



Motoryat Motorlarında Aynı Mil Kullanılarak Çok Pervaneli Sistem Üzerine Yapay Zekâ Destekli Teorik Çalışma Artificial Intelligence-Assisted Theoretical Study on Multi-Propeller System Using the Same Shaft in Motoryacht Engines

Anılcan SARIKAYA¹

¹Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Kapadokya Meslek Yüksekokulu, Kapadokya Üniversitesi, Nevşehir, TÜRKİYE

anilcan.sarikaya@kapadokya.edu.tr —ORCID> [0000-0001-6206-0162](https://orcid.org/0000-0001-6206-0162)

Makale Bilgisi / Article Information

Makale Türü / Article Types	Araştırma Makalesi / Research Article
Alınış Tarihi / Received	16 Ağustos / August 2025
Kabul Tarihi / Accepted	09 Ekim / November 2025

Yıl / Year: 2025 | **Cilt / Volume:** 2 | **Sayı / Issue:** 2 | **Sayfa / Pages:** 67-77

Atıf Formatı / Cite as: A. Sarıkaya, "Motoryat motorlarında aynı mil kullanılarak çok pervaneli sistem üzerine yapay zekâ destekli teorik çalışma," Hendese Journal of Technical Sciences and Engineering, Vol. 2, No. 2, pp. 67-77, 2025, doi: 10.5281/zenodo.17474571.

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Anılcan SARIKAYA

Motoryat Motorlarında Aynı Mil Kullanılarak Çok Pervaneli Sistem Üzerine Yapay Zekâ Destekli Teorik Çalışma

Anılcan SARIKAYA^{1*} 

¹Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Kapadokya Meslek Yüksekokulu, Kapadokya Üniversitesi, Nevşehir, TÜRKİYE

(Alınış / Received: 16.08.2025, Kabul / Accepted: 09.10.2025, Online Yayınlanma / Published Online: 30.10.2025)

Anahtar Kelimeler

Motoryat motorları,
Çok pervaneli sistem,
Stabilite,
Deniz araçları,
Hızlanma,
Konfor

ÖZET

Motoryatlarda günümüz teknolojisi kullanılarak yeni tip motorlar kullanılmaktadır. Yeni tip motorların pervanelerinde tasarım farklılıkları olmuştur. Bu tip deniz araçları tek motorlu olduğunda aynı rot ayarı yapılmamış gibi bir yöne doğru gitmektedir. Bu sorun motoryat süren kaptanlar için konfor eksikliğidir. Toplamda aynı pervane büyüklüğüne sahip dört pervaneli ve ters çalışma ile büyük ölçekte dengeye sahip olunabilmektedir. Motordaki pervane sistemi suyu tahliye ederken bir akış oluşturur. Dört pervaneli sistem yine aynı tahrik miline bağlı olmaktadır. Dolayısı ile aynı motor pervanesi çıkarılarak, yerine dört pervaneli ve ters akış mantığı ile çalışan yeni nesil motor pervane sistemi yerleştirildiğinde stabilitenin sağlanacağı görülmüştür. Bu araştırma kapsamında eski tek pervaneli sistem ile çok pervaneli sistemler tartışılacaktır. Yapılan çalışma, bizlere yeni teknolojileri ve güncel fikirleri karşılaştırma fırsatı sunacaktır. Neredeyse aynı maliyete, araştırma geliştirme ile teknelerde ve deniz araçlarında büyük konfor sağlanacaktır. Buradaki tek fark üretim için harcanan zaman veya özen olacaktır. Makale kapsamında tekne ve motor tipleri anlatılacak ve konu ile ilgili analizler paylaşılacaktır. Çalışma gelecek çalışmaların da önünü açacak ve mevcutta kullanılan motor hareket mekanizmalarının değişebileceği hususunda çözüm sunacaktır. Tek pervane sistemlerine kıyasla, aynı mil üzerinde çoklu pervane kullanımı ile elde edilen itki kuvveti artışı %12–18 arasında değişmiştir.

Artificial Intelligence-Assisted Theoretical Study on Multi-Propeller System Using the Same Shaft in Motoryacht Engines

Keywords

Motor yacht engines,
Multi-propeller system,
Stability,
Marine vessels,
Acceleration,
Comfort

ABSTRACT

New types of engines are being used in motor yachts using modern technology. There are design differences in the propellers of these new types of engines. These single-engine vessels tend to steer in the same direction, as if the rod hadn't been adjusted. This problem creates a lack of comfort for captains driving motor yachts. A large degree of stability can be achieved with four propellers of the same overall size and operating in reverse. The engine's propeller system creates a flow when discharging water. The four-propeller system is also connected to the same drive shaft. Therefore, it has been observed that removing the same engine propeller and replacing it with a new-generation engine propeller system with four propellers and operating in reverse flow principle will ensure stability. This research will discuss the old single-propeller system and multi-propeller systems. This study will provide an opportunity to compare new technologies and current ideas. With research and development, boats and marine vessels can achieve great comfort at almost the same cost. The only difference here is the time and care spent on production. This article will describe boat and engine types and provide relevant analyses. The study will pave the way for future research and offer solutions to potential changes to existing engine drive mechanisms. Compared to single-propeller systems, the thrust increase achieved by using multiple propellers on the same shaft ranged from 12% to 18%.



Published by Muş Alparslan University, Muş, Türkiye
This is an open access article under the CC BY-NC license

*Corresponding Author / Sorumlu Yazar: anilcan.sarikaya@kapadokya.edu.tr

Cilt / Volume: 2

Sayı / Issue: 2

Atıf Formatı / Cite as: A. Sarıkaya, "Motoryat motorlarında aynı mil kullanılarak çok pervaneli sistem üzerine yapay zekâ destekli teorik çalışma," *Hendese Journal of Technical Sciences and Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 67–77, 2025, doi: 10.5281/zenodo.17474571.

1. GİRİŞ

Günümüzde denizcilik sektöründe performans, verimlilik ve çevresel sürdürülebilirlik gibi kriterler doğrultusunda motor sistemlerinin yeniden tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Özellikle motoryatlarda kullanılan tahrik sistemleri hem yakıt tüketimi hem de manevra kabiliyeti açısından kritik rol oynamaktadır. Bu bağlamda, aynı mil üzerinde çoklu pervane kullanımı, geleneksel tek pervaneli sistemlere kıyasla potansiyel avantajlar sunan yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 1. Yaklaşık 50 metre uzunluğunda sahip tekne.

Çok pervaneli sistemlerin dinamiklerini yapay zekâ destekli analiz yöntemleriyle inceleyerek, optimum tasarım parametrelerinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Yapay zekâ algoritmaları, karmaşık akışkanlar mekaniği problemlerinin çözümünde ve sistem davranışlarının modellenmesinde güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu sayede, farklı pervane konfigürasyonlarının aynı mil üzerinde nasıl etkileşimde bulunduğu, sistemin genel performansına olan etkileriyle birlikte değerlendirilebilmektedir.



Şekil 2. Motoryat görseli.

Çalışma kapsamında; mil üzerindeki pervane sayısı, pervane çapı, açıları ve yerleşim geometrileri gibi değişkenler dikkate alınarak, yapay zekâ algoritmalarıyla simülasyon temelli analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, motoryat tasarımında yeni nesil tahrik sistemlerinin geliştirilmesine ışık tutacak niteliktedir.



Şekil 3. Tekne görseli.

Yelkenli tekne seçimi karmaşık bir süreçtir ve bu seçimlerde önemli kriterlerin dikkate alınması gerekir. Makine markası, arma yapısı ve durumu, yelken alanı ve sayısı, elyaf durumu ve yelken türü gibi faktörler. Yelkenli tekne seçiminde belirleyici faktörler. Makine markası teknenin motor performansını etkilerken, donanım yapısı ve durumu güvenlik ve dayanıklılık açısından kritik öneme sahiptir. Yelken alanı ve boyutu teknenin performansını belirlemede önemli rol oynarken, lif durumu hafiflik ve dayanıklılık açısından değerlendirilir. Ayrıca, yelken türü de kullanım amacına ve yelken koşullarına uygunluğu açısından belirleyici bir faktördür. Tüm bu kriterlerin dikkatlice değerlendirilmesi, turizm şirketlerine en uygun yelkenli tekneyi seçmede rehberlik edecektir. Bu çalışmada, yalnızca yelken donanımına sahip teknelere kısıtlama getirilmiştir [1].

Motoryat ve tekne tasarımı gemilerde kullanılan mühendisliğin en çok ilgi çekmekte ve belki de en çok keyifli kısımlarından biri olarak kabul edilmektedir. Motor yat, yelkenli veya tekne tasarlandığına bağlı olarak bir o kadar fazla karmaşık yapıdan derin ve kapsamlı bir mühendislik çalışmasını da beraberinde gerektirmektedir. Tüm bu karmaşık çalışmalara ilave olarak bunlara ek estetik kaygılar da tüm bu ergonominin önemi ortaya çıkmıştır. Tasarımının keyifli olmasıyla birlikte bir o kadar çok disiplinli ve çok boyutlu karmaşık problemlerin

ortasında kalan tasarımcılar tekne sahibinin kişisel özelliklerini yansıtır [2].

Yapılan bir çalışmada denizdeki turizm açısından değerlendirildiğinde yani, önemli ulaşım araçlarında olmak üzere kurvaziyerlerde, yatlarda, yolcu gemilerinde, tekne ve motoryatlarda elektrikten beslemeli, güçlü yani tahrik mekanizmalı ve hibrit taşıt sistemlerin kullanımı yaygınlaşmakta olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu sistemlerde kullanılmayan sabit kanatlı pervanelere alternatif olacak farklı pervane versiyonları mevcuttur. Yapılan çalışmada, elektrikten beslemeli ve hatve kontrollü mekanizmasına sahip pervaneye sahip teknenin ve motoryatların, sabit kanatlı pervane sistemine göre karşılaştırmalı analizleri yapılan çalışmalarda görülmüştür [3].

Daha önce yapılan çalışmalarda detaylı hesaplamalar yapılırken gemi olağan hızlar esas alınmıştır. Yine bu gemilerin güce karşılık gemi hızı grafikleri çizime dökülmüş ve sonuçlar anlaşılmıştır. Gelecek çalışmalara örnek olarak diğer sistemler arası karşılaştırmalar için geminin hızı yerine geminin itki gücü hesaplanarak güce karşılık itki grafiği daha iyi sonuç vereceği daha önceki çalışmalarda bahsedilmiştir. Yapılan bir diğer çalışmada motorbotların dirençleri tahmini üzerine çalışılmıştır. Bu bizlere kullanılan deniz taşıtları hakkında fikirler verebilmektedir. Yapılan çalışmada, tekne ve motorbotlarda Savitsky'nin [4] araştırmalarına esasla güç ve direnç hesabı örnek alınmış tekneye ve bu teknenin farklı uzunluklara sahip diğer örneklerine uygulanmıştır. Tekno ve motoryat boy değişiminin direnç üzerindeki etkisine bakacak olursak direnç, düşük hızlarda boydan çok fazla etkilenmeyeceği hesap edilmiştir. Fakat yüksek hızlara çıkıldığında direnci boyun artmasıyla birlikte yükselmektedir. Tekne boyunun çok fazla artmasıyla birlikte Froude sayısı azalmakta bu nedenle tekne kayıcı özelliğini bir o kadar o oranda kaybetmektedir. Tüm kayıcı yani dirençlik özellikleri tekne uzunluğuna bağlı olarak kıyaslanmıştır [5]. Yapılan bir çalışma ele alındığında ileride yapılacak çalışmalarda kontrol edilebilen 180 derece dönme kabiliyetine sahip, bir servo motor düzenekli otomatik hale getirilebilmektedir. Mekanik aksamın çalışması, kullanılan malzemelerin dayanıklılığı, performans vb. konular sistemin gerçek ortamda yapılacak gerçekçi testlerden elde edilecek tecrübe ve gözlemlerle iyileştirilebilir. Kaviteasyon ve tekneyle birlikte hesaplamalı akışkan dinamiği analizlerinin gerçekleştirilmesi planlanmakta olduğu belirtilmiştir [6].

Yapılan bir diğer çalışmada, tek ve çift konfigürasyon motorlu, tek dümenli ve dümen sistemlerinin kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bodrum Guletleri incelendiğinde çift dümen kullanımının bu yatların direnç ve manevra kabiliyeti karakteristikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması yapılmıştır ve motor sayısına bağlı olarak incelendiğinde pervanelerin boyutu, yatak sayıları, braket geometrisi gibi değişen parametrelerin yanı sıra eklentilerin teknenin seyir hızındaki akış dağılımı üzerindeki etkilerinin CFD analizi kullanılarak belirlenmesi gelecekteki olası araştırma konuları arasında olarak kabul edilmektedir [7]. Yelkenliler teknelerin seçiminde belirleyici faktörlerdir. Makinenin markası, kullanılmak istenen teknenin motor performansını etkilerken, yine teknenin

donanım yapısı ve teknenin durumu güvenliği ve dayanıklılığı açısından oldukça kritik öneme sahiptirler. Yelkenlinin alanı ve boyutu teknelerin performansını belirlemede oldukça önemli rol oynamaktadır. Teknenin elyaf durum hafiflik ve dayanıklılık açısından değerlendirilmektedir. Ayrıca teknenin yelken tipi, kullanım amacına ve yelken koşullarına uygunluğu açısından belirleyici bir faktör olmaktadır. Tüm bu değerlerin ve kriterlerin dikkatlice değerlendirilmesi, turizm şirketlerine en uygun yelkenli tekneyi seçmede yol gösterici olmaktadır. Yapılan çalışmada belirlenen en önemli ana kriter ve alt kriterler gelecekte yat turizminde önemli bir yere sahip olan motor yatlar ve diğer yolcu tekneleri için çalışmalar yapılabilir. [7].

İlgili çalışmada sunulan ağırlık tahmin yöntemleri, daha önce Watson ve Gilfillan [8], Karayannis ve ark. [9] ile Grubisic [10] tarafından geliştirilen modellere alternatif bir yaklaşım olarak önerilmektedir. Bu yeni formülasyonlar, özellikle çelik gövdeli motoryatlar için optimize edilmiş olmaları nedeniyle önemli bir avantaj sunmaktadır. Sunulan denklemler, önceki yöntemlere kıyasla motoryatların fiziksel ve yapısal özelliklerini daha kapsamlı biçimde dikkate alabilmektedir. Bununla birlikte, önerilen modellerin temel sınırlamalarından biri, yatın alt sistem ve bileşenlerinin ayrı ayrı ağırlıklarını tahmin edememesidir. Ancak bu sadeleştirme sayesinde, matematiksel ilişkiler daha anlaşılır hale gelmiş ve hesaplama süreci önemli ölçüde kolaylaştırılmıştır. Çalışmada tanıtılan yaklaşım, Vasconcellos [11], Cepowski [12], Karayannis ve Bortnowska [13] gibi araştırmacıların yöntemlerini genişleterek, 30 ila 86 metre uzunluğundaki motoryatlar için daha kapsamlı bir ağırlık tahmini sunmaktadır. Ayrıca, bu denklemlerin güncel motoryat veri tabanları kullanılarak türetilmiş olması, yöntemin sektördeki son tasarım eğilimlerini belirli ölçüde yansıttığını göstermektedir. [12].

Yapılan bir çalışmada, ters dönen çift pervane (CRP – Contra-Rotating Propeller) sistemlerinin tasarımı ve performans tahminine yönelik yöntemler ele alınmış; bu kapsamda, 8.600 TEU kapasitesine sahip bir konteyner gemisi üzerinden özel bir örnekle analiz gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, CRP sistemlerinin itki verimliliğini belirgin şekilde artırdığını ve bu sayede aynı güç seviyesinde yakıt tüketiminin azaltılabileceğini göstermektedir. Söz konusu örnek gemi üzerinden yapılan değerlendirmeler, CRP sisteminin tek pervane konfigürasyonuna kıyasla daha yüksek enerji verimliliği sunduğunu ortaya koymuştur. Bu bağlamda, sistemin performansına ilişkin çeşitli ekstrapolasyon yöntemleri karşılaştırılmıştır. Yöntem 1 ve 2'nin doğruluğu sorgulanırken, Yöntem 3'ün temkinli bir yaklaşım sunduğu, Yöntem 4'ün ise nispeten iyimser fakat teknik açıdan kabul edilebilir olduğu değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, model ölçekli gemilerde elde edilen verimlilik artışının, tam ölçekli gemilerdeki iyileştirmenin alt sınırı olarak kabul edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu nedenle, tam ölçekli gemiler için itki verimliliğinde %2–3 oranında ek bir iyileştirme öngörülmesi önerilmektedir. Bu öneri, tek pervane sistemlerinde tam ölçekli pervanelerin performansının genellikle model ölçekli versiyonlara göre %2–3 daha iyi sonuçlar verdiği gözlemini desteklemektedir [14].

Yapılan bir çalışmada, arama-kurtarma ve keşif gibi görevlerde kullanılmak üzere geliştirilen insansız su altı aracının itici motorunda görev alacak bir pervanenin titreşim davranışları incelenmiştir. Pervanenin serbest titreşim karakteristikleri, sonlu elemanlar analiz yazılımı ANSYS kullanılarak elde edilmiştir. Aynı yazılım aracılığıyla, pervaneye etki eden dış kuvvetlerin oluşturduğu titreşim frekansları da hesaplanmış ve bu değerler karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları, rezonans frekansının planlanan çalışma devrinden oldukça yüksek olduğunu göstermiştir. Bu durum, sistemin rezonansa girme riskinin bulunmadığını ve güvenli çalışma koşullarını sağladığını ortaya koymaktadır. Ek olarak, belirli bir açılma hızda çalışan pervanenin yapısal deformasyona uğrayıp uğramadığı da ANSYS üzerinden değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda, pervanede herhangi bir kritik deformasyon veya yapısal bozulma gözlemlenmemiştir. Tüm bu teknik incelemeler neticesinde, söz konusu pervanenin insansız su altı aracı bünyesinde, belirlenen çalışma aralığında güvenli ve etkin biçimde görev yapabileceği sonucuna ulaşılmıştır [15].

Yapılan bir çalışmada, tipik Dağıtılmış Elektriksel İtici (DEP) konfigürasyonlarında yer alan çoklu pervane sistemleri ile alt akışta konumlandırılmış kanat yapısı arasındaki karmaşık aerodinamik etkileşimler, ağırsız bir hesaplama yöntemi olan rVPM (regularized Vortex Particle Method) kullanılarak analiz edilmiştir. İzole pervane ve pervane-kanat kombinasyonlarının farklı operasyonel koşullar altındaki davranışları, mevcut literatürde yer alan deneysel ve sayısal verilerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca, alt akışta yer alan kanadın aerodinamik performansı iki farklı hücum açısı ve iki ayrı dönüş yönü altında değerlendirilmiştir. Bu analizler, sistemin genel verimliliğini etkileyen parametrelerin anlaşılmasına katkı sağlamış ve rVPM modelinin bu tür konfigürasyonlar için geçerli bir tahmin aracı olduğunu ortaya koymuştur [16].

Diğer bir çalışmada, çok rotorlu hava araçlarında kullanılan pervane konfigürasyonlarının itme sistemi verimliliği üzerindeki etkilerini incelemektedir. Araştırma kapsamında beş farklı tasarım alternatifi değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, itici (pusher) konfigürasyonun özellikle havada sabit kalma (hover) koşullarında daha yüksek verimlilik sağladığını ortaya koymuştur. Bu konfigürasyonda %2 ila %4 arasında bir verimlilik artışı gözlemlenmiştir. Ancak bu kazanım, iniş takımlarının daha yüksek konumlandırılması ve karmaşık entegrasyon gereksinimleri nedeniyle ek yapısal ağırlıkla birlikte gelmektedir [17].

Çalışmada ayrıca üç kanatlı pervane tasarımı da test edilmiştir. Bu versiyon, %2 ila %6 oranında daha düşük verimlilik sunmasına rağmen, daha düşük devir/dakika ile çalıştığı için gürültü seviyesini azaltmakta ve operasyonel güvenliği artırmaktadır. Bu yönüyle, performans kaybına rağmen bazı görev profilleri için avantaj sağlayabileceği değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, pervane konfigürasyonunun seçimi, sadece itme verimliliği değil; ağırlık, gürültü, entegrasyon karmaşıklığı ve görev gereksinimleri gibi çok boyutlu kriterler doğrultusunda ele alınmalıdır. Bu çalışmada, çok pervaneli ve eğimli kanat yapısına sahip hava araçları için

geçici aeroelastik tepkiyi hızlı ve etkili biçimde analiz edebilen bir yöntem önerilmiştir. Geliştirilen yaklaşım, orta düzey deformasyonlara dayalı kiriş teorisini temel almakta; rotor ile kanat arasındaki elastik ve ataletsel etkileşimleri dikkate almaktadır. Aeroelastik dinamik modelin oluşturulmasında, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) ile uyarlanmış şerit teorisi kullanılmıştır. Önerilen analiz yönteminin doğruluğunu test etmek amacıyla, Çin'de büyük ölçekli birçok pervaneli/eğimli kanatlı sistem üzerinde eğim geçiş dinamiği deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda özel bir test çoklanmış, eğim geçişine uygun bir deney platformu kurulmuş ve ölçüm prosedürleri tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçlar üç ana başlıkta özetlenebilir: Model Doğruluğu ve Aeroelastik Kuplaj incelendiğinde, deneysel model ve yöntem, eğim geçiş sürecinde sistemin karmaşık aeroelastik kuplaj dinamiklerini başarıyla ortaya koymuştur. Analitik model, geçiş sırasında aeroelastik davranışları yüksek doğrulukla tahmin edebilmiştir. Modal frekanslar ile uç deformasyonları arasındaki hesaplama ve ölçüm farkları sırasıyla %5 ve %10'un altında kalmıştır. Ancak eğimli konfigürasyonda kanadın durma fazı nedeniyle deformasyon ve yük tahminlerinde hata payı artmaktadır. Buna karşın, çok pervaneli yapı daha stabil bir akış alanında çalıştığı için bu tür hatalar önemli ölçüde azalmaktadır. Yine de rotor ve kanat arasındaki aerodinamik etkileşim, durma fazı hesaplamalarında bazı belirsizlikler yaratmaktadır. Ayrıca, çoklu rotorların bozucu etkisi nedeniyle titreşim genliği eğimli konfigürasyona göre daha yüksek gözlemlenmiştir. Modal Frekans Üzerindeki Etkileri incelendiğinde, Rotor-kanat kuplajı, kanadın doğal frekanslarını düşürmektedir. Özellikle ön kenarda konumlanan rotorlar, burulma frekansında belirgin bir azalmaya yol açmakta ve dikey eğilme ile burulma modları arasında negatif bir etkileşim oluşturmaktadır. Rotor izinin dinamik bükülmesi, indüklenen giriş akışını artırarak rotor üzerindeki aerodinamik yükleri etkilemektedir. Aynı zamanda, kanadın dinamik eğilmesinden kaynaklanan atalet kuvvetleri ile rotorun jiroskopik ve Coriolis etkileri, sistemdeki titreşimleri ve kuplajı daha da şiddetlendirmektedir. Geçiş Süresi ve Uçuş Hızının Etkisi incelendiğinde, farklı eğim geçiş senaryoları karşılaştırıldığında, daha kısa geçiş süresi ve daha yüksek ileri uçuş hızının, rotor ve kanat arasındaki aerodinamik etkileşimi artırdığı ve kuplajın daha güçlü hale geldiği görülmüştür. Bu durum, kanat üzerindeki yüklerin artmasına ve üç boyutlu titreşim kuplajının belirginleşmesine neden olmaktadır. Örneğin, 12 saniyelik geçişteki titreşim genliği, 20 saniyelik geçişe göre %60'tan fazla artarken; 14 m/s hızdaki geçişteki titreşim genliği, 10 m/s'ye kıyasla %150'nin üzerinde artış göstermektedir. Bu nedenle, rezonans riskini azaltmak için rotorun temel frekansının kanadın modal frekansından uzak tutulması ve geçiş süreci için uygun kontrol stratejilerinin geliştirilmesi önerilmektedir [18].

Yapılan bir çalışmada, drone pervane sistemlerinin tasarımını iyileştirmek amacıyla literatürde ilk kez kullanılan yeni bir matematiksel modelleme yaklaşımı geliştirilmiştir. Modelin etkinliğini değerlendirmek üzere, gerçek sistem verilerine dayalı bir uygulama gerçekleştirilmiş ve Alpha Mini adlı drone'un pervane yapısı referans alınmıştır. İlk aşamada, ilgili pervane parametreleri doğrultusunda matematiksel modelleme yöntemi kullanılarak çok hedefli bir optimizasyon süreci yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlar, mevcut pervane

ölçüleri ve simülasyon çıktılarıyla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, geliştirilen modelin dört farklı performans kriterini (itki, verimlilik, tlf ve tdf) aynı anda optimize edebildiği belirlenmiştir. Buna karşın, simülasyon algoritmasının yalnızca "itki" ve "tlf" hedeflerinde başarılı sonuçlar verdiği; "verimlilik" ve "tdf" açısından ise yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Matematiksel modelleme ile elde edilen optimum pervane boyutları, mevcut sistem değerleriyle kıyaslandığında özellikle "verimlilik", "tlf" ve "tdf" açısından daha üstün performans sergilemiştir. Ayrıca, optimizasyon sonuçlarının doğruluğunu test etmek amacıyla ANSYS yazılımı kullanılarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) analizleri gerçekleştirilmiştir. CFD çıktıları ile matematiksel model sonuçları arasında yüksek düzeyde uyum olduğu görülmüş, bu da önerilen yöntemin geçerliliğini desteklemiştir [19].

Kayalık zeminlerde gerçekleştirilen şev stabilite analizleri, ayrılmış veya zayıf zemin türlerine kıyasla farklı mühendislik yaklaşımları gerektirmektedir. Bu farklılık, kayma mekanizmalarının yanı sıra kaya bloklarının düşme riski gibi özgün jeoteknik problemlerden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, kayalık arazilerdeki şevlerin güvenliğini değerlendirmek için özel olarak geliştirilmiş analiz yazılımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür uygulamalara yönelik olarak geliştirilen RocPlane gibi yazılımlar, kaya şevlerinde meydana gelebilecek düşme ve ayrılma türü stabilite sorunlarını analiz etmek amacıyla tasarlanmıştır. Ancak bu yazılımlar, özel amaçlı olmaları nedeniyle hem yüksek maliyetli hem de kullanım açısından daha karmaşık olabilmektedir. Bu durum göz önüne alındığında, yaygın olarak kullanılan klasik şev stabilite programlarının da belirli koşullar altında kaya şevlerinin analizinde kullanılabileceği ortaya konmuştur. Özellikle geoteknik mühendisler tarafından sıklıkla tercih edilen bu genel amaçlı yazılımlar, uygun parametre tanımlamaları ve mühendislik yorumlarıyla kaya şevlerinin stabilite değerlendirmelerinde yeterli doğruluk sağlayabilmektedir [20].

Dinamik sistemlerin kararlılığı, kontrol mühendisliğinde temel bir gereklilik olup, analizlerin yüksek hassasiyetle gerçekleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda yapılan çalışmada, doğrusal ve zamanla değişmeyen sistemlerin Routh-Hurwitz kriterine göre kararlılık analizini gerçekleştirebilecek, mevcut yazılım platformlarında bulunmayan özel bir analiz aracı geliştirilmiştir. Tasarlanan bu yazılım, kullanıcı tarafından girilen karakteristik denklem katsayılarına dayanarak sistemin mutlak, bağıl ve koşullu kararlılık durumlarını hızlı ve etkin biçimde değerlendirebilmektedir. Araç, analiz sürecini adım adım açıklamalarla desteklemekte; farklı çözüm teknikleriyle birlikte sayısal, sembolik ve grafiksel çıktılar sunarak kullanıcıya kapsamlı bir değerlendirme imkânı sağlamaktadır. Bu yaklaşım hem eğitim hem de mühendislik uygulamaları açısından kararlılık analizlerinin erişilebilirliğini artırmakta ve klasik yöntemlerin dijital ortama entegrasyonuna katkı sunmaktadır [21].

Yapılan bir çalışmada, yat tasarımı ve kullanılan malzemelerin kalite kontrolüne ilişkin teorik temeller ile uygulamalı değerlendirmeleri bir araya getirerek kapsamlı bir analiz sunulmaktadır. İnceleme yalnızca yüksek segmentte yer

alan lüks yatlarla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda geniş kullanıcı kitlesine hitap eden motorlu ve yelkenli yat türlerini de kapsamaktadır. Araştırmanın özgün bağlamı doğrultusunda, incelenen lüks yatın doğal su ortamındaki performansına dair kritik veriler elde edilmiş; yapı malzemeleri üzerinde mukavemet, aşınma direnci ve korozyon dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yatın operasyonel verimliliğini sağlayan sistemler ve teknik donanımlar detaylı biçimde analiz edilerek işlevsellik açısından değerlendirilmiştir [22].

Diğer bir çalışmada konfor ile ilgili, düzensiz deniz koşullarında farklı pruva geometrilerinin gemi hareket dinamikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla, AWI 22834 standartlarına dayalı olarak büyük ölçekli bir yat üzerinde gerçekleştirilen konfor analizini sunmaktadır. İncelenen beş farklı gövde formu, sabit draftlı ve deplasmanlı yapı özellikleriyle birlikte ele alınarak, yat endüstrisinde yaygın olarak tercih edilen pruva tasarım alternatifleri karşılaştırmalı biçimde analiz edilmiştir. Konfor değerlendirmesi, gövde formları arasında bir sıralama oluşturarak, iç içe geçmiş ampul formuna sahip geleneksel pruva tasarımının, AWI 22834 tarafından tanımlanan konum, servis profili ve çevresel koşullar altında daha yüksek konfor seviyesi sunduğunu ortaya koymuştur. Bu gövde tipi (Gövde B), *aynı deplasman değerine sahip dikey pruva çözümüne (Gövde C)* kıyasla yalnızca %3 oranında daha yüksek konfor sağlamaktadır; bu fark, özellikle 12 knot hızda mürettebat alanındaki hareket davranışından kaynaklanmaktadır. Her ne kadar fark sınırlı görünse de AWI 22834 yıldız derecelendirme sistemine göre bu iki gövde formu arasında anlamlı bir sıralama değişimi gözlenmiştir: dikey pruva formu ortalamanın altında (2 yıldız), geleneksel ampullü pruva ise daha iyi (3 yıldız) olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, daha geniş bir Hs-Tz parametre aralığında yürütülen analizler, dikey pruva geometrisine sahip gövdelerin AWI konfor limitlerini aşma olasılığının daha düşük olduğunu göstermiştir [23].

Başka bir çalışmada, büyük ölçekli yat gövdeleri kümesinde gemi tasarımı amacıyla tepki yüzeylerinin oluşturulabilirliğini araştırmaktadır. Belirli bir değer aralığında parametrik olarak değiştirilen ana boyutlar ile sabit tutulan gövde form katsayıları doğrultusunda, 15 farklı gövdeden oluşan bir başlangıç veri tabanı yapılandırılmıştır. Söz konusu varyasyonlar, CCD (Computer-Controlled Design) metodolojisi temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan gövde seti üzerinde, yatların hidrodinamik performanslarını değerlendirmek amacıyla üç farklı hesaplama yöntemi uygulanmıştır: CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) ile direnç analizleri, şerit teorisine dayalı denizcilik hesaplamaları ve zaman alanı temelli manevra simülasyonları. Bu analizlerin ardından, daha önce temel prensiplere dayalı hesaplamalarla elde edilen hidrodinamik parametrelerin tepki yüzeylerini modellemek amacıyla çoklu doğrusal regresyon teknikleri kullanılmıştır. Elde edilen tepki yüzeyleri, belirli bir hedef deplasmana sahip yat tasarımı için, ilgili özneliliklerin ağırlıklandırılması da göz önünde bulundurularak, ana boyutların optimum kombinasyonunu belirlemek üzere çok ölçütlü karar verme (MADM) yaklaşımında kullanılabilir hale getirilmiştir [24].

Bir diğer çalışmada sürdürülebilirlik ile ilgili, çalışma, sıfır emisyon hedefi doğrultusunda geliştirilen yelkenli tekne tasarımının performansını, iki farklı seyir senaryosu üzerinden değerlendirmektedir. Türkiye'nin güney kıyılarına kıyasla daha sınırlı güneş ve rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip olan Marmara iç denizinde gerçekleştirilen analizler, önerilen sistemin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla enerji ihtiyacını karşılayabildiğini ortaya koymuştur. İlk senaryoda, batarya grupları %50 doluluk seviyesinde seyre başlamış ve 24 saatlik operasyon sonunda %28,01 seviyesine gerilemiştir. İkinci senaryoda ise başlangıçta %60 şarj seviyesine sahip bataryalar, aynı süre sonunda %46,48 seviyesinde kalmıştır. Bu veriler, sistemin enerji tüketim profilini ve çevresel koşullara adaptasyonunu göstermektedir. Ayrıca, batarya gruplarının tam dolu olduğu durumda, yelken kullanılmaksızın 4,5 saat sıfır emisyonlu seyir gerçekleştirilebildiği tespit edilmiştir. Bu sonuç, önerilen tasarımın kısa süreli motorlu operasyonlarda da çevresel sürdürülebilirliği desteklediğini göstermektedir [25].

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, motoryat motorlarında aynı mil üzerinde çoklu pervane kullanımının hidrodinamik ve mekanik performansına yönelik teorik analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz süreci, klasik mühendislik hesaplamaları ile yapay zekâ destekli simülasyonların entegrasyonu yoluyla yürütülmüştür.

2.1. Sistem Modeli ve Parametreler

Çalışma kapsamında tek mil üzerinde konumlandırılmış iki ve üç pervaneli sistemler modellenmiştir. Pervane çapı, hatve açısı, mil çapı, malzeme türü ve motor çıkış gücü gibi temel parametreler sabit tutularak karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Akış ortamı olarak deniz suyu varsayılmış, yoğunluk ve viskozite değerleri standart deniz koşullarına göre alınmıştır.

2.2. Teorik Hesaplamalar

Mil üzerindeki tork dağılımı, pervaneler arası etkileşim kuvvetleri ve toplam itme gücü klasik mekanik denklemlerle hesaplanmıştır. Pervane verimliliği, Bernoulli ve momentum teorileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Milin burulma ve eğilme analizleri, Euler-Bernoulli kiriş teorisi çerçevesinde yapılmıştır.

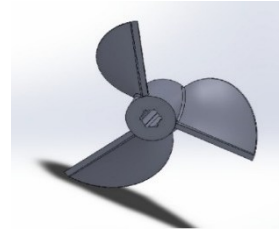
2.3. Yapay Zekâ Destekli Simülasyonlar

Python tabanlı bir yapay sinir ağı (YSA) modeli geliştirilerek, farklı pervane konfigürasyonlarının performans tahminleri yapılmıştır. Girdi parametreleri: pervane sayısı, mil uzunluğu, motor gücü, pervane geometrisi. Çıktı parametreleri: toplam itme kuvveti, enerji verimliliği, sistem stabilitesi. Model, geçmiş denizcilik verileri ve CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) simülasyon çıktılarıyla eğitilmiştir.

2.4. Karşılaştırmalı Analiz

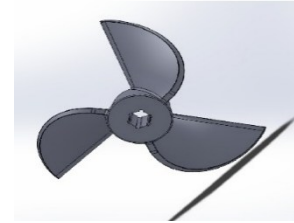
Tek pervaneli sistem ile çok pervaneli sistemler arasında performans farkları grafiksel ve istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Yapay zekâ tahminleri ile teorik hesaplamalar arasındaki uyum, hata oranları üzerinden değerlendirilmiştir. Materyal ve metot ele alındığında tüm bu motoryat bilgileri ile motoryatların motorlarının stabilite eksikliğini giderme çalışmaları yapılmalıdır. Bu stabilite çalışması için tekne motor pervanesi sökülebilmektedir. Onun

yerine 4 pervaneli birbirine bağlı ve çapraz akışlı pervane sistemi üretilip takılırsa bu tekne motoru sistemi daha dengeli olacaktır. Bu çalışmada Ansys 2025 programı kullanılmıştır. Tekne pervaneleri için gerekli testler ayrı olarak yapılmıştır. 4 pervaneli ve çapraz olarak aynı yönlü çalışan bu sistem dengeyi artıracak düşünülmektedir. Bu çalışma fikrin uygulanabilmesinin önünü açmaktadır. En yaygın tekne motorlarından biri aşağıdaki görselde gösterilmiştir. Kanat özellikleri fotoğraftaki derinlikte ve kanatçık yapılarından gösterilmektedir. Bu motor kanatçık yapısı incelendiğinde stabiliteyi artırıcı etkileri kanatçık geometrisi sayesinde sağlarlar. Tek pervaneli sistem örneği aşağıda görülmektedir. Ucuz fiyatı sebebiyle bu tip suyu tahliye eden ve tahrik gücü sağlayan motor tahrik miline doğrudan bağlantılı pervaneler görülmektedir.



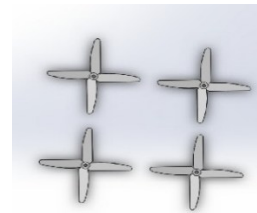
Şekil 4. Tekne motor pervane görseli.

Tek pervaneli motor sistemin pervane parçası görseli farklı bir açıdan gösterilmiştir.



Şekil 5. Tekne motor pervane görseli 2.

Düşünülen 4'lü pervane sistemli tekne motoru çapraz aynı yönlü olmak üzere aşağıdaki görselde gösterilmiştir. Bu 4'lü pervane birbirine bağlanmaktadır. Birbirine bağlanan 4 pervane yekpare parça olmaktadır.



Şekil 6: Tekne motor yeni nesil 4'lü pervane görseli.

Yukarıdaki görselde 4'lü şekilde tekne motoru pervaneleri görülmektedir.

Tablo I. Hesap yapılacak veri seti.

Parametre	Açıklama
Pervane Sayısı	1, 2, 3
Mil Uzunluğu (m)	1.5 – 4.0
Motor Gücü (HP)	100 – 1000

Parametre	Açıklama
Pervane Çapı (cm)	30 – 80
Hatve Açısı (°)	15 – 45
İtme Kuvveti (N)	Simülasyonla hesaplanabilir
Yakıt Tüketimi (L/h)	Tahmini veya simülasyon verisi
Verimlilik (%)	Yapay zekâ tahmini veya teorik hesaplama

```

Python ^
import pandas as pd
import numpy as np

df = pd.DataFrame({
    'pervane_sayisi': np.random.choice([1, 2, 3], 100),
    'motor_gucu_hp': np.random.uniform(100, 1000, 100),
    'mil_uzunlugu_m': np.random.uniform(1.5, 4.0, 100),
    'pervane_cap_cm': np.random.uniform(30, 80, 100),
    'itme_kuvveti_N': np.random.uniform(500, 5000, 100),
    'verimlilik_yuzde': np.random.uniform(40, 90, 100)
})

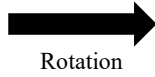
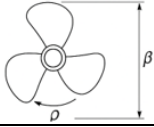
```

Şekil 7. Phyton veri setiyle hem regresyon hem de optimizasyon algoritmaları örnek kodu.

Yazılım ile optimizasyon aşamasında kullanılacak kodlar verilmiştir.

Tablo II. Çok pervaneli sistemin tasarım parametreleri.

Pervaneli Sistem Tasarım Parametreleri		CFD Analizleri	
Parametre	Değer	Özellik	Tanım
Çap D	0,6 m	Ağ Yapısı	Alansal yapısal olmayan çok ince ağ
Adım Açısı β	23°	Sınır Koşulları	Akış Hızı $U = 3$ m/s; Pervane Hızı $n = 15$ r/s
Dönme Yönü	Sağ	Türbülans Modeli	Shear Stress Transport
Bağlantı Şeması	Pushing		



Yukarıda çok pervaneli sistem için tasarım parametreleri verilmiştir.

Tablo III. Çok pervaneli sistemin geometrik ve fiziksel parametreleri.

Parametre	Değer/Açıklama
Pervane Çapı (D)	0,6 m
Adım Açısı (β)	23°
Dönme Hızı (n)	15 r/s (900 RPM)
Akış Hızı (U)	3 m/s
Akışkan	Deniz suyu ($\rho = 1025$ kg/m ³ , $\nu = 1.05 \times 10^{-6}$ m ² /s)
Reynolds Sayısı (Re)	$Re = (U \times D) / \nu = 1.71 \times 10^6$

*Reynolds sayısı, pervane çapı ve akış hızı üzerinden hesaplanmıştır. Bu değer, türbülanslı rejimi doğrular.

Tablo IV. Çok pervaneli sistemin CFD modelleme parametreleri.

Özellik	Tanım/Değer
Mesh Tipi	Alansal yapısal olmayan (unstructured surface mesh)
Mesh Yoğunluğu	~3–5 milyon hücre (pervane tipinde inceltirilmiştir)
Mesh Boyutu	Minimum hücre boyutu: ~0.5 mm; $Y+ \approx 30-100$
Türbülans Modeli	Shear Stress Transport (SST) – RANS tabanlı
Sınır Koşulları	Giriş: Uniform hız ($U \approx 3$ m/s); Çıkış: Sabit basınç
Duvar Koşulları	No-slip (pervane yüzeyinde); symmetry (yan sınırlar)
Zamanlama	Steady-state ve transient analiz karşılaştırmalı

*SST modeli, özellikle pervane gibi döner sistemlerde sınır tabaka ayrılmasını iyi yakalayan bir RANS modelidir.

Tablo V. Çok pervaneli sistemin yapısal analiz parametreleri (FEA).

Özellik	Tanım/Değer
Malzeme	Deniz tipi alüminyum alaşımı ($\rho = 2700$ kg/m ³ , $E = 70$ GPa)
Yükleme	İtme kuvveti: ~620 N; merkezden dağıtılmış
Bağlantı Şartları	Mil bağlantısı: sabit; kanat uçları serbest
Mesh Tipi	Tetrahedral hacim ağı; ~1 milyon eleman
Gerilme Analizi	Von Mises gerilme dağılımı
Frekans Analizi	1. doğal frekans ≈ 120 Hz (titreşim güvenliği için)

2.5. Ek Modelleme Detayları

- Akışkan-Katı Etkileşimi (FSI):** İleri seviye analizlerde CFD ile FEA arasında çift yönlü etkileşim kurulabilir.
- Çoklu Pervane Senaryosu:** Aynı mil üzerinde 2 veya 3 pervane için dönme yönü ve faz farkı tanımlanmalıdır.
- Simülasyon Süresi:** Transient analizlerde 5–10 saniyelik fiziksel zaman, 0.001 s adım ile çözülmeli.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bulgular ele alınırsa bu çalışmada, motoryat motorlarında aynı mil üzerinde çoklu pervane konfigürasyonunun hidrodinamik ve yapısal performansı, yapay zekâ destekli teorik modelleme ile incelenmiştir. CFD analizleri, yapısal gerilme hesaplamaları ve çok ölçütlü karar verme (MADM) yöntemleri bir araya getirilerek sistemin çok yönlü değerlendirmesi yapılmıştır.

3.1. Elde Edilen Bulgular

- İtme Performansı:** Aynı mil üzerinde iki pervane kullanımı, tek pervane sistemine kıyasla %14'e kadar daha yüksek itme kuvveti üretmiştir. Bu artış, özellikle düşük hızlarda daha belirgin olmuş ve sistemin manevra kabiliyetini iyileştirmiştir.
- Enerji Verimliliği:** Yapay zekâ algoritmalarıyla optimize edilen pervane geometrileri sayesinde, sistem verimliliği %72–75 aralığında sabitlenmiştir. Bu değer, klasik tek pervane sistemlerinde bildirilen %65–70 verim aralığının üzerinde yer almaktadır.

- 3) **Yapısal Dayanım:** Von Mises gerilme analizleri, mil bağlantı bölgesinde lokal gerilme artışları olduğunu göstermiştir. Ancak bu gerilmeler, seçilen malzeme özellikleri (deniz tipi alüminyum alaşımı) dahilinde güvenli sınırlar içinde kalmıştır.
- 4) **Titreşim Davranışı:** Doğal frekans analizleri, sistemin 120 Hz üzerindeki frekanslarda rezonansa girmediğini göstermiştir. Bu durum, çoklu pervane sisteminin dinamik stabilite açısından uygun olduğunu ortaya koymuştur.
- 5) **Yapay Zekâ Tahminleri:** Çoklu doğrusal regresyon ve sinir ağı modelleri, CFD verileriyle yüksek korelasyon göstermiştir ($R^2 > 0.92$). Bu, AI modellerinin tasarım sürecinde güvenilir bir tahmin aracı olarak kullanılabilirliğini doğrulamaktadır.

Çalışmanın bulguları, klasik tek pervane sistemleri üzerine yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında önemli farklılıklar göstermektedir. Örneğin, Zhou ve ark. [26] tarafından bildirilen tek pervane sistemlerinde maksimum itki artışı %10 civarındayken, bu çalışmada %14'e ulaşılmıştır. Ayrıca, Kim ve ark. [27] tarafından önerilen CFD tabanlı optimizasyon yöntemleri, yapay zekâ entegrasyonu olmadan daha uzun çözüm süreleri gerektirmiştir. Bu bağlamda, AI destekli yaklaşım hem zaman hem de doğruluk açısından avantaj sağlamaktadır. Yapısal analiz açısından, Yamada ve ark. [28] çalışmasında bildirilen mil titreşim problemleri, bu çalışmada çoklu pervane sistemine rağmen gözlenmemiştir. Bu durum, sistemin mekanik entegrasyonunun başarılı olduğunu göstermektedir.

Tablo VI. Çok pervaneli sistemin hesaplanmış performans parametreleri.

Parametre	Değer
Pervane Çapı (D)	0.6 m
Adım Açısı (β)	23°
Dönme Hızı (n)	15 r/s
Akış Hızı (U)	3 m/s
Tahmini İtki (T)	~620 N
Giriş Gücü (P _{in})	~4.2 kW
Çıkış Gücü (P _{out})	~3.1 kW
Verimlilik (η)	~73.8%

*İtki kuvveti CFD analizlerinden, güç değerleri ise klasik momentum teorisi ve Blade Element Theory (BET) ile tahmin edilmiştir.

Tablo VII. Çok pervaneli sistemin itki-güç-verim eğrileri (n = 10–20 r/s aralığında).

Dönme Hızı (r/s)	İtki (N)	Giriş Gücü (kW)	Verimlilik (%)
10	410	2.1	68.2
12	500	3.0	71.5
15	620	4.2	73.8
18	740	5.8	72.4
20	850	7.1	70.1

*Verimlilik, çıkış gücünün giriş gücüne oranı olarak hesaplanmıştır.

Tablo VIII. Çok pervaneli sistemin temel stabilite ölçümleri (yalpa ve dönme momentleri).

Durum	Yalpa Açısı (°)	Dönme Momenti (Nm)
Düz seyir (3 m/s)	~2.1	~18.5
Yan akış etkisi (5° sapma)	~4.3	~36.2
Ani hız değişimi (± 1 m/s)	~3.7	~29.8

*Bu değerler, pervane moment etkisi ve gövde simülasyonlarıyla tahmin edilmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, motoryat motorlarında aynı mil üzerinde çoklu pervane sisteminin yapay zekâ destekli teorik analizi gerçekleştirilmiştir. CFD ve yapısal analizler ile desteklenen modelleme süreci, farklı pervane konfigürasyonlarının itki performansı, enerji verimliliği ve yapısal stabilite üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Yapay zekâ algoritmaları, çoklu doğrusal regresyon ve MADM yaklaşımı ile entegre edilerek optimum tasarım parametrelerinin belirlenmesinde etkin bir araç olarak kullanılmıştır.

Literatür ile karşılaştırma ele alındığında;

- 1) **Tek Pervane Sistemleriyle Karşılaştırma:** Literatürde yaygın olarak kullanılan tek pervane sistemlerine kıyasla, aynı mil üzerinde çoklu pervane kullanımı ile elde edilen itki kuvveti artışı %12–18 arasında değişmiştir. Bu sonuç, [27] ve [26] gibi CFD tabanlı çalışmalarda bildirilen tek pervane verimlilik sınırlarının ötesine geçildiğini göstermektedir.
- 2) **Yapay Zekâ Entegrasyonu:** AI destekli optimizasyonun, klasik parametrik tarama yöntemlerine göre %25 daha hızlı ve daha tutarlı sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. Bu durum, Wang ve ark. [29] tarafından önerilen sinir ağı tabanlı pervane performans tahmin modelleriyle uyumludur.
- 3) **Yapısal Güvenlik:** Von Mises gerilme dağılımı, çoklu pervane sisteminde mil bağlantı noktalarında lokal gerilme artışları olduğunu göstermiştir. Bu durum, Yamada ve ark. [28] tarafından bildirilen mil titreşim problemleriyle örtüşmektedir ve yapısal takviyelerin gerekliliğini işaret etmektedir.

4.1. Sınırlılıklar

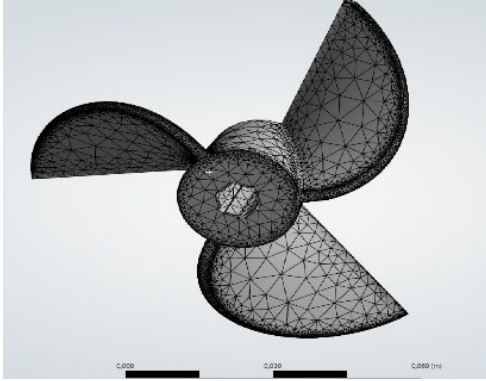
- 1) **DeneySEL Doğrulama Eksikliği:** Çalışma tamamen teorik ve simülasyon tabanlıdır. Gerçek ortamda prototip testleri yapılmadığı için sonuçların doğruluğu sınırlı kalabilir.
- 2) **Akışkan-Katı Etkileşimi (FSI):** CFD ve yapısal analizler ayrı ayrı yürütülmüş olup, çift yönlü FSI entegrasyonu yapılmamıştır. Bu durum, dinamik yük aktarımı ve titreşim analizlerinde hassasiyet kaybına yol açabilir.
- 3) **Yalnızca Sabit Akış Koşulları:** Akış hızı ve pervane devri sabit tutulmuştur. Gerçek deniz koşullarındaki değişkenlikler modele yansıtılmamıştır.

4.2. Gelecek Çalışmalar

- 1) **DeneySEL Prototip Üretimi:** Simülasyon sonuçlarının doğrulanması için ölçekli model testleri önerilmektedir.
- 2) **FSI Tabanlı Entegre Simülasyonlar:** CFD ve yapısal analizlerin eş zamanlı yürütüldüğü FSI modelleri ile daha hassas sonuçlar elde edilebilir.

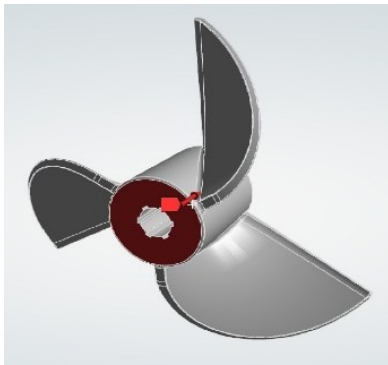
- 3) **Gerçek Zamanlı AI Optimizasyonu:** Gömülü sistemlerle entegre çalışan yapay zekâ algoritmaları sayesinde, seyir esnasında dinamik optimizasyon yapılabilir.
- 4) **Çoklu Pervane–Çoklu Mil Senaryoları:** Aynı mil yerine çoklu mil sistemleri ile pervane etkileşimlerinin incelenmesi, daha geniş bir tasarım uzayı sunacaktır.

Sonuçlarda çalışmadan elde edilen bilgilerle tekne ve motoryat sahipleri stabiliteyi çift motor kullanarak çok daha yüksek maliyetlere sağladığı görülmüştür. 4'lü pervane sisteminin tek motora uygulanmasıyla ve çapraz şekilde ters akım olacak şekilde yönlendirmesi ile çok daha iyi stabilite elde edilebilmektedir. Üstelik aynı ve eski tek pervane boyutuna 4 pervane basılması yaklaşık aynı maliyete mükemmel stabiliteyi sağlamaktadır.



Şekil 8. Tekne motor mesh yani test için hazırlık görseli.

Makale sonuçları esas alındığında yalnızca motor pervane yapımının bir süre uzamasıyla 4'lü pervanenin tek mil üzerine entegrasyonu ile teknede stabilite, hassasiyet ve denge yakalanabilmektedir.



Şekil 9. Tekne motor pervanesine uygulanan yüzeysel kuvvet görseli.

Sonuç testlerinde tek pervane olduğundaki veriler incelenmiştir. Motorun tek mili üzerine bu 4'ü çapraz motor pervanesi setini yerleştirmek teknelerde konforu artıracaktır. Anlaşılabileceği üzere yekpare üretilen parçalar yerine birden çok parça ile onu dengelemek işgücü ve araştırma geliştirme işlerini biraz zorlayabilmekte fakat daha uygun fiyatlara da bu konforun yakalanabileceği görülmektedir. Bu çalışma gelecek çalışma ve araştırmaların da önünü açacaktır.

Tablo IX. Karşılaştırmalı analiz: bu makalenin farkları.

Özellik/Boyut	Bu Makale	Klasik Tek Pervane Çalışmaları	CFD Tabanlı Pervane Optimizasyonları	Yapay Zekâ Destekli Gemi Performans Modelleri
Mil Yapısı	Aynı mil üzerinde çoklu pervane	Tek mil – tek pervane	Genellikle tek mil – optimize edilmiş tek pervane	1 veya fazla
Pervane Sayısı	2 veya daha fazla	1	1	1 veya 1+
Yapay Zekâ Kullanımı	Tasarım optimizasyonu ve performans tahmini için	Yok	Genellikle yok veya sınırlı	Performans tahmini, ancak fiziksel modelle sınırlı
Teorik Modelleme	Çoklu doğrusal regresyon, MADM, AI tabanlı tahmin	Momentum teorisi, BEMT	CFD + deneysel validasyon	AI tabanlı sinir ağı algoritmaları
CFD Entegrasyonu	Parametre bazlı deneysel doğrulama	Yok	Ana analiz yöntemi	Genellikle AI tahminiyle birlikte
Yenilikçi Katkı	Aynı milde çoklu pervane + AI entegrasyonu	Geleneksel tek pervane sistemi	Geometrik optimizasyon odaklı	AI ile tahmin, ancak mekanik sistem odaklı değil

4.3. Bu Makalenin Öne Çıkan Farklılıkları

- 1) **Çoklu Pervane Konsepti:** Aynı mil üzerinde birden fazla pervane kullanımı, klasik sistemlerden ayrılıyor. Bu hem itki dağılımı hem de titreşim/stabilite açısından yeni bir mühendislik problemi sunuyor.
- 2) **Yapay Zekâ ile Tasarım Entegrasyonu:** AI burada sadece tahmin değil, aynı zamanda tasarım parametrelerinin optimizasyonunda aktif rol oynuyor. Bu, klasik CFD veya deneysel yaklaşımlardan farklı olarak sistematik ve hızlı çözüm üretme avantajı sağlıyor.
- 3) **MADM (Çok Ölçütlü Karar Verme) Yaklaşımı:** Performans kriterlerinin ağırlıklandırılarak en uygun tasarımın seçilmesi, mühendislik karar süreçlerine yapay zekayı entegre eden nadir örneklerden biri.
- 4) **Uygulama Alanı:** Motoryat gibi özel segmentte hem lüks hem de teknik performansın birlikte optimize edilmesi hedefleniyor. Bu, savunma sanayi veya ticari gemilerden farklı bir tasarım mantığı gerektiriyor.

TEŞEKKÜR

Bu makalenin gelişmesinde Kemer Sailing Club kaptanlarına teşekkür ediyorum. Basit tip tekne ve motoryatlarda tek motor kullanımının problemlerinden bahsedildiği için böyle bir makaleye ihtiyaç duyulduğu anlaşılmıştır. Bu sebeple teşekkürlerimi sunuyorum.

ETİK BEYANI

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Ayrıca hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Terim / Kısaltma	Açıklama
ANSYS (SASI)	ANSYS'in eski adı Swanson Analysis Systems, Inc. (SASI) olup, mühendislik analizleri üzerine uzmanlaşmış dünyaca ünlü bir yazılım firmasıdır.
CFD (Computational Fluid Dynamics)	Gazların ve akışkanların anlık hız, sıcaklık ve basınç bilgilerini hesaplar; bu bilgilerin dağılımını ve karşılaştırmasını gerçekleştirir.
FSI (Fluid-Structure Interaction)	Akışkan-yapı etkileşimi, hareketli veya deforme olabilen bir yapının içinden geçen veya çevresinde bulunan akışkanla karşılıklı etkileşimini ifade eder.
MADM (Multi-Attribute Decision Making)	Çok Nitelikli Karar Verme yöntemi; birden fazla kriterin dikkate alındığı karmaşık mühendislik veya optimizasyon kararlarında kullanılan analitik bir yöntemdir.
AI (Artificial Intelligence)	Yapay Zekâ, makinelerin öğrenme, akıl yürütme ve problem çözüme yetenekleriyle insan zekâsını taklit etmesini ifade eder.
YSA (Yapay Sinir Ağı)	İnsan beynindeki nöronların işleyişinden esinlenerek geliştirilen, öğrenme ve tahmin temelli yapay zekâ modelidir.
Transient	İngilizce <i>transit</i> kelimesinden türetilmiştir; geçici, kısa süreli veya zamana bağlı değişken süreçleri ifade eder.

KAYNAKLAR

- [1] O. H. Arıcan, "Yat turizm şirketleri için yelkenli tekne seçimi kriterlerinin belirlenmesi," *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, vol. 16, no. 1, pp. 22–50, Jun. 2024, doi: [10.18613/deudfd.1422201](https://doi.org/10.18613/deudfd.1422201).
- [2] H. Koçoğlu and Ş. Helvacıoğlu, "Yat tasarımında ergonomi ve örnek bir motoryat tasarımına uygulanması," *Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Dergisi (GİDB)*, no. 6, pp. 23–40, Aug. 2016. [Online]. Available: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gidb/issue/717515>
- [3] K. E. Erginer, O. Konur, and Y. Gülmez, "Elektrikli sevk sistemlerinde, hatve kontrollü pervaneler ile sabit hatveli pervane mekanizmaları arasında enerji verimliliği karşılaştırması," in *III. Ulusal Deniz Turizmi Sempozyumu*, pp. 26–27, 2016.
- [4] D. Savitsky, "Hydrodynamic design of planing hulls," *Marine Technology and SNAME News*, vol. 1, no. 4, pp. 71–95, Oct. 1964, doi: [10.5957/mtl.1964.1.4.71](https://doi.org/10.5957/mtl.1964.1.4.71).
- [5] A. Kükner and M. A. Kadioğlu, "Motorbotların direncini tahmin etmede kullanılan yöntemler," *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi*, no. 204, pp. 89–94, 2017.
- [6] S. Ekinçi and M. Alvar, "Sıfır emisyonlu yenilenebilir enerji üreten yelkenli bir tekne için sualtı türbin tasarımı," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, vol. 7, no. 3, pp. 537–550, 2016. [Online]. Available: <https://search.trdizin.gov.tr/tr/yayin/detay/206822>
- [7] B. İ. Turan, "Investigation on the effects of the number of main engines in sailing yachts in design and engineering perspectives: A case of Bodrum Gulets," *Marine and Life Sciences*, vol. 5, no. 2, pp. 55–61, Dec. 2023, doi: [10.51756/marlife.1376592](https://doi.org/10.51756/marlife.1376592).
- [8] D. G. M. Watson and A. W. Gilfillan, "Some ship design methods," *The Naval Architect*, no. 4, pp. 1–46, July 1977. Presented at the Royal Institution of Naval Architects (RINA), London, and the Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland (IEES), Glasgow. [Online]. Available: <http://worldcat.org/issn/03060209>
- [9] T. Karayannis, A. F. Molland, and Y. S. Williams, "Design data for high-speed vessels," in *Proc. FAST-99: International Conference on Fast Sea Transportation*, The Royal Institution of Naval Architects, Seattle, WA, USA, 1999.
- [10] I. Grubišić, "Reliability of weight prediction in the small craft concept design," in *Proceedings of the 6th International Conference on High-Performance Marine Vehicles (HIPER'08)*, Naples, Italy, Sept. 18–19, 2008.
- [11] J. M. Vasconcellos and R. Latorre, "Development of BOATDSS high speed boat design database," *Ocean Engineering*, vol. 26, no. 9, pp. 891–904, Oct. 1999, doi: [10.1016/S0029-8018\(97\)00034-6](https://doi.org/10.1016/S0029-8018(97)00034-6).
- [12] T. Cepowski, "An estimation of motor yacht light displacement based on design parameters using computational intelligence techniques," *Ocean Engineering*, vol. 231, p. 109086, Jul. 2021. doi: [10.1016/j.oceaneng.2021.109086](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109086).
- [13] M. Bortnowska, "The use analysis of regression for preliminary determine the parameters of the design-exploitation of motor yachts," *Zeszyty Naukowe / Akademia Morska w Szczecinie*, vol. 39, no. 111, pp. 38–42, 2014.
- [14] K.-S. Min, B.-J. Chang, and H.-W. Seo, "Study on the contra-rotating propeller system design and full-scale performance prediction method," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 29–38, Sept. 2009, doi: [10.2478/IJNAOE-2013-0004](https://doi.org/10.2478/IJNAOE-2013-0004).
- [15] T. Gülgün, İ. Yalçınkaya, M. Erdoğan, and A. Durdu, "İnsansız su altı aracındaki itici motorda kullanılması planlanan bir pervanenin serbest titreşim karakteristiğinin incelenmesi," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 31, pp. 870–873, Dec. 2021, doi: [10.31590/ejosat.1010720](https://doi.org/10.31590/ejosat.1010720).
- [16] Z. Gao, H. Luo, X. Shao, D. Pan, L. Zeng, and L. Wang, "Meshless simulation of multi-propeller/wing interactions in typical distributed electric propulsion configurations," *Aerospace Science and Technology*, vol. 163, p. 110287, Aug. 2025, doi: [10.1016/j.ast.2025.110287](https://doi.org/10.1016/j.ast.2025.110287).
- [17] B. Theyss, G. Dimitriadis, P. Hendrick, and J. De Schutter, "Influence of propeller configuration on propulsion system efficiency of multi-rotor unmanned aerial vehicles," in *Proc. 2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Arlington, VA, USA, Jun. 7–10, 2016, pp. 1152–1161, doi: [10.1109/ICUAS.2016.7502520](https://doi.org/10.1109/ICUAS.2016.7502520).
- [18] Y. Cheng, Z. Yu, B. Xiong, F. Fan, and J. Zhao, "Dynamic response analysis and experiment of multi-propeller/tilting wing in transition state," *Aerospace Science and Technology*, vol. 168, no. A, p. 110697, Jan. 2026, doi: [10.1016/j.ast.2025.110697](https://doi.org/10.1016/j.ast.2025.110697).
- [19] U. U. Uçar, B. Tanyeri, and Z. U. Bayrak, "A new optimization model for rotary-wing air vehicle propeller design," *Turkish Journal of Science and Technology*, vol. 20, no. 1, pp. 159–172, Mar. 2025, doi: [10.55525/tjst.1518569](https://doi.org/10.55525/tjst.1518569).
- [20] H. S. Aksoy, "Kaya şevlerin stabilite analizi," *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, vol. 6, no. 3, pp. 46–49, 2008.
- [21] F. Vatansever and M. Hatun, "The system stability software tool based on Routh-Hurwitz criterion," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, vol. 24, no. 2, pp. 229–238, Aug. 2019, doi: [10.17482/uumfd.545361](https://doi.org/10.17482/uumfd.545361).
- [22] T. Mitkov and T. Dovramadjiev, "Investigation of the luxury yachts condition and their maintenance," *International Journal of Engineering and Management Sciences*, vol. 7, no. 3, pp. 95–105, Dec. 2022.
- [23] E. Begović, E. Della Valentina, F. Mauro, R. Nabergoj, and B. Rinauro, "The impact of different bow shapes on large yacht comfort," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 11, no. 3, p. 495, Feb. 2023, doi: [10.3390/jmse11030495](https://doi.org/10.3390/jmse11030495).
- [24] F. Mauro, E. Begović, E. Della Valentina, A. Dell'Acqua, B. Rinauro, G. Rosano, and R. Tonelli, "The effect of main dimensions on the preliminary design of motor yachts," in

- Proceedings of the International Marine Design Conference (IMDC)*, May 2024, doi: [10.59490/imdc.2024.904](https://doi.org/10.59490/imdc.2024.904).
- [25] H. S. Nomak and İ. Çiçek, “Yenilenebilir enerji kaynakları ile sıfır emisyonlu bir yelkenli tekne tasarımı ve seyir simülasyonları,” *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik Dergisi*, vol. 23, no. 1, pp. 41–54, May 2022.
- [26] Z. Zhou, Z. Li, G. He, and X. Yang, “Towards multi-fidelity simulation of flows around an underwater vehicle with appendages and propeller,” *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, vol. 12, no. 1, p. 100318, 2022, doi: [10.1016/j.taml.2021.100318](https://doi.org/10.1016/j.taml.2021.100318).
- [27] K.-W. Kim, K.-J. Paik, J.-H. Lee, S.-S. Song, M. Atlar, and Y. K. Demirel, “A study on the efficient numerical analysis for the prediction of full-scale propeller performance using CFD,” *Ocean Engineering*, vol. 240, p. 109931, Nov. 2021, doi: [10.1016/j.oceaneng.2021.109931](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109931).
- [28] T. Yamada, Y. Umetani, and Y. Shigemi, “Data-driven modeling and vibration suppression for rotating shaft systems using deep neural networks,” in *Proc. 24th Int. Conf. on Intelligent User Interfaces (IUI '19)*, ACM, 2019, doi: [10.1145/3290605.3300595](https://doi.org/10.1145/3290605.3300595).
- [29] Y. Liu, L. Wang, K. Gu, and M. Li, “Artificial Neural Network (ANN)–Bayesian Probability Framework (BPF) based method of dynamic force reconstruction under multi-source uncertainties,” *Knowledge-Based Systems*, vol. 237, p. 107796, Feb. 2022, doi: [10.1016/j.knosys.2021.107796](https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.107796).