

## ARAŞTIRMA MAKALESİ

## GEMİ PERVANELERİNDE KAVİTASYONUN İNCELENMESİ

Mesut GÜNER, Serkan EKİNCİ

*Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL*

Geliş Tarihi: 08.11.2000

## INVESTIGATION OF CAVITATION ON MARINE PROPELLERS

## SUMMARY

Cavitation is a fluid mechanics phenomenon which effects propeller hydrodynamics performance, propeller's life, vibration and noise levels in ship's hull. Investigation of cavitation by experimental methods needs high cost and time. Therefore, it is important to reduce cavitation effects on propeller performance before design stage of propeller. A sensitive analysis method needs to be predicted the cavitation phenomenon before production of propeller. Therefore, some numerical tools have been developed to predict the propeller cavitation. One of them, called lifting surface theory is used and developed in this study in order to provide the propeller's designer with practical tool. Not only providing cavitation analysis, it also provides blade and shaft forces. In addition to that it also gives pressure distribution on blade section of propeller, which is necessary for blade strength analysis. Finally, it can be concluded from this work that before propeller manufacture, the present tool gives essential information on propeller performance and cavitation which plays important role on cost and time.

## ÖZET

Kavitasyon, pervanelerin hidrodinamik özelliklerini, çalışma ömrünü, gürültüsünü ve gemi bünyesinde neden olduğu titreşimleri etkileyen bir akışkanlar mekaniği olayıdır. Bu olayın deneyle incelenmesi hem pahalı hem de zaman gerektirmektedir. Bu nedenle pervane dizaynı sırasında kavitasyonun pervane performansına etkisini en aza indirmek çok büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle pervane analizi için çeşitli metodlar geliştirilmiştir. Bu metodlardan biri olan, Kaldırıcı Yüzey (Lifting Surface) metoduna dayanan bir pervane analiz prosedürü bu çalışmada geliştirilerek pervane tasarımcıları için çok kullanışlı ve pratik bir araç halinde sunulmuştur. Bununla yalnız kavitasyon analizi yapılmayıp, aynı zamanda zamana bağlı olarak kanat ve şaft kuvvetleri bulunabilmektedir. Ayrıca kanat kesitleri üzerindeki basınç dağılımları bulunabilmekte bu ise pervane kanatlarının mukavemet analizinin yapılmasına yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen prosedür ile pervanenin imalat öncesi kavitasyon ve performansının kontrolü için gerekli bilgiler elde edilerek, maliyet ve zaman tasarrufu sağlanır.

## 1. GİRİŞ

Akışkan hareketi esnasında herhangi bir bölgede basınç, buharlaşma basıncının altına düşerse o bölgede buharlaşma olur ve kabarcıklar meydana gelir. Bu kabarcıklar basıncın daha yüksek olduğu bir bölgeye geldiğinde patlar ve boşalan yerlere akışkan hareket eder. Bu şekilde yüzey üzerinde şiddetli basınç darbeleri oluşturarak malzeme üzerinde aşınmaya neden olur. Bu olaya kavitasyon denir.

Akışkanlar ile ilgili kavitasyon, mühendisliğin birçok dalında karşılaşılan bir oluşumdur. Kavitasyon genel bir akışkan olayıdır. Akışkan içerisinde basınç ve hız değişimleri her makina veya sistemde ortaya çıkabilir. Örnek olarak pompalar, türbinler, pervaneler, yataklar hatta insan vücudu verilebilir.

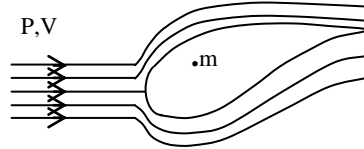
Kavitasyon oluşumlarının ortak karakteristikleri şu şekilde özetlenebilir ;

- 1-) Kavitasyon sıvılara özgü bir olaydır.
- 2-) Kavitasyon basınç düşüşüne bağlı olarak oluştuğundan, basınç düşüşünün kontrolü ile önlenir.
- 3-) Kavitasyon dinamik bir olaydır.

