

8. AÇIK SU PERVANE DENEYLERİ

Pervanelerin çalışma kapasitelerinin tespiti amacıyla birtakım pervane model deneyleri gerçekleştirilir. Gerçek pervanenin itmesi ve torku pervane model deneylerinden yararlanılarak tahmin edilmeye çalışılır.

Gemi direnci çalışmalarında olduğu gibi pervane deneylerinde de model pervane ile gerçek pervane arasındaki benzerlik kanunlarının sağlanması gerekir. Ayrıca ölçek etkilerinin de üzerinde önemle durulması gerekir (gerçek pervane ile model pervane farklı Rn sayılarında çalışıyor ise).

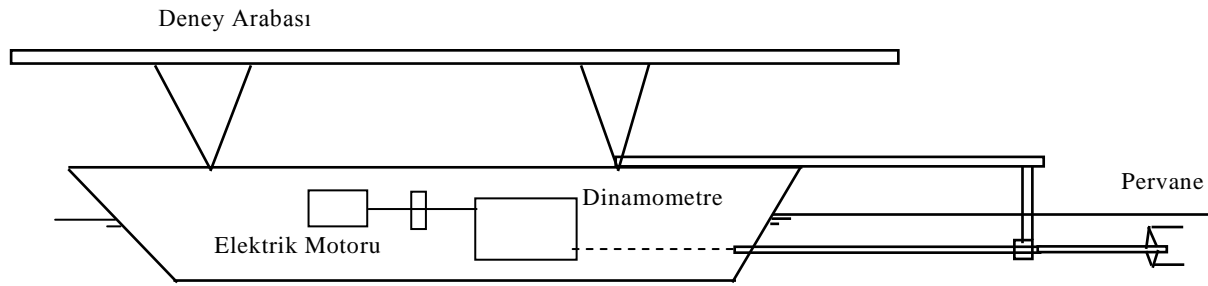
Pervane dizaynında yaygın olarak kullanılan veriler, pervane modelleriyle yapılan sistematik deneysel çalışmalardan elde edilir.

Gemi kış formunun sonsuz sayıda değişik şekilde ve yapıda olabilmesi, kış formun pervanenin çalışma ortamını etkilemesi nedeniyle, elde edilen sonuçların genelleştirilmesi ancak pervane modelinin homojen bir akış ortamında test edilmesiyle mümkün olabilir. Bu şekilde yapılan deneylere **açık su pervane deneyleri** denilir.

Sistematik açık su pervane deneylerinden elde edilen sonuçlar, yeni pervane dizaynında kullanılabilecek şekilde birtakım diyagramlara dönüştürülür.

Açık su pervane deney sistemi genellikle bu deneyler için özel tasarlanmış, akımla uyumlu, çok narin bir tekne içerisine yerleştirilmiş bir dinamometre ile bu narin tekneden çıkarılmış uzun bir şaftın ucuna yerleştirilmiş bir model pervaneden oluşur.

