

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**GEMİ DİZAYNINDA OPTİMİZASYON VE UYGULAMA
ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CANSU AKSU

BALIKESİR, ARALIK - 2013

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**GEMİ DİZAYNINDA OPTİMİZASYON VE UYGULAMA
ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CANSU AKSU

BALIKESİR, ARALIK - 2013

KABUL VE ONAY SAYFASI

Cansu AKSU tarafından hazırlanan “**GEMİ DİZAYNINDA OPTİMİZASYON VE UYGULAMA ÖRNEĞİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 24.12.2013 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Ramazan YAMAN



Üye
Yrd. Doç. Dr. A. Deniz KARAOĞLAN



Üye
Yrd. Doç. Dr. Fırat EVİRGEN



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Cihan ÖZGÜR

.....

ÖZET

GEMİ DİZAYNINDA OPTİMİZASYON VE UYGULAMA ÖRNEĞİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
CANSU AKSU
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. RAMAZAN YAMAN)

BALIKESİR, ARALIK - 2013

Dizayn ve Optimizasyon birbirleriyle alakalı iki önemli konu olup önceliğin hangisinde olması gerektiğini problemin sahibi belirler. Buna bağlı olarak birçok mühendislik problemi iki başlı olup, bunun için önce tasarlayıp sonrasında optimize etme süreci veya optimize edilmiş parametrelerin tasarımda dikkate alınması şeklinde iki farklı yol izlenebilir.

Bu problem yapısına veya tasarım sürecine uygun olan deniz araçlarının temel parametrelerinin oluşturma süreci bu çalışmanın esasını oluşturmaktadır. Çalışma, belirli bir amaca yönelik bir yük gemisinin temel tasarım parametrelerinin oluşturulması sürecini kapsamakta ve bir model üzerinde örneklenmektedir.

Çalışmada, çok kriterli mühendislik problemlerini doğru ifade etmek ve çözmek amacıyla Parametre Uzayı Araştırma Yöntemi (PSI) kullanılmaktadır. PSI Yöntemi, MOVI (Çok Kriterli Optimizasyon ve Vektör Belirleme) adlı programda uygulanmaktadır. Çalışmada, Capesize dökme yük gemisinin dizayn optimizasyon modeli PSI yöntemi kullanılarak incelenmektedir.

Çalışma, ihtiyaç duyulan beklentileri karşılayacak parametreleri oluşturmakla başlayıp (MOVI) aracılığı ile optimize ederek gemi dizayn modelinin optimum dizayn parametrelerini belirler.

ANAHTAR KELİMELEER: Çok Kriterli Optimizasyon ve Vektör Belirleme, Parametre Uzayı Araştırma, Gemi Dizaynı ve Optimizasyonu.

ABSTRACT

**SHIP DESIGN OPTIMIZATION AND CASE STUDY
MSC THESIS
CANSU AKSU
BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
INDUSTRIAL ENGINEERING
(SUPERVISOR:PROF. DR. RAMAZAN YAMAN)**

BALIKESİR, DECEMBER 2013

Design and Optimization are two key issues related to each other and the problem owner determines which has the priority over the other. Accordingly, since many problems are two-headed two different approaches that can be used, either designing comes before optimization process or optimized parameters can be considered during the design process.

Generating the fundamental parameters of marine vessels which is appropriate to this kind of problem structure and design is the main concern of this study. This study includes the process of establishing the basic design parameters of a bulk carrier that is built for a particular purpose, and exemplified on a model.

Parameter Space Investigation (PSI) Method which states and solves multicriteria engineering problem correctly is used in this study. The PSI method is implemented in MOVI (Multicriteria Optimization and Vector Identification) software package. Capesize bulk carrier design optimization model is investigated by using PSI method in this study.

The study begins with creating the parameters that are needed to meet the expectations, and determines optimum design parameters of ship design model by optimizing through a software (MOVI).

