

INVESTIGATION OF EFFECTIVENESS OF WAKE EQUALIZING DUCT
FOR A CHEMICAL TANKER

Fahri ÇELİK, Serkan EKİNCİ*

*Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri
Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL*

Received/Geliş: 05.07.2010 Revised/Düzelme: 21.09.2010 Accepted/Kabul: 05.10.2010

ABSTRACT

In this study, effect of the wake equalizing duct (WED) on the propulsion performance of a chemical tanker is investigated numerically. Computations are performed by using a commercial computational fluid dynamics code based on finite volume method. Total 56 runs are achieved for several WED geometries and locations at various speeds of ship. It can be concluded from this study that propeller characteristics and resistance of the ship are affected slightly by the presence of the WED, but propulsive efficiency of the ship is improved about 10 % with generated an additional thrust. Consequently, it can be provided substantially fuel saving for ships owing to well designing WED.

Keywords: Wake equalizing duct, CFD, propeller, propulsion.

BİR KİMYASAL TANKER İÇİN İZ DÜZENLEYİCİ NOZUL VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada iz düzenleyici nozul kullanımının (Wake Equalizing Duct=WED) kimyasal bir tankerin sevk performansına olan etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Hesaplamalar sonlu hacimler metoduna dayalı ticari bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programı kullanılarak yapılmıştır. Farklı gemi hızlarında, değişik WED geometrileri ve konumları için toplam 56 adet analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarından, mevcut gemide iz düzenleyici nozul kullanımının, pervane karakteristiklerine ve gemi direncine etkisinin ihmal edilebilir derecelerde olduğu, ancak sağladığı ek itme kuvveti ile geminin genel sevk veriminde %10'lara kadar iyileşmelere neden olabileceği görülmüştür. Sonuç olarak, iyi dizayn edilmiş bir WED sistemi kullanımı ile gemilerde önemli miktarlarda yakıt tasarrufu sağlanabilecektir.

Anahtar Sözcükler: İz düzenleyici nozul, CFD, pervane, sevk.

1. GİRİŞ

Gemi pervaneleri sağladığı yüksek verim ile en yaygın olarak kullanılan gemi sevk sistemleri olmakla beraber, ilave sevk cihazları (özel sevk sistemleri) ile bunların performansını daha da iyileştirmek mümkündür. Bu cihazların birçoğu sevk verimini iyileştirmek için kullanılırken bazıları da diğer performans karakteristiklerini (kavitasyon, titreşim, manevra vb.) iyileştirmede

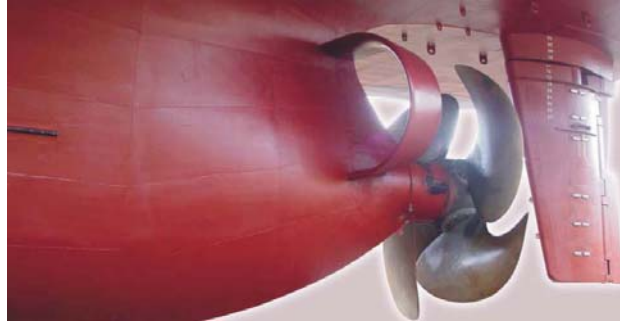
* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: ekinci@yildiz.edu.tr, tel: (212) 383 28 50

fayda sağlarlar. Son 30 yıl içerisinde önemli gelişmelerin olduğu enerji tasarrufu sağlayıcı özel sevk sistemleri hakkında ayrıntılı bilgiler [1], [2], [3], [4], [5], [6] 'da bulunabilir.

Gemilerde yaygın olarak kullanılan enerji tasarrufu sağlayıcı özel sevk sistemlerinden biri de iz düzenleyici nozuldur (Schneekluth nozulu) (Şekil 1). Bu nozul aerofil kesitli yarım halka şeklinde olup, pervane üst bölgesine karşılık gelen geminin arka kısmına yerleştirilir. İz düzenleyici nozulun verimliliğini etkileyen bazı önemli parametreler; nozul eksenine ile gemi merkez hattı arasındaki açı, nozulun gemiye göre boyuna konumu, nozul iç çapı, nozul kesit şekli, kesitlerin nozul eksenine göre açısı ve nozul boyudur. İz düzenleyici nozul pervane üst kısmındaki akımı hızlandırıp (bu bölgedeki akım alt kısma göre daha yavaştır) pervane düzlemine gelen akımı daha düzgün hale getirerek pervane veriminde artışa sebep olur. Ayrıca iyi dizayn edilmiş bir WED, gemi arkasındaki akım ayrışmasını azaltır, hızlandırıcı tip nozula benzer şekilde ilave itme üretir, akımı düzgün hale getirdiği için pervane kaynaklı gürültüyü azaltır ve dümene daha düzgün akım gelmesi sebebi ile manevra kabiliyetini iyileştirir. WED aynı zamanda Van-Wheel tekerlekleri, asimetrik kış gibi diğer özel sevk sistemleri ile de beraber kullanılabilir. İz düzenleyici nozulun, blok katsayısı 0.6'dan büyük ve 12-18 knot hız aralığındaki gemilerde çok daha etkin olduğu görülmüştür [7].

