

10. GEMİ - PERVANE ETKİLEŞİMİ VE GEMİLERDE KULLANILAN GÜÇLER

10.1 Gemi İzi ve İz Katsayısı (w)

v_s Geminin ilerleme hızı, v_A ise pervane üzerine gelen suyun pervane düzlemindeki ortalama hızı olarak alındığında, bir geminin izi (wake); geminin ilerleme hızı ile suyun pervaneye akış hızı arasındaki fark olarak tanımlanır. Bu farkın gemi hızına veya suyun ortalama akış hızına bölünmesiyle de iz katsayısı tanımlanır.

Çoğunlukla iz katsayısı,

V_s : gemi hızı

$$w = \frac{V_s - V_A}{V_s}$$

V_A : pervaneye gelen ortalama akım hızı

şeklinde ifade edilir ve bu ifade **Taylor İz Katsayısı** olarak tanımlanır. Buradan pervaneye gelen akımın ortalama hızı aşağıdaki gibi olur:

$$v_A = (1 - w) \cdot v_s$$

Gemi hızı ile pervaneye gelen akım hızının farkının, pervaneye gelen akım hızına bölünmesi ile bulunan iz katsayısına da **Froude İz Katsayısı** denilir.

Gemi arkasında pervane yok iken pervane düzleminde ölçülen ize **nominal iz**, pervane etkilerinin dikkate alınması ile bulunan ize de **efektif iz** denilir.

İz katsayısı üç bileşene ayrılabilir. Bunlar:

$$W = W_P + W_F + W_W$$

Burada,

W_P : Potansiyel İz Katsayısı

W_F : Sürtünme İz Katsayısı

W_W : Dalga İz Katsayısı

olarak tanımlanmıştır.

Potansiyel iz geminin ideal bir akışkanda, sürtünmesiz ve dalgasız bir ortamda hareket etmesi halinde oluşacak izi ifade etmektedir. Bu özellikleriyle potansiyel iz; cismin şekli ile ilgili olup, matematiksel olarak modellenip hesaplanabilir.

Dalga izi ise dalga içerisindeki su zerreciklerinin hareketinden kaynaklanan izi ifade etmektedir.

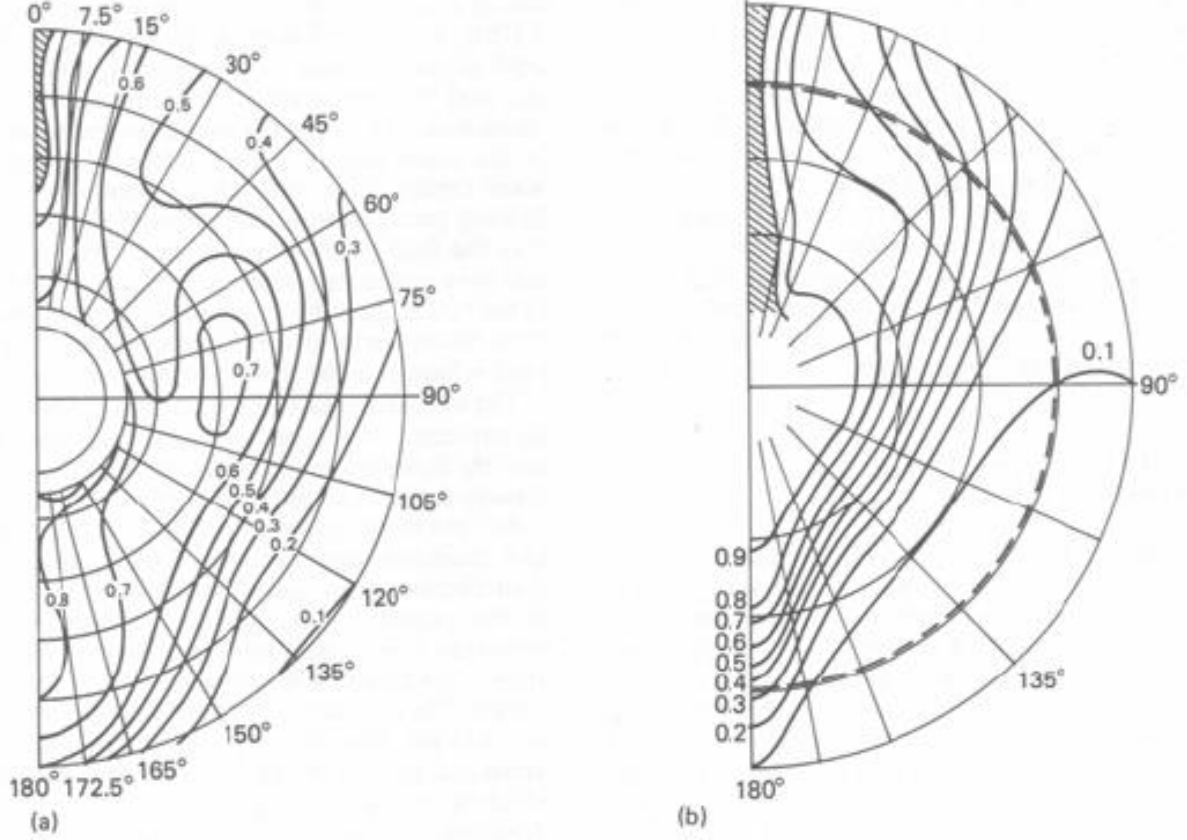
Sürtünme izi de gemi etrafındaki sınır tabakada olan sürtünme nedeniyle gemi izindeki değişimi ifade eder.

