

6. DEPLASMAN GEMİLERİ İÇİN GÜÇ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Belirli bir amaca göre dizayn ve inşa edilen bir geminin, R_T toplam direnci ve P_E efektif gücü aşağıda belirtilen yollardan biri ile bulunabilir:

- Eş veya geometrik benzer gemilerden yararlanılarak
- İstatistiksel diyagramlar kullanılarak
- Ampirik formüller kullanılarak
- Sistematik direnç araştırmalarının istatistiksel analizi yapılarak
- Model deneyleri yapılarak
- Sistematik model deneylerinden çıkarılan yöntemler kullanılarak

Bu hesaplama yollarından bazıları aşağıda kısaca anlatılacaktır:

6.1 Eş veya Geometrik Benzer Gemilerden Yararlanılarak Güç Hesaplama

Tam geometrik benzer iki gemi söz konusu ise, bunlar gemi ve modeli gibi düşünülerek hesaplama Froude yönteminde olduğu gibi yapılır.

Aynı tipte geometrik benzer iki farklı gemiden birinin **EHP** efektif beygir gücü biliniyor ve bu gemilerin ana boyutları, hızları, tekne narinlik katsayıları, **LCB** vs. değerleri yaklaşık olarak eşit ise, aynı Froude sayısı için aşağıda tanımlanan **C** güç sabitinin de eşit olduğu kabul edilerek, diğer geminin efektif beygir gücü bulunabilir:

$$C = \frac{\Delta^{2/3} \times V^3}{EHP}$$

Δ : Deplasman (ton)
 V : Hız (knot)
EHP: Efektif beygir gücü
C: Güç sabiti (Admiralty sabiti)

6.2 İstatistiksel Diyagramlar Kullanılarak Güç Hesaplama

Ön dizayn aşamasında, gücü kabaca belirlemek için istatistiksel diyagramlar kullanılır. Bu diyagramlar değişik tipteki gemiler için, yatay ekseninde Froude sayısı düşey ekseninde ise R_T/Δ değeri olacak şekilde düzenlenebileceği gibi, yatay ekseninde **DWT** veya deplasman değerine karşılık düşey eksen efektif gücü gösterecek şekilde de düzenlenebilir.

Tanker ve yük gemilerinde dedveyt tona göre; tren ferisi, römorkör ve buzkıran gemilerinde ise deplasmana bağlı olarak gücün çizilmesi daha uygun olacaktır.

Dedveyt ton veya deplasmana göre güç eğrileri çizilirken, seçilen gemilerin aynı tipte ve aynı hızda olmalarına dikkat edilmelidir.

6.3 Ampirik Formüller Kullanılarak Güç Hesaplama

Ön dizayn aşamasında az sayıdaki veri yardımıyla efektif gücü tahmin etmekte yararlanılabilecek yöntemlerden biri de uygun ampirik formüller kullanmaktır. Bu formüller genellikle belli tipteki gemiler için geliştirildiğinden, bu formüllerden yararlanılırken dikkatli olunması gerekir. Bunlardan bazıları aşağıda verildiği gibidir:

a) Admiralty Sabiti ile Güç Hesaplama Formülü

A_C = Admiralty sabiti

$$P_E = \frac{\Delta^{2/3} \times V^3}{A_C} \quad \Delta \text{ (ton)}, V \text{ (knot)}, P_E \text{ (kW)}$$

$$250 \text{ fit} < L < 500 \text{ fit} \Rightarrow A_C = 0.95 L + 197 \quad (L(m)) \quad \text{veya} \quad A_C = 0.29 L + 197 \quad (L(\text{fit}))$$

Gemi tiplerine göre A_C değerleri aşağıda verildiği gibidir:

A_C	=	600 – 400	Yük gemileri
	=	750 – 600	Dökme yük gemileri ve büyük tankerler
	=	700 – 550	Meyve ve hızlı yük gemileri
	=	500 – 350	Motorlu yakın sahil gemileri
	=	150	Hızlı savaş gemileri

b) Völker'in Yeni Admiralty Formülü

Ticaret gemilerinde pervaneye verilen gücün hesabı için, Völker tarafından aşağıdaki formül önerilmektedir:

$$P_D = \frac{\Delta^{0.567} \times V^{3.6}}{1670 \eta_D}$$

Δ : Deplasman (ton)
 V : Hız (knot)
 P_D : Pervaneye verilen güç (kW)
 η_D : Genel sevk verimi (Yaklaşık olarak 0.6 alınabilir.)

c) Watson Formülü

Ticaret gemilerinin güç hesabı için Watson aşağıdaki formülü elde etmiştir:

$$P_B = (5\Delta^{2/3} \cdot v^3 \cdot (40 - 0.017L - 400(K - 1)^2 - 12C_B)) / (15000 - 110N\sqrt{L})$$

Δ : Deplasman (ton)

v : Hız (m/s)

P_B : Ana makine fren gücü (kW)

L : Gemi boyu (m)

N : Ana makine devir sayısı (RPM) (dev/s)

K katsayısı, C_B blok katsayısına bağlı olarak aşağıdaki gibi verilir:

$$C_B < 0.64 \rightarrow K = 1.04$$

$$0.64 \leq C_B \leq 0.80 \rightarrow K = 1.06$$

$$C_B > 0.80 \rightarrow K = 1.08 - 1.10$$

d) Harvald Formülü

$$P = \frac{\Delta^{2/3} \times v^3}{C}$$

$$C = 3.7(\sqrt{L} + \frac{75}{v})$$

Δ : Deplasman (ton)

v : Gemi hızı (m/s)

L : Gemi boyu (m)

P : Güç (kW)

e) Savaş Gemileri İçin Brown Formülü

$$P_E = \Delta \times V \times (0.0571 \times V / \Delta^{1/6} - 0.110)$$

Δ : Deplasman (ton)

V : Hız (knot)

P_E : Efektif güç (kW)

f) Tankerler İçin Kupras Formülü

$$P_E = (C \times \Delta^{2/3} \times V^3) / 427.1$$

Δ : Deplasman (ton)

V : Hız (knot)

L : Gemi boyu (m)

P_E : Efektif güç (kW)

$$C = 0.987 - 0.0004 L - 0.275 C_B$$

6.4 Sistematik Model Deneylerinden Çıkarılan Yöntemlerle Güç Hesabı

6.4.1 Taylor Güç Hesaplama Yöntemi

D.W.Taylor, bir ana gemi modelinin, boyut ve karakteristik değerlerinden oluşturulan oranları değiştirerek, "Taylor Standart Serisi" adı ile bilinen gemi model ailesini oluşturmuş ve yapılan değişikliklerin direnç üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Taylor, gemi direncini deplasmana bağlı olarak ifade etmiş ve uygun bir ölçü olarak da, deplasmanın her bir tonuna düşen toplam direnç miktarını seçmiştir. Standart deney serilerinin sonucunda; geminin artık direnç kısmını her bir deplasman tonu için R_R/Δ şeklinde V/\sqrt{L} , B/T , C_F ve $\Delta/(L/100)^3$ parametrelerine bağlı olarak pratik eğriler halinde göstermiştir. Benzer şekilde sürtünme direncini ifade eden R_F/Δ değerleri de, farklı, Hız-Boy oranı katsayısı V/\sqrt{L} ve $\Delta/(L/100)^3$ değerlerine bağlı olarak 500 ft boyundaki bir gemi için aşağıda verilen (7.20) formülü veya Şekil 7.3'te belirlenebileceği gibi, Gertler'in önerdiği Schoenherr formülünden (ATTC) sürtünme direnci R_F hesaplanıp, gemi deplasmanına bölünerek de bulunabilir.

Taylor güç hesaplama yönteminde efektif beygir gücü değeri, (7.18)

