



# Gemilerde Rüzgar Türbini Uygulamasında Optimum Yer Seçimi İçin Bir Benzetim Çalışması: Tanker Gemisi Örneği

Buğra Akyol<sup>1</sup>, Kenan Yiğit<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3493-2696), [bugra.akyol@std.yildiz.edu.tr](mailto:bugra.akyol@std.yildiz.edu.tr)

<sup>2\*</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4165-4081), [kyigit@yildiz.edu.tr](mailto:kyigit@yildiz.edu.tr)

(1st International Conference on Innovative Academic Studies ICIAS 2022, September 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1172463)

**ATIF/REFERENCE:** Akyol, B., Yiğit, K. (2022). Gemilerde Rüzgar Türbini Uygulamasında Optimum Yer Seçimi İçin Bir Benzetim Çalışması: Tanker Gemisi Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (40), 61-66.

## Öz

Günümüzde rüzgâr enerjisi, gemilerde sevk sisteminin yanı sıra elektrik enerjisi üretimine de katkı sunmaktadır. Bu çalışmada, gemilere elektrik enerjisi üretimi için kurulabilecek rüzgar türbinlerinden optimum verim alınması konusu incelenmiştir. Bu kapsamda, bir tanker gemisi modellenmiş ve benzetim çalışması yapılmıştır. Gemi güvertesi beş bölgeye ayrılarak, gemideki hangi bölgelerin daha yoğun ve homojen rüzgâr alabileceği tahmin edilmiştir. Bu sayede gemideki optimum rüzgar alanları ve yükseklikleri belirlenmiştir. Böylece, rüzgâr türbininin en uygun alanda maksimum verimle çalışması hedeflenmiştir. Sonuç olarak, incelenen gemi modeli için maksimum rüzgâr hızları sırasıyla baş kasara, ön ana güverte ve vasat bölgeleri olarak belirlenmiştir. Her bir gemi modelinde optimum rüzgar alanının farklılık göstermesi beklenmektedir. Bu nedenle, bu tür yaklaşımların rüzgâr türbini uygulaması yapılacak gemi özelinde gerçekleştirilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışma ile benzetim çalışmalarının önemi vurgulanmış olup, bu tür alternatif yaklaşımlar ile gemilerde verimlilik potansiyelinin artırılabilirliği ifade edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Gemi, Rüzgâr Enerjisi, Rüzgâr Türbini, Optimum Yer Seçimi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği.

## A Simulation Study for Optimum Location Selection in Wind Turbine Application on Ships: A Case Study for a Tanker Ship

### Abstract

Today, wind energy contributes to the generation of electrical energy as well as the propulsion system on ships. In this study, the issue of optimum efficiency from wind turbines that can be installed on ships for electrical energy generation has been examined. In this context, a tanker ship was modeled and a simulation study was carried out. By dividing the ship deck into five zones, it was estimated which areas on the ship could receive more intense and homogeneous winds. In this way, the optimum wind areas and heights of the ship were determined. Thus, it is aimed that the wind turbine will operate in the most suitable area with maximum efficiency. As a result, the maximum wind speeds for the investigated ship model were determined as forecastle, fore main deck, and amidship regions, respectively. The optimum wind area is expected to differ for each ship model. For this reason, it is important to carry out such approaches specifically to the ship where the wind turbine will be applied. With this study, the importance of simulation studies has been emphasized, and it has been stated that such alternative approaches can increase the efficiency potential of ships.

**Keywords:** Ship, Wind Energy, Wind Turbine, Optimum Location Selection, Computational Fluid Dynamics.

\* Sorumlu Yazar: [kyigit@yildiz.edu.tr](mailto:kyigit@yildiz.edu.tr)

## 1. Giriş

Sanayi devrimi ile başlayan enerji talebindeki artış, fosil kaynaklı yakıtların tüketimini önemli oranda artırmıştır. Bu süreç, günümüzde sera gazı emisyonları ve küresel ısınma ile ilgili konuları ön plana çıkarmıştır. Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) verilerine göre, ortalama yüzey sıcaklığı 19. yy sonlarına kıyasla yaklaşık 1.1 °C artmıştır. Ayrıca, 2021 yılı tespit edilebilen en sıcak altıncı yıl olarak kayıtlara geçmiştir (Margetta, 2021). Bu durum, fosil kaynaklı yakıtların azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması sürecini hızlandırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları (hidrolik, jeotermal, güneş, rüzgâr, biokütle, hidrojen, dalga) arasında ise rüzgâr enerjisi çevresel duyarlılık ve hammadde açısından ön plana çıkmaktadır (Ekiz ve ark., 2021). Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) verilerine göre 2021 yılında rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi kapasitesi karasal alanlarda yaklaşık 769 GW iken deniz üstü alanlarda yaklaşık 56 GW olarak gerçekleşmiştir (IRENA, 2022).