Tek pervaneli gemilerde sürtünme izi baskın olmakla birlikte $Fn > 0.3$ olduğu durumlarda dalga izi etkilidir.

Pervane çapının artmasıyla iz katsayısının azaldığı deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır.

U ve **V** kesitli tekneler için pervane düzlemindeki iz dağılımları aşağıda görülmektedir.

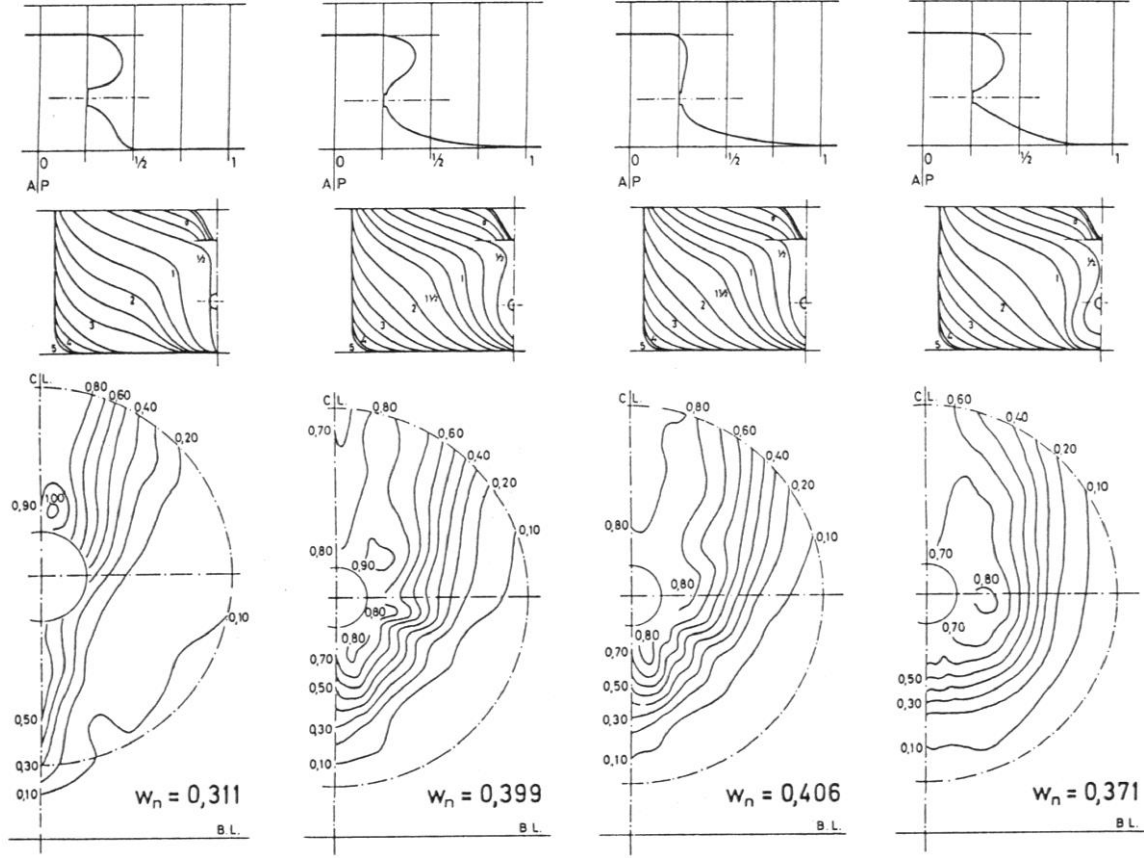
$$w = \frac{V_s - V_A}{V_s}$$



U (a) ve **V** (b) kesit formlu gemilerdeki iz katsayısı (w) dağılımı.

Diğer taraftan pervane sayısı ve pervanelerin konumu da izi etkiler. İki, üç veya dört pervaneli uygulamalarda izde değişiklikler gözlenir. Genelde pervane yüklemesi iz katsayısında küçük değişimlere neden olur, ancak aşırı yükleme halinde bu değişimler ihmal edilemeyecek düzeyde olabilir.

Gemi kıç formunun iz üzerine olan etkisi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Bu şekiller incelendiğinde, yumru kıç uygulaması, topuğun kaldırılması ve pervane üzerinde büyük bir açıklık bırakılması ile düzgün bir iz elde edilebileceği görülmektedir.

İz katsayısının hesaplanmasında yararlanılabilecek bazı ampirik formüller aşağıda verilmiştir:

Tek Pervaneli Gemiler İçin Taylor Formülü, $w = 0.5C_B - 0.05$