Bu çalışmada bir geminin en önemli sevk elemanı olan, kavitasyon olayından dolayı gemi ömrü boyunca sıkça değiştirilen ve tamir edilen pervanelerin kavitasyon durumu, kavitasyon ile ilgili teori ve Lifting Surface (Kaldırıcı yüzey) metodu [1,2,3] ile pervane kavitasyon analizi incelenmiştir.

## 2. KAVİTASYON BAŞLANGICI

Kavitasyon başlangıcı, sıvı akımındaki basınç ile sıvının buharlaşma basıncı arasındaki ilişki yardımı ile anlaşılabilir. Yani kavitasyonun başlaması için, akışkan içindeki bir noktanın basıncının, akışkanın buharlaşma basıncına eşit veya düşük olması yeterli olacaktır. Kavitasyon mekanizmasını anlamak için küçük bir hücum açısındaki bir profili göz önüne alalım (Şekil 1). Akış iki boyutlu ve viskoz olmayan bir akış olsun. Suyun buharlaşma basıncı  $e$  ile, profilin üzerindeki bir noktanın basıncı  $P_m$ , hızı  $V_m$  ile gösterilirse, bu profile gelen su akımına ait  $P$  basıncı ve  $V$  hızı yardımı ile Bernoulli denkleminde aşağıdaki eşitlik yazılabilir[4,5,6].



Şekil 1. Akım içindeki kanat profili

$$\Delta P = P - P_m = \frac{1}{2} \rho (V^2 - V_m^2) \quad (1)$$

Yukarıda belirtildiği üzere  $m$  noktasında kavitasyon olmaması için

$$P_m \geq e \quad (2)$$

koşulu sağlanmak zorundadır. Bu koşul aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$P - P_m \leq P - e \quad (3)$$

Bu denklemin her iki tarafı “Akışkanın Dinamik Basıncı” diye bilinen  $\frac{1}{2}\rho v^2$  ile bölünürse :

$$\frac{P - P_m}{\frac{1}{2}\rho V_m^2} \leq \frac{P - e}{\frac{1}{2}\rho V^2} \quad (4)$$

bağıntısı elde edilir. Bu ifade içindeki  $\frac{1}{2}\rho V_m^2$  ifadesine  $q$  denilir ve eşitsizlik aşağıdaki gibi yazılarak kavitasyon olmama şartı bulunur.

$$\frac{\Delta P}{q} \leq \frac{P - e}{\frac{1}{2}\rho V^2} \quad (5)$$

Yukarıdaki eşitsizliğin sağ tarafı boyutsuz bir katsayı olup  $\sigma$  ile gösterilir ve buna kavitasyon sayısı denir. Dolayısıyla  $\Delta P/q \leq \sigma$  eşitsizliği kavitasyonun mevcut olup olmadığını tayin eden bir kriter olmaktadır.

### 3. DÜZENSİZ PERVANE KAVİTASYONU

Bu bölümde pervane kavitasyon analizini bilgisayar ortamında gerçekleştirmek için Kaldırıcı Yüzey Metodu (Lifting Surface Method) [2] kullanılmış ve pervane performansı bulunmuştur.

Bu metodda, kuyu ve kaynakların gösterildiği süreksiz kafes sistemi pervane kanadının teorik modelinin temelini oluşturmaktadır. Kanatların ardındaki serbest girdap yüzeyleri “değişken bölge” olarak adlandırılır. Bu bölgeler pervanenin düzensiz çalışma durumu ile pervanenin herhangi bir andaki kinematik konumu arasındaki ilişkinin temelini oluşturur.

Kanatlar üzerindeki düzensiz kavitasyon tabakasının mevcudiyeti orijinal kanat geometrisinin şekil değiştirme aşaması olarak ele alınmasını gerektirir. Bu şekil değiştirme kanat üzerindeki kinematik sınır koşulunu etkilediği kadar boşluk yüzeyindeki dinamik sınır koşulunu da etkilemektedir. Kavitasyon olayının gelişiminde suyun vizkozitesi ve yüzey geriliminin etkileri dikkate alınmalıdır.