KEYWORDS: Multicriteria Optimization Vector Identification, Parameter Space Investigation, Ship Design and Optimization.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
KISALTMALAR LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
2. GEMİ TİPLERİ VE ÖZELLİKLERİ	2
2.1 Kullanılış Amaçlarına Göre Gemilerin Sınıflandırılması.....	5
2.2 Dökme Yük Taşımacılığı	7
2.3 Dökme Kuru Yük Taşımacılığı	9
2.4 Kuru Dökme Yük Gemileri	10
2.5 Katı ve Sıvı Dökme Yük Taşıyan Gemiler.....	13
2.6 Sıvı Dökme Yük Taşıyan Gemiler (Tankerler)	13
2.7 Dökme Yük Taşıyan Başlıca Gemi Tipleri	13
3. GEMİ GEOMETRİSİ VE TEMEL TANIMLAR	16
3.1 Geminin Büyüklüğü	16
3.1.1 Geminin Ağırlığı.....	16
3.1.2 Geminin Hacimsel Kapasitesi.....	17
3.2 Ana Boyutlar	18
3.2.1 Gemi Elemanları	20
3.2.2 Gemi ile İlgili Terimler	21
3.2.3 Gemi Geometrisi	22
3.3 Tekne Form Katsayıları.....	25
4. GEMİ DİZAYNI	30
4.1 Dizaynın Aşamaları	32
4.2 Geminin Elde Edilme Aşamaları.....	32
4.3 Gemi Dizayn Yaklaşımları	34
5. OPTİMİZASYON	40
5.1 Formülasyonu	40
5.2 Optimizasyon Modellerinin Sınıflandırılması.....	41
5.3 Çok Kriterli Optimizasyon	42
5.3.1 Pareto Optimal Kavramı	43
5.4 Çok Kriterli Optimizasyon Problemleri	44
6. GEMİ DİZAYNINDA OPTİMİZASYON	45
6.1 Optimizasyon Yöntemi.....	47
6.2 Parametre Uzayı Araştırma Yöntemi	48
6.3 MOVI ile Çok Kriterli Optimizasyon	52
6.4 Capesize Dökme Yük Geminin Matematiksel Modeli	53
6.4.1 Sabit Değerler ve Parametreler	54
6.4.1.1 Hesaplama Faktörleri	54
6.4.1.2 Makine Veritabanı.....	54
6.4.1.3 Güç Parametreleri.....	55

6.4.1.4	Maliyet Parametreleri.....	55
6.4.1.5	Sabitler	56
6.4.2	Optimizasyon Problemi	57
6.4.2.1	Dizayn Değişkenleri.....	57
6.4.2.2	Fonksiyonel Bağıntılar	57
6.4.2.3	Sözde Kriterler	57
6.4.2.4	Kriterler (Performans Kriterleri)	58
6.4.3	Kısıtlar	58
6.4.3.1	Dizayn Değişkeni Kısıtları.....	58
6.4.3.2	Fonksiyonel Kısıtlar	59
6.4.3.3	Sözde Kriter Kısıtları	59
6.4.3.4	Kriter Kısıtları (Performans Kriterleri Kısıtları)	60
6.4.4	Prototip.....	60
6.5	Capesize Dökme Yük Gemisinin Çok Kriterli Optimizasyonu	60
6.5.1	Birinci Tur Optimizasyon	67
6.5.2	İkinci Tur Optimizasyon	74
6.5.3	Üçüncü Tur Optimizasyon.....	81
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER	95
8.	KAYNAKLAR.....	99

