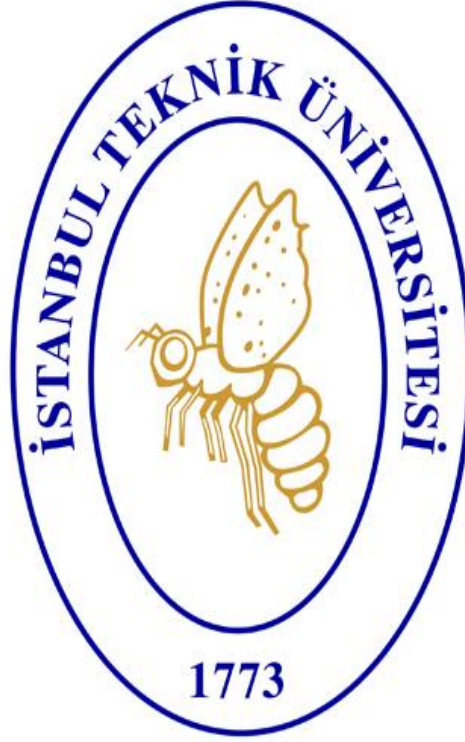


Istanbul Technical University

Savaş Gemileri Dizaynı

Hücumbot Tasarım Ödevi



Lecturer: Prof. Dr. Mehmet Ali Baykal

80190102 Ege Can Gün

080210702 Deniz Büyüksu

080190702 Dursun Han Gündüz

İÇERİK

ÇALIŞMANIN AMACI.....	3
ÖRNEK PLATFORMLAR.....	4
FORM.....	5
TONAJ KESTİRİMİ	6
Lightship Hesabı.....	6
Deadweight Hesabı.....	9
SİLAH SİSTEMİ SEÇİMİ.....	11
GÜÇ İHTİYACI.....	13
Admiralty Constant İle Güç Hesabı	13
Direnç İle Güç Hesabı.....	13
ANA TAHRİK SİSTEMİ SEÇİMİ	15
Ana Makine.....	16
Gaz Türbini	17
Waterjet.....	17
ELEKTRİK GÜÇ İHTİYACI	19
JENERATÖR SEÇİMİ.....	20
SİĞA VE YAKIT TANK KAPASİTESİ HESABI	21
AĞIRLIK VE TONAJ HESABI.....	22
Lightship Hesabı.....	22
Deadweight Hesabı.....	22
GENERAL ARRANGEMENT.....	23
YAPISAL DAYANIM DEĞERLENDİRME.....	24
STABİLİTE KONTROLÜ.....	25
IMO, SOLAS Kriter Kontrolü.....	26
KAYNAKÇA.....	27

ÇALIŞMANIN AMACI

Su üstü harbinde; güdümlü mermilerle hücum geliştirebilecek ve gerektiğinde bu taarruzları, diğer platformlar ile koordineli olarak icra edebilecek, bekanın sağlanması için yeterli hava savunma sistemlerine sahip, sürat ve manevra gücü yüksek, aşağıda belirtilen isterlere uygun bir hücumbot tasarımı yapmak.

İsterler:

- Görev Alanı: Hücumbot, Karadeniz, Marmara, Ege Denizi, Akdeniz’de harekât icra edecektir.
- Denizde Kalma Süresi ve Sıa: Yılda en az 1000 saat seyir yapacak, ikmal yapmadan 10 gün operasyonel olacak, 16-22 knot arası ekonomik hızda seyir sıası 1100 deniz mili olacak.
- Genel Karakteristikler: LOA_{max} : 75m, B_{max} :9-11m, T_{Dizayn} :3m (max).
- Personel: 1 Komutan, 8 Subay, 22 Astsubay, 12 Er-Erbaş. Toplam 43 kişi.
- Tekne Formu: Türk Loydu Klaslama Kuralları’na uygun tekne yapısı.
- Sürat ve Direnç: Tam yüklü deplasmanda en az 35 knot azami hız.
- Savaş Sistemi Kabiliyetleri: Güdümlü Mermi (G/M)’ler, 1 (bir) adet orta kalibre Top ve 1 (bir) adet G/M’li Yakın Hava Savunma Sistemi bulunacaktır, Kıç taraftaseri atışlı bir 25-40 mm top bulunacaktır. 2 (iki) adet 12.7 mm uzaktan kumandalı Stabilize Makineli Tüfek bulunacaktır.

ÖRNEK PLATFORMLAR

Projede istenen parametrelere uygun gemi sınıfları Tablo 1’de ilgili parametreleri ile gösterilmiş ve platformların sağlamadığı parametreler kırmızı renkle belirtilmiştir.

Class	Navy	In comission	REQUIRED						
			75m(max)	9-11m	3m (max)	43	1100nmi	35knots (min)	
Kılıç-class fast attack craft	Turkish Navy	1998–present	62,4	8,6	2,82	45	1050	40	552
Göteborg-class corvette	Swedish Navy	1989-?	57	8	2,5	41	2000	30	425
Visby-class corvette	Swedish Navy	2009-present	72,7	10,4	2,4	43	2500	35	640
Yoon Youngha-class patrol vessel	Republic of Korea Navy (South Korea)	2008-present	63	9	3	40	1998	44	570
Sampari-class fast attack craft	Indonesian Navy	2014-present	60,3	8,1	4,85	55	2400	30	460
Roussen-class fast attack craft	Hellenic Navy (Greece)	2005-present	62	9,5	2,6	45	2250	35	668
Ambassador MK III missile boat	Egyptian Navy	2013-present	63	10	2	36	2000	41	600

Tablo 1: Örnek Platform Verileri

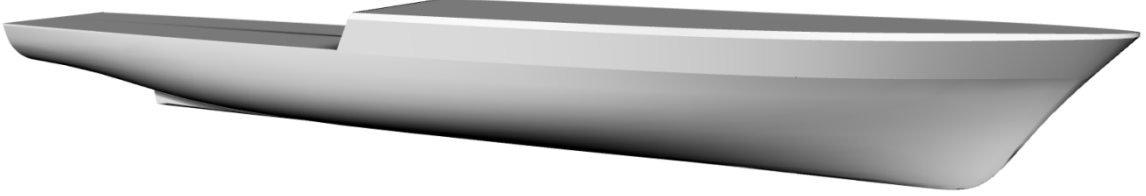
Örnek platformların, belirtilen parametrelere göre karşılaştırması Grafik 1 başlığındaki grafikler ile aşağıda gösterilmiştir.



