

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) APPLICATION FOR DUCTED PROPELLER

Fahri ÇELİK*, Mesut GÜNER

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL

Geliş/Received: 22.12.2004 Kabul/Accepted: 20.04.2005

ABSTRACT

There have been many developments in propeller design since 1800, but the geometry and operation of the propeller were not changed considerably. However, many new propulsion systems by adding energy saving devices to propeller have been developed during this time. One of which, called duct, is widely used at heavily loaded conditions for higher propulsive efficiency. A review on duct and finite volume method for hydrodynamic analysis of ducted propeller will be given in this study. The analysis will be carried out in variation of ship speeds. The results will be compared with those of lifting surface method.

Keywords: Duct, Propeller, Lifting surface, Finite volume, Auxiliary propulsion systems.

MSC number/numarası: 74S10, 76D05.

NOZULLU PERVANELER İÇİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (CFD) UYGULAMASI

ÖZET

Klasik uskur pervanelerin dizaynının başladığı 1800'li yılların başından bu yana pek çok gelişmeler olmasına karşılık temel pervane yapısında önemli bir değişiklik olmamıştır. Bununla birlikte enerji kayıplarını azaltıcı cihazlar eklenerek sevk sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerden biri olan nozullu pervaneler özellikle yüksek yükleme durumlarında sağladığı önemli verim artışıyla en yaygın kullanılanıdır. Bu çalışmada nozullu pervaneler tanıtılarak, sistemin hidrodinamik performansının hesaplanabilmesi için sonlu hacimler metoduna dayalı bir yöntem sunulacaktır. Çalışmada ayrıca nozullu pervaneye gelen farklı hız durumları için analiz yapılarak, elde edilen sonuçlar kaldırıcı yüzey metodunun uygulanmasından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır.

Anahtar Sözcükler: Nozul, Pervane, Kaldırıcı yüzey, Sonlu hacimler, İlave sevk sistemleri.

1. GİRİŞ

Klasik uskur pervaneler kanatlarında oluşan kaldırma kuvveti ile itme sağlarlar. Ancak, pervaneye iletilen enerjinin tamamı itmeye dönüştürülemez. Bu enerjinin bir kısmı rotasyonel ve eksenel kayıplar şeklinde pervane gerisi akımına kinetik enerji olarak bırakılır. Pervane eğer viskoz bir akışkanda çalışıyorsa olası diğer bir kayıp da direnç kaybıdır. Kanat alanı ne kadar küçük olursa o oranda direnç azaltılmış olur. Ancak kavitasyon ve mukavemet, kanat profilinin seçiminde

* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-posta: fcelik@yildiz.edu.tr, tel: (0212) 259 70 70 / 2726

sınırlayıcıdır. Kanat yüzeylerinin pürüzlülüğü de direnç kayıplarını artıran diğer bir faktördür. Sonuç olarak pervane hareketleriyle ilgili enerji kayıpları; akıma eksenel ve rotasyonel yönde bırakılan ek kinetik enerji ile pervanenin çalıştığı ortam viskoz ise kanat yüzeylerindeki sürtünmeden kaynaklanan direnç kayıplarıdır.

Geniş bir yüklem aralığındaki örnek gemiler için enerji kayıplarının itme yüklemesinin bir fonksiyonu olduğu; rotasyonel ve sürtünme kayıplarının yüklemeye çok az değiştiği ancak eksenel enerji kayıplarının ise önemli oranda arttığı Glover [1]'da gösterilmiştir.

Enerji kayıplarını enaza indirmek amacıyla geliştirilen çok sayıda sevk sistemi bulunmaktadır. Fakat bazı sevk cihazlarının pratik olmayışı, pahalı oluşu veya teknik karmaşıklığı nedeniyle uygulama alanı dar kalmıştır. Enerji tasarrufu sağlayıcı ilave sevk sistemleri hakkında Çelik ve Güner [2], Glover [1], ITTC [3], Blaurock (1990)[4], Patience (1991)[5], Breslin ve Anderson (1994) [6], ve Carlton'da [7] ayrıntılı bilgi bulunmaktadır. Çizelge 1.'de bazı ilave cihazlar ve bunların sevk verimine katkıları gösterilmiştir.

