

# DENİZ ÜSTÜ YÜZER RÜZGAR TÜRBİNLERİ İÇİN YÜZER PLATFORM TİPİ VE DENİZ TABANI ANKRAJ SİSTEMİ SEÇİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Yiğit Can Ceylan<sup>1</sup>, Pınar Sezin Öztürk Kardoğan<sup>1,2</sup>, Ayşenur Gökdağ<sup>1</sup>,  
Nejan Huvaj<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Orta Doğu Teknik Üniversitesi, <sup>2</sup>Gazi Üniversitesi  
<sup>1</sup>yigit.ceylan@metu.edu.tr, ozturkse@metu.edu.tr, aysenur.gokdag@metu.edu.tr,  
nejan@metu.edu.tr

## ÖZET

Türkiye denizlerinde, açık deniz rüzgâr türbinleri için yüzer sistemlerin tercih edildiği 50 m'den daha derin sularda deniz üstü rüzgâr enerjisi potansiyeli, yapılan araştırmalarda ortaya konmuştur (örn. Dünya Bankası Raporu, 2019 ve Caceoğlu ve diğ., 2022). Bu çalışmada deniz üstü yüzer rüzgâr türbinleri için yüzer platform tipleri hakkında bilgi ve deniz tabanı ankraj sistemi seçimini etkileyen faktörler özetlenmiştir. Bu amaçla, yüzer platform tipleri hakkında genel bilgi, dünyada mevcut/planlanan deniz üstü yüzer rüzgâr çiftliklerinde kullanılan platform tipleri, ve deniz tabanı ankraj tipleri hakkında bilgi derlenmiş, ve deniz tabanı ankraj sistemi seçimini etkileyen faktörler ortaya konmuştur.

## 1. GİRİŞ

Dünyada hızlı nüfus artışı ve buna bağlı olarak enerji talebindeki artış, yenilenemeyen enerji kaynaklarının tüketiminin artmasına neden olmuştur. Ayrıca, fosil yakıtlar, iklim değişikliğine yol açan sera gazı emisyonlarına başlıca katkı yapan faktörlerden biridir. Enerji sistemlerini fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına (rüzgâr ve güneş enerjisi gibi) geçirmek emisyonları azaltacaktır. Bu nedenle birçok ülke “net sıfır emisyon” hedefini koymuş ve Birleşmiş Milletler (UN) de Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinden birini “Hedef 7: Uygun Fiyatlı ve Temiz Enerji” olarak belirlemiş ve 2030 yılına kadar yenilenebilir enerjinin toplam küresel enerji üretimindeki payını artırmayı amaçlamıştır.

Açık denizlerdeki daha güçlü ve daha istikrarlı rüzgâr kaynağı, açık deniz rüzgâr enerjisinin önemli bir alternatif haline getirmiştir. Karadaki rüzgar enerjisi altyapısının inşası ve bakımı/sürdürülmesi daha ucuz ve nispeten daha kolayken, deniz üstü yüzer rüzgar enerjisinin sürdürülebilir bir yatırım olarak görülmeye başlanmasının bazı önemli nedenleri şu şekilde özetlenebilir: (i) Deniz üstü yüzer rüzgar enerjisinin bir avantajı, denizler üzerindeki yıllık ortalama rüzgar hızının genellikle karadakilere göre daha yüksek ve daha tutarlı olmasıdır, bu da deniz üstü yüzer rüzgar türbinlerinin karadaki rüzgar türbinlerinden daha verimli bir enerji kaynağı olabileceği anlamına gelir. Ayrıca deniz üzerinde herhangi bir topoğrafik engel olmadığı için rüzgâr karaya göre daha az türbülanslı olup, bu durum da türbin jeneratörü üzerindeki yorulma etkilerinin daha az olması ve dolayısıyla türbinlerin ömrünün daha uzun olmasına katkı sağlar. (ii) Bir diğer avantaj, karadaki rüzgâr türbinlerine kıyasla deniz üstü rüzgâr türbin çiftlikleri için uygun yer seçiminden ileri gelmektedir. Denizde (belirli kısıtlar ve kullanılamaz alanlar bulunmakla birlikte) arazi kullanımı açısından daha fazla kullanılmaya açık boş alan olduğundan, açık deniz rüzgâr santralleri daha çok yönlü ve ölçeklenebilir olabilmektedir. Bu da, daha yüksek kapasiteli rüzgar çiftliklerinin inşa edilebileceği anlamına gelir. Türbin komponentlerinin karayolu ile taşınma kısıtlamalarının olmayışı ile birlikte, rüzgâr türbini jeneratörlerinin kapasitesi karadaki jeneratörlerden daha büyük olabilir ve bu şekilde

türbin başına daha fazla enerji üretimi elde edilebilir. Ayrıca rüzgâr türbinleri kıyıdan ve yerleşim yerlerinden uzağa yerleştirildiğinden olası görsel rahatsızlık, gürültü ve titreşimin etkileri önemli ölçüde azalmaktadır. Önceki çalışmalar (örn. Dünya Bankası Raporu, 2019 ve Caceoğlu ve diğ., 2022), Türkiye denizlerinde, özellikle yüzer açık deniz rüzgâr türbinlerinin tercih edildiği 50 m'den daha derin sularda deniz üstü rüzgâr enerjisi potansiyelini vurgulamıştır.

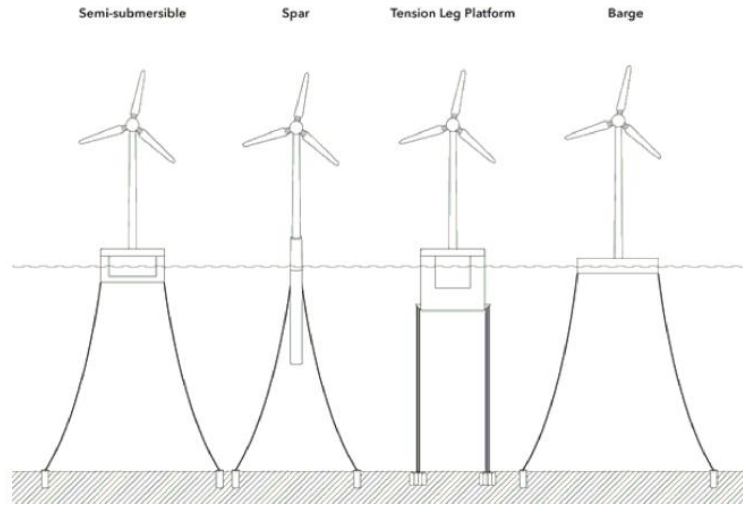
### 1.1. Türkiye'nin Deniz Üstü Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

Türkiye, üç tarafı denizlerle çevrili olması ve uzun kıyı şeridine sahip olması nedeniyle deniz üstü rüzgâr enerjisi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Dünya Bankası verilerine göre Türkiye'nin deniz üstü Rüzgâr Enerjisi Santralleri (RES) teknik potansiyeli 75 GW olarak tespit edilmiştir (Dünya Bankası Raporu, 2019). Bunun 12 GW'ı deniz tabanına sabit temeli olan türbinlerin oluşturacağı RES'lerden oluşurken, 63 GW'ının yüzer RES'ler ile sağlanacağı öngörülmüştür. Bunu desteleyecek bir bilgi olarak Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği'nin 2020 yılında yayımladığı bir rapora göre (URL1), Türkiye'nin toplam deniz üstü rüzgâr enerjisi potansiyeli yaklaşık 70 GW olarak öngörülmektedir.