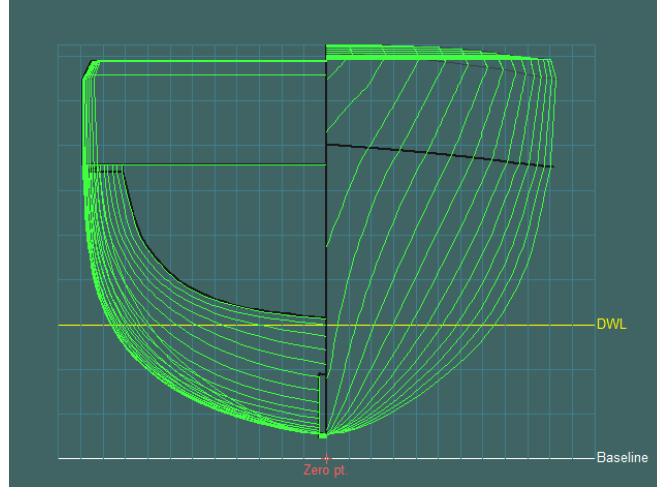
Grafik 1: Örnek Platform Parametre Karşılaştırma

FORM

Örnek platformların incelenmesi sonucunda seçilen boyutlara göre, MAXSURF Örnek Dizaynlar başlığında bulunan PatrolVessel gemi formuna parametrik transformasyon uygulanmıştır. Hücumbot projesinin temelini teşkil eden form, body plan ve özellikleri Şekil 1, Şekil 2 ve Tablo 2’de gösterilmiştir.



Şekil 1: Hücumbot Gövde Formu



Şekil 2: Body Plan

LoA:	74m
Lwl:	66,89m
B:	10,9m
D:	8,8m
T_{Dizayn}:	3m
C_B:	0,41
Wetted Area:	596,36 m ²

Tablo 2: Form Özellikleri

TONAJ KESTİRİMİ

Deplasmanın ayrımı, Papanikolaou (2014) tarafından önerildiği üzere aşağıda gösterilen şekilde yapılmıştır:

$$\Delta = W = W_L + DWT$$

Δ :	displacement (weight of displaced water)
W :	total, sum of weights of the ship (weight)
W_L :	weight of light(empty) ship (sometimes LS)
DWT :	transport capacity, deadweight.

Formül 1 (Papanikolaou)

Lightship Hesabı

Lightship ağırlığı, Papanikolaou tarafından önerilen aşağıdaki formüller üzerinden yapılmıştır.

$$W_L = W_H + W_M + R$$

where

W_H	weight of hull,
W_M	weight of machinery
R	reserve (margin/ tolerance of estimations)

Formül 2 (Papanikolaou)

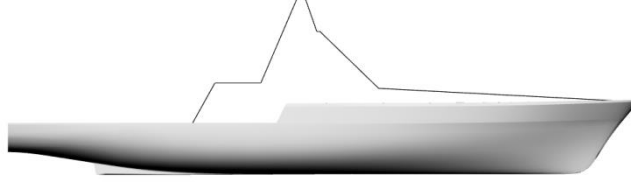
$$W_M = W_{MM} + W_{MS} + W_{MR}$$

where

W_{MM} :	main machinery weight
W_{MS} :	shaft of propeller and propeller weight
W_{MR} :	rest machinery weight

Formül 3 (Papanikolaou)

Çelik tekne ağırlığı için Kafalı (1998) tarafından önerilen aşağıdaki formül kullanılmıştır. Üst yapı boyutları, Visby-Sınıfı Korvet üst yapısından esinlenilerek yapılan tasarım çalışmasından elde edilmiştir. Bahsi geçen tasarım ve örnek form Şekil 3 ve 4'te görülebilir. Hesaplamalar sonucu çelik tekne ağırlığı (W_H) **573.3 ton** bulunmuştur.



Şekil 3: Üst yapı tasarımı



Şekil 4: Visby-Sınıfı Korvet (örnek platform)

Kafalı (1988) çelik tekne için aşağıdaki bağıntıyı önerir

$$W_s = C_s N \left[1 + \frac{2}{3} (C_B - 0.70) \right] \left[1 + 0.4 \frac{l_1}{L} + 0.25 \frac{l_2}{L} \right]$$

C_s katsayısı aşağıdaki şekilde verilir :

$$C_s = [0.210 - 0.026 \log_{10} N] \left[1 + 0.025 \left(\frac{L}{D} - 12 \right) \right]$$

Burada

L : Gemi boyu [m.] , B : Gemi genişliği [m.] , D : Gemi derinliği [m.]

C_B : Blok katsayısı , N : $L B D \text{ m}^3$

l_1 : Ana güverte üzerindeki üst binaların etkin boyu .

l_2 : İkinci güverte üzerindeki üst binaların etkin boyu .

Formül 4 (Kafalı)

Ana makina ağırlık hesabı için öncelikle örnek platformların sevk sistemi incelenmiş ve ana makine gücü olarak **2500kW** belirlenmiş ve yüksek hızlı dizel makine (high-speed diesel engine) kullanımına karar verilmiştir. Ardından aşağıda Papanikolaou tarafından verilen Tablo 3 kullanılarak kW başına ton bilgisinden ana makine ağırlığı (W_{MM}) **8.75 ton** olarak belirlenmiştir.

Type of engine	Power (kW)	Weight (t/kW)	RPM
Slow-speed diesel	2,000–5,000	0.015–0.022	250–175
	5,000–10,000	0.022–0.029	175–100
	10,000–70,000 (84,420 ^a)	0.029–0.039	100–80
Medium-speed diesel	600–17,000 (20,000)	0.009–0.018	900–400
High-speed diesel (MTU type)	240–9,100	0.003–0.004	>1,000
Gas turbines (LM type)	4,412–42,160	0.001	>3,600

Tablo 3 (Papanikolaou)

Şaft ağırlığı için öncelikle belirlenen form üzerinden ölçüm alınarak şaft uzunluğu kestirimi **7.5m** olarak yapılmış ve ardından birim boy ağırlığı için aşağıda verilen formül kullanılmıştır. Hesaplar sonucunda şaft ağırlığı ($W_{\text{şaft}}$) **0.64 ton** olarak belirlenmiştir. Bu noktada yapılan başka bir kestirim ise makinenin devir sayısının örnek platform verileri kullanılarak **2300 rpm** olarak belirlenmesidir.