Çizelge 1. Enerji tasarrufu sağlayıcı sevk cihazları

Sevk Sistemi		Verim Artışı (%)
Zıt Dönüştürücü Pervaneler		7-16
Grim Tekerlekleri		8-12
Nozullu Pervane	Eksenel Simetrik Nozul	5-20
	Asimetrik Nozul	5-20
Asimetrik Kıç		1-8
Pervane Göbek Finleri		1-5
Dümen Balb Sistemi		1-3
İz Düzenleyici Nozul		4-8
Grouthes Dağıtıcıları		2-6
Stator		2-6

Enerji tasarrufu sağlayıcı sevk cihazlarından nozullu pervaneler, diğer sevk cihazları ile karşılaştırıldığında %20'ye kadar sağladığı verim artışıyla geniş bir kullanım alanına sahiptir. Römorkörlerde, itici teknelerde, balıkçı gemilerinde, büyük petrol tankerlerinde ve dökme yük gemilerinde yaygın olarak uygulanmakta olup, bununla ilgili ilk çalışma Stipa ve Kort tarafından 1930'da yapılmıştır. Yaptıkları çalışmalarla ağır yüklü pervanelerde nozulun verim artışı sağlayabileceğini göstermişlerdir.

Daha sonraki yıllarda bir çok teorik çalışmalar yapılmasına karşılık, pervane ve nozulun etkileşimlerini dikkate alan ilk dizayn çalışmaları, MARIN'de (Hollanda Deniz Araştırmaları Enstitüsü) yapılan kapsamlı model deneylerine dayanmaktadır (van Manen ve Oosterveld, [8]). Bu makalede Ka-Kaplan pervane serileri kullanılarak, hızlandırıcı ve yavaşlatıcı nozulları içeren sistematik deneysel çalışmalar sunulmuş ve hızlandırıcı tip nozul kullanmanın sadece yüksek itme

yüklemesinde çalışan pervanelerde önemli oranda verim artışı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Nozullu pervane dizaynı için, nozul ve pervanenin karşılıklı etkileşimini dikkate alan en önemli teorik çalışma Ryan ve Glover [9] tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada pervane, kaldırıcı hatla modellenirken nozul da yüzey girdap dağılımlarıyla modellenmiştir.

Başlangıçta bu dizayn metodları sadece eksenel simetrik akım etkileşimini dikkate alırken, 1990'lara doğru geliştirilen daha kompleks metodlarda nozul ve pervanenin asimetrik akım etkileşimi de hesaplara katılmıştır. Bu metodlardan biri Kinnas ve Coney [10] tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada nozul yüzeyi panellere yayılan kaynak/kuyu dağılımlarıyla, pervane ise kaldırıcı hat metoduyla temsil edilmiştir.

Nozullu pervanenin sevk performansı için ise, genellikle pervane kaldırıcı hat, kaldırıcı yüzey veya yüzey panel metodlarıyla, nozul da yüzey panel veya kaldırıcı yüzey metodlarıyla modellenmiştir. Bu kapsamda Glover ve Szantry [11], üniform olmayan akımda çalışan nozullu pervanelerin performans analizi için, sürekli ve deforme olabilen kaldırıcı yüzey teorisine dayalı bir analiz metodu sunmuştur. Bu metotta pervane ve nozul kalınlıkları uygun kaynak ve kuyularla modellenirken, nozul ve pervane kanatları üzerindeki hidrodinamik yükler girdap dağılımlarıyla modellenmiştir. Szantry [12], daha önceki çalışmasına yüzey panel metodunu da ekleyerek, kaldırıcı yüzey metodunu geliştirmiştir. Nozullu pervane analiz problemiyle ilgili benzer çalışmalar Kerwin [13] ve Kinnas [14] tarafından yapılmıştır.