Çift Pervaneli Gemiler İçin Taylor Formülü, $w = 0.55C_B - 0.20$

Orta Hızlı Kargo Gemileri, $C_B = 0.70, w = 0.30$

Büyük Dökme Yük Gemileri, $C_B = 0.80 - 0.85, w = 0.4 - 0.5$

Konteynır Gemileri, $C_B = 0.60 - 0.65, w = 0.25$

Çift Pervaneli Feribotlar, $C_B = 0.50, w = 0.10 - 0.15$

Hızlı Firkateynler (Normal Seyirde) $w = 0.05$

Hızlı Firkateynler (Maksimum Hızda) $w = -0.05$

Bunun yanında, tek pervaneli gemiler için aşağıdaki ampirik formüller de önerilmektedir:

$w = 0.75C_B - 0.24$ Krüger

$w = 0.7C_P - 0.18$ Heckscher (Kargo Gemileri)

$w = 0.77C_P - 0.28$ Heckscher (Balıkçı Gemileri)

Çift pervaneli kargo gemileri için ise aşağıdaki formüller önerilmektedir:

$w = 0.82C_B - 0.34$ Krüger

$w = 0.7C_P - 0.3$ Heckscher

10.2 İtme Azalması (Emme Katsayısı)

Bir gemiyi belirli bir hızla sevk edebilmek için gerekli olan T itmesi, geminin aynı hızdaki toplam direncinden daha fazladır.

Bunun nedeni, pervanenin gemi kıçında akımı hızlandırması ve basınç alanını düşürmesi sonucunda meydana gelen direnç artışıdır.

Pervanenin sağlayacağı itme, gemi direnci ile pervanenin çalışmasından dolayı ortaya çıkan ek direnci karşılamak zorundadır.