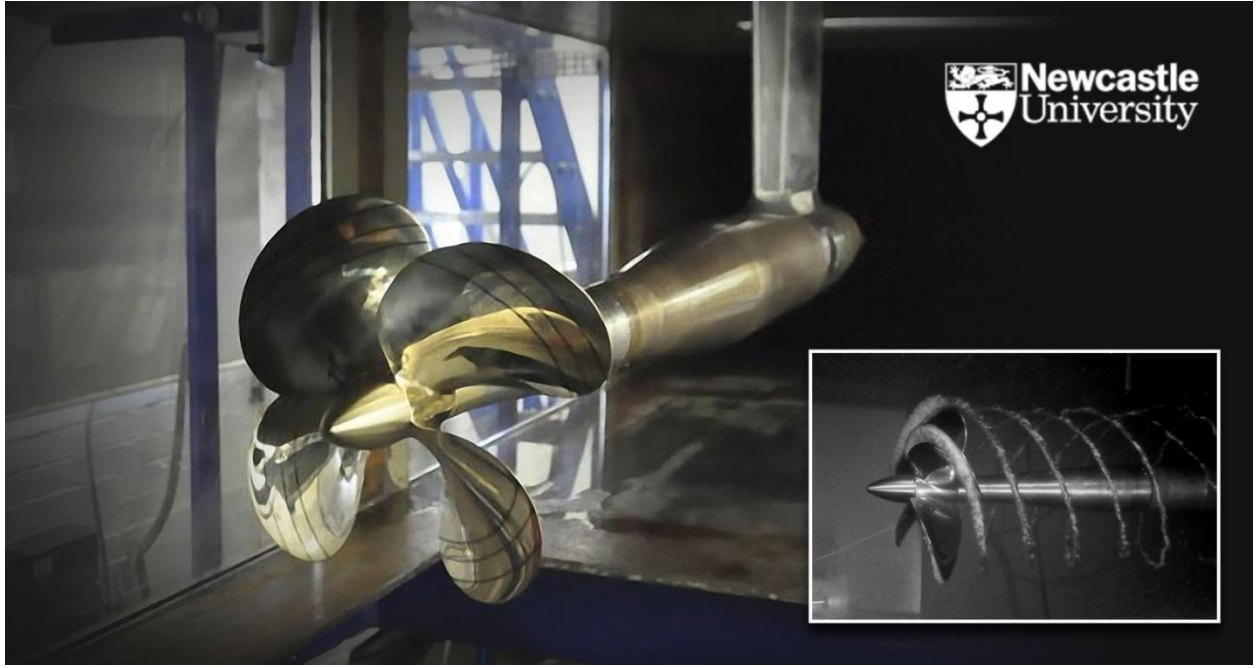
Narin bir tekne deney havuzunda deney arabasının altına bağlandığında ve deney arabası pervane ilerleme yönünde istenilen bir hızla sevk edildiğinde, pervane; elektrik motoru ile istenilen bir devirde döndürülmek suretiyle pervanenin homojen bir akım içerisinde istenilen şartlarda çalışması sağlanmış olunur. Açık su pervane deneyleri için tipik bir deney sistemi Şekil 12.1’de gösterilmektedir:



Deney sistemini taşıyan tekne, pervanenin merkez ekseninden su yüzeyine olan uzaklığı (pervane şaft merkezinin derinliği) D pervane çapına eşit olacak bir şekilde yerleştirilir.

Böyle bir tekne yerine eksenel simetriye sahip bir yapı düşey bir ayak vasıtasıyla istenilen derinlikte hareket ettirilerek de deneyler yapılabilir.





8.1 Pervaneler İçin Benzerlik Kanunları

Pervane modeli ve gerçek pervanenin üzerindeki kuvvetlerin benzerliği ancak

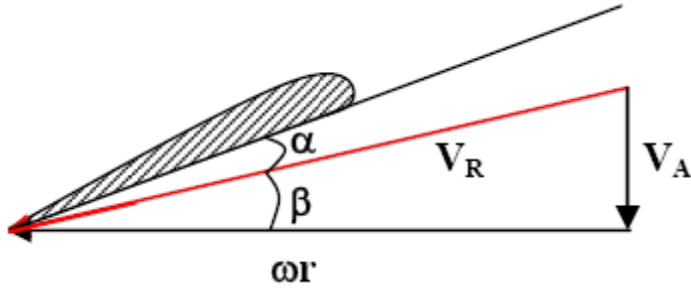
- Geometrik benzerlik,
- Kinematik benzerlik ve
- Dinamik benzerlik

şartlarının gerçekleşmesiyle sağlanabilir.

Geometrik benzerlik, model pervane ve gerçek pervanenin aynı geometrik özelliklere sahip olmalarıyla sağlanır. Genelde bu şartın yerine getirilmesinde karşılaşılan zorluk, kanat çıkış uçlarında yeterli inceliğin sağlanmasında ortaya çıkar. Bunun dışında geometrik benzerlik şartı günümüz teknolojisiyle kolayca sağlanır.

Kinematik Benzerlik Şartı

Kinematik benzerlik şartının sağlanabilmesi için model ve pervanenin karşılıklı noktalarındaki hızların oranının aynı olması gerekir. Bunun anlamı, model pervane ve gerçek pervane için (Pervane İlerleme Hızı (v_A) / Çevresel Hız ($\pi n D$) oranlarının aynı olmasıdır. Yani kinematik benzerlik şartının sağlanabilmesi için,



$$\frac{V_A}{\pi n D} = \text{Sabit}$$

olmalıdır. Burada n saniyedeki devir sayısıdır.

