

**ELEKTRİKLİ SEVK SİSTEMLERİNDE, HATVE
KONTROLLÜ PERVANELER İLE SABİT HATVELİ
PERVANE MEKANİZMALARI ARASINDA ENERJİ
VERİMLİLİĞİ KARŞILAŞTIRMASI**

¹K. Emrah ERGİNER, ²Olgun KONUR, ³Yiğit GÜLMEZ

ÖZET

Son yıllarda çevre kirliliği ile mücadele konusunda yapılan çalışmalar sonucunda gemi sevk sistemlerinde elektrikli sevk sistemlerinin kullanımı giderek artmaktadır. Ancak elektrik depolama alanlarının kısıtlı olması ve gemilerin yüksek güç ihtiyaçları sebebiyle seyir yapma süreleri konusunda kısıtlamalar ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple elektrikli sevk sistemlerinde verimlilik arttırma çalışmaları önem kazanmıştır. Bu çalışmada dizel makinelerle tahrik edilen sevk sistemlerinde makine devrini sabit tutarak geminin hızını ayarlayabilmek için kullanılan hatve (pitch) kontrollü pervanelerin, elektrikli sevk sistemlerinde kullanımının etkinliği araştırılmıştır. Araştırma kapsamında İzmir Kalkınma Ajansı tarafından TR31/12/YE02/0015 Numaralı "Entegre Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin İmal Edilmesi ve Ulaşım Taşıtlarında Uygulanması" adlı proje kapsamında finanse edilen ve Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi tarafından sistem tasarımı ve kurulumu gerçekleştirilen "Yeşil Eylül" teknesi üzerinde deneysel bir çalışma yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucu, elektrikli sevk sistemlerinde, hatve kontrollü pervaneler ile sabit hatveli pervane mekanizmaları arasındaki verimlilik karşılaştırması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hatve kontrollü pervaneler, Sabit kanatlı pervaneler, Elektrikli sevk sistemleri, Enerji verimliliği

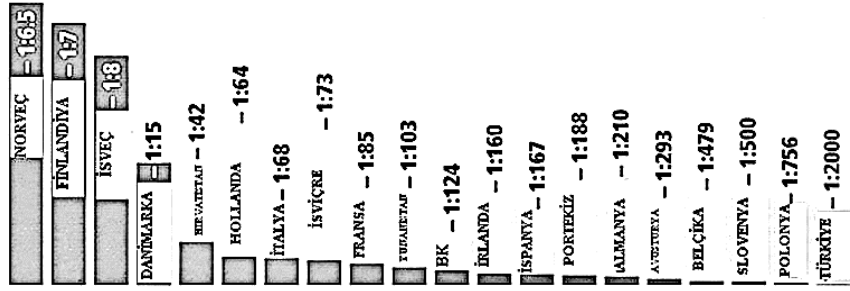
¹Yrd.Doç.Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, İzmir,
emrah.erginer@deu.edu.tr

²Araş.Gör., Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, İzmir,
olgun.konur@deu.edu.tr

³Araş.Gör., Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, İzmir,
yigitgulmez@hotmail.com

1. GİRİŞ

Adalar dahil 8333 km. kıyı uzunluğuna sahip olmamıza, üç tarafımız denizler ile çevrili olmasına, göller-iç sular ve nehirlerle sahip olmamıza, gemi inşa sanayinde Dünyada 8. Avrupa'da 1. olmamıza, 1984 yılında 435 yat kapasiteli iki marinaya sahip iken günümüzde 17.500 yat kapasiteli 62 marinaya sahip olmamıza, Akdeniz'i (mare nostrum) her yıl bir milyon yat dolaşırken bunun %5'lik dilimi olan yaklaşık 5.000 yatın ülkemize gelmesini hedeflemiş olmamıza, dünyada ziyaret edilen altıncı ülke konumunda olmamıza, mega yat üretiminde dünyada üçüncü olmamıza rağmen maalesef ülkemizde 2000 kişiye bir tekne düşmektedir. Şekil 1'de görüldüğü üzere Uluslararası Tekne Endüstrisi (IBI) dergisinin istatistiğine göre kişi başına düşen tekne sayısı açısından, denize kıyısı olmayan Avusturya ve İsviçre gibi ülkelerin dahi çok altında olduğumuzu görmekteyiz.



Şekil 1: Avrupa'da kişi başına düşen tekne sayısı (Sapmaz (DTO-IBI), 2015)

Elektrikli tekne üretimi ülkemizde yok denecek kadar az olup birçok üniversitenin yapmakta olduğu ar-ge çalışmaları dışında bir çalışma bulunmamaktadır. Yaşanmakta olan en büyük sorun elektriğin depolanması olarak gözlemlenmektedir. Hacmen ve ağırlık olarak depolanma sorunları nedeni ile halen konvansiyonel anlamda elektrikli tekneler satılmamaktadırlar. Ancak boyu 5 m. ve altı olan teknelerde özellikle kıçtan takma elektrik motorları kullanıldığı gözlenmektedir. Bu çalışmada oldukça kısıtlı olan elektrik enerjisinin en yüksek verimli sevk sistemi ile kullanılması için dünyada benzer boyutlarda benzer bir çalışması bulunmayan hatve kontrollü pervane (contrallegele pitch propeller) ve şanzıman sisteminin elektrik motoru ile tahriki incelenmektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde elektrikli tahrik sistemleri, hatve kontrollü pervane sistemleri, sabit kanat açılı pervane sistemleri üzerine literatür çalışması yapılmıştır. Buradan elde edilen veriler göz önünde bulundurularak elektrikli tahrik sistemlerinde hatve kontrollü pervanelerin kullanımı incelenmiştir.

2.1. Elektrikli Tahrik Sistemleri

Elektrikli tahrik sistemleri, son yıllarda sıklıkla kullanılmasına rağmen, denizcilik sektöründe yeni kullanılan bir tahrik sistemi değildir. İlk kullanım örneği 1903 yılında Rusya’da inşa edilen “Vandal” isimli nehir tankeridir (Koehler ve Oehlers, 1998: 1). Ancak ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve karmaşık sistem yapısı bu sistemin dezavantajları olarak algılanmıştır (Aichele, 2007: 88). Günümüzde yakıt ve enerji verimliliğini artırması ve insan kaynaklı karbon salımının azaltılmasına katkıda bulunması sebepleriyle elektrikli tahrik sistemlerinin kullanımında önemli bir artış beklenmektedir (Ajioka ve Ohno, 2013: 231).

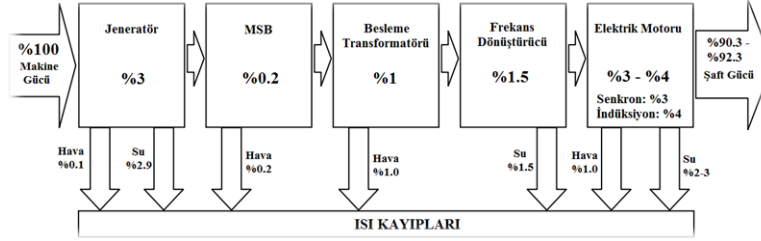
Elektrikli tahrik sistemlerinin gemilerde kullanımı çeşitli şekillerde olabilmektedir. Örneğin bir LNG (sıvılaştırılmış doğal gaz) veya HFO (heavy fuel oil) kullanan bir yardımcı makine ile üretilen elektriğin şaft sistemi üzerinde kullanılmasıyla, sahil istasyonlarından depolanan veya güneş panelleri, rüzgâr türbinleri gibi alternatif enerji üretim yöntemleriyle elde edilen elektrik enerjisinin akülere depolanmasıyla kullanılabilir.

Elektrikli tahrik sistemlerinin konvansiyonel sistemlere göre avantajları;

- Daha düşük bakım maliyetleri ortaya çıkmaktadır (Ajioka ve Ohno, 2013: 231).
- Daha sessiz çalışan bir sistemdir (Ajioka ve Ohno, 2013: 231).
- Seyir esnasında aynı gücü ortaya çıkarmak için daha az yakıt harcanması sağlanarak yakıt verimliliğini artırmaktadır (Ajioka ve Ohno, 2013: 231).
- Daha düşük karbon salımına sebep olmaktadır (Pereira, 2007: 8).
- Devir, yön değişimlerinde daha az zaman ve enerji kaybına sebep olmaktadır (General Electric, 2015).
- Daha az titreşim sağlamaktadır (Marine Insight (a), 2015).
- Yüksek motor torku sağlamaktadır (MAN, 2015).

- Elektrikle tahrik sistemini oluşturan parçalar arasındaki bağ kablolar ile yapılması sebebiyle gemi inşa takviminde önemli bir kolaylık sağlar (Siemens, 2015).
- Konvansiyonel sistemlere göre aynı hacimde daha fazla güç elde edilebilir (Marine Insight (a), 2015).
- Makine dairesinde daha etkin bir yerleşim planı oluşturulabilir (Marine Insight (a), 2015).

Elektrikli tahrik sistemlerinin bazı dezavantajları da mevcuttur. Bunlardan en önemlisi yüksek ilk kurulum maliyetleri (Ajioka ve Ohno, 2013: 231) olarak görülebilir. Ayrıca üretilen elektrik enerjisinin, elektrik motoruna iletilme sürecinde bazı kayıplar meydana gelmektedir (MAN, 2015). Bu kayıplar Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2: Elektrik tahrikli bir sevk sisteminde sevk verimi kayıpları (MAN, 2015)

Elektrikli tahrik sistemi kullanan gemilerde geminin hız kontrolü motor sürücülerinin motor ve pervane devrini değiştirmesiyle veya motor ve pervane devri sabit tutularak hatve kontrollü pervane (CPP-controllable pitch propeller) sisteminin pervane kanat açılarını değiştirmesiyle yapılabilmektedir (Doorduyn vd. 2015: 13).

2.2. Hatve Kontrollü Pervanelerin (CPP) Sabit Hatveli Pervaneler ile (FPP) Karşılaştırması

Sabit hatveli (fixed pitch propeller) pervanelerin kanat açısı değişmediğinden dolayı bu pervanelerin tek bir dizayn noktası vardır yani sadece belli bir devir ve hızda optimum verim (güç) elde edebilmektedir. Daha çok, servis hızı ve makine yükü belli ve fazla değişkenlik göstermeyen gemiler için ideal olmaktadır (Kasten Marine, 2013).

Hatve kontrollü pervanelerde kanatlar, pervane göbeği üzerinde kendi etrafında döndürülerek hatve açıları isteğe göre ayarlanabilmektedir (Yılmaz, 2008: 4.78). Sabit kanatlı pervanelerden farklı olarak motor devrini değiştirmeyerek, her hızda optimum motor veriminde çalışma olanağı sağlamaktadır. Seyir sırasında hatve açısının ayarlanması ile hız

değişimi, yakıt harcamasının azaltılması ve manevra kabiliyetinin artırılması sağlanabilmektedir (West Mekan, 2015).

Hatve kontrollü pervaneler genel olarak, yüksek hız ve iyi manevra gerektiren gemiler, römorkörler, buzkıranlar, balıkçı gemileri, tarak gemileri, savaş gemileri, tankerler, konteyner gemileri v.b. ile ters döndürülmez ana kuvvete sahip gaz türbinli gemilerde kullanılır (Yılmaz, 2008; S: 4.78).

Hatve kontrollü pervaneler, sabit hatveli pervanelerle kıyaslandığında kullanım amacına göre iki tip pervanenin de avantajlı ve dezavantajlı olduğu durumlar görülmektedir ve bunlar aşağıda sıralanmıştır:

- Sabit hatveli pervaneye sahip bir tahrik sisteminde tornistan yapabilmek için veya geminin kendi hızıyla sürüklenebilmesi için motoru durdurma zorunluluğu vardır. Bu durum manevra kabiliyetini sınırlamakta ve manevra esnasında zaman kaybına neden olmaktadır. Hatve kontrollü pervane kanatları sahip oldukları şekil itibari ile pervane shaftı aynı yönde dönmeye devam ederken, motoru ve dolayısıyla pervaneyi durdurma ihtiyacı duymadan her türlü manevra ihtiyacına anında cevap verebilmektedir (Masson Marine, 2015).
- Sabit hatveli pervaneler belli bir makine yükü, hız ve devrinde optimum olarak çalışacak şekilde tasarlanmaktadır. Dolayısıyla makine yükünün veya devrinin değiştiği durumlarda, pervaneden alınan verim doğal olarak düşer. Hatve kontrollü pervaneler ise, optimum motor veriminde sürekli çalışma imkanı verir (Kasten Marine, 2013).
- Sabit hatveli pervanelerde gemi optimum sevk verimi değerlerinde çalışmadığı koşullarda, pervane kanatlarında ekstradan bir basınç ve kavitasyon oluşur. Hatve kontrollü pervane kullanımı ile motor, optimum verimde çalışacağından kavitasyon etkisi daha az olur. Bu sayede toplam sevk verimi artar. Yakıt harcamı ve sevk sistemi bakım masrafları düşer (Masson Marine, 2015).
- Hatve kontrollü pervane kanatlarının zarar görmesi halinde, kanatlar tek tek değiştirilebilme imkanına sahiptir (Hundested Propeller, 2015).
- CPP sistemlerinin ilk kurulum maliyetleri FPP sevk sistemlerine göre daha fazladır. Artan pervane çaplarında maliyet daha da yükselmektedir (Marine Insight (b), 2015).
- CPP sisteminin kontrol mekanizması düzenli aralıklarla bakım istemektedir. FPP sistemine kıyasla daha karmaşık bir sistem olduğu için ilk kurulumu daha zordur (Marine Insight (b), 2015).
- Hatve kontrollü pervane göbeği çapı, sabit kanatlı pervanelere kıyasla daha büyüktür. Göbek çapının büyümesi, pervane

veriminin düşmesine neden olmaktadır (Marine Insight (b), 2015).

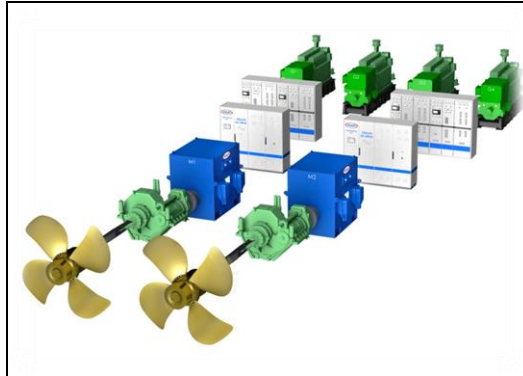
2.3. Elektrik Tahrikli Sevk Sistemlerinde Hatve Kontrollü Pervane (CPP) Kullanımı

Değişken hız sürücülü sabit hatveli pervaneler, elektrik tahrikli sevk sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazı uygulamalarda da değişken hız sürücülü veya sabit hızlı hatve kontrollü pervanelerin elektrik tahrikli sevk sistemlerinde kullanıldığı görülmektedir. Büyük çaplı operasyonlarda hatve kontrollü pervanelerden daha yüksek verim alınabileceği gibi, bu verimin yatırım maliyetini karşılayamayacağı düşünülmektedir (Balashov, 2011: 12-24).

Hatve kontrollü pervanelerin hatve açıları, geniş hız aralıklarında hızlı tepki süresi ve daha yüksek hidrodinamik verim sağlamak için optimize edilmiştir (Adnanes, 2003). Hatve kontrollü pervaneler bu özelliği ile, operasyon ihtiyacına göre elektrik tahrikli sistemlerde performans artışı sağlayabilmektedir (Young vd., 2012: 2-3).

FPP ise geminin ileri yönlü hareketini servis hızında optimum verimde sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Elektrik motorları, her iki dönme yönü için aynı miktarda güç harcadığından dolayı, geri yönlü hareketlerde FP pervanelerin CP pervanelere göre ciddi bir dezavantajı vardır (Arrington, 1998: 93).

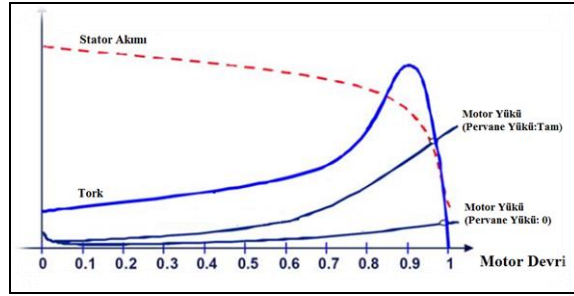
Sevk sistemlerinde CPP kullanımının dezavantajlı durumlarını ortadan kaldıran akılcı çözümler de üretilmeye başlanmıştır. Alternatif akım kullanan gemiler için tasarlanan bir sürücü sistemi, asenkron (indüksiyon) elektrik motoruna düzgün sinüsoidal voltaj ve akım sağlayarak, transformatör kullanma gereksinimi duymadan harmonik bozuklukları azaltmaktadır. Sonuç olarak elektrikselsel kayıplar ve sevk verimi kayıpları minimize edilmiş olup CPP için Şekil 3'te de görüldüğü üzere avantajlı bir sistem oluşturulmuştur (Stadt, 2009).



Şekil 3: Stadt Stascho No-Loss dizel elektrik sevk sistemi (Motorship, 2014)

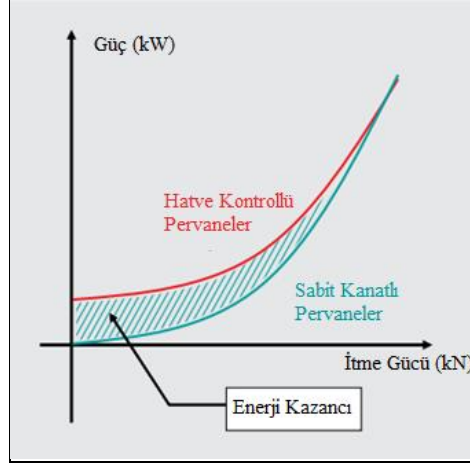
Sabit hatveli pervaneler gemilerde kullanılan en yaygın kullanılan sevk sistemidir (Tupper, 1996: 209-221). Bu sistemlerde pervane devrinin artmasıyla itme gücü artar (Arrington, 1998: 93) böylece geminin hız kontrolü sağlanır (Tupper, 1996: 209-221). Dizel-elektrikli tahrik sistemlerinde yakıt tüketiminin azalması iki nedene dayanmaktadır. Birincisi pervanenin devrinin değiştirilebilmesi hatve kontrollü sistemlerde oluşan yüksüz durumlardaki kayıpları ortadan kaldırmaktadır. Elektrikli tahrik sisteminde hatve kontrollü pervaneyle kullanılan bir elektrik motorunun pervanenin tam yüklü ve yüksüz olduğu durumlardaki özellikleri Şekil 1’de gösterilmiştir. İkincisi ise hız ayarı konvansiyonel sistemlerde kullanılan hatve kontrollü pervanelerdeki toplam sistem verimliliği elektrikli tahrik sistemlerinde motor devrinin değiştirilmesiyle elde edilen verimliliğe göre daha düşüktür (ABB, 2015: 2-3).

Şekil 4’te elektrikli tahrik sisteminde hatve kontrollü pervaneyle kullanılan bir elektrik motorunun yüklü ve yüksüz durumlardaki özellikleri verilmiştir.



Şekil 4: Elektrikli tahrik sisteminde hatve kontrollü pervaneyle kullanılan bir elektrik motorunun yüklü ve yüksüz durumlardaki özellikleri (Ådnanes, 2003)

Aşağıda şekil 5’te ise sabit hatveli pervaneler ile hatve kontrollü pervanelerin motor gücü-itme gücü grafiği verilmiştir.



Şekil 5: Sabit hatveli pervaneler ile hatve kontrollü pervaneler motor gücü-itme gücü grafiği (ABB, 2015)

Elektrikli tahrik sistemlerinde hatve kontrollü veya sabit hatveli pervaneler kullanılabilir. Ancak, elektrik motorlarının devrinin değiştirilebilmesi sebebiyle sabit hatveli pervanelere daha sık rastlanmaktadır (Pereira, 2007: 2).

Elektrikli tahrik sistemlerinde sabit hatveli pervaneler kullanıldığında motor hız ayarını yapmak için bir sürücü kullanılmalıdır (Kallah,1997: 3).

Pervanenin yüksek yüklü durumlarda çalışırken hatve kontrollü sistemlerle sabit hatveli değişken devirli sistemler arasında çok fark yoktur. Ancak daha düşük yüklü olduğu durumlarda sabit hatveli değişken devirli sistemler %2 civarında daha avantajlıdır. Makinelerin tüm kullanım süresi boyunca ortalama %25-%35 arasında yüklü olarak kullanılacağı göz önüne alındığında sabit hatveli değişken devirli sistemler daha avantajlıdır. (Kallah,1997: 3).

3. AMAÇ

Literatür taramasında görüldüğü üzere elektrikli tahrik sistemlerinde hatve kontrollü pervanelerin kullanımı ile ilgili olumlu ve olumsuz karşılıklı görüşler bulunmaktadır. Hatve kontrollü pervanelerde sabit pervane devrinde pervane kanat açıları değiştirilerek hız değişimi gerçekleştirilmekte; konvansiyonel sistemlerde ise hız kontrolü, bir motor sürücüsü yardımı ile pervane devri değiştirilerek sağlanmaktadır.

Günümüzde azalan fosil yakıtlar nedeniyle hızla gelişmekte olan elektrikli sevk sistemlerinin tekne ve yat endüstrisinde kullanımı gelecek vaat eden bir çözüm olarak görülmektedir (Bosich ve Sulligoi, 2013: 1).

Bu çalışmada elektrikli sevk sisteminde hatve kontrollü pervanenin kullanımının konvansiyonel sistemlere göre verimliliğın incelenmesi amaçlanmıştır.

4. YÖNTEM

Bu araştırmada elektrikli sevk sistemi kullanan; hem hatve kontrollü pervane ile pervane açıları değiştirilerek, hem de motor sürücüsü ile motor devri değiştirilerek hız ayarı yapılabilen bir tekne üzerinde güç harcaması ve tekne hızı grafikleri çıkartılarak verimlilik ölçümleri yapılmıştır.

Bu grafikleri çizmek için tekne üzerinde motor devri sabit tutulup hatve açıları değiştirilerek motorun harcadığı güç ve tekne hızı değerleri ölçülmüştür. Daha sonra hatve açısı, toplam tekne veriminin en yüksek olduğu değerde sabit tutulup motor devri değiştirilirken motorun harcadığı güç ve tekne hızı değerleri ölçülmüştür. Tekne hızı ölçülürken akıntının tekne üzerine etkisi hesaplanarak teknenin gerçek hızı bulunmuştur.

Üzerinde çalışma yapılacak teknenin formu üç boyutlu olarak gemi mühendislerince yaygın olarak kullanılan bir programa aktarılmıştır. Ölçülen hız ve güç değerleri kullanılarak, her bir ölçüm için teknenin toplam verimliliği saptanmıştır. Bu bulgulara göre iki sistemin verimlilik karşılaştırılması yapılmıştır.

5. UYGULAMA VE BULGULAR

Araştırma kapsamında İzmir Kalkınma Ajansı tarafından TR31/12/YE02/0015 numaralı "Entegre Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin İmal Edilmesi ve Ulaşım Taşıtlarında Uygulanması" adlı proje kapsamında finanse edilen ve Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi tarafından sistem tasarımı ve kurulumu gerçekleştirilen "Yeşil Eylül" teknesi üzerinde deneysel bir çalışma yapılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde Yeşil Eylül teknesinin teknik özellikleri incelenmiş ve tekne üzerinde yapılan ölçümlere ait grafikler gösterilmiştir.

5.1. Yeşil Eylül Teknesi Teknik Özellikleri

İZKA desteği kapsamında Dokuz Eylül Üniversitesinin elde etmiş olduğu tekne İzmir ve bölgesinde halkın satın alabileceği ve gezi teknesi olarak kullanabileceği tekneler incelenerek içlerinden hatve kontrollü pervane ve şanzıman sisteminin en uygun ve etkin bir şekilde montajının yapılabileceği tekneler içerisinden aşağıdaki Tablo 1'de özellikleri belirtilen tekne olarak seçilmiş ve donatılmıştır.

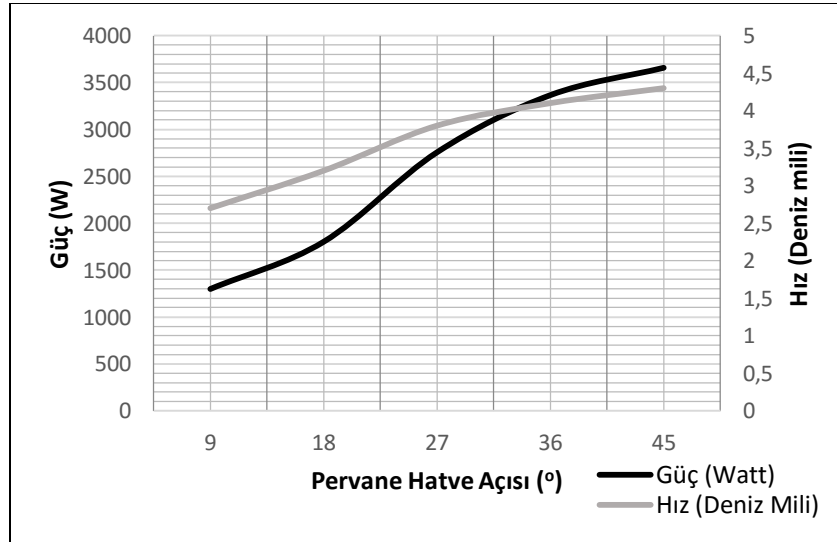
Tablo 1: Yeşil Eylül Teknesi Teknik Özellikleri

Tam Boy	7.80m
Genişlik	2.55m
Su Kesimi	6.90m
Deplasman	2350kg
Motor Modeli	Mars 1003 (Etek) Fırçalı DC Motor
Motor Gücü	11.5KW
Motor Sürücü	Kelly KDZ48200 Series
Aktarma Sistemi	Frydenbo 2:1 Şanzıman ve Hatve Kontrol Mekanizması
Pervane Hatve Açılıarı	90° (0-45° ileri yol, 0-45° tornistan)
Sistem Voltajı	48V *
	* (96 V'a kadar artırılabilir. Seyir sırasında, proje kapsamında satın alınmış akülerin kapasiteleri doğrultusunda 48 V olarak kullanılmasına karar verilmiştir)

Kaynak: Yazarlar

5.2. Bulgular

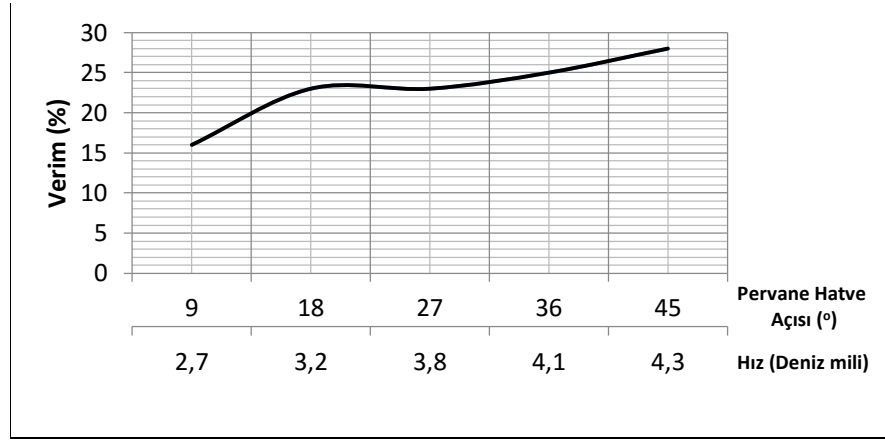
Çalışma kapsamında ölçümler sakin hava koşullarında (0-1 Beaufort) yapılırken ilk olarak Yeşil Eylül teknesi üzerinde motor devrini sabit tutarak pervane kanat açıları değiştirilirken motor gücü ve tekne hızı ölçülmüştür. Ölçülen değerlere ait grafik Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6: Sabit motor devrinde pervane hatve açısı değişimi ile ölçülen güç ve hız değişimi grafiği

Hatve açısı arttıkça sabit devir ve sabit voltajda motorun çektiği akım arttığı için motorun harcadığı güç artış göstermiştir. Bu artış sırasında tekne hızının da arttığı görülmektedir. Ancak; şekilde görüldüğü üzere güç ve hız eğrileri paralel artış göstermemiştir. Buna göre pervane hatve açısı arttıkça toplam tekne veriminin değiştiği yorumu yapılabilir.

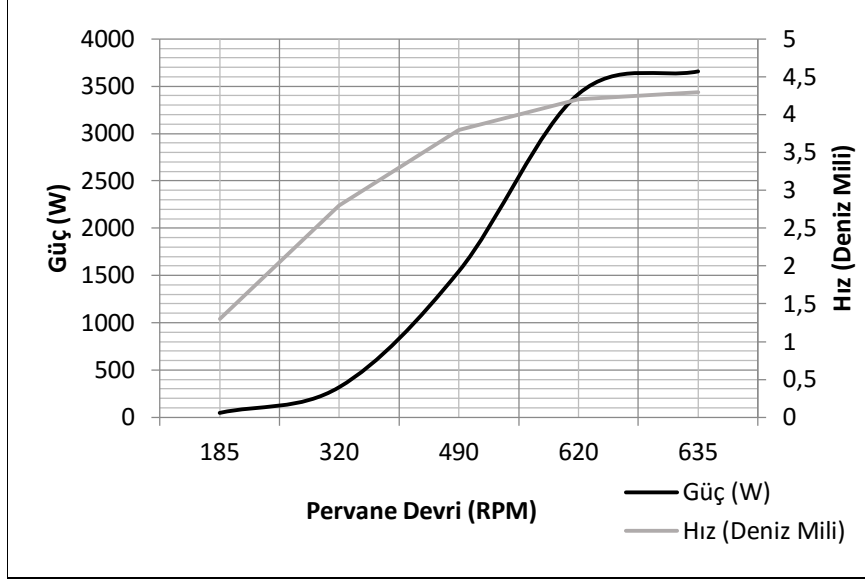
Gemi inşa programında Compton metodu (Compton, 1986) kullanılarak elde edilen hız-güç eğrilerinden çıkarılan toplam tekne veriminin pervane hatve açısı ve tekne hızına göre değişimi Şekil 7’de gösterilmiştir. Compton algoritması ayna kıça sahip tipik kıyı devriyesi yapan tekneler veya motorlu gezi teknelerinin sevk dirençlerini tahmin etmek için tasarlanmış olduğundan deneyi yapmış olduğumuz “Yeşil Eylül” teknesine en uygun algoritma olduğu için tercih edilmiştir.



Şekil 7: Sabit motor devrinde pervane hatve açısı değişimi ile ölçülen verim ve hız değişimi grafiği

Grafikten görüldüğü üzere sabit motor devrinde hatve açısının değişimi ile sistem verimi yükselmiştir. Ölçülen en yüksek verim değerinin, 45° hatve açısında olduğu görülmüştür. Buna göre, çalışmanın bir sonraki aşaması olan hatve kanat açısının sabit tutularak motor devrinin değiştirildiği durumda, sabit hatve açısı olarak 45° konumu kullanılmıştır.

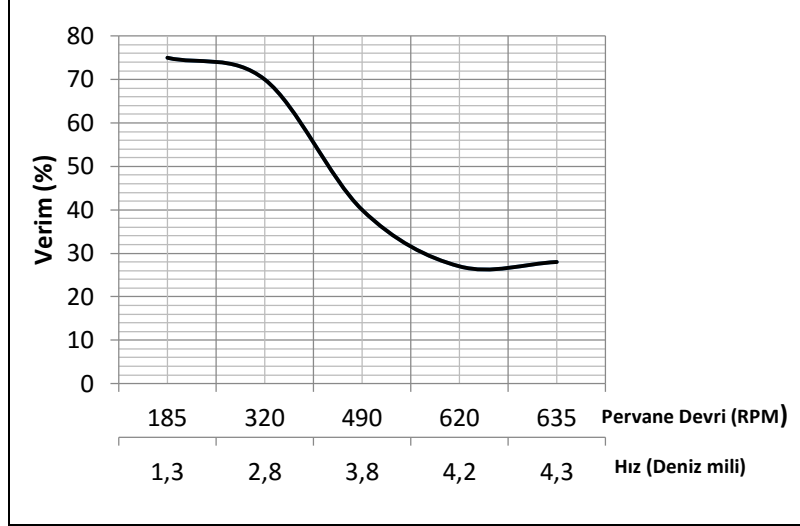
Yeşil Eylül teknesi üzerinde hatve açısı 45° de sabit tutulurken motor sürücü yardımı ile motor devri, dolayısıyla pervane devri değiştirilmiştir. Bu durumda motor gücü ve tekne hızının değişimini gösteren grafik Şekil 8’te verilmiştir.



Şekil 8: Sabit 45° hatve açısında pervane devrinin değişimi ile ölçülen motor gücü ve tekne hızı değişimi grafiği

Pervane ve motor devri arttıkça sabit hatve açısında motorun çektiği akım ve voltaj arttığı için motorun harcadığı güç artış göstermiştir. Bu artış sırasında tekne hızının da arttığı görülmektedir. Ancak; şekilde görüldüğü üzere güç ve hız eğrileri paralel artış göstermemiştir. Buna göre pervane ve motor devri arttıkça toplam tekne verimi değişmektedir.

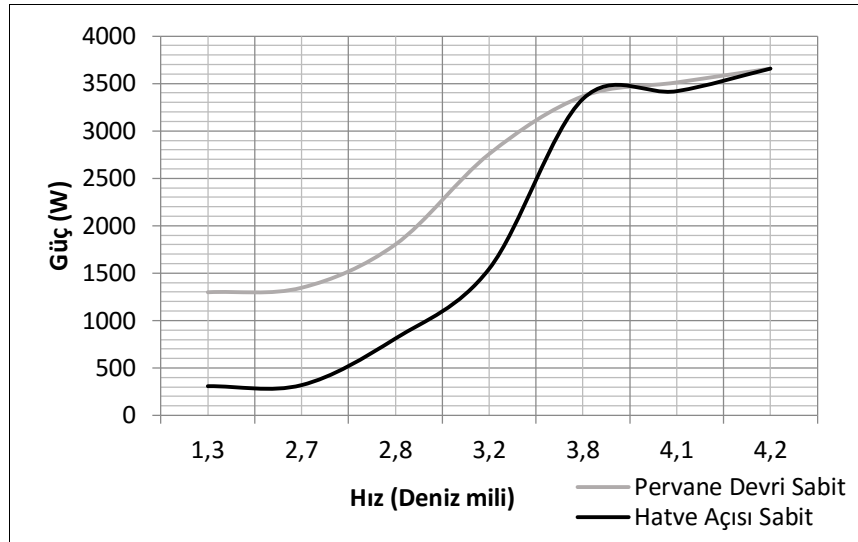
Gemi İnşa sevk direnci analizi programında Compton metodu kullanılarak elde edilen hız-güç eğrilerinden çıkarılan toplam tekne veriminin pervane devrine ve tekne hızına göre değişimi Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9: Sabit 45° hatve açısında toplam tekne veriminin pervane devrine ve tekne hızına göre değişimi

Motor ve pervane devrinin düşük olduğu durumlarda toplam sistem veriminin daha yüksek olduğu görülmektedir.

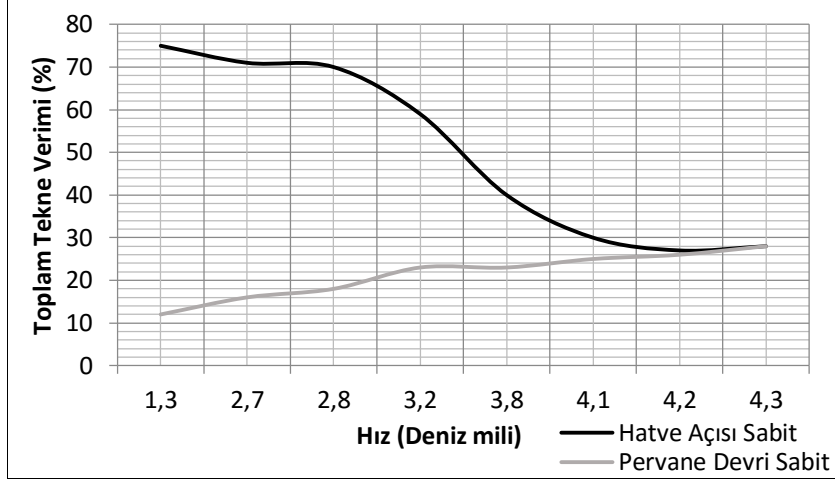
Şekil 10'da iki ayrı sistemin hız-güç eğrileri karşılaştırılmıştır.



Şekil 10: Sabit hatve açısı, değişken pervane devri durumu ile sabit pervane devri, değişken hatve açısı durumu hız-güç grafikleri karşılaştırması

Şekilde görüldüğü üzere düşük hızlarda aynı hızı elde edebilmek için pervane devrinin sabit tutulduğu sistemlerde daha yüksek güç

tüketimi gereklidir. Ancak; yüksek hızlara çıkıldığında aynı hızı sağlamak için gerekli olan güç ihtiyaçlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu grafiğe göre çıkarılan iki durum için toplam tekne verimlerinin karşılaştırılması Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11: Sabit hatve açısı, değişken pervane devri durumu ile sabit pervane devri, değişken hatve açısı durumu hız-verim grafikleri karşılaştırması

Şekilde görüldüğü üzere düşük hızlarda hatve açısının sabit tutulup pervane devrinin değişken olduğu durumda tekne verimi oldukça yüksektir. Ancak; daha yüksek hızlarda düştüğü görülmektedir. Pervane devrinin sabit tutulup hatve açısının değiştirildiği durumlarda düşük hızlarda verim çok düşük; fakat hız yükseldikçe hatve açısının sabit olduğu durumdaki verim değerlerine gelmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bulgulardan anlaşıldığı üzere elektrikli tahrik sistemlerinde hatve kontrollü pervane sistemlerinin verimliliği, motor sürücüsü ile pervane devrinin değiştirildiği konvansiyonel sistemlere göre daha düşüktür. Verimlilik farkı, düşük motor devirlerinde oldukça yükselmektedir. Yüksek hızlarda iki sistem karşılaştırıldığında verimlilik açısından büyük bir fark olmadığı görülmektedir. Elektrikli tahrik sistemlerinde motor-hız ayarının kolay bir şekilde yapılabildiği göz önünde bulundurulduğunda verimlilik açısından hatve kontrollü sistemlerin kullanımı avantaj sağlamamaktadır.

Deniz turizmi açısından önemli ulaşım araçları olan kurvaziyelerde, yolcu gemilerinde, yatlarda ve teknelerde, elektrik tahrikli ve hibrit sevk sistemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu sistemlerde kullanılmak üzere, sabit kanatlı pervanelere alternatif

olacak pervane çeşitleri mevcuttur. Bu çalışmada, elektrik tahrikli ve hatve kontrollü pervaneye sahip bir teknenin, sabit kanatlı pervane sistemine göre karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.

Bu çalışmada hesaplamalar yapılırken gemi hızı kullanılmıştır ve güç-gemi hızı grafikleri çizilmiştir. Gelecek çalışmalarda iki sistem arasında daha iyi bir karşılaştırma yapabilmek için gemi hızı yerine itme gücü hesaplanarak güç-itme gücü grafiği çizilebilir. Ayrıca deneyde kullanılan proje kapsamında alınmış olan elektrik motorunun gücünün de bu tekne tonajı için oldukça zayıf kaldığı da göz ardı edilmemeli ve bunlar çalışmanın kısıtları olarak kabul edilmelidir.

Bu çalışmada DC motor ve DC sürücüye sahip bir tekne üzerinde deney yapılmıştır. Gelecek çalışmalarda, literatürde de belirtilen, sinüsoidal dalgalar kullanarak sevk veriminde iyileştirmeler yapan sistemler ile AC motorlu sistemler üzerinde incelemeler yapılabilir.

Ayrıca, motor gücü ve tekne hızı daha yüksek tekneler için yapılacak çalışmalar ile elektrik tahrikli sistemlerde hatve kontrollü pervane (CPP) sistemlerinin verimliliğine yönelik daha detaylı sonuçlar alınabilir.

Bu çalışmada ölçümler belli aralıklar ile alınmıştır. Gelecek çalışmalarda sensörlerden anlık olarak alınan verilerin MATLAB yazılımı ile işlenmesi sonucu daha detaylı sonuçlara ulaşılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- ABB. (2015). *Electrical auxiliary propulsion*.
<https://library.e.abb.com/public/a61a797894b37b95c1257c8c00387350/Electrical%20auxiliary%20propulsion.pdf> Erişim Tarihi: 01.12.2015
- Ådnanes, A.K. (2003). *Maritime Electrical Installations and Diesel Electric Propulsion*
<https://www192.abb.com/LVPCanada/Catalogues/Segment%20Information/Marine/Tech%20Paper%20Marine%20Electrical%20Installation.pdf> Erişim Tarihi: 30.11.2015
- Aichele, R.O. (2007) “*Diesel-Electric Propulsion Pushes Ahead*”. Professional Mariner Dergisi, Kasım 2007 sayısı. s:83-88.
- Ajioka, Y. ve Ohno, K. (2013) “*Electric Propulsion Systems for Ships*”. Hitachi Review Dergisi, Vol.62, No.3, s:231-232.
- Arrington, J.W. (1998) “*The Analysis Of Components, Designs and Operation for Electric Propulsion and Intergrated Electrical System*”. Master’s Thesis. United States Navy, Naval Postgraduate School, Monterey, California.

- Balashov, S. (2011) “*Design of marine generators for alternative diesel-electric power systems*”. Master’s Thesis. Lappeenranta University of Technology, Faculty of Technology Department of Electrical Engineering.
- Bosich, D. ve Sulligoi, G. (2013) “*Voltage Control on a Refitted Luxury Yacht Using Hybrid Electric Propulsion and LVDC Distribution*”. 2013 Eighth International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER). 27-30 Mart 2013. Monaco.
- Compton, R.H., “Resistance of Systematic Series of Semiplaning Transom-Stern Hulls”, *Marine Technology*, Vol. 23, No. 4, Oct 1986.
- Doorduyn, W., Witlox, L., Lageweb, M. ve Brakel, R.V. (2011) “*The use of electric motors for the propulsion of seagoing vessels*”. The Maritime Symposium 2011. 22 Aralık 2011. Rotterdam, Hollanda.
- General Electric. (2015). *Power and Propulsion*
<http://www.gepowerconversion.com/industries/marine/power-and-propulsion> Erişim Tarihi: 01.12.2015
- Hundested Propeller. (2015). *The Advantages of Controllable Pitch Propellers*
<http://www.hundestedpropeller.dk/cp-propellers/> Erişim Tarihi: 30.11.2015
- Kallah, A. (1997) “*A Comparison of Thruster Propellers and Variable Speed Drives for DP Vessels*”. Marine Technology Society Dynamic Positioning Conference. 21-22 Ekim 1997. Houston.
- Kasten Marine. (2013). *Controllable Pitch Propellers*
<http://www.kastenmarine.com/CPprops.htm> Erişim Tarihi: 30.11.2015
- Koehler, H.W. ve Oehler, W. (1998) “*95 Years of Diesel-Electric Propulsion Form a Mekeshift Solution to a Modern Propulsion System*”. 2nd International Diesel Electric Propulsion Symposium. 26-29 Nisan 1998. Helsinki, Finlandiya.
- MAN. (2015). *Diesel-Electric Drives Guideline*
<http://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/marine-broschures/diesel-electric-drives-guideline.pdf?sfvrsn=0> Erişim Tarihi: 01.12.2015
- Marine Insight (a). (2015). *Electric Propulsion System for Ship – Does It Have a Future in the Shipping*
<http://www.marineinsight.com/tech/marine-electrical/electric-propulsion-system-for-ship-does-it-have-a-future-in-the-shipping/> Erişim Tarihi: 01.12.2015
- Marine Insight (b). (2015). *Controllable Pitch Propeller (CPP) vs Fixed Pitch Propeller (FPP)*
<http://www.marineinsight.com/marine/marine->

- news/headline/controllable-pitch-propeller-cpp-vs-fixed-pitch-propeller-fpp/ Erişim Tarihi: 30.11.2015
- Masson Marine. (2015). *Propellers - CPP and FPP* http://www.masson-marine.com/en/propellers-cpp-and-fpp_03.html Erişim Tarihi: 30.11.2015
- Motorship. (2014). *Stadt wins seismic ship propulsion order from Turkey*, <http://www.motorship.com/news101/engines-and-propulsion/stadt-wins-seismic-ship-propulsion-order-from-turkey> Erişim Tarihi: 15.12.2015
- Pereira, N.N. (2007) “*A Diagnostic of Diesel-Electric Propulsion for Ships*”. *Ship Science and Technology Dergisi*, Vol.1, No.2, s:1-14.
- Sapmaz, İpek “*Sektör Sunumu*”, Deniz Kaynakları ve Deniz Turizmi Birimi Yetkilisi, Deniz Ticareti ve Deniz Ulaştırması Bölümü, İMEAK Deniz Ticaret Odası, 2015.
- Siemens. (2015). *Elektrikle Tahrik Sistemi* http://siemens.com.tr/web/1416-12393-1-1/siemens_urunler__cozumler/marine/uygulamalar/elektrikle_tahrik_sistemi Erişim Tarihi: 01.12.2015
- Stadt. (2009). *Low Loss Drive System is Ready for Passenger Ships*, <http://www.stadt.no/uploads/4/1/2/6/41267099/stadtstaschopslr09.pdf> Erişim Tarihi: 02.12.2015
- Tupper, E.C. (1996). *Introduction to Naval Architecture*, Butterworth Heinemann Yayınları, Oxford.
- West Mekan. (2015). *Fixed Pitch Propeller* <http://www.westmekan.com/propeller-equipment/fixed-pitch-propeller/> Erişim Tarihi: 30.11.2015
- Yılmaz, T. (2008). *Gemi Mühendisliği El Kitabı*, Gemi Mühendisleri Odası Yayınları, İstanbul.
- Young, Y.L., Witt, D.L., Motley, M.R. ve Helpers, D.P. (2012) “*Analysis of Controllable Pitch Propellers for an All-Electric Naval Combatant*”. SNAME Annual Meeting & Expo 2012. 1 Ocak 2012. Houston, USA.