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Geminin genel görünümü.....	20
Şekil 3.2: Gemi ana elemanları.....	20
Şekil 3.3: Genel geometrik tanımlar.....	22
Şekil 3.4: Geminin genişlik, derinlik, draft ve freebord gösterimi.....	24
Şekil 3.5: Tekne narinlik katsayısı (blok katsayısı).....	26
Şekil 3.6: Blok katsayısının Yük kapasitesi / Deplasman oranına göre gemiler.....	27
Şekil 4.1: Bir geminin elde edilme aşamaları.....	32
Şekil 4.2: Maliyet-etkinlik tasarım uzayı.....	35
Şekil 4.3: Tasarım akış diyagramı.....	36
Şekil 4.4: Spiral tasarım (kısa gösterim).....	36
Şekil 4.5: Evans spiral model.....	37
Şekil 4.6: Sistematik tasarım yaklaşımı.....	39
Şekil 4.7: Eşzamanlı mühendislik tasarımı.....	39
Şekil 5.1: Bastırılmamış çözümler (kapalı çemberler) ve bastırılmış çözümler (açık çemberler).....	44
Şekil 6.1: Dizayn ve optimizasyon süreci.....	45
Şekil 6.2: Spiral modelde eşzamanlı tasarım.....	45
Şekil 6.3: Paralelkenar prizma (Parallelepiped).....	49
Şekil 6.4: Fonksiyonel kısıtların uygulanmasından sonra oluşan altküme G.....	49
Şekil 6.5: Kriter kısıtlarından sonra oluşan uygun çözüm kümesi D.....	50
Şekil 6.6: Pareto optimal küme.....	51
Şekil 6.7: MOVI 1.4 ve model arasında veri değişimi.....	53
Şekil 6.8: Veri girişi (yeni görev) arayüzü.....	61
Şekil 6.9: Veri girişi (model ekleme) arayüzü.....	61
Şekil 6.10: Görev düzenleme arayüzü.....	62
Şekil 6.11: Görev düzenleme (dizayn değişkenleri) arayüzü.....	63
Şekil 6.12: Görev düzenleme (fonksiyonel kısıtlar) arayüzü.....	64
Şekil 6.13: Görev düzenleme (kriterler) arayüzü.....	65
Şekil 6.14: Prototip değerler arayüzü.....	67
Şekil 6.15: 1. Opt. için yapılan testler.....	67
Şekil 6.16: 1. Opt. için tam sıralı test tablosu (1).....	68
Şekil 6.17: 1. Opt. için tam sıralı test tablosu (2).....	69
Şekil 6.18: 1. Opt. için uygun ve pareto optimal çözümler.....	69
Şekil 6.19: 1. Opt. için kriterler tablosu.....	70
Şekil 6.20: 1. Opt. için dizayn değişkenlerinin değerleri.....	70
Şekil 6.21: 1. Opt. için pareto optimal değerler (kriterler).....	71
Şekil 6.22: 1. Opt. için pareto optimal değerler (dizayn değişkenleri).....	71
Şekil 6.23: 1. Opt. için dizayn değişkeni 1'in, uygun çözüm aralığı.....	72
Şekil 6.24: 1. Opt. için dizayn değişkeni 2'nin, uygun çözüm aralığı.....	72
Şekil 6.25: 1. Opt. için dizayn değişkeni 3'ün, uygun çözüm aralığı.....	72
Şekil 6.26: 1. Opt. için dizayn değişkeni 4'ün, uygun çözüm aralığı.....	73
Şekil 6.27: 1. Opt. için dizayn değişkeni 5'in, uygun çözüm aralığı.....	73
Şekil 6.28: 1. Opt. için dizayn değişkeni 6'nın, uygun çözüm aralığı.....	73
Şekil 6.29: 1. Opt. için dizayn değişkeni 7'nin, uygun çözüm aralığı.....	74
Şekil 6.30: 2. Opt. için yeniden düzenlenen sınırlar.....	75