Bununla birlikte rüzgâr, gemiler için ilk enerji kaynaklarından biri olmuştur. Öncesinde gemi hareketi için faydalanılan rüzgâr enerjisi, günümüzde elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında da yerini almıştır (Biol ve Demirgil, 2021). Rüzgâr enerjisine denizcilik alanında uçurtma sistemi, Flettner rotor sistemi, yelken sistemi, elektrik enerjisi üretim sistemi gibi farklı teknolojiler için ihtiyaç duyulmaktadır (Kükner ve Kaplan, 2017). Bu kapsamda yapılan çalışmalar incelendiğinde, Ionescu ve ark., (2015) gemilerde kullanılabilecek rüzgâr türbini tasarımlarını incelemiştir. Dikey eksenli rüzgâr türbinlerinin gemiler için daha optimum bir tasarıma sahip olduğunu belirtmişlerdir. Kim ve Yaakob (2016) bir tanker gemisinin Singapur-Cidde-Taichung rotasındaki seyir verilerini kullanarak dikey eksenli bir rüzgâr türbini kurulması ve elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması durumunu analiz etmişlerdir. Belirtilen rotalardan geçen gemilerde kurulacak sistem ile yılda yaklaşık %39 oranında yakıt tasarrufu sağlanabileceğini ifade etmişlerdir. Moulas ve ark., (2017) açık denizlerde kurulan rüzgâr türbini çiftliklerinin güvenli bir şekilde işletilmesine yönelik, gemiler ile açık deniz rüzgâr türbini temelleri arasındaki olası çarpışmaların hasar analizini yapmışlardır. Hasara neden olan en kritik faktörlerin; çarpışma enerjisi, geminin yüksekliği ve çarpma alanı olduğunu belirtmişlerdir. Lu ve Ringsberg (2019) bir tanker gemisine ait seyir verilerini kullanarak farklı rüzgâr enerjisi sistemlerinin performansını tahmin etmişlerdir. Çalışma neticesinde, Flettner rotor sistemi ile yaklaşık %9 oranında yakıt tasarrufunun elde edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır. Şentürk ve Oğuz (2020) Bozcaada bölgesinde işletilmekte olan bir karasal rüzgâr çiftliği ile o bölgede kurulması muhtemel bir deniz üstü rüzgâr çiftliğinin yaşam döngüsü değerlendirmesini yapmışlardır. Belirlenen bölgede bir deniz üstü rüzgâr çiftliğinin kurulmasının daha maliyetli bir teknoloji olmasına rağmen, karasal sisteme göre daha çevre dostu olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Penloup ve ark., (2021) ticari gemilerde yardımcı tahrik olarak kullanılabilen uçurtma sevk sisteminin kaldırma katsayısı, sürüklenme oranı, uçurtmanın taşıyabileceği maksimum yük ve ip uzunluğu parametrelerinin sistem tasarımına etkisini incelemiştir. Maksimum kanat yükü parametresinin, uçurtma sisteminde en fazla etkiyi gösteren parametre olduğunu ifade etmişlerdir. Antai ve Williams (2021) bir tanker gemisinin sevk sistemine yardımcı olması amacıyla uçurtma sisteminin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Oluşturulan matematiksel model sonucunda, rüzgâr uçurtma destekli tahrik sisteminin mevcut gemi modelinde

ekonomik ve çevresel sorunların çözümüne katkı sunacağını belirtmişlerdir. Seddiek ve Ammar (2021) Mısır ve Fransa arasında seyir yapan bir dökme yük gemisi için Flettner rotor kullanımının etkisini incelemiştir. Flettner rotor kullanımının geminin yıllık yakıt tüketiminde %22'ye kadar tasarruf potansiyeli sağlayabileceğini belirtmişlerdir. Sarı ve ark., (2022) bir savaş gemisi modeli için helikopter güvertesine etki eden hız dağılımlarını farklı rüzgâr açıları dikkate alarak incelemiştir. Borda tarafından gelen rüzgâr hızlarının incelenen alan için daha az türbülans oluşturduğu sonucuna ulaşmışlardır.