2. NOZULLU PERVANELER

Genel olarak pervanenin nozul içerisinde kullanılması, verimi artırma, pervane kavitasyonunu azaltma veya pervaneyi dış etkenlerden koruma amaçlıdır. Nozulun kesit profil şekli sebebiyle, pervaneye gelen akımı hızlandıran ve pozitif bir itme sağlayan nozul tipi "Hızlandırıcı nozul veya Kort nozul" olarak adlandırılır (Şekil 1.a). Nozulun verim artışı sağlaması şu şekilde açıklanabilir: Nozulsuz durumda pervane kanat uçlarında meydana gelen serbest girdaplar, nozul profili etrafında bağlı girdaplar şekline dönüşerek ilave bir itme üretirler. Böylece kanat uçlarında meydana gelen kayıplar nozul tarafından telafi edilir. Nozulun sağladığı pozitif itme, kendi direncinden daha büyük olduğu durumlarda nozullu pervane sisteminin verimi artar. Nozul kullanımıyla, nozulsuz durumdakinden daha küçük çaptaki bir pervane ile aynı verim elde edilebilir (Er, [15]).

Bu tip nozulların kullanılmasıyla ağır yükleme durumlarında gerekli makine gücü azalır. Kanat uçlarında daha az serbest girdaplar oluşur. Dönen tip nozul durumunda dümene ihtiyaç kalmaz ve mükemmel manevra kabiliyeti sağlar, aynı zamanda buzlu denizlerde çalışan gemilerde pervaneyi darbelere karşı korur.

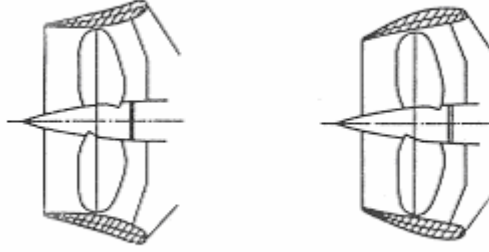
Bütün bu sayılan avantajlarına karşılık, pervane üzerindeki statik basıncı düşürdüğü için kanatlardaki kavitasyon riski artar. Bu tip nozullar ağır yüklü veya çap sınırlaması olan gemilerde özellikle; römorkörlerde, balıkçı gemilerinde, itici-çekici teknelerde ve buzlu denizlerde çalışan gemilerde yaygın olarak kullanılır.

Hızlandırıcı nozul kullanmanın bir avantaj getirip getirmeyeceği, aşağıdaki basit formülle öngörülebilir:

$$K = \frac{n.P_D}{V_A^{2.5}} \quad (1)$$

$K > 26$ için nozul kullanımı avantajlıdır.

$K < 26$ için ise nozul kullanımı verimde düşüşe neden olur. Formülde n , devir sayısı; P_D , pervaneye iletilen güç ve V_A , pervaneye gelen akım hızıdır.



Şekil 1.a Hızlandırıcı nozul

Şekil 1.b Yavaşlatıcı nozul

Genellikle büyük yük gemilerinde, tankerlerde, hızlı savaş gemilerinde, torpidolarda ve kavitasyon riski taşıyan sistemlerde pervane kavitasyon olayını önlemek amacıyla kullanılan nozul tipi ise “Yavaşlatıcı nozul” dur (Şekil 1.b). Yavaşlatıcı nozulun çalışma prensibi de şu şekilde açıklanabilir: Şekildeki gibi nozul sehim hattı dış bükey olduğu için pervaneye gelen akımı yavaşlatır ve pervane üzerindeki statik basıncın artmasını sağlar. Bu durum da kanatlarda kavitasyon oluşumunu güçleştirir.

Yavaşlatıcı nozul kavitasyon riskini azaltmasına karşılık, negatif bir itme sağladığı için bunu karşılayacak şekilde pervane yükünün artırılması gerekir.

3. NOZULLU PERVANE ANALİZİ

3.1. Kaldırıcı Yüzey Yöntemi

Glover ve Szantry [11] tarafından üniform olmayan akımda çalışan nozullu pervanelerin performans analizi için, süreksiz ve deforme olabilen kaldırıcı yüzey teorisine dayalı analiz metodu dikkate alınarak nümerik bir yöntem geliştirilmiştir.

Bu metotta pervane ve nozul kalınlıkları uygun kaynak dağılımlarıyla, nozul ve pervane kanatları üzerindeki hidrodinamik yükler de girdap dağılımlarıyla modellenir. Kaynak ve girdaplar, pervane için, kanat kesit sehim hatlarının ve nozul için, kesit sehim hatlarının oluşturduğu yüzeylere yayılır. Nozullu pervane üzerindeki girdap ve kaynak dağılımlarının şiddetleri, yüzeylerde kinematik sınır şartını ifade eden denklem sistemlerinin iteratif bir prosedür içerisinde çözülmesiyle bulunur. Nozul ve pervane kanat yüzeylerinde kinematik sınır şartı oluşturulurken, nozulun pervaneye ve pervanenin de nozula etkisi indükledikleri hızlarla hesaplara katılır.