İz düzenleyici nozulun gemi sevk performansına etkisi şimdiye kadar genellikle model deneyleri ile incelenmiştir. Ancak, büyük gemilerin sevk performanslarının model deneyleri ile tahmininde ölçek etkisi önemli hale gelmektedir [8]. Özellikle yüksek Reynolds sayılarında ölçek etkisi daha önemli olmakta, böyle durumlarda kendi kendine sevk (self-propulsion) testlerinin yapılması önerilmektedir [8]. Ayrıca, bu durumlarda model deneylerine ek olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleri de kullanılabilir.

Hamburg Gemi Model Havuzu'nda, Friesch ve Johansen tarafından yapılan deneylerde, bir tanker WED'li ve WED'siz durumları için ölçek etkileri kapsamlı olarak incelenmiştir [9]. Yapılan bu çalışmada, WED kullanımının gerçek ölçekli geminin performansına pozitif etki yapmasına karşılık model deneylerinde bu pozitif etkinin elde edilmediği görülmüştür. İz düzenleyici nozulun genel bir yük gemisi için etkilerinin incelendiği bir diğer deneysel çalışma ise [10]'da sunulmuştur. Çalışmada, orijinal gemi formundan iki farklı yeni form üretilerek bu gemilerin direnç, kendi kendine sevk ve akım görüntüleme deneylerinin gemilerin performansına olan etkileri incelenmiştir.



Şekil 1. İz düzenleyici nozul [11].

Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes Denklemlerinin (Reynolds Averaged Navier-Stokes =RANS) çözümüne dayalı sayısal metodlar, aynı zamanda gemilerin sevk performanslarının öngörüsü için gemi hidrodinamiğine de uygulanmaktadır. Bununla ilgili olarak çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan biri [12]'de sunulmuştur. Bu çalışmada, pervaneli ve pervanesiz koşullarda bir konteyner gemisinin direnç ve sevk karakteristikleri, ticari bir CFD kodu olan CFX programı kullanılarak hesaplanmıştır. Sayısal sonuçlar deneysel sonuçlar

ile karşılaştırılmış, CFD'den elde edilen toplam direnç katsayıları ile deneysel ölçümlerden elde edilen sonuçlar arasındaki farkın yaklaşık %6 olduğu bulunmuştur.

Yüksek blok katsayısına sahip bir tanker üzerinde WED'in etkisinin incelendiği başka bir çalışma ise [13]'de sunulmuştur. Bu çalışmada, sayısal hesaplamalar için sonlu hacimler metoduna dayalı bir CFD kodu olan Comet kullanılmıştır. Gemi arkasında pervanenin mevcut olmadığı koşullarda özellikle farklı gemi hızları için Reynolds sayısının etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak WED'in, sevk için ilave bir güç gereksinimine sebep olduğu ve nozulsuz geminin sonuçları ile karşılaştırıldığında az da olsa bir direnç artışına sebep olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlardan uygun olmayan bir WED tasarımının gemi direncinde artışa ve ilave bir güç gereksinimine neden olabileceği sonucuna varılmıştır. Bir RO-RO gemisine takılan WED sisteminin verimliliğinin incelendiği başka bir çalışma ise [14]'te verilmiştir.

Yukarıda anlatılan [12] ve [13] çalışmalarına ek olarak, pervane ve tekne etrafındaki viskoz akışın ticari RANS çözücü paket programları ile incelendiği diğer çalışmalardan ikisi [15] ve [16]'da sunulmuştur. Çalışmalarda, sayısal hesaplamalardan elde edilen sevk performansı, gemi direnci ve pervane analizine ait sonuçlar ile model testlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve aralarındaki farkın kabul edilebilir mertebelerde olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışmada, kimyasal bir tankere en uygun WED geometrisi ve konumunu bulmak için, RANS denklemlerinin sayısal olarak çözümüne dayalı bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile analizler gerçekleştirilmiştir. RANS çözücüsü olarak, ticari bir yazılım olan FLUENT kullanılmıştır. Hesaplamalar, gemi, gemi+pervane, gemi+WED ve gemi+WED+pervane durumları için 10-16 knot hız aralığında yapılmıştır. Farklı WED geometrileri, üç farklı nozul kesit açısı ve nozulun gemiye göre iki farklı boyuna konumu seçilerek elde edilmiştir. İşlem zamanını azaltmak için, geminin tamamı yerine paralel gövdenin gerisindeki arka kısmı alınmıştır.

2. CFD ANALİZİ

2.1. Geminin Geometrik Özellikleri

Analizlerde kullanılan gemi hidrodinamik olarak modern bir dizayna sahip olup, ayna kılıcı, yumru başa sahip, tek pervaneli ve blok katsayısı $C_b=0.77$ 'dir. Geminin ana boyutları Çizelge 1'de ve üç boyutlu geometrisi ise Şekil 2'de görülmektedir.