Türkiye'de deniz üstü rüzgâr enerji sistemlerinin kurulması için yer seçimi ile ilgili araştırmalar son yıllarda giderek artmıştır. Örneğin, Caceoğlu ve diğ. (2022), Türkiye'nin kuzeybatısında açık deniz rüzgâr enerjisi santrali yeri seçimi için, çoklu kriter karar verme süreçlerinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile, 17'den fazla yer seçimi kriterini Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) tabanlı bir çalışmada kullanarak kapsamlı bir değerlendirme sunmuştur. Çalışmada AHP yöntemi için gereken yer seçimi kriterlerinin birbirine kıyasla göreceli ağırlık faktörlerinin belirlenmesinde ulusal ve uluslararası uzmanlara anket uygulanmış; uygun olabileceği belirlenmiş alternatif alanların tercih/öncelik sıralanması için senaryolar ve fikir birliği analizi kullanılmış; Türkiye'de hem deprem fay hatlarına uzaklık hem de beklenen en yüksek yer ivmesi değerlerinin bir kombinasyonu olarak deprem tehlikesi yer seçimi kriterlerine dahil edilmiş; ve Türkiye için uygun yer seçiminde 50 m'den daha derin sular da göz önünde bulundurulmuştur.

Caceoğlu ve diğ. (2022) çalışmasında sunulan literatür incelemesi, deniz üstü rüzgâr enerjisi için 100 m yükseklikte minimum 6.5 m/s yıllık ortalama rüzgâr hızının enerji üretimi açısından kabul edilebilir bir değer olduğunu ortaya koymaktadır. Açık deniz yüzer rüzgâr santrallerinin kurulmasına izin verilmeyen bölgeler dışlama kriteri olarak tanımlanmış, bu kriterler içinde Türkiye karasularının sınırları, askeri alanlar, batık gemi enkaz bölgeleri, sivil havacılık açısından yaklaşıma izin verilmeyen alanlar, mevcut deniz altı boru hatları/kabloları ve açık deniz doğal gaz/petrol kuyuları gibi kriterler kullanılmıştır (Caceoğlu ve diğ. 2022). Şekil 1'de "tampon bölgeler ve kısıtlı alanlar" olarak tanımlanan alanlar gösterilmiştir. Uygun yer seçimi için kullanılan kriterler: *100 m yükseklikte yıllık ortalama açık deniz rüzgâr hızı, denizde insan faaliyetleri (ticari balıkçılık ve gemi trafiği rotalarına uzaklık), mevcut büyük limanlara uzaklık, sosyal kabul (görsel etki ve turizm alanları), su derinliği, çevresel etkiler (kuş göç yollarına uzaklık ve çevresel koruma alanlarına ve önemli biyolojik çeşitlilik alanlarına olan mesafe, deprem tehlikesi, elektrik şebekesi bağlantısı)*'dir. Caceoğlu ve diğ. (2022) çalışması sonucunda kuzeybatı Türkiye için elde edilen, sekiz alternatif bölge Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu şekil, yıllık ortalama rüzgâr hızı 100 m yükseklikte >6.5 m/s ve su derinliğinin (0–100 m) olduğu uygun sahaları sunmaktadır. Şekil 1'de Kıyıköy, İstanbul, Silivri, Bandırma, Karabiga, Bozcaada, Gökçeada ve Enez uygun alanlar olarak belirlenmiştir. Bu sahalardan İstanbul (havaalanı kalkış ve iniş sırasındaki türbülans etkisinin olumsuz yönde olması nedeniyle), Silivri (hâkim rüzgâr yönü karadan denize doğru olması nedeniyle), ve Enez (bölgenin komşu ülkelerin karasu sınırlarına oldukça yakın olması, bunun problem yaratabilme ihtimalinin olması ve civardaki çevre koruma alanlarına yakınlık nedenleriyle) elenmiştir. Yapılan senaryo

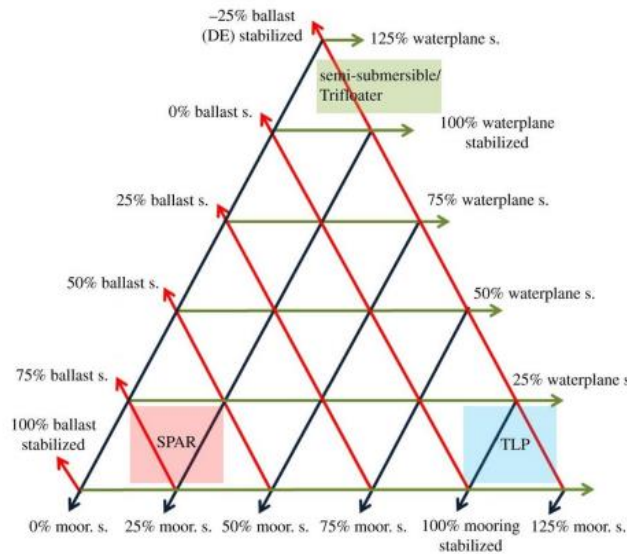




Şekil 2. Yüzer rüzgar türbinlerinde kullanılan yüzer platform tipleri (DNV, 2021)

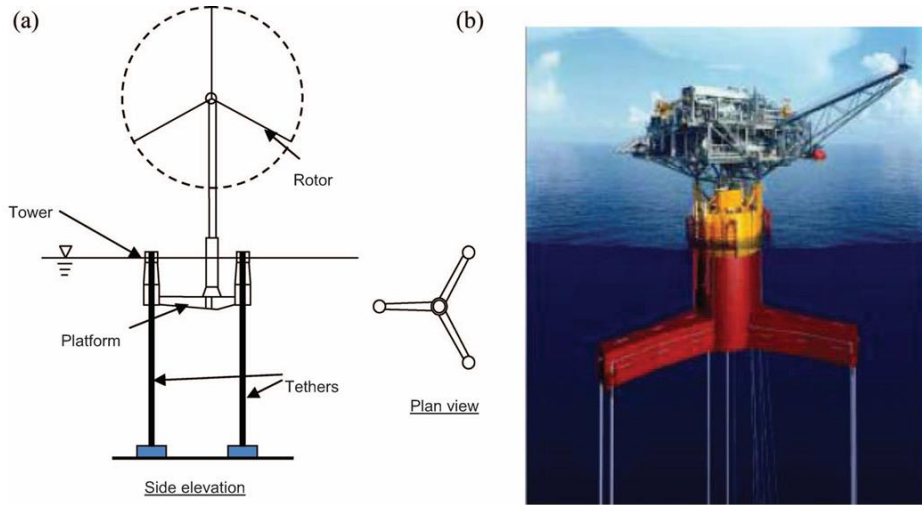
Ayrıca, statik stabilite gereksinimlerini karşılamak için kullanılan ana mekanizmaya göre, yüzer destek yapıları birkaç kategoriye ayrılabilir (Şekil 3).

- Balast ile stabilize edilmiş
- Su düzlemi ile stabilize edilmiş (yüzdürme)
- Demirleme ile stabilize



Şekil 3. Yüzer Yapılar İçin Stabilite Üçgeni (Borg ve Collu, 2015a)

Diğer sistemlerle karşılaştırıldığında, germe ayaklı platform (TLP sistemi), dikey ve dönme kısıtlaması gerektiren açık deniz yapıları için kullanılır. Germe ayaklı platform, Şekil 4a'da gösterildiği gibi rüzgar türbinini taşımak için yüzer bir platform yapısı içerir. Açık deniz petrol ve gaz endüstrisinde, geleneksel germe ayaklı platform, üst güvertenin dayandığı kolonları olan kare bir mavnadan oluşur. Bu geleneksel gövde formunun daha küçük bir versiyonu, TLP tipi yüzer rüzgar türbini tarafından benimsenen mini-TLP'dir (Şekil 4b). Suda monte edilmesi gereken spar tipi platformdan farklı olarak, bu TLP rüzgar türbini karada monte edilip devreye alınabilir, böylece açık denizde montajın lojistik zorluklarından kaçınılır.



**Şekil 4.** a) Germe Ayaklı Platform (TLP Tipi) Yüzer Rüzgar Türbini (Suzuki, et.al. 2009), b) Açık Deniz Petrol ve Gaz mini-TLP

Germe ayaklı platform yüzer rüzgar türbini, spar-şamandıra/duba tipi (spar-buoy), yarı-batık platform tipi (semi-submersible) veya mavna tipi (barge) ile karşılaştırıldığında dalgalara karşı nispeten daha az dinamik bir tepkiye sahiptir. Yine de, platform denge konumundan sapma halinde çekişte bir artışa sebebiyet veren, "çekme" olarak bilinen bir fenomene tabidir (Wang ve diğ., 2010).