Ayrıca pervane kanatları veya nozul yüzeyinde oluşması muhtemel tabaka kavitasyonu da modelde, kaldırıcı yüzey geometrisindeki değişme şeklinde düşünülerek dikkate alınır. Bu metod, pervane ve nozul üzerindeki süreksiz basınç dağılımlarını ve hidrodinamik kuvvetleri öngörür ve bu şekilde, pervane kanatlarındaki, tabaka, kabarcık ve kanat uç kavitasyonlarının tayininde kullanılabilir. Metod ayrıca, nozullu pervaneden kaynaklanan gemi yüzey basınçlarının analizinde de uygulanabilir.

3.2. Nozullu Pervane CFD Analizi

Kaldırıcı yüzey veya yüzey panel metodlarının yanısıra akışkan uygulamalarında oldukça gelişmiş bir CFD yazılımı olan FLUENT kullanılarak da nozullu pervane sisteminin performans analizi yapılabilir. FLUENT programı bir akışkan problemini çözmek için “sonlu hacimler

metodunu” kullanır. Yani, sınır koşulları verilen bir akışkan hacminin sonlu sayıda küçük ve birbirine komşu kontrol hacimlerinden oluştuğunu kabul eder. Akışkanın herhangi bir noktasındaki basınç, hız, sıcaklık vs. gibi özelliklerinin hesaplanabilmesi için tüm kontrol hacimlerinde yönetici kısmi diferansiyel denklemleri uygular. Bunlar momentum denklemleri ile kütle ve enerjinin korunumunu ifade eden denklemlerdir. Kontrol hacimlerinde yazılan kısmi diferansiyel denklemlerin oluşturduğu ve genellikle lineer olmayan sistemlerin çözülmesiyle sonuca ulaşılır. FLUENT bu denklem sistemlerini, çözüm kullanıcı tarafından verilen tolerans aralığında yakınsayacak şekilde iterasyonla çözer. Yakınsama genellikle iki iterasyon arasındaki çözüm değerlerinin farkına bağlı uygulanır. Normalde tüm kontrol noktalarında denklemlerin tam olarak sağlanması gerçekleştirilemez ama önemli olan yeterli yakınsamanın sağlanmasıdır.

Çözüme ulaşmak için yapılan her bir iterasyonda aşağıdaki işlem sırası takip edilir:

1. Tahmini basınç değerleri (p) kullanılarak; u, v, w hız bileşenleri ve momentum denklemleri çözülür.
2. Hesaplanan yeni hız bileşenleri kullanılarak kütle korunumu denklemi çözülür ve yeni basınç değerleri (p) elde edilir.
3. Türbülanslı akımlarda hız bileşenleri kullanılarak türbülans denklemleri çözülür.
4. Yoğunluk, viskozite vs. gibi akışkan özellikleri tekrar hesaplanır.
5. Kalan işlemler tamamlanarak yakınsama sınırları kontrol edilir [16].

Bu metodla üç boyutlu geometrisi bilinen nozullu pervane üzerinde veya etrafındaki basınç, hız dağılımları ile sistemin tamamına veya bir parçasına etkiyen kuvvet bileşenleri hesaplanabilir.

4. NOZULLU PERVANE ANALİZ UYGULAMASI

Aşağıda değerleri verilen nozullu pervane bir römorkör için dizayn edilmiştir. Nozulda kullanılan kesit Şekil 2’de görülmektedir.

Pervane Bilgileri

Çap, $D = 1.95$ m

Şaft devri, $N = 260$ d/d.

Kanat sayısı, $Z = 4$

Gemi hızı, $V = 5.8$ knot

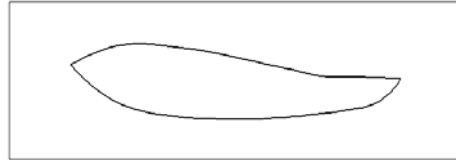
Şaft derinliği, $H = 3.5$ m

Nozul boyu (DC) = 0.975

Pervane ile nozul arasındaki açıklık = 0.005 m

Pervanenin nozul içerisindeki konumu = 0.5DC

Nozullu pervane Ka-4.70 kesit geometrisine sahiptir. Kanat geometrisine ait ayrıntılar Çizelge 2’de verilmiştir.