2.2. Pervaneye Ait Veriler

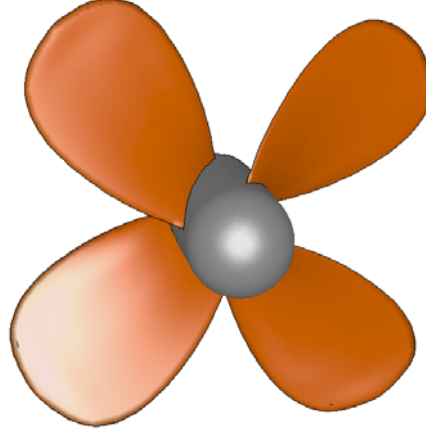
CFD analizinde kullanılan pervane geometrisi (Şekil 3), [17] tarafından geliştirilen kaldırıcı hat metodu kullanılarak dizayn edilmiştir. Pervane, tüm yarıçaplarda NACA 66 a= 0.8 sehim hattına sahip kesitlerden oluşmaktadır. Pervane dizayn bilgileri Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 1. Geminin ana boyutları

| | | |
|------------------------------|-------|------|
| Dikmeler arası boy, L_{BP} | 87.55 | m |
| Su hattı boyu, L_{WL} | 89.38 | m |
| Genişlik, B | 14.26 | m |
| Derinlik, D | 6.85 | m |
| Su çekimi, T | 5.42 | m |
| Deplasman, Δ | 5500 | ton |
| Blok katsayısı, C_B | 0.77 | - |
| Dizayn hızı, V_s | 14 | knot |



Şekil 2. Kimyasal tankere ait geometri



Şekil 3. Pervane geometrisi

Çizelge 2. Pervane dizaynı bilgileri

| | |
|-----------------------------------|-------|
| Pervaneye verilen güç, P_D (kW) | 3246 |
| Dizayn hızı, V_S (Knot) | 14 |
| Devir sayısı, RPM | 150 |
| Pervane çapı, D (m) | 3.5 |
| Kanat sayısı, Z | 4 |
| 0.7R kesitinde hatve oranı, P/D | 1.081 |
| Kanat alan oranı, (A_E/A_0) | 0.60 |
| İz $(1-w_N)$ | 0.697 |

2.3. WED Geometrileri ve Konumları

WED'in geometrik dizaynı ve efektif yerleşimi için çok sayıda parametre vardır. Bunlar arasında, iç çap, profil kesit şekli, uzunluğu, kesit açısı, yarım halkaların eksen ile yaptığı açı, bu halkaların boyuna ve dikey konumları verilebilmektedir. Bu çalışmada yapılan analizler, iz düzenleyici nozulun değişken iki parametresine bağlı olarak, 6 değişik nozul düzeni için gerçekleştirilmiştir. Nozula ait söz konusu değişken parametreler, kesit açısı ve boyuna konumdur. Geminin sevk performansını geliştirmek için en iyi nozul geometrisi ve konumu incelenmiştir. WED'in genel yerleşimi Şekil 4'te görülebilmektedir. Çıkış ucu yarıçapı (R_{out}), nozul boyu (DC) ve dikey konumu sabit tutulup, nozul kesit açısı (ϕ) değiştirilerek, farklı giriş ucu yarıçapı (R_{in}) elde edilmiştir. Çıkış ucu yarıçapı (R_{out}) pervane çapının yarısı, nozul boyu ise nozul çapının dörtte biri

olacak şekilde seçilmiştir. Gemi kıçı etrafındaki akış, gemi arkasında pervanenin takılı olduğu ve olmadığı durumlarda ve Çizelge 3'te verilen koşullar altında incelenmiştir.

2.4. Sayısal Metot

CFD analizinde çözüm RANS denklemlerinin sayısal olarak çözülmesi ile elde edilmektedir. Bu çalışmada, RANS çözücü olarak ticari bir CFD kodu (sonlu hacim metoduna dayalı) olan Fluent 6.2.16 kullanılmıştır. Sayısal metodun detaylı tanımı bu koda ait kullanıcı kılavuzundan bulunabilir [18].

Bu çalışmada, akışın 4.48×10^8 ve 7.177×10^8 arasında incelenen Reynolds sayılarına bağlı olarak türbülanslı ve sıkıştırılmaz olduğu varsayılmaktadır. Türbülans modeli olarak k-ε (standard) modeli seçilmiştir [19]. Kurucu denklemler, ikinci derece sonlu interpolasyon yöntemi kullanılarak ayrıklaştırılmış ve ayrıklaştırılan denklemler SIMPLE algoritması kullanarak çözülmüştür.

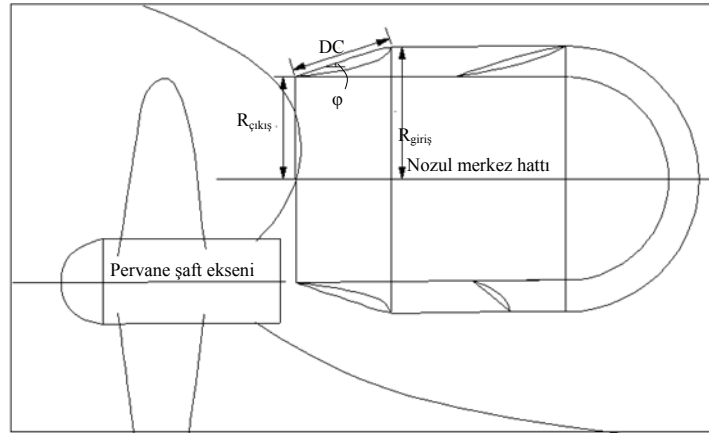
Çözüm, süreklilik için artık değeri 10^{-4} 'ten, hız için artık değeri 10^{-5} 'ten daha düşük değerlere yakınsayana kadar devam etmektedir. Bu değerlere pervaneli durum için yaklaşık 600 iterasyon, pervanesiz durum için ise 400 iterasyon sonunda ulaşılmıştır.