Şekil 6.31: 2. Opt. için yapılan testler.	75
Şekil 6.32: 2. Opt. için tüm sıralı test tablosu (1).	76
Şekil 6.33: 2. Opt. için tüm sıralı test tablosu (2).	76
Şekil 6.34: 2. Opt. için uygun ve pareto optimal çözümler.	77
Şekil 6.35: 2. Opt. için dizayn değişkeni 4'ün, uygun çözüm aralığı.	78
Şekil 6.36: 2. Opt. için dizayn değişkeni 5'in, uygun çözüm aralığı.	78
Şekil 6.37: 2. Opt. için değişkenlerin uygun çözüm aralığındaki değerleri.	79
Şekil 6.38: 2. Opt. için değişkenlerin pareto optimal değerleri.	79
Şekil 6.39: 2. Opt. için kriterlerin uygun çözüm kümesindeki değerleri.	80
Şekil 6.40: 2. Opt. için kriterlerin pareto optimal çözüm kümesindeki değerleri.	80
Şekil 6.41: 3. Opt. için yeniden düzenlenen sınırlar.	81
Şekil 6.42: 3. Opt. için yapılan testler.	81
Şekil 6.43: 3. Opt. için tüm sıralı test tablosu (1).	82
Şekil 6.44: 3. Opt. için tüm sıralı test tablosu (2).	83
Şekil 6.45: 3. Opt. için uygun ve pareto optimal çözümler.	83
Şekil 6.46: 3. Opt. için dizayn değişkeni 1'in, uygun çözüm aralığı.	84
Şekil 6.47: 3. Opt. için dizayn değişkeni 2'nin, uygun çözüm aralığı.	84
Şekil 6.48: 3. Opt. için dizayn değişkeni 3'ün, uygun çözüm aralığı.	85
Şekil 6.49: 3. Opt. için dizayn değişkeni 4'ün, uygun çözüm aralığı.	85
Şekil 6.50: 3. Opt. için dizayn değişkeni 5'in, uygun çözüm aralığı.	85
Şekil 6.51: 3. Opt. için dizayn değişkeni 6'nın, uygun çözüm aralığı.	86
Şekil 6.52: 3. Opt. için dizayn değişkeni 7'nin, uygun çözüm aralığı.	86
Şekil 6.53: 3. Opt. için dizayn değişkenlerinin uygun çözüm değerleri.	87
Şekil 6.54: 3. Opt. için dizayn değişkenlerinin pareto optimal değerleri.	87
Şekil 6.55: 3. Opt. sonucu elde edilen pareto optimal çözüm # 3240 için dizayn değişkeni 1 in kriter 1 ile ilişkisi.	88
Şekil 6.56: 3. Opt. sonucu elde edilen pareto optimal çözüm # 3240 için dizayn değişkeni 1 in kriter 2 ile ilişkisi.	89
Şekil 6.57: 3. Opt. sonucu elde edilen pareto optimal çözüm # 3240 için dizayn değişkeni 1 in kriter 3 ile ilişkisi.	89
Şekil 6.58: Dizayn değişkeni 1 ile kriter 1 arasındaki ilişki.	90
Şekil 6.59: Dizayn değişkeni 1 ile kriter 2 arasındaki ilişki.	90
Şekil 6.60: Dizayn değişkeni 1 ile kriter 3 arasındaki ilişki.	91
Şekil 6.61: Kriter 1 (çelik yapı ağırlığı) min ile kriter 2 (güç ihtiyacı) min grafiği. .	92
Şekil 6.62: Kriter 1 (çelik yapı ağırlığı) min ile kriter 3 (yeni gemi inşa maliyeti) min grafiği.	92
Şekil 6.63: Kriter 2(güç ihtiyacı) min ile kriter 3(yeni gemi inşa maliyeti) min grafiği.	93
Şekil 6.64: 3. Opt. sonucu oluşan uygun çözüm kümesi.	94
Şekil 6.65: 3. Opt. sonucu oluşan pareto optimal çözüm kümesi.	94

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Görev tanımına göre sınıflandırılmış tipik gemi örnekleri	3
Tablo 2.2: Ulaşım amaçlı kullanılan gemiler	6
Tablo 2.3: Ulaşım dışı amaçlı kullanılan gemiler.	6
Tablo 2.4: Denizyolu ile taşınan dökme yükler	8
Tablo 2.5: Yıllar itibariyle dünya deniz ticareti rakamları - milyon ton.	9
Tablo 2.6: Türk deniz ticaret filosu gemi cinslerinin DWT ve adet bazında yıllık gelişimi	10
Tablo 2.7: Farklı tip ve büyüklükteki dökme yük gemilerinin taşıma kapasiteleri ile boyutları.	12
Tablo 2.8: Taşıma kapasitelerine göre dökme yük gemileri tipleri ve boyutları.	12
Tablo 3.1: Hidrodinamik performans ölçütleri.	19
Tablo 3.2: Hidrodinamik özelliklerin etkileri.	19
Tablo 3.3: Gemilere göre blok katsayısı değerleri.	27
Tablo 3.4: Boyutsuz oranların başlıcaları	28
Tablo 3.5: Modellemede kullanılan oranlar	28
Tablo 4.1: Savaş ve ticaret gemilerinin teknik karakteristikleri.....	31
Tablo 6.1: Dizayn değişkenlerinin sınırları.....	63
Tablo 6.2: Fonksiyonel kısıtlar.....	64
Tablo 6.3: Prototip değerler.	65
Tablo 6.4: Tersanelerde üretilen gemilerin özellikleri.....	66
Tablo 6.5: Gemilerin tiplerine göre özellikleri.....	66
Tablo 7.1: Cudina'nın sonucu ve bulunan pareto optimal sonuçlar (kriterler).	96
Tablo 7.2: Dizayn değişkenlerinin değerleri.....	97