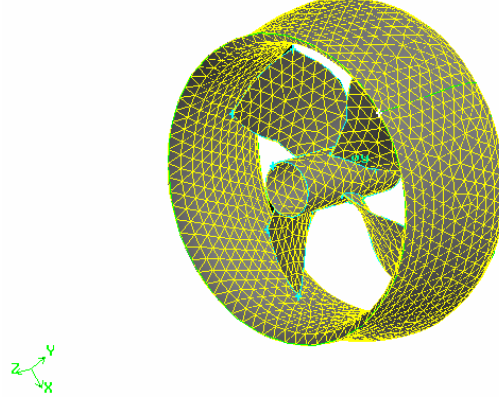
Şekil 2. Nozul kesiti

Çizelge 2. Pervane kanat geometrisi

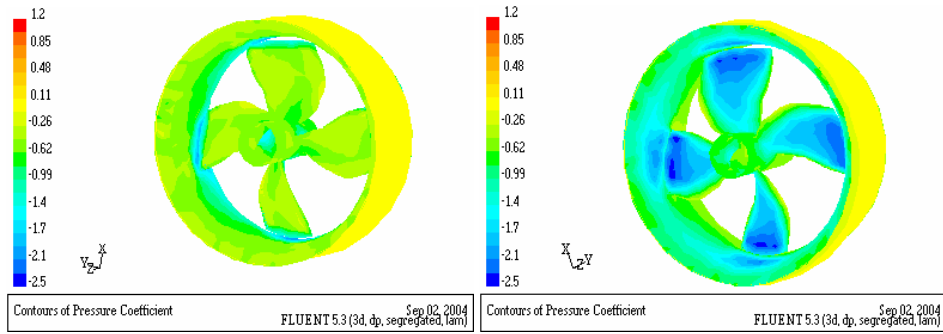
Yarıçap r/R	Piç P/D	Kort Cl (m)	Çalklık Sl (m)	Eğiklik RKI (m)
0.2000	1.1205	0.3800	-0.0357	-0.0089
0.3000	1.1205	0.4733	-0.0357	-0.0500
0.4000	1.1205	0.5592	-0.0241	-0.0668
0.5000	1.1205	0.5592	0.0000	-0.0833
0.6000	1.1205	0.6828	0.0361	-0.1000
0.7000	1.1205	0.7186	0.0827	-0.1167
0.8000	1.1205	0.7234	0.1409	-0.1333
0.9000	1.1205	0.6837	0.2108	-0.1500
1.0000	1.1205	0.6488	0.2501	-0.1625

CFD analizine hazırlık aşamasında nozullu pervane ve etrafındaki akımın geometrileri Rhino ve GAMBIT yazılımları beraber kullanılarak modellendi. Nozul ve pervane yüzeylerinde 0.1 m. aralıklı üçgen şeklindeki elemanlar, hacimlerde ise 0.3 m aralıklı prizmatik elemanlar kullanıldı. Bu şekilde hazırlanan geometriler FLUENT'e aktarıldı ve uygun sınır koşulları verildi. Daha sonra yapılan iterasyon sonucunda istenilen yakınsama sağlanarak çözüme ulaşıldı.

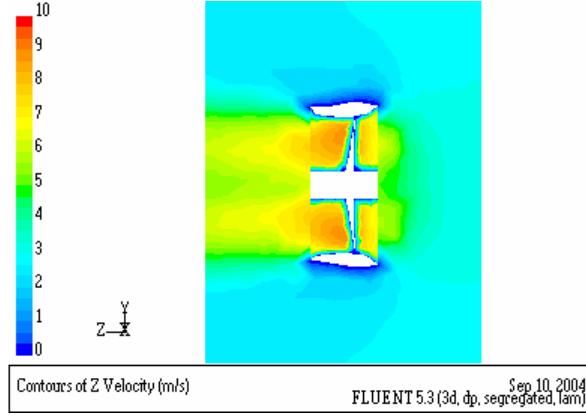
Aynı nozullu pervane geometrisi Glover ve Szantyr'da [11] verilen kaldırıcı yüzey modeline dayalı geliştirilmiş bilgisayar programı kullanılarak da analiz edildi. FLUENT'ten ve kaldırıcı yüzey modelinden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmaktadır (Şekil 3 - 11).