Pervane İlerleme Katsayısı J ise,

$$J = \frac{V_A}{n D}$$

şeklinde tanımlanır.

Açık su pervane deneylerinde kinematik şart sağlanmak kaydıyla pervane ilerleme hızı v_A ve saniyedeki devir sayısı n istenildiği gibi seçilebilir.

Dinamik Benzerlik Şartı

Dinamik benzerlik şartının sağlanabilmesi için ise Froude ve Reynolds kanunlarının sağlanması başka bir deyişle model pervane ve gerçek pervane için Froude ve Reynolds sayılarının eşit olmaları gereklidir.

Pervane için Froude sayısı,

$$Fn = \frac{nD}{\sqrt{gD}}$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada ***nD*** çevresel hızla ilgili ifade, ***D*** ise pervane çapını ifade etmektedir. Burada pervane çapı karakteristik boyut olarak kullanılmaktadır. Model için '***m***' alt indisi ve gerçek pervane için '***s***' alt indisi kullanılacak olur ise Froude sayılarının eşitliği,

$$Fn_m = Fn_s$$

$$\frac{n_m D_m}{\sqrt{g D_m}} = \frac{n_s D_s}{\sqrt{g D_s}}$$

şeklinde ifade edilebilir. λ model ve gerçek pervanenin benzerlik oranı olmak üzere denklemden ***n_m*** çekilirse,

$$n_m = n_s \sqrt{\frac{D_s}{D_m}} = n_s \sqrt{\lambda}$$

bağıntısı elde edilir.

Bu sonuç, gerçek pervane ve modelde Froude kanununun sağlanabilmesi için pervane modelinin, gerçek pervanenin devir sayısı ve geometrik benzerlik oranının karekökünün çarpımı ile bulunacak ***n_m*** devir sayısında test edilmesi gerektiğini ortaya koyar.

Bir pervane için Reynolds sayısı,

$$Rn = \frac{(nD)D}{\nu} = \frac{nD^2}{\nu}$$

şeklinde yazılabilir. Burada ν kinematik viskozitedir. Pervane ve modeli için **Rn** sayılarının eşitliği,

$$Rn_m = Rn_s$$

$$\frac{n_m D_m^2}{\nu_m} = \frac{n_s D_s^2}{\nu_s}$$

şeklinde ifade edilebilir. Model ve gerçek pervanenin aynı akışkan ortamında çalıştıkları düşünülürse ($\nu_m = \nu_s$) ve λ benzerlik oranı olmak üzere denklemden **n_m** çekilirse,

$$n_m = n_s \left(\frac{D_s}{D_m} \right)^2 = n_s \lambda^2$$

bulunur.

Bu sonuç göstermektedir ki Reynolds kanununun sağlanması için model pervanenin devir sayısının, gerçek pervanenin devir sayısı ile geometrik benzerlik oranının karesinin çarpımına eşit olacak şekilde seçilmesi gerekir.

Daha önce Froude kanununun sağlanabilmesi için model pervane devir sayısının, gerçek pervane devir sayısının geometrik benzerlik oranının karekökü ile çarpımına eğitlenmesi gerektiği ortaya konulmuğu.

Bu iki sonuç birlikte değerlendirildiğinde, Froude ve Reynolds sayılarının birlikte pervane ve model için sağlanmalarının mümkün olamayacağı ortaya çıkmaktadır.

8.2 Pervaneler İçin Boyut Analizi

Geometrik benzer pervanelere boyut analizi uygulanmak suretiyle boyutsuz katsayılar belirlenebilir. Serbest su yüzeyinden yeterince (su yüzeyinde herhangi bir deformasyona neden olmayacak kadar) derinde çalışan bir pervanenin sağlayacağı itme kuvveti aşağıdaki parametrelere bağlıdır:

- Akışkanın özgül kütlesi (ρ)
- Pervane çapı (D)
- Pervane ilerleme hızı (v_A)
- Pervane devir sayısı (n)
- Akışkanın dinamik viskozitesi (μ)
- Akışkanın statik basıncının buharlaşma basıncından farkı ($P_o - P_v$)

Pervanenin sağladığı itme ile bağlı olduğu parametreler aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$T = f(\rho^a D^b v_A^c n^d \mu^f (P_o - P_v)^g)$$