Tüm sayısal hesaplamalar, 2 GB RAM'a sahip Pentium 4 2.7 GHz CPU işlemcili IBM bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

2.5. Grid Düzeni

Gemiye ait tekne geometrisi Maxsurf gemi dizayn programı kullanılarak modellenmiştir [20]. WED ve pervane geometrileri ise Rhino CAD programı aracılığı ile oluşturulmuştur. Söz konusu tüm bu geometriler, sınır koşullarının tanımlanması ve grid üretimi için Fluent'in sayısal ağ hazırlama programına (Gambit) aktarılmıştır.

Bilindiği gibi sayısal akış simülasyonlarında en önemli parametrelerden biri sayısal ağ (mesh) kalitesidir. Bu parametre, gerekli olan iterasyon sayısına (CPU zamanına) ve çözümün doğruluğuna direkt olarak etki etmektedir. Bu sayısal ağ kalitesini sağlamak amacı ile gemi gövdesi etrafındaki akışı modelleyen hesaplama alanı 13 parçaya ayrılmıştır. Bu parçalardan 12 tanesi sabit, bir tanesi ise pervane ile birlikte dönen hareketli bir hesaplama alanıdır.



Şekil 4. Gemi kıçında WED'in yerleşimi

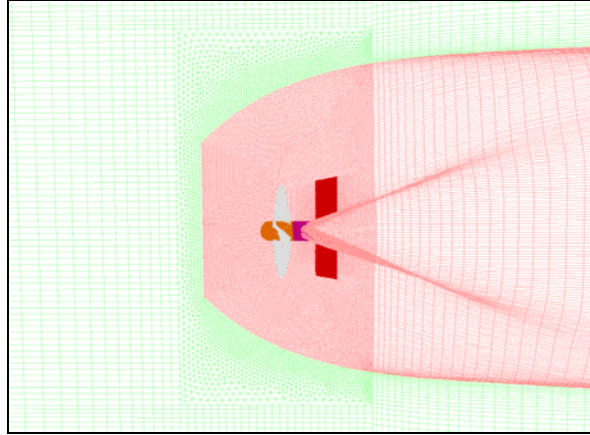
Pervane, nozul ve gemi kıç bölgesi ile ilgili olan yüzeyler için gridler üçgen mesh elemanları kullanılarak, geminin geriye kalan diğer yüzeyleri ise dörtgen mesh elemanları kullanılarak oluşturulmuştur. Üretilen yüzey mesh'leri, hesaplama alanları ise uygun altı yüzlü, dört yüzlü sayısal ağ elemanları ile doldurulmuştur. Grid aralığı, viskoz akış etkilerini daha doğru olarak hesap edebilmek için tekne yüzeyine yakın yerlerde daha sık olarak düzenlenmiştir. Sayısal grid, ilgili gemi hızlarına karşılık gelen tüm Reynolds sayıları için sabit tutulmuştur. Şekil 5'te mevcut simülasyonda gemi kıç tarafındaki grid düzeni gösterilmektedir.

Çizelge 3. İz Düzenleyici Nozul Düzenleri

| | Nozul kesit açısı (ϕ) (derece) | Nozulun boyuna konumu (-kıç dikmeden) (m) |
|---------|---------------------------------------|--|
| Durum 1 | | Nozul yok |
| Durum 2 | 18 | 3.25 |
| Durum 3 | 18 | 2.95 |
| Durum 4 | 14 | 3.25 |
| Durum 5 | 14 | 2.95 |
| Durum 6 | 10 | 3.25 |
| Durum 7 | 10 | 2.95 |

Sayısal ağ hacminin oluşturulmasında kullanılan hücrelerin sayısı, pervanenin takılı olduğu durumda yaklaşık olarak 1.250.000 iken pervanenin takılı olmadığı durumda yaklaşık 1.050.000'dir.

Gemi gövdesi, pervane ve nozul yüzeyleri üzerinde kaymasız duvar (no-slip wall) sınır koşulu uygulanmıştır. Su yüzeyinde ise kaymalı duvar (slip wall) sınır koşulu uygulanmış ve kesme gerilmesi bileşenleri sıfır olarak alınmıştır. Dış sınır üzerinde simetrik sınır koşulu uygulanmıştır.



Şekil 5. Gemi kıç tarafındaki grid dağılımı

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Daha önce de söz edildiği gibi WED sisteminin kullanılmasının amacı şu şekilde özetlenebilir: pervanenin üst kısmına gelen akımı hızlandırdığı ve buna bağlı olarak düzgün bir hız dağılımı sağlayarak pervane verimini iyileştirmesi, pervane kaynaklı titreşimleri azaltması, gemi kıçında

akım ayrışmasını artırarak viskoz direnç kuvvetini azaltması ve ilave bir itme üreterek sevk verimini iyileştirmesidir.

Bu çalışmada, üç farklı nozul geometrisi ve bu nozulların iki farklı boyuna konumu için, WED'lerin söz konusu avantajları sağlayıp sağlamadığı sayısal olarak incelenmiştir. En uygun nozul geometrisi ve bu nozulun konumu, sağlanan kazanca (sevk için gerekli gücün azaltılması) bağlı olarak bulunmuştur.

İlk olarak, pervanenin takılı olmadığı durumda gemi arkasındaki sayısal akış analizi pervane düzleminde nominal iz dağılımını elde etmek için tüm koşullar dikkate alınarak icra edilmiştir. Daha sonra pervanenin takılı olduğu durumdaki akış analizi tüm koşullar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Efektif iz dağılımları, gemi gövdesi ile nozul yüzeylerini etkileyen viskoz basınç ve sürtünme direnç kuvvetleri, nozullara ait itme kuvvetleri, pervanenin itme ve tork katsayıları hesaplanmıştır.