Pervanenin çalışmasından kaynaklanan gemi direncindeki artış (ΔR) genellikle pervane itmesindeki azalma (**itme azalması**) şeklinde ifade edilir:

$$T = R_T + \Delta R$$

$$\Delta R = T - R_T$$

Bu itme kaybı/azalması, toplam itmenin bir yüzdesi olarak ifade edilir. t ile gösterilen bu oran **itme azalması** veya **emme katsayısı** olarak isimlendirilir:

$$t = \frac{T - R_T}{T}$$

$$R_T = (1 - t) T$$

Emme katsayısı çoğunlukla iz katsayısının bir oranı şeklinde yaklaşık olarak ifade edilir:

$$t = k w$$

Buradaki k katsayısı,

Hidrofoil dümenli gemiler için	0.60 - 0.70
2 levha dümenli kare kış bodoslamalı deniz araçları için	0.70 - 0.90
1 levha dümenli kare kış bodoslamalı deniz araçları için	0.90 - 1.05

Bosalı çift pervaneli gemiler için emme katsayısının yaklaşık hesabında,

$$t = 0.25 w + 0.14$$

formülü ve A braketli çift pervaneli gemiler için de

$$t = 0.70 w + 0.06$$

formülü kullanılabilir.

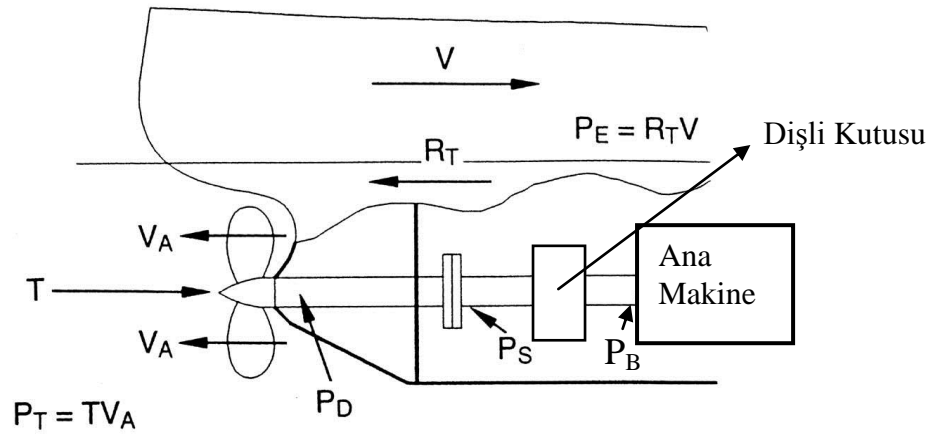
Bunun yanında Heckscher aşağıdaki ampirik formülleri önermektedir:

$t = 0.5 C_p - 0.12$	Tek Pervaneli Kargo Gemileri
$t = 0.5 C_p - 0.18$	Çift Pervaneli Kargo Gemileri

10.3 Gemilerde Kullanılan Güçler ve Verimler

Bir geminin istenilen hızda hareket edebilmesi için gerekli olan efektif gücü karşılayacak kadar bir gücün ana makine tarafından sağlanması gerekir. Ancak ana makinenin ürettiği gücün geminin hareketini sağlayacak itme kuvvetine dönüşmesi aşamalarında kaçınılmaz olarak birtakım kayıplar meydana gelir ve bu kayıplara bağlı olarak değişik güç ve verim ifadeleri tanımlanır.

Bir gemi üzerindeki güçlerin genel bir gösterimi aşağıda verilmiştir:



Değişik güçlerin gemi üzerinde şematik olarak gösterimi.

Efektif Güç (P_E) veya Efektif Beygir Gücü (EHP): Geminin v_s hızında yedekte çekilebilmesi için gerekli olan güce **efektif güç (P_E) / efektif beygir gücü (EHP)** veya yedekte çekme gücü / yedekte çekme beygir gücü denilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

SI Birim Sisteminde Efektif Güç:

$$P_E = R_T \cdot v_s$$

P_E : Efektif Güç (kW)
 R_T : V_s Hızındaki Toplam Direnç (kN)
 v_s : Gemi Hızı (m/s)

Metrik Sistemde Efektif Beygir Gücü: $EHP = \frac{R_T \cdot V_s}{75}$

EHP: Efektif Beygir Gücü (HP_{metrik})
R_T: Toplam Direnç (kg)
V_s: Gemi Hızı (m/s)
 1 HP_{metrik} = 75 kg.m/s

İng. Birim Sisteminde Ef. Beygir Gücü: $EHP = \frac{R_T \cdot V_s}{550}$

EHP: Efektif Beygir Gücü (HP_{İng})
R_T: Toplam Direnç (libre)
V_s: Gemi Hızı (fit/s)
 1 HP_{İng} = 550 libre.fit/s

1 knot = 0.51444 m/s = 1.688 fit/s

1 kW = 1.36 HP_{metrik}

1 HP_{metrik} = 0.73575 kW

1 HP_{İng} = 0.74597 kW

1 HP_{metrik} = 0.9863 HP_{İng}

Fren Gücü (P_B): Fren gücü bir makinenin kaplin çıkışında ölçülen güçtür. Gücün ölçümü genelde hidrolik fren veya elektromanyetik dinamometrelerden yararlanılarak yapılır. Fren gücü ana makine üreticisi tarafından ölçülür.

$$P_B = 2\pi n Q_m$$

P_B: Fren Gücü (kW)
n: Makinenin saniyedeki devir sayısı (1/s)
Q_m: Makine Torku (kN.m)

Şaft Gücü (P_S): Şaftın ucunda, şaft kovanından önce pervaneye yakın bir yerde burulma indikatörü ile ölçülen güç veya belirli bir devirde pervane şaftı üzerinden pervaneye nakledilen gücün şaft kovanından önce ölçülen değeridir.

Şaft gücü, fren gücünden tam dişli ve yataklardaki kayıplar ile yardımcı makinelere harcanan güç çıkarıldıktan sonra kalan güçtür.

Yaklaşık olarak, **dişli kutularındaki kayıplar % 3, şaft yataklarındaki kayıplar ise her bir yatak için % 1.5** olarak düşünülebilir.

Şaft gücü, ana makine ile şaft gücünün ölçüldüğü nokta arasında meydana gelen kayıpları içeren verim ifadesinden (η_M) hareketle aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$P_S = \eta_M P_B$$

Gerekli bilgilerin elde bulunmaması halinde şaft gücü fren gücünün 0.96 ile çarpılmasıyla bulunabilir.

Genellikle şaft gücü (P_S), pervaneye iletilen (teslim edilen) güç (P_D) ile karıştırılır. Ancak P_D şaft kovanından sonra, P_S ise şaft kovanından önce ölçüldüğünden P_S , P_D 'den şaft kovanındaki kayıplar kadar büyüktür.

Pervaneye Verilen (İletilen) Güç (P_D): Şaft kovanından sonra pervanenin hemen önünde ölçülen ve pervaneye iletilen (teslim edilen) güçtür. Aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$P_D = 2\pi n Q$$

P_D : Pervaneye İletilen Güç (kW)

n : Pervanenin Saniyedeki Devir Sayısı (1/s)

Q : Pervane Torku (kN.m)

Pervane İtme Gücü (P_T): v_A hızında ilerleyen bir pervanenin T itmesini üretebilmesi için gerekli olan güçtür:

$$P_T = T v_A$$

Şaft Transmisyon Verimi (η_s): Ana makine ile pervane arasındaki tüm kayıpları içeren verim ifadesidir:

$$\eta_s = \frac{P_D}{P_B} \text{ ve } P_D = \eta_s P_B$$

Şaft transmisyon verimi, η_s yerine η_{tr} ile de gösterilebilmektedir.

Pervane Verimi (η_B): Gemi arkasındaki pervanenin ürettiği gücün (P_T), pervaneye verilen güce (P_D) oranıdır:

$$\eta_B = \frac{P_T}{P_D} = \frac{T v_A}{2\pi n Q}$$

v_A : Pervaneye Gelen Akım Hızı (m/s)
 Q : Gemi Arkasındaki Pervanenin Torku (kN.m)
 T : Pervane İtmesi (kN)
 n : Pervanenin Saniyedeki Devir Sayısı (1/s)

Bağıl (Rölatif) Dönme Verimi (η_R): Gerçekte gemi kıçındaki akım üniform değildir ve pervaneye gelen akım hızı (v_A) olarak hesap edilen ortalama bir değerdir. Pervanenin açık suda (v_A hızındaki üniform akımda) çalıştığı zaman elde edilen tork değeri, pervanenin tekne arkasında düzgün (üniform) olmayan bir iz dağılımı içinde çalışmasıyla (pervaneye gelen ortalama akım hızı v_A iken) elde edilen tork değerinden farklıdır.

v_A ilerleme hızında açık su pervanesinin verimi aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\eta_o = \frac{T v_A}{2\pi n Q_o}$$

v_A : Pervaneye Gelen Su Akımının Hızı (m/s)
 Q_o : Açık Su Pervanesinin Torku (kN.m)
 T : Pervane İtmesi (kN)
 n : Pervanenin Saniyedeki Devir Sayısı (1/s)

Aynı ifadeyi pervanenin tekne arkasında çalışması halinde ve aynı itme, devir ve ilerleme hızı için yazacak olursak, ölçülen pervane torku Q gibi farklı bir değer olur ve tekne arkasındaki pervane verimi de aşağıdaki gibi olur:

$$\eta_B = \frac{T v_A}{2\pi n Q}$$

Aynı devir ve ilerleme hızına sahip gemi arkasındaki pervane veriminin açık sudaki pervane verimine oranı bağıl (rölatif) dönme verimi olarak tanımlanır:

$$\eta_R = \frac{\eta_B}{\eta_O} = \frac{Q_O}{Q} \quad \text{ve} \quad \eta_B = \eta_O \cdot \eta_R$$

Rölatif dönme verimi, gemi ve pervane tipine bağlı olarak 0.94 - 1.06 arasında değişmektedir.

Rölatif dönme verimi hesabı için Holtrop-Mennen (1978) ve Holtrop (1984) aşağıdaki bağıntıları önermektedir:

$$\eta_R = 0.9922 - 0.05908 \frac{A_E}{A_0} + 0.07424 (C_p - 0.0225 LCB) \quad (\text{Tek Pervaneli Gemiler})$$

$$\eta_R = 0.9737 + 0.111 (C_p - 0.0225 LCB) - 0.06325 \frac{P}{D} \quad (\text{Çift Pervaneli Gemiler})$$

Burada LCB , boyuna hacim merkezinin mastoriden konumudur (su hattı boyunun yüzdesi olarak), A_E/A_0 kanat açılım alanının pervane disk alanına oranı ve P/D , pervane hatvesinin pervane çapına oranıdır.

Tekne Verimi (η_H): Efektif gücün pervanenin itme gücüne oranı olup, pervane ile gemi kığı arasındaki etkileşimle ilgilidir (Şekil 8.4).

$$\eta_H = \frac{P_E}{P_T} = \frac{R_T v}{T v_A} = \frac{R_T / T}{v_A / v} = \frac{1-t}{1-w}$$

****: Tekne verimi, 1'den büyük olabilir.



Şekil 8.4 Tekne verimi açısından iyi ve kötü dizayn örnekleri.

Sevk Verimi (η_D): Teknenin efektif gücünün pervaneye iletilen güce oranına sevk verimi denilir:

$$\eta_D = \frac{P_E}{P_D} = \frac{R_T v_s}{2\pi n Q} = \frac{P_E}{P_T} \frac{P_T}{P_D} = \frac{R_T v_s}{T v_A} \cdot \frac{T v_A}{2\pi n Q} = \frac{1-t}{1-w} \eta_B = \eta_H \eta_B = \eta_H \eta_O \eta_R$$

Genel Sevk Verimi (η_T): Ana makineden pervaneye gelinceye kadar şafttaki bütün kayıpların da sevk verimine dahil edilmesi ile genel (toplam) sevk verimi (η_T) aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\eta_T = \frac{P_E}{P_B} = \frac{P_E}{P_D} \frac{P_D}{P_B} = \eta_H \eta_O \eta_R \eta_S$$