Bu bağıntıdaki parametreler **L** uzunluk, **M** kütle ve **T** zaman olmak üzere temel büyüklükler cinsinden ifade edilirse,

$$MLT^{-2} = f((ML^{-3})^a L^b (LT^{-1})^c (T^{-1})^d (ML^{-1}T^{-1})^f (ML^{-1}T^{-2})^g)$$

şeklinde boyutsal bağıntı elde edilir. Üstel değerler M, L ve T için düzenlenirse,

$$M: \quad 1 = a + f + g$$

$$L: \quad 1 = -3a + b + c - f - g$$

$$T: \quad -2 = -c - d - f - 2g$$

bağıntıları elde edilir. Bu bağıntılardan yararlanılarak,

$$a = 1 - f - g$$

$$b = 4 - c - 2f - 2g$$

$$d = 2 - c - f - 2g$$

bulunur. O halde,

$$T \propto \rho^{(1-f-g)} D^{(4-c-2f-2g)} V_A^c n^{(2-c-f-2g)} \mu^f (P_o - P_v)^g$$

şeklinde yazılıp düzenlendiğinde,

$$T = \rho n^2 D^4 \left(\frac{V_A}{n D} \right)^c \left(\frac{\mu}{\rho n D^2} \right)^f \left(\frac{P_o - P_v}{\rho n^2 D^2} \right)^g$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntıda görülen boyutsuz gruplar aşağıdaki gibi tanımlanırlar:

$$\text{İtme Katsayısı} \quad K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$$

$$\text{İlerleme Katsayısı} \quad J = \frac{V_A}{n D}$$

$$\text{Reynolds Sayısı} \quad Rn = \frac{n D^2}{\nu} \quad (\text{Pervane için})$$

Kavitasyon Sayısı
$$\sigma = \frac{P_o - P_v}{0.5 \rho (n D)^2}$$

Bu bağıntılardan itme katsayısının; pervane ilerleme katsayısı, Reynolds sayısı ve kavitasyon sayısının bir fonksiyonu olduğu görülmektedir:

$$K_T = f(J, Rn, \sigma)$$

Pervane su yüzeyine yakın çalışıyor ise yukarıdaki ifadeye (yer çekimi ve dalga oluşumu nedeni ile) bir de Fn sayısı eklenir:

$$K_T = f(J, Rn, Fn, \sigma)$$

Benzer bir yaklaşımla pervane torku (Q) aşağıdaki parametrelerin bir fonksiyonu olarak yazılabilir:

$$Q = \rho^a D^b v_A^c n^d \mu^f (P_o - P_v)^g$$

Benzer şekilde üst indis eşitlemesi ve birtakım düzenlemeler sonucunda,

$$Q = \rho n^2 D^5 \left(\frac{v_A}{nD} \right)^c \left(\frac{\mu}{\rho n D^2} \right)^f \left(\frac{P_o - P_v}{\rho n^2 D^2} \right)^g$$

bağıntısı elde edilir. Burada,

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$$

şeklinde pervane tork katsayısı tanımlanır. Pervane tork katsayısının; pervane ilerleme sayısı, Reynolds sayısı ve kavitasyon sayısının bir fonksiyonu olduğu görülmektedir:

$$K_Q = f(J, Rn, \sigma)$$

Pervane su yüzeyine yakın çalışıyor ise yukarıdaki ifadeye (yer çekimi ve dalga oluşumu nedeni ile) bir de Fn sayısı eklenir:

$$K_Q = f(J, Rn, Fn, \sigma)$$

Yukarıda yapılan analizlerde Reynolds sayısı ve kavitasyon sayısı, çevresel hızla ilgili ifadeyle (nD) boyutsuzlaştırılmıştır. Bu sayıların pervane ilerleme hızı (v_A) veya $0.7R$ 'deki kesite gelen bileşke akım hızı (v_R) ile de boyutsuzlaştırılmaları mümkündür. Bu durumda,

$$Rn = \frac{v_R D}{\nu}$$

$$\sigma = \frac{P_o - P_v}{0.5 \rho v_R^2}$$

şeklinde ifadeler elde edilecektir.