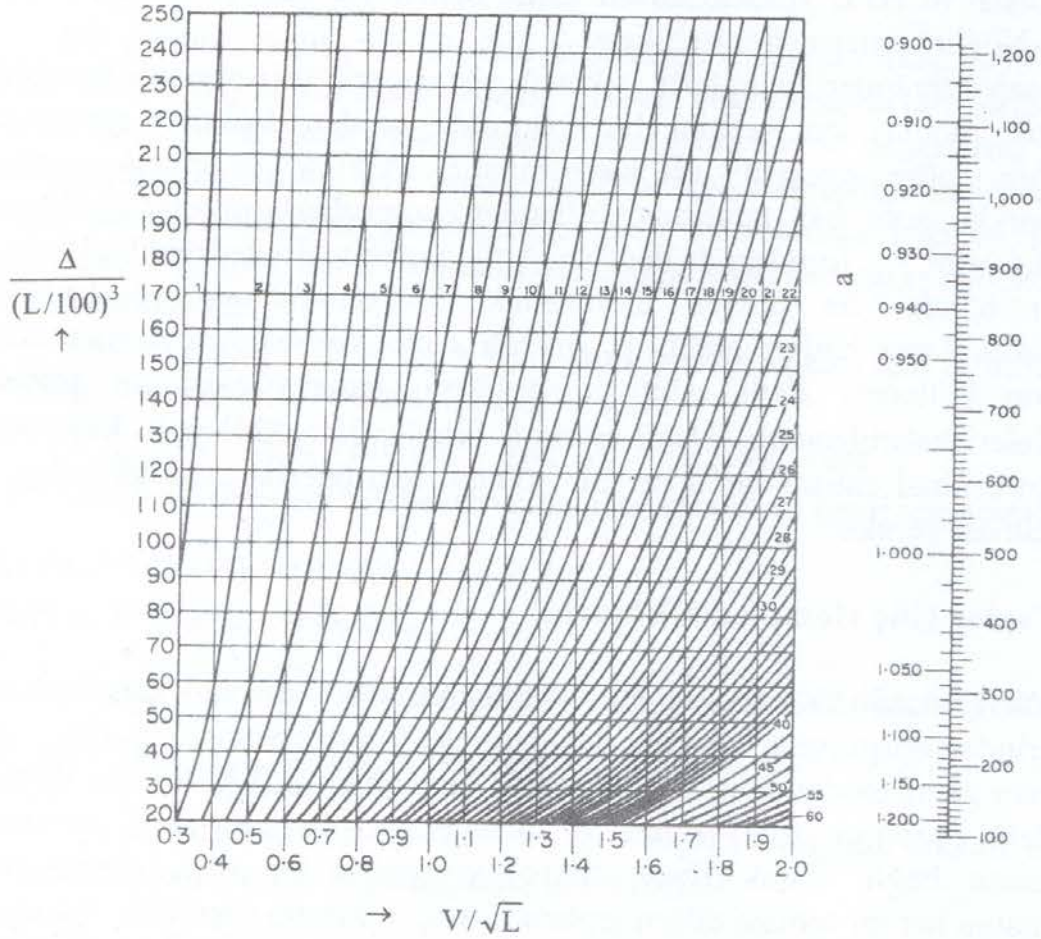
$$P_E = EHP = R_T \cdot V / 326 = 0.0037 \cdot \Delta \cdot \sqrt{L} \cdot (V / \sqrt{L}) \cdot (R_T / \Delta) \quad (7.18)$$

ifadesi ile verilmektedir. Burada, R_T (lbs), V (knot), L (ft) ve Δ (ton) birimlerindedir.

$$R_T / \Delta = R_F / \Delta + R_R / \Delta \quad [\text{lbs/ton}] \quad (7.19)$$

$$R_F / \Delta = 5.3303 \cdot a \cdot C \cdot (V / \sqrt{L})^{1.83} / [\Delta / (L/100)^3]^{1/2} \quad (7.20)$$

Bu formüldeki “a” değeri boy düzeltme katsayısı olup, 500 ft’ten farklı gemiler için, boya bağlı olarak aşağıdaki Tablo 7’den veya Şekil 7.3’ün yanında verilen grafik gösterimden belirlenir.



Şekil 7.3 Her deplasman tonu için R_F/Δ sürtünme direnci değerleri
($L = 500$ ft, $C = 15.4$)

Tablo 7. Boy Düzeltme Katsayısı

L(ft)	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900
a	1.130	1.095	1.067	1.045	1.027	1.012	1.000	0.979	0.961	0.946	0.933

C değeri ıslak alan katsayısı olup, bu yöntemin kullanım alanında ortalama bir değer olarak 15.4 alınabilir. Her bir deplasman tonuna düşen artık direnç R_R/Δ değerleri; gemi genişliği/su çekimi oranı B/T değerleri, V/\sqrt{L} , C_p ve $\Delta/(L/100)^3$ ün bağılı olarak Tablo 8’de verilen değişim aralıklarında $B/T = 2.25$ için Tablo 9’da ve $B/T = 3.75$ için Tablo 10’da verilmektedir. [31].

Tablo 8. Değişkenlerin değişim aralığı

B/T	2.25	3.75
C_p	0.50	0.80
V/\sqrt{L}	0.60	1.10
$\Delta/(L/100)^3$	50	250

Bir fikir verme açısından, Tablo 9 ve 10'da, belirli aralıklarla verilen R_R/Δ değerleri; orijinal çalışmada Tablo 8'de tanımlanan aralıklar için, B/T ve V/\sqrt{L} 'in sabit değerleri için, C_p absis ve $\Delta/(L/100)^3$ ordinat alınarak, Şekil 7.4 ve 7.5'teki gibi eğriler halinde de verilmiştir. [32]

Taylor standart serisinin sonuçları, Gertler tarafından sürtünme direnci için ATTC (Schoenherr) formülü kullanılarak, sabit B/T ve C_p değerleri için eğriler yeniden düzenlenmiştir. Şekil 7.6-7.8'de gösterildiği gibi absiste alınan V/\sqrt{L} değerinden çıkılan dik, uygun ∇/L^3 hacimsel katsayı eğrisini kestiği noktadan ordinat eksenine çizilen dik yardımı ile C_R artık direnç katsayısı bulunmaktadır. [32]. Taylor modellerinde C_M ortakesit narinlik katsayısının 0.925 alınmış olması, günümüz ticaret gemileri için, bu değer küçük olması nedeni ile, sakıncalı gözükmesine karşılık, ortakesit narinlik katsayısının direnç üzerinde fazla etkili olmayışı bu sakıncayı fazla önemli kılmamaktadır. Buna karşın, direnç üzerinde etkili olan su altı hacim merkezinin boyuna konumu LCB'nin, Taylor modellerinde tam ortada oluşu bir eksiklik olup, bu yönden hesaplarda bir düzeltmeye gerek vardır.

Taylor tarafından artık direnç hesabı için verilen R_R/Δ eğrileri, Pawlenko tarafından metrik sisteme çevrilerek, B/T = 2.25 ve B/T = 3.75 için, $\Delta/(L/10)^3$ ve C_p eksen takımında $0.179 < F_n < 0.372$ aralığında değişen sabit Froude sayıları için Şekil 7.9 ve 7.10'daki gibi değişen eğriler halinde verilmiştir. [35][36]. Bu eğrilerin tamamı Ek-1A'da yer almaktadır.

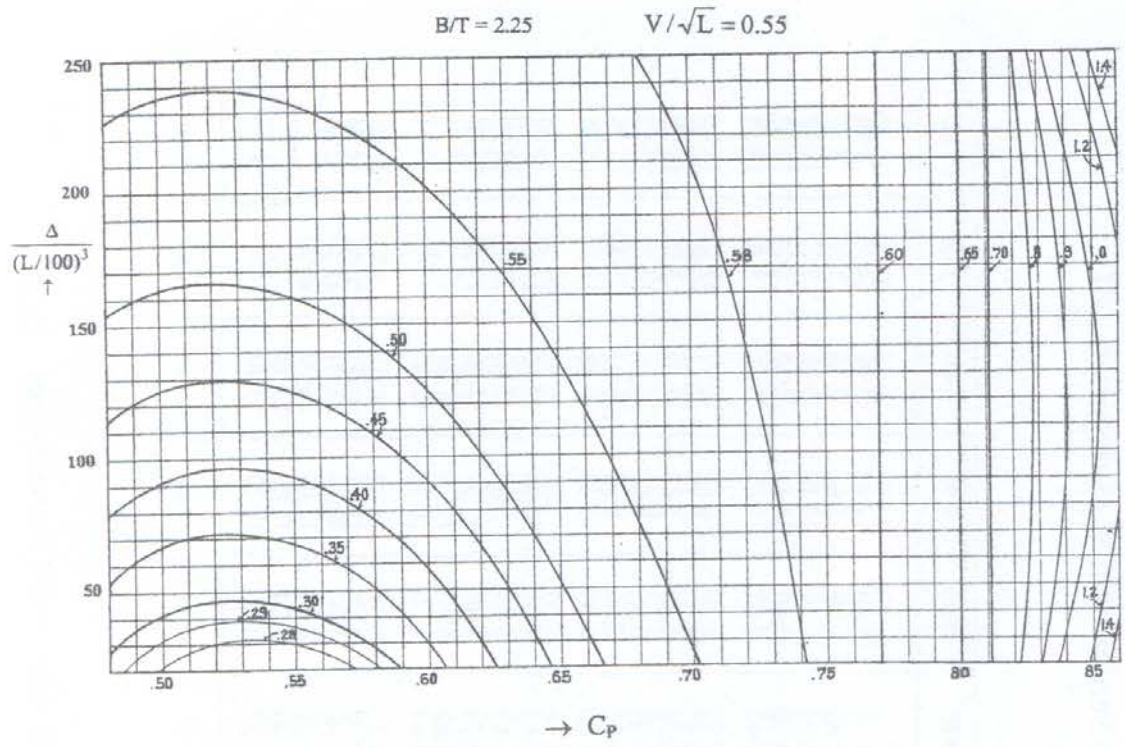
B/T oranının 3.75 değeri zamanla yetersiz kalmış ve böylece B/T > 3.75 için yöntemin uygulanabilirliği açısından G.Haehnel ve K.H.Laber B/T = 4.5 için çalışmayı genişletmişlerdir. [34]. Berlin Model Havuzunda yapılan deneyler, Taylor ve Gertler'in çalışmalarının devamı olarak yürütülmüş ve sonuçlar grafiklerle verilmiştir. Bu grafiklerde Froude sayısı parametre olarak alınmıştır. R_R/Δ değerleri, C_p 'ye karşılık B/T'nin 2.25-3.00-3.75 ve 4.50 sabit değerleri için Ek-1B'de gösterilen biçimde verilmiştir.