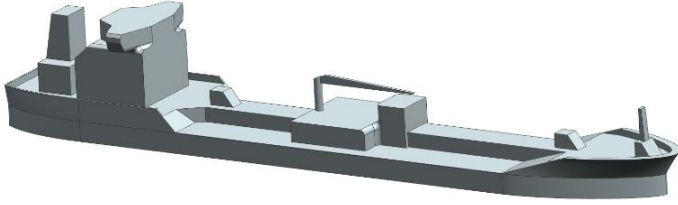
Literatürden görüleceği üzere rüzgâr enerjisi, denizcilik alanında farklı sistemler için birincil enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte rüzgâr rejiminin, rüzgâr enerjisinden maksimum fayda sağlamak için etkili bir parametre olduğu söylenebilir. Optimum rüzgâr hızının elde edilebilmesi konusu kara ve deniz alanlarında verimin artırılmasını sağlamaktadır. Bu kapsamda yapılan bazı çalışmalar incelendiğinde, Karasu Aşnaz ve Yüksel (2018) karasal alanda bulunan 29 adet rüzgâr türbinine sahip bir santralin mevcut yerleşim düzeninden kaynaklı performansını incelemiştir. Mevcut santralde iz etkisinden kaynaklı güç kayıplarının dikkate değer bir olgu olduğunu ve optimal bir yerleşim düzeninin gerekliliğini vurgulamışlardır. Arca ve Keskin Çıtıroğlu (2020) Karabük iline bağlı Yenice ilçesinde rüzgâr enerjisi santralının optimum yerleşimi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı çok kriterli karar analizi yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemin uygun yer seçimi ve haritalandırma sürecinde etkili bir seçenek olduğunu belirtmişlerdir. Aydın ve Öztürk (2021) Ege Denizi'nde entegre rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için optimum yerleşim alanlarını CBS tabanlı analitik hiyerarşi yöntemi ile belirlemişlerdir. Bu yöntem ile gerçekleştirilecek uygunluk haritasının mevcut enerji sistemlerinin daha verimli işletilmesine olanak sağlayacağını belirtmişlerdir. Karipoğlu ve ark., (2021) deniz üstü rüzgâr santrali kurulumu için CBS tabanlı çok kriterli karar verme yöntemi kullanılarak Bandırma Körfezi bölgesindeki en uygun alanı belirlemeye çalışmışlardır. Bu kapsamda belirlenen iki bölgede sırasıyla 72 MW ve 48 MW kapasiteli deniz üstü rüzgâr santrali kurulumunun gerçekleştirilebileceğini ifade etmişlerdir. Tortumluoğlu ve Doğan (2021) açık deniz rüzgâr türbinlerinin yerleşim planlamasını etkileyen parametreleri incelemiştir. Bölgenin derinliği, ulaşım imkânı, enerji hattı güzergâhı gibi parametrelerin yanı sıra bölgenin rüzgâr rejiminin tasarım sürecinde etkili olduğunu belirtmişlerdir.

İlgili çalışmalar incelendiğinde, karasal ve denizel ortamlarda optimum rüzgâr türbini yerleşiminin rüzgâr rejimine bağlı olarak planlamasının verimi artırabileceği söylenebilir. Bununla birlikte, yazarların bildiği kadarıyla, her ne kadar kara ve deniz üstü rüzgâr türbini sistemleri literatürde farklı açılardan incelse de gemilerde rüzgâr türbini uygulamasına yönelik yeterli çalışmanın olmadığı ifade edilebilir. Bunun öncelikli sebebinin yenilenebilir enerji kaynaklarının gemilere entegrasyonun güncel bir yaklaşım olmasıdır. Rüzgâr türbini sistemlerinin gemilere entegrasyonuna yönelik yapılan çalışmalar incelendiğinde ise türbinlerin optimum yerleşimine yönelik çalışmaların da sınırlı kaldığı söylenebilir. Bu nedenle bu çalışmada, bir gemide rüzgâr türbini kurulmadan önce optimum yerleşim bölgesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, bir tanker gemisi modellenerek Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi ile bir rüzgâr rejimi oluşturulmuştur. Oluşturulan benzetim çalışması sonucunda, gemiye etki eden rüzgâr yoğunluğu haritalandırılmış ve gemide rüzgâr türbininin yerleştirilebileceği alanlar belirlenmiştir. Bu sayede, rüzgâr türbininin yerleşiminden kaynaklı optimum verimin sağlanması

amaçlanmıştır. Bu konu, rüzgâr türbinlerinin etkin bir şekilde gemilere entegre edilmesi açısından önem arz etmektedir. Çalışmanın, gemilerde rüzgâr türbini uygulaması öncesi yapılacak fizibilite çalışmalarına katkı sunması beklenmektedir. Güncel bir konu olması sebebiyle, kara ve deniz üstü rüzgâr türbini sistemlerinin yerleşim planlarının belirlenmesine ek olarak, gemilerde de bu tür çalışmaların yapılmasının literatüre bu alanda alternatif bir yaklaşım sunacağı düşünülmektedir.