3.1. Direnç

Bir gemi gövdesine etkiyen toplam direnç kuvveti temel olarak iki bileşene ayrılmaktadır: Yerkürenin çekim kuvvetinden dolayı meydana gelen dalga direnci ve suyun viskozitesinden dolayı meydana gelen viskoz direnç. Aynı zamanda viskoz direnç kuvveti de iki bileşene ayrılabilir: sürtünme direnci ve viskoz basınç direnci. Bu çalışmada, dalga direnci ve serbest yüzey etkileri ihmal edilmiştir. Bu nedenle su yüzeyinin durgun olduğu varsayılmaktadır.

Sürtünme direnci, gemi gövdesinin ıslak yüzey alanına, suyun viskozitesine ve geminin hızına bağlıdır. Beklendiği gibi, nozul yüzey alanı, gemi gövdesi yüzey alanı ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir mertebede olduğu için, analiz edilen tüm koşullarda, nozullu ve nozulsuz gemiye ait sürtünme direnç kuvvetleri arasındaki farklılığın önemsiz olduğu bulunmuştur.

En etkili direnç bileşeninin, WED'in kullanılması sonucu oluşan viskoz basınç kuvvetinin olduğu beklenmektedir. Nozul, gemi kıç tarafındaki akım ayrışmalarının azalmasından dolayı viskoz basınç direncini azaltabilir. Bu sayısal simülasyonlarda, tüm koşullar için gemi kıç tarafındaki akım çizgileri üzerindeki ayrışmaların çok önemli olmadığı bulunmuştur. Böylece, bütün nozul çeşitleri ve konumları için, viskoz basınç direnç kuvvetleri hem nozullu hem de nozulsuz koşulda sabit kalır. Gemi modern bir dizayna sahip olduğu için, kıç formu hidrodinamik olarak iyi dizayn edilmiştir. En etkili koşul olan durum 6 için gemi kıç tarafındaki akım hatları Şekil 6'da, hız vektörleri ise Şekil 7'de sunulmaktadır.

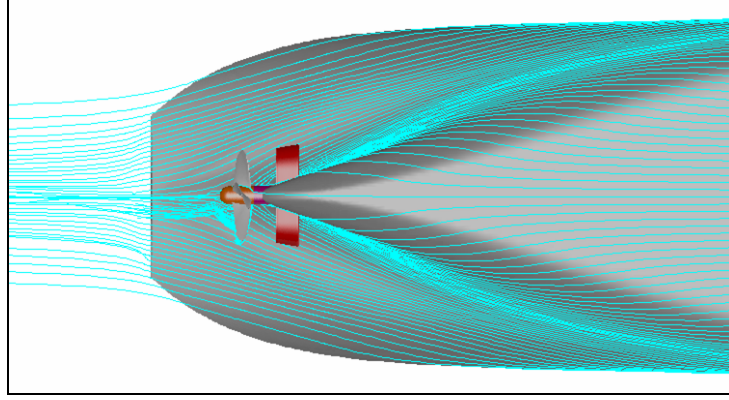
3.2. WED Tarafından Üretilen İtme Kuvveti

Şekil 8'den görüleceği gibi, 10 ve 15.4 knot gemi hızları arasında nozul düzenleri tüm koşullarda pozitif bir itme üretmektedirler. Durum 2 ve Durum 3'te, nozul tarafından üretilen itme artan gemi hızı ile azalmakta ve daha sonra 15.5 knot hızda ise nozul negatif bir itme (direnç) vermektedir. Durum 4 ve Durum 5'teki eğriler, Durum 2 ve Durum 3'tekine benzer karakterler göstermektedirler. Ancak bu eğriler kademeli olarak azalmaktadırlar. Bununla beraber, Şekil 8'de gösterildiği gibi, Durum 4 ve Durum 5'te nozul kullanımı pozitif itme miktarında büyük oranda artış sağlamaktadır.

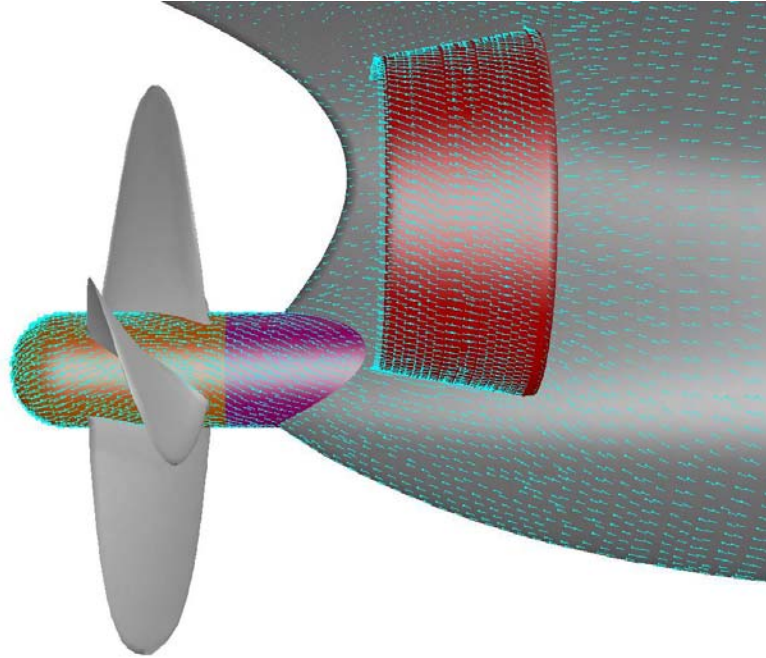
Durum 6 ve Durum 7'de, maksimum itmeler nozul kesit açısı (ϕ)'nin 10° olduğu durumlarda elde edilmekte ve gemi hızı ile birlikte bir miktar artış göstermektedirler. Şekil 8'de, Durum 6 için, gemi dizayn hızında, nozulun ürettiği maksimum itmenin 28.553 kN olarak sağlandığı gösterilmektedir.

Durum 6'da nozul kullanımı maksimum pozitif itme üretmesine rağmen, söz konusu nozulun efektif geometriye ve yerleşime en uygun nozul olduğunu söylemek yeterli değildir. Bundan dolayı, nozulun kullanıldığı ve kullanılmadığı gemi hızlarındaki koşullar için sevk verimlerinin karşılaştırılması gerekmektedir.

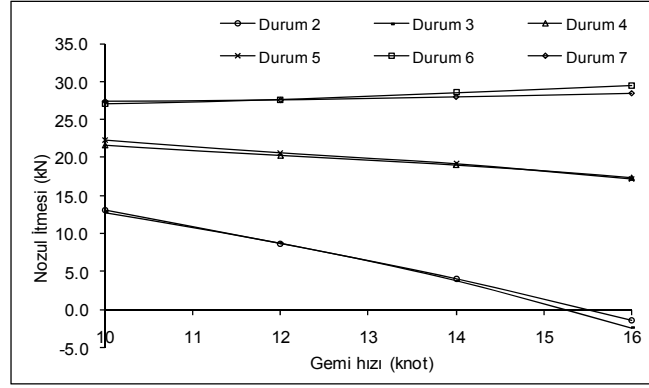
Şekil 9, Durum 6 için pervaneli ve pervanesiz gemi koşullarında WED etrafındaki aksenal hız dağılımlarını göstermektedir. Beklenildiği gibi,iz düzenleyici nozulun iç kısmındaki aksenal hızlar WED'in dış kısmındaki aksenal hızlardan daha yüksek olmaktadır. Aynı zamanda pervanenin mevcut olması durumunda, WED'in iç kısmındaki aksenal hız artmaktadır.



Şekil 6. Durum 6 için geminin kıçı etrafındaki akım hatları



Şekil 7. Durum 6 için gemi kıçındaki hız vektörleri

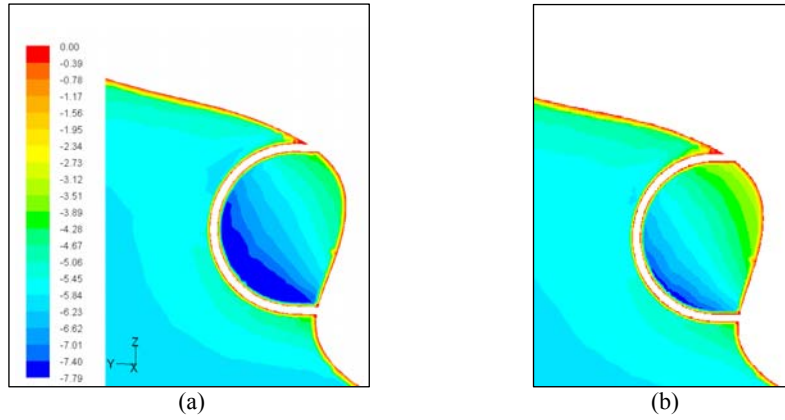


Şekil 8. Gemi hızı ile WED tarafından üretilen itmenin değişimi

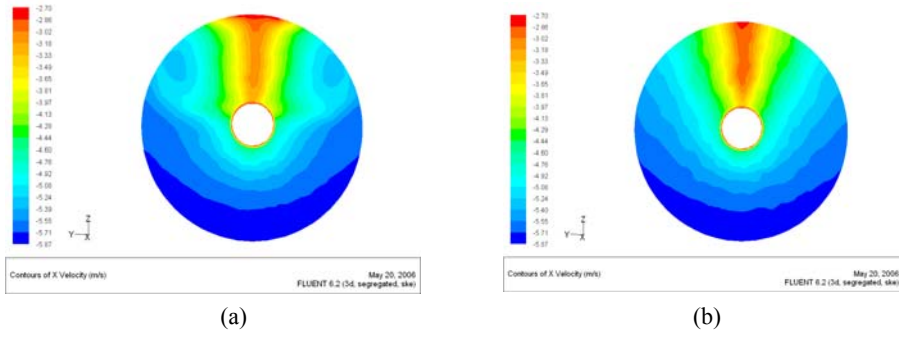
3.3. Sevk

Daha önce yukarıda bahsedildiği gibi, iz düzenleyici nozul sisteminin kullanılmasındaki ana amaç, iz dağılımını düzenleyerek açık su pervane verimini arttırmaktır. Bu çalışmada tüm nozul kullanım koşulları incelenmiş, WED'in pervane açık su verimini pozitif veya negatif yönde değiştirmedeği görülmüştür. Şekil 10'da gösterildiği gibi, pervane üzerindeki iz dağılımı WED kullanılması ile küçük bir miktar değişmiştir. Ancak pervane verimi üzerinde bu değişim çok önemli bir etki oluşturmamaktadır. Benzer şekilde diğer pervane karakteristikleri (itme ve tork katsayıları), iz düzenleyici nozul sisteminin kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlar için hemen hemen sabit kalmaktadır. Şekil 11, pervane performans karakteristiklerini göstermektedir.

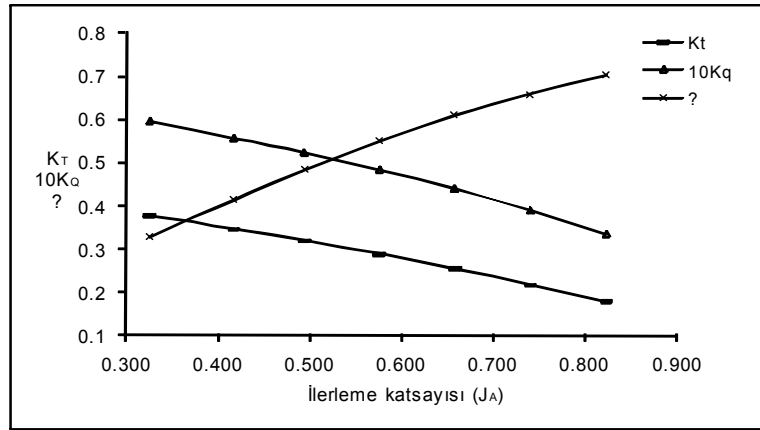
Nozul sisteminin kullanılması halinde pervane karakteristikleri çok az etkilenmesine rağmen, sevk verimi bazı nozul durumları için nozul tarafından üretilen ilave pozitif itme sayesinde oldukça artmaktadır (Şekil 12). Durum 6'da, nozul kullanımı ile gemi dizayn hızında sevk verimindeki maksimum artış (kazanç veya güç kazanımı) %9.743 olarak bulunmuştur. Bu değer sevk için gerekli gücün azaltılması için önemli miktardır.



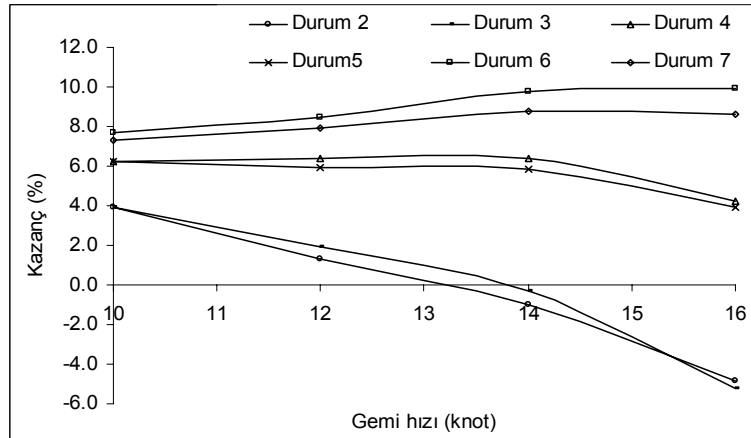
Şekil 9. Durum 6 için WED etrafındaki aksenal hız dağılımları: (a) pervaneli (b) pervanesiz



Şekil 10. Durum 6 için nominal iz dağılımları: (a) WED'li (b) WED'siz



Şekil 11. Durum 6 için pervane performans eğrileri



Şekil 12. Çeşitli nozul düzenlerine bağlı olarak WED'in kullanımı ile elde edilen kazancın % değişimi

4. SONUÇLAR

Viskoz direnç kuvvetlerini ve pervane kaynaklı titreşimleri azaltmak, sevk performansını iyileştirmek için kullanılan enerji tasarrufu sağlayıcı sevk sistemlerinden en yaygın olarak kullanılanlarından biri iz düzenleyici nozul'dur. Bu çalışmada, blok katsayısı $C_b=0.77$ olan kimyasal bir tanker için, 6 adet nozul sistemi arasından en efektif nozul geometrisi ve nozul boyuna konumunu elde etmek için sayısal bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Çeşitli gemi hızlarında, pervane ve WED kombinasyonu ile birlikte gemiye ait sevk karakteristikleri, kış bölgedeki akım hatları ve viskoz direnç kuvvetleri analiz edilmiştir. Hesaplama zamanını (CPU) azaltmak için, geminin tamamı yerine sadece kış bölgesi modellenmiştir.

Sayısal simülasyondan elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Tüm nozul koşulları ve gemi hızlarında, nominal ve efektif iz dağılımları dolayısı ile ortalama iz, nozulun mevcudiyetinden çok az etkilenmektedir. Ortalama ve efektif izin değişmeyebileceği daha önce [7] çalışmasında rapor edilmiştir. Kimyasal tankerin pervane diskindeki nominal ortalama iz katsayısı yaklaşık 0.303 bulunmuştur.
- Geminin viskoz direnç kuvvetleri, değişik nozul durumları (6 adet) için değişmemektedir.
- Analiz edilen tüm koşullar için pervane sevk karakteristikleri hemen hemen sabit kalmaktadır.
- Geminin dizayn hızında, tüm nozul durumları için, nozullar pozitif itme üretilmekte, özellikle Durum 6 ve 7'de önemli miktarlara ulaşmaktadır. Güç kazanımı için maksimum değer Durum 6'daki nozul tarafından sağlanmaktadır. Gemi dizayn hızında bu şartlarda kullanılan nozul, sevk veriminde %9.7'lik bir artışa neden olmaktadır.
- Nozul düzenlerinin etkinliği, büyük oranda nozul kesit açısına bağlı olmasına rağmen, analiz edilen koşullar için WED'in boyuna konumu ile çok az etkilenmektedir.

Elde edilen tüm sonuçlar, iyi dizayn edilmiş WED sisteminin bir geminin sevk karakteristiklerini oldukça geliştirebileceğini başka bir deyişle negatif bir etkiye neden olacağını göstermektedir. Bu nedenle özel bir tekne formu için dizayn edilen WED sisteminde, çeşitli parametreleri içeren nozul değişkenleri (nozul kesit açısı, nozul boyu, nozul eksen açısı vb) ile kapsamlı çalışmalar yapılarak en iyi gemi sevk performansı elde edilmelidir. Bundan sonraki çalışmalarda kimyasal tanker dışındaki diğer tip gemiler için de benzer analizlerin gerçekleştirilmesi düşünülmektedir.

Sembol Listesi

| | |
|-----------------------------|----------------|
| Dikmeler arası boy | L_{BP} (m) |
| Su hattı boyu | L_{WL} (m) |
| Genişlik | B (m) |
| Derinlik | D (m) |
| Su çekimi | T (m) |
| Deplasman | Δ (ton) |
| Blok katsayısı | C_B |
| Dizayn hızı | V_S (knot) |
| Pervaneye verilen güç | P_D (kW) |
| Dizayn hızı | V_S (Knot) |
| Devir sayısı | RPM |
| Pervane çapı | D (m) |
| Kanat sayısı | Z |
| 0.7R kesitinde hatve oranı, | P/D |
| Kanat alan oranı | (A_E/A_0) |
| İz | $(1-w_N)$ |
| Nozul kesit açısı | ϕ |
| Nozul boyu | DC (m) |
| Nozul çıkış ucu yarıçapı | R_{out} (m) |
| Nozul giriş ucu yarıçapı | R_{in} (m) |

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Glover, E.J., "Propulsive devices for improved propulsive efficiency", Trans. Institute of Marine Engineers 99: 23- 29, 1987.
- [2] ITTC, The propulsor committee., Proc. 19th International Towing Tank Conference (ITTC), Madrid, Spain, Vol 1, pp.109-160,1990.
- [3] Blaurock, J., "An appraisal of unconventional aftbody configurations and propulsion devices", Marine Technology SNAME 27(6), 325-336, 1990.
- [4] Patience, G. "Developments in marine propellers", Proc. Institute of Mechanical Engineers, Vol 205: pp.1-12, 1991.
- [5] Breslin, J.P. and Andersen, P., Hydrodynamics of ship propeller. Cambridge University Pres, 1994.
- [6] Carlton, J.S., Marine propellers and propulsion. Butterworth- Heinemann Ltd., Oxford, 2006.
- [7] Schneekluth, H., Wake equalizing duct. The Naval Architect 103, 147-150, 1986.
- [8] ITTC, Final report of the specialist committee on unconventional propulsors. 22nd International Towing Tank Conference, Seoul, Korea and Sanghai, China, 1999.
- [9] Friesch, J., Johannsen, C., "Propulsion optimization tests at high Reynolds numbers", SNAME Transactions 102: 1-21,1994.

- [10] Korkut, E., "A case study for the effect of a flow improvement device (a partial wake equalizing duct) on ship powering characteristics", *Ocean Engineering* 33(2): 205-218, 2006.
- [11] Wake Equalizing Duct, <http://www.wartsila.com>, [Erişim tarihi; Ağustos 15,2010].
- [12] Abdel-Maksoud, M., 2003. Numerical and experimental study of cavitation behaviour of a propeller. Sprechtag Kavitation, Hamburg.
- [13] Ok, J.P., "Numerical investigation of scale effects of Schneekluth's duct", PhD Thesis, Hamburg Technical University, Germany,2004.
- [14] "Çelik F. and Yılmaz H. "Is a wake-equalising duct applicable to all ships?", *Naval Architect*, 8-9, September, 2006."
- [15] Watanabe, T., Kawamura, T., Takekoshi, Y., Maeda, M. and Rhee, S.H., "Simulation of steady and unsteady cavitation on a marine propeller using a RANS CFD code", Proc. Fifth International Symposium on Cavitation (CAV2003), Osaka, Japan2003.
- [16] Sanchez-Caja, A., Rautaheimo, P. and Siikonen, T., "Simulation of the incompressible viscous flow around a ducted propeller using a rans equation solver". 23rd Symposium on Naval Hydrodynamics, Val de Reuil, 2000.
- [17] Çelik, F. and Güner, M., 2006. An improved lifting line model for the design of marine propellers. *Marine Technology and SNAME News* 43(2): 100-113.
- [18] Fluent 6.2.16 User's Guide, Fluent Inc, 2004.
- [19] Launder, B.E. and Spalding, D.B., "Lectures in mathematical models of turbulence" Academic Press, London, England, 1972.
- [20] Maxsurf Ship Design Program User Guide, Available from: [http:// www.formsys.com](http://www.formsys.com) [Erişim tarihi; Ağustos 15,2010].