Burada $d[\text{cm}]$ şaft çapı , $P_D[\text{kW}]$ makine gücüve $n[\text{dev / dak}]$ devir sayısıdır . Buna göre şaftın birim boy ağırlığı , kullanılan çeliğin gerilme mukavemetinin 700 N/mm^2 olduğu kabulü ile aşağıdaki denkleme eşit olacaktır .

$$W_s[t/m] = 0.081 \left(\frac{P_D}{n} \right)^{2/3}$$

Formül 5

Pervane ağırlığı için aşağıda verilen formül kullanılmış ve pervane çapı için gemi formu üzerinden ölçüm ile **1.5m** kestirim yapılmıştır. Dizaynın ilerleyen aşamalarında su jeti alternatif olarak düşünülebilir. K katsayısı, metotta askeri gemiler için önerildiği üzere 0.21 alınmıştır. Hesaplar sonucunda pervane ağırlığı (W_p) 0.708 ton bulunmuş ve Papanikolaou'nun belirttiği üzere askeri gemilerde yaygın olan 2 adet pervane kullanımı benimsendiğinden **1.416 ton** alınmıştır.

Normal bronz pervanelerin ağırlığını bulabilmek için aşağıdaki formül kullanılabilir .

$$W_p = K D^3$$

Burada $D[\text{m}]$ pervane çapı olup K katsayısı Schneekloth (1987) tarafından sabit hatveli pervaneler için aşağıdaki şekilde verilmiştir .

$$K = 0.18 \frac{A_E}{A_o} \frac{Z-2}{100}$$

Burada Z kanat sayısıdır .

Hatvesi kontrollü pervanelerde ticari gemilerde $K = 0.12 - 0.14$ ve askeri gemilerde $K = 0.21 - 0.25$ değerleri önerilmektedir .

Formül 6

Yardımcı makinelerin toplam ağırlığı (W_{MR}) için Papanikolaou tarafından önerilen aşağıdaki formül kullanılmış ve 2500kW MCR ile $C_M=0.19$ (korvet) için **45.4 ton** bulunmuştur.

$$W_{MREST} = C_m (MCR)^{0.70}, \text{ where}$$

$$\begin{aligned} C_m &= 0.69 \text{ (bulkcarriers, cargo, and containerships)} \\ &= 0.72 \text{ (tankers)} \\ &= 0.83 \text{ (passenger ships and ferries)} \\ &= 0.19 \text{ (frigates and corvettes, for MCR in kilowatt)} \end{aligned}$$

Formül 7 (Papanikolaou)

Reserve değerinin, önerildiği üzere %2 alınmasıyla birlikte lightship ağırlığı (W_L) **641.8 ton** bulunmuştur.

Deadweight Hesabı

Deadweight ağırlığı bileşenleri için Papanikolaou tarafından önerilen aşağıdaki formül kullanılmıştır. Payload yerine silah sistemi ağırlığı hesaplanacak, askeri gemi olduğundan draftta önemli ölçüde değişiklikler beklenmediğinden ve yolcu alınmadığından balast ve yolcu ağırlığı hesaplanmayacaktır.

$$DWT = W_{LO} + W_F + W_{PR} + W_P + W_{CR} + B \quad (2.111)$$

where,

- W_{LO} : weight of the payload (for cargo ships: cargo payload, for Ro-Ro ships: weight of carried vehicles)
- W_F : fuel weight, including fuel reserve and lubricants
- W_{PR} : weight of provisions and water supplies
- W_P : weight of passengers and luggage (persons & effects); cargo ships may carry up to 12 passengers; for passenger ships, this weight may be included in the payload
- W_{CR} : weight of crew (including their luggage)
- B : weight of *nonpermanent* ballast (water), whenever is required in the *full load* condition (design draft)

Formül 8 (Papanikolaou)

Silah sistemi seçimi (5. Başlıkta gösterildi) neticesinde toplam silah ve mühimmat ağırlığı **18 ton** olarak belirlendi.

Yakıt ağırlığı (W_F) için aşağıdaki formül kullanılmış ve örnek gemiler üzerinden yürütülen araştırmalar sonucunda 217*2 g/kWh tüketim ve 3600bhp için **45.2ton** bulunmuştur

$$W_F = \text{tüketim} \left[\frac{t}{kWh} \right] P_B \frac{\text{seyir hızı}}{V[knot]} 1.05$$

Formül 9

Kumanya ağırlığı için Papanikolaou tarafından önerilen kişi başı günlük 7-16kg aralığından, askeri bir gemide önceliğin konfordan ziyade verim olduğu göz önüne alınarak alt sınır olan 7kg seçilmiş ve 43 kişilik mürettebatın 10 gün ikmallsiz operasyonel olabilmesi adına **3 ton** alınmıştır.

Temiz su için Papanikolaou tarafından önerilen kişi başı günlük 10-20kg içme suyu ve 120kg temizlik suyu üzerinden yapılan hesap sonucu 55.9ton çıkan temiz su ağırlığı yerine 180 kg ağırlığında, saatte 500 litre üretim kapasiteli **Schenker-Modular 500** su arıtma sistemi uygun görülmüştür.

Bu hesaplar neticesinde kumanya ve su ağırlığı (W_{PR}), **3.2 ton** hesaplanmıştır.

Mürettebat ve kişisel eşyalarının ağırlığı için (W_{CR}) aşağıdaki formül kullanılmış ve **21.5 ton** hesaplanmıştır.

$$W_{Crew} = N_{Crew} \times 500 \text{ [kg]} \quad N_{Crew} = \text{number of crew members}$$

Formül 10

Bu hesaplar neticesinde deadweight ağırlığı (DWT) **87.9 ton** ve toplam deplasman (Δ) **729.7 ton** bulunmuştur.

SİLAH SİSTEMİ SEÇİMİ

- **Orta Kalibre Top:** MKE Milli Deniz Topu

İlk deneme olarak Burak sınıfı korvetlerden TCG Beykoz (F-503) 'a entegre edilmiştir.

Operasyon sahası : Hava savunma harbi, su üstü harbi ve kara bombardımanı.

Namlu Çapı : 76 mm (62 kalibre)

Namlu Boyu :4700 mm

Atım Hızı : 80 atım/dk

Ağırlık :7500 kg (mühimmatlı 8500 kg)

Menzil :16 km (standart mühimmat ile)

Menzil :20 km (artırılmış menzilli mühimmat ile)

- **Güdümlü Hava Savunma Sistemi:** Phalanx CIWS

Phalanx CIWS, ABD yapımı bir CIWS (Close-in weapon system).

Silah, General Dynamics tarafından gemisavar füzelerine karşı geliştirilmiştir.

Döner tabana monte edilmiş bir 20 mm'lik radar güdümlü Vulcan makineli topuna sahiptir.

Ağırlık: 6,200 kg

Namlu uzunluğu: 1,500 mm (L76 silah namlusu)

Yükseklik: 4.7 m

Bomba: 20×102 mm

Kalibre: 20 mm

Namlu: 6

Yükseklik: 4.7 m

Atış hızı: 3,000-4,500 mermi/dak

Azami menzil: 3500 m

- **Kıçta (25-40mm) Top:** Bofors 40 Mk4

Bofors 40 Mk4 deniz silahı sistemi, hafif, çok amaçlı bir deniz topudur.