SEMBOL LİSTESİ

- Π : Paralelkenar Prizma (Parallelepiped)
 $P(\Pi)$: Pareto Optimal Küme
 Δ : Deplasman Tonajı
 ∇ : Deplasman Hacmi

KISALTMALAR LİSTESİ

AB:	All-round Bulk Carrier (Değişik Dökme Yükleri Taşıyan Gemiler)
BB:	Container/Bulk Carriers-BB (Araba/Kuru Dökme Yük Taşıyan Gemiler)
BO:	Bulk/Oil carrier (Kuru Dökme Yük ve Sıvı Dökme Yük Taşıyan Gemiler)
CB:	Container/Bulk carriers (Konteyner/Dökme Yük Taşıyan Gemiler)
cGT:	Gros Ton Telafisi
DWT:	Dead Weight Tonaj
GT:	Gros Tonaj
LNG:	Liquified Naturel Gas Carrier (Sıvılaştırılmış Doğal Gaz Gemisi)
LPG:	Liquified Petroleum Gas Tanker/Carrier (Sıvılaştırılmış Petrol Gazları Taşıyan Tanker)
MOVI:	Multicriteria Optimization and Vector Identification (Çok Kriterli Optimizasyon ve Vektör Belirleme)
NT:	Net Tonaj
PCC:	Pure Car Carrier (Sadece Otomobil Taşıyan Gemi)
PCTC:	Pure Car and Truck Carrier (Sadece Otomobil, Treyler ve Kamyon Taşıyan Gemi.)
O/O:	Oil/Ore Carrier (Maden Cevheri ve Sıvı Dökme Yük Taşıyan Gemiler)
OB:	The Ore Carrier (Cevher Gemileri)
OBO:	Ore/Bulk/Oil Carrier (Cevher/Dökme Yük/Sıvı Dökme Yük Taşıyan Gemiler)
PSI:	Parameter Space Investigation (Parametre Uzayı Araştırma)
SB:	Specialized Bulk Carriers (Özel Dökme Yük Gemileri)
TB:	Tankers Coverted to Bulk Carriers (Tanker Tadilatları ile Dökme Yüke Dönüştürülen gemiler)
VLBC:	Very Large Bulk Carrier (Büyük Dökme Yük Gemisi)
WB:	Forest Products Carrier (Orman Ürünlerini Taşıyan Dökme Yük Gemileri)

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması süresince bana sürekli destek olan ve yardımlarını esirgemeyen başta sayın Kıvanç Ali Anıl'a, sayın Prof. Dr. Roman Statnikov'a, sayın hocam Prof. Dr. Ramazan Yaman'a, sayın Yrd. Doç. Dr. Alexander Statnikov'a, şube müdürlerim sayın Ercüment Aydın ve Ünal Aydoğdu'ya, iş arkadaşlarım sayın Gökhan Erbaş ve Emre Yılmaz'a ve daima yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Son yıllarda, lojistik sektöründe deniz taşımacılığının rolünün giderek arttığı gözlemlenmektedir. Maliyetinin ucuz olması, bir partide ihtiyaç kadar malzeme transfer edilmesi, teslimat koşullarının daha uygun olması gibi sebeplerden dolayı sektörde artan bir talep görülmektedir. Bu nedenle deniz taşımacılığı ile birlikte Türkiye’de platform ihtiyacının artacağı değerlendirilmektedir.