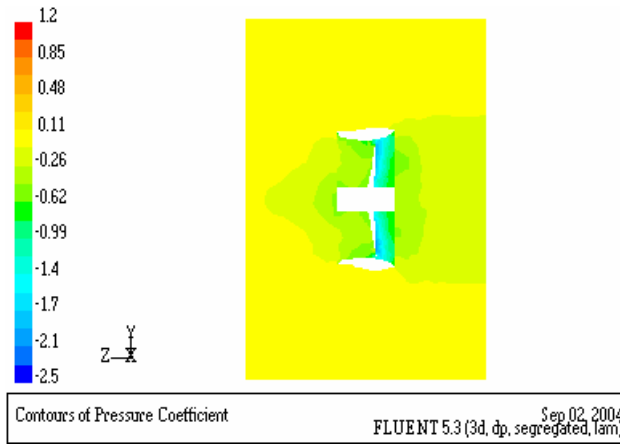
Şekil 3. Nozullu pervanenin üç boyutlu CAD resmi



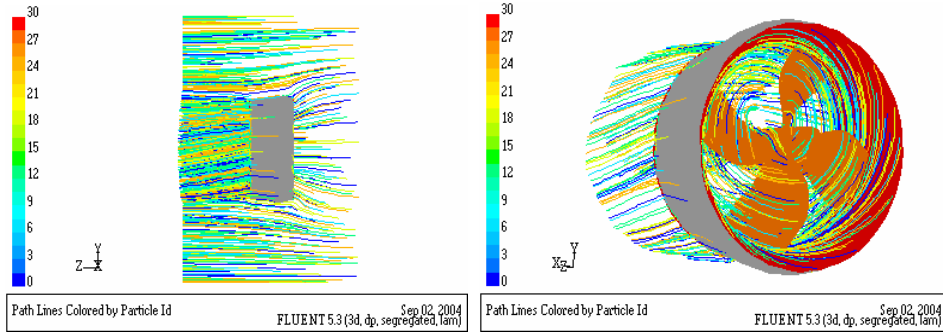
Şekil 4. Nozullu pervane üzerindeki basınç dağılımı (C_p)
(solda önden; sağda arkadan görünüş)



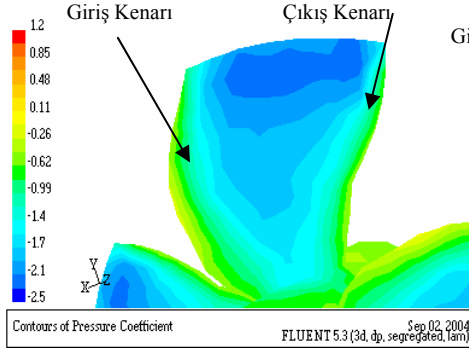
Şekil 5. z-y düzlemindeki aksel hız dağılımı (m/s)



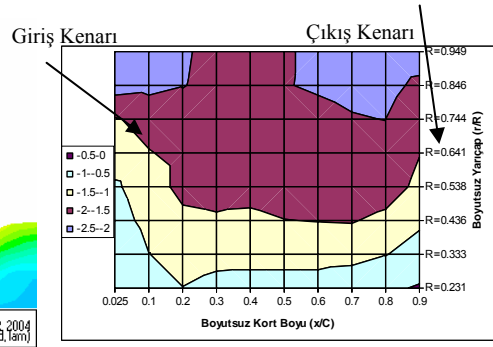
Şekil 6. z-y düzlemindeki basınç katsayısı dağılımı (C_p)



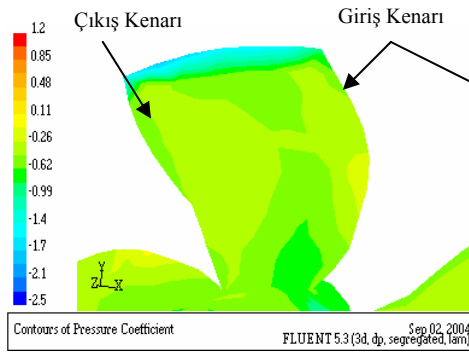
Şekil 7. Nozullu pervane etrafındaki akım hatları