SONUÇ:

Su yüzeyine yakın bir pervanenin model deneyi ile performansının hesaplanabilmesi için Reynolds (Rn) ve Froude (Fn) ve ilerleme katsayılarının (J) eşit olması gerekir. Fn ve Rn aynı anda sağlanamaz. Rn benzerliğinin sağlanabilmesi için çok yüksek devirlere gereksinim vardır

$(n_m = n_s \lambda^2)$ bu ise pratikte uygulanması çok zordur, Fn benzerliğinde ise model pervane devrinin $(n_m = n_s \lambda^{1/2})$ olması gerekir pratik olarak daha makuldur.

Model deneyinde Rn benzerliği aranmaz, Fn ve J sayılarının gerçek ve model pervanelerde eşitliği sağlanacak şekilde model pervane devri ve model pervaneye gelen akım hızı (veya çekilme hızı) belirlenir. Bu da:

$$n_m = n_s \lambda^{1/2} \quad (Fn_m = Fn_s)$$
$$Va_m = \frac{Va_s}{\sqrt{\lambda}} \quad (J_m = J_s) \text{ şeklinde olacaktır.}$$

Bu durumda gerçek ve model pervanenin itme ve tork katsayıları da eşit olacaktır.

$$Fn = \frac{nD}{\sqrt{gD}} \text{ Froude sayısı}$$

$$J = \frac{V_A}{nD} \text{ Pervane ilerleme katsayısı}$$

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \text{ itme katsayısı}$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \text{ Tork Katsayısı}$$

8.3 Açık Su Pervane Diyagramı (Pervane Karakteristik Eğrileri)

Açık su pervane deneylerinde,

- İtme (T)
- Tork (Q)
- Devir Sayısı (n)
- Pervane İlerleme Hızı (v_A) (veya deney arabasının ilerleme hızı)

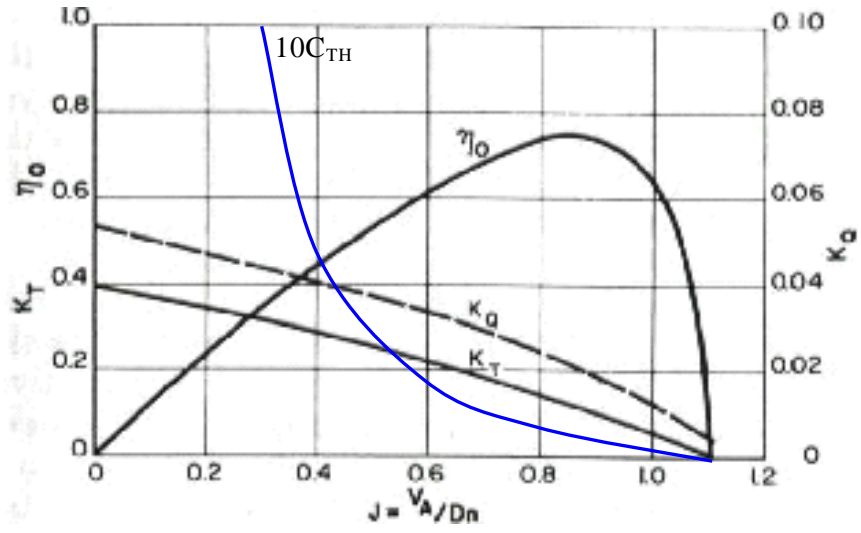
değerleri sürekli olarak kaydedilir. Bu ölçümlere dayanılarak itme katsayısı (K_T) ve tork katsayısı (K_Q) bulunur. Bu katsayılar pervane ilerleme katsayısı J' 'ye göre çizilerek açık su pervane diyagramı oluşturulur. Aynı diyagramda açık su pervane verimi de

$$\eta_o = \frac{P_T}{P_{D_o}} = \frac{T v_A}{2\pi Q_o n} = \frac{K_T}{K_{Q_o}} \frac{J}{2\pi}$$

olarak gösterilir. Ayrıca,

$$C_{TH} = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho v_A^2 \frac{\pi}{4} D^2} = \frac{8}{\pi} \frac{K_T}{J^2}$$

şeklinde tanımlanan itme yüklenme katsayısı C_{TH} da aynı grafik gösteriminde yer alabilir (Şekil 12.2):



Pervane karakteristik eğrileri.

K_T-J ve K_Q-J karakteristik eğrileri belirli bir çalışma şartında pervane performansının tanımlanabilmesi için gerekli olan tüm bilgileri içerir.