Gemilere, uçaklara, gemisavar füzelere ve kıyı hedeflerine saldırmak için programlanabilir.

Bofors 40 mm 3P tüm hedefe yönelik mühimmatı ateşler.

Ağırlık: 2,300 kg

Mühimmat: 40 × 365

Kalibre: 40 mm

Atış hızı: 300 mermi/dk

Namlu hızı: 1,012 m/s

Azami menzil: 12,500 m

Şarjör kapasitesi: 100

- **Uzaktan Kumandalı Stabilize Makineli Tüfek: ASELSAN STAMP**

ASELSAN tarafından geliştirilen uzaktan komutalı stabilize makineli tüfek sistemidir.

Üzerine mont edilen taret, elektro-optik şekilde kumanda edilir. Otomatik olarak hedefleri izleyebilir.

Gece-gündüz, her türlü hava şartında yüksek etkinlikli çalışabilmektedir.

Taret Ağırlığı: 250 kg

Ağırlık (Güverte altı): 20 kg

Silah Yükseliş Eksen Hareket Limitleri: -20° / $+60^{\circ}$

Silah Açısal Dönüş Hızı (maks.): $60^{\circ}/s$

GÜÇ İHTİYACI

Admiralty Constant İle Güç Hesabı

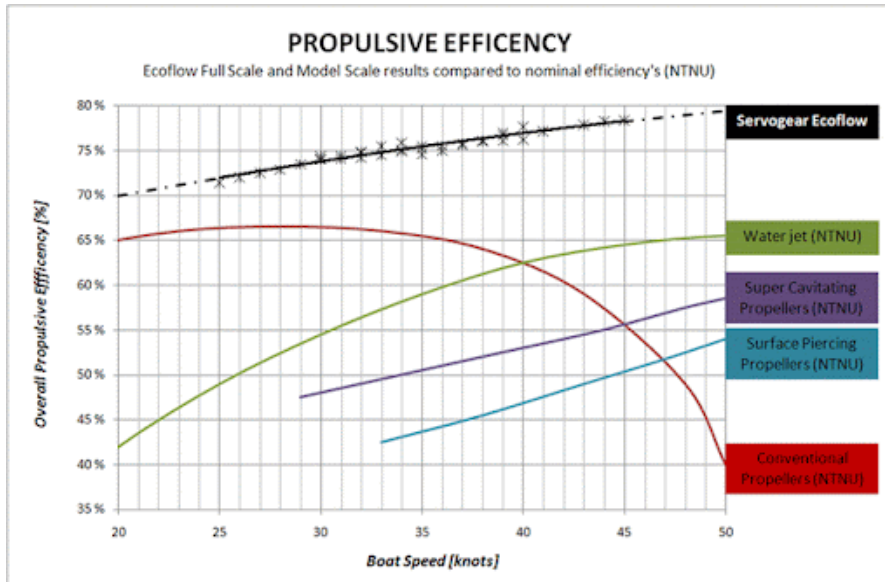
Papanikolaou'nun önerdiği, aşağıda verilen Admiralty Constant değerinin benzer gemiler için aynı olduğu kabulü ile yapılan güç hesabı sonucunda Visby-Sınıfı korvet için elde edilen $C_N=164.56$ değeri proje gemisine uygulanmış ve gerekli makine gücü 31522.35 kW bulunmuştur. Bu değerin fizibil olmaması sebebiyle daha detaylı bir hesaplama girişilmiştir.

$$C_N = \frac{\Delta^{2/3} V^3}{P}$$

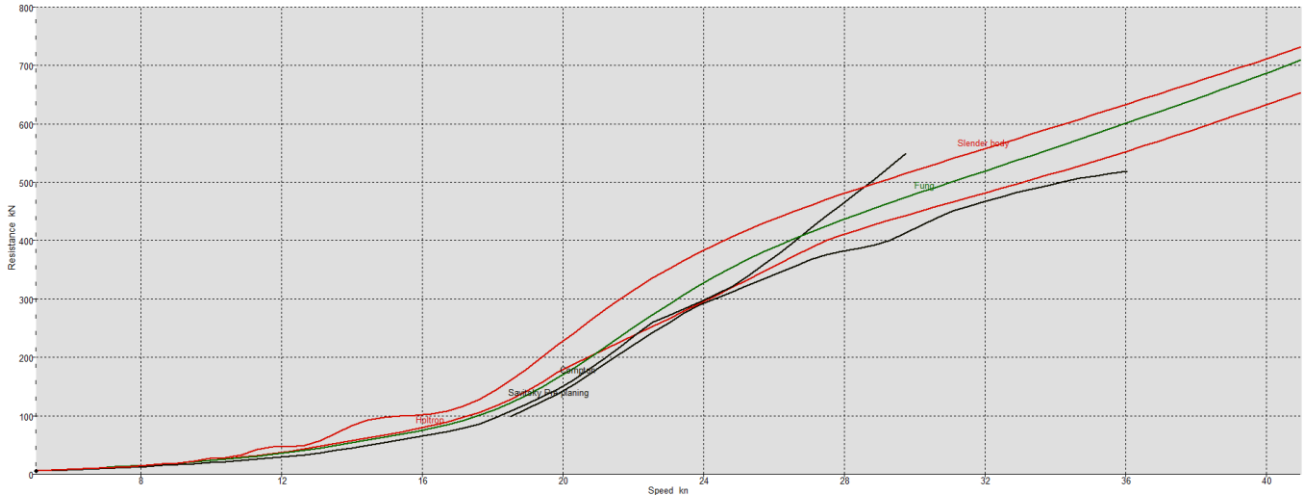
Formül 11: Admiralty Constant (Papanikolaou)

Direnç İle Güç Hesabı

MAXSURF Resistance modülü kullanılarak 5-40 knot arası hızlarda, waterjet için Norwegian University of Science and Technology tarafından önerilen ve Grafik 2'te gösterilen, 40 knot için %62.5 verimlilik değeri kullanılarak dizayn draftında yapılan direnç hesabında elde edilen grafik, Grafik 3'de gösterilmiştir.