Tablo 9. $B/T = 2.25$ için Taylor Standart Serileri için R_R/Δ değerleri [27]

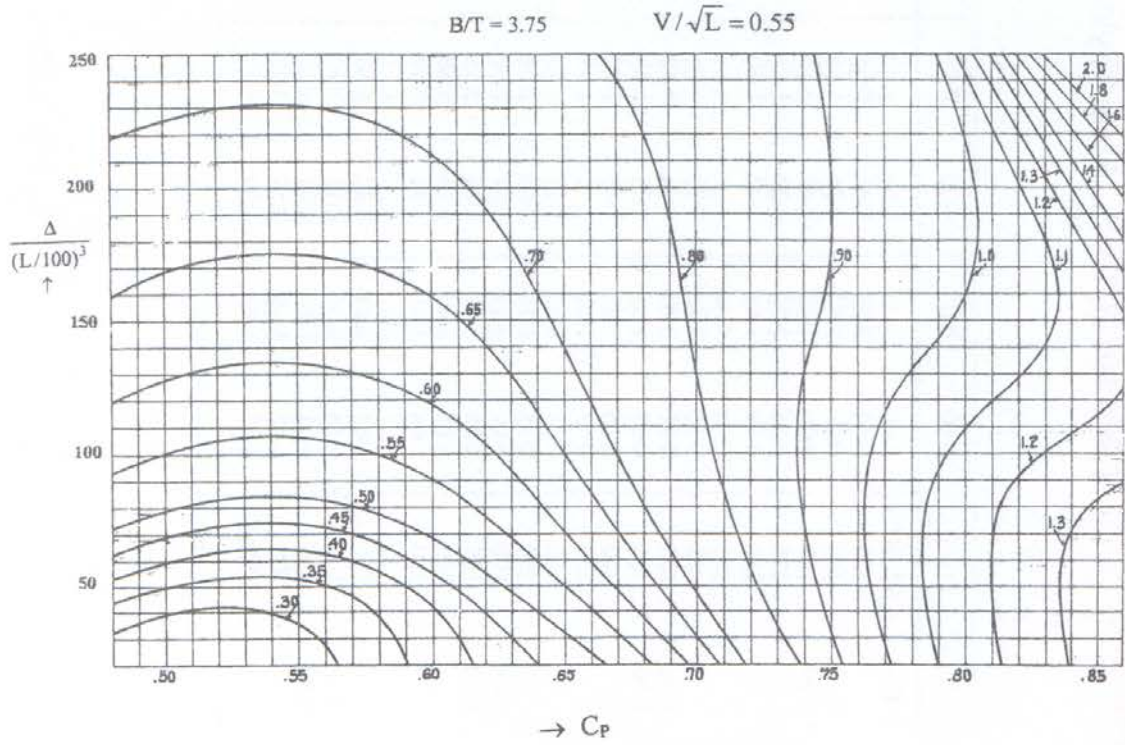
C_p	V/\sqrt{L}	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10
	$\Delta/(L/100)^{1/3}$											
0.50	50	0.41	0.50	0.69	0.85	1.10	1.20	1.40	1.65	2.00	3.15	5.25
	100	0.53	0.67	0.91	1.09	1.25	1.55	1.75	2.00	2.60	3.95	7.00
	150	0.62	0.78	0.99	1.20	1.40	1.80	2.20	2.55	3.30	4.90	8.40
	200	0.67	0.83	1.03	1.27	1.62	2.20	2.50	3.00	4.00	6.00	9.90
	250	0.71	0.86	1.07	1.29	1.96	2.30	2.90	3.60	4.90	7.50	13.00
0.60	50	0.49	0.62	0.83	1.22	1.61	2.05	2.70	3.80	5.40	6.20	6.80
	100	0.62	0.74	0.99	1.30	1.69	2.15	3.00	4.45	6.70	8.10	9.20
	150	0.68	0.83	1.05	1.34	1.71	2.20	3.20	4.85	7.60	9.00	10.60
	200	0.72	0.88	1.09	1.35	1.74	2.30	3.35	5.20	8.10	9.60	11.00
	250	0.74	0.92	1.12	1.36	1.79	2.48	3.60	5.60	8.50	10.00	11.50
0.70	50	0.80	1.02	1.32	1.83	2.34	3.35	4.70	7.30	11.50	14.30	15.00
	100	0.81	1.03	1.32	1.83	2.46	3.50	5.30	8.90	15.60	20.00	22.40
	150	0.81	1.03	1.33	1.83	2.46	3.50	5.45	9.75	17.80	24.00	28.20
	200	0.82	1.04	1.33	1.83	2.46	3.50	5.50	10.30	19.00	26.80	33.00
	250	0.83	1.06	1.34	1.83	2.50	3.65	5.50	10.60	20.00	28.90	35.70
0.80	50	1.00	1.27	2.00	3.52	6.70	9.30	10.30	13.20	19.30	25.50	28.00
	100	1.00	1.27	2.00	3.52	6.70	10.50	12.00	15.60	24.70	35.30	43.50
	150	1.00	1.27	2.00	3.52	6.70	10.90	12.50	16.80	26.70	40.20	52.50
	200	1.00	1.27	2.00	3.52	6.70	11.10	12.80	17.35	27.70	42.00	57.50
	250	1.00	1.27	2.00	3.52	6.70	11.30	13.20	17.60	28.30	41.50	58.50

Tablo 10. $B/T = 3.75$ için Taylor Standart Serileri için R_R/Δ değerleri [27]

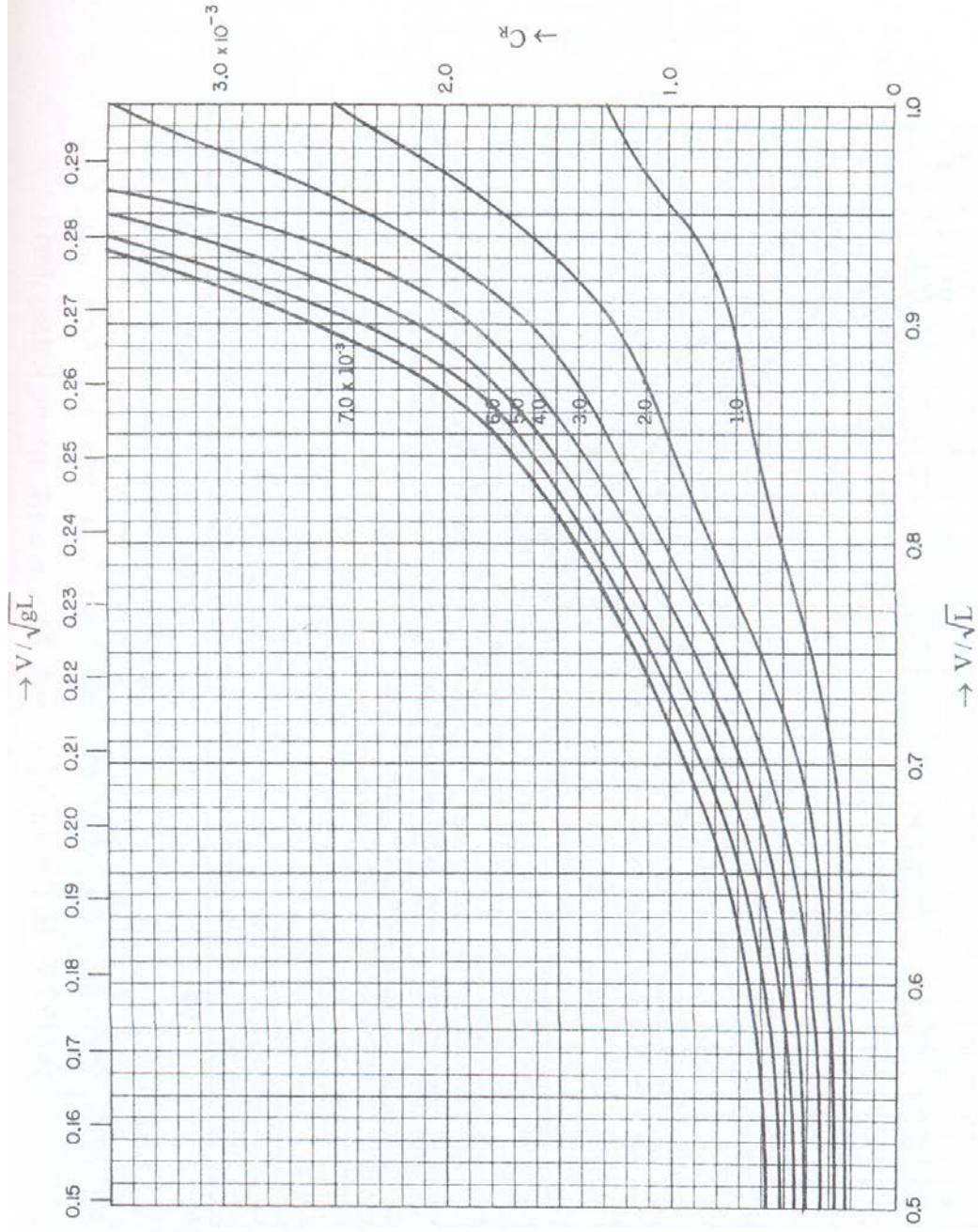
C_p	V/\sqrt{L}	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10
	$\Delta/(L/100)^a$											
0.50	50	0.46	0.52	0.67	0.88	1.20	1.55	1.90	2.40	3.00	4.10	5.80
	100	0.72	0.93	1.16	1.46	1.85	2.40	2.90	3.45	4.30	5.70	8.50
	150	0.80	1.02	1.32	1.73	2.20	2.90	3.50	4.20	5.20	7.20	11.30
	200	0.86	1.05	1.38	1.81	2.30	3.20	3.80	4.45	5.70	8.20	13.10
	250	0.89	1.08	1.43	1.90	2.47	3.40	4.02	4.65	6.50	8.70	14.30
0.60	50	0.55	0.72	0.91	1.28	1.70	2.20	2.80	4.00	5.35	6.60	8.10
	100	0.73	0.92	1.21	1.52	1.85	2.50	3.40	4.85	7.10	9.15	11.10
	150	0.83	1.05	1.37	1.69	2.15	2.70	3.60	5.30	7.80	10.30	12.70
	200	0.88	1.13	1.48	1.88	2.30	2.85	3.80	5.50	8.00	10.80	13.70
	250	0.93	1.20	1.51	1.93	2.45	3.00	4.00	5.60	8.40	11.30	14.20
0.70	50	0.89	1.16	1.66	2.34	3.20	4.40	6.00	8.80	12.20	15.60	17.30
	100	1.00	1.35	1.81	2.52	3.30	4.60	6.60	9.80	15.70	21.20	25.20
	150	1.03	1.39	1.87	2.55	3.35	3.70	6.80	10.60	17.40	24.30	29.20
	200	1.05	1.40	1.86	2.50	3.35	4.65	6.80	10.70	17.50		
	250	1.08	1.41	1.84	2.49	3.35	4.60	6.50	10.30	16.70		
0.80	50	1.63	2.42	3.80	5.60	7.80	10.50	13.50	17.00	22.90	28.20	32.00
	100	1.55	2.35	3.51	5.20	7.75	11.40	15.30	20.30	28.00	37.30	45.00
	150	1.31	1.92	2.77	4.20	6.30	9.70	12.90	17.00	26.00	36.30	
	200	1.27	1.77	2.52	3.60	5.50	8.40	11.00	14.80	23.70		
	250	1.32	1.94	2.50	3.65	6.20	8.20	11.00	14.90	23.70		