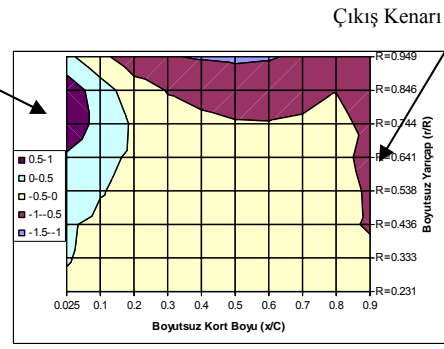
Şekil 8. Nozullu pervane kanadı üzerinde Fluent'ten elde edilen basınç dağılımı (dikey konumda, arkadan görünüş)



Şekil 9. Nozullu pervane kanadı üzerinde kaldırıcı yüzey modelinden elde edilen basınç dağılımı (dikey konumda, arkadan görünüş)



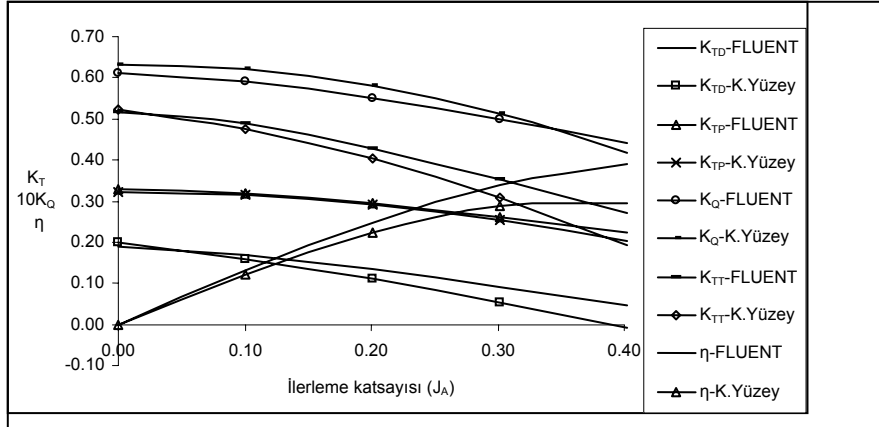
Şekil 10. Nozullu pervane kanadı üzerinde Fluent'ten elde edilen basınç dağılımı (dikey konumda, önden görünüş)



Şekil 11. Nozullu pervane kanadı üzerinde kaldırıcı yüzey modelinden elde edilen basınç dağılımı (dikey konumda, önden görünüş)

Şekil 12'de farklı ilerleme katsayılarında ($J_A = V_A/nD$) FLUENT ve kaldırıcı yüzey metodlarından elde edilen nozullu pervane performans katsayılarının karşılaştırılmaları görülmektedir.

Şekil 12'den görülebileceği gibi model deney sonuçları ile test edilen kaldırıcı yüzey metodu sonuçları, FLUENT sonuçlarıyla uyum içindedir. Aradaki ufak mertbe farkların ise eleman boyutlarından kaynaklandığı gözlenmiştir.



Şekil 12. Kaldırıcı yüzey metodu ve FLUENT'ten elde edilen pervane performans katsayılarının karşılaştırılması

5. SONUÇ

Sağladığı önemli orandaki verim artışıyla geniş bir kullanım alanına sahip olan nozullu pervane sevk sistemlerinin analiz hesapları dizayn aşamalarının en önemlilerindedir. Özellikle gemi arkasındaki akımın düzensizliği ile beraber pervaneden kaynaklanan gürültü, titreşim ve gemi bünyesine etkiyen süresiz kuvvetler artar. İstenmeyen bu olayların ve oluşması muhtemel kavitasyonun dizayn aşamalarında öngörülerek kontrol altında tutulmaları gerekir.