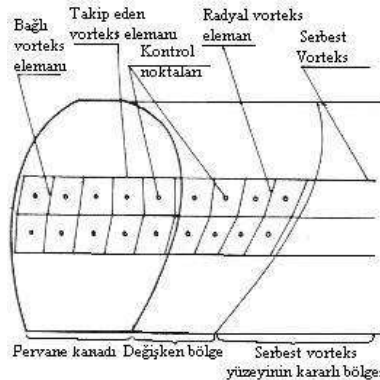
Pervane dizayn işleminde sevk için gerekli en yüksek tahrik veriminin elde edilmesi tek önemli kısıt olmaktan çıkmaktadır. Bunun nedeni olarak gemi pervanelerinin yüklenmesindeki sürekli artış ile beraberinde bir çok gemi türü için blok katsayılarındaki artış verilmektedir. Pervane bölgesindeki hız alanının belirgin biçimde düzensiz olması, yatak kuvvetlerinde dalgalanmalara ve pervane tarafından indüklenen basınç alanına ait benzer dalgalanmalara neden olmaktadır. Düzensiz kavitasyon olayları da bu oluşumlara zemin hazırlamaktadır. Bu her iki etkende gemi bünyesinde oldukça yüksek düzeyde titreşimlere neden olmaktadır. Bu titreşimler; gemi bünyesinin zarar görmesine, elektronik donanımların hasar görmesine veya kilitlemesine, gemi mürettebatının dayanılmaz derecede rahatsız olmasına sebebiyet vermektedir. Buna bağlı olarak, pervane tasarımcısının bu gibi olayları incelemesi için bir metoda sahip olması gerekmektedir. Ancak bu şekilde pervane tasarım işleminin başlangıcından itibaren olayları kontrol altında tutmak mümkündür.

Geliştirilen bilgisayar programı ile pervane teorisine yeni bir yaklaşım sunulmaktadır. Bu yaklaşım, düzensiz kavitasyon olaylarının analizi ile kaldırıcı yüzey modelinden oluşmaktadır. Programda, incelenen her kanat pozisyonu için kavitasyon yüzeyinde dinamik sınır koşulu hesaplanır, analiz edilen kanat pozisyonlarını ayıran her zaman aralığının sonunda kavitasyon geometrisinin hesaplanması için zemin oluşturulur. Bir önceki zaman aralığında elde edilen kavitasyon geometrisi, orijinal kanat geometrisinde oluşan şekil değiştirme olarak ele alınır ve içinde bulunduğu zaman aralığındaki kinematik ve dinamik sınır koşulunu etkiler. Bu şekilde, kararsız kavitasyon olayı sürekli olarak ele alınır ki bu kavitasyonun bir önceki oluşumunun o andaki konumuna etki etmesi şeklinde kendini gösterir. Düzensiz kavitasyon olayı için geliştirilen bu yaklaşım, kavitasyona uğrayan pervanenin indüklediği basınç darbelerinin çok daha hassas bir şekilde tahmin edilmesinde önemli rol oynar.

Akıma ait düzensizlikler, değişken şiddete sahip serbest girdap yüzeyleri ile açıklanır. Bu tabakaların değişik şiddetlere sahip olması, pervane kanatlarındaki yüklemde değişimleri de beraberinde getirir ve indüklenen hızın hesaplara katılması ile akımın aşamaları ve kanatların o anki sınır koşulu arasında temel oluşturur.