Özdemir (2004, s.72) dizaynerlerin ve tersanelerin son yıllarda sıkça kullandığı “gemi dizaynında optimizasyon” konusunun, sektörün ilgili kısımlarında farklı yorumlara neden olan, sınırlarının tanımlanması gereken bir konu olarak algılandığını ifade etmektedir. Gemi tasarımlarında optimizasyon modellerinin kullanımını 1960’lara kadar uzanmaktadır.

Gemi dizayn problemleri birbiriyle çelişen çeşitli amaç fonksiyonlarına sahiptir. Çok amaçlı problemlerin çözümünde varsayımların ışığında klasik yöntemler kullanılabildiği gibi, çok kriterli güncel yaklaşımlara da rastlanmaktadır.

Bu çalışmada, Capesize dökme yük gemisinin çok kriterli optimizasyonu yapılmış ve Parametre Uzayı Araştırma Yöntemi (PSI) kullanılmıştır. PSI Yöntemi, MOVI (Çok Kriterli Optimizasyon ve Vektör Belirleme) adlı programla uygulanmaktadır.

Gemi dizayn probleminin analizinden önce, çalışmada ilk olarak gemi tipleri ve özellikleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Gemi dizayn sürecinde kullanılan kavramlar ile ilgili açıklamalar yapılmıştır. Daha sonra gemi dizaynı ve optimizasyon kavramları açıklanarak gemi dizaynında optimizasyon anlatılmıştır. Çalışmada kullanılan gemi dizayn modeli detaylı biçimde incelenerek, bulunan çözüm ile varolan dizayn karşılaştırılmıştır.

2. GEMİ TIPLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Gemiler, belli bir faaliyeti yerine getirmek üzere dizayn edilen ve üretilen endüstriyel yapılardır, yani başka bir deyişle platformlardır. Genel olarak bir armatör veya gemi sahibi olacak bir otorite, aşağıda sıralanan gaye veya sebeplere benzer koşullar altında gemi dizaynı yaptırmayı düşünür:

- Yaşlanmış veya teknolojik olarak çağını doldurmuş gemilerin yenilenmesi veya tadilatı.
- Mevcut bir ticari rotada filo büyütme veya gemi tadilatı ile ticari kazanç arttırmak.
- Mevcut bir ticari rotada yeni servis sunma veya değişik yük taşıyarak pazar payını büyütme.
- Değişen jeopolitik ve ekonomik şartlarda yeni bir rota veya taşıma türü sunarak yeni pazarlar açmak.
- Açık denizde mevcut veya endüstriyel faaliyetleri gerçekleştirmek.
- Ticari veya endüstriyel faaliyet gösteren gemi ve yapıların destek gereksinimini karşılamak.
- Ülke deniz savunma ihtiyaçlarına cevap vermek.

Bu anlayış içerisinde gemileri, görev tanımlarına göre aşağıdaki gruplar içerisinde toplamak mümkündür:

Ticaret Gemileri: Ana görevleri yük ve yolcu taşımak olan gemiler.

Endüstriyel Gemiler: Denizdeki kaynakların incelenmesi veya değerlendirilmesi için dizayn edilmiş gemiler.

Servis Gemileri: Ticari ve endüstriyel gemilerin çalışmalarını destekleyen gemiler ile denizde can ve mal güvenliği sağlayan gemiler.

Savaş Gemileri: Ülkenin savunma ihtiyaçlarını karşılayan silahlandırılmış gemilerle, ülke savaş filosunu destekleyen gemiler.

Her gruba giren gemiler için tipik örnekler Tablo 2.1’de verilmiştir. Bu tabloda verilen gemilerin büyüklük, görünüş ve aranjman yönünden çok büyük değişiklikler gösterdiği göze çarpar. Bu değişikliğin temel sebebi ise geminin görev tanımıdır. Örneğin; ticaret gemilerinde ana gaye yük (veya yolcu) taşımak olduğundan, taşınacak yükün karakteristikleri dizaynı yönlendirir. Dolayısıyla başarılı bir gemi dizaynı için ilk şart görev veya gereksinim tanımının doğru ve anlaşılır olmasıdır.