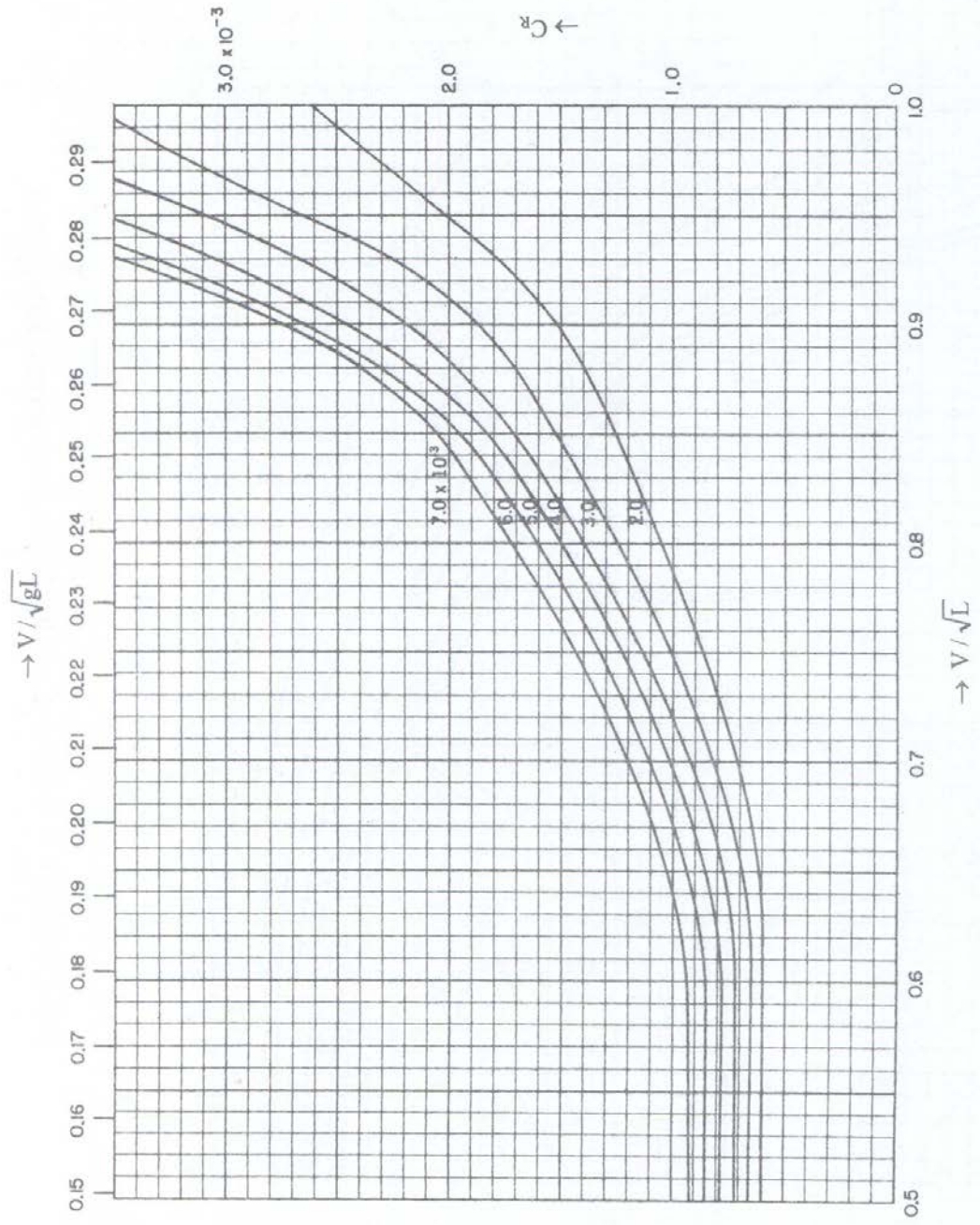
Şekil 7.4 $B/T = 2.25$ için R_R/Δ değerleri



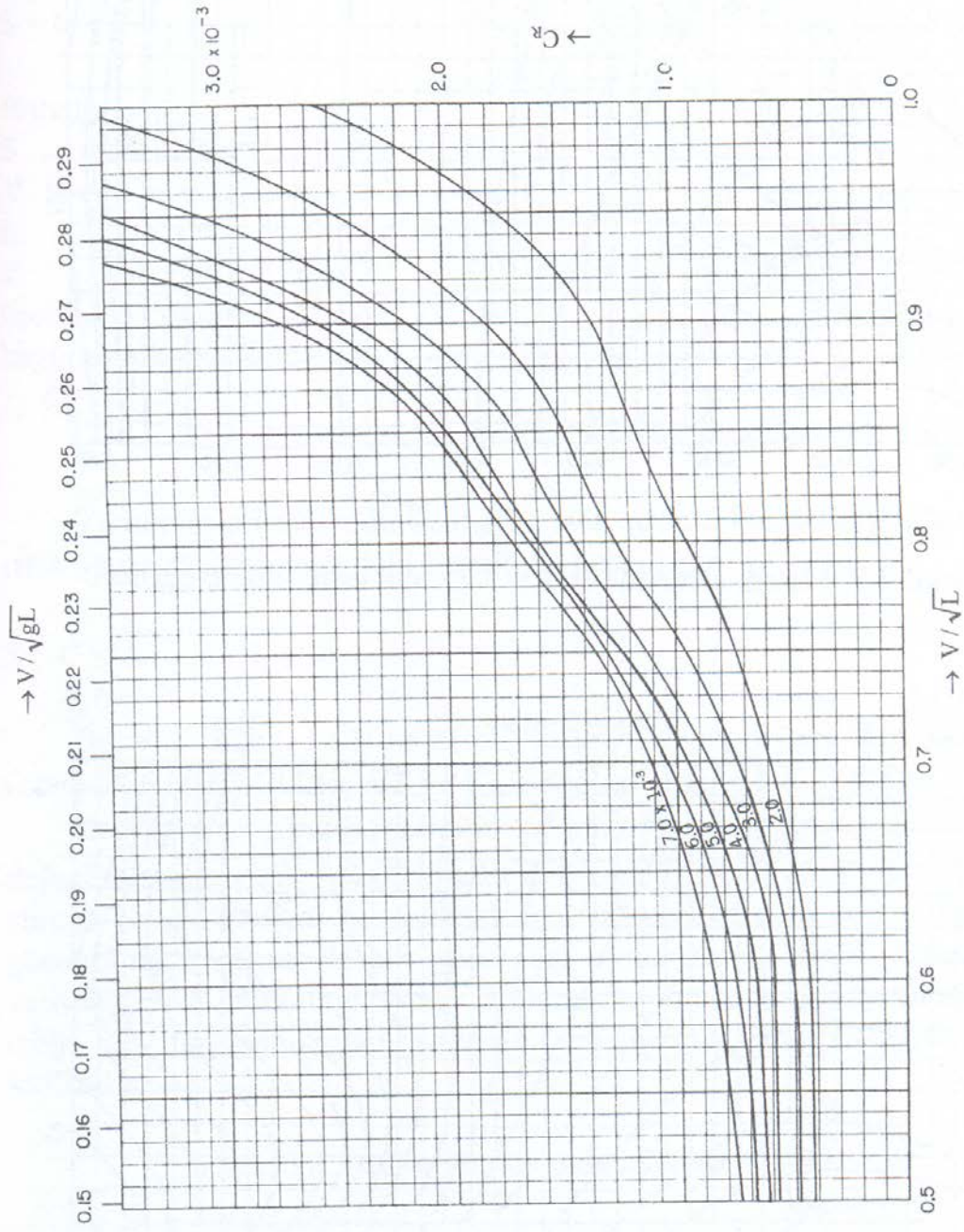
Şekil 7.5 $B/T = 3.75$ için R_R/Δ değerleri



