



PhD Research Article / Doktora Çalışması Araştırma Makalesi
FORM OPTIMIZATION OF A SURFACE COMBATANT BY MEANS OF
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Bekir ŞENER^{*1,2}, Tamer YILMAZ²

¹*Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim dalı, Yıldız-İSTANBUL*

²*Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL*

Received/Geliş: 26.07.2012 Accepted/Kabul: 06.09.2012

ABSTRACT

The traditional ship design process is often under the control of geometric modeling of the boat form. After this, model performance is analyzed with various simulations. If the result is not satisfactory, the iterative steps are repeated until the desired performance is obtained. These hull forms, which revealed by these method, are usually a negotiated solution rather than the optimum, that partially reflects the different performance criteria.

In this work an automatic ship hull form optimization methodology is developed based Simulation Driven Design method with using new generation of design, analysis and optimization software combination. For this purpose, parametric modeling software called FRIENDSHIP-Framework is used to collect the optimization process under one roof and handle the process automatically. Aforementioned methodology is used to develop a systematical hull form series for frigate-type surface warships. Next stage, two hull form are chosen as sample and a multi-objective optimization process is performed. After optimization, initial and optimum hull forms are compared to show that how to improve the resistance and seakeeping results with some local changes.

Keywords: Computational fluid dynamics, parametric modeling, multi-objective optimization.

BİR SU ÜSTÜ SAVAŞ GEMİSİ FORMUNUN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ
YÖNTEMLERİYLE OPTİMİZASYONU

ÖZET

Geleneksel gemi dizaynı süreci çoğunlukla tekne formunun geometrik olarak modellenmesinin kontrolündedir. Bu işlemin ardından modelin performansı çeşitli yönlerden analiz edilir. Elde edilen sonuç tatmin edici düzeyde değilse bu adımlar iteratif olarak istenen performans elde edilinceye kadar tekrar edilir. Bu yöntemlerle ortaya çıkarılmış olan formlar, optimum olmaktan çok genellikle değişik performans kriterlerini kısmen sağlayan uzlaşmış bir çözümü yansıtmaktadır.

Bu çalışmada Simülasyon Yönetimli Tasarım yaklaşımını baz alarak yeni nesil form tasarımı, analiz ve optimizasyon yaklaşımlarını bir arada kullanarak otomatik bir tekne formu optimizasyon metodolojisi geliştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda FRIENDSHIP-Framework adlı bir parametrik modelleme yazılımı kullanılmış ve çeşitli ara işlemler ile optimizasyon sürecinin tüm adımları tek bir çatı altında toplanarak tüm sürecin otomatik olarak işlemesi sağlanmıştır. Söz konusu metodoloji kullanılarak firkateyn tipi su üstü savaş gemilerine yönelik bir form serisi üretilmiştir. Bir sonraki aşamada ise oluşturulan tekne serisinden örnek olarak iki adet tekne formu seçilmiş ve çok amaçlı bir optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon işleminin ardından başlangıç form ile optimum formun karşılaştırılması yapılarak uygulanan çeşitli lokal değişiklikler sonucunda formların direnç ve denizcilik değerlerinde bir miktar daha iyileştirme yapılabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, parametrik modelleme, çok amaçlı optimizasyon.

* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: bsener@yildiz.edu.tr, tel: (212) 383 28 52

1. GİRİŞ

Son yıllarda bilgisayar simülasyonlarına dayalı form optimizasyonu çalışmaları daha verimli ve çevre dostu gemilerin tasarlanabilmesi konusunda belirleyici bir faktör haline gelmiştir. Ön dizayn aşamasında tekne formunun hidrodinamik özelliklerinin optimizasyonu oldukça önemli bir rol oynamaktadır.

Bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ile birlikte araştırmacılar modelleme ve simülasyon yöntemlerini birbirlerine entegre etmek üzerine çalışmışlardır. Yapısal mekanik alanında bu entegrasyon oldukça başarılı bir hale gelmesine rağmen akışkanlar dinamiği alanında tam olarak gerçekleştirilememiştir. Bunun sebebi ise akışkanlar dinamiğinin modele oldukça fazla bağımlı olmasıdır.

Gemi dizaynında form optimizasyonu çalışmaları geçtiğimiz yüzyılın ortalarında başlamıştır. İlk optimizasyon çalışmaları genellikle tekne geometrisi ile dalga direnci arasında analitik bağlantılar kurularak yapılmıştır. Bu çalışmalar ince gemi teorisi (thin ship theory) gibi Michell integraline dayalı yöntemler üzerine yoğunlaşmıştır. Seksenli yılların başından itibaren form optimizasyonu çalışmaları hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemlerinin kullanımına doğru kaymaya başlamıştır.

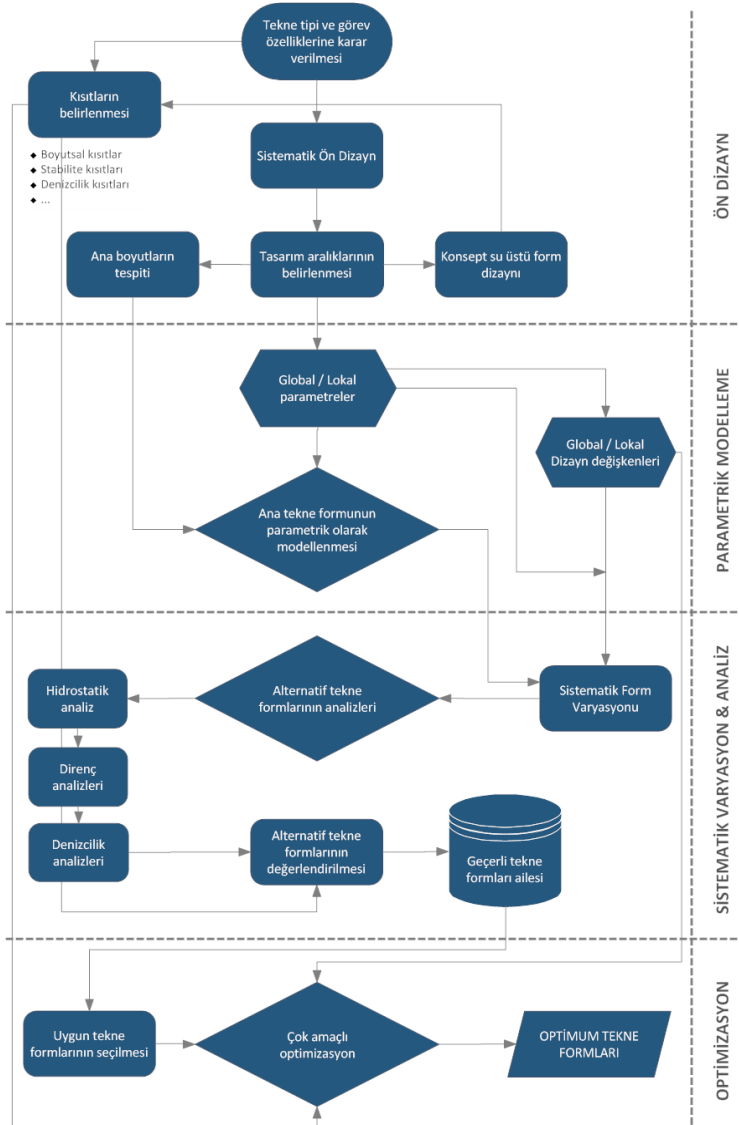
HAD gemi hidrodinamiğinde viskoz ve viskoz olmayan yöntemleri içeren geniş bir alanı kapsamaktadır. Viskoz olmayan yöntemler lineer olmayan serbest yüzey sınır koşulunu da içeren dalga direnci problemlerinin çözümünde kullanılırlar. Viskoz yöntemler ise türbülans modelleri sayesinde türbülansın etkisini de içeren Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) denklemlerinin çözümüne dayalıdır ve viskoz direnç problemlerinin çözümünde kullanılırlar.

Literatürde global form optimizasyonu çalışmaları ve sistematik çalışmalarda çoğunlukla potansiyel akım tekniklerine dayalı yazılımlar kullanılmıştır. Bunun başlıca sebebi çok sayıda alternatif tekne formunun analizinde bu tekniklerin çok daha hızlı yanıt vermesidir. Ayrıca bu teknikler otomatik olarak işleyen optimizasyon prosesleri için de uygundur. Viskoz etkiler daha çok tekne kıçındaki iz bölgesi analizlerinde, tekne takıntılarının optimizasyonu gibi lokal optimizasyon çalışmalarında dikkate alınmıştır. RANS çözücülerinin bir diğer dezavantajı da model hazırlama sürecinin (çözüm ağı) zor ve uzun zaman gerektiren bir süreç olmasıdır. Ayrıca oluşturulan çözüm ağının otomatik bir yüzey varyasyon sürecine adapte edilmesi oldukça zordur.

Doksanlı yılların başlarında Janson, Larsson vd. tarafından [1], [2], [3], [4] yapılan çalışmalar tüm direnç bileşenlerinin HAD yöntemleri ile hesaplandığı ve bir optimizasyon yaklaşımının kullanıldığı ilk örnekler arasına girmiştir. Araştırmacılar kendilerine ait SHIPFLOW adlı bir HAD programını bir optimizasyon modülü ve yüzey değiştirme yazılımı ile entegre etmişlerdir. Program potansiyel akış, viskoz sınır tabaka ve RANS yöntemlerinin bir kombinasyonudur. Tekne yüzeyi üzerindeki bir dizi nokta serbest değişken olarak seçilmiş ve bu noktaların yer değiştirmesine izin verilmiştir. Optimizasyon modülü ile değişkenler sabit deplasmanda sistematik olarak değiştirilmiştir. Harries ve Abt [5] ise 1999 yılında yayınladıkları çalışmada HAD yöntemleri ile gemi formu optimizasyonuna yeni bir yaklaşım getirmişlerdir. Araştırmacılar hidrodinamik optimizasyonu iç ve dış optimizasyon olmak üzere iki ayrı optimizasyon problemi olarak incelemişlerdir. İç optimizasyon problemi tekne geometrisinin çeşitli form parametreleri ile düzgünlük kriterine göre modellenmesidir. Dış optimizasyon problemi ise tekne formunun seçilen parametrelerin değişimi ile sistematik olarak türetilmesi ve teknenin hidrodinamik özelliklerinin geliştirilmesidir. Çalışmada parametrik modelleme temeline dayanan FRIENDSHIP (Form parameter ORIENTed SHIP) adlı geometrik modelleme programı ile SHIPFLOW HAD yazılımını entegre edilerek yüksek süratli bir teknenin form optimizasyonunu yapılmıştır.

Bu çalışmada fırkateyn tipi bir su üstü savaş gemisi formu ele alınmış ve çok amaçlı bir form optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda FRIENDSHIP-Framework yazılımı kullanılarak optimizasyon sürecinin tüm adımları tek bir çatı altında toplanmış ve sürecin

otomatik olarak işlemesi sağlanmıştır. Bu süreç esnasında esas amaç tekne formunun direnç yönünden optimize edilmesidir. Bunun için öncelikle ana tekne formu parametrik olarak modellenmiş ve bu formdan sistematik varyasyon yöntemleri ile çok sayıda alternatif form üretilmiştir. Varyasyon sürecinde oluşturulan her formun sakin su direnç analizleri yapılmış aynı zamanda stabilite ve denizcilik yönünden çeşitli kısıtlar sürece dahil edilerek teknenin hidrodinamik performansı bir bütün olarak iyileştirilmeye çalışılmıştır. Sonraki aşamada minimum direnç değerlerini gösteren tekne formları seçilerek çok amaçlı bir optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Söz konusu metodolojinin uygulanması esnasında izlenecek yol Şekil 1’de gösterilmektedir.



2. PARAMETRİK MODELLEME

Global bir optimizasyon sürecinin işleyebilmesi için tekne formu geometrisinin değiştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu işlem optimizasyon sürecinde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Zira form varyasyonu sadece boy, genişlik gibi parametrelerin değiştirilmesinden ibaret olmayıp aynı zamanda bazı kısıtların; örneğin sabit deplasman, yüzey düzgünlüğü gibi, sağlanmasını gerektirmektedir.

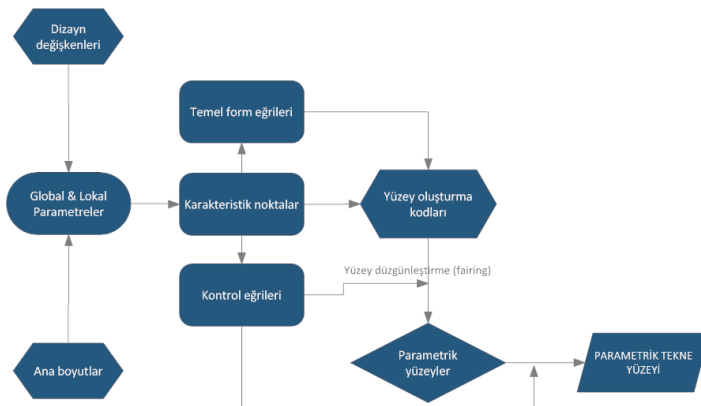
Harries [6], yapmış olduğu çalışma ile tekne formunun geometrik modellenmesine yeni bir yaklaşım getirmiştir. Bu yaklaşım tekne geometrisini oluşturan eğri ve yüzeylerin çeşitli form parametrelerine bağlı olarak modellenmesi üzerine kurulmuştur. Bu yöntemde tekne formunu oluşturmak için kullanılan parametreler tekne ana boyutları (L, B, T, vs.), hidrostatik değerler (V, c_B , vs.) veya koordinat, eğim, açı gibi birçok farklı çeşitte özellik olabilmektedir. Tekne formları bu parametrelere bağlı olarak modellenen eğri ve yüzeyler ile ifade edilmektedir. Böylece parametrelerde yapılacak sistematik değişiklikler ile birçok alternatif form üretilebilmektedir. Devam eden çalışmalar sonucu FRIENDSHIP-Framework adlı parametrik modelleme programı ortaya çıkmıştır. Programın getirdiği en büyük yenilik F-Spline adı verilen yeni bir eğri çeşidini kullanmasıdır. F-Spline eğrisi bir başlangıç ve bir bitiş noktası ve bu noktaların teğet açıları tanımlanarak oluşturulabilen düzgünlüğü optimize edilmiş iki boyutlu eğrilerdir. Harries ve Abt [7], bu eğriyi k derecesinden ve m adet noktadan oluşan Eşitlik 1'deki gibi ifade edilebilecek bir B-Spline eğrisinin;

$$Q(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix} = \sum_{i=0}^{m-1} V_i \cdot N_{ik}(t) \quad (1)$$

Eşitlik 2'de gösterilen Düzgünlük Kriteri'ne (Fairness Criteria) göre optimize edilmesi sonucu ortaya çıkarıldığını belirtmiştir.

$$E_n = \int_{t_B}^{t_E} \left(\left(\frac{d^m x}{dt^n} \right)^2 + \left(\frac{d^m y}{dt^n} \right)^2 \right) dt, \quad n = 1, 2, 3 \quad (2)$$

Parametrik formun modellenmesinde Şekil 2'de gösterilen akış şeması kullanılmıştır. Modelleme esnasında ve daha sonra tekne varyasyonu ve optimizasyonunda kullanılmak üzere çeşitli form parametreleri ve dizayn değişkenleri tanımlanmıştır. Ayrıca çeşitli kısımlarda programa ek kodlar yazılarak bazı modelleme ve kontrol işlemlerinin istenildiği şekilde değiştirilmesi ve uygulanması sağlanmıştır.



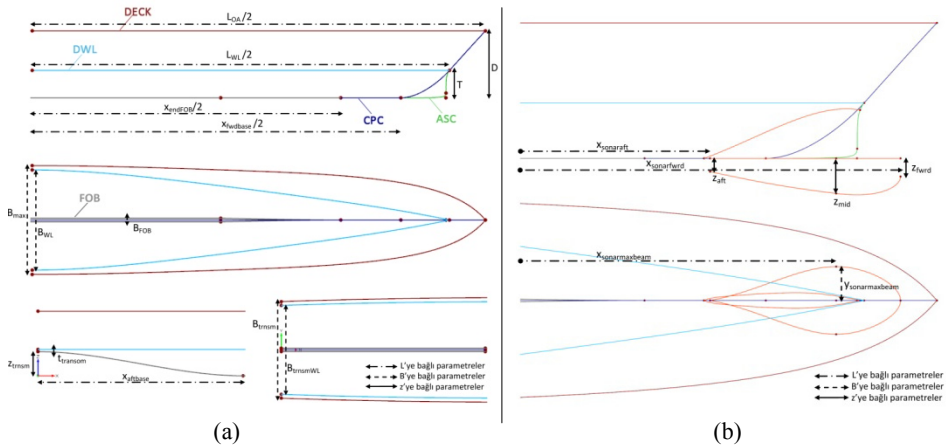
Şekil 2. Parametrik tekne formu modelleme aşamaları

Parametrik olarak modellenecek ana tekne formunun boyutlarına Çizelge 1’deki gibi karar verilmiştir.

Çizelge 1. Ana tekne formunun boyutları

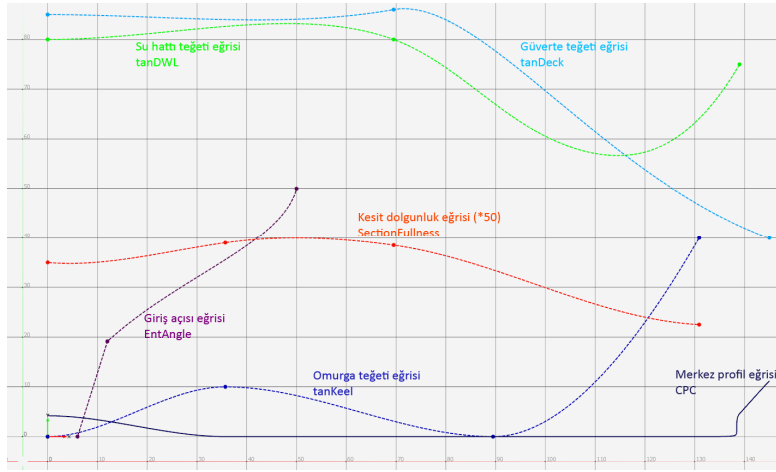
Tam boy, L_{OA}	145 m	L_{WL} / B_{WL}	8.3
Su hattı boyu, L_{WL}	139 m	$L_{WL} / \nabla^{1/3}$	7.75
Maksimum genişlik, B_{maks}	18.203 m	LCB/L_{WL}	0.44
Su hattı genişliği, B_{WL}	16.747 m ($B_{maks} * 0.92$)		
Derinlik, D	11.2 m		

Tekne formunun parametrik olarak modellenmesi için ilk aşamada formun ana hatlarını tanımlayacak boyuna temel form eğrilerine ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 3.a). Teknenin baş formu optimizasyonu da yapılması düşünüldüğünden ek olarak adaptif bir eğri daha oluşturulmuştur. Bu eğri çeşitli parametrelere bağlı olarak değişik tipte baş formlarının oluşumuna imkan sağlayacak şekilde modellenmiştir. Ayrıca tekne baş formuna bir sonardom eklenmesi de istendiğinden sonardom formu için de yardımcı eğriler oluşturulmuş ve bunlarda çeşitli parametreler tarafından kontrol edilecek şekilde modellenmiştir (Şekil 3.b).



Şekil 3. Parametrik modelde kullanılan eğriler (a) Temel form eğrileri (b) Sonardom form eğrileri

Modellenecek olan geometride dört farklı yüzey grubu oluşturulmuş ve her türlü parametrik değişiklikte yüzeylerin birbirine uyumlu bir şekilde hareket etmesi sağlanmıştır. Sonardom yüzeyi de tekne formuna uygun olacak şekilde modellenmiştir. Yüzeylere bu özelliği veren ise daha öncesinde oluşturulan parametrik kontrol eğrileridir (Şekil 4). Bu eğriler tasarımı tarafından formun nerede, nasıl ve hangi şekilde değişeceğine karar vermesi sonucunda oluşturulur. Oluşturulacak yüzeyler arasındaki geçişin düzgün olması için kontrol eğrilerinin de fair olması gerekmektedir. Bu nedenle formun değiştiği noktadaki teğet açıları da çeşitli parametrelerle kontrol edilmektedir. Eğrileri oluşturan noktalar tekne formunda kontrol edilmesi ve değişikliğin olması istenen noktalar. Her nokta belli bir parametreye bağlanmıştır.

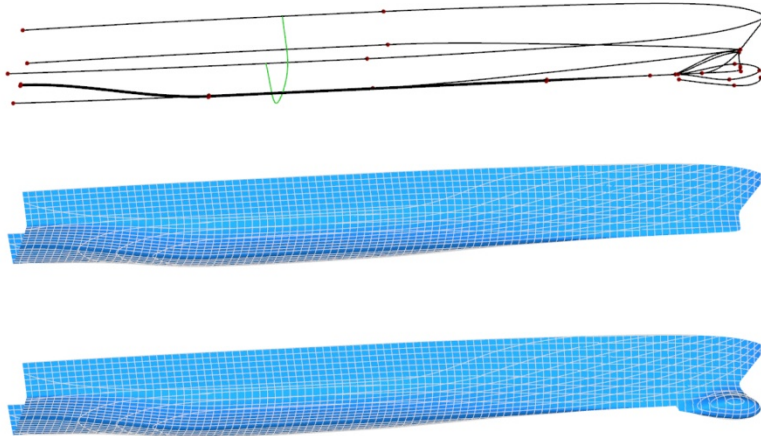


Şekil 4. Parametrik modelde kullanılan kontrol eğrileri

FRIENDSHIP-Framework içerisinde birçok farklı çeşit yüzey oluşturma yöntemi bulunmaktadır. Bunların çoğu diğer modelleme programlarında da sıkça kullanılan B-Spline, NURBS gibi yüzey oluşturma yöntemleridir. Bu programda farklı olarak tam parametrik yüzey oluşturmaya yarayan Meta-yüzey (Meta-Surface) yöntemi de kullanılabilir.

Meta-yüzeyler program içerisinde yazılacak kesit tanımlama kodları (definitions) kullanılarak oluşturulan eğri dizayn motorları (Curve engines) yardımıyla modellenen, düzgünlük kriterinin minimize edilmesi ile optimize edilmiş B-Spline yüzeyleridir. Yüzeyler önceden belirlenen parametrelere göre geometrik olarak mümkün olduğu sürece düzgün bir şekilde oluşturulur [8].

Yukarıda anlatılan parametrik eğriler ve yazılan yüzey tanımlama kodları ile parametrik tekne yüzeyi elde edilmiştir (Şekil 5). Tekne formu tamamen parametreler tarafından kontrol edilmektedir ve parametrelerin değişimi ile oluşturulacak yeni formlar da ana tekne formu gibi düzgün bir yüzeye sahip olacaktır. Böylece tekne formu sistematik varyasyon ve optimizasyon aşamaları için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 5. Parametrik tekne yüzeyi

3. HİDRODİNAMİK PERFORMANS ANALİZLERİ

3.1. Sakin Su Direnç Analizleri

Bir teknenin toplam direnci aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$R_T = R_w + R_v = R_w + (1 + k)R_f \quad (3)$$

Burada,

R_T = toplam direnç

R_w = dalga direnci

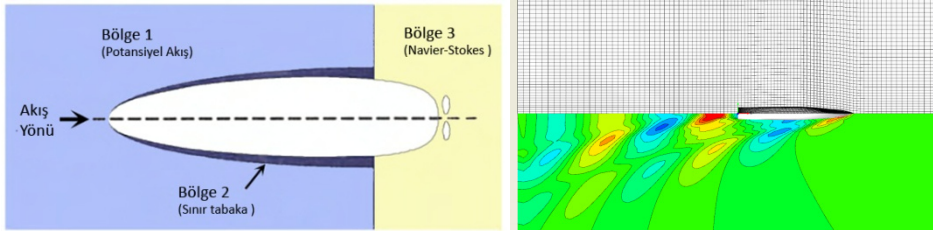
R_v = viskoz direnç

R_f = sürtünme direnci

k = form faktörü

olmaktadır. Bu çalışmada direnç analizleri SHIPFLOW adlı panel metot yazılımı ile yapılmıştır. Program teknenin içinde bulunduğu çözüm bölgesini üç farklı bölgeye (Şekil 6) ayırmaktadır ve her farklı çözüm yöntemi için bir modül geliştirilmiştir:

- Bölge 1 (XPAN): tüm tekne yüzeyi için serbest yüzey potansiyel akış yöntemi kullanılır.
- Bölge 2 (XBOUND): tekne yüzeyi ince bir tabaka ile çevrelenir ve çözümlemede sınır tabaka yöntemi kullanılır.
- Bölge 3 (XCHAP): teknenin kık bölgesini kapsar, türbülanslı akışları da içerir, çözümleme için Navier-Stokes denklemleri kullanılır.

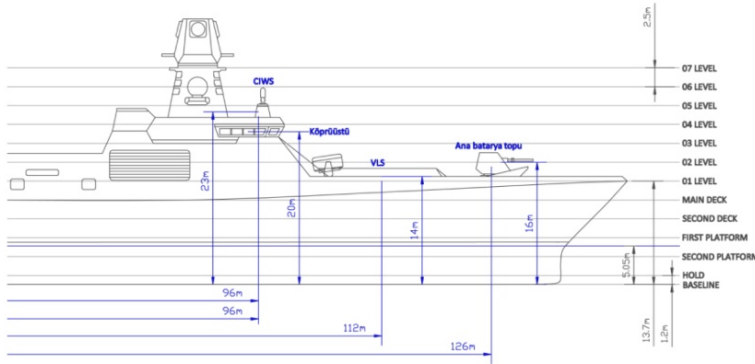


Şekil 6. SHIPFLOW çözüm bölgeleri ve örnek bir çözüm ağı ve sonuç görüntüsü

Çalışmada, oluşturulacak her bir alternatif tekne formu için iki farklı Fn sayısı ($Fn=0.251$ ve $Fn=0.418$) için XPAN modülünden dalga direnci değerleri, XBOUND modülünden de sürtünme direnci değerleri elde edilerek, belli bir k form faktörü için ($k=0.15$) toplam direnç değerine ulaşılmıştır.

3.2. Denizcilik Analizleri

Geliştirilen metodoloji içerisinde oluşturulacak her bir alternatif tekne formunun 5 deniz şiddetinde, iki farklı Fn sayısı ve 5 farklı açıdan (0° , 45° , 90° , 135° , 180°) gelen dalgalar için denizcilik analizleri yapılmıştır. Her bir alternatif teknenin söz konusu hız ve açılarda ve belirlenen konumlarda (Şekil 7) baş-kıç vurma ve yalpa açıları, düşey ivmelenme değerleri (köprüüstü ve VLS için) ve hareket kaynaklı denge kaybı indisi (MII) değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 2’de 5 deniz şiddetinde denizcilik analizlerinin yapılabilmesi için kullanılan değerler gösterilmektedir.



Şekil 7. Denizcilik kriterlerinin kontrol edileceği konumlar ve koordinatları

Çizelge 2. Denizcilik hesaplamaları için kullanılan değerler

Karakteristik dalga yüksekliği (m)	3.25
Modal period (s)	10.16
Dalga spektrumu	2-parameter Bretschneider
Tekne ağırlık merkezi (m)	8

Çalışmada üretilen alternatif tekne formlarının değerlendirilebilmesi için çeşitli denizcilik ve stabilite kuralları da kısıt olarak alınmıştır. Bu değerler ve ilgili oldukları yönerge Çizelge 3’de verilmektedir.

Çizelge 3. Optimizasyon sürecinde kullanılan denizcilik ve stabilite kısıtları

Kısıtlar	Değer	Konum	Öneren
Düşey ivme (RMS)	0.2g	Köprüüstü	STANAG 4154 [9]
Karakteristik baş-kıç vurma açısı (°)	1.5	-	STANAG 4154 [9]
Min GM (m)	0.3	-	İngiliz Donanması [10]

4. SİSTEMATİK VARYASYON VE ANALİZLER

Sistematik varyasyon süreci için iki farklı parametre grubu seçilmiştir. Alternatif teknelerin oluşturulması aşamasında tekne ana boyutlarını içeren “Global Parametreler” sistematik olarak değiştirilmiştir. Ayrıca bazı parametrelerin sabit tutulmasına karar verilmiştir.

Sistematik olarak değiştirilmek üzere üç adet parametre seçilmiştir. Bunların dışında ana tekne formunun diğer parametreleri sabit tutulacaktır. Bu parametrelerden bazıları bir sonraki aşamada yapılacak optimizasyon işlemi sırasında lokal değişken olarak kullanılacaktır. Sonuç olarak, seçilen değişken ve sabit parametreler ve değişken parametrelerin değişim aralıkları Çizelge 4’te toplu olarak gösterilmektedir.

Tüm süreç FRIENDSHIP-Framework programının çatısı altında işlemektedir. Otomatik olarak işleyen süreçte tekne formlarının geometrik modifikasyonu ve hidrostatik hesaplamaları söz konusu yazılım tarafından, direnç analizleri SHIPFLOW, denizcilik analizleri ise MaxSurf/Seakeeper yazılımları tarafından gerçekleştirilmekte ve analiz sonuçları yine FRIENDSHIP-Framework yazılımı tarafından derlenmektedir.

Çizelge 4. Sistematik varyasyon sürecinde kullanılan değişken ve sabit parametreler

Değişken parametreler			
L _{WL} /B _{WL}		7.5, 7.7, 7.9, 8.1, 8.3, 8.5, 8.7, 8.9, 9.1	
M=L _{WL} / ∇ ^{1/3}		7.5, 7.75, 8, 8.25, 8.5	
LCB/L _{WL}		0.42, 0.44, 0.46, 0.48, 0.50	
Sabit parametreler			
L _{WL}	139 m	C _B	0.490
L _{WL} /D	12.4	C _P	0.607
i _E	12°	C _{WPkç} , C _{WPbaş}	0.984 , 0.600
B _{max} /B _{WL}	0.92	C _M	0.807
B _T /B _X	0.92	t _{transom}	0.4 m

Tüm teknelerde su hattı boyu sabit tutulmuştur. Ayrıca teknenin derinlik değeri de sabittir. Böylece ağırlık merkezinin değişmediği kabul edilmiştir. $\mathbb{M}$ 'in değişimi ile oluşan 5 grup içerisinde deplasmanı sabit tutmak için draft değeri değiştirilmiştir.

Sistematik varyasyon sürecinin sonunda 5 deplasman grubuna ayrılmış şekilde toplam 225 adet tekne formu oluşturulmuştur. Aynı teknelerin sonardom eklenmiş modelleri de oluşturularak 225 adet te sonardomlu tekne formu elde edilmiştir.

5. ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYON

Optimizasyon problemlerinin çözümü için model arayışları sonucunda öncelikle doğrusal ve az sayıda değişkenin kullanıldığı matematiksel modellemeler oluşturulsa da bunun her problem için geçerli olmadığı anlaşılmış ve doğrusal olmayan modellemeye gidilmiştir. Bu noktada, evrim kuramındaki en iyinin korunması ve doğal seçim stratejileri kullanan evrimsel algoritmalar geliştirilmiştir.

Benzer yada örtüşen giriş değişkenlerine bağlı farklı amaçların dikkate alınması çok amaçlı optimizasyonları gerekli kılmıştır. Tek amaçlı optimizasyonda en iyi olan tek bir çözüm aranırken çok amaçlı optimizasyonda tüm amaçlara göre en iyi olan tek bir çözüm mevcut olmayabilir. Bu bakımdan her amaç için üzerinde uzlaşma sağlanan sonlu bir çözüm kümesi aranır. Günümüzde çok amaçlı optimizasyon için bir çok değişik yöntem bulunmaktadır. Vilfredo Pareto tarafından ekonomik alanda bir metodoloji olarak önerilen Pareto Optimizasyonu çok amaçlı optimizasyon probleminin nasıl ele alınacağını en iyi tanımlayan örneklerden biridir.

Pareto temelli yaklaşımlar çok amaçlı optimizasyon işlemlerinde daha yaygın bir kullanıma sahiptir. Gemi dizaynı alanında bu yaklaşımlardan Çok Amaçlı Optimizasyon Algoritması (MOGA-Multi Objective Genetic Algorithm) ve Bastırılmamış Sınıflandırılmalı Genetik Algoritma 2 (NSGAII-Nondominated Sorting Genetic Algorithm) [11] oldukça geniş bir kullanım alanı bulmuştur.

Sağ [12] yapmış olduğu tezde 8 farklı genetik algoritmayı çeşitli çok amaçlı problemlerde denemiş ve sonuçları karşılaştırmıştır. Yapılan değerlendirmede bazı algoritmaların birbirine benzer sonuçlar üretmesine karşın NSGAII algoritmasının daha iyi bir yakınsama ve daha geniş bir dağılım sağladığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada tekne formunun çok amaçlı olarak optimize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu sebeple literatürde yapılan araştırmalar ışığında hızlı sonuç vermesi ve daha iyi yakınsama yeteneği bakımından NSGAII algoritmasının kullanılması tercih edilmiştir.

5.1. Değişken Parametrelerin Belirlenmesi

Sistematik varyasyon sürecinde tekne ana boyutları ile bağıntılı global değişken parametreler kullanılmıştır. Optimizasyon aşamasında ise seçilen tekne formları için mevcut global değişken parametreler sabit tutulmuş ve yeni lokal değişkenler tanımlanmıştır. Yeni değişken parametreler tekne kık formu ve baş formu için belirlenerek tüm süreçte tekne formunun hem ana boyutlar bazında hem de bölgesel bazda optimize edilmesi sağlanacaktır. Sonardom için ayrıca üç parametre daha değişken olarak belirlenmiştir. Optimizasyon sürecinde kullanılacak değişken parametreler ve alt-üst limitleri Çizelge 5'te gösterilmektedir.

Çizelge 5. Optimizasyon için kullanılan değişken parametreler

	Parametre	Tanım	Alt Limit	Üst limit
Kık form	B_{ir} / B_{WL}	Kık ayna genişliğinin maksimum su hattı genişliğine oranı	0.75	0.95
	sternTan (°)	Merkez profil eğrisinin kık ayna ile birleşim açısı	87	93
Baş form	i_F (°)	Su hattı giriş açısı	6	16
	stemShift (% L_{WL})	Baş formunun su hattı altında kalan kısmının varyasyonu	-2.73	1.44
	dxMaxSec (% L_{WL})	Maksimum kesit alanına sahip postanın mevcut konumuna göre yer değiştirmesi	-2.16	2.16
Sonardom	$X_{sonarmaxbeam}$ (% L_{WL})	Sonardom maksimum genişliğinin mevcut konumuna göre boyuna yer değiştirmesi	-0.7	1
	$Y_{sonarmaxbeam}$ (% B_{WL})	Sonardom maksimum genişliğinin mevcut duruma göre değişimi	-1.8	1.8
	$X_{sonarfwr}$ (% L_{WL})	Sonardomun uç noktasının mevcut konumuna göre boyuna yer değiştirmesi	-1.4	0.7

5.2. Tekne Formu Seçimi ve Çok Amaçlı Optimizasyon Süreci

Sistematik varyasyon sonucunda oluşturulan tekne formlarından $M=7.75$ grubunda iki F_n değeri için elde edilen toplam direnç değerlerinin eşit ağırlıklı ortalaması minimum olan tekne formunun sonardomlu versiyonu optimize edilmek üzere seçilmiştir. Optimizasyon sürecinde seçilen teknelerin global parametreleri değiştirilmeyecek, yeni belirlenen parametreler ile lokal iyileştirmeler gerçekleştirilecektir.

Tekne formlarının optimize edilmesi için üç farklı amaç fonksiyonu seçilmiştir. Bunlar;

- **Minimize $0.5 \cdot R_{T, F_n=0.251} + 0.5 \cdot R_{T, F_n=0.418}$** (direnç kriteri)
- **Minimize $Vacc_{köprüüstü}$** (denizcilik kriteri)
- **Maksimize KM** (stabilite kriteri)

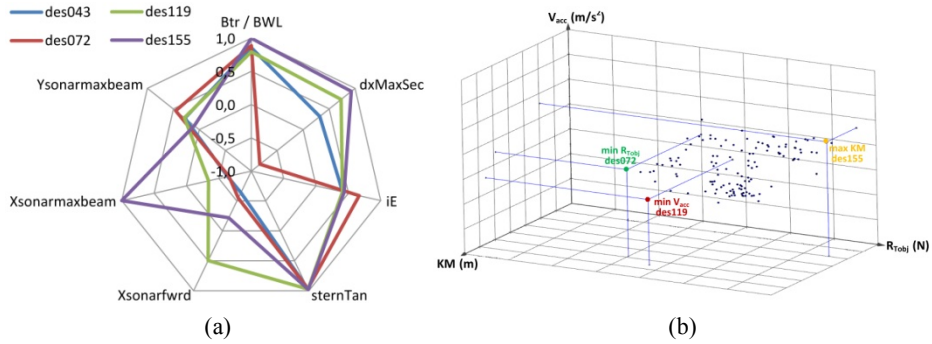
olarak belirlenmiştir. Optimizasyon sürecinde oluşturulacak her bir alternatif tekne formunun hidrostatik, direnç ve denizcilik analizleri de gerçekleştirilmiştir. Çok amaçlı optimizasyon sürecinin sonucunda seçilen tekne formunun lokal olarak iyileştirilmesi sağlanmıştır. Optimizasyon süreci birden fazla amaç fonksiyonu içerdiğinden tek bir optimum sonuç yerine bir optimal sonuçları kümesi elde edilmiştir. Örnek olarak ana tekne formunun deplasman grubu olan $M=7.75$ grubundan seçilmiş YFS-069_Sonardom kodlu tekne formunun optimizasyon sonuçları incelenecektir.

5.3. YFS-069_Sonardom Formunun Optimizasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Optimizasyon sürecinin sonunda değişken parametrelerin değişimi ile 192 yeni alternatif form üretilmiştir. Sonuçlar tek bir amaç bazında incelendiğinde farklı amaç fonksiyonları için aşağıdaki optimum tekneler elde edilmiştir:

- min R_T @ $F_n=0.250$ des043
- min R_T @ $F_n=0.418$ des072
- min R_{Tobj} (eşit ağırlıklı ortalama) des072
- min V_{acc} des119
- max KM des155

Bu formların parametrelerinin değişimi ise Şekil 8.a'da verilmiştir. Grafikteki değerler optimizasyon sonucunda çıkan maksimum değerlere göre normalize edilmiş değerlerdir. Şekil 8.b'de ise optimizasyon sürecinde üretilen tüm alternatif formlar ve optimum tekneler üç boyutlu grafik üzerinde gösterilmiştir.

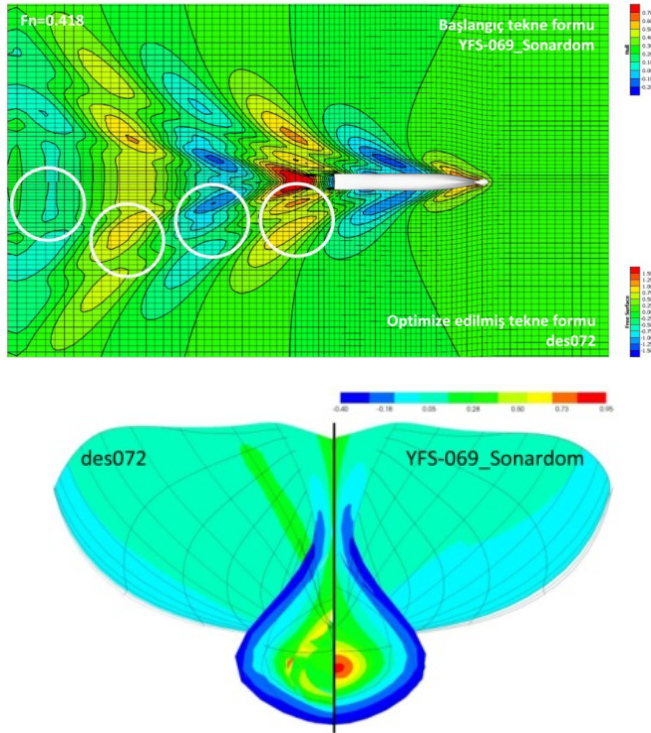


Şekil 8. (a) Tek amaç fonksiyonu için optimum dizaynların parametrelerinin değişimi (b) Alternatif tekne formlarının amaç fonksiyonlarına göre dağılımı

Başlangıç tekne formu ile direnç amaç fonksiyonu açısından optimum tekne olan des072'nin su yüzeyi dalga yüksekliği konturları karşılaştırmalı olarak Şekil 9.a'da gösterilmektedir. Şeklin üst yarısı ana tekne formunu alt yarısı ise optimum tekne formu temsil etmektedir. Şekilden de görülebileceği üzere optimize edilmiş tekne formu daha düzgün bir dalga dağılımına sahip olmakta ve daha düşük yüksekliklerde dalgalar oluşturmaktadır. Şekil 9.b'de ise optimum tekne formu ile başlangıç tekne formunun sonardomları üzerinde basınç katsayısı dağılımları ve potansiyel akım hatları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Çizelge 6'da ise söz konusu tekne formunun optimizasyon öncesi ve sonrası analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 6. YFS-069_Sonardom formunun optimizasyon öncesi ve sonrası analiz sonuçları

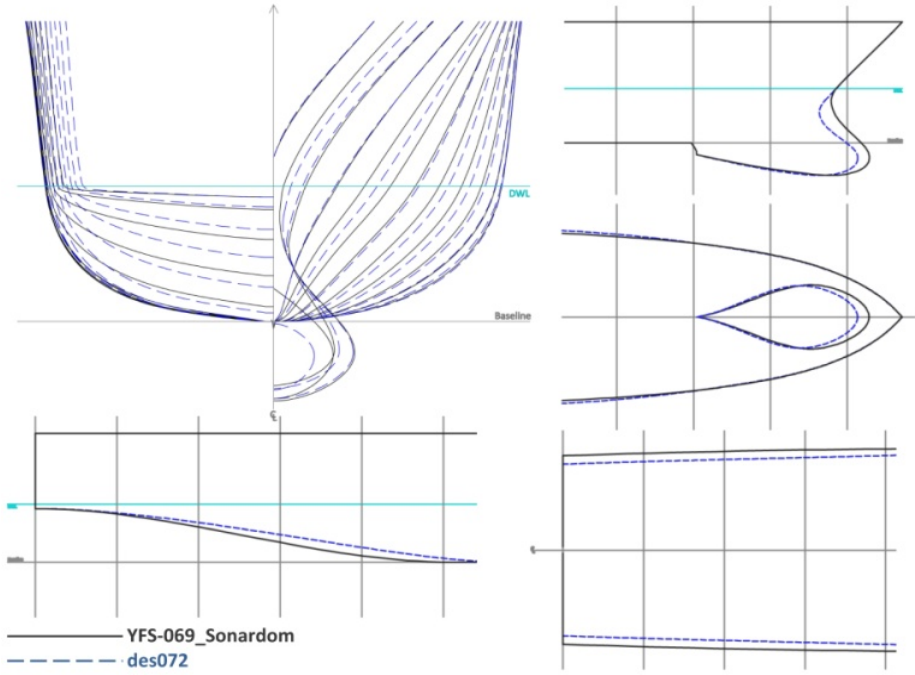
	R_W	R_F	R_T
$Fn=0.250$	35068.66	165752.27	225683.78
$Fn=0.418$	324585.10	409536.24	795551.78
Baş-kıç vurma açısı (°)	Yalpa Açısı (°)		Düşey ivme (m/s^2) Köprüüstü
1.156	10.464		1.316
	R_{Wopt}	R_{Fopt}	R_{Topt}
$Fn=0.250$	26117.36	162324.25	212790.25
$Fn=0.418$	330511.60	371284.12	757488.33
Baş-kıç vurma açısı (°)	Yalpa Açısı (°)		Düşey ivme (m/s^2) Köprüüstü
1.124	8.943		1.307



Şekil 9. YFS-069_Sonardom ile des072 tekne formlarının karşılaştırılması (a) Dalgı yüksekliği dağılımları(b) Basınç katsayısı dağılımları

Çizelge 6'daki analiz sonuçları karşılaştırıldığında optimizasyon sonucunda iki Fn sayısı için elde edilen toplam direnç değerlerinin eşit ağırlıklı ortalamasında %4.8'lik bir iyileşme söz konusu olmaktadır. Buna paralel olarak özellikle yalpa açısında olmak üzere tüm denizcilik değerlerinde de bir azalma söz konusudur.

Şekil 10'da ise başlangıç tekne formu (YFS-069_Sonardom) ile direnç yönünden optimum tekne formunun (des072) geometrilerindeki değişim karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 10. YFS-069_Sonardom ile des072 tekne formlarının geometrilerinin karşılaştırmalı gösterimi

6. SONUÇLAR

Çalışmanın sonucunda otomatik olarak işleyen bir form türetme, analiz ve optimizasyon metodolojisi oluşturulmuştur. Bu kapsamda FRIENDSHIP-Framework adlı yazılım kullanılarak sürecin tüm adımları tek bir çatı altında toplanmıştır. Ana tekne formlarının parametrik olarak modellenmesi bu yazılım içerisinde gerçekleştirilmiş ve belirlenen parametrelerin değişimi ile alternatif tekne formları türetilmiştir. Türetilen her bir tekne formunun HAD analizleri SHIPFLOW yazılımı ile denizcilik analizleri ise MaxSurf/Seakeeper yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Tüm bu yazılımların entegre olarak çalışabilmesi için çeşitli ara kodlar yazılmıştır. Alternatif tekneler arasından örnek olarak seçilen bir tekne formunun çok amaçlı optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyonlar esnasında sistematik varyasyon sürecinde kullanılan global değişkenler sabit tutulmuş, optimizasyon işlemi sisteme yeni eklenen parametrelerin değişimi ile gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon algoritması olarak NSGA II kullanılmış ve başlangıç tekne formundan 192 adet alternatif tekne formu türetilmiştir. Her bir alternatif tekne formunun aynı şekilde direnç ve denizcilik analizleri gerçekleştirilmiş ve belirlenen üç farklı amaç fonksiyonu için optimum tekne formlarından oluşan çözüm kümeleri elde edilmiştir. Optimizasyon sonucunda direnç değerlerinde %5'lik bir iyileştirme daha sağlanmıştır.

Acknowledgments / Teşekkür

Yazar doktora çalışmaları sırasında kendisine destekte bulunan TÜBİTAK'a teşekkür etmektedir.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Janson, C.E., “Shape Optimization of a Simple Hull Form with respect to Total Resistance as Computed by the SHIPFLOW System”, Report No. 1011-2, FLOWTECH Int. AB, Gothenburg, 1992.
- [2] Larsson, L., Kim, K.J., Esping, B. ve Holm, D., “Hydrodynamic Optimization using SHIPFLOW”, PRADS’92-5th International Symposium on Practical Design in Shipbuilding, Newcastle, 1992.
- [3] Janson, C.E., Kim, K.J., Larsson, L., Holm, D. ve Esping, B., “Optimization of the Series 60 Hull from a Resistance Point of View”, Proceedings of the CFD Workshop, 1, Tokyo, 1994.
- [4] Janson, C.E. ve Larsson, L., “A Method for the Optimization of Ship Hulls from a Resistance Point of View”, 21st Symposium on Naval Hydrodynamics, Trondheim, 1996.
- [5] Harries, S. ve Abt, C., “Formal Hydrodynamic Optimization of a Fast Monohull on the Basis of Parametric Hull Design”, FAST1999-5th International Conference on Fast Sea Transportation, Seattle, Washington, 1999.
- [6] Harries, S., “Parametric Design and Hydrodynamic Optimization of Ship Hull Forms”, Ph.D. Thesis, Technical University Berlin, 1998.
- [7] Harries, S., Abt, C., “Parametric curve design applying fairness criteria”, International Workshop on Creating Fair and Shape-preserving Curves and Surfaces, Network Fairshape, Berlin, 1998.
- [8] FRIENDSHIP Systems, FRIENDSHIP-Framework User Guide, Version 2.3.6, Potsdam, 2011.
- [9] NATO Standardization Agreement, STANAG 4154 (Edition 3), Common Procedures for Seakeeping in the Ship Design Process. Document AC/141 (NG6)D/13, NATO Unclassified, 2000.
- [10] Yüksekdağ, K.O., “Su Üstü Savaş Gemilerinde Uygulanan Stabilité Kriterlerinin Karşılaştırmalı İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, 2003.
- [11] Deb K., “A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II”, IEEE Transactions On Evolutionary Computation, 6: 182-197, 2002.
- [12] Sağ, T., “Çok Kriterli Optimizasyon İçin Genetik Algoritma Yaklaşımları”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, 2008.