Spar platformu, yüksek kaldırma performansı sağlayabilen büyük bir 'draft'a sahip, yerçekimi ile stabilize edilmiş bir yapıdır. Sınırlı su düzlemi alanı nedeniyle artan yalpalama ve yunuslama hareketlerine (pitch and roll movements) de dikkat edilmelidir (Han ve diğ., 2022) (Şekil 5a).

Yarı-batık platform (Semisubmersible) uzun süredir petrol ve gaz temelleri için kullanılan, iyi bilinen ve basit bir bağlantı sistemi kullanır (Şekil 5b). Endüstrinin bu konudaki deneyiminden ve yapının mobilitesinden dolayı karadaki limanlar ile açık denizdeki sahalar arasında kolayca taşınabilmektedir (Måge ve diğ., 2022). Bu tasarım, rüzgâr türbinine stabilite sağlar ve nispeten sığ draфта sahip olması, saha esnekliği sağlar. Yarı-batık platformlu yüzer rüzgâr türbini, demirleme halatlarıyla yerinde tutulur. Daha düşük demirleme kurulum maliyetine sahiptir. Bu tip yüzen rüzgâr türbini karada inşa edilebilir. Yarı-batık platform tipi, Şekil 5b'de gösterildiği gibi, tabanlarında patentli yatay su tutma kaldırma plakalarına sahip üç sütunlu tüplerden oluşur.



(a)



(b)

**Şekil 5.** a) Spar-duba Tipi Yüzer Rüzgar Türbini (Utsunomiya ve diğ., 2010), b) Yarı-batık (Semi-submersible) Platform Tipi Yüzer Rüzgar Türbini

Diğer bir platform yapısı olan mavna tipi (barge type), bir grup rüzgar türbinini taşımak için bir duba yapısına sahiptir. Büyük mavna yapısı, dağıtılmış yüzdürme yoluyla ve düzeltme momenti için ağırlıklı su düzlemi alanından yararlanarak stabilite sağlar. Geleneksel katener (catenary) ankraj zincirleri, mavna tipini demirleyebilmektedir. Bununla birlikte, duba tipi rüzgar türbininin dezavantajı, okyanusa giden gemilerin sebep olduğu dalgalardaki yalpalama ve yunuslama hareketlerine (pitch and roll movements) duyarlı olması ve liman, korunaklı koylar gibi yalnızca sakin denizlerde kurulabilmesidir (Wang ve diğ., 2010).

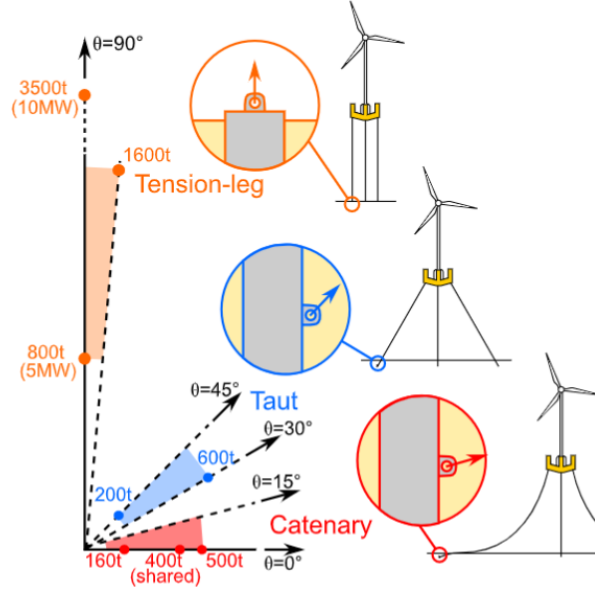
### 2.3. Bağlama/Demirleme Sistemleri (Mooring Systems)

Bağlama/demirleme ve ankraj sistemleri, yüzer rüzgâr türbini yapısının denizde sabit tutulmasını sağlamak için kullanılır. Demirleme halatları, deniz tabanı koşullarına ve gerekli tutma kapasitesine bağlı olarak çeşitli formatlara, konfigürasyonlara, malzeme tiplerine, ayak izi miktarlarına ve ankrajlama ihtiyaçlarına (Kreider ve diğ., 2022) sahip olabilir. Bağlama sistemi temel olarak iki türe ayrılır: katener (catenary) ve gergin bacak (taut-leg) konfigürasyonları.

Şu anda kullanılan en yaygın demirleme türü, sistemi yerinde tutma kuvvetinin esas olarak deniz tabanından ek zincir kaldırılarak oluşturulduğu katener sistemidir (Cerfontaine ve diğ., 2023). Deniz tabanı boyunca bir katener demirleme hattı uzanır, ancak çoğu zaman ankrajla mapa (pad-eye) bağlantısı deniz tabanı yüzeyinin altına gömülü olarak bulunmaktadır. Bu, zincir-deniz tabanı etkileşimi tarafından kontrol edilen zemindeki ters katenerin şekli nedeniyle eğimli/açılı bir yükleme durumu oluşturur (Randolph ve Gourvenec, 2011; Vivitrat ve diğ., 1982). Katener bağlama halatları (catenary mooring lines) genellikle daha büyük ve ağır olan çelik zincirlerden veya tellerden yapılır. Ağırlığı ve deniz tabanına doğru kavimli bir geometri ile uzanması yüzer temeli yerinde tutmaktadır. Katener sistemi en kolay olanıdır ancak derin suda ağırlık, maliyet ve üst üste binen halatlardan kaynaklanan zorluklarla karşılaşabilmektedir. Katener sistemi spar-duba tipi ve yarı-batık platform (semi-submersible) ile kullanılmaktadır. Genel olarak, katener demirleme sistemleri, yatay yüklemeyi kaldırabilmeleri nedeniyle sürüklen-gömülü ankrajlar (drag-embedded anchors) için kullanılabilir, ancak kazık tipi temel (piled anchors) ve ağırlık tipi ankrajlar (gravity anchors) için de hali hazırda uygulanabilir.

Buna karşılık, gergin bacak bağlamaları (taut-leg moorings), bağlama ve ankraj sistemi üzerindeki büyük dikey yüklerle başa çıkmak için ya çakma kazıklarını (driven piles) ve vakumlu kazıkları (suction piles) ya da ağırlık ankrajlarını (gravity anchors) kullanabilir. Gergi bacak bağlama sistemleri genellikle daha kompakt olan ve germe ayaklı platformlarla (TLP) birlikte kullanılan sentetik fiberleri veya telleri kullanır. Gergin bacaklı bağlama halatlarının yüksek çekme kuvvetleri platformu (yüzdürücüyü) stabil/dengede tutar.

Yüzer açık deniz rüzgar türbininin büyüklüğü ve ankrajlara bağlama halatlarından gelen kuvvetin yönü/eğim açısı genellikle bağlama halatlarının tipine bağlıdır: (i) katener (catenary), (ii) gergin bacaklı -veya yarı gergin (taut-leg) ve (iii) gerdirme ayaklı (tension leg). Farklı yüzer rüzgar türbini bağlama/demirleme tasarımları için ankrajdaki yük vektörleri Şekil 6'da gösterilmektedir (Cerfontaine ve diğ., 2023).



**Şekil 6.** Farklı Yüzer Rüzgâr Demirleme Tasarımları için Ankrajdaki Yük Vektörleri (metrik ton) örneği (Cerfontaine ve diğ., 2023'ten alınmıştır). Yükler Cerfontaine ve diğ., (2023) tarafından, Fontana ve diğ., (2018); Gao ve diğ., (2021); Pillai ve diğ., (2022); Wise & Bachynski, (2020) kullanılarak elde edilmiştir.