Tablo 2.1: Görev tanımına göre sınıflandırılmış tipik gemi örnekleri (Odabaşı, Helvacıoğlu ve Erol, 2010).

Ticaret Gemileri	Endüstriyel Gemiler	Servis Gemileri	Savaş Gemileri
<ul style="list-style-type: none"> Genel yük gemileri (<i>General cargo ship</i>) Konteyner gemileri (<i>Container ship</i>) Ham petrol tankerleri (<i>Crude oil carrier</i>) OBO (Cevher/Dökme/Petrol) taşıyıcı gemiler (<i>Oil/Bulk/Oil</i>) Feriler (<i>Ferry</i>) Roll-on Roll-off gemiler (<i>Ro-Ro</i>) Yolcu gemileri (<i>Passenger ship</i>) LNG/LPG tankerleri (<i>LPG/LNG tanker</i>) Yük şatları (barge) ve entegre şat-itici sistemleri (<i>Integrated tug-barge system</i>) Kimyasal tankerler (<i>Chemical tankers</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> Tarak gemileri (<i>Dredger</i>) Sondaj gemileri (<i>Drill ship</i>) İncinirator gemileri (<i>Incinerator ship</i>) Balıkçı fabrika gemileri (<i>Fish factory trawler</i>) Araştırma gemileri (<i>Research vessel</i>) <ul style="list-style-type: none"> Balıkçılık (<i>Fishing</i>) Oseonografik (<i>Oceanographic</i>) Hidrografik (<i>Hydrographic</i>) Sismik (<i>Sismic</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> Romorkörler (<i>Tugs</i>) Dalış destek gemileri (<i>Diving support ships</i>) Yangın gemileri (<i>Fire – fighters</i>) Pilot botları (<i>Pilot boats</i>) Mürettebat taşıma gemileri (<i>Crew Tenders</i>) Temin edici gemiler (<i>Supply boats</i>) Deniz ambulansları (<i>Sea ambulance</i>) Kaçakçı takip botları (<i>Drug interdiction patrol boats</i>) Denizde yağ toplama gemileri (<i>Oil skimmer</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> Avcı botları (<i>Patrol boat</i>) Hücum botları (<i>Fast attack boat</i>) Firkateynler (<i>Frigate</i>) Destroyerler (<i>Destroyer</i>) Denizaltılar (<i>Submarine</i>) Mayın gemileri (<i>Mine counter measures or mine hunter</i>) Çıkarma gemileri (<i>Landing craft</i>) Çıkarma destek gemileri (<i>Landing support ships</i>) Akaryakıt destek gemileri (<i>Naval oiler ship</i>) Cephane destek gemileri (<i>Naval Supply ships</i>) Özel hareket botları (<i>Special operation boats</i>)

Görev analizinin temelini, gemi sahibi istekleri ve kısıtlamaların belirlenmesinden sonra, yapılacak bir tekno ekonomik analiz ve bu analizin gerçekçi bir şekilde değerlendirilmesi oluşturur. Bu kapsamda ticaret gemisi dizaynında düşünülmesi gereken unsurlar, en basit bir anlayış içerisinde, aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

Ekonomik Unsurlar

- Filo yapısı ve dizaynı düşünölen gemi sayısı.
- Düşünölen ticari rota ve rotalar (tonaj ve servis hızı).
- Düşünölen çalışma ve yük profili (belirleyici yük tanımı, servis hızı).
- Yük özellikleri ve kapasite tanımları (birden fazla yük dahil).
- Yükleme-boşaltma ve diğer kargo sistemleri için alternatiflerin belirlenmesi ve seçim kurallarının tanımı.
- Gemi sevk sistemi alternatiflerinin ve seçim kurallarının tanımı.
- Gemide uygulanması düşünölen otomasyon seviyesi ve personel politikası (mürettebat sayısı).
- Ana gaye dışı kullanım olasılığı.
- Yatırım veya ilk maliyet sınırlamaları.
- Finansman paketi şartları (faiz, ödemesiz süre, toplam ödeme süresi, komisyonlar).