Grafik 2: Sevk Verimi (NTNU)



Grafik 3: Hız-Direnç Grafiği

40 knot için Slender Body metodu ile direnç değeri 713.5 kN olarak elde edilmiştir. Bu değerin 40 knot=20.5778m/s ile çarpılması sonucu P_E (efektif güç)=14682.26kW olarak hesaplanmıştır. Bu hızda waterjet sisteminin sevk verimi olarak seçilen 0.625 değeri de hesaba katıldığında, P_D (delivered power)=23491.62kW bulunmuştur. Şaft verimi η_s için MAN tarafından önerilen 0.99 değeri kabul edildiğinde, 40 knot süratta seyir için gerekli makine gücü **$P_B=23728.91kW$** bulunmuştur.

$$\eta_D = \frac{P_E}{P_D}$$

Formül 12: Sevk Verimi

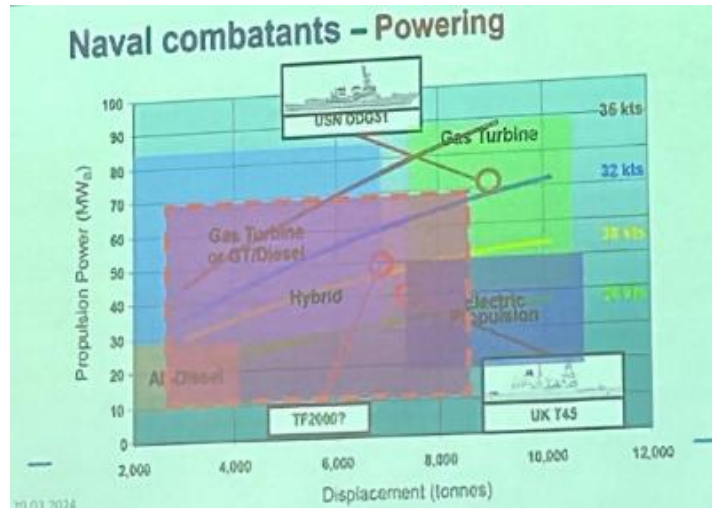
$$\eta_s = \frac{P_D}{P_B}$$

Formül 13: Şaft Verimi

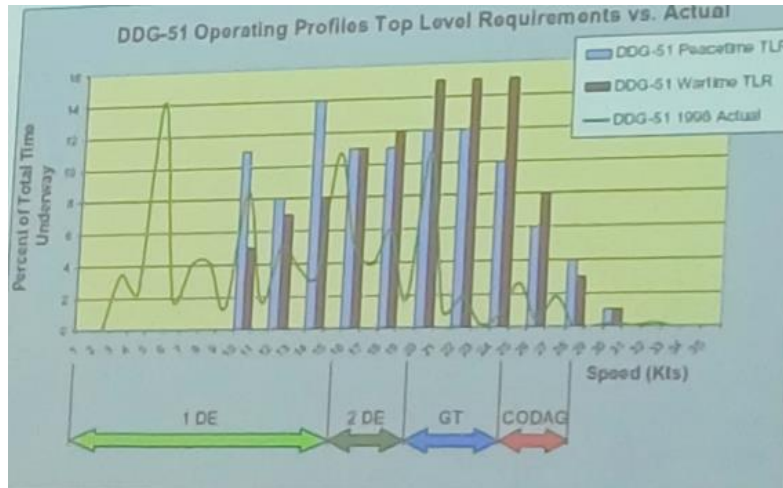
Benzer şekilde ekonomik seyir hızı olarak seçilen **17.5 knotta** (9.003 m/s) Grafik 2’de gösterilen verim değeri olan 0.425 kullanılarak yapılan direnç hesabı sonucu Slender Body metodu ile direnç değeri 122.3 kN olarak saptanmıştır. Yukarıda belirtilen verimler de hesaba katılarak ekonomik seyir hızı için gereken makine gücü **$P_B=2616.85kW$** bulunmuştur.

ANA TAHRİK SİSTEMİ SEÇİMİ

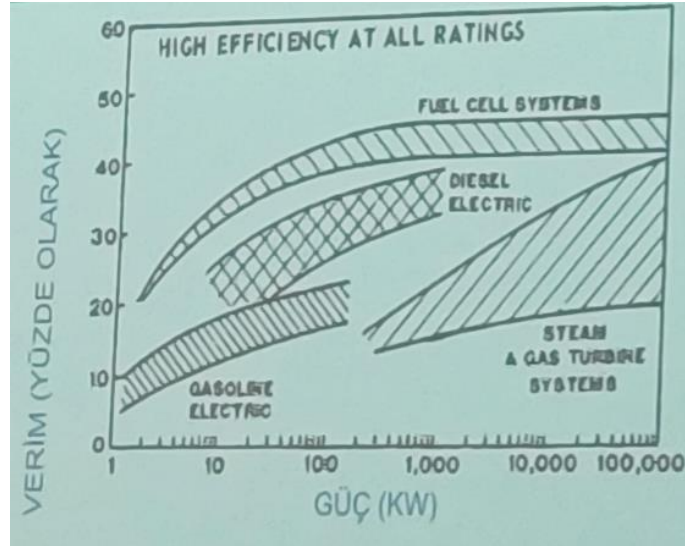
40 knotluk maksimum savaş durumu hızı için gerekli makine gücü olan 23728.91kW değerine ulaşmak için çeşitli alternatifler incelendikten ve benzer platformlar üzerinde inceleme yapıldıktan sonra en uygun sevk sisteminin gaz türbini&dizel ana makine kombinasyonu (**CODAG**) olduğu saptanmıştır. Hücumbotun daha yaygın olarak kullanacağı (bkz. Grafik 5) seyir hızında dizel makineler kullanılırken savaş gücü ihtiyacı doğduğunda gaz türbinleri devreye alınıp gerekli güce ulaşması sağlanacaktır. Alternatif araştırması için Prof. Dr. Mehmet Ali Baykal'ın İstanbul Teknik Üniversitesinde verdiği "Savaş Gemileri Dizaynı" ders notlarından alınmış grafikler aşağıda gösterilmiştir.



Grafik 4: +2000ton Askeri Gemiler İçin Sevk Sistemi Seçimi



Grafik 4: USS Arleigh Burke İçin Hız-Devredeki Sevk Sistemi Karşılaştırması



Grafik 5: Güç-Sevk Sistemi-Verim Grafiği

Ana Makine

Bu verilere dayanarak, 17.5 knot seyir hızında gerekli olan 2616.85kW gücü elde etmek için, benzer platformlarda da yer alması sebebiyle askeri platformlara entegrasyonu konusunda bir problem çıkmayacağı öngörülen ve broşüründe de Fast Patrol Boat’lar için uygun olduğu belirtilen, Rolls-Royce Power Systems altındaki **MTU Solutions** firmasına ait **16V 2000 M90** ana makinesinden 2 adet kullanılması uygun görülmüştür. Makinenin karakteristikleri aşağıda Tablo 3’de gösterilmiştir.

Engine Model		12V 2000 M90			16V 2000 M90		
Rated power ICFN		kW (bhp)			1343 (1800)		
Speed		rpm			2300		
No. of cylinders		12			16		
Bore/stroke		mm (in)			130/150 (5.1/5.9)		
Displacement, total		l (cu in)			23.9 (1458)		
Flywheel housing		SAE 1			SAE 0		
Gearbox model		ZF 2050 A			ZF 3055		
		i = 1.2 – 2.5			i = 1.5 – 2.7		

Performance and Fuel Consumption ¹⁾		12V 2000 M90			16V 2000 M90		
Speed	rpm	2300	1800	1200	2300	1800	1200
Maximum power	kW	1007	940	500	1343	1245	790
	bhp	1350	1267	671	1800	1670	1187
Power on propeller curve ²⁾	kW	1007	480	145	1343	625	190
	bhp	1350	664	194	1800	865	255
Fuel consumption on propeller curve ²⁾	g/kWh	218	207	220	217	207	213
	l/h	264.5	119.7	38.4	351.1	155.9	48.8
	gal/h	69.9	31.6	10.2	92.8	41.2	12.9

Dimensions and Masses (incl. gearbox)		12V 2000 M90		16V 2000 M90	
Engine Model		12V 2000 M90		16V 2000 M90	
Length [L]	mm (in)	2600 (102.4)		3075 (121.1)	
Width [W]	mm (in)	1890 (74.4)		1400 (55.1)	
Height [H]	mm (in)	1290 (50.8)		1290 (50.8)	
Mass [dry]	kg (lbs)	3480 (7672)		4300 (9480)	

Tablo 3: 16V 2000 M90 Karakteristikleri (MTU Solutions)

Gaz Türbini

CODAG sevk sisteminin bir diğer bileşeni olan gaz türbini için, ana makinenin sağlayacağı ve seyir hızı için gerekli olan 2616.85 kW gücü savaş durumlarında kullanılacak maksimum hız olan 40 knot için gereken 23728.91 kW seviyesine yükseltecek, en azından 21112.1 kW güce sahip gaz türbinleri için araştırma yapılmıştır. 2004 itibarıyla ABD ve Japonya dahil 29 donanma tarafından kullanılan (GE Aviation, 2004), **General Electric** markasına ait, 25060 kW kapasiteli **LM2500** gaz türbini uygun bulunmuştur. Bu türbinin özellikleri Tablo 4’te görülebilir.

Benzer platformların bazılarında gözlemlenen bir yaklaşım olan birden fazla türbin kullanımı yerine tek türbin kullanılarak, yedekleme ve hayatta kalımdan (redundancy&survivability) ödün verilerek maliyetten kaçınılmış ve türbinin daha az yer kaplaması sağlanmıştır.

Package dimensions				
All LM2500 models have the same overall package dimensions providing the greatest flexibility in engine arrangement and future power needs. The Lube Scavenging and Conditioning Assembly (LSCA) is a provided off-module skid.				
Model	LM2500	LM2500+	LM2500+G4	LSCA
Dry weight - lb (mt)	40,500 (18.4)	43,900 (19.9)		1,290 (0.6)
Baseplate length - in (m)		315 (8.0)		52 (1.3)
Baseplate width - in (m)		104 (2.6)		31 (0.8)
Height (bottom of baseplate to top of enclosure) - in (m)		96 (2.4)		41 (1.0)
Nominal inlet duct cross section - ft ² (m ²)	48 (4.5)	57 (5.3)		
Nominal exhaust duct cross section - ft ² (m ²)	30 (2.8)	36 (3.3)		
Maximum power performance				
	LM2500	ISO	US NSD	
Output		33,600 shp (25,060 kW)	29,596 shp (22,070 kW)	
SFC		0.373 lb/shp-hr (226.9 g/kW-hr)	0.383 lb/shp-hr (233 g/kW-hr)	
Heat rate (18,400 Btu/lb LFHV)		6,863 Btu/shp-hr; 9,204 Btu/kW-hr 9,705 kJ/kW-hr	7,051 Btu/shp-hr; 9,456 Btu/kW-hr 9,974 kJ/kW-hr	
Inlet air flow		152.9 lb/s (69.4 kg/s)	140.1 lb/s (63.5 kg/s)	
Exhaust gas flow		155 lb/sec (70.3 kg/sec)	142 lb/sec (64.4 kg/sec)	
Exhaust gas temperature		1,051°F (566°C)	1,074°F (578°C)	
Power turbine speed		3600 rpm	3600 rpm	

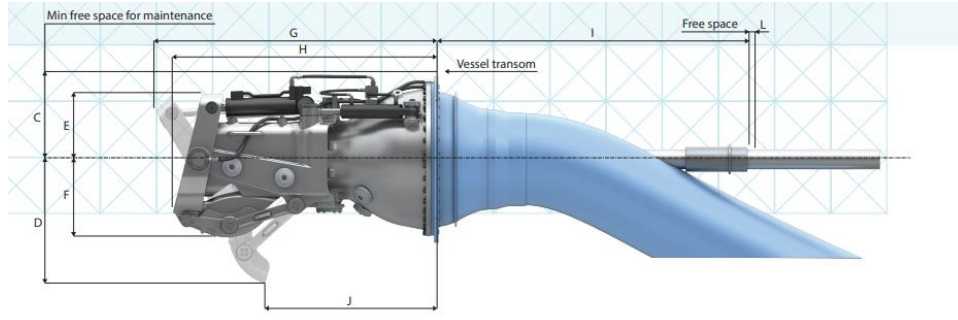
Tablo 4: LM2500 Gaz Türbini Karakteristikleri (General Electric)

Waterjet

Prof. Dr. Ali Can Takinacı’nın (2009) “Advanced Propulsion Systems” ders notlarında belirttiği üzere waterjet sistemleri, 25 knot üzerindeki süratlerde geleneksel pervanelere göre daha verimlidir ve yüksek hız gerektiren uygulamalarda kullanımı önerilir. Bununla birlikte proje gemimiz olan hücumbotun draftının düşük olması ve operasyonel sebeplerle yüksek manevra kapasitesine sahip ve sessiz olmasının tercih sebebi olması sebebiyle pervane yerine waterjet tercih edilmiştir. Bu seçim aynı zamanda, waterjet sevk sisteminin bakım ve onarımının geleneksel pervaneye göre daha basit ve ucuz olması sayesinde operasyon sırasında bir dış nedenle (patlama vb.) sevk aracında ortaya çıkan problemlerin daha kolay ve ucuz çözülmesine olanak sağlar.

Araştırmalar sonucunda Kongsberg markasının çelik waterjet kategorisinde büyük ve zorlu uygulamalar için ürettiği Kamewa S3 serisinin 26000 kW maksimum güçte çalışabilen **Kamewa S160-3** uygun görülmüştür. İlgili özellikler Tablo 5-6 ve Grafik 7’de görülebilir.

Seçilen waterjet için ağırlık verisine ulaşılamadığından, aynı üreticinin S4 serisindeki 112 modelinden oran ile **30.1 ton** hesaplanmıştır.

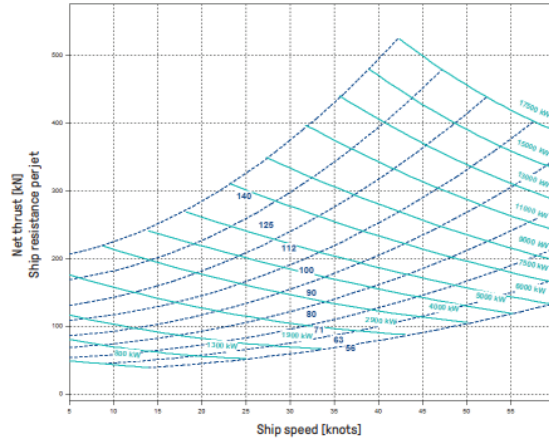


MAIN DATA

SIZE	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	N	O
160*	1990	1400	2079	1062	1344	4462	4180	5120	2477	100	865	865

Tablo 5: Kamewa S160-3 Waterjet Boyutlar

KAMEWA WATERJET PROPULSION SIZE S56-3 - S140-3



Grafik 6: Kamewa S56-S140 Arası İçin Hız-Thrust Grafiği

Impeller housing	EN 1.4470 Stainless steel
Guide Vane Chamber	EN 1.4470 Stainless steel
Steering & Reversing Unit	EN 1.4470 Stainless steel
Impeller	EN 1.4470 Stainless steel
Shaft	EN 1.4429 Stainless steel
Thrust Bearings	Spherical roller bearing
Rotation direction of Impeller	CW seen from astern
Corrosion protection	Sacrificial anodes

Tablo 6: Kamewa S160-3 Waterjet

ELEKTRİK GÜÇ İHTİYACI

- ☐ **Ana Tahrik Sistemleri:** Geminin tahrik sistemlerinin toplam güç tüketimi yaklaşık olarak 400 kW olarak hesaplanmıştır.
- ☐ **Silah Sistemleri:** Savaş gemisinin savunma ve saldırı yeteneklerini sağlayan silah sistemlerinin güç tüketimi 250 kW olarak hesaplanmıştır.
- ☐ **Elektronik ve Haberleşme Sistemleri:** Radarlar, iletişim ekipmanları ve diğer elektronik sistemlerin toplam güç tüketimi 100 kW olarak hesaplanmıştır.
- ☐ **İklimlendirme ve Aydınlatma:** Gemideki iç mekanların iklimlendirme ve aydınlatma sistemi yaklaşık güç tüketimi 40 kW olarak hesaplanmıştır.

JENERATÖR SEÇİMİ

Gemiye üç adet jeneratör yerleştirilecektir. Bu jeneratörler yakıt olarak Diesel kullanacaktır. Jeneratör seçiminde ise yaklaşık **825 KW** olarak ön görülen güç gereksiniminin, Cummins QSL9 Model C275D6D 275 KW Diesel jeneratörle karşılanmasına karar verilmiştir. Özellikleri Tablo 7’de görülebilir.

- Cummins QSL9 C275D6D 275 KW Diesel Generator

Sayı : 2 (iki)
Güç : 275 kW / 2150 rpm için
Yakıt : Diesel

Yedek Jeneratör: Makine dairesinin dışına yerleştirilecek yedek jeneratörün soğutması radyatörle sağlanacaktır.

- Cummins QSL9 C275D6D 275 KW Diesel Generator

Sayı : 1 (bir)
Güç : 275 kW / 2150 rpm için
Yakıt : Diesel



Şekil 5: Cummins QSL9 C275D6D 275 KW Diesel Generator

Model	Standby power rating*	Prime power rating	Emissions compliance	Engine data sheet
	60 Hz kW (kVa)	60 Hz kW (kVa)		
C275D6D	275 (343)	250 (312)	EPA-certified Tier 4 Final	FR 94906

* Tested at 0.8 power factor (PF) per NFPA 110.

Full-load amperage (FLA) at rated voltage										
Model	Power rating	Voltage*								
		120/240 (1 Ph)	120/208	127/220	139/240	220/380	240/416	254/440	277/480	347/600
C275D6D	Standby	N/A	954	902	827	522	477	451	413	331
C275D6D	Prime	N/A	867	820	752	475	434	410	376	301

*Three-phase FLA based on 0.8 power factor (PF).

Approximate rated load fuel consumption in gallons per hour (L/h)						
Model	Power rating	Fuel type	100% load	75% load	50% load	25% load
C275D6D	Standby	Diesel	21 (78)	16.2 (61.5)	10.8 (41)	6.5 (24)
C275D6D	Prime	Diesel	19.1 (72)	14.8 (56)	10.3 (39)	6.0 (23)

Tablo 7: Cummins QSL9 C275D6D Özellikler

SIĞA VE YAKIT TANK KAPASİTESİ HESABI

Görev gerekliliklerinde belirtilen 1100 deniz mili sığaya ekonomik seyir hızında ulaşabilmek adına gereken toplam yakıt ağırlığı ve buna bağlı tank kapasitesi hesabı aşağıda verilmiştir.

Seyir Hızında (17.5 knot) Geminin Toplam Yakıt Sarfıyatı:

Ana Makine 217g/kWh (2 adet): 582862 g/h

Jeneratör 21 L/h: 53550 g/h

Toplam: 636412 g/h

1100 deniz mili=2.037,2 km mesafeyi 17.5 knot süratle gitmek için 125.71 saat gereklidir. Bu hesap sonucunda, hücumbotun ekonomik seyir hızında 1100 deniz mili seyir sığasına sahip olmak için ihtiyaç duyduğu yakıt miktarı **40 ton** olarak hesaplanmıştır. Papanikolaou tarafından belirtildiği üzere MDO için ortalama yoğunluk 0.85 t/m³ alındığında toplam yakıt tankı kapasitesi **47.06 m³** olarak belirlenmiştir.

AĞIRLIK VE TONAJ HESABI

Lightship Hesabı

Tüm seçimler yapıldıktan sonra lightship ayrıntıları aşağıda verilmiştir:

Çelik Tekne: 573.3 ton

Ana Makineler (x2): 8.6 ton

Jeneratörler (x3): 2.93 ton

Şaft: 0.64 ton

Türbin: 18.37 ton

Waterjet ağırlığı: 30.1 ton

Lightship ağırlığı: **633.94 ton**

Deadweight Hesabı

Silah Donanımı: 17.27 ton

Yakıt: 40 ton

Mürettebat: 21.5 ton

Kumanya+Su Arıtım: 3.2 ton

Deadweight ağırlığı: **81.97 ton**

Toplam tonaj: **715.91 ton.**

GENERAL ARRANGEMENT

YAPISAL DAYANIM DEĞERLENDİRME

STABİLİTE KONTROLÜ

MAXSURF Stability modülünde yapılan hesaplama sonucunda elde edilen veriler Tablo 8’de gösterilmiştir. Hesap sonucunda hücumbotun belirtilen yükleme durumundaki draftı **2.79 m** saptanmıştır.

Draft Amidships m	2,79
Displacement t	715,9
Heel deg	0
Draft at FP m	6,214
Draft at AP m	-0,635
Draft at LCF m	3,467
Trim (+ve by stern) m	-6,849
WL Length m	59,677
Beam max extents on WL m	9,269
Wetted Area m²	536,692
Waterpl. Area m²	375,568
Prismatic coeff. (Cp)	0,555
Block coeff. (Cb)	0,236
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,663
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,679
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	52,801
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	48,052
KB m	2,637
KG fluid m	3,209
BMt m	2,814
BML m	93,391
GMt corrected m	2,24
GML m	92,816
KMt m	5,437
KML m	95,542
Immersion (TPc) tonne/cm	3,85
MTc tonne.m	9,939
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	27,986
Max deck inclination deg	5,849
Trim angle (+ve by stern) deg	-5,849

Tablo 8: Stabilite verileri

Hücumbotun IMO ve SOLAS’ın ilgili stabilite kriterlerine uygunluk kontrolü yapılmış ve sonuçları aşağıda ilgili başlıkta gösterilmiştir. Hücumbot ilgili ve hesaplanabilen tüm kriterler için geçer not almıştır.

IMO, SOLAS Kriter Kontrolü

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: IMO roll back angle	17.3	deg			
Ch 9. Optional Stability Requirements for Ships without Documents of Authorisation Carrying Partial Cargos of Grain	9.1.5 IMO required GM for ships carrying grain MSC.23(59)	0.32	m			
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	mdeg	17,0958	Pass	442,5
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	mdeg	30,1752	Pass	485,18
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	mdeg	13,0795	Pass	660,92
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.2	m	2,814	Pass	1307
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25	deg	84,5	Pass	238,18
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0.15	m	2,24	Pass	1393,33
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10	deg	0	Pass	100
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10	deg	0	Pass	100
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than ($\leq$)	16	deg	3,2	Pass	79,98
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than ($\leq$)	80	%	7,33	Pass	90,84
	Area1 / Area2 shall not be less than ($\geq$)	100	%	281,66	Pass	181,66
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30	3,1513	mdeg	17,0958	Pass	442,5
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40	5,1566	mdeg	30,1752	Pass	485,18
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40	1,7189	mdeg	13,0795	Pass	660,92
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.2	m	2,814	Pass	1307
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ	25	deg	84,5	Pass	238,18
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMt	0.15	m	2,24	Pass	1393,33
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than ($\leq$)	16	deg	3,2	Pass	79,98
	Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than ($\leq$)	80	%	7,33	Pass	90,84
	Area1 / Area2 shall not be less than ($\geq$)	100	%	554,05	Pass	454,05
2.6 MODUs	2.6.3.1.1 Ratio of areas type 3	140	%	6313,26	Pass	4409,47
2.6 MODUs	2.6.3.1.2 Ratio of areas type 3	130	%	6313,26	Pass	4756,35
2.6 MODUs	2.6.3.1.3 Range of positive stability	0	deg	160,1	Pass	infinite
Ch 7. Stability Requirements	7.1.1 a Angle of equilibrium	12	deg	0,4	Pass	96,51
Ch 7. Stability Requirements	7.1.1 b Angle of equilibrium ratio	100	%	0,96	Pass	99,04
Ch 7. Stability Requirements	7.1.2 GZ area between limits type 1	4,2972	mdeg	29,5903	Pass	588,59
Ch 7. Stability Requirements	7.1.3 a Value of GMt at	0.3	m	2,24	Pass	646,67
Ch 9. Optional Stability Requirements for Ships without Documents of Authorisation Carrying Partial Cargos of Grain	9.1.5 Value of GMt at	0,32	m	2,24	Pass	599,26
MSC.216(82)	Probabilistic Damage Subdivision Index s-factor MSC.216(82)	0		1	Pass	infinite
MSC.19(58)	Probabilistic Damage Subdivision Index s-factor MSC.19(58)	0		1	Pass	infinite
	angle of equilibrium must be less than immersion angle of Potential Flooding Points	n/a	deg	n/a		
	angle of equilibrium must be less than immersion angle of Deck Edge	43,7	deg	Pass		
	Actual value of max. GZ		m	2,814		
	Actual value of range of positive stability		deg	161,9		

Tablo 9: Kriter Kontrolü

KAYNAKÇA

Papanikolaou, A. (2014). Ship Design Methodologies of Preliminary Design. Springer.

Temel, Y. (2002). Ön Dizaynda Ağırlık Hesabı [PDF dosyası]. Erişim adresi:

<https://web.itu.edu.tr/~ytemel/files/week3.pdf>

Ventura, M. (2010). Estimation Methods for Basic Ship Design [PDF dosyası]. Erişim adresi:

<http://www.mar.ist.utl.pt/mventura/Projecto-Navios-I/EN/SD-1.3.1-Estimation%20Methods.pdf>

ThyssenKrupp Marine Systems. (2014). The VISBY Class Corvette.

List of missile boat classes. (2023, Ocak 15). Vikipedi: Özgür Ansiklopedi. Erişim adresi:

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_missile_boat_classes.

Scheina, R. L. , Reilly, . John C. , Eller, . Ernest McNeill , Guilmartin, . John F. and Friedman, . (2024, January 1). Warship. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/naval-ship>.

MAN Energy Solutions. (2018). Basic Principles of Ship Propulsion.

MTU Solutions. (2007). Diesel Engines 12V/16V 2000 M90.

GE Aviation. (2004). GE Marine to Supply IHI with LM2500 Gas Turbines to Power Japan's 15DDG AEGIS Destroyer. [Press Release]. Erişim adresi:

https://web.archive.org/web/20061017064552/http://www.geae.com/aboutgeae/presscenter/marine/marine_20040506.html

GE Aerospace. (2021). LM2500 Marine Gas Turbine.

Takinacı, A. C. (2009). Waterjet Propulsion [Sunum]. Erişim adresi:

https://web.itu.edu.tr/takinaci/dersler/advprosys/Week_15/WaterJetPropulsion.pdf

Kongsberg. (2021). Kamewa Steel Series S-3 Technical Data.

Cummins. QSL9 engine series U.S. EPA Tier 4 Final.