Katener (catenary) ve gergin (taut) bağlama sistemlerinin örnek durumları, 2-6 MN aralığında olan 5 MW'lık yüzer türbinler için maksimum yükleri göstermektedir (Fontana ve diğ., 2018; Pillai ve diğ., 2022), ancak daha büyük türbinler için yük artacak ve ankraj mapasındaki yükün gelme açısı katener (catenary) demirlemeleri için 0 ile 15° ve gergin hat (taut line) demirlemeleri için 30-45° arasında olacaktır (Randolph ve Gourvenec, 2011). Gergi ayağı (Tension-leg) demirlemeleri, maksimum 16 MN (1600 t) demirleme yükünü gösteren, ancak 8 MN (800 t) karşılığında sabit bir ön gerilime sahip 5 MW'lık bir türbin için örnek bir durumla, gergin hatlara (taut lines) kıyasla ankraja neredeyse dik açıda ve daha büyük bir yük uygular (Bachynski ve Moan, 2014). 10 MW'lık bir türbin için yapılan bir TLP vaka çalışması, 35 MN (3500 t) maksimum yüke işaret etmektedir (Wise ve Bachynski, 2020).

#### 2.4. Deniz Tabanı Ankraj Sistemleri (Seabed Anchoring Systems)

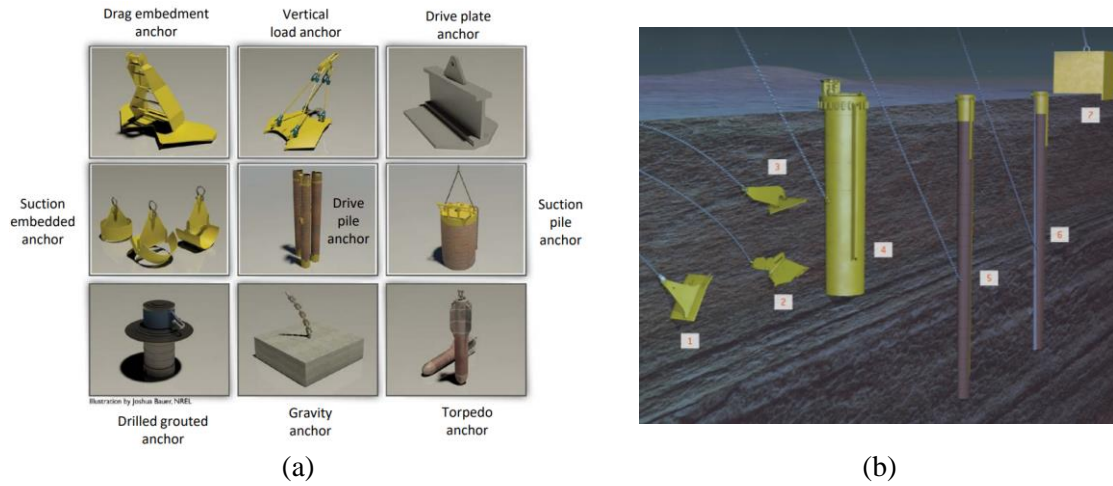
Yüzer rüzgâr türbinlerinin gelebilecek tüm muhtemel yüklere karşı yüzer halde stabil kalabilmesi ve performansında bir eksilme olmadan çalışmaya devam edebilmesi için deniz tabanı ankraj sistemleri kullanılmaktadır. Açık denizde yüzen rüzgâr türbini için bir ankraj sistemi aşağıdaki iki temel performans kriterine gereksinim duyar (Cerfontaine ve diğ., 2023):

1. Kapasite: Ankraj tasarım kapasitesi, tüm tasarım ömrü boyunca ankraja bağlı demirleme halatlarından uygulanan demirleme yükü tasarım değerini aşmamalıdır.
2. Kurulabilirlik: Ankraj, yerel deniz tabanı koşullarında, gerekli kapasitenin mevcut olduğu gömme derinliğine kadar güvenilir bir şekilde kurulabilir olmalıdır.

Optimize edilmiş bir tasarım, kapasite ve kurulabilirlik gereksinimlerini karşılarken ekonomik, çevresel ve kullanım ömrü sonu hususlarını içeren ilgili maliyetleri ve riskleri en aza indirir (Cerfontaine ve diğ., 2023). Kazık (pile), ağırlık (gravity), vakum (suction), serbest düşme (free-fall), fluke, plaka (plate) ve öngerilmeli kaya ankrajları (prestressed rock anchors) gibi birçok ankraj konfigürasyonu kullanılmaktadır (DNVGL-ST-0119, 2018). Bu ankraj çözümleri, özel

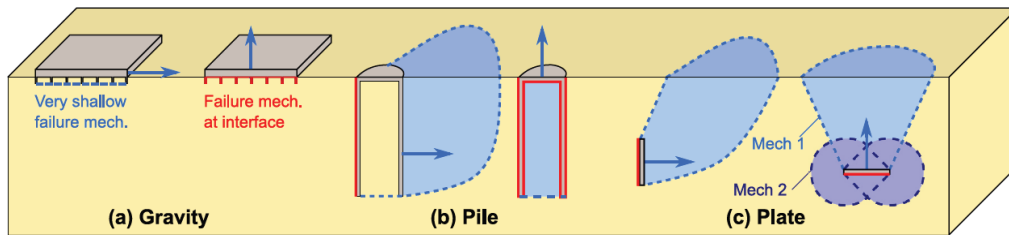
tasarım hususları ve gereksinimleri olan yüzer rüzgâr enerjisi türbinleri için önerilmektedir (DNVGL-ST-0119, 2018; DNVGL-ST-0126) [J], 2018).

Ankraj çözümlerinin seçimi demirleme/bağlama konfigürasyonlarına, deniztabanı zemin özelliklerine, geoteknik mühendisliği tasarım koşullarına ve gerekli tutma kapasitesine (holding capacity) bağlıdır. Fluke ankraj genellikle yatay yüklerle başa çıkmak için katener (catenary) bağlama konfigürasyonlarında kullanılır. Aksine, çakma kazıklar (driven piles), ağırlık (gravity) ve vakum (suction) ankrajlar, büyük dikey yükleri kaldırmak için genellikle gergin bacak (taut-leg) bağlama konfigürasyonlarıyla kullanılmaya uygundur. Belirli yüzer rüzgâr türbini kurulum sahalarındaki deniz tabanı zemin koşulları, tutma kapasitelerini önemli ölçüde etkiledikleri için ankraj sistemi seçiminde domine edici unsurdur. Ankraj boyutunun değiştirilmesi, ankrajın yük taşıma/tutma kapasitesini tasarım gereksinimini karşılayacak şekilde ayarlamak için etkili bir yöntemdir. Deniz tabanı ankrajlarının sınıflandırılması, kurulum metodolojisine veya yük taşıma mekanizmasına, bağlama konfigürasyonuna ve deniz tabanı zemin tipine göre olabilir (Şekil 7).



**Şekil 7.** Deniz Tabanı Ankraj Tipleri a) NREL, National Renewable Energy Laboratory (URL2), b) Şekilde 1: vakumla-gömülü plaka ankraj (suction-embedded plate anchor), 2 ve 3: sürüklegömülü ankrajlar (drag-embedded anchors), 4: vakum ankraj, 5 ve 6: çakma ve delme kazık ankrajları, 7: ağırlık tipi ankraj'dır (URL3)

Bu ankraj sistemleri, birbirleri arasındaki farklılıklarına rağmen, bazı benzerliklere sahiptirler ve bağlama halatından gelen yüklemeye direnmek için harekete geçirdikleri toprağın hacminin bir fonksiyonu olarak genel olarak üç ana grupta incelenebilirler: (a) ağırlık tipi ankrajlar (gravity-type anchors), (b) kazık tipi ankrajlar (pile-type anchors) veya (c) plaka tipi ankrajlar (plate-type anchors) (Şekil 8, Cerfontaine ve diğ., 2023).



**Şekil 8.** Arayüzey (interface) kuvvetinin mobilizasyonunun ve göçme anında harekete geçirdikleri zemin hacminin bir fonksiyonu olarak farklı ankraj tiplerinin özeti (Cerfontaine ve diğ., 2023).



Deniz tabanına oturan ağırlık tipi ankrajların direnci, çapanın (herhangi bir balastla) batık ağırlığı tarafından ve yüzeye yakın küçük bir hacimde zemini harekete geçiren yanal yük altında ortaya çıkan kayma direnci tarafından kontrol edilir. Fazladan tutma kapasitesi sağlamak için çevredeki zeminin mukavemetine ve ağırlığına bağlı olarak diğer ankraj sınıfları gömülüdür. Kazık tipi ankrajlar deniz tabanına gömülür, ancak yüzeye kadar uzanmaktadırlar. Ara-yüzey kayma mobilizasyonu yoluyla eksenel yüke ve zemin taşıma mobilizasyonu yoluyla yanal yüke direnirler. Plaka tipi ankrajlar tamamen gömülüdür ve plakanın yüzüne karşı zemin taşıma direncini harekete geçirir. Kompozit tip ankrajlar ise yükleme yönüne bağlı olarak bu tiplerin özelliklerini birleştirir. Bir ana ankraj grubu içindeki ankraj türleri farklı kurulum yöntemlerine sahip olabilir. Örneğin, kazıklar çakılarak (driven), içeri itilerek (pushed-in), delinerek (drilled), vibrasyon ile (vibrated) veya vakum (suction) kullanılarak monte edilebilirler (Cerfontaine ve diğ., 2023).

Ankraj davranışını anlamak için tasarım şeması ve analitik tahmin yöntemleri gibi çeşitli tasarım metodları yaygınlaşmıştır (Zhang ve diğ., 2022). Tasarım şeması yöntemi, ankraj türleri ve zemin koşulları arasındaki ilişkilere dayanarak yalnızca ampirik (ultimate) ankraj kapasitesi sunar. Analitik yöntem, yükleme senaryolarında ve ankraj davranışında etkili olan geoteknik prensiplere ve denge hesaplamalarına dayanmaktadır. Deniz tabanı zemin karakterizasyonu, ankraj davranışını önemli ölçüde etkiler, ancak bu etkilerin (tabakalı zeminler, döngüsel yükleme ve ankraj kapasitesi üzerindeki yeniden konsolidasyon dahil) DNV-GL, API ve ISO ile uyumlu olması beklenir. Özellikle DNV-OS-J101 (2007), alt yapılar ve temeller dahil olmak üzere bütün olarak yapıların tasarımında uygulanabilmektedir.

API-RP2T (API, 2010), ağırlık (gravity) ankrajları için kaldırma ve kayma kapasitesi denklemlerini verir. Kaldırma kapasitesi (uplift capacity), ağırlık tipi temelin net ağırlığına (net buoyant weight of gravity foundation) ve ek olarak varsa gömülü kenarların yüzey sürtünmesinden (skin friction) kaynaklanan katkılara eşittir. Kayma kapasitesi, deniz tabanının altındaki temel bölümleri için taban direnci artı temelin aktif ve pasif bileşenlerden kaynaklanan katkılara eşittir.

Sürüklemeli (drag) ankrajlar için tasarım yönergeleri olarak DNV-GL-RP/OS E301 kullanılabilir ve bu hem geçici hem de kalıcı yüzdürücüler için ankraj kapasitesindeki bir malzeme faktörü ile birlikte demirleme halatı çekme geriliminin (bağlama halatı geriliminin ortalama ve dinamik bileşenleri kullanılmaktadır) çevresel bileşenlerini ve ön gerilimi üzerindeki kısmi yük faktörlerini benimsemiştir (Zhang ve diğ., 2022). ISO (ISO 19901-8, 2014) ve API'ye (API-2SK, 2005) göre tavsiyeler, tüm bağlama sistemi için yığılanmış (lumped) bir güvenlik faktörüdür. Buna karşılık, DNV GL, çekme/sürüklenme (drag) ankrajları için kısmi bir güvenlik faktörü kullanan sınır durum tasarım yöntemini (limit state method) önerir. Bunlara ek olarak, Vryhof firması son otuz yılda yaygın olarak deniz üstü rüzgâr türbinleri için kullanılan bir dizi ankraj geliştirmiştir. Vryhof Anchor Manual, 2018 Stevin Mk3, Stecpris Mk5 ve Skevpris Mk6 gibi yeni ankraj modelleri için ankraj çizimleri ve tasarım şemalarını sağlayarak sürüklenme tipi (drag) ankrajların tasarım aşamasında yol gösterici niteliktedir.

Geleneksel SEPLA'ların tasarımı ve kurulumu için çeşitli yönergeler mevcuttur, örneğin, ABS (2018) (bağlama halatı gerginlik açısına, shank konfigürasyonuna, SEPLA ofsetine vb. bağlı olarak gömme kaybının tahmin edilmesini içerir), ISO 19901-4 (2016) ve API RP2SK (2005) (yüzen yapının gezinmelerini belirlenmiş limitler dahilinde sınırlayabilen sistemlerin (station-keeping systems) tasarımı ve analizi için önerilen bir uygulamadır), DNV-RP-E302 (2021) (kilde plaka (plate) ankrajlarının tasarımı ve montajını içermektedir).

DNV-OS-J101 ise, yüzer rüzgâr türbinlerini tasarlamak ve kalibre etmek için kullanılabilir ve dört tür sınır durumu dikkate alır (Ronold ve diğ., 2010): ULS – Nihai sınır durumu (the ultimate limit state), FLS – Yorulma sınırı durumu (the fatigue limit state), ALS – Kaza sonucu sınır durumu (the accidental limit state), SLS – Servis durumu sınır durumu (the serviceability limit state).

#### 2.4.1 Ankraj Sistemlerinin Seçimi

Yüzer açık deniz platformları tasarlamak maliyetli olduğundan ve uzmanlık gerektirdiğinden, ankraj sistemi seçimi/tasarımı ve bu seçimi etkileyen faktörler dikkatli ve kapsamlı bir şekilde ele alınmalıdır. Uygun ankraj tipi seçimini etkileyen faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- Su derinliği (Starling ve diğ., 2009, Bañuelos-García ve diğ., 2021)
- Deniz tabanı zemin tipi/özellikleri (Starling ve diğ., 2009; Bañuelos-García ve diğ., 2021; VanZwieten Jr. ve diğ., 2014; Sound and Sea Technology, 2009; Gavin and Doherty Geosolutions (GDG, 2021)).
- Kurulum karmaşıklığı/kompleksliği (Bañuelos-García ve diğ., 2021)
- En iyi basitleştirilmiş ankraj geometrisi arayışı (Miedema ve diğ., 2007)
- Türbinin özellikleri (Bañuelos-García ve diğ., 2021)
- Sistem bileşenlerinin taşınması (Bañuelos-García ve diğ., 2021)
- Yükleme yönü (VanZwieten Jr. ve diğ., 2014, Sound and Sea Technology, 2009, Cerfontaine ve diğ., 2023)
- Deniz tabanı topoğrafyası (deniz tabanı eğim açısı da dahil) (Sound and Sea Technology, 2009)
- Yanal yük büyüklüğü (Sound and Sea Technology, 2009; Cerfontaine ve diğ., 2023)
- Bağlama tipi (Cerfontaine ve diğ., 2023)

Özellikle ankraj sistemi üzerindeki yük büyük ölçüde zemin koşullarına, zemin özelliklerine ve uygulanan kuvvetin yönüne (kesme dayanımı ve ağırlık) bağlıdır (Starling ve diğ., 2009, 2011, VanZwieten Jr. ve diğ., 2014). Farklı ankraj senaryoları performansları Çizelge 2’de sunulmaktadır.

**Çizelge 2.** Farklı Ankraj Senaryoları (VanZwieten Jr. ve diğ., 2014)

Ankraj Tipi	Ağırlık Tipi Ankraj (Gravity Anchor)	Plaka Tipi Ankraj (Plate Anchor)	Sürüklenme Tipi Ankraj (Drag Anchor)	Kazık Tipi Temel (Pile Anchor)
<b>Deniz Tabanı Zemin Malzemesi</b>				
Yumuşak Kil (Soft Clay), balçık (mud)	İyi	İyi	İyi	Normal ama en iyi seçenek değil
Katı Kil (Stiff Clay)	İyi	İyi	İyi	İyi
Kum (Sand)	İyi	İyi	İyi	İyi
Yumuşak Kaya (Soft Rock)	İyi	İyi	Normal ama en iyi seçenek değil	İyi
Sert Kaya (Hard Rock)	İyi	Normal ama en iyi seçenek değil	İyi Değil	Normal ama en iyi seçenek değil
<b>Deniz Tabanı Topografyası</b>				
Eğim < 10 derece	İyi	İyi	İyi	İyi
Eğim > 10 derece	İyi Değil	İyi	İyi Değil	İyi

Yükleme Yönü				
Tüm Yönlü (Çok Yönlü)	İyi	İyi	İyi Değil	İyi
Tek Yönlü	İyi	İyi	İyi	İyi
Büyük Uplift Yükü	İyi	İyi	İyi Değil	İyi
<b>Yanal Yük Aralığı</b>				
< 445 kN	İyi	İyi	İyi	İyi Değil
445 - 4448 kN arası	Normal ama en iyi seçenek değil	Normal ama en iyi seçenek değil	İyi	İyi
≥ 4448 kN	İyi Değil	İyi Değil	İyi Değil	İyi

Dünyadaki mevcut/planlanan deniz üstü rüzgâr çiftliklerinden bazıları hakkında bilgiler Çizelge 3'te sunulmuştur. Bu sahalardaki deniz tabanı zeminler ile ilgili bilgi bulunamamıştır.

**Çizelge 3.** Dünyada mevcut/planlanan yüzer rüzgar çiftliklerinden bazıları için yüzer platform ve deniz tabanı ankraj tipleri hakkında bilgiler

Yüzer Rüzgar Çiftliği ismi (mevcut/planlanan)	Ülke, yer aldığı deniz	Toplam MW kapasite ve türbin hakkında bilgi	Ortalama su derinliği, min-max su derinliği (m)	Kıydan uzaklık (km)	Yüzer platform tipi	Deniz tabanı ankraj tipi	Referans Linki
Hywind Demo Rüzgar Türbini (mevcut-demo)	Norveç, 2009	Siemens 2.3 MW	220 m	10 km	Spar Tipi (3 noktadan bağlama/demirleme)	Vakum Tipi Ankraj (Suction Anchor)	<a href="https://www.uib.no/sites/w3.uib.no/files/attachments/hywind_energy_lab.pdf">https://www.uib.no/sites/w3.uib.no/files/attachments/hywind_energy_lab.pdf</a>
Hywind Scotland Rüzgar Çiftliği (mevcut)	İskoçya, Birleşik Krallık 2017	30 MW (5 adet 6 MW Siemens)	95-120 m	25 km	Spar Tipi (Her bir türbini 3 vakum tipi ankraj tutmaktadır.)	Vakum Tipi Ankraj (Suction Bucket Anchor)	<a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Hywind_Scotland">https://en.wikipedia.org/wiki/Hywind_Scotland</a> <a href="https://www.equinor.com/news/archive/20210323-hywind-scotland-uk-best-performing-offshore-wind-farm">https://www.equinor.com/news/archive/20210323-hywind-scotland-uk-best-performing-offshore-wind-farm</a>
WindFloat Atlantic Rüzgar Çiftliği (mevcut)	Viana do Castelo, kuzey Portekiz, 2020	25 MW (3 adet Vestas V164-8.4 MW)	100 m	20 km	Yarı-batık Platform Tipi (Semi-submersible platform with active ballast)	Sürüklenme Tipi Ankraj (Drag Anchor) , Vryhof	<a href="https://www.power-technology.com/projects/windfloat-atlantic-project/">https://www.power-technology.com/projects/windfloat-atlantic-project/</a> <a href="https://www.windfloat-atlantic.com/">https://www.windfloat-atlantic.com/</a> <a href="https://www.dock90.com/windfloatatlantic/">https://www.dock90.com/windfloatatlantic/</a>
Kincardine Rüzgar Çiftliği (mevcut)	Aberdeen, İskoçya, Birleşik Krallık, 2021	50 MW (5 adet Vestas V164 9.5 MW + V80-2 MW)	60-80 m	15 km	Yarı-batık Platform Tipi	Sürüklenme Tipi Ankraj (Drag-embedded Anchor) , Vryhof	<a href="https://www.principlepower.com/projects/kincardine-offshore-wind-farm">https://www.principlepower.com/projects/kincardine-offshore-wind-farm</a> <a href="https://www.nsenegybusiness.com/projects/kincardine-floating-offshore-wind-farm-scotland/#">https://www.nsenegybusiness.com/projects/kincardine-floating-offshore-wind-farm-scotland/#</a> <a href="https://www.youtube.com/watch?v=O6ROkGgPfl0">https://www.youtube.com/watch?v=O6ROkGgPfl0</a>
Hywind Tampen Rüzgar Çiftliği (mevcut)	Norveç, 2022	88 MW (11 adet 8 MW)	260-300 m	140 km	Spar Tipi	Vakum Tipi Ankraj (Suction Bucket Anchor)	<a href="https://www.equinor.com/energy/hywind-tampen">https://www.equinor.com/energy/hywind-tampen</a>
WindFloat 1 Rüzgar Türbini (prototip, 2016'da devreden çıkarıldı)	Aguçado ura, Portekiz, 2011	2 MW (1 adet Vestas V-80)	45 m	5 km	Yarı-batık Platform Tipi	-	<a href="https://www.principlepower.com/projects/windfloat1">https://www.principlepower.com/projects/windfloat1</a>

EolMed Rüzgâr Çiftliği (Yapım aşamasında, 2024'te devreye alınması bekleniyor.)	Gruissan, Fransa,	30 MW (3 adet 10 MW)	59-90 m	15 km	Mavna/Duba Tipi Platform (Barge platform)	-	<a href="https://www.eib.org/en/projects/all/20180688">https://www.eib.org/en/projects/all/20180688</a> <a href="https://www.bw-ideol.com/en/eolmed-project">https://www.bw-ideol.com/en/eolmed-project</a>
Fukushima Mirai Rüzgâr Türbini (mevcut)	Fukushima, Japonya, 2013	2 MW	-	20 km	Yarı-batık Platform Tipi (Semi-submersible, using ballast tank)	-	<a href="http://www.fukushima-forward.jp/pdf/pamphlet4en.pdf">http://www.fukushima-forward.jp/pdf/pamphlet4en.pdf</a> <a href="https://mainichi.jp/english/articles/20210305/p2a/00m/0na/034000c">https://mainichi.jp/english/articles/20210305/p2a/00m/0na/034000c</a>
Fukushima Hamakaze Rüzgâr Türbini (mevcut)	Fukushima, Japonya, 2015	5 MW	-	-	-	-	<a href="https://mainichi.jp/english/articles/20210305/p2a/00m/0na/034000c">https://mainichi.jp/english/articles/20210305/p2a/00m/0na/034000c</a>
Floatgen Rüzgâr Türbini (mevcut)	Saint-Nazaire, Fransa, 2018	2 MW (Vestas V80)	33 m	22 km	Mavna/Duba Tipi Platform (Barge platform)	Sürtükleme Tipi Ankrāj (Drag-embedded Anchor)	<a href="https://floatgen.eu/">https://floatgen.eu/</a>
TetraSpar Demo Rüzgâr Türbini	Norveç, 2021	3.6 MW	200 m	10 km	Spar Tipi (özel TetraSpar yüzen temel)	-	<a href="https://www.rwe.com/en/research-and-development/wind-power/floating-offshore-wind/tetraspar/">https://www.rwe.com/en/research-and-development/wind-power/floating-offshore-wind/tetraspar/</a>
Sanxia Yinling Hao (Tayfun Dirençli)	Çin, 2021	5.5 MW	32 m	-	Yarı-batık Platform Tipi	-	<a href="http://english.www.gov.cn/news/topnews/202112/09/content_WS61b165f3c6d09c94e48a1fda.html">http://english.www.gov.cn/news/topnews/202112/09/content_WS61b165f3c6d09c94e48a1fda.html</a>
Fuyao Rüzgâr Türbini (Tayfun Dirençli) (mevcut)	Guangdong, Çin, 2022	6.2 MW	65 m	-	Yarı-batık Platform Tipi	-	<a href="https://english.news.cn/20220530/b9be2b0d97764e84acdaf09958b09aec/c.html">https://english.news.cn/20220530/b9be2b0d97764e84acdaf09958b09aec/c.html</a>