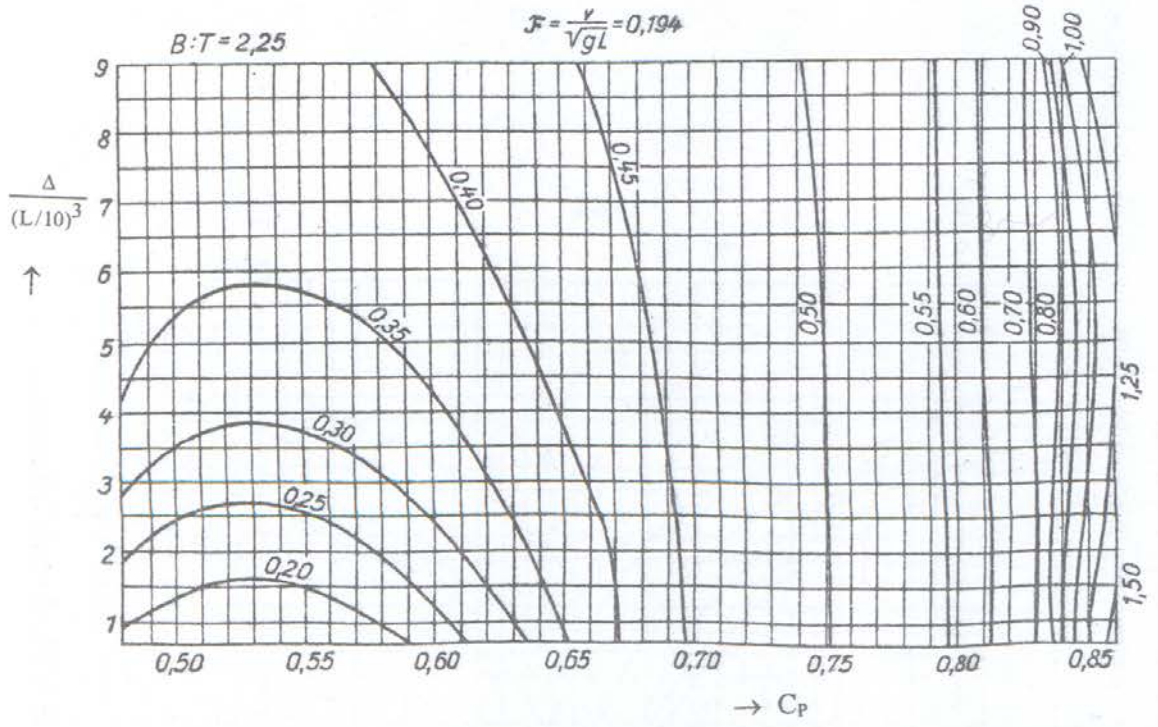
Şekil 7.6 $B/T = 2.25$ ve $C_p = 0.72$ için artık direnç katsayıları



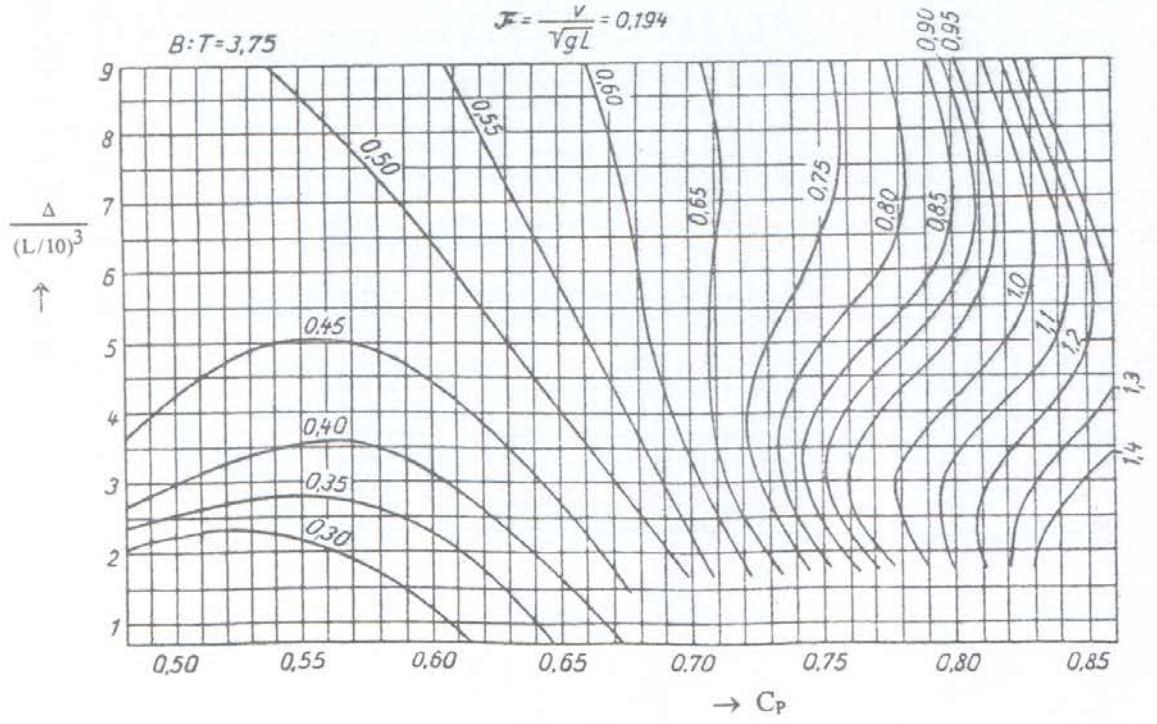
Şekil 7.7 $B/T = 3.0$ ve $C_p = 0.72$ için artık direnç katsayıları



Şekil 7.8 $B/T = 3.75$ ve $C_p = 0.72$ için artık direnç katsayıları



Şekil 7.9 Metrik sistemde $B/T = 2.25$ için artık direnç eğrileri



Şekil 7.10 Metrik sistemde $B/T = 3.75$ için artık direnç eğrileri

$R_F = C_F \cdot \rho / 2 \cdot S \cdot V^2$ ile verilen sürtünme direnci hesabında gerekli olan (S) gemi ıslak alanı bilinmiyor ise, Taylor-Schulze yöntemine göre aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$S = k \cdot \sqrt{\nabla \cdot L}$$

Burada,

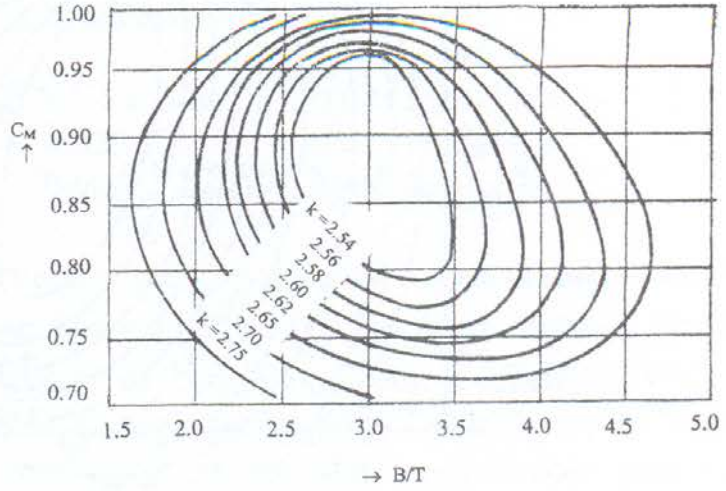
S : ıslak alan (m²)

∇ : deplasman hacmi (m³)

L : su hattı boyu (m)

k : ıslak alan katsayısı.

(Şekil 7.11'den B/T ve C_M 'e bağlı olarak bulunur.)



Şekil 7.11 Metrik sistemde k katsayısı [35]

Yöntemin orijinal halinde İngiliz ölçü sistemi kullanıldığından, bu halde ıslak alan katsayısı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

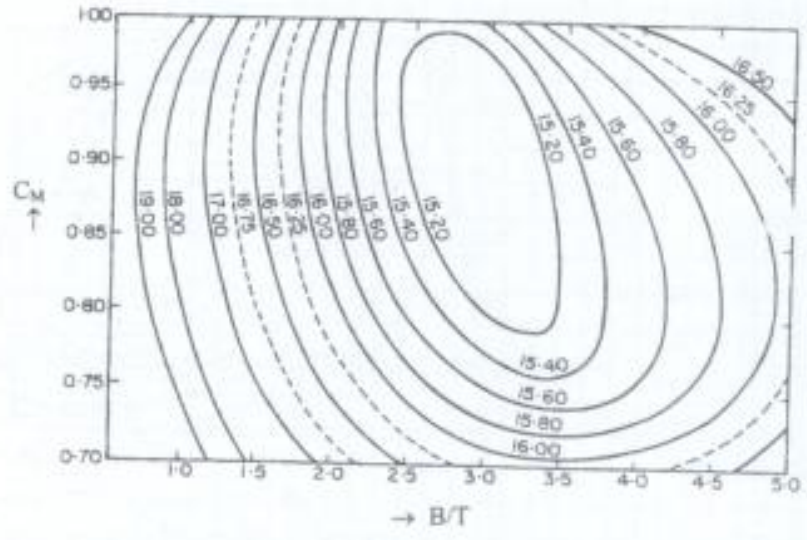
$$S = C \cdot \sqrt{\Delta \cdot L} \quad (7.21)$$

Burada, S(ft²), L(ft) ve Δ (ton) dur. Ortalama değeri 15.4 olarak alınan C değeri, Şekil 7.12'den B/T ve C_M 'e bağlı olarak bulunur. [27]

Bu yöntemle göre bir geminin toplam direnç/deplasman oranı olan R_T/Δ değerini bulma ve $P_E = 0.00307 \cdot \Delta \cdot (V/\sqrt{L}) \cdot \sqrt{L} \cdot (R_T/\Delta)$ formülüne göre tekne efektif beygir gücünü hesaplamak için izlenecek işlem sırası, Tablo 11'de gösterilmiştir ve örnek bir gemi için uygulaması, çözümlü problemlerin verildiği Ek-5 bölümünde örnek 8 olarak verilmiştir.. Güç hesabında gerekli tablo ve diyagramlardan yararlanırken gerekli interpolasyon teknikleri kullanılır.

Tablo 11. Taylor yönteminde izlenecek işlem sırası

1	2	3	4	5	6	7	8
V/\sqrt{L}	R_r/Δ B/T=3.75	R_r/Δ B/T=2.25	R_r/Δ Hesaplanan Gemi	R_f/Δ Standart	$a \cdot R_f/\Delta$	R_T/Δ	P_E
Hıza göre Seçilir	Diyagram	Diyagram	İnterpolasyon	Diyagram	Boy Düzeltilmesi	4+6	Formül



Şekil 7.12 İngiliz ölçü sisteminde ıslak alan katsayısı C [27]

6.4.2 Seri 60 Güç Hesaplama Yöntemi

6.4.3 Holtrop-Mennen Güç Hesaplama Yöntemi

Bu yöntem, Hollanda gemi model deney havuzunda (The Netherlands Ship Model Basin - NSMB) yapılmış çok sayıda gemi model deneyleri değerleri ile gemilerde yapılan ölçümlerin regresyon analiziyle incelenmesi ve sonuçların gemi form parametreleri cinsinden ifade edilmesiyle ortaya çıkmıştır.[43-47]. Gemi direncinin ön dizayn aşamasında, yaklaşık olarak bulunmasını amaçlayan bu yöntemde efektif beygir gücü değeri (7.26) formülü ile hesaplanabilir.

$$P_E = R_T(\text{kg}) \cdot V(\text{m/sn})/75 \quad (7.26)$$

Gemi toplam direnci, değişik direnç bileşenlerinin toplamı olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$R_T = R_F(1+k_l) + R_{App} + R_W + R_B + R_{Tr} + R_A \quad (7.27)$$

Burada,

R_T : Gemi toplam direnci.

R_F : ITTC 1957'ye göre sürtünme direnci.

$$R_F = C_F \cdot \rho / 2 \cdot S \cdot V^2$$

$$C_F = 0.075 / (\log R_n - 2)^2$$

$1+k_l$: Form faktörü.

R_{App} : Takıntıların direnci.

R_W : Dalga yapma ve dalga kırılma direnci.

R_B : Yumrubaşın ilave basınç direnci.

R_{Tr} : Ayna kıçın ilave basınç direnci.

R_A : Gemi-model uyum direnci.

S Tekne ıslak alanı ise aşağıdaki formül yardımı ile belirlenebilir.

$$S = L \cdot (2 \cdot T + B) \sqrt{C_M} (0.453 + 0.4425 C_B - 0.2862 C_M - 0.003467 B/T + 0.3696 C_{WL}) + 2.38 A_{BT} / C_B \quad (7.28)$$

A_{BT} = Baş dikeyden itibaren yumrubaşın yanal alanı.

Form faktörü için, kullanılan formül ise (7.29) denklemi ile verilmektedir.

$$1+k_l = 0.93 + 0.487118 c_{l4} \cdot (B/L)^{1.06806} \cdot (T/L)^{0.46106} \cdot (L/L_R)^{0.121563} \cdot (L^3/\nabla)^{0.36486} \cdot (1-C_p)^{-0.604247} \quad (7.29)$$

Burada,

B : Kalıp genişliği.

∇ : Kalıp deplasman hacmi.

T : Su çekimi.

C_p : Prizmatik katsayı.

L : Su hattı boyu.

L_R : Giriş boyu.

$$L_R/L = 1 - C_p + 0.06 C_p \cdot LCB / (4 \cdot C_p - 1)$$

$$c_{l4} = 1 + 0.011 c_{kıç}$$

$$c_{kıç} = -25 \text{ gondollarda.}$$

$$= -10 \text{ V kesitli kıç formlarında.}$$

$$= 0 \text{ normal kıç kesitlerinde.}$$

$$= 10 \text{ U kesitli kıç formlarında.}$$

Dalga direnci, Froude sayısına göre aşağıda verilen formüllerle bulunur.

$$\begin{aligned} Fn \leq 0.40 \quad & \text{ise} \quad R_{W-A} = c_1 \cdot c_2 \cdot c_5 \cdot \nabla \cdot \rho \cdot g \cdot e^{(m_1 Fn^d + m_2 \cos(\lambda \cdot Fn^{-2}))} \\ Fn \geq 0.55 \quad & \text{ise} \quad R_{W-B} = c_{17} \cdot c_2 \cdot c_5 \cdot \nabla \cdot \rho \cdot g \cdot e^{(m_3 Fn^d + m_4 \cos(\lambda \cdot Fn^{-2}))} \\ 0.40 < Fn < 0.55 \quad & \text{ise} \quad R_W = R_{W-A(0.4)} + (10 \cdot Fn - 4)(R_{W-B(0.55)} - R_{W-A(0.4)})/1.5 \end{aligned}$$

Burada, $R_{W-A(0.40)}$: $Fn = 0.40$ için R_{W-A} ifadesinden elde edilen değer.
 $R_{W-B(0.55)}$: $Fn = 0.55$ için R_{W-B} ifadesinden elde edilen değer.

$$c_1 = 2223105 \cdot c_7^{3.78613} \cdot (T/B)^{1.07961} \cdot (90 - i_E)^{-1.37565}$$

$$\begin{aligned} B/L < 0.11 \quad & \text{ise} \quad c_7 = 0.229577(B/L)^{0.33333} \\ 0.11 < B/L < 0.25 \quad & \text{ise} \quad c_7 = B/L \\ B/L > 0.25 \quad & \text{ise} \quad c_7 = 0.5 - 0.0625(L/B) \end{aligned}$$

$$c_2 = e^{(-1.89 \cdot \sqrt{c_3})}$$

$$c_3 = 0.56 A_{BT}^{1.5} / \{B \cdot T \cdot (0.31 \sqrt{A_{BT}} + T_F + h_B)\}$$

T_F , gemi başındaki su çekimidir.

$$c_5 = 1 - 0.8 A_T / (B \cdot T \cdot C_M)$$

Bu ifadelerde c_2 , dalga direncinin yumrubaşlı gemilerde düştüğünü gösteren bir parametredir. c_5 ise, ayna kıçın dalga direncine etkisini göstermektedir. Buradaki A_T , sıfır hızda ayna kıçın suya batmış kısmının alanını göstermektedir. Dalga direnci formülünde yer alan diğer parametreler ise, aşağıdaki ifadelerden hesaplanabilir :

$$\begin{aligned} L/B < 12 \quad & \text{ise} \quad \lambda = 1.446 C_p - 0.03 L/B \\ L/B > 12 \quad & \text{ise} \quad \lambda = 1.446 C_p - 0.036 \end{aligned}$$

$$m_1 = 0.0140407 L/T - 1.75254 \nabla^{1/3} / L - 4.79323 B/L - c_{16}$$

$$\begin{aligned} C_p < 0.80 \quad & \text{ise} \quad c_{16} = 8.07981 C_p - 13.8673 C_p^2 + 6.944388 C_p^3 \\ C_p > 0.80 \quad & \text{ise} \quad c_{16} = 1.73014 - 0.7067 C_p \end{aligned}$$

$$m_2 = c_{15} \cdot C_p^2 \cdot e^{(-0.1 Fn^{-2})}$$

$$\begin{aligned} L^3/\nabla < 512 \quad & \text{ise} \quad c_{15} = -1.69385 \\ L^3/\nabla > 1726.91 \quad & \text{ise} \quad c_{15} = 0.0 \\ 512 < L^3/\nabla < 1726.91 \quad & \text{ise} \quad c_{15} = -1.69385 + (L^3/\nabla^{1/3} - 8.0)/2.36 \end{aligned}$$

$$c_{17} = 6919.3 C_M^{-1.3346} \cdot (\nabla/L^3)^{2.00977} \cdot (L/B - 2)^{1.40692}$$

$$m_3 = -7.2035 (B/L)^{0.326869} \cdot (T/B)^{0.605375}$$

$$m_4 = c_{15} \cdot 0.4 \cdot e^{(-0.034 F_n^{-3.29})}$$

$$d = -0.9$$

i_E , giriş açısı, derece olarak su hattının gemi başında simetri düzlemi ile yaptığı açıdır. Bilinmiyor ise, aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$i_E = 1 + 89 \cdot e^X$$

$$X = -(L/B)^{0.80856} \cdot (1-C_{WL})^{0.30484} \cdot (1-C_P - 0.0225 LCB)^{0.6367} \cdot (L_R/B)^{0.34574} \cdot (100 \cdot \nabla/L^3)^{0.16302}$$

Takıntı direncinin R_{App} hesabı için aşağıdaki ifade verilmektedir.

$$R_{App} = 0.5 \rho \cdot V^2 \cdot S_{App} \cdot (1+k_2)_{eq} \cdot C_F \quad (7.30)$$

Burada,

S_{App} : takıntıların ıslak alanı.

$(1+k_2)_{eq}$: takıntı direnç faktörü.

C_F : ITTC 1957'ye göre sürtünme direnç katsayısı.

$$(1+k_2)_{eq} = \frac{\sum (1+k_2) S_{App}}{\sum S_{App}}$$

olarak verilmektedir. Takıntılar için belirlenmiş $(1+k_2)$ değerleri ise şu şekildedir :

Takıntı	$1+k_2$
Skeg + Dümen	1.5 - 2.0
Asma dümen	1.3 - 1.5
Çift pervaneli, çift balanslı dümen	2.8
Şaft braketleri	3.0
Skeg	1.5 - 2.0
Braket bosası	3.0
Pervane bosası	2.0
Şaft	2.0 - 4.0
Stabilite kanatçıkları	2.8
Dom	2.7
Yalpa omurgası	1.4

Ayrıca baş itici pervane bulunuyorsa, takıntı direncine aşağıdaki ifade ilave edilir.

$$\rho.V^2.\pi.d^2.C_{BTO}$$

Burada d değeri, baş itici pervane tünel çapıdır. C_{BTO} katsayısı ise 0.003 ile 0.012 arasında değişmektedir. Eğer baş itici pervane, yumrubaş üzerinde yer alıyorsa küçük değerler kullanılmaktadır.

Yumrubaş direnci R_B için ise aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$R_B = 0.11.e^{(-3.P_B^{-2})}.F_{ni}^3.A_{BT}^{1.5}.\rho.g/(1+F_{ni}^2) \quad (7.31)$$

$$P_B = 0.56\sqrt{A_{BT}}/(T_F - 1.5h_B)$$

$$F_{ni} = V/\sqrt{g.(T_F - h_B - 0.25\sqrt{A_{BT}}) + 0.15V^2}$$

h_B = yumrubaş yanal alanı (A_{BT}) merkezinin omurgadan itibaren yüksekliği.

Ayna kış direnci R_{Tr} (7.32) denklemiyle verilmektedir.

$$R_{Tr} = 0.5\rho.V^2.A_T.c_6 \quad (7.32)$$

Burada,

$$F_{nT} = V/\sqrt{2.g.A_T/(B + B.C_{WL})}$$

olmak üzere,

$$F_{nT} < 5 \quad \text{ise} \quad c_6 = 0.2(1 - 0.2F_{nT})$$

$$F_{nT} \geq 5 \quad \text{ise} \quad c_6 = 0$$

olarak tanımlanmıştır.

Gemi-Model korelasyon (uyum) direnci R_A ise (7.33) ifadesi ile verilmektedir.

$$R_A = (1/2).\rho.V^2.S.C_A \quad (7.33)$$

$$C_A = 0.006(L+100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003.\sqrt{L/7.5}.C_B^4.c_2.(0.04 - c_4) \quad (7.34)$$

$$\begin{array}{ll} T_F/L \leq 0.04 & \text{ise } c_4 = T_F/L \\ T_F/L > 0.04 & \text{ise } c_4 = 0.04 \end{array}$$

Ayrıca standart $k_s = 150 \mu\text{m}$ pürüzlülük değerinden çok yüksek pürüzlülüğe sahip gemiler için (7.35) denklemiyle bulunan değer (7.34) ile verilen C_A değerine ilave edilir.

$$C_{A(\text{ilave})} = (0.105k_s^{1/3} - 0.005579)/L^{1/3} \quad (7.35)$$

Taylor Yöntemi ile İlgili Bir Uygulama:

Karakteristik değerleri aşağıda verilen geminin, servis hızına karşı gelen P_E (EHP) güç değerini D.W.Taylor yöntemi ile bulunuz

$$L = 360 \text{ ft} \quad C_B = 0.672 \quad V = 14 \text{ knot} = 7.2016 \text{ m/sn}$$

$$L/B = 6 \quad C_M = 0.960 \quad \gamma = 1/35 \text{ ton/ft}^3$$

$$B/T = 3 \quad C_P = C_B/C_M \quad C = 15 = S/\sqrt{\Delta L}$$

$$P_E = R_T(\text{lbs}).V(\text{knot})/326$$

$$R_F/\Delta = (5.3303).\lambda.C.Fn^{1.83}/(\Delta/(L/100)^3)^{1/2}, (\text{lbs/ton})$$

Boy düzeltme faktörü, λ

L(ft)	350	400	450
λ	1.045	1.027	1.012

$$Fn = V / \sqrt{L}, V:\text{knot}, L:\text{ft}$$

$C_P = 0.7$ için R_R/Δ (lbs/ton) değerleri :

	B/T = 2.25		B/T = 3.75	
$\Delta/(L/100)^3$	Fn=0.70	Fn=0.75	Fn=0.70	Fn=0.75
150	1.33	1.83	1.87	2.55
200	1.33	1.83	1.86	2.50

Çözüm :

$$P_E = R_T(\text{lbs}).V(\text{knot})/326$$

$$R_T = R_F + R_R$$

$$R_F/\Delta = (5.3303).\lambda.C.Fn^{1.83}/(\Delta/(L/100)^3)^{1/2}, (\text{lbs/ton})$$

$$\Delta = L.B.T.C_B.\gamma$$

$$L = 360 \text{ ft}, L/B = 6 \text{ ise } B = 60 \text{ ft}, B/T = 3 \text{ ise } T = 20 \text{ ft}$$

$$\Delta = 360 \times 60 \times 20 \times 0.672 \times 1/35 = 8294.4 \text{ ton}$$

$$\lambda = f(L), L = 360 \text{ ft için interpolasyonla } \lambda = 1.0414$$

$$C = 15$$

$$Fn = V / \sqrt{L} = 14 / \sqrt{360} = 0.738$$

$$Fn^{1.83} = 0.573$$

$$\Delta/(L/100)^3 = 8294.4/(360/100)^3$$

$$(\Delta/(L/100)^3)^{1/2} = 13.33$$

$$R_F/\Delta = (5.3303)(1.0414)(15)(0.573)/13.33 = 3.579 \text{ lbs/ton}$$

$$R_F = (3.579)(8294.4) = 29687 \text{ lbs}$$

$$C_P = C_B/C_M = 0.672/0.960 = 0.7$$

$$\Delta/(L/100)^3 = 177.78 \quad B/T = 2.25 \rightarrow \quad Fn = 0.70 \quad r = 1.33$$

$$Fn = 0.75 \quad r = 1.83$$

$$\Delta/(L/100)^3 = 177.78 \quad B/T = 3.75 \rightarrow \quad Fn = 0.70 \quad r = 1.864$$

$$Fn = 0.75 \quad r = 2.522$$

$$B/T = 2.25 \quad Fn = 0.738 \rightarrow \quad r = 1.71$$

$$B/T = 3.75 \quad Fn = 0.738 \rightarrow \quad r = 2.364$$

$$B/T = 3, Fn = 0.738, \Delta/(L/100)^3 = 177.78 \rightarrow r = 1.972 \text{ lbs/ton}$$

$$R_R/\Delta = r = 1.972 \text{ ise } R_R = 16357 \text{ lbs}$$

$$R_T = R_F + R_R = 29687 + 16357 = 46044 \text{ lbs}$$

$$P_E = R_T(\text{lbs}).V(\text{knot})/326 = (46044)(14)/326 = 1977 \text{ BG} \cong 1455 \text{ kW}$$

Holtrop-Mennen Yöntemi ile İlgili Bir Uygulama:

Aşağıda özellikleri verilen geminin P_E (EHP) gücünü Holtrop-Mennen yöntemi ile bulunuz.

$$\begin{array}{llll} L = 85.9 \text{ m} & B = 14.2 \text{ m} & T = 5.4 \text{ m} & T_F = 5.4 \text{ m} \\ C_P = 0.773 & C_M = 0.989 & C_B = 0.765 & C_{WP} = 0.869 \\ A_{BT} = 14 \text{ m}^2 & h_B = 3.35 \text{ m} & LCB = 0.9756 & c_{kış} = 0 \\ V = 14 \text{ knot} & g = 9.81 \text{ m/sn}^2 & D = 1.2 \text{ m} & \rho = 104.8 \text{ kg.sn}^2/\text{m}^4 \\ A_T = 0 & S_{Dümen} = 40.148 \text{ m}^2 & S_{Yal.Omur.} = 24 \text{ m}^2 & v = 1.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sn} \end{array}$$

Çözüm :

$$P_E = R_T(\text{kg}).V(\text{m/sn})/75$$

$$R_T = R_F(1+k_l) + R_{App} + R_W + R_B + R_{Tr} + R_A$$

Sürtünme direnci :

$$R_F = C_F \cdot \rho / 2 \cdot S \cdot V^2$$

$$C_F = 0.075 / (\log Rn - 2)^2$$

$$Rn = VL/v = (0.5144)(14)(85.9)/1.2 \times 10^{-6} = 5.155 \times 10^8$$

$$C_F = 1.665 \times 10^{-3}$$

$$S = L \cdot (2 \cdot T + B) \sqrt{C_M} (0.453 + 0.4425 C_B - 0.2862 C_M - 0.003467 B/T + 0.3696 C_{WL}) + 2.38 A_{BT} / C_B$$

$$S = 85.9((2)(5.4) + 14.2) \sqrt{0.989} (0.453 + (0.4425)(0.765) - (0.2862)(0.989) + -0.003467(14.2/5.4) + 0.3696(0.869)) + (2.38)(14)/0.765 = 1795.92 \text{ m}^2$$

$$R_F = 1.665 \times 10^{-3} \cdot (104.8/2)(1795.92)((14)(0.5144))^2 = 8126 \text{ kg}$$

Dalga direnci :

$$1+k_l = 0.93 + 0.487118 c_{l4} \cdot (B/L)^{1.06806} \cdot (T/L)^{0.46106} \cdot (L/L_R)^{0.121563} \cdot (L^3/\nabla)^{0.36486} \cdot (1-C_P)^{-0.604247}$$

$$L_R/L = 1 - C_P + 0.06 C_P \cdot LCB / (4 \cdot C_P - 1)$$

$$L_R = 85.9(1 - 0.773 + (0.06)(0.773)(0.9756) / ((4)(0.773) - 1)) = 21.357 \text{ m}$$

$$C_{l4} = 1.0$$

$$\nabla = L \cdot B \cdot T \cdot C_B = (85.9)(14.2)(5.4)(0.765) = 5038.9 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned}
1+k_1 &= 0.93+0.487118.(1).(14.2/85.9)^{1.06806} .(5.4/85.9)^{0.46106} . \\
&\quad (85.9/21.357)^{0.121563} .(85.9^3/5038.9)^{0.36486} .(1-0.773)^{-0.604247} = 1.256 \\
Fn &= (0.5144)(14)/((9.81)(85.9))^{0.5} = 0.248 \\
Fn &= 0.248 < 0.40 \text{ olduğundan} \\
R_{W-A} &= c_1.c_2.c_5.\nabla.\rho.g.e^{(m_1Fn^d+m_2.\cos(\lambda.Fn^{-2}))} \\
c_1 &= 2223105.c_7^{3.78613} .(T/B)^{1.07961} .(90-i_E)^{-1.37565} \\
B/L &= 14.2/85.9 = 0.1653 \\
c_7 &= 0.1653 \\
i_E &= 1+89e^X \\
X &= -(L/B)^{0.80856} .(1-C_{WL})^{0.30484} .(1-C_P-0.0225LCB)^{0.6367} .(L_R/B)^{0.34574} .(100.\nabla/L^3)^{0.16302} \\
X &= -0.933 \\
i_E &= 36.01 \\
c_2 &= e^{(-1.89.\sqrt{c_3})} \\
c_3 &= 0.56A_{BT}^{1.5}/\{B.T.(0.31\sqrt{A_{BT}}+T_F+h_B)\} \\
c_5 &= 1-0.8A_T/(B.T.C_M) \\
L/B &= 85.9/14.2 = 6.049 < 12 \text{ olduğundan } \lambda = 1.446C_P - 0.03L/B \\
m_1 &= 0.0140407L/T - 1.75254\nabla^{1/3}/L - 4.79323B/L - c_{16} \\
c_{16} &= 8.07981C_P - 13.8673C_P^2 + 6.944388C_P^3 \\
m_2 &= c_{15}.C_P^2.e^{(-0.1Fn^{-2})} \\
L^3/\nabla &= (85.9)^3/5038.9 = 125.789 < 512 \text{ ise } c_{15} = -1.69385 \\
d &= -0.9 \\
c_1 &= 2223105.(0.1653)^{3.78613} .(5.4/14.2)^{1.07961} .(90-36.01)^{-1.37565} = 3.555 \\
c_3 &= 0.56(1.4)^{1.5}/\{(14.2).(5.4).(0.31\sqrt{14}+5.4+3.35)\} = 0.0386 \\
c_2 &= e^{(-1.89.\sqrt{0.0386})} = 0.6898 \\
c_5 &= 1-0.80/((14.2)(5.4)(0.989)) = 1.0 \\
\lambda &= (1.446)(0.773)-(0.03)(85.9)/14.2 = 0.936 \\
c_{16} &= (8.07981)(0.773)-(13.8673)(0.773)^2+6.944388(0.773)^3 = 1.167 \\
m_1 &= (0.0140407)(85.9)/5.4-1.75254(5038.9)^{1/3}/85.9+ \\
&\quad -(4.79323)(14.2)/85.9-1.167 = -2.086 \\
m_2 &= -1.69385(0.773)^2.e^{(-0.1(0.248)^{-2})} = -0.199 \\
R_W &= (3.555)(0.6898)(1)(5038.9)(104.8)(9.81). \\
&\quad .e^{-2.086.0.248^{-0.9}-0.199.\cos(0.936(0.248^{-2}))} \\
R_W &= 10047.262 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Takıntı direnci :

$$R_{App} = 0.5\rho.V^2.S_{App}.(1+k_2)_{eq}.C_F + \rho.V^2.\pi.d^2.C_{BTO}$$

$$(1+k_2)_{eq} = \frac{\sum (1+k_2)S_{App}}{\sum S_{App}}$$

$$S_{APP} = S_{Dümen} + S_{YalpaOmurgası}$$

$$\pi = 3.14159$$

$$S_{APP} = 40.148 + 24 = 64.148 \text{ m}^2$$

$$(1+k_2)_{eq} = ((1.4)(40.148) + (1.4)(24)) / 64.148$$

$$(1+k_2)_{eq} = 1.4$$

$$R_{APP} = 571.8 \text{ kg}$$

Gemi-model uyum direnci :

$$R_A = (1/2) \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_A$$

$$C_A = 0.006(L+100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003 \cdot \sqrt{L/7.5} \cdot C_B^4 \cdot c_2 \cdot (0.04 - c_4) \\ + (0.105k_S^{1/3} - 0.005579)/L^{1/3}$$

$$T_F/L = 5.4/85.9 = 0.0628 > 0.04 \text{ ise } c_4 = 0.04$$

$$C_A = 5.5048 \times 10^{-4}$$

$$R_A = (0.5)(104.8)((0.5144)(14))^2(1795.92)(5.5048 \times 10^{-4}) = 2687 \text{ kg}$$

Toplam direnç :

$$R_T = R_F(1+k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{Tr} + R_A$$

$$R_T = 8126(1.256) + 571.8 + 10047.262 + 0 + 0 + 2687 = 23512 \text{ kg}$$

$$P_E = (23512)(0.5144)(14)/75 = 2258 \text{ BG} \cong 1662 \text{ kW}$$