#### 4. PERVANENİN TEORİK MODELİ

Teorik pervane modelinin temelini, yüklem dağılımlarını simüle eden girdap elemanları ile kanatların kalınlıklarını simüle eden kaynaklar oluşturur. Modelin yapısı Şekil (2)'de şematik olarak gösterilmektedir[2]. Belli sayıdaki vorteks (girdap) elementler, bütün pervane kesitlerinin sehim hatları üzerine yerleştirilmiştir. Bunlar uygun takip eden girdaplar (trailing vortex) ile desteklenmektedir. Pervane kanatlarından biri anahtar kanat olarak kabul edilir ve belli sayıda kontrol noktaları kanat üzerine yerleştirilir. Bu noktalar bağlı ve takip eden (çıkış) girdap elemanlarıncı oluşturulan dörtgenlerin (quad-rangle) tam ortasında yer alır. Kontrol noktalarının sayısı bağlı girdap elemanlarının sayısına eşittir. Serbest girdap yüzeyleri tüm kanatların arkasında yer alır. Bu yüzeyler düzgün helisel biçimli serbest girdap hatlarından meydana gelir. Anahtar kanadın arkasında yer alan tek yüzey, değişken bölge olarak adlandırılan bölgededir. Bu bölge, kanat çıkış ucunun hemen ardında yer alır ve anahtar kanat üzerindeki değişken akım koşullarını yansıtır, aynı zamanda serbest girdap hatları burada farklı şiddetlere sahip olabilir. Ayrıca kanat çıkış ucunun ardında yer alan tabaka kavitasyonlarının tahmini için değişken bölgede bir grup kontrol noktası yer alır.



Şekil 2. Pervaneye ait kaldırıcı yüzey modelinin şematik gösterilişi

Pervaneye gelen hızın çevresel dağılımındaki düzensizlik pervane vorteks modelinin geometrisini etkilememektedir. Benzer şekilde, anahtar kanat haricinde diğer kanatlara ait bağlı ve çıkış girdaplarının şiddetlerini ve kanat kalınlıklarını simüle eden serbest kuyu ve kaynak şiddetlerinin zamanla değişmediği kabul edilmektedir. Bu şiddetler ortalama çevresel hız alanının neden olduğu şiddetlerdir.

Bilinmeyen bağlı girdap elemanlarının şiddetleri anahtar kanadın kaldırıcı yüzeyindeki kinematik sınır koşulu yardımıyla elde edilebilir. Bu durum, akış hızına ait indüklenmiş hızları da içeren bileşke vektörün kaldırıcı yüzeye teğet olmasıdır. Bu durumu açıklamak gerekirse; malzeme sınırlarından içeri doğru akış yoktur. Bu koşulun sağlanmasıyla bağlı girdap elemanlarının şiddetlerine ait lineer denklem sistemi elde edilir. Her bir denklem anahtar kanat üzerindeki bir kontrol noktasına karşılık gelmektedir. Biot-Savart bağıntısı, kaldırıcı yüzey modeline ait girdap elemanları tarafından indüklenen hızın hesaplanmasında kullanılır [6]. Lineer denklem sistemi çözüldükten sonra indüklenen teğetsel hızların bileşkesi hesaplanabilir. Ardından anahtar kanat üzerindeki basınç dağılımı aşağıdaki formülden elde edilir.

$$C_p = \frac{(P - P_\infty)}{0.5V_\infty^2} = 1 - \left( \frac{V_i}{V_\infty} \right)^2 - \frac{2}{V_\infty^2} \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (6)$$

Bu denklemde;

$P_\infty$  : Su içindeki herhangi bir noktadaki statik basınç

$V_\infty$  : Uniform akım hızı

$V_i$  : Bir noktadaki bileşke akış hızı

$\Phi$  : Anahtar kanadın yüklenme durumunu gösteren zamana bağımlı potansiyel

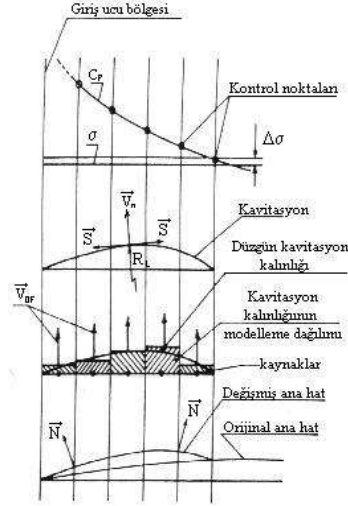
Denklem (6)' dan elde edilen basınç dağılımında daha sonra viskozite etkisi de dikkate alınarak düzeltme yapılır.

Kanat alanı üzerindeki basınç dağılımının entegrasyonu ile anahtar kanat üzerine etkiyen kuvvet ve momentin bileşenleri bulunur. Direnç (drag) kuvvetinin hesaplanmasında, giriş datasında verilen profile ait drag katsayısının ( $C_D$ ) radyal dağılımı esas alınır. Direnç kuvveti (D), kuvvet ve momentin bileşenlerinin hesabında kullanılmaktadır. Kort uzunluğu  $c$  ve genişliği  $r$  olan kanat elemanına ait kesit direnç katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C_D = \frac{D}{\frac{\rho}{2}(cr)V^2} \quad (7)$$

## 5. DÜZENSİZ KAVİTASYONUN TEORİK MODELİ

Düzensiz tabaka kavitasyonunun teorik modeline ait prensipler, Şekil 3' de kanadın kort şeritlerinin biri üzerinde gösterilmektedir[2]. Özellikle kontrol noktaları ve kaynak elemanlarının bir önceki konumu, tabaka kavitasyonunun simülasyonunda kullanılır.



Şekil 3. Tabaka (sheet) kavitasyonunun teorik modeli

Tabaka kavitasyonu , düzensiz basınç dağılımının  $\Delta\sigma$ ' dan daha fazla kritik basıncın altına düştüğü kanat yüzey parçasını kapsamaktadır.  $\Delta\sigma$  aşağıdaki bağıntı yardımıyla elde edilir.

$$\Delta\sigma = \frac{8S}{3\rho V_{\infty}^2 R_n} \quad (8)$$

Bu denklemde;

S : Yüzey gerilimi

$\rho$  : Suyun yoğunluğu

$R_n$  : Kavitasyon çekirdeklerinin çapı

$\Delta\sigma$  : Kavitasyon başlangıç sınırını ifade eden kavitasyon sayısı

Yukarıdaki yaklaşımdan, kavitasyon başlangıcı için basıncın,  $R_n$  çaplı kavitasyon çekirdeklerini patlatacak kadar düşük olduğu sonucu çıkarılır.  $\Delta\sigma$  parametresi pervane için kavitasyon başlangıç koşulunu verir. Aşağıda (9) denklemi ile verilen dinamik sınır koşulunun, tabaka kavitasyonu olan yüzeyde meydana geldiği varsayılır.

$$-C_p - \sigma - \frac{4S}{\rho V_{\infty}^2 R_n} - \frac{8\mu V_{DF}}{\rho V_{\infty}^2 R_n} = \frac{2}{V_{\infty}^2} \frac{\partial \phi_c}{\partial t} \quad (9)$$

Bu denklemde;

$C_p$  : Boyutsuz basınç katsayısı

$R_n$  : Kavitasyon yüzeyinin kort kesit eğrisine ait yerel yarıçap

$\Phi_c$  : Kavitasyonun düzensiz davranışını veren zamana bağımlı potansiyel

$V_{DF}$  : Kavitasyon yüzeyinin deformasyon hızı

Yukarıdaki bu denklem, kavitasyon içersindeki basıncın öngörülen sıcaklıktaki kritik buhar basıncına eşit olduğu kabul edilerek oluşturulmuştur.

(9) denkleminin sol tarafı analiz edilen anahtar kanadın bir konumu için bilinen değerlerden oluşmaktadır. Bu kısımda yer alan  $R_i$  ve  $V_{DF}$  değerleri bir önceki kanat pozisyonu için yapılan analizden yada bu konumda kaviteasyon yoksa  $R_i = \infty$  alınarak elde edilir. Denklem (9)' un sağ tarafında ise bilinmeyen bir  $\Phi_c$  potansiyelinin zamana bağlı türevi mevcuttur.  $\Phi_c$  potansiyeli kaviteasyonun artması veya azalmasına dair düzensiz davranışı ortaya koyar.  $\Phi_c$  potansiyelinin, kanadın kaviteasyona uğrayan kısmı üzerindeki düzensiz kaynakların ekstra dağılımından oluştuğu kabul edilmektedir.

$$\frac{\partial \phi_c}{\partial t} = -\frac{1}{4\pi} \sum \frac{1}{r_i} \frac{dQ_i}{dt} \quad (10)$$

Bu denklemde;

$Q_i$  : Kaviteasyonu temsil eden kaynağın şiddeti

$r_i$  : Kaynağın kontrol noktasına olan uzaklığı

Denklem (10), kanadın herhangi bir konumunda kanat alanı ve değişken bölge içerisinde tabaka kaviteasyonuna uğrayan her bir kontrol noktasına uygulanır. Böylece bilinmeyen kaynak şiddetleri için lineer denklem sistemi elde edilir. Bu şiddetler biliniyorsa kaviteasyon yüzeyinin deformasyon hız dağılımı,  $\Delta R$  kanata ait kort şeridinin genişliği olmak üzere aşağıdaki basitleştirilmiş lineer bağıntıdan elde edilir.

$$V_{DF} = \frac{dQ_i}{dt} \frac{1}{(\Delta R V_\infty)} \quad (11)$$

Analiz edilen  $j$  ve  $j-1$  kanat pozisyonlarını ayıran iterasyonun sonunda yerel kaviteasyon kalınlığı  $\Delta t$  zaman aralığında aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_j = T_{j-1} + V_{DF_j} \Delta t_j \quad (12)$$

Bu modelleme (discrete) ile elde edilen kalınlık dağılımı, her bir kord şeridi için parabolik hat uydurularak düzeltilir (Şekil 3). Kaviteasyon kalınlığının yarısı, kanat geometrisinin sehim hattına eklenerek, kanat geometrisinin deformasyonu bulunur. Bu deformasyon, birim uzunluktaki normal vektörlerin (N) eğimini etkiler. Bu vektörler kanat yüzeyi üzerindeki kinematik sınır koşulunun hesaplanmasında kullanılırlar. Belirgin olarak hesaplanan basınç dağılımını değiştirebilir ve kaviteasyonun ilerlemesine neden olurlar. Bir sonraki aşamada orijinal kanat kalınlığı kaviteasyon kalınlığı kadar arttırılır. Bu olay kaldırıcı yüzey modelindeki kanat kalınlığını simüle eden kaynakların başlangıç şiddetlerinin değişmesine neden olur. Herhangi bir kort şeridi üzerindeki kaviteasyonun toplam kesit alanı sıfırın altına düştüğünde şerit üzerindeki kaviteasyon sona erer.

Kaviteasyona uğrayan pervane tarafından indüklenen basınç darbeleri hesaplanırken lineer hale getirilmiş Bernoulli denklemi kullanılır.

$$\Delta P = -\left( V_\infty^2 \frac{\partial \phi_p}{\partial x} + \frac{\partial \phi_p}{\partial t} \right) S_{BF} \quad (13)$$

Denklem (13)' de bulunan tekne üzerinde üretilen basınç darbelerinin hesabında kullanılan  $\Phi_p$  potansiyeli; kanat yükü, kanat kalınlığı, kavite kalınlığı ve kavite hacim değişimlerinin etkilerini içeren dört bileşenden oluşmaktadır. Tekne yüzeyi üzerindeki sınır koşulu için katı sınır faktörlerinin ( $S_{BF}$ ) kullanılması gerekmektedir.

## 6. UYGULAMA

Bu kısımda, dizaynı yapılmış bir gemiye ait pervane dizaynı elde edilmiş ve bu pervanenin imalat öncesi kavite analizi yapılarak dizaynın uygun olup olmadığı bulunmak istenmektedir. Bu pervanenin bütün kesitlerinde NACA16 kalınlık dağılımı ile  $a=0.8$  sehim dağılımı kullanılmıştır. Bu pervaneye ait genel bilgiler ise aşağıda verilmektedir.

Pervane çapı,  $D=5.2$  m  
Pervane devri,  $N=120$  rpm  
Kanat sayısı,  $z=4$   
Pervaneye gelen güç,  $P_D=6090$  kW  
Gemi hızı,  $V_S=17.5$  knot  
Hatve/Çap oranı  $(P/D)_{ort}=0.883$   
Kanat alan oranı,  $(A_E/A_0)$   
İz katsayısı,  $w=0.51$   
Şaft derinliği,  $H=5.3$  m

**Çizelge 1.** Boyutsuz yarıçapa göre P/D ve C/D dağılımları

r/R	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95	1.0
P/D	0.888	0.883	0.879	0.870	0.865	0.883	0.89	0.901	0.904	0.9
C/D	0.120	0.153	0.210	0.255	0.284	0.290	0.28	0.226	0.170	0.0

Giriş ucundan (L.E) çıkış ucuna (T.E) doğru olmak üzere NACA16 profiline ait standart  $t/t_{max}$  (kalınlık dağılımları) ve  $f/f_{max}$  (sehim dağılımları) değerleri ise Çizelge 2'de kort yüzdelere göre (X/C) verilmektedir.

**Çizelge 2.** NACA16 için standart  $t/t_{max}$  ve  $f/f_{max}$  değerleri

X/C	$t/t_{max}$	$f/f_{max}$
0	0.00	0.00
0.025	0.304	0.158
0.05	0.418	0.270
0.10	0.576	0.448
0.20	0.777	0.700
0.30	0.902	0.863
0.40	0.976	0.960
0.50	1.000	1.000
0.60	0.972	0.980
0.70	0.877	0.89
0.80	0.7	0.702
0.90	0.419	0.367
0.95	0.232	0.171
1.00	0.00	0.00

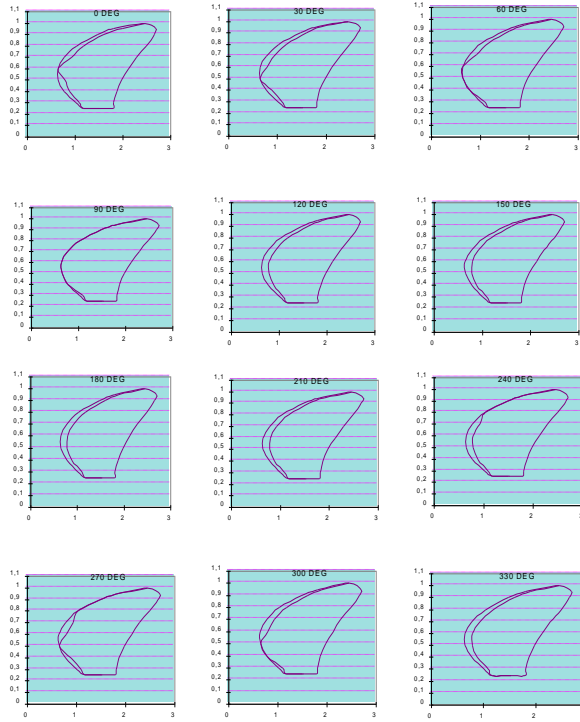


Bu çalışmada gösterilen metoda uygun olarak geliştirilen ve CAV-2000 diye isimlendirilen programın çalıştırılması ile aşağıdaki sonuçlar bulunmuş ve grafik ortamında gösterilmiştir.

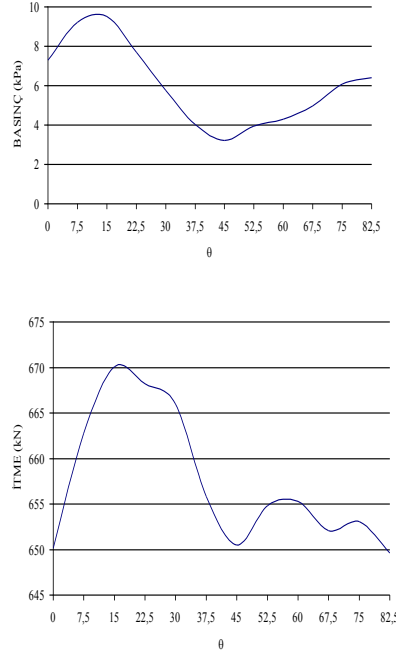
1-) Gemi hızı 17.5 knot ve  $N=120$  rpm 'de iken pervane  $T=657.37$  kN'luk itme ile  $Q=489.67$  kN.m'lik tork oluşturmuştur.

2-) Pervane üst noktası  $0^\circ$  olmak üzere  $360^\circ$  ye kadar  $5^\circ$ 'lik artırımlarla pervane kavitasyon analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda pervane emme yüzeyinde kavitasyona rastlanmıştır. Oluşan kavitasyon bölgeleri bütün açılarda pervane giriş uçlarında ve pervane giriş ucunun %10-18 kadarını kapsayan kısımlarda bulunmuştur. Bu bölgeleri belirten şekiller  $30^\circ$  aralıklarla kanat pozisyonlarına göre yatay eksen kort uzunlukları, düşey eksen ise boyutsuz  $r/R$  değerleri olmak üzere Şekil4 'te gösterilmektedir.

3-) Tüm pervane tarafından oluşturulan itme ve basınç değerleri yatay eksen derece cinsinden kanat pozisyon açısını vermek üzere Şekil 5' de gösterilmektedir.



Şekil 4. Pervane kanatlarındaki kavitasyon bölgeleri



**Şekil 5.** Tüm pervane tarafından oluşturulan itme ve basınç değerleri

## 7 . SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada geliştirilen prosedür, pervane kavitasyon analizi için çok hızlı ve kullanışlı bir imkan sağlamaktadır. Geliştirilmiş bilgisayar programı ile kavitasyon tünel testine ihtiyaç kalmadan zaman ve paradan tasarruf sağlanarak pervanenin hidrodinamik analizi yapılabilmektedir. Bunun yanında pervane dönüşüne bağlı olarak itme ve basınç değişimleri bulunabilmekte bu ise pervaneden dolayı oluşan titreşimin seviyesi hakkında bilgi vermektedir. Böylece pervane dizayn aşamasında gerekli değişikliği yapma imkanı tanınmaktadır. Programda elde edilen kanat üzerindeki basınç dağılımı yardımı ile gerilme analizi yapılmasına ayrıca imkan tanınmaktadır.

İleride yapılacak çalışmalar ile pervane dizayn ve analiz prosedürleri birleştirilerek pervane optimizasyon metodu geliştirilecek ve yeni grafik paketleri ile de yazılım daha görsel hale getirilecektir. Gemi yönünden önem taşıyan ve son yıllarda da klas kuruluşlarının yeni standartlar getirdiği titreşim ve gürültü konusu gelecekte bir şekilde incelenerek bu çalışmaya ilave edilecektir. Böylece pervane kaynaklı titreşim ve akustik değerler rahatlıkla hesaplanabilecektir.

**KAYNAKLAR**

[1] Szantyr, J.A ve Glover E.J., (1990), "UPCA91-The Lifting Surface Program for Unsteady Propeller Cavitation Analysis. Instructions for the User", Emerson Cavitation Tunnel Report, Department of Marine Technology University of Newcastle Upon Tyne, U.K.

[2] Szantyr, J.A., (1984), "A New Method for the Analysis of Unsteady Propeller Cavitation and Hull Surface Pressures", The Royal Institution of Naval Architects, London.

[3] Wang, D., Glover E.J., Patience , G ve Sasaki, N., (1995), "An Investigation of The Effect of Propeller Blade Section Parameters on Hull Surface Pressure Fluctuations", Propcav'95, 16-18 May.1995, Newcastle Upon Tyne, U.K.

[4] Güner, M., Kükner, A ve Baykal, M.A., (1999), "Gemi Pervaneleri ve Sevk Sistemleri", İTÜ, İstanbul.

[5] Kafalı, K., (1982), "Gemi Formunun Statik ve Dinamik Esasları", İTÜ, İstanbul.

[6] Sabuncu, T., (1983), "Gemi Sevki", İTÜ, İstanbul.