Çalışmada anlatılan yöntemle nozullu pervane sevk sistemleri için hem yukarıda geçen olumsuzlukların kontrolü için temel hazırlanmakta, hem de sistemin performansının tahmini yapılabilmektedir. Bu nedenle yöntem pahalı model deneylerine bir alternatif olarak görülebilir. Ancak yöntemin başarısı akışkan geometrisinin modellenmesindeki hassasiyete ve çözüm için doğru modeller seçilerek, sınır koşullarının doğru belirlenmesine bağlıdır. Ayrıca sayısal yöntemin de seçimi önem taşımaktadır. FLUENT programı yüksek kapasiteli bilgisayarlara ihtiyaç göstermekte ve hassas sonuçlar için gerekli ağ örgüsü (mesh) durumunda ise sonuçların elde edilmesi için çok uzun süreye ihtiyaç vardır. Buna karşın aynı sonuç hassasiyetlerinde kaldırıcı yüzey metodunun böyle bir dezavantajı mevcut değildir.

Bundan sonraki çalışmalarda nozullu pervane ile geminin beraber modellenerek incelenmesi planlanmaktadır. Böylece gemi arkasındaki iz ile nozullu pervane ve gemi arasındaki etkileşim daha doğru hesaplara katılmış olacaktır. Ayrıca nozullu pervane ile beraber stator gibi diğer enerji tasarrufu sağlayıcı cihazların beraber bulunduğu sistemlerin de analizi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Glover, E. J., "Propulsive Devices for Improved Propulsive Efficiency", Trans. Institute of Marine Engineers, Vol. 99, Paper 31, 23- 29, 1987.
- [2] Çelik, F. ve Güner M., "Enerji Tasarrufu Sağlayıcı Sevk Cihazları", II. Karamürsel Denizcilik Sempozyumu, 30 Haziran-4 Temmuz 1997.
- [3] The propulsor committee., "Proc. 19th International towing tank conference (ITTC)", Vol. 1, Madrid, Spain, 1990, 109-160.
- [4] Blaurock, J., "An Appraisal of Unconventional Aftbody Configurations and Propulsion Devices", Marine Technology, SNAME, Vol. 27, No. 6, 325-336, 1990.

- [5] Patience, G., “Developments in Marine Propellers”, Proc. Institute of Mechanical Engineers, Vol. 205, 1-12, 1991.
- [6] Breslin, J.P. and Andersen, P., “Hydrodynamics of Ship Propeller”, Cambridge University Press, 1994.
- [7] Carlton, J.S., “Marine Propellers and Propulsion”, Butterworth- Heinemann Ltd., Oxford, 1994.
- [8] van Manen, J.D. and Oosterveld, M.W.C., “Analysis of Ducted Propeller Design”, Trans. SNAME, Vol. 74, 522-561, 1966.
- [9] Ryan, P.J. and Glover, E.J., “A Ducted Propeller Design Method: A New Approach Using Surface Vorticity Distribution Techniques and Lifting Line Theory”, Trans. RINA, Vol. 144, 545-563, 1972.
- [10] Kinnas, S.A. and Coney, W.B., “On the Optimum Ducted Propeller Loading”, Proc. Propellers/Shafting’88 Symposium, SNAME, Virginia, USA, 1988, 1.1-1.13.
- [11] Glover, E.J. and Szantyr, J., “The Analysis of Unsteady Cavitation and Hull Surface Pressures for Ducted Propellers”, Trans. RINA, Vol. 132, 65-78, 1989.
- [12] Szantyr, J., “A surface Panel Method for Analysis of Open and Ducted Propellers”, Proc. Hydronav’97 Conference, Wroclaw, Poland, 1997, 353-364.
- [13] Kerwin, J.E., Kinnas, S.A., et.al., “A Surface Panel Method for the Hydrodynamic Analysis of Ducted Propellers”, Trans. SNAME, Vol. 95, 93-122, 1987.
- [14] Kinnas, S. A, Hsin, C. Y., et.al., “A Potential Based Panel Method for the Unsteady Flow Around Open and Ducted Propellers”, Proc. Eighteenth Symposium on Naval Hydrodynamics(1991), 1991, 667- 684.
- [15] Er, A., “Römorkörlerde Z-sürüşlü Pervanelerin İncelenmesi ve Sabit-Dönen Nozullu Pervane Tiplerinin Çekme ve Manevra Yönünden Karşılaştırılması”, Bitirme Ödevi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1995.
- [16] <http://www.shef.ac.uk/savas/software/fluent/flv41c.htm>