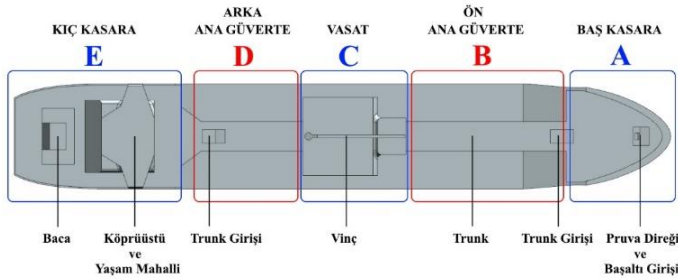
## 2. Materyal ve Metot

Çalışma için 145 m tam boy uzunluğa ve 23 m genişliğe sahip bir tanker gemisi modellenmiştir. Model gemi Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan gemi modeli

Tanker gemileri kendi aralarında çeşitlerine, boy uzunluklarına, faaliyet göstereceği coğrafyaya ve diğer etmenlere göre farklılık gösterebilirler. Model gemide, geminin soğuk hava koşullarında da güvenle çalışabilmesi için güverte üzerindeki boruların buzlanma riskine karşı “trunk” adı verilen bir kapalı alan bulunmaktadır. Güvertenin ortasına ise kumanya, yedek parça alımı gibi dışarıdan gemi güvertesine aktarımları sağlayan bir vinç yerleştirilmiştir. Bu bölgenin hemen altında ise yağ, yakıt ve benzeri akışkanların aktarımını sağlayan boru giriş-çıkışları bulunmaktadır. Geminin optimum rüzgâr alan bölgesini belirlemek için gemi alanı beş bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgeler ise Şekil 2’de verilmiştir.

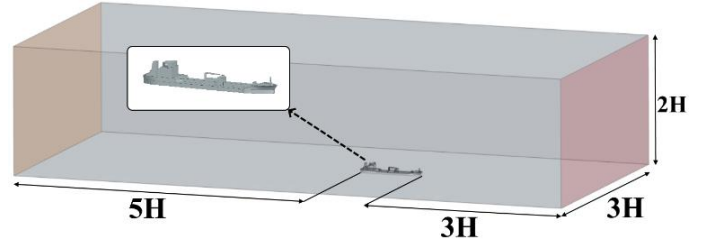


Şekil 2. Model gemiye ait temel bölgeler

A bölgesi geminin üst güvertesi olmakla beraber baş kasara olarak da adlandırılmaktadır. Bu bölgede pruva direği ve başaltı girişi bulunmaktadır. E bölgesi olarak belirlenen kısım ise kıç kasara olarak adlandırılmaktadır ve bu bölgede baca, yaşam mahalli ve köprü üstü bulunmaktadır. A ve E bölgesi arasında kalan kısımlar ise ana güverte olarak isimlendirilir.

Detayları verilen gemi modeline ait bölgelerde meydana gelen rüzgâr karakteristikleri Siemens Star-CCM+ HAD programı ile analiz edilmiştir. Analizler, gemi modelini 1/48 oranında ölçeklendirilerek gerçekleştirilmiştir. Analizler için öncelikle kontrol hacmi oluşturulmuştur. Kontrol hacmi boyutlandırılırken, girişten türbülanslı olarak gelen havanın doğrusallaşması için gemi ile giriş yüzeyi arasında gemi boyunun yaklaşık 3 katı mesafe bırakılmıştır. Akışkanın gemi ile temasından sonra oluşan türbülanslı havanın kontrol hacmi

içerisinde kalabilmesi için gemi ile çıkış yüzeyi arasında gemi boyunun yaklaşık 5 katı mesafe bırakılmıştır. Kontrol hacminin yüksekliği 2 gemi boyu ve genişliği ise 3 gemi boyu mesafe olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Kontrol hacmi ve boyutlandırılmasına yönelik detaylar Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Kontrol hacmi ve boyutlandırılması

Analizler için gerekli olan bir diğer parametre ise rüzgâr hızıdır. Gemilerin rotaları oldukça değişiklik göstermektedir. Gemiler, birkaç ay içerisinde Akdeniz’den Pasifik Okyanusu’na, Hint Denizi’nden Baltık Denizi’ne kadar farklı iklim özelliklerinin görüldüğü coğrafyalarda bulunabilirler. Bu nedenle, model gemi ortamındaki rüzgâr hızı 12.9 knot (~6.6 m/s) olarak kabul edilmiştir. Bu değer, okyanuslar üzerinde 10 m yükseklikteki küresel ortalama rüzgâr hızını ifade eder (Archer, 2005). Model geminin hızı ise 14 knot (~7.2 m/s) olarak alınmıştır. Analizler, gemi seyir halinde iken baş tarafından rüzgâra maruz kalması durumu için değerlendirilmiştir. Burada ifade edilen rüzgâr hızı değerleri Reynold sayısı dikkate alınarak ölçek gemi modeli için yeniden düzenlenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Bu durumda elde edilen bağıl hız değeri ise kontrol hacmi giriş hızı olarak kabul edilmiştir. Çalışmada “K-Omega Türbülans Modeli” kullanılmıştır. Ayrıca, rüzgâr hızı gemiye yerleştirilecek rüzgâr türbininden maksimum elektrik enerjisi üretimi için önemli bir faktördür. Bu etki Denklem 1 ile gösterilebilir (Kurban ve ark., 2007).