Sınırlamalar (Kısıtlamalar)

- Kullanılacak liman, rıhtım ve kanalların gerektirdiği boy, genişlik, su çekimi, hava draftı gibi boyut sınırlamaları.
- Liman yükleme-boşaltma tesislerinin kapasite, hız ve yükseklikleri.
- Havuzlama tesisleri dolayısıyla sınırlamalar.
- Çalışılan limanlardaki gelgit özellikleri.
- Gemiden istenen denizcilik özellikleri ve çalışılacak denizler.
- Uygulanacak klas kuruluşu kuralları.
- Bağlı bulunacağı liman ve bayrak devleti talepleri.

- Uluslararası kural, konvansiyon ve kaideler.
- Tonaj ve fribord kuralları.
- Stabilite standartları.
- Yaralı stabilite ve bölmeleme gereksinimleri.
- Titreşim ve gürültü sınırları.
- Deniz kirlenmesini önleme kuralları.
- Tehlikeli ve patlayıcı yük taşıma ile ilgili sınırlamalar.
- Denizde haberleşme ile ilgili tüzükler.
- Mürettebat ve yolcu-yaşam mahalleri ile ilgili kurallar.

Bu veya daha kapsamlı bir listedeki unsurlar parametrik bir modelleme yöntemiyle sistematik bir değerlendirmeye tabi tutulur (Odabaşı vd., 2010).

2.1 Kullanılış Amaçlarına Göre Gemilerin Sınıflandırılması

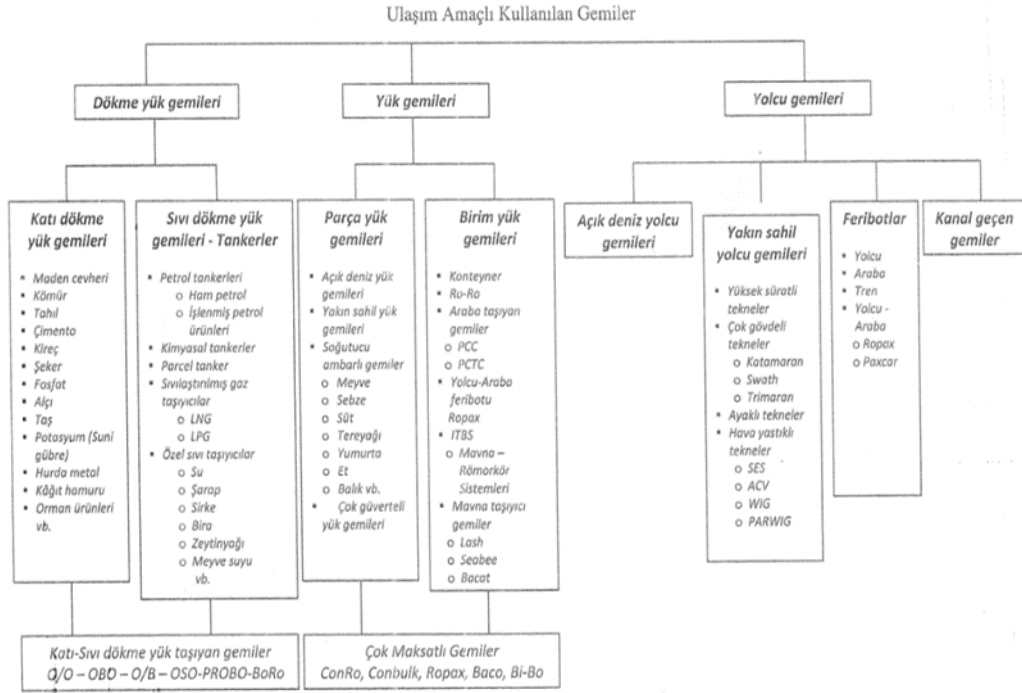
Gemilