının Ar-Ge aşamasında olduğu görülmektedir (İnt.Kay.20). Bu nedenle enerji tepe değerlerinin mümkün olmadığı iklim koşullarında dahi enerjinin sürdürülebilirliği açısından hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin Türkiye’de de ilerleme göstermesi önemli bir husustur.

Bu çalışmada ise hibrit yüzer yenilenebilir enerji sistemlerinin gelişmesine katkıda bulunmak için günümüz rüzgar ve güneş enerji teknolojisinin kullanıldığı, küçük (10x10 m²), orta (20x20 m²; 30x30 m²) ve büyük (60x60 m²) ölçülerde enerji modülleri tasarlanmıştır. Bu enerji modüllerinin boyutlarına, enerji verimliliği değişken kıyı ve açık denizlerde farklı ortam koşulları ile uyumlu olabilecek aynı zamanda sonraki çalışmalarda da ihtiyaç duyulabilecek yüzer temel yapıları göz önünde bulundurularak karar verilmiştir. İlaveten, Türkiye kıyı bölgelerini temsil eden 3 koordinat noktası için bu enerji modüllerinin rüzgar ve güneş enerji hesapları yapılmıştır. Koordinat noktaları belirlenirken de rüzgar hızı haritasında yüksek potansiyele sahip yerler dikkate alınmıştır. Çalışma bu noktada aşağıda belirtilen önerilerden dolayı diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

- Küçük, orta ve büyük olarak farklı boyutlarda enerji modüllerinin geliştirilmesi,
- Bu modüllerin boyutlarına uygun, rüzgar ve güneş yenilenebilir enerji teknolojisi firma ürünlerinin kıyaslanarak tercih edilmesi,
- Türkiye kıyı alanlarını temsil eden 3 koordinat noktasında, enerji modüllerinin 10’ar adet kullanılmasıyla bu bölgelere ait ayrı ayrı toplam enerji potansiyellerinin hesaplanması,
- Elde edilen güç potansiyellerine göre enerji ihtiyacının karşılandığı ortalama konut sayısının bulunması,
- Bu potansiyeller değerlendirildiğinde Türkiye için Ege bölgesinin hibrit rüzgar ve güneş enerji üretiminde daha yüksek potansiyele sahip olduğu sonucuna ulaşılmaması,
- Ayrıca, hibrit yüzer yenilenebilir enerji santralinin dalgalı deniz ortamından etkilenmemesi için her modül büyüklüğüne uygun öneri niteliğinde

dalgakıran yapılarının tasarlanması bakımından, diğer çalışmalardan ayrılmakta ve literatüre katkı sağlamaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Türkiye rüzgar ve güneş enerji potansiyeline göre çalışma alanlarının belirlenmesi

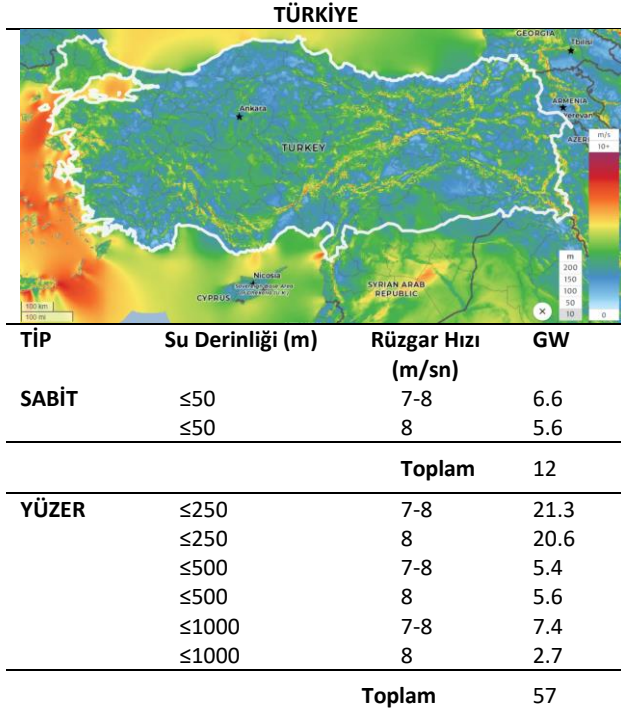
Yenilenebilir enerji kaynaklarını güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, su kökenli (hidro enerji, dalga enerjisi, gelgit enerjisi, okyanus enerjisi, akıntı enerjisi), jeotermal enerji, biyokütle enerjisi ve hidrojen enerjisi olarak sınıflandırmak mümkündür (Üçgül ve Elibüyük 2016b). Türkiye’nin 2019 yılında sahip olduğu 91.3 GW’lık toplam kurulu güç ağına bakıldığında, yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerji santrallerinin % 8.3, güneş enerji santrallerinin ise % 6.6 oranına sahip olduğu görülmektedir (İnt.Kay.10). Günümüzde Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynaklı üretim gücü artış gösterse de bu oranlar fosil kaynak tüketiminin yanında yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle yarımada olan Türkiye’de karada (Onshore) kurulu enerji güç ağına açık denizlerinde (Offshore) dahil edilmesi gerekmektedir. Çünkü açık deniz yenilenebilir enerji kaynakları karbon nötr durumundan dolayı yakın gelecek için büyük bir potansiyel oluşturmaktadır (Qu vd. 2021).

Rüzgar enerjisi çoğunlukla yıl boyunca rüzgar hızının bol gözlemlendiği, yüksek rüzgar yoğunluğunun bulunduğu karasal alanlarda ve açık denizlerde, yatay eksenli rüzgar türbinleri ile elde edilmektedir (Rajpar vd. 2021). Açık deniz rüzgar çiftlikleri, küresel rüzgar enerjisi üretiminin ana kaynağıdır ve kapasite faktörünün % 50’sine kadar katkıda bulunmaktadır. Açık deniz rüzgar enerjisi toplam küresel elektrik üretimine (mevcut küresel kapasite 23 GW) % 0.3’lük bir kamülatif katkıyı sabit yada yüzer rüzgar türbinler ile sağlamaktadır (Cottura vd. 2021).

Türkiye’de açık deniz rüzgar enerji potansiyeli bakımından kıyının 200 km açığında sabit 12 GW ve yüzer 57 GW potansiyele sahiptir. Değişen su derinliklerine göre rüzgar teknik potansiyelini gösteren ek hesaplamalar (ESMAP 2019) ve 10 m yükseklikte Türkiye ortalama rüzgar hızı haritası (İnt.Kay.8) Çizelge 2’de verilmektedir.

Bu haritaya göre Ege Denizi’nin kuzeybatısı açık deniz rüzgar potansiyeli bakımından en yüksektir. Bölgede rüzgar hızı 9 m/s’ye kadar çıkmakta ve 6 GW sabit ve 19 GW yüzer, açık deniz rüzgar potansiyeline rastlanmaktadır. Marmara denizi ve Karadeniz’de ise 7-8 m/s’lik rüzgar hızı potansiyeline ulaşılmaktadır (ESMAP 2019).

Çizelge 2. Türkiye kıyıları ortalama rüzgar potansiyeli (ESMAP 2019) ve ortalama rüzgar hızı haritası (İnt.Kay.8)



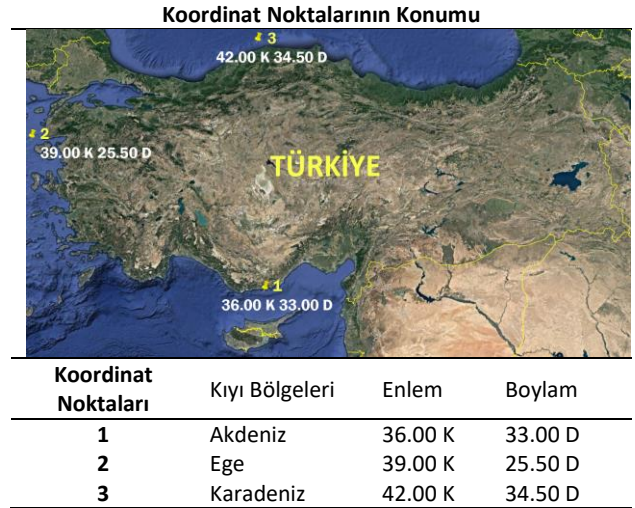
Türkiye’de güneş radyasyonu ışınım değerleri ve güneşlenme süresi uzun olduğu için güneş enerjisi potansiyeli de yüksektir. Türkiye kıyı bölgelerinin toplam güneş enerjisi sırasıyla; Akdeniz 1.390, Ege 1.304, Marmara 1.168 ve Karadeniz 1.120 kWh/m²-yıl’dır (Özgür 2018). Günlük güneşlenme süresi ise; Akdeniz Bölgesi ortalama 7.5 ile 8.5 saat, Ege Bölgesi ortalama 6.5 ile 8.5 saat, Marmara Bölgesi ortalama 6 ile 7 saat, Karadeniz Bölgesi ortalama 4.5 ile 6 saat arasındadır (İnt.Kay.13).

Türkiye kıyı bölgelerinde rüzgar ve güneş enerji potansiyeli hesaplanırken Global Wind Atlas ve Global Solar Atlas yazılımı kullanılmış ve Akdeniz, Ege ve Karadeniz kıyı alanlarını temsil eden 3 koordinat noktası belirlenmiştir. Bu koordinat noktaları Çizelge 2’de verilen Türkiye kıyıları ortalama rüzgar hızı haritası dikkate alınarak en yüksek potansiyel değerlerini gösteren konuma göre tespit edilmiştir (Çizelge 3).

Global Wind Atlas enerji verileri dikkate alınarak 3 koordinat noktasına ait güç yoğunluğu Çizelge 4’de gösterilmiştir (İnt.Kay.8).

Güneş enerjisi potansiyelini hesaplamak için Global Solar Atlas yazılımı kullanılmış ve yüzer büyük ölçekli PV sistemi tipi seçilerek varsayılan 10°’lik eğim açısı dikkate alınmıştır. 1000 kWp kurulu güç potansiyeline göre 3 koordinat noktasına ait yıllık ortalama üretilen fotovoltaik güç çıkışı değerleri Çizelge 5’te verilmiştir (İnt.Kay.7).

Çizelge 3. Türkiye kıyı bölgelerini temsilen eden koordinat noktaları yer gösterimi



Çizelge 4. Koordinat noktalarına ait rüzgar ortalama güç yoğunluğu (İnt.Kay.8)

Rüzgar Ortalama Güç Yoğunluğu	W/m ²	m/sn
1 Akdeniz	381	5.69
2 Ege	529	7.57
3 Karadeniz	329	5.66

Çizelge 5. Koordinat noktalarına ait fotovoltaik güç çıkışı değerleri (İnt.Kay.7)

Toplam Fotovoltaik Güç Çıkışı	GW
PV panellerinin eğimi: 1 Akdeniz	1.515
Varsayılan (10°) 2 Ege	1.394
Kurulu güç: 1000 kWp 3 Karadeniz	1.175

2.2 Yenilenebilir enerji sistemi teknolojileri

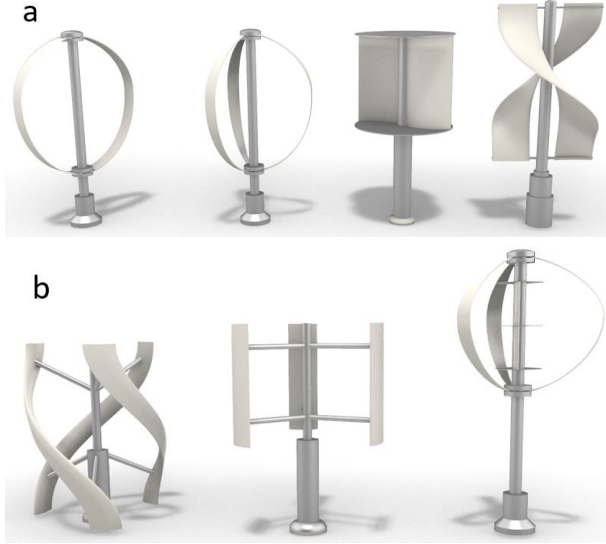
2.2.1. Rüzgar enerjisi

Paul la Cour tarafından 1891 yılında ilk türbinin inşa edilmesiyle, rüzgar enerjisinden elektrik üretilmeye başlanmış ve son 20 yıl içerisinde rüzgar enerjisi üretiminde önemli bir artış görülmüştür. Rüzgar türbinleri dönme eksenlerine göre yatay eksenli, dikey eksenli ve eğik eksenli olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Elibüyük ve Üçgöl 2014).

1) Yatay eksenli rüzgar türbini (YERT): Kanat yönü rüzgar yönüne dik, dönme eksenine paralel, yerden genellikle 20-30 m yüksekte ve tek kanatlı, iki kanatlı, üç kanatlı ve çok kanatlı çeşitleri bulunan türbinlerdir (İnt.Kay.2).

2) Dikey eksenli rüzgar türbini (DERT): Rüzgarı her yönden alabilen, dönüş eksenini rüzgarın yönüne dik olmasından dolayı yatay eksenli türbine kıyasla daha iyi ancak verim olarak daha düşük özellikte türbinlerdir (Keleş Çetin vd. 2019). Darrieus ve Savonius olarak iki tipi bulunmaktadır. Ayrıca H Tipi Darrieus, Helix Tip Darrieus ve Hibrit Darrieus-Savonius rüzgar türbinleri de geliştirilmiştir.

3) Eğik eksenli rüzgar türbinleri: Dönme eksenleri düşeyde rüzgar yönünde bir açı yapan ve kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunan türbinlerdir (Elibüyük ve Üçgül 2014). Dönme eksenlerine göre rüzgar türbin çeşitleri Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Darrieus ve Savonius rüzgar türbini (a); Darrieus Helix, Darrieus H Tipi ve Hibrit Darrieus Savonius rüzgar türbini (b); Tek kanat, iki kanat ve üç kanatlı rüzgar türbini (c) (Yazara ait çizim*)

Çalışmada, rüzgar enerjisinin yenilenebilir enerji üretiminde önemli bir girdi olması nedeniyle karada kurulu olan yatay eksenli ve düşey eksenli rüzgar türbini üreten firmaların ürünleri incelenmiştir. Çizelge 6’da bu ürünler Nominal Güç bakımından düşük, orta ve yüksek olarak sınıflandırılmıştır. Firma ürünleri ise marka ismi vermemek için RT kodu ile belirtilmiştir. Bu çizelgelerdeki rüzgar türbin tiplerinden rotor ağırlığı düşük ve nominal güç bakımından yüksek firma modelleri modül boyutlarına uygun olacak şekilde tercih edilmiştir.

Çizelge 6. Nominal güç bakımından düşük, orta ve yüksek dikey eksenli ve nominal güç bakımından yüksek dikey ve yatay eksenli rüzgar türbini firma ürünleri

Nominal Güç Bakımından Düşük-Dikey Eksenli Rüzgar Türbini Çeşitleri									
Firma ürünü	Darrieus H Tipi				Savonius		Darrieus + Savonius		Darrieus Helix
	RT-1 (Int.Kay:41)	RT-2 (Int.Kay:39)	RT-3 (Int.Kay:30)	RT-4* (Int.Kay:27)	RT-5 (Int.Kay:35)	RT-6 (Int.Kay:35)	RT-7* (Int.Kay:33)	RT-8* (Int.Kay:33)	RT-9* (Int.Kay:37)
Rotor ağırlığı	350 kg	-	250-800 kg	28 kg kanat	155 kg	36 kg	380 kg	680 kg	274 kg
Rotor çapı	1.4 m	2.6 m	2.5 m	2 m	2.2 m	65 cm	2.8 m	4 m	1.8 m
Kanat uzunluğu	9 m	2.0 m	3 m	2.8 m	1.5 m	1.5 m	4 m	4 m	3.2 m
Nominal Güç	1 kW	1 kW	3.6 kW	1 kW	1.5 kW	500 W	1.5 kW	3 kW	1.5 kW
Devreye girme Rüzgar hızı	3.5 m/sn	-	1.5 m/sn	1.5 m/sn	3 m/sn	1.5 m/sn	3 m/sn	3 m/sn	4 m/sn
Nominal Güç Bakımından Orta-Dikey Eksenli Rüzgar Türbini Çeşitleri									
Firma ürünü	Darrieus H Tipi		Savonius Tipi		Darrieus + Savonius		Darrieus Helix		
	RT-10 (Int.Kay:41)	RT-11 (Int.Kay:38)	RT-12* (Int.Kay:36)	RT-13 (Int.Kay:37)					
Rotor ağırlığı	658 kg	800 kg	310 kg	756 kg					
Rotor çapı	9.7	6.20 m	3.5	3.2 m					
Kanat uzunluğu	2.1	5.7 m	3.6 m	5.2 m					
Nominal Güç	5 kW	4.5 kW	5 kW	5 kW					
Devreye girme Rüzgar hızı	4.47 m/sn	1.5 m/sn	1.8 m/sn	3.5 m/s					
Nominal Güç Bakımından Yüksek-Dikey Eksenli Rüzgar Türbini Çeşitleri									
Firma ürünü	Darrieus H Tipi				Darrieus + Savonius				
	RT-14 (Int.Kay:31)	RT-15 (Int.Kay:28)	RT-16 (Int.Kay:36)	RT-17 (Int.Kay:40)	RT-18* (Int.Kay:36)	RT-19* (Int.Kay:36)			
Rotor ağırlığı	2950 kg	90 kg	660 kg	9000 kg	460 kg	660 kg			
Rotor çapı	11.2 m	2.5 m	6 m	3 m	4 m	6 m			
Kanat uzunluğu	9 m	3 m	6.5 m	10 m	4 m	6.5 m			
Nominal Güç	10 kW	10 kW	20 kW	9-20 kW	10 kW	20 kW			
Devreye girme Rüzgar hızı	2.5 m/s	-	2 m/sn	-	2 m/sn	2 m/sn			

Çizelge 6 (devamı). Nominal güç bakımından düşük, orta ve yüksek dikey eksenli ve nominal güç bakımından yüksek dikey ve yatay eksenli rüzgar türbini firma ürünleri

Firma ürünü	Darrieus H Tipi		Darrieus Helix		3 Kanatlı	
	RT-20 (Int.Kay.29)	RT-21 (Int.Kay.30)	RT-22 (Int.Kay.34)	RT-23* (Int.Kay.32)	RT-24* (Int.Kay.32)	
Taradığı Alan	-	-	-	176,71 m ²	314,16 m ²	
Kanat Çapı	5 m	10 m	12 m	15 m	20 m	
Kule Yüksekliği	6 m	12 m	14 m	20 m	35 m	
Nominal Güç	50 kW	60 kW	50 kW	50 kW	100 kW	
Devreye girme Rüzgar hızı	4 m/sn	1.5 m/sn	1.3 m/sn	2 m/sn	2 m/sn	

Dipnot: (*) İşaretili firma ürünleri tercih edilmiştir. RT kodu ile verilen rüzgar enerjisi firma ürünlerine ait internet kaynakları (Int.Kay.27-41)

2.2.2. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi en bol ve sonsuz enerji kaynaklarından biridir aynı zamanda ekonomik kalkınmada toplumun sürekli taleplerini karşılayabilecek temiz yenilenebilir enerji kaynağı olarak görülmektedir (Husain vd. 2018, Perera 2020). Günümüzde ise karada kurulu güneş enerji santralleri sayesinde yenilenebilir enerji temin edilirken büyük arazilerin işgal edilmesiyle ormansızlaşma, erozyon, yüzey akışı ve iklim değişikliği meydana gelebilmektedir. Bu nedenle kıyılar ve açık denizlerde yüzer güneş enerji santrali uygulamaları avantajlı hale gelmektedir. Güneş enerjisi üretmek için yarı iletken malzemeler olan fotovoltaik hücreler kullanılmakta ve

güneş ışığı elektriğe dönüştürülmektedir (Husain 2018). Yüzer güneş panellerinde ise fotovoltaik hücrelerin belirli bir standardı olmamakla birlikte en yaygın kullanılanları 60 veya 72 hücreli çerçevesi cam, cam mono veya polikristal silikon malzemelerdir (Dünya Bankası Grubu vd. 2019). Bundan dolayı Türkiye’de ve yurtdışında kullanılan 60 ve 72 hücreli güneş panelleri Çizelge 7’de verilmiştir. Firma ürünlerinde marka ismi kullanmamak için PV kodu ile belirtilmiştir. Yüzer yapının su üzerinde taşıma kabiliyeti göz önünde bulundurulduğunda, çizelgelerdeki güneş paneli tiplerinden ağırlığı düşük, nominal güç bakımından yüksek ve monokristal PV-9 firma ürünü çalışmada tercih edilmiştir.

Çizelge 7. 60 ve 72 Hücreli güneş paneli çeşitleri

Firma ürünü	60 ve 72 Hücreli Güneş Panelleri								
	PV-1 (Polikristal) (Int.Kay.43)	PV-2 (Polikristal) (Int.Kay.43)	PV-3 (Polikristal) (Int.Kay.44)	PV-4 (Polikristal) (Int.Kay.44)	PV-5 (Monokristal) (Int.Kay.45)	PV-6 (Monokristal) (Int.Kay.47)	PV-7 (Monokristal) (Int.Kay.46)	PV-8 (Monokristal) (Int.Kay.48)	PV-9* (Monokristal) (Int.Kay.42)
Ağırlık	18 kg	23 kg	18 kg	22 kg	21.1 kg	22 kg	23 kg	-	22.5 kg
Hücreler	60	72	60	72	60	72	72	60	72
Panel Boyut	1640 x 992x	1956 x 992 x	648 x 995 x	1959 x 995 x	1670 x 1000 x	1990 x 1000 x	1960 x 985 x	808 x 1320 x	1985 x 1003 x
	35 mm	40 mm	35 mm	40mm	5mm	35mm	40 mm	35mm	40 mm
Nominal güç	260 Wp	310 Wp	270 Wp	320 Wp	315 Wp	295 Wp	320 Wp	220 Wp	380 Wp

Dipnot: (*) İşaretili firma ürünü tercih edilmiştir. PV kodu ile verilen güneş enerjisi firma ürünlerine ait internet kaynakları (Int.Kay.42-48)

2.3. Metot

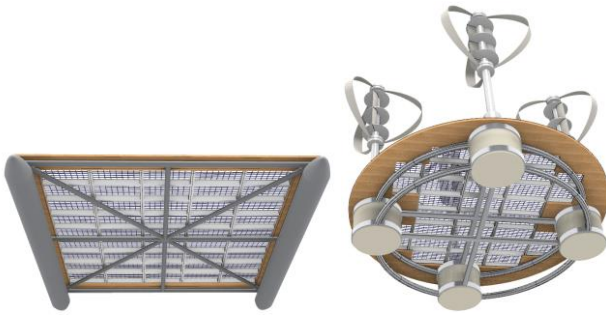
2.3.1. Yüzer enerji modülleri yapısal özellikleri

Tüm yüzer enerji modülleri taşıyıcı sistem ve enerji teknolojilerine ait görseller Rhinoceros7 3D ve Lumion 12.0.2 programında çizilmiştir.

Modüllerin yüzer temel formu geliştirilirken ana şekiller arasından en uygun olanın tespit edilebilmesi için öncelikle 10x10 m² alana sahip kare, yuvarlak ve altıgen formda yüzer temeller elde edilmiştir. Daha sonra yüzer temellerin üzerine kanat çapı mesafe aralıklarına göre rüzgar türbinleri yerleştirilmiş ve arada kalan boşluklara

güneş panelleri eklenerek modüllerin toplam kurulu güç hesapları yapılmıştır. Toplam kurulu güç bakımından kare, yuvarlak ve altıgen yüzer temellerin birbirine yakın olduğu sonucuna ulaşıldığı için (Çizelge 8) 10x10 m², 20x20 m², 30x30 m² ve 60x60 m² alan büyüklüğüne sahip modüllerde altıgen form tercih edilmiştir. Ayrıca, kare formun açık deniz koşullarında köşelerine gelen yükler altında şekilsel bütünlüğünü koruyamayacağı, yuvarlak formun taşıyıcı sistem kurulum zorluğunun göz önünde bulundurulması ve altıgen formun Cesur Durmaz (2023)’ün çalışmasında en uygun yüzer temel yapı olarak sonuç vermesinden dolayı altıgen temel en ideal form olarak belirlenmiştir.

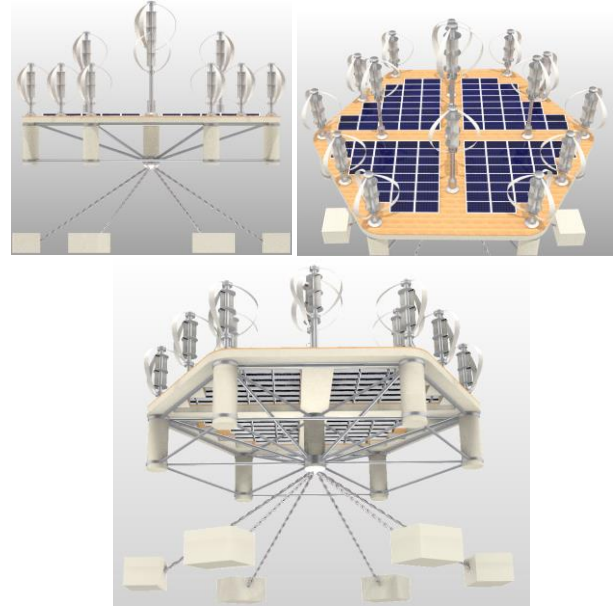
Deniz koşulları için uygun tekniklerle üretilen beton genellikle deniz yapıları ve yüzer yapılarda kullanılan öncelikli malzemelerdendir. Bunun dışında alüminyum, çelik ve Polistiren EPS Köpük dolgulu dubalar ve panton (İnt.Kay.11) yapılar da kullanılmaktadır. Çalışmada, küçük modüllerin yüzer temel yapıları daha küçük alana sahip olduğu ve bu bakımdan az enerji sistemi yerleştirilebileceğinden dolayı düşük kaldırma kabiliyeti gerektirmekte ve panton yapılar taşıyıcı zemin olarak tercih edilmektedir. Panton taşıyıcı yapılar birbirine alüminyum ve çelik profiller kullanılarak bağlanmıştır. Küçük Modül Tip 4'te ise rüzgar türbinini dengelemesi adına aynı zamanda genişletilmiş polistiren sert köpük dolgulu beton taşıyıcı kolonlar kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Küçük modül taşıyıcı sistem detayı

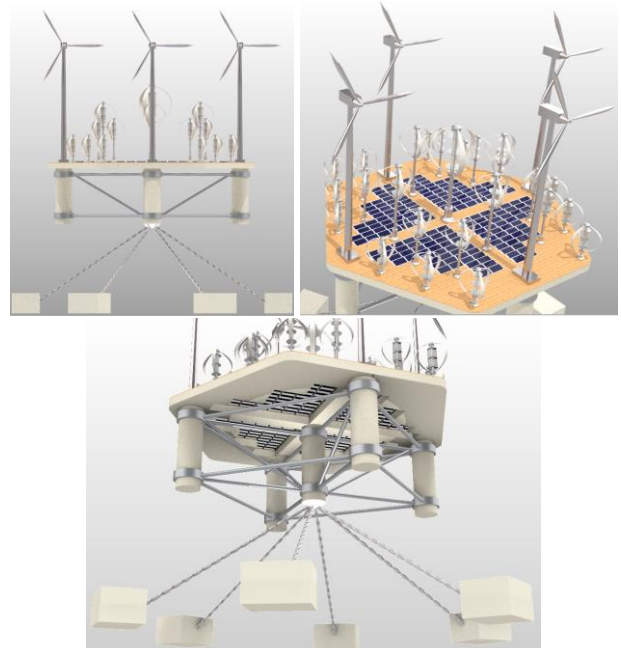
Mazarakos vd. (2020)'un çalışmasında toplam kule yüksekliği 105 m olan rüzgar türbini için yüzer temel ana kolonlar 1/3 oranında küçültülerek 38 m boyunda tasarlanmıştır. Aynı zamanda yüzer platformda ana kolona çevre kolonlar çapraz elemanlarla bağlanmıştır (Mazarakos vd. 2020). Bundan dolayı Orta Modül Tip 1 için bir adet merkezde (80 cm çapında, 4 m boyunda) ve altı adet altıgenin köşegenlerinde (50 cm çapında, 4 m boyunda) genişletilmiş polistiren sert köpük dolgulu beton kolonlar kullanılarak modülün suda üzerinde dengesi sağlanmıştır. Kolon boyu merkez rüzgar türbin yüksekliği dikkate alınarak ve yaklaşık 1/3 oranında küçültülerek belirlenmiştir.

Orta Modül Tip 1 de altı çevre kolon birbiri ile üstten ve alttan altıgen oluşturacak şekilde ve ana kolon ile merkeze doğru bağlanmıştır. Altı çapraz köşebent ile de çevre kolonların üst kısmı ve ana kolonun alt kısmı arasında Mazarakos vd. (2020) çalışmasında olduğu gibi bağlantılar eklenmiştir. Bu bağlantı elemanlarının hepsi 20 cm çapında alüminyum profillerden oluşmaktadır. Akslar boyunca devam eden 50 cm kalınlığında olan beton zemin üzeri, lamine ahşap ile kaplanarak orta kısımda oluşan boşluklara güneş panelleri yerleştirilmiştir (Şekil 3).



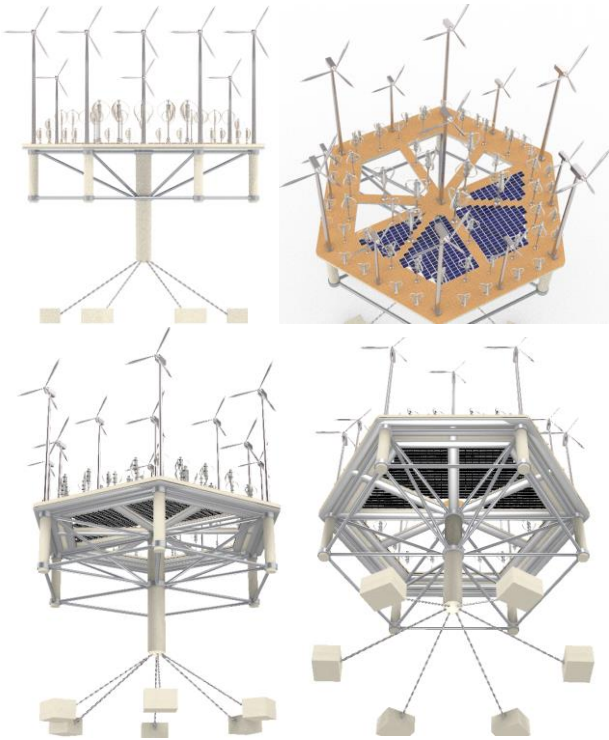
Şekil 3. Orta Modül Tip 1 taşıyıcı sistem ve PV detayı

Orta Modül Tip 2 de altıgen formun dört köşesinde kullanılan rüzgar türbinlerinden dolayı bu türbinleri dengeleyecek dört çevre kolon (3 m çap ve 10 m boya sahip) ve bir merkez kolon (3 m çap ve 10 m boya sahip) tasarlanmıştır. Genişletilmiş polistiren sert köpük dolgulu bu beton kolonlar, 50 cm kalınlığında alüminyum profillerden oluşan bağlantı elemanları ile üstten-alttan kare şeklinde ve ana kolon ile merkeze doğru bağlanmıştır. Dört çapraz köşebentler ile çevre kolonların üst kısmı ve ana kolonun alt kısmı arasında bağlantı elemanları eklenmiştir. Beton zemin kalınlığı ise 1 m olarak tasarlanmış, zemin yüzeyi lamine ahşap ile kaplanarak boşluk kısımlara güneş panelleri yerleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Orta Modül Tip 2 taşıyıcı sistem ve PV detayı

Büyük Modül Tip 1 de ise merkez kolon yüksekliği en uzun rüzgar türbini dikkate alınarak 5 m çap ve 36 m boyda, çevre kolonlar 3 m çap ve 18 m boyda tasarlanmıştır. Genişletilmiş polistiren sert köpük dolgululu bu beton kolonlar, 1 m alüminyum profillerden oluşan bağlantı elemanları ile üstten ve alttan altıgen şeklinde, ana kolon ile merkeze doğru bağlanmıştır. Büyük Modül için kolonların oturacağı 100 cm kalınlığındaki zeminin sadece beton olması durumunda yapı stabilitesinin etkileneyeceği göz önünde bulundurularak, Hexicon'un Yüzer Rüzgar Platformu tasarımında olduğu gibi (Yoneda 2022), beton zemin altında 3 m çap ve 1 m yüksekliğinde 3 sıra alüminyum çerçeve elemanlar kullanılmıştır. Çerçeve elemanlar arasında merkeze doğru 50 cm ve 1.6 m boşluklar bırakılmıştır. Beton zemin üzeri lamine ahşap ile kaplanmıştır. Zemin, akslar boyunca devam ettirilerek aradaki boşluklara güneş ışınlarının geliş açısına göre güneş panelleri yerleştirilmiş ve arka boşluklarda balık çiftliği gibi alternatif amaçlı mekânsal boşluklar bırakılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Büyük Modül Tip 1 taşıyıcı sistem detayı

Tüm modüller ve dalgakıran yapıları Superflex Duba Demirleme Sistemleri'nde olduğu gibi (İnt.Kay.19) çelik halatlar ile deniz tabanında bulunan beton bloğa bağlanarak sabitlenmiştir.

2.3.2. Yüzer dalgakıran yapısal özellikleri

Dalgakıranlar genellikle liman ve marinalarda bulunan teknelerin zarar görmemesi için tasarlanmış yapılardır. Günümüzde deniz derinliğinin fazla olduğu alanlarda alttan temelli dalgakıranların inşasında yaşanan zorluklar,

tesisat maliyetinin yüksek olması nedeniyle genellikle yüzer dalgakıranlar kullanılmaktadır (Ćatipović vd. 2019). Yüzer dalgakıranların Kutu tipi, Duba tipi, Raft/Mat tipi, Tethere tip olarak dört ana çeşidi bulunmaktadır. Kutu tipi dalgakıran içi boş betonarme veya içi polyester gibi hafif malzemelerden oluşmakta, bağlantıları esnek, tercihen dalgakıranın ekseninde ön gerilmeli veya sonradan gerilmeli olarak kullanılabilen ve uzunluğu sınırlı kalabilmektedir (Karakullukçu 2015). Bu nedenle çalışmada tüm dalgakıran yapıları kutu tipi formda düşünülmüştür.

Tüm dalgakıranların boyutları küçük, orta ve büyük modül genişliği dikkate alınarak tasarlanmıştır. Küçük Modül Tip 5; 3 m genişlik, 12.5 m uzunluk, 2 m eninde, Orta Modül Tip 1; 5 m genişlik, 26 m uzunluk, 2 m eninde, Orta Modül Tip 2; 10 m genişlik, 45 m uzunluk, 3 m eninde, Büyük Modül Tip 1; 5 m genişlik, 88 m uzunluk, 6 m eninde tasarlanmıştır. Aynı zamanda Küçük Modül Tip 5 sabit ayaklı ve diğer modüller yüzer özelliktedir.

2.3.3. Yüzer enerji modüllerinde kullanılan rüzgar ve güneş enerji teknolojileri

En verimli enerji modüllerinin oluşturulması için küçük boyutlardaki yüzer temel yapılar üzerinde, farklı rüzgar türbinleri kullanılarak tasarımlar geliştirilmiştir. Küçük modüllerde rüzgar türbin tiplerine karar verilirken nominal güç bakımından düşük enerji üretiminde dikey eksenli rüzgar türbinlerinin yatay eksenli türbinlere göre daha verimli olması durumu göz önünde bulundurulmuştur (Çizelge 6). Bu nedenle Küçük Modül Tip 1 için Darrieus Helix tipi / RT-9 firma ürünü kullanılmıştır. Diğer modüllerde ise; Küçük Modül Tip 2 de Darrieus H / RT-4 firma ürünü + Darrieus Helix / RT-9 firma ürünü; Küçük Modül Tip 3 de Darrieus + Savonius / RT-7 firma ürünü; Küçük Modül Tip 4 de Darrieus + Savonius / RT-8 firma ürünü; Küçük Modül Tip 5 de Darrieus + Savonius / RT-7 + Darrieus Helix / RT-9 firma ürünleri kullanılmıştır. Savonius tipi çok düşük watt da enerji sağladığı için tercih edilmemiştir.

Ayrıca firma ürünleri arasından Darrieus H Tipi model seçilirken de rotor ağırlığı hafif olan dikkate alınmıştır.

Orta modüllerde rüzgar enerjisinden optimum verim elde edilebilmesi için farklı güçlerdeki ürünler tercih edilmiştir. Orta Modül Tip 1 de orta ve yüksek dikey eksenli nominal güç birlikte kullanılarak, Darrieus + Savonius / RT-12 ve Darrieus + Savonius / RT-18 ürünleri tercih edilmiştir. Orta Modül Tip 2 de orta ve yüksek dikey eksenli nominal güç bakımından; Darrieus + Savonius / RT-12, Darrieus + Savonius / RT-18 ve Darrieus + Savonius / RT-19 firma

ürünleri ile yüksek yatay eksenli 3 Kanatlı / RT-23 firma ürünü tercih edilmiştir (Çizelge 6).

Büyük Modül Tip 1 de nominal güç bakımından orta ve yüksek dikey eksenli; Darrieus + Savonius / RT-12, Darrieus + Savonius / RT-18 ve Darrieus + Savonius / RT-19 firma ürünleri ile yüksek yatay eksenli olan 3 Kanatlı / RT-23 ve 3 Kanatlı / RT-24 firma ürünleri kullanılmıştır (Çizelge 6).

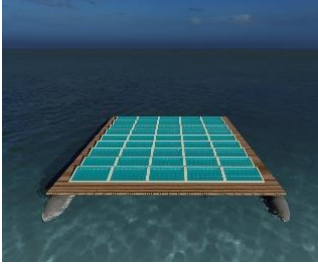
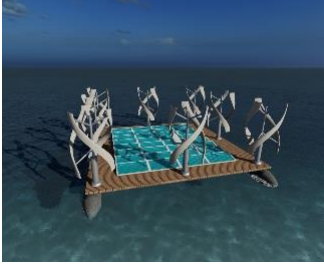

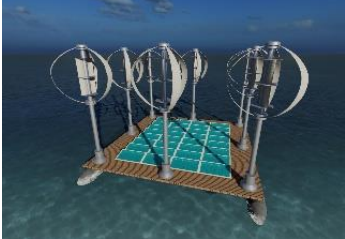
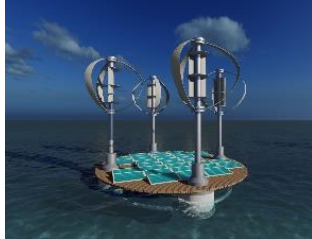
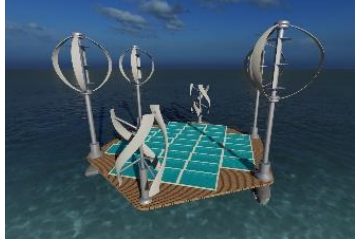
Küçük, orta ve büyük tüm modüller de PV-9 fotovoltaik panel sistemi kullanılmıştır (Çizelge 7). Geniş bir alanı kaplayacak olan PV ünitesi kurulumundan kaynaklı yetersiz güneş ışığının su altı ekosistemlerini etkilenmemesi için tüm modüllerde fotovoltaik sistemler ana taşıyıcı platforma bağlanmıştır.

3. Bulgular

3.1. Yüzer hibrit yenilenebilir enerji modülleri konsept tasarımları

Nominal güç bakımından düşük-dikey eksenli rüzgar türbininin ve PV-9 güneş panelinin kullanılmasıyla, Toplam Kurulu Güç hesaplarının yapıldığı 10x10 m² alana sahip kare, yuvarlak ve altıgen formdaki küçük enerji modülleri Çizelge 8'de gösterilmiştir. Bu enerji modülleri üzerine rüzgar türbinleri yerleştirilirken en az kanat süpürme alanı kadar mesafe bırakılmış ve rüzgar türbinine olan mesafe ile ulaşım aksları dikkate alınarak PV üniteleri yerleştirilmiştir.

Çizelge 8. 10x10 m² alana sahip küçük modüllerin toplam kurulu güç hesapları

							
		Güneş Enerji Modülü		Küçük Modül Tip 1		Küçük Modül Tip 2	
<i>Modül</i>		Güneş		Rüzgar	Güneş	Rüzgar	Güneş
<i>Tipi</i>		PV		Darrieus Helix (DH)	PV	Darrieus H DH	PV
<i>Gücü</i>		380 Wp		1.5 kW	380 Wp	1 kW 1.5 kW	380 Wp
<i>Adeti</i>		45		8	32	4 4	32
<i>Toplam Kurulu Güç</i>		17.1 kW		~24 kW		~22 kW	
							
		Küçük Modül Tip 3		Küçük Modül Tip 4		Küçük Modül Tip 5	
<i>Modül</i>		Rüzgar	Güneş	Rüzgar	Güneş	Rüzgar	Güneş
<i>Tipi</i>		Darrieus Savonius (DS)	PV	DS	PV	DS DH	PV
<i>Gücü</i>		1.5 kW	380 Wp	3 kW	380 Wp	1.5 kW 1.5 kW	380 Wp
<i>Adeti</i>		8	32	4	32	2 4	37
<i>Toplam Kurulu Güç</i>		~24 kW		~24 kW		~23 kW	

Küçük enerji modüllerinde kullanılan rüzgar türbini özelliklerine bakıldığında Darrieus Savonius rüzgar türbinleri ile elde edilen toplam kurulu güç değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir.

Ancak genel sonuç birbiri ile yakındır. Bu nedenle Orta ve Büyük Modüller için Darrieus Savonius rüzgar türbinleri

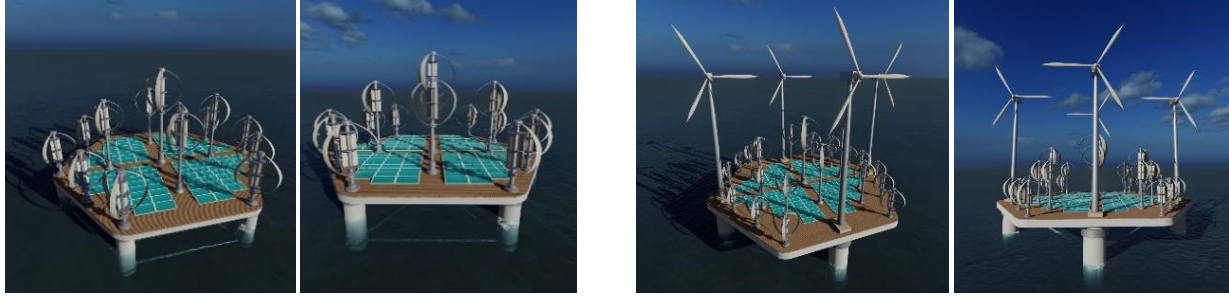
kullanılmıştır. Orta 20x20 m² ve 30x30 m² alana sahip modüller Çizelge 9'da verilmiştir. ,

Orta ve Büyük modüller için kullanılan rüzgar türbini yükseklikleri belirlenirken rüzgarın her türbine etkisi dikkate alınmış ve dıştan merkeze doğru direk boyu yükseklik artışına dikkat edilmiştir.

Türbin direk yükseklikleri 5 m (5 kW), 8 m (5 kW), 11 m (10 kW), 14 m (20 kW), 20 m (50 kW) ve 35 m (100 kW) olarak

belirlenmiştir. Büyük (60x60 m²) alana sahip modül Çizelge 10'da gösterilmiştir.

Çizelge 9. 20x20 m² ve 30x30 m² alana sahip orta modüllerin kurulu toplam güç hesapları



Orta Modül Tip 1

Orta Modül Tip 2

Modül Tipi	Rüzgar		Güneş	3 Kanatlı	Rüzgar			Güneş
	DS	DS	PV		DS	DS	DS	PV
Gücü	10 kW	5 kW	380 Wp	50 kW	20 kW	10 kW	5 kW	380 Wp
Adeti	1	14	116	4	1	4	20	192
Toplam Kurulu Güç	~124 kW				~882 kW			

Çizelge 10. 60x60 m² alana sahip büyük modül kurulu toplam güç hesapları



Büyük Modül Tip 1

Modül Tipi	Rüzgar		Rüzgar		Güneş	
	3 Kanatlı	3 Kanatlı	DS	DS	DS	PV
Gücü	100 kW	50 kW	20 kW	10 kW	5 kW	380 Wp
Adeti	7	6	8	24	28	402
Toplam Kurulu Güç	~1692.76 kW yani 1.69 MW					

3.2. Modüllerin toplam kurulu güç değerlerine bağlı olarak kıyı bölgelerine ait potansiyel hesapları

Belirlenen 3 koordinat noktasında bölgelere ait yıllık toplam enerji potansiyelini hesaplamak için aşağıdaki yöntem Küçük Modül Tip 5, Orta Modül Tip 1, Orta Modül Tip 2 ve Büyük Modül Tip 1 için uygulanmıştır. Global Wind Atlas yazılımı rüzgar ortalama güç yoğunluğu değerleri dikkate alınarak rüzgar anlık gücü denklem (1)'e, rüzgar enerjisi yıllık toplamı ise denklem (2)'ye göre hesaplanmıştır:

Rüzgar Anlık Gücü:

$$P_{\text{Güç}} = \text{Güç Yoğunluğu} \times \text{Süpürme Alanı} \quad (1)$$

(Bu denklemde süpürme alanı Çizelge 6, Çizelge 7, Çizelge 8 ve Çizelge 9'dan alınmıştır.)

Modülde Üretilen Rüzgar Enerjisi Yıllık Toplamı:

$$P_{\text{Rüzgar}} = P_{\text{Güç}} \text{ (kW)} \times 8760 \text{ (h/yıl)} \quad (2)$$

Global Solar Atlas yazılımı fotovoltaik güç çıkış değerleri dikkate alınarak güneş enerjisi denklem (3)'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır:

$$\text{Modülde Üretilen Güneş Enerjisi} = (\text{Modül Kurulu Gücü (kW)} \times [\text{Yıllık Ortalama Üretilen Güç (kWh/yıl)}] / \text{Referans Kurulu Güç (1000 kW)}) \quad (3)$$

Bu formül kullanılarak Küçük Modül Tip 5 için 1 numaralı koordinat bölgesine ait rüzgar ve güneş enerjisi bölgelere ait yıllık toplam enerji potansiyeli hesaplama yöntemi aşağıda verilmiştir:

*Darrieus Savonius rüzgar türbin tipi 6.155 m² süpürme alanına sahiptir ve enerji modülünde 2 adet kullanıldığı için 12.31 m² alanı kaplamaktadır. 12.31 m²'lik alanda, saatte 0.381 kWh/m² güç yoğunluğu (Çizelge 4) için rüzgar anlık gücü 4.69011 kWh olarak hesaplanmıştır.

Bir yılda ise (8760 saatte) bu değer 41085 kWh/yıl olarak bulunmuştur.

*Darrieus Helix tipi rüzgar türbin 5.76 m² süpürme alanına sahiptir ve enerji modülünde 4 adet kullanıldığı için 23.04 m² alanı kaplamaktadır. 23.04 m²'lik alanda, saatte 0.381 kWh/m² güç yoğunluğu (Çizelge 4) için rüzgar anlık gücü 8.77824 kWh'tür. Bir yılda ise bu değer 76897 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Verilen tüm koordinat bölgelerinde Darrieus Savonius ve Darrieus Helix tipi rüzgar türbini için rüzgar hesaplamasında bu yöntem izlenmiştir.

*Güneş enerjisi; 1000 kWp kurulu güç kapasitesi 1515000 kWh/yıl değerini verdiği göre (Çizelge 5) enerji modülünde kullanılan 14 kW toplam kurulu güç değeri 21210 kWh olarak hesaplanmıştır. Rüzgar ve güneş enerjisi yıllık toplam enerji potansiyeli toplamı 139192 kWh/yıl'dır.

Verilen tüm koordinat bölgelerinde bu hesaplama yöntemi uygulanmıştır. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar Çizelge 11, Çizelge 12, Çizelge 13, Çizelge 14'de verilmiştir.

Çizelge 11. Küçük Modül Tip 5 için bölgelere ait yıllık toplam güç potansiyeli

Küçük Modül Tip 5	Rüzgar		Güneş		Bölgelere Ait Toplam Enerji Potansiyeli (kWh/yıl)
	Rüzgar Türbini Süpürme Alanı (RTSA)		Kurulu Toplam Güç Değerleri (KTGD)		
	6.15 x 2 12.31 m ²	5.76 x 4 23.04 m ²	14 kW		
	Modülde Üretilen Rüzgar Enerjisi (MÜRE) (kWh/yıl)		Modülde Üretilen Güneş Enerjisi (MÜGE) (kWh/yıl)		
1	41085	76897	21210		139192
Kıyı Bölgeleri	2	57045	106768	19516	183329
	3	35599	66402	16450	118451

Çizelge 12. Orta Modül Tip 1 için bölgelere ait yıllık toplam güç potansiyeli

Orta Modül Tip 1	Rüzgar		Güneş		Bölgelere Ait Toplam Enerji Potansiyeli (kWh/yıl)
	RTSA		KTGD		
	12.56 x 1 12.56 m ²	4.90 x 14 68.60 m ²	44 kW		
	MÜRE (kWh/yıl)		MÜGE (kWh/yıl)		
1	41919	228956	66660		337535
Kıyı Bölgeleri	2	58203	317895	61336	437434
	3	36198	197707	47000	280905

Çizelge 13. Orta Modül Tip 2 için bölgelere ait yıllık toplam güç potansiyeli

Orta Modül Tip 2	Rüzgar			Güneş		Bölgelere Ait Toplam Enerji Potansiyeli (kWh/yıl)
	RTSA			KTGD		
	176.71 x 4 706.84 m ²	28.27 x 1 28.27 m ²	12.56 x 4 50.24 m ²	4.90 x 20 98 m ²	72 kW	
	MÜRE (kWh/yıl)			MÜGE (kWh/yıl)		
1	2359120	94352	167679	327080	109080	3057311
Kıyı Bölgeleri	2	3275524	131004	232814	454135	4193845
	3	2037141	81475	144793	282439	3391848

Çizelge 14. Büyük Modül Tip 1 için bölgelere ait yıllık toplam güç potansiyeli

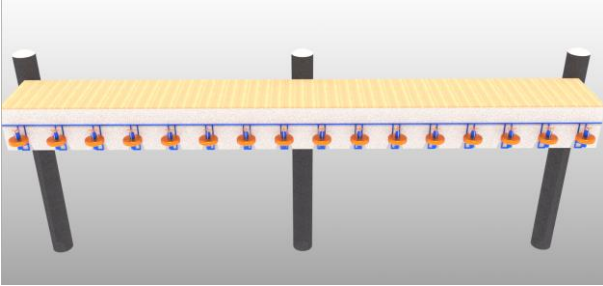
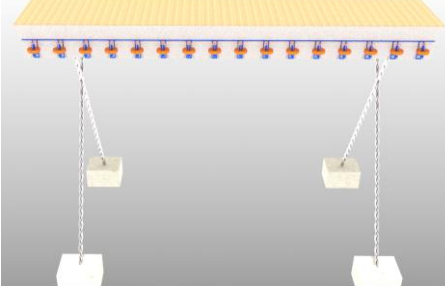
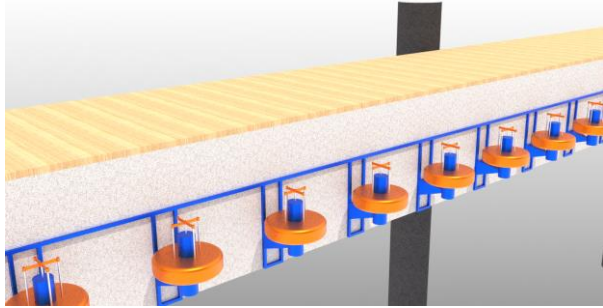
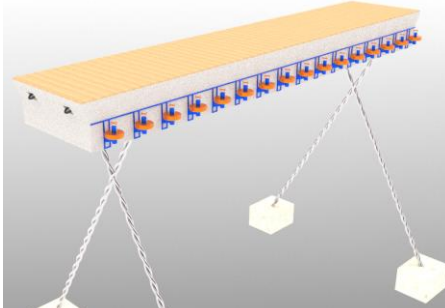
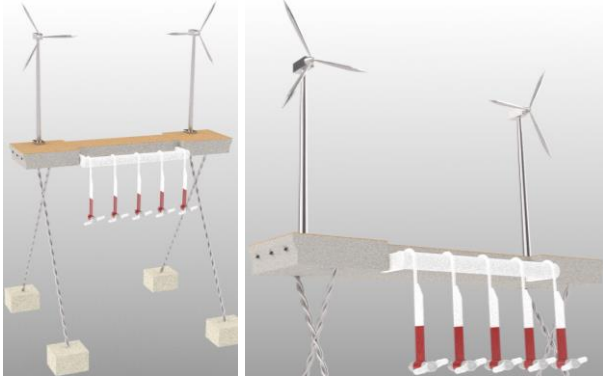
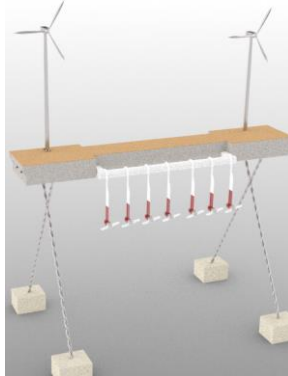
Büyük Modül Tip 1	Rüzgar				Güneş		Bölgelere Ait Toplam Enerji Potansiyeli (kWh/yıl)
	RTSA				KTGD		
	314.16 x 7 2199.12 m ²	176.71 x 6 1060.26 m ²	28.27 x 8 226.16 m ²	12.56 x 24 301.44 m ²	4.90 x 28 137.2 m ²	152 kW	
	MÜRE (kWh/yıl)				MÜGE (kWh/yıl)		
1	7339694	3538681	754822	1006074	457913	230280	13327464
Kıyı Bölgeleri	2	10190810	4913287	1048034	1396885	635790	18396694
	3	6337951	3055711	651802	868762	395415	11488241

3.4. Dalgakıran yapı tasarımları

Öneri olarak verilen dalgakıran yapı tasarımı için Küçük Modül Tip 5 ve Orta Modül Tip 1 için FDN Firması dalga enerjisi dönüştürücüsü, Orta Modül Tip 2 ve Büyük Modül

Tip 1 de Tocardo Firması T-1 Gelgit Türbinleri dip akıntısı türbini ve rüzgar türbini kullanılmıştır (Çizelge 15). Belirlenen 3 koordinat noktası için dalga ve dip akıntısı yıllık enerji potansiyeli değerleri verilmediğinden, toplam yıllık güç değeri hesaplamaya dahil edilmemiştir.

Çizelge 15. Öneri dalgakıran yapı tasarımları

Dalgakıran-Küçük Modül Tip 5		Dalgakıran-Orta Modül Tip 1	
			
			
<i>Modül</i>	Dalga Enerjisi	<i>Modül</i>	Dalga Enerjisi
<i>Tipi</i>	FDN Firması dalga enerjisi dönüştürücüsü	<i>Tipi</i>	FDN Firması dalga enerjisi dönüştürücüsü
Dalgakıran-Orta Modül Tip 2		Dalgakıran-Büyük Modül Tip 1	
			
<i>Modül</i>	Dip Akıntısı Türbini	<i>Modül</i>	Dip Akıntısı Türbini
<i>Tipi</i>	Tocado T-1 Gelgit Türbinleri	<i>Tipi</i>	Tocado T-2 Gelgit Türbinleri
	Rüzgar		Rüzgar
	3 Kanatlı		3 Kanatlı

3.5. Yüzer hibrit yenilenebilir enerji santrali toplam güç potansiyeli ve karşıladığı konut sayısı hesapları





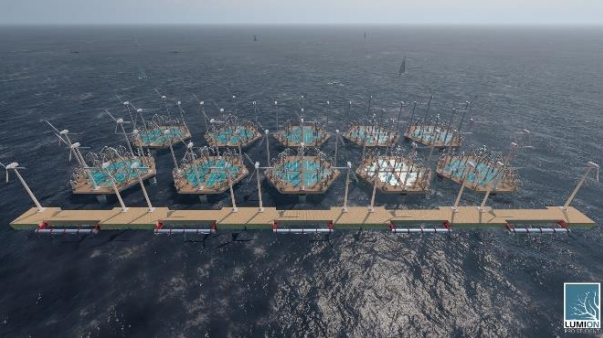


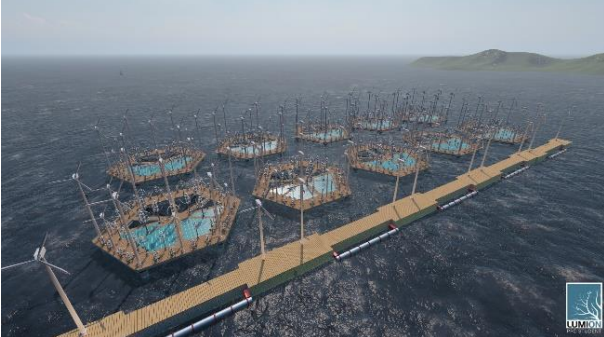
Her koordinat bölgesinde Küçük Modül Tip 5, Orta Modül Tip 1, Orta Modül Tip 2 ve Büyük Modül Tip 1'in 10'ar adet kullanılmasıyla oluşturulan santrallerin, bölgelere ait toplam güç potansiyel hesapları ve karşıladığı yaklaşık konut sayısı Çizelge 16'da verilmiştir. Bir evin günlük elektrik ihtiyacı 10 kWh (İnt.Kay.22) ise yıllık ihtiyacı 3650 kWh (3.65MWh)'dir. Toplam konut sayısı aşağıda verilen denklem (4)'e göre hesaplanmıştır:

$$\text{Toplam Konut Sayısı} = \frac{\text{Santral Toplam Güç Potansiyeli (MWh/yıl)}}{3.65(\text{MWh/yıl})} \quad (4)$$

4. Tartışma ve Sonuç

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı karbon nötr salınımın yanı sıra temiz ve sürdürülebilir enerji temini için önemli bir avantaj sağlamaktadır. Türkiye'de ve dünyada kurulu güç ağı bakımından yenilenebilir enerji santrali kurulumları karada ön plana çıkmaktadır. Ancak açık denizler ve uygun su yüzeyleri de önemli bir potansiyele sahiptir (Cesur Durmaz ve Üçgül 2023). Özellikle Türkiye'nin açık deniz rüzgar ve güneş enerji potansiyelinden yararlanılmasıyla da çevresel kirliliği azaltmak ve enerji üretimine katkı sağlamak mümkün hale gelecektir. Bu nedenle Türkiye kıyılarının yüzer yenilenebilir enerji santrali kurulumu açısından değerlendirildiği bu çalışmada, 3 koordinat noktası belirlenerek santral toplam enerji potansiyeli ve karşılayacağı konut sayısı hesaplanmıştır.

Çizelge 16. Küçük, orta ve büyük enerji modülleri ile enerji santrali tasarımı

KÜÇÜK MODÜL TİP 5				ORTA MODÜL TİP 1			
							
							
Bölgelere Ait Toplam Enerji Potansiyeli (MWh/yıl)	Adet	Santral Toplam Enerji Potansiyeli (MWh/yıl)	Toplam Konut Sayısı (Günlük)	Bölgelere Ait Toplam Enerji Potansiyeli (MWh/yıl)	Adet	Santral Toplam Enerji Potansiyeli (MWh/yıl)	Toplam Konut Sayısı (Günlük)
1	139	1390	~380	1	337	3370	~920
2	183	1830	~500	2	437	4370	~1195
3	118	1180	~320	3	280	2800	~765
ORTA MODÜL TİP 2				BÜYÜK MODÜL TİP 1			
							
							
Bölgelere Ait Toplam Enerji Potansiyeli (MWh/yıl)	Adet	Santral Toplam Enerji Potansiyeli (MWh/yıl)	Toplam Konut Sayısı (Günlük)	Bölgelere Ait Toplam Enerji Potansiyeli (MWh/yıl)	Adet	Santral Toplam Enerji Potansiyeli (MWh/yıl)	Toplam Konut Sayısı (Günlük)
1	3057	30570	~8375	1	13327	133270	~36510
2	4193	41930	~11485	2	18396	183960	~50400
3	3391	33910	~9290	3	11488	114880	~31470

Bu noktada öncelikle çalışmada, farklı enerji modül boyutlarına öneriler getirebilmek ve enerji verimliliğinin bölgelerdeki farkını gözlemleyebilmek adına 10x10 m², 20x20 m² ve 30x30 m², 60x60 m² alana sahip toplam 9 tip enerji modülü geliştirilmiştir. 10x10 m² alana sahip küçük modüller arasından altıgen yüzer temel forma sahip Tip 5'in deniz koşullarında en uygun olacağı düşünüldüğünden 20x20 m², 30x30 m² ve 60x60 m² alana sahip enerji modülleri altıgen formda tasarlanmıştır. Enerji modüllerinden farklı iklim koşullarında optimum verim sağlanabilmesi için de firmaların rüzgar ve güneş enerji sistemleri hibrit olarak kullanılmıştır.

Çalışmanın devamında Küçük Modül Tip 5, Orta Modül Tip 1, Orta Modül Tip 2 ve Büyük Modül Tip 1'in belirlenen 3 koordinat noktasına ait enerji potansiyel hesapları yapılmıştır.

Küçük Modül Tip 5 için elde edilen sonuçlar:

Nominal güç bakımından düşük enerji üretiminde dikey eksenli rüzgar türbinlerinin daha verimli olmasından dolayı (Keleş Çetin vd. 2019) Darrieus + Savonius ve Darrieus Helix rüzgar türbin tipleri kullanılmıştır. Fotovoltaik panel sistemi olarak PV-9 firma ürünü tercih edilmiştir. 10x10 m² alana sahip küçük modülün 3 koordinat bölgesinde 10 adet kullanılmasıyla oluşturulan santral tasarımında Ege bölgesinin en yüksek (1830 MWh/yıl), Akdeniz bölgesinin ikinci (1390 MWh/yıl) ve Karadeniz'in en düşük (1180 MWh/yıl) potansiyele sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Orta Modül Tip 1 için elde edilen sonuçlar:

20x20 m² alana sahip Orta Modül Tip 1 de Darrieus + Savonius rüzgar türbin tipleri ve PV-9 güneş paneli sistemi kullanılmıştır. Enerji santrali tasarımında Ege bölgesinin en yüksek (4370 MWh/yıl), Akdeniz bölgesinin ikinci (3370 MWh/yıl) ve Karadeniz'in en düşük (2800 MWh/yıl) potansiyele sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Orta Modül Tip 2 için elde edilen sonuçlar:

30x30 m² alana sahip Orta Modül Tip 2 de orta ve yüksek nominal güç birlikte kullanılarak Darrieus + Savonius türbin tipleri ile 3 Kanatlı türbin tercih edilmiştir. Aynı zamanda PV-9 güneş paneli kullanılmıştır. Enerji santrali tasarımında Ege bölgesinin en yüksek (41930 MWh/yıl), Karadeniz bölgesinin ikinci (33910 MWh/yıl) ve Akdeniz'in en düşük (30570 MWh/yıl) potansiyele sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Büyük Modül Tip 1 için elde edilen sonuçlar:

60x60 m² alana sahip Büyük Modül Tip 1 de Darrieus + Savonius ve 3 Kanatlı rüzgar türbin tipleri kullanılarak PV-9 güneş paneli tercih edilmiştir. Enerji santrali tasarımında Ege bölgesinin en yüksek (183960 MWh/yıl), Akdeniz

bölgesinin ikinci (133270 MWh/yıl) ve Karadeniz'in en düşük (114880 MWh/yıl) potansiyele sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Aynı zamanda çalışmada, enerji modüllerinin deniz koşullarından olumsuz etkilenmemesi ve yüksek dalga boyundan korunabilmesi için dalga veya dip akıntısının da dahil edilerek enerji üretebilen dalgakıran yapıları tasarlanmıştır. Ancak dalgakıran yapılarından üretilecek enerji hesaplara dahil edilmemiştir. Çalışmada taşıyıcı ya da diğer elemanların kendilerine gelen yükler altında davranışları araştırma konusu dışındadır. Bundan dolayı, yüzer yapılar olarak kurulan yenilenebilir enerji sistem elemanlarının davranışlarına değinilmemiş sadece yüzer yapı elemanı malzemelerinden kısaca bahsedilmiştir. İlave olarak, çalışmada kullanılan değişken rüzgar türbini direk yüksekliği kullanımı da göz önünde bulundurulduğunda, güneş panelleri üzerinde sabah ve akşam saatlerinde oluşacak gölgeleme etkisi ihmal edilmiştir.

Sonuç olarak ortam koşullarına göre kıyıda ve açık denizde planlanabilecek yüzer yenilenebilir enerji sistemleri ile verimli ve sürdürülebilir enerji üretimine katkı sağlamak mümkündür (Cesur Durmaz ve Üçgöl 2023). Bu sayede Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2019-2023 Stratejik Planı'nda geçen Amaç 1 "Türkiye'nin sürdürülebilir enerji arz güvenliğini oluşturulması" ve Hedef 1.1'in "Yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik kurulu gücünün toplam kurulu güce oranının % 59'dan % 65 seviyesine yükseltilmesinin" de sağlanması mümkün hale gelecektir (İnt.Kay.3). Çevresel etkiler de göz önünde bulundurulduğunda arazi kaybının ve ormansızlaşmanın önüne geçilmesi (Bulut 2018, Dünya Bankası Grubu vd. 2019), toprak kirliliğinin ve erozyonun engellenmesi, kuş göç yolu ve ortamda bulunan faunanın etkilenmemesi, ekolojik tahribatın azaltılması (Ferrer Gisbert vd. 2013), fotovoltaik sistemler için gerekli olan ortam sıcaklığı nispeten daha düşük olduğu için enerji üretim verimliliğinin artması (Ferrer Gisbert vd. 2013, Bulut vd. 2018) gibi avantajlar da elde edilebilecektir. Çalışmanın bu noktada, ada kentleri veya yenilenebilir enerji kara kurulumları açısından uygun koşullara sahip olmayan kıyı yerleşimleri için katkı sağlayacağı ortadadır. Ayrıca hidroelektrik santrali baraj gölleri gibi kurulum imkanı kolay, geniş ve durgun su yüzeylerinde de gelişme göstereceği düşünülmektedir.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Fikrin oluşturulması, Metodoloji, Araştırma, Kavramsallaştırma, Proje tasarımı, Görselleştirme, Yazma/orijinal taslak, Yazma/inceleme ve düzenleme, Analiz ve yorumlama

Yazar 2: Fikrin oluşturulması, Metodoloji, Kavramsallaştırma, Proje tasarımı, Denetleme/danışmanlık, Yazma/inceleme, Analiz ve yorumlama

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

5. Kaynaklar

Bulut, M., Kaplanoğlu, İ. ve Geylani, V., 2018. *Dünyada hidro yüzer GES projelerinin gelişimi ve Türkiye'deki potansiyeli*. Güç Sistemleri Konferansı. Ankara, Türkiye, 13-18.

Ćatipović, I., Ćorak, M., Alujević, N. and Parunov, J., 2019. Dynamic analysis of an array of connected floating breakwaters. *Journal of Marine Science and Engineering*, **7(9)**, 298. <https://doi.org/10.3390/jmse7090298>

Cesur Durmaz, B., 2023. Sürdürülebilir yüzer kent park modeli: Fethiye örneği (Doktora Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 317.

Cesur Durmaz, B. ve Üçgül, İ., 2023. Evaluation of floating renewable energy potential for sustainable energy in Türkiye. *Journal of the Institute of Science and Technology*, **13(2)**, 1085-1100. <https://doi.org/10.21597/jist.1089488>

Cottura, L., Caradonna, R., Ghigo, A., Novo, R., Bracco, G. and Mattiazzo, G., 2021. Dynamic modeling of an offshore floating wind turbine for application in the Mediterranean Sea. *Energies*, **14**, 248. <https://doi.org/10.3390/en14010248>

Dal, A.R., 2021. Investigation of the potential of using lakes and dams as solar power plants: the case of Yamula Dam. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, **9(4)**, 726-738. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1002791>

Daş, M., Balpetek, N., Kavak Akpınar, E. ve Akpınar, S., 2019. Türkiye'de bulunan farklı illerin rüzgar enerjisi potansiyelinin incelenmesi ve sonuçların destek vektör makinesi regresyon ile tahminsel modelinin oluşturulması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **34(4)**, 2203-2214. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.432590>

Ding, S., Yan, S., Han, D. And Ma, Q., 2015. *Overview on hybrid wind-wave energy systems*. International Conference on Applied Science and Engineering Innovation (ASEI). Jinan, China, 502-507.

Dünya Bankası Grubu, ESMAP ve SERIS, 2019. Güneşin su ile bulunduğu yer: Yüzen güneş piyasası raporu. Washington, ABD, DC: Dünya Bankası, 132.

Elibüyük, U. ve Üçgül, İ., 2014. Rüzgar türbinleri, çeşitleri ve rüzgar enerjisi depolama yöntemleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi YEKARUM e-DERGİ*, **2(3)**, 1-14.

ESMAP, 2019. Going global: expanding offshore wind to emerging markets. Washington, DC: World Bank.

Ferrer Gisbert, C., Ferrán Gozálviz, J.J., Redón Santafé, M., Ferrer Gisbert, P. Sánchez Romero, F.J. and Torregrosa Soler, J.B., 2013. A new photovoltaic floating cover system for water reservoirs. *Renewable Energy*, **60**, 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.04.007>

Gökmener, S., Çiçek, D., Oğuz, E., Haspolat, E., Melek, A. ve Deveci, M., 2023. *Yüzer güneş enerjisi santralleri için uygun yer seçiminde kullanılan kriterler*. 10. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu. İzmir, Türkiye, 331-343.

Hanssen, J.E., Margheritini, L., O'Sullivan, K., Mayorga, P., Martinez, I., Arriaga, A., Agos, I., Steynor, J., Ingram, D., Hezari, R. and Todalschau, J.H., 2015. *Design and performance validation of a hybrid offshore renewable energy platform*. In Proceedings of the 2015 Tenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), Monte Carlo, Monaco. <https://doi.org/10.1109/EVER.2015.7113017>

Husain, A.F., Hasan, W.Z.W., Shafie, S., Hamidon, M.N. and Pandey, S.S., 2018. A review of transparent solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **94**, 779-791. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.031>

International Renewable Energy Agency (IRENA), 2021. Renewable Energy Statistics Report.

Jackson, D. and Persoons, T., 2012. *Feasibility study and cost-benefit analysis of tidal energy: A case study for Ireland*. Proceedings of the 4th International Conference on Ocean Energy (ICOE). Dublin, Ireland, 1-5.

Karakaya, E., 2016. Paris iklim anlaşması: İçeriği ve Türkiye üzerine bir değerlendirme. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, **3(1)**, 1-12. <https://doi.org/10.30803/adusobed.188842>

Karakullukçu, R., 2015. Yüzen dalgakıran tasarımlarının taş dolgu dalgakıranlarla karşılaştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 194.

Keleş Çetin, S., Genç, M.S. ve Daldaban, F., 2019. Dikey eksenli rüzar türbinleri-küçük ölçekli uygulamalar. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **6(2)**, 539-551. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.643828>

Lee, A.H.I., Lin, C.Y., Kang, H.Y. and Lee W.H., 2012. An integrated performance evaluation model for the photovoltaics industry. *Energies*, **5**, 1271-1291. <https://doi.org/10.3390/en5041271>

Mazarakos, T.P., Mavrakos, S.A. and Soukissian, T.H., 2020. *Energy yield of a floating hybrid mooring wind turbine system in the aegean sea*. Fifteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER). Grimaldi Forum, Monaco 1-11.

Özgür, E., 2018. Türkiye’de güneş enerjisi. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Türkiye’nin Enerji Görünümü 2020, 12.Bölüm, Oda Raporları, Ankara.

Penna, A.N., 2020. A history of energy flows from human labor to renewable power. Routledge Studies in Energy Transitions, Taylor & Francis Ltd., 286.

Perera, H.D.M.R., 2020. Designing of 3mw floating photovoltaic power system and its benefits over other pv Technologies. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering (ijasre)*, **6(4)**, 37–48.
<https://doi.org/10.31695/IJASRE.2020.33782>

Rajpar, A.H., Ali, I., Eladwi, A.E. and Bashir, M.B.A., 2021. Recent development in the design of wind deflectors for vertical axis wind turbine: A review. *Energies*, **14**, 5140.
<https://doi.org/10.3390/en14165140>

Solomin, E., Sirotkin, E., Cuce, E., Selvanathan, S.P. and Kumarasamy, S., 2021. Hybrid floating solar plant designs: A review. *Energies*, **14(10)**, 25.
<https://doi.org/10.3390/en14102751>

Tortumluoğlu, M.İ. ve Doğan, M., 2021. Açık deniz rüzgar türbinleri için uygun yer seçim kriterlerinin irdelenmesi ve kuzey ege kıyılarına uygulanması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **23(67)**, 25-42.
<https://doi.org/10.21205/deufmd.2021236703>

Uyan, M., 2017. Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **23(4)**, 343-351.
<https://doi.org/10.5505/pajes.2016.59489>

Üçgül, İ. ve Elibüyük, U., 2016a. Yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji jeopolitiği. *Anka E-Dergi*, **2(1)**, 26-33.

Üçgül, İ. ve Elibüyük, U., 2016b. Yenilenebilir ve alternatif enerji çeşitleri. Çevre ve Enerji. Yrd. Doç. Dr. Aysel Aydın Kocaeren (Editör), Nobel Akademik Yayıncılık, 222-307.

Qu, X., Yao, Y. and Du, J., 2021. Conceptual design and hydrodynamic performance of a modular hybrid floating foundation. *Energies*, **14**, 7605.
<https://doi.org/10.3390/en14227605>

İnternet kaynakları

- 1- Blue Deal,
<https://bluedealmed.eu/> (10.01.2022)
- 2- Elektrik Port,
<https://www.elektrikport.com/haber-roportaj/ruzgar-turbinlerinin-cesitleri-ve-birbirleriyle-karsilastirilmesi/8178#ad-image-0> (05.02.2022)
- 3- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,
https://sp.enerji.gov.tr/ETKB_2019_2023_Stratejik_Plan.pdf (20.11.2022)
- 4- EnerOCEAN,
<https://enerocean.com/w2power/> (05.01.2022)
- 5- FDN,
<https://www.fdnngroup.nl/energy-converter> (15.01.2022)
- 6- Floating Power Plant,
<https://www.floatingpowerplant.com/> (05.01.2022)
- 7- Global Solar Atlas,
<https://globalsolaratlas.info/map> (21.09.2022)
- 8- Global Wind Atlas,
<https://globalwindatlas.info/> (20.09.2022)
- 9- InSPIRE,
<https://www.inspireoffshoreenergy.com/> (05.01.2022)
- 10- KPMG,
<https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/tr/pdf/2020/03/sektorel-bakis-2020-enerji.pdf> (07.04.2021)
- 11- Matrix Pontoons,
<https://www.matrixpontoons.co.uk/new-gallery> (05.02.2022)
- 12- Michaelis, D. and Michaelis, A., 2008. Energy Island Design. E-Architect.
<https://www.e-architect.com/energy-island> (10.01.2022)
- 13- MGM,
<https://mgm.gov.tr/kurumici/turkiye-guneslenme-suresi.aspx> (20.09.2022)
- 14- Nordmann, T., 2014. Photovoltaics and the lacustrine landscape large scale photovoltaik hydro electric on water. 29th European PV Solar Energy Conference & Exhibition – EUPVSEC. Amsterdam, Netherlands.
https://www.tnc.ch/wp-content/uploads/2017/10/nordmann_eupvsec_2014_landscape.pdf (10.01.2022)
- 15- Ocean Power Technologies,

- <https://oceanpowertechnologies.com/pb3-powerbuoy/> (05.01.2022)
- 16- Pelagic Power,
<http://www.pelagicpower.no/about.html>
(10.01.2022)
- 17- Sinn Power,
<https://www.sinnpower.com/platform>
(10.01.2022)
- 18- Snieckus, D.,
<https://www.rechargenews.com/transition/acciona-leads-plan-to-build-worlds-first-floating-wind-and-solar-hydrogen-complex/2-1-946028>
(08.02.2022)
- 19- Superflex Duba Demirleme Sistemleri,
<https://www.nauticexpo.com/prod/superflex-pontoon-mooring-systems/product-30285-362176.html> (05.02.2022)
- 20- Temiz Enerji,
<https://temizenerji.org/2023/06/23/turkiyede-yuzer-temelli-deniz-ustu-ruzgar-enerjisi-icin-ar-gelme-calismalari-devam-ediyor/> (20.11.2023)
- 21- Temiz Yaratici Teknolojiler,
<https://tr.tyt.com.tr/floating-solar-hydrosolar>
(20.11.2023)
- 22- TURECO,
<https://tureco.com.tr/blog/gunes-panelleri-elektrik-uretimi> (10.02.2022).
- 23- Verdant Power,
<https://www.verdantpower.com/> (20.01.2022)
- 24- Yde, A., Pedersen, M.M., Bellew, S.B., Køhler, A., Clausen, R.S. and Wedel, Nielsen A. Experimental and theoretical analysis of a combined floating wave and wind energy conversion platform,
https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/90445334/Experimental_and_Theoretical_Analysis.pdf (05.02.2020).
- 25- Wave Star Energy,
<http://wavestarenergy.com/projects> (10.01.2022)
- 26- World Energy Council,
<https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-scenarios-composing-energy-futures-to-2050> (05.01.2022)
- 27- Aeolos (RT-4),
<https://www.energy-xprt.com/companies/aeolos-wind-energy-ltd-78584/> (06.01.2022)
- 28- Desert Power (RT-15),
<https://www.desertpowerinc.com/index.html>
(09.01.2022)
- 29- Eastern Wind Power (RT-20),
<https://easternwindpower.us/> (10.01.2022)
- 30- Eleksan (RT-3; RT-21),
<http://eleksan.com/?p=home> (05.01.2022)
- 31- FairWind (RT-14),
<https://www.energy-xprt.com/products/fairwind-model-f100-10-vertical-axis-wind-turbine-385398>
(09.01.2022)
- 32- Halbes (RT-23; RT-24),
<https://www.halbes.com.tr/> (11.01.2022).
- 33- Hi-Vawt (RT-7; RT-8),
<http://www.hi-vawt.com.tw/en/welcome.html>
(07.01.2022).
- 34- Muce Vawt (RT-22),
<http://www.vawtmuce.com/> (11.01.2022)
- 35- PoverSolar (RT-5; RT-6),
<https://powersolar.com.tr/> (06.01.2022)
- 36- Senwei Energy Technology (RT-12; RT-16; RT-18; RT-19),
<https://www.windpowercn.com/> (08.01.2022)
- 37- V-Air (RT-9; RT-13),
<http://www.visionairwind.com> (09.01.2022)
- 38- Venger Wind (RT-11),
<https://verticalwindturbineinfo.com/vawt-manufacturers/venger-wind-vertical-axis-wind-turbines/> (08.01.2022)
- 39- Wind-er (RT-2),
<https://www.wind-er.com/tr/hometr/> (05.01.2022)
- 40- Windside (RT-17),
<https://windside.com/> (10.01.2022)
- 41- Windspire Energy (RT-1; RT-10),
<https://www.windspireenergy.com/index.html>
(05.01.2022)
- 42- Anchor by Panasonic (PV-9),
<https://lstr.panasonic.com/tr/urunler/detay/395w-mono-perc-solar-module-2684/> (12.01.2022)
- 43- Axitec Energy (PV-1; PV-2),
<https://www.axitecsolar.com/> (12.01.2022)
- 44- CW-Enerji (PV-3; PV-4),
<https://cw-enerji.com/tr/index.html> (12.01.2022)
- 45- GTC Photovoltaic Solor System (PV-5),
<http://gtctrade.com/tr/> (11.01.2022)
- 46- LSIS-Floating Photovoltaic System (PV-7),
http://www.lselectric.com/edm/2016/1128/1611_electric_Floating%20Photovoltaic%20System.pdf (12.01.2022)
- 47- Schmid Pekintaş (PV-6),

<https://www.schmid-pekintas.com/index.html>
(12.01.2022)

48-Sungold Solar (PV-8),
<https://www.sungoldsolar.com/> (12.01.2022)