$$P = \frac{1}{2} \rho \theta^3 C_p A \quad (1)$$

Burada, P rüzgâr türbininden elde edilebilecek gücü (W),  $\rho$  hava yoğunluğunu ( $\text{kg/m}^3$ ),  $\theta$  ortalama rüzgâr hızını (m/s),  $C_p$  türbin verimini, A ise türbin kanatları süpürme alanını ( $\text{m}^2$ ) ifade eder. Denklem 1’den görüleceği üzere rüzgâr hızında meydana gelecek her bir değişim, rüzgâr türbininde elde edilebilecek güç üretimini küpü oranında etkileyecektir. Bu nedenle, rüzgâr türbinin yerleştirileceği alanın optimum rüzgâr hızını yakalayacak bir bölgeye sahip olması verimi önemli oranda artıracaktır.

Ek olarak, literatürde mevcut her hangi deneysel sonuca rastlanmadığından çalışmada kullanılan sayısal yöntemin doğrulama çalışması yapılamamıştır. Ancak kullanılan sayısal çözücünün ağ sayısı açısından sayısal belirsizliği hesaplanabilmiştir. Belirsizlik çalışması için ITTC tarafından gemi hidrodinamiği alanında önerilen GCI yöntemi kullanılmıştır. Belirsizlik çalışmasında kullanılan ağ sayısı ve aerodinamik direnç katsayısı ( $C_D$ ) değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Ağ sayısı ve  $C_D$  değerleri

Ağ sayısı	$C_D$ değeri
4367164	0.150482
1685013	0.155304
741460	0.146673

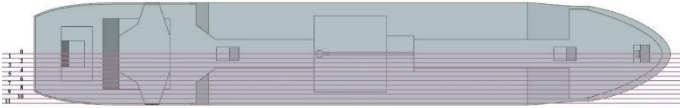
Tablo 1’de görüldüğü üzere sayısal belirsizlik çalışmasında kullanılan skaler büyüklük, ağ sayısı arttıkça lineer bir değişim göstermemektedir. Bu durum sayısal belirsizliğin osilatif olarak yakınsadığına işaretir. Bu değerlere göre sayısal çözücünün mevcut ağ algoritması ile en iyi ağ sayısı için sayısal belirsizliği yaklaşık %4.5 civarındadır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada, güverte üzerinde dikey ve yatayda 1 m’lik katmanlar belirlenerek rüzgâr karakteristikleri her katman için incelenmiştir. Şekil 4 güverte seviyesinden itibaren 1 m’lik yatay (yükseklik) katmanlarını göstermektedir. Şekil 5 ise güverte merkezinden sancak tarafına doğru 1 m’lik dikey katmanları göstermektedir. Böylece, gemi güvertesi üzerinde kalan tüm hacmin belirli kesit aralıklarıyla analiz edilmesi sağlanmıştır.

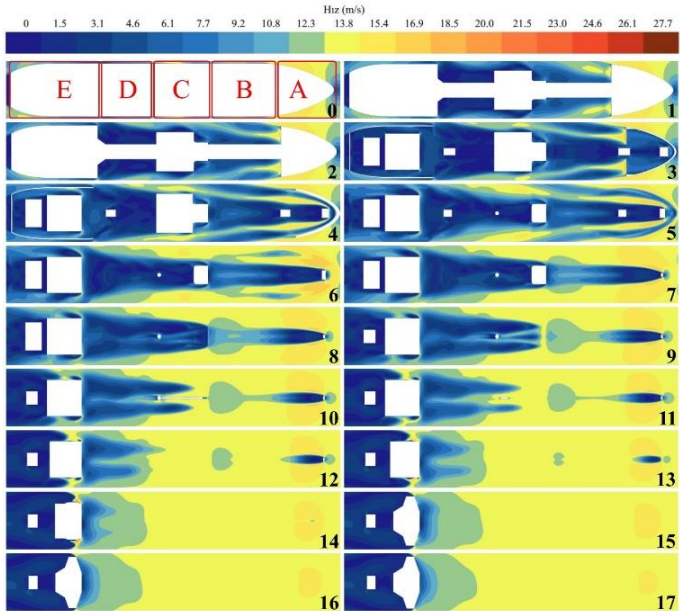


Şekil 4. Güverte katmanları (yatay)



Şekil 5. Güverte katmanları (dikey)

Analizler neticesinde geminin farklı bölgelerinde elde edilen rüzgâr hızları ise Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir. Geminin güverte seviyesinden itibaren 1 m’lik katmanlarda maruz kaldığı rüzgâr hızı dağılımları Şekil 6 ile gösterilmiştir.

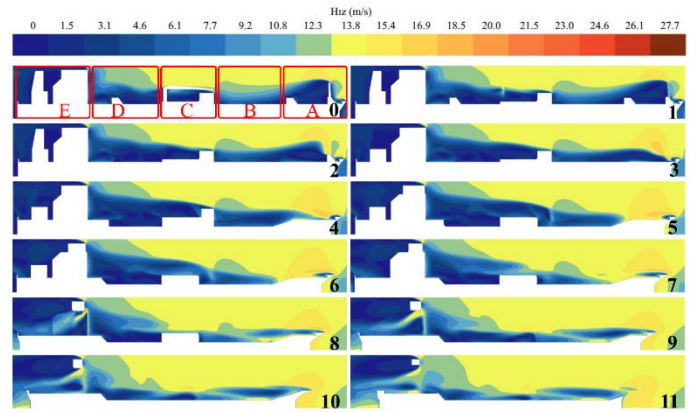


Şekil 6. Tüm katmanların hız kontürleri (yatay)

Şekil 6 geminin güvertesinden itibaren 1 m’lik yüksekliklerde meydana gelen rüzgâr hızı dağılımlarını göstermektedir. Gemi güvertesinden, 17 m yüksekliğe kadar meydana gelen rüzgâr hızı incelendiğinde, yüksek kesitlerde rüzgârın daha az engele maruz kaldığı, rüzgâr hızının da buna bağlı olarak homojen bir dağılım gösterdiği ve geminin baş tarafından gelen rüzgârın karakteristiğini koruduğu

görülmektedir. Bununla birlikte bölgeler tek tek incelendiğinde, A bölgesinde güverte seviyesi 3. katmandan itibaren başlamaktadır. 6. katmandan itibaren ise normalde maruz kaldığı rüzgâr hızından daha yüksek değerlerde rüzgâr hızı elde edilmiştir. B bölgesi incelendiğinde 12. katmandan itibaren rüzgâr hızı homojen bir dağılım göstermiştir. Özellikle 5. katmana kadar trunk baş girişi ve pruva direği sebebiyle daha düşük rüzgâr hızları meydana gelmiştir. Bununla birlikte 7. katmandan itibaren trunkun dışında kalan bölgelerde daha homojen ve ilk 5 katmana göre daha etkili rüzgâr hızı yakalanabileceği ifade edilebilir. C bölgesi incelendiğinde 12. katmandan itibaren rüzgârın homojen ve kendi karakteristiğini koruduğu bir rüzgâr yoğunluğu elde edilmiştir. Bu seviyenin altında kalan katmanlarda vinç ve yakıt transfer üniteleri bulunduğu için çok düşük rüzgâr hızları oluşmuştur. D bölgesinde ise geminin baş tarafından gelen rüzgâr bu kısma ulaşana kadar, karşılaştığı güverte ekipmanları ve yapılarından dolayı tüm katmanlarda düşük rüzgâr hızlarına rastlanmıştır. E bölgesi incelendiğinde ise yaşam mahallinin, köprü üstü ve baca yapılarının bu bölgede olması sebebiyle, bu alan yeterince rüzgâr etkisine maruz kalamamıştır ve bu nedenle tüm katmanlarda düşük rüzgâr hızı karakteristiklerine rastlanmıştır.

Ayrıca, geminin güverte merkezinden sancak tarafına doğru 1 m’lik dikey katmanlarda maruz kaldığı rüzgâr hızı dağılımları Şekil 7 ile gösterilmiştir.



Şekil 7. Tüm katmanların hız kontürleri (dikey)

Şekil 7 geminin güverte merkezinden sancak tarafına doğru 1 m’lik katmanlarda meydana gelen rüzgâr yoğunluklarını göstermektedir. Genel anlamda, güverte merkezinden iskele veya sancak tarafına doğru ilerledikçe daha homojen ve yüksek hızlarda rüzgâr yoğunluğu elde edilmiştir. Bölgesel olarak incelendiğinde, A ve B bölgesinin diğer bölgelere göre daha yüksek ve homojen bir rüzgâr dağılımına sahip olduğu bu kesit alanından da görülmektedir. Bununla birlikte, C bölgesinde bulunan güverte üstü yapıları geminin baş kısmından gelen rüzgâra karşı engel oluşturmuştur. Bu durum, D ve E bölgelerinde de heterojen ve düşük rüzgâr hızlarının olduğu bir alan meydana getirmiştir.

Özetle, referans alınan gemi modeli için yapılan çalışma sonucunda rüzgâr hızı karakteristiği dikkate alındığında rüzgâr türbini yerleşim için en uygun birinci alanın A bölgesi olduğu ifade edilebilir. Fakat bu bölge, çoğu tanker gemisi modelinde bulunan ırgat ve güverte ekipmanlarından dolayı büyük güç kapasiteli rüzgâr türbini yerleşimine uygun olmayabilir. Böyle bir engel ile karşılaşılması durumunda, daha düşük kapasiteli rüzgâr türbinleri bu bölgeye yerleştirilebilir ve böylece ilgili bölgeden maksimum verim alınabilir. Belirtilen nedenlerden dolayı A bölgesine herhangi bir türbin yerleşiminin yapılamaması

durumunda ikinci en uygun alanın B bölgesi olması muhtemeldir. Bu bölgede nispeten A bölgesine göre daha düşük ve diğer bölgelere göre daha yüksek ve homojen rüzgâr dağılımı yakalanabilir. Bu bölgenin avantajı, diğer bölgelere nispeten farklı kapasitelerdeki rüzgâr türbinlerinin güvenle çalışmasını engelleyebilecek ekipmanların bulunmaması veya daha az olmasıdır. Herhangi bir nedenle, B bölgesine türbin yerleşiminin yapılamaması durumunda ise üçüncü en uygun alanın C bölgesi olması muhtemeldir. Bu bölgede yakıt transferi işlemlerinin yapılması ve bölgenin vinç menzili içerisinde kalma potansiyeli bulunmakla birlikte, iskele ve sancak taraflarına yakın bölgelerde türbin yerleşimine uygun rüzgâr karakteristikleri elde etmek mümkündür. Belirtilen kısımlara rüzgâr türbini özelliğine bağlı olarak türbinin yerleştirilip yerleştirilemeyeceğine gemi operasyonları dikkate alınarak karar verilebilir. D ve E bölgelerinin ise diğer bölgelere göre daha heterojen ve daha düşük bir rüzgâr hızı yoğunluğuna sahip olmasından dolayı yüksek kapasiteli rüzgâr türbini yerleşimi için verimli olmadığı görülmektedir.

Her ne kadar üzerinde çalışılan gemi modeli için optimum rüzgâr türbini yerleşimi ifade edilen bölgeler için daha verimli olsa da, bu tür analizlerin her bir gemi özelinde yapılması daha doğru sonuçlar verecektir. Çünkü gemiler faaliyetlerine göre yük gemisi, tanker gemisi gibi farklı türlere ayrılrsa da her bir gemi türü de kendi içerisinde farklı ekipmanlara veya tasarımlara sahip olmaktadır. Bu durum, aynı gemi türleri için de en uygun rüzgâr yoğunluğu bölgesinin belirlenmesinde farklılık gösterebileceği anlamına gelir. Bu tür uygulamalardan önce geminin detaylı olarak modellenmesi ve varsa çalışacağı bölgenin rüzgâr karakteristiğine göre detaylı analizlerinin yapılması veya geminin farklı rüzgâr karakteristiklerine maruz bırakılması ile gemide uygulanması planlanan rüzgâr türbini modeli için en uygun konumun belirlenebileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, bu çalışma ile gemilere rüzgâr türbininin optimum yerleştirilmesine yönelik alternatif bir yaklaşım sunulması amaçlanmıştır. Çalışma bu kapsamda değerlendirildiğinde, önerilen yaklaşımın literatüre ve sektöre yenilenebilir enerji kaynaklarının gemilere entegrasyonu konusunda farklı bir bakış açısı kazandırması ve katkı sunması beklenmektedir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, bir tanker gemisi modeline rüzgâr türbini entegrasyonu için en uygun alanın tahmin edilmesi konusu incelenmiştir. Çalışma kapsamında, seyir halindeki bir tanker gemisi baş tarafından rüzgâra maruz bırakılmıştır. Sonrasında, gemi üzerinde oluşan rüzgâr karakteristiği haritalandırılmış ve rüzgâr türbininin yerleştirilebileceği en uygun bölgeler tahmin edilmiştir. Sonuç olarak, baş kasara, ön ana güverte ve vasat bölgelerinde diğer bölgelere göre daha yüksek rüzgâr hızları elde edilmiştir. Bu bölgelerde, gemi operasyonlarına ve türbin yerleşimine engel oluşturacak her hangi bir durum bulunmaması durumunda sırasıyla baş kasara, ön ana güverte ve vasat bölgelerinden maksimum verim alınabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte, bu bölgelerde gemi operasyonlarına yönelik ekipmanların bulunması durumu dikkate alındığında, ön ana güverte bölgesinde daha az engelle karşılaşılabileceği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, hem gemi operasyonlarının güvenli bir şekilde gerçekleşmesi hem de gemi için seçilecek rüzgâr türbini modelinin dikkate alınarak optimum yerleşim alanının belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışma ile gemilerde rüzgâr türbini uygulamalarından optimum verim alınabilmesi için alternatif yaklaşımların kullanılabilirliği vurgulanarak, bu tür

analizlerin uygulama yapılacak gemi ve rüzgâr türbini modeli özelinde yapılmasının enerji verimliliğini artırabileceği ifade edilmiştir.

#### Kaynakça

- Antai, E. E., & Williams, E. E. (2021). A study to investigate the option of applying a towing kite to an existing tanker vessel as a hybrid propulsion system. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 03(04).
- Arca, D., & Keskin Çıtıröğlü, H. (2020). Güneş enerjisi santral (GES) yapım yerlerinin CBS dayalı çok kriterli karar analizi ile belirlenmesi: Karabük örneği. *Geomatik*. doi:10.29128/geomatik.803200
- Archer, C. L. (2005). Evaluation of global wind power. *Journal of Geophysical Research*, 110(D12). doi:10.1029/2004jd005462
- Aydıner, İ., & Öztürk, D. (2021). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak Ege denizi'nde rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için yer seçimi. *Deu Muhendislik Fakültesi Fen ve Muhendislik*, 23(67), 217-232. doi:10.21205/deufmd.2021236719
- Biröl, Y. E., & Demirgil, B. (2021). Rüzgâr enerjisi üretimi ve ekonomik büyüme ilişkisi: AB-15 ülkeleri için bir panel veri analizi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. doi:10.18070/erciyesiibd.952820
- Ekiz, S., Şirin, A., & Erener, A. (2021). En uygun rüzgâr enerji santrali yerlerinin coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi: Kocaeli ili örneği. *Journal of Geodesy and Geoinformation*, 9(1), 59-79. doi:10.9733/jgg.2022r0005.t
- Ionescu, R. D., Szava, I., Vlase, S., Ivanoiu, M., & Munteanu, R. (2015). Innovative solutions for portable wind turbines, used on ships. *Procedia Technology*, 19, 722-729. doi:10.1016/j.protcy.2015.02.102
- IRENA, International Renewable Energy Agency. (2022), Wind energy data. Retrieved June 06, 2022, from, <https://www.irena.org/wind>.
- Karasu Aşnaz, M. S., & Yüksel, B. (2018). Bir rüzgâr enerji santralindeki rüzgâr türbinlerinin yerleşimlerinden kaynaklanan güç kayıplarının hesaplanması. *Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1-13. doi:10.25092/baufbed.485820
- Karipoğlu, F., Öztürk, S. & Genç, M. S. (2021). Determining suitable regions for potential offshore wind farms in Bandırma Bay using multi-criteria-decision-making method. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*. doi:10.46387/bjesr.900204
- Kim, T. K., & Yaakob, O. (2016). Adaptation of wind power for ship essential service system onboard. *Journal of Transport System Engineering*, 08-19.
- Kurban, M., Kanta, Y. M., & Hocaoglu, F. O. (2007). Weibull dağılımı kullanılarak rüzgâr hız ve güç yoğunluklarının istatistiksel analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 205-218.
- Kükner, A., & Kaplan, C., (2017). Yenilenebilir enerji kaynakları ve alternatif sevk sistemlerinin yatarda uygulanması. *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, (204), 73-88.
- Lu, R., & Ringsberg, J. W. (2019). Ship energy performance study of three wind-assisted ship propulsion technologies including a parametric study of the Flettner Rotor Technology. *Ships and Offshore Structures*, 15(3), 249-258. doi:10.1080/17445302.2019.1612544

- Margetta, R. (2021). 2021 tied for 6th warmest year in continued trend, NASA analysis shows. Retrieved April 24, 2022, from <https://www.nasa.gov/press-release/2021-tied-for-6th-warmest-year-in-continued-trend-nasa-analysis-shows>
- Moulas, D., Shafiee, M., & Mehmanparast, A. (2017). Damage analysis of ship collisions with offshore wind turbine foundations. *Ocean Engineering*, 143, 149-162. doi:10.1016/j.oceaneng.2017.04.050
- Penloup, Q., Roncin, K., & Parlier, Y. (2021). Influence of kite characteristics on propulsive power applied to ship auxiliary propulsion. *Journal of Sailing Technology*, 6(01), 173-192. doi:10.5957/jst/2021.6.1.173
- Sarı, S., Dogrul, A., & Bayraktar, S. (2022). The aerodynamic wind loads of a naval surface combatant in model scale. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 68-76. doi:10.1007/978-3-031-05230-9\_7
- Seddiek, I. S., & Ammar, N. R. (2021). Harnessing wind energy on merchant ships: case study flettner rotors onboard bulk carriers. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(25), 32695-32707. doi:10.1007/s11356-021-12791-3
- Şentürk, A. E., & Elif, O. (2020). Karasal ve deniz üstü rüzgâr çiftliklerinin ekonomik ve çevresel etkilerinin incelenmesi. *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, 28(217), 5-32.
- Tortumluoğlu, M. İ., & Doğan, M. (2021). Açık deniz rüzgar türbinleri için uygun yer seçim kriterlerinin irdelenmesi ve kuzey ege kıyılarına uygulanması. *Deu Muhendislik Fakültesi Fen ve Muhendislik*, 23(67), 25-41. doi:10.21205/deufmd.2021236703