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada öncelikle Türkiye’de deniz üstü rüzgâr enerjisi için uygun alanlar ile ilgili olarak, açık denizde 100 m yükseklikte minimum 6.5 m/s yıllık ortalama rüzgâr hızı bulunan ve yüzer deniz üstü rüzgâr türbinleri için uygun olabilecek 50 metreden daha derin sulardaki uygun alanlar ile ilgili literatürdeki güncel çalışmalar özetlenmiş, özellikle Marmara Bölgesi’nde uygun alanlar sunulmuştur. Deniz üstü yüzer rüzgâr türbinleri için yüzer platform tipleri, bunların stabilizasyon mekanizmaları ve özellikleri hakkında bilgi derlenmiş ve sunulmuştur. Yüzer açık deniz rüzgâr türbinleri için, yapının boyutuna, ağırlığına, su derinliğine ve sistemin tolere edilebilir hareket miktarına bağlı olarak dört ana yüzer sistem kategorisi ele alınmış olup, bu platform tipleri: Spar tipi yüzer platform, Yarı-batık platform (semi-submersible), Germe ayaklı platform (tension-leg platform, TLP) ve Mavna tipi/duba tipi (Barge) platformlardır. Platformlar için bağlama/demirleme sistemleri hakkında özet bilgi sunulmuş, ardından deniz tabanı ankrāj tipleri ve çalışma prensipleri hakkında genel bilgi ve ankrāj sistem seçimlerini etkileyen faktörler ortaya konmuştur. Üç ana grupta ele alınan deniz tabanı ankrāj tipleri: (a) ağırlık tipi ankrājlar (gravity-type anchors), (b) kazık tipi ankrājlar (pile-type anchors) veya (c) plaka tipi ankrājlar (plate-type anchors) olup, ankrāj tipinin seçimini etkileyen faktörlerden başlıcaları deniz tabanı zemin tipi/özellikleri, ve ankrāja gelen yükün yönü ve mertebesi olarak öne çıkmaktadır. Ülkemizde önümüzdeki yıllarda önem kazanması öngörülen deniz üstü yüzer rüzgâr türbin sistemlerine örnek oluşturması açısından, dünyada mevcut/planlanan deniz üstü yüzer rüzgâr çiftliklerinde kullanılan yüzer platform tipleri ve deniz tabanı ankrāj tipleri

hakkında bilgi derlenerek sunulmuştur. Bu çalışmada sunulan bilgilerin ülkemizde ileride yapılacak araştırma çalışmaları ve pilot uygulamalarda faydalı olması ümit edilmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 120N973 numaralı "Türkiye İçin Yüzer Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemleri (Floating Hybrid Renewable Energy Systems for Türkiye)" isimli uluslararası ikili iş birliği projesi (2551-İngiltere-British Council Newton Fund Institutional Links Programme, Grant Reference: 62309484) kapsamında hazırlanmıştır. Dr. Pınar Sezin ÖZTÜRK KARDOĞAN, ODTÜ Doktora Sonrası Araştırma Programı (DOSAP) kapsamında bu çalışmada doktora sonrası araştırmacı olarak yer almıştır, destekleri için Gazi Üniversitesi'ne ve ODTÜ'ye teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

1. Acteon Group Ltd. (2023, August 30). Home - Acteon. Acteon. <https://www.acteon.com/>
2. API RP 2SK (2005). "Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures," 3rd Edition, American Petroleum Institute.
3. API RP 2T (2010). "Planning, Designing, and Constructing Tension Leg Platforms," 3rd Edition, American Petroleum Institute.
4. Avrupa Yatırım Bankası'nın (EIB) 20180688 Projesi: Avrupa Yatırım Bankası. (Tarih yok). Proje numarası: 20180688. <https://www.eib.org/en/projects/all/20180688>
5. Bachynski, E. E., & Moan, T. (2014). Ringing loads on tension leg platform wind turbines. *Ocean engineering*, 84, 237-248.
6. Bañuelos-García, F., Ring, M., Mendoza, E., & Silva, R. (2021). A Design Procedure for Anchors of Floating Ocean Current Turbines on Weak Rock. *Energies*, 14(21), 7347.
7. Borg, M., & Collu, M. (2015). A comparison between the dynamics of horizontal and vertical axis offshore floating wind turbines. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 373(2035), 20140076.
8. BW Ideol'un EolMed Projesi: BW Ideol. (Tarih yok). EolMed Projesi. <https://www.bw-ideol.com/en/eolmed-project>
9. Caceoğlu, E., Yildiz, H. K., Oğuz, E., Huvaj, N., & Guerrero, J. M. (2022). Offshore wind power plant site selection using Analytical Hierarchy Process for Northwest Turkey. *Ocean Engineering*, 252, 111178.
10. Cerfontaine, B., White, D., Kwa, K., Gourvenec, S., Knappett, J., & Brown, M. (2023). Anchor geotechnics for floating offshore wind: Current technologies and future innovations. *Ocean Engineering*, 279, 114327.
11. Çin Hükümeti Haberi (İngilizce): Çin Hükümeti. (2021, 9 Aralık). "China Focus: China's Floating Nuclear Power Plant Ready for Operation." [http://english.www.gov.cn/news/topnews/202112/09/content\\_WS61b165f3c6d09c94e48a1fda.html](http://english.www.gov.cn/news/topnews/202112/09/content_WS61b165f3c6d09c94e48a1fda.html)
12. DNV Annual Report, 2021
13. DNV OS-J101 offshore wind turbine standards - [PDF document]. vdocument.in. (n.d.). <https://vdocument.in/dnv-os-j101-offshore-wind-turbine-standards.html>
14. DNV RP-E302 Design and installation of plate anchors in clay. - [PDF document]. (n.d.). <https://www.dnv.com/oilgas/download/dnv-rp-e302-design-and-installation-of-plate-anchors-in-clay.html>
15. DNV, G. (2018). Support structures for wind turbines (DNVGL-ST-0126).
16. DNVGL, F. (2018). DNVGL-ST-0119 Floating Wind Turbine Structures: Technical Report.

17. Dünya Bankası Raporu, (2019) Energy Sector Management Assistance Program. (2019). Going Global: Expanding Offshore Wind To Emerging Markets. World Bank.
18. Equinor'un Hywind Tampen Projesi: Equinor. (Tarih yok). Hywind Tampen. <https://www.equinor.com/energy/hywind-tampen>
19. Floatgen Projesi: Floatgen. (Tarih yok). Ana Sayfa. <https://floatgen.eu/>
20. Fontana, C.M., Hallowell, S.T., Arwade, S.R., DeGroot, D.J., Landon, M.E., Aubeny, C.P., Diaz, B., Myers, A.T., Ozmutlu, S., 2018. Multiline anchor force dynamics in floating offshore wind turbines. *Wind Energy* 21, 1177–1190. <https://doi.org/10.1002/we.2222>.
21. Fukushima Forward'ın Broşürü: Fukushima Forward. (Tarih yok). [Broşür]. <http://www.fukushima-forward.jp/pdf/pamphlet4en.pdf>
22. Gao, X., Liu, X., Xue, X., & Chen, N. Z. (2021). Fracture mechanics-based mooring system fatigue analysis for a spar-based floating offshore wind turbine. *Ocean Engineering*, 223, 108618.
23. Han, D., Wang, W., Li, X., & Su, X. (2022). Optimization design of multiple tuned mass dampers for semi-submersible floating wind turbine. *Ocean Engineering*, 264, 112536.
24. Hywind Scotland UK's Best Performing Offshore Wind Farm. (2021, 23 Mart). Equinor. Erişim adresi: <https://www.equinor.com/news/archive/20210323-hywind-scotland-uk-best-performing-offshore-wind-farm>
25. Hywind Scotland. (Tarih yok). Wikipedia. Erişim adresi: [https://en.wikipedia.org/wiki/Hywind\\_Scotland](https://en.wikipedia.org/wiki/Hywind_Scotland)
26. ISO. 2014. Petroleum and natural gas industries – specific requirements for offshore structures - Part8: marines oil investigations, International Standard ISO19901-8:2014. ISSMFE International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1977. Report of the subcommittee on standardization of penetration testing in Europe.
27. Kreider, M., Oteri, F., Robertson, A., Constant, C., & Gill, E. (2022). *Offshore Wind Energy: Technology Below the Water* (No. NREL/PR-5000-83142). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
28. Måge, S. S., Nuven, P., & Steinsbø, S. (2022). *An RCM program for inspection & maintenance of the substructure of a semi-submersible floating offshore wind turbine* (Bachelor's thesis, Høgskulen på Vestlandet).
29. Mainichi Daily News Makalesi: Mainichi Daily News. (2021, 5 Mart). "Nuclear Power Plant Decommissioning in Fukushima to Begin in April." <http://mainichi.jp/english/articles/20210305/p2a/00m/0na/034000c>
30. Miedema, S. A., Lagers, G. H. G., & Kerkvliet, J. (2007). An overview of drag embedded anchor holding capacity for dredging and offshore applications. *WODCON, Orlando, USA*.
31. NS Energy Business: Kincardine Floating Offshore Wind Farm, Scotland. (Tarih yok). NS Energy Business. Erişim adresi: <https://www.nsenergybusiness.com/projects/kincardine-floating-offshore-wind-farm-scotland/>
32. Pike, R., Jalilvand, S., Diambra, A., Offshore Wind Foundations - Concept Selection and Design (2021, August)
33. Pillai, A.C., Gordelier, T.J., Thies, P.R., Dormenval, C., Wray, B., Parkinson, R., 2022. Anchor loads for shallow water mooring of a 15 MW floating wind turbine — Part I : chain catenary moorings for single and shared anchor scenarios. *Ocean Eng.* 111816 <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111816>
34. Principle Power: Kincardine Offshore Wind Farm. (Tarih yok). Principle Power. Erişim adresi: <https://www.principlepower.com/projects/kincardine-offshore-wind-farm>
35. Principle Power'in WindFloat1 Projesi: Principle Power. (Tarih yok). WindFloat1. <https://www.principlepower.com/projects/windfloat1>
36. Randolph, M. ve Gourvenec, S. (2011), Offshore Geotechnical Engineering, CRC Press, 560 p., <https://doi.org/10.1201/9781315272474>

37. Ronold, K. O., Hansen, V. L., Godvik, M., Landet, E., Jørgensen, E. R., & Hopstad, A. L. H. (2010, January). Guideline for offshore floating wind turbine structures. In *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering* (Vol. 49118, pp. 381-388).
38. RWE'nin TetraSpar Projesi: RWE. (Tarih yok). TetraSpar. <https://www.rwe.com/en/research-and-development/wind-power/floating-offshore-wind/tetraspar/>
39. Smith, J. (2021). Hywind Energy Lab: A Renewable Energy Research Facility. Erişim adresi: [https://www.uib.no/sites/w3.uib.no/files/attachments/hywind\\_energy\\_lab.pdf](https://www.uib.no/sites/w3.uib.no/files/attachments/hywind_energy_lab.pdf)
40. Suzuki, K., et al., 2009. Development of TLP type floating structure for offshore wind farms. Technology Report of Mitsui Engineering and Ship building Co., Ltd., No.198 (In Japanese).
41. Unsteady aerodynamic modelling for seakeeping analysis of Floating Offshore Wind Turbines - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/Platform-stability-triangle-from-Borg-and-Collu-2015a\\_fig2\\_332240568](https://www.researchgate.net/figure/Platform-stability-triangle-from-Borg-and-Collu-2015a_fig2_332240568) (01.09.2023'te erişilmiştir)
42. URL1: <https://www.iklimhaber.org/turkiyenin-deniz-ustu-ruzgar-enerjisi-potansiyeli-70-gw/#:~:text=T%C3%BCrkiye'nin%20karasal%20r%C3%BCzgar%20enerjisi,yi%20planlanm%C4%B1%C5%9F%20projelere%20ihtiya%C3%A7%20duyuluyor> (21.08.2023'te erişilmiştir)
43. URL2: <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/83142.pdf>, Erişim: 1.12.2022,
44. URL3: [www.acteon.com](http://www.acteon.com), Erişim: 08.09.2023
45. Utsunomiya, T., et al., 2010. On sea experiment of a hybrid spar for floating offshore wind turbine using 1/10 scale model. Proceedings of the 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Shanghai, China, 6-11 June 2010, OMAE 2010-20730.
46. VanZwieten Jr, J. H., Seibert, M. G., & von Ellenrieder, K. (2014). Anchor selection study for ocean current turbines. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 13(1), 59-73.
47. Vivitrat, V., Valent, P. J., & Ponteiro, A. A. (1982). The influence of chain friction on anchor pile behaviour. In *14th Annu. Offshore Technol. Conf* (pp. 163-152).
48. Wang, C. M., Utsunomiya, T., Wee, S. C., & Choo, Y. S. (2010). Research on floating wind turbines: a literature survey. *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, 3(4), 267-277.
49. Wedel-Heinen, J., Ronold, K. O., & Madsen, P. H. (2007, January). Revision of DNV design standard for offshore wind turbine structures. In *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering* (Vol. 42711, pp. 433-439).
50. Wilson, J. V., DeVisser, A., Sugiyama, B., & SOUND AND SEA TECHNOLOGY INC LYNNWOOD WA. (2009). Predicting the Mobility and Burial of Underwater Unexploded Ordnance (UXO) Using the UXO Mobility Model (ESTCP) 200417. *DTIC Document*.
51. Windfloat Atlantic Project. (Tarih yok). Power Technology. Erişim adresi: <https://www.power-technology.com/projects/windfloat-atlantic-project/>
52. Windfloat Atlantic. (Tarih yok). Dock90. Erişim adresi: <https://www.dock90.com/windfloatatlantic/>
53. Windfloat Atlantic. (Tarih yok). Resmi Proje Websitesi. Erişim adresi: <https://www.windfloat-atlantic.com/>
54. Wise, A.S., Bachynski, E.E., 2020. Wake meandering effects on floating wind turbines. *Wind Energy* 23, 1266-1285. <https://doi.org/10.1002/we.2485>
55. Xinhua Haberi (İngilizce): Xinhua. (2022, 30 Mayıs). "Spotlight: China's Floating Solar Power Industry Takes Off." <https://english.news.cn/20220530/b9be2b0d97764e84acdaf09958b09aec/c.html>
56. YouTube Video (Tarih yok). <https://www.youtube.com/watch?v=O6ROkGgPfIo>
57. Zhang, W., Zhou, Z., Pradhan, D. L., Wang, P., & Jin, H. (2022). Design considerations of drag anchors in cohesive soil for floating facilities in the South China sea. *Marine Structures*, 81, 103101.