



Bir Yük Gemisi Formunun Parametrik Olarak Modellenmesi ve Çok Amaçlı Optimizasyonu*

Hasan Timurlek¹, Bekir Şener²

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Mak. Müh. Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6007-9895)

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Mak. Müh. Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1671-5150)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf14)

ATIF/REFERENCE: Timurlek, H., & Şener, B. (2020). Bir Yük Gemisi Formunun Parametrik Olarak Modellenmesi ve Çok Amaçlı Optimizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 105-113.

Öz

Geleneksel gemi tasarım süreci tekne formunun modellenmesi ve sonrasında analiz edilmesi adımlarından oluşmaktadır. Bu iteratif süreç, arzu edilen performans değerleri elde edilene kadar formun genellikle deneme yanılma yoluyla değiştirilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Tasarım süresi tasarımcının bilgi birikimine ve tecrübesine bağlı olup ortaya çıkan sonuç genellikle optimum bir gemi formu olmaktan ziyade beklenen performans değerlerini sağlayabilen bir form olmaktadır.

Bu makalede, yeni nesil gemi tasarım yöntemlerinden biri olan Simülasyon Yönetimli Tasarım yaklaşımı kullanılarak gemi formu optimizasyonuna yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Buna yönelik olarak CAESSES adlı yazılım kullanılarak tam parametrik olarak modellenmiş olan gemi formu NSGA-II genetik algoritması kullanılarak direnç, denizcilik ve kargo hacmi amaç fonksiyonlarını optimize edecek şekilde modifiye edilmiş ve 160 farklı tekne formu türetilmiştir. Bu formlardan stabilite kriterlerine uymayanlar elenerek elverişli formlar ile Pareto-Optimal çözüm kümesi oluşturulmuştur. Çözüm kümesi içindeki formlar farklı önem derecelerine sahip senaryolara göre değerlendirilmiş ve optimum olarak belirlenen formlar başlangıç formu ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Parametrik Modelleme, Çok Amaçlı Optimizasyon, Gemi Dizaynı, Bilgisayar Destekli Tasarım

Parametric Modelling and Multi-Objective Optimization of a Cargo Ship Form

Abstract

Traditional ship design process consists of modeling and analyzing the ship form. This iterative process generally occurs in the way of changing the form by trial and error until the desired performance values are achieved. The design time depends on the knowledge and experience of the designer and the result is generally a form that can provide expected performance values rather than an optimum ship form.

In this article, a study on optimization of ship form was carried out by using the Simulation Driven Design approach, which is one of the new generation ship design methods. For this purpose, a fully-parametric ship hull form modeled using the software named CAESSES was modified to optimize the hull form according to resistance, seakeeping and cargo volume objective functions using the NSGA-II genetic algorithm and 160 alternative hull forms were derived. Pareto-Optimal solution set was created with suitable forms by eliminating the hull forms that not provide the stability criteria. The hull forms in the solution set were evaluated according to scenarios with different severity levels and the optimum hull forms were compared with the initial hull form.

Keywords: Parametric Modeling, Multi-Objective Optimization, Ship Design, Computer Aided Design

* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

1. Giriş

Bir teknenin hidrodinamik performansını etkileyen en önemli etken tekne formudur. Ön tasarım aşamasında tekne ana boyutlarının uygun şekilde belirlenmesi hidrodinamik performansın iyileştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra piyasada rekabetçi olabilmek açısından tasarım süreçlerinin verimli ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Geleneksel gemi tasarım süreci tekne formunun modellenip devamında analiz edilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Eğer analiz sonuçları tatmin edici değilse arzu edilen performans değerleri elde edilene kadar tekne formu iteratif şekilde değiştirilir. Ortaya çıkan form genellikle optimum bir form olmaktan ziyade beklenen performans değerlerini sağlayan bir form olmaktadır. Bu şekildeki bir tasarım süreci yavaş ve verimsiz olup rekabetçi olmaktan uzaktır(Sener, 2016).

Son yıllarda araştırmacılar, ön tasarım aşamasının hızını ve verimini artırmak için Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT), hidrodinamik analiz süreçlerinin entegre ve eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesi üzerine bir çok çalışma yapmıştır(Huang & Yang, 2016; Lin, He, & Li, 2018; Lin, Yang, & Guan, 2019; Sener & Yıldırım, 2018; Yu, Lee, Lee, & Choi, 2017). Harries isimli araştırmacı(Harries, 1998), tekne formunu oluşturan eğri ve yüzeyleri birçok form parametresine bağlı olarak modelleyerek tekne formlarının geometrik modellenmesine yeni bir yaklaşım getirmiş olup, BDT ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizlerinin efektif bir şekilde entegrasyonu için yeni bir yaklaşım ortaya çıkarmıştır. Bu yaklaşım ile form parametreleri üzerinde yapılan bir değişiklik, topolojiyi değiştirmeden tüm tekne formu üzerinde değişime sebep olmaktadır. Benzer çalışmalar sonucunda yeni bir tasarım konsepti ortaya çıkmıştır: Simülasyon Yönetimli Tasarım (SYT). Geleneksel yaklaşım sadece tasarım uzayını örneklemeye ve örneklerin içinden en iyisini seçmeye hizmet ederken SYT yaklaşımı ile tekne tasarım sürecinde yapılan eşzamanlı analizler sayesinde form parametrelerinin tekne performansı üzerindeki etkileri tespit edilerek formun beklenen tasarım isteklerine göre şekillendirilmesi sağlanmaktadır. Sonuç olarak başlangıç tekne formundan çok sayıda alternatif tekne türetilmesi ve aralarından en uygun formun seçilebilmesi mümkün olmaktadır.

Bu makalede, Simülasyon Yönetimli Tasarım yaklaşımı kullanılarak belirli tipte bir gemi formu için çok amaçlı optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Buna yönelik olarak öncelikle CAESES yazılımında tam parametrik olarak modellenmiş olan bir yük gemisi formu ele alınmış ve form belirlenen parametrelere göre düzenlenmiştir. Öncelikli amaç belli boyut ve stabilite kısıtlarına uygun olacak şekilde kargo hacmini maksimize edecek ve aynı zamanda direnç ve düşey ivme değerlerini minimize edecek gemi formunu elde edebilmektir. Buna yönelik olarak Bastırılmamış Sınıflandırılmalı Genetik Algoritma II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm, NSGA-II) genetik algoritması kullanılarak 160 alternatif tekne formu türetilmiştir. Tüm form türetme ve optimizasyon prosesi CAESES yazılımı tarafından otomatik olarak işleyecek şekilde tasarlanmıştır. Direnç ve denizcilik analizleri sırasıyla Maxsurf Resistance ile Maxsurf Motions yazılımlarının sisteme entegrasyonu ile sağlanırken kargo hacmi hesabı CAESES'te geliştirilen parametrik yöntem ile yapılmıştır. Türetilen alternatif formlardan stabilite kriterlerine uymayanlar elenerek elverişli formlar ile Pareto-Optimal çözüm kümesi oluşturulmuştur. Çözüm kümesi içerisindeki formlar farklı önem derecelerine sahip 4 farklı senaryoya göre değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çok amaçlı tekne formu optimizasyon yöntemi 3 ana aşamadan oluşmaktadır: Ön tasarım ve kısıtların belirlenmesi, parametrik modelleme, analizler ve çok amaçlı optimizasyon.

2.1. Ön Tasarım ve Kısıtların Belirlenmesi

Bir gemi tasarımı sürecinde ilk belirlenmesi gereken konu tasarım istekleri ve kısıtlarıdır. Tasarımı yapılacak gemi tipine göre baskın olan istekler ve kısıtlar değişkenlik gösterir. Bu çalışmada 48000 DWT'luk bir yük gemisinin form optimizasyonu çalışması yapılmasına karar verilmiştir. Başlangıç tekne formunun ana boyutları Tablo 1'de verildiği gibidir.

Tablo 1 Başlangıç Tekne Formunun Ana Boyutları

Açıklama	Değerler
Dikmeler Arası Boy, L_{BP} (m)	180
Maksimum Genişlik, B_{max} (m)	30
Draft, T (m)	12,8
Derinlik, D (m)	18
Deplasman, Δ (ton)	60413
Kargo Hacmi, V_{kargo} (m ³)	55000
DWT (ton)	48000

Ana tekne formundan türetilen alternatif tekne formlarının hedef isteklere uygun olması ve anlamlı bir şekilde karşılaştırılabilmesi için bazı kısıtlar belirlenmiştir. Gemi boyunun ve genişliğin belirlenen alt ve üst sınırlar arasında değişimine izin verilmiş olup draft değeri sabit tutulmuştur. Türetilen teknelerin deplasmanın başlangıç teknesinin deplasmanına yakın olması için deplasman kısıtlaması konmuştur. Ayrıca tüm alternatif teknelerin başlangıç stabilite hesaplamaları yapılarak kriterlere uygunluğu kontrol edilmiş ve uymayan tekneler çözüm kümesinden elenmiştir. Çalışmada kullanılan deplasman ve stabilite kısıtları Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2 Çalışmada Kullanılan Kısıtlar

Kısıtlar	Değerler
Deplasman Alt Sınırı	58600 ton (-%3)
Deplasman Üst Sınırı	62200 ton (+%3)
Başlangıç GM değeri	$\geq 0,15$ m
GZ- Φ eğrisi altında kalan alan;	
0°-30° arasında	$\geq 0,055$ m.rad
0°-40° arasında	$\geq 0,09$ m.rad
30°-40° arasında	$\geq 0,03$ m.rad

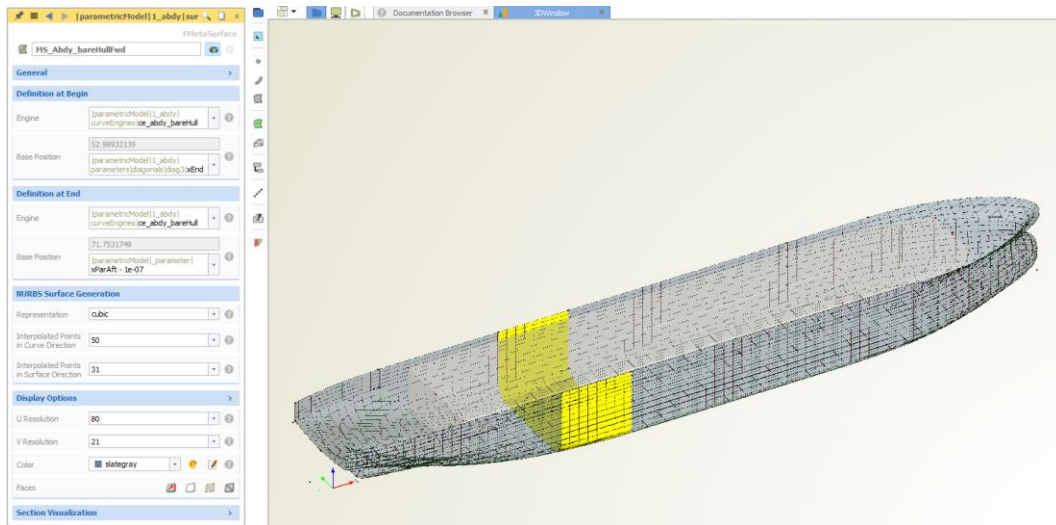
2.2 Parametrik Modelleme

Geometrik modelleme yöntemleri en genel manada geleneksel modelleme, kısmi parametrik modelleme ve tam parametrik modelleme olarak sınıflandırılabilir. Bu çalışmada tekne formu tam parametrik olarak modellenmiştir. Tam parametrik modelleme yönteminde tüm geometri sabit ve değişken parametreler tarafından kontrol edilmektedir. Parametreler, bir modelin fonksiyonel karakteristiklerini yansıtan yüksek düzey tanımlayıcılardır. Değişkenler ise parametrelerin değişiminden etkilenen ve şekillenen değerlerdir.

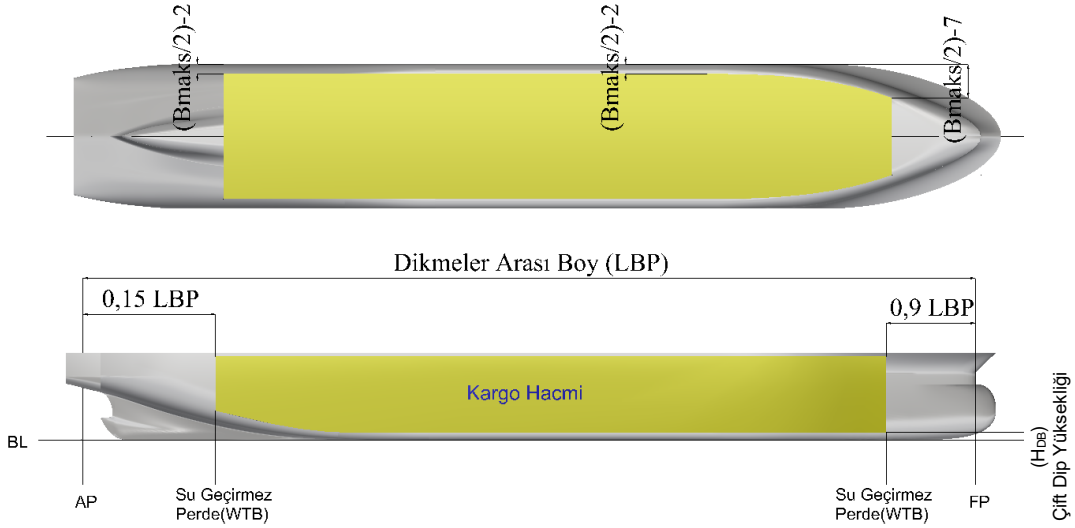
Global optimizasyon sürecinde, tekne form geometrisinin belirli parametrelere göre değiştirilmesi gerekir. Bu süreç optimizasyon döngüsünde son derece önemli bir yer tutar. Tekne formunun çeşitli parametrelere göre modellenmesini üzerinde ilk çalışmalar Nowacki vd. (H., C., & C., 1977) tarafından yapılmış ve sonrasında diğer araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. 1998 yılında Harries yapmış olduğu çalışmalar sonucunda gemi formunun parametrik olarak modellenmesini ve BDT ile HAD yöntemlerinin entegre kullanılabilmesi için yeni bir yöntem geliştirmiştir.

Harries ve Abt'ın (Harries & Abt, 1999) geliştirdikleri CAESSES (eski adı ile Friendship-Framework) adlı yazılım ile tekne formlarının parametrik modellenmesi ve sistematik varyasyonu mümkün hale gelmiştir. Yazılım bir çok analiz programı ile entegre olarak çalışabilmektedir ve ayrıca içinde bir çok optimizasyon algoritması dahili olarak bulunmaktadır. Programın getirdiği başka bir yenilik ise F-spline adı verilen bir eğri çeşididir. F-spline, düzgünlük için optimize edilmiş bir eğridir ve bir başlangıç ve bir bitiş noktası ile bu noktadaki teğet açılarıyla tanımlanmaktadır. F-spline eğrileri kullanılarak oluşturulan yüzeyler sayesinde parametrelerde yapılacak değişiklik ile tekne yüzeyi bozulmadan değiştirilebilmektedir.

Çalışma kapsamında tekne formu tam parametrik olarak oluşturulmuş (Şekil 1) ve kargo hacmi de yine tekne yüzeyinin bağlı olduğu parametrelere bağlı olacak şekilde modellenmiştir (Şekil 2). Böylelikle tekne formu değişikçe kargo hacminde gerçekleşen değişim hesaplanabilecektir.



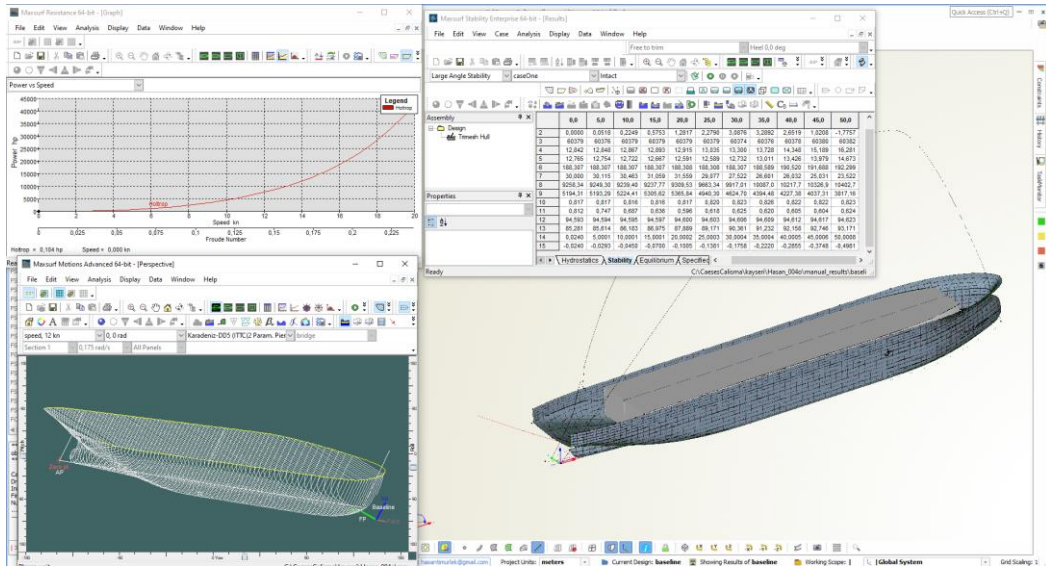
Şekil 1 Parametrik Tekne Formu



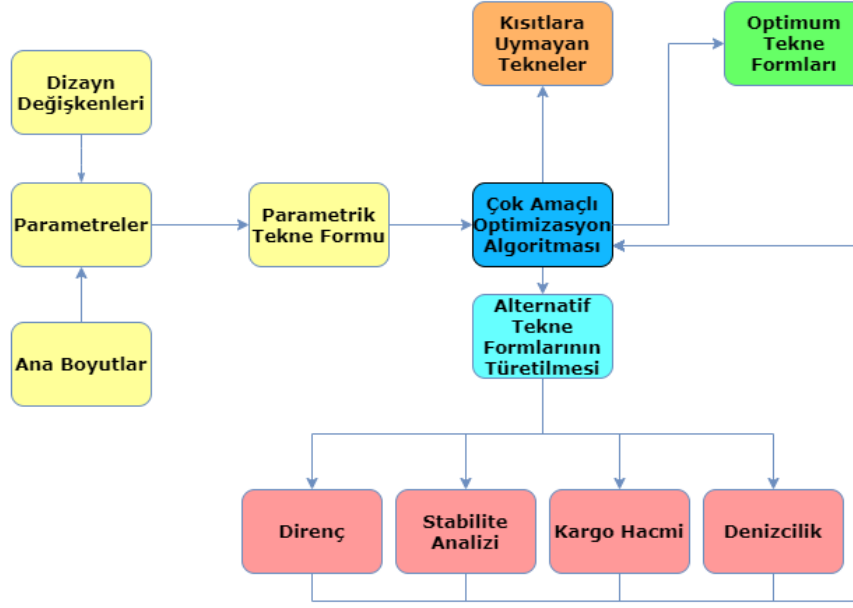
Şekil 2 Kargo Hacmi Parametreleri

2.3 Çok Amaçlı Optimizasyon

Tüm optimizasyon süreci CAESES tarafından otomatik olarak kontrol edilmekte ve işletilmektedir (Şekil 3). Optimizasyon sürecinin akış şeması Şekil 4’de gösterilmektedir.



Şekil 3 CAESES Tarafından Yönetilen Optimizasyon Süreci



Şekil 4 Optimizasyon Süreci Akış Şeması

Direnç analizlerini gerçekleştirmek için Maxsurf-Resistance modülü sisteme entegre edilmiştir. Türetilen tüm teknelerin direnç analizleri Tablo 3'te verilen özelliklere göre gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3 Direnç Analizinde Kullanılan Veriler

Yazılım	Maxsurf Resistance
Metot	Holtrop
Hız	12 knot (servis hızı)
Genel Sevk Verimi	%55
Draft, T(m)	12,8

Denizcilik analizleri Deniz Durumu 5'te (DD5) teknenin servis hızında seyrederken dalgayı 5 farklı açıdan (0°, 45°, 90°, 135°, 180°) alma durumuna göre yapılmıştır. Denizcilik hesaplamalarında genel olarak en büyük ivme değerleri baştan gelen dalgalarda oluşan düşey ivmelenmeler olarak bilinmektedir. Bu senaryoda düşük düşey ivme değerleri gösteren teknelerin diğer durumlarda da daha düşük ivmelenmeler göstereceği söylenebilir(Kükner & Sariöz, 1995). Bu nedenle, tüm alternatif teknelerin baştan gelen dalgalarda köprüüstünde gerçekleşen düşey ivme değerleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Denizcilik analizlerinde kullanılan veriler Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4 Denizcilik Analizinde Kullanılan Veriler

Yazılım	Maxsurf Motions
Analiz Tipi	Dilim Teorisi
Karakt. Dalga Yüksekliği	3,25 m
Modal Periyot	9,078 s
Dalga Spektrumu	Karadeniz / 2-parametre Bretschneider
VCG	12,6 m
Hız	12 knot (Servis Hızı)
Analiz Konumu (x,y,z)(m)	20, 0, 30 (AP'ye göre)

Çok amaçlı optimizasyon sürecinde, hızlı ve daha iyi yakınsama yapan NSGA II algoritması tercih edilmiştir(Deb, Pratap, Agarwal, & Meyarivan, 2002). NSGA II'nin ana döngüsünde ilk aşamada rasgele bir şekilde P0 ebeveyn popülasyonu oluşturulur ve popülasyon bireylerin Pareto üstünlüklerine dayalı olarak sıralanır. Her bir çözümün uygunluğu, kendi bastırılmamışlık seviyesine eşit olarak atanır (1 en iyi seviye, 2 ikinci en iyi seviye ve benzer şekilde). Bu yüzden uygunluğun minimizasyon kullandığı varsayılır.

Daha sonra, doğal ikili turnuva seçimi, yeniden birleşme ve mutasyon işlemcileri, N boyutlu Q0 popülasyonunun bireylerini oluşturmak için ebeveyn popülasyona uygulanır. Seçkinlik işlemi ise, önceki en iyi bastırılmamış çözümler ile mevcut popülasyon karşılaştırarak gerçekleştirilecektir. Bu yüzden, başlangıç jenerasyonundan sonra prosedür farklı bir şekilde işler(Sener, 2012).

Çalışmada kullanılan dizayn değişkenlerinin alt ve üst sınırları Tablo 5'teki gibidir. Yapılan çalışmada, bir dökme yük gemisinin çok amaçlı optimizasyonunu gerçekleştirmek üzere belirlenen 3 amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

- Servis hızındaki direncin minimize edilmesi (min $RT@12kn$)
- Köprüüstündeki düşey ivmenin minimize edilmesi (min $Vacc$)
- Kargo hacminin maksimize edilmesi (maks $Vkargo$)

Tablo 5 Optimizasyon Aşamasında Kullanılan Dizayn Değişkenleri

Parametre	Sembol	Alt Sınır	Üst Sınır
Dikmeler Arası Boy	LBP	170	200
Maksimum Genişlik	B_{max}	28	32,2

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu makalede, NSGA II algoritması kullanılarak yapılan optimizasyon sürecinde 160 adet alternatif form türetilmiştir. Bu formlardan 112 adedi mevcut kısıtları sağlamış olup 48 adet tekne formu kısıtlara uygunluk göstermediği için elenmiştir.

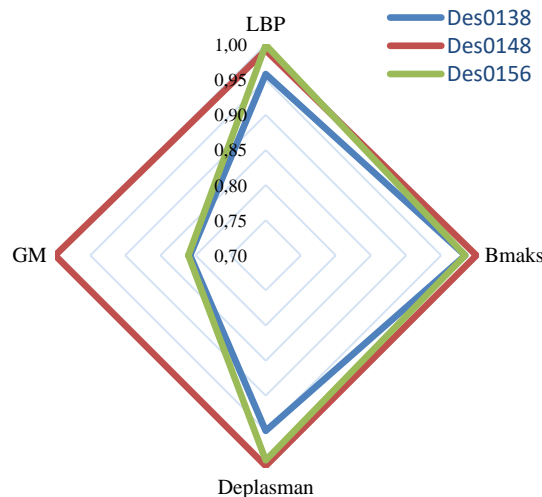
Her bir amaç fonksiyonunu için en iyi değerleri veren tasarımlar aşağıdaki gibi tespit edilmiştir. Bu tasarımların söz konusu amaç fonksiyonuna ait değerlerinin başlangıç teknesi ile karşılaştırılmış değerleri ise Tablo 6'da gösterilmektedir.

- min $RT@12kn$ des138
- min $Vacc$ des148
- maks $Vkargo$ des156

Tablo 6 Her Amaç Fonksiyonu İçin Tespit Edilmiş En İyi Formlar

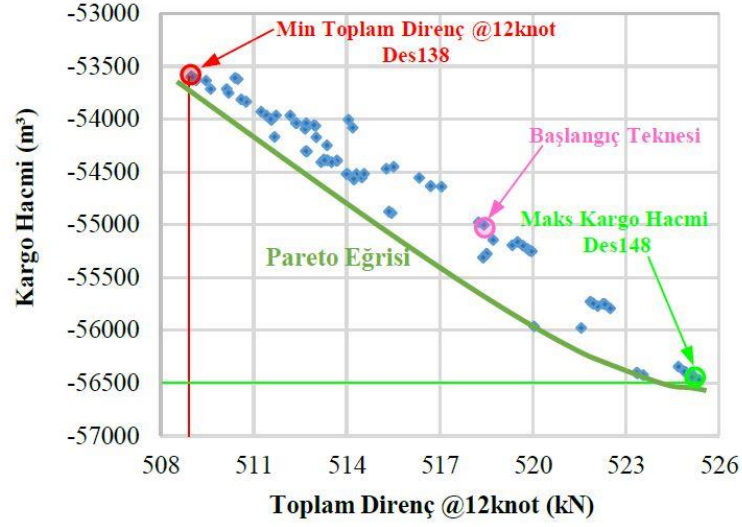
	Başlangıç Formu	Des138	Değişim %
$R_T@12kn$	518,43 kN	508,9 kN	~2
V_{kargo}	55000 m ³	56468 m ³	~2,7
V_{acc}	0,1083 m/s ²	0,1034 m/s ²	~4,5

Tespit edilen optimum formların parametrelerinin değişimi ve deplasman, GM değerleri Şekil 5'te verilmektedir.

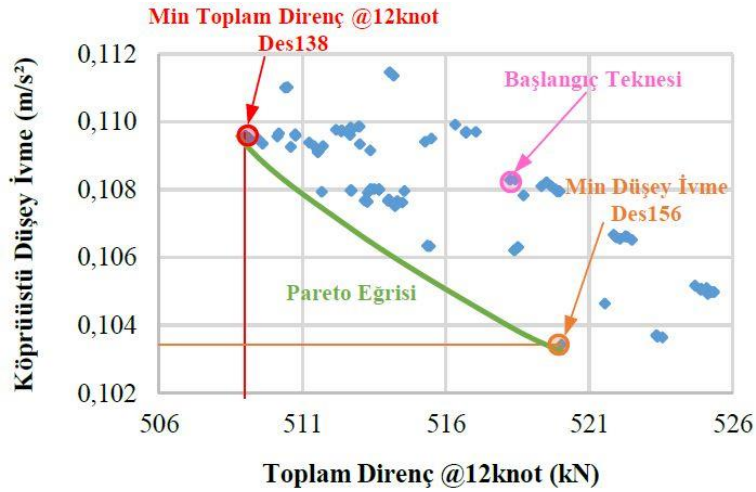


Şekil 5 Tek Amaç Fonksiyonu İçin En İyi Formların Parametre Değişimi

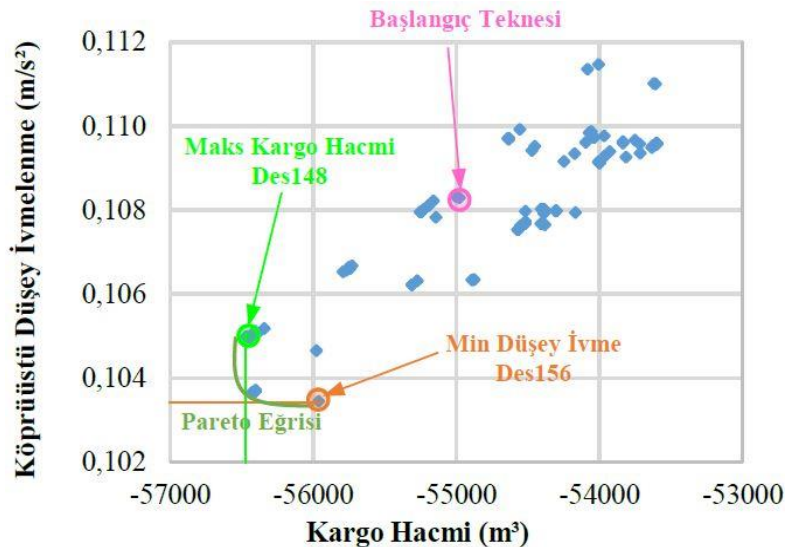
Optimum teknelerin daha kolay belirlenebilmesi amacıyla amaç fonksiyonlarının ikili karşılaştırması yapılarak Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Grafiklerde her bir amaç fonksiyonunu minimize eden tasarımlar ve optimum form kümesini belirten Pareto eğrileri de gösterilmektedir. Optimizasyon algoritması fonksiyonu minimize etmek üzere çalıştığı için maksimize edilmek istenen kargo hacmi değeri sisteme '-' olarak tanımlanmıştır.



Şekil 6 Kargo Hacmi – Toplam Direnç Grafiği



Şekil 7 Köprüüstü Düşey İvme- Toplam Direnç Grafiği



Şekil 8 Köprüüstü Düşey İvme - Kargo Hacmi Grafiği

Grafiklerde gösterilmiş olan Pareto eğrisi iki amaç fonksiyonuna göre optimal tasarım kümesini belirtmektedir. Tasarımcı bu iki amaç fonksiyonun önem derecesini belirleyerek optimal çözüm kümesinden uygun olan formu belirleyebilecektir.

Tüm amaç fonksiyonlarına göre optimum bir form seçilebilmesi için her bir amaç fonksiyonunun önem dereceleri değiştirilerek 4 farklı senaryo oluşturulmuştur. Amaç fonksiyonu değerlerinin normalizasyonu yapılarak 4 senaryo için 4 adet optimum tekne formu belirlenmiştir. Senaryolar ve amaç fonksiyonlarının ağırlıkları Tablo 7’de verilmektedir.

Tablo 7 Amaç Fonksiyonlarının Önem Derecelerine Göre Oluşturulan Senaryolar

	Senaryo1	Senaryo2	Senaryo3	Senaryo4
$R_T@12kn$	%33,3	%40	%40	%20
V_{kargo}	%33,3	%40	%20	%40
V_{acc}	%33,3	%20	%40	%40

Normalize edilen sonuçların senaryolarda belirlenen ağırlıklara göre ortalaması alınarak Tablo 8’de belirtilmiş olan optimum formlar elde edilmiştir.

Tablo 8 Senaryolara Göre Optimum Formlar

Senaryo	Optimum Form	Normalize Değer	Başlangıç Değeri	İyileşme %
Senaryo1	Des041	0,96697	1	~3,3
Senaryo2	Des138	0,96379	1	~3,6
Senaryo3	Des156	0,96535	1	~3,5
Senaryo4	Des156	0,96557	1	~3,4

4. Sonuç

Bu makalede, bir yük gemisi formunun SYT yaklaşımı ile çok amaçlı optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon çalışmasındaki öncelikli amaç belli boyut ve stabilite kısıtlarına uygun olacak şekilde kargo hacmini maksimize edecek ve aynı zamanda direnç ve düşey ivme değerlerini minimize edecek gemi formunu elde edebilmektir. Bu amaca yönelik olarak tam parametrik olarak modellenmiş olan başlangıç gemi formundan NSGA-II genetik algoritması kullanılarak direnç, denizcilik ve kargo hacmi amaç fonksiyonlarını optimize etmeye yönelik 160 farklı tekne formu türetilmiştir. Bu formlardan stabilite kriterlerine uymayanlar elenerek, elverişli formlar ile Pareto-Optimal çözüm kümesi oluşturulmuştur. Çözüm kümesi içindeki formlar farklı önem ağırlıklarına sahip senaryolara göre değerlendirilmiş ve optimum olarak belirlenen formlar başlangıç formu ile karşılaştırılmıştır. Tüm senaryolarda %3 ile %4 arası bir iyileşme elde edilmiştir.

Ön tasarım sürecinde en uygun gemi boyutlarını tespit edebilmek amacıyla gerçekleştirilen optimizasyon sürecinin kısa sürede tamamlanabilmesi adına direnç analizleri ampirik yöntemlere dayalı bir çözücü ile hesaplanmıştır. Kıyaslama yapabilmek için bu sonuçlar yeterli olsa da direnç değerlerinin hassas olarak hesaplanabilmesi için viskoz çözüm yapan yazılımlar kullanılabilir. Ayrıca global form optimizasyonu sonrasında elde edilen optimum formların kısmi parametrik yöntemlerle lokal optimizasyonlarının da yapılması ile formun hidrodinamik performansı daha da iyileştirilebilir.

Kaynakça

- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 182–197. <https://doi.org/10.1109/4235.996017>
- H., N., C., C., & C., M. F. (1977). Ship Lines Creation by Computer - Objectives, Methods and Results. *Symposium on Computer-Aided Hull Surface Definition*. Annapolis, MD, USA.
- Harries, S. (1998). *Parametric Design and Hydrodynamic Optimization of Ship Hull Forms*. Ph.D. Thesis, Technical University of Berlin.
- Harries, S., & Abt, C. (1999). Parametric Design and Optimization of Sailing Yachts. *14th Chesapeake Sailing Yacht Symposium*. Annapolis, MD, USA.
- Huang, F., & Yang, C. (2016). Hull form optimization of a cargo ship for reduced drag. *Journal of Hydrodynamics*, 28(2), 173–183. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(16\)60619-4](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(16)60619-4)
- Kükner, A., & Sariöz, K. (1995). High speed hull form optimisation for seakeeping. *Advances in Engineering Software*, 22(3), 179–189. [https://doi.org/10.1016/0965-9978\(95\)00016-P](https://doi.org/10.1016/0965-9978(95)00016-P)

- Lin, Y., He, J., & Li, K. (2018). Hull form design optimization of twin-skeg fishing vessel for minimum resistance based on surrogate model. *Advances in Engineering Software*, 123(April), 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2018.05.010>
- Lin, Y., Yang, Q., & Guan, G. (2019). Automatic design optimization of SWATH applying CFD and RSM model. *Ocean Engineering*, 172(November 2018), 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.11.044>
- Sener, B. (2012). Fırkateyn Tipi Tekne Serisi Geliştirilmesi Ve Hidrodinamik Form Optimizasyonu. Ph.D. Thesis Yildiz Technical University.
- Sener, B. (2016). Parametric Design of A Surface Combatant For Simulation-Driven Design And Hydrodynamic Optimization. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, (12), 125–129.
- Sener, B., & Yildirim, M. E. (2018). Bulbous Bow Optimization of KCS in Terms of Partially. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, (8), 47–51.
- Yu, J.-W., Lee, C.-M., Lee, I., & Choi, J.-E. (2017). Bow hull-form optimization in waves of a 66,000 DWT bulk carrier. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 9(5), 499–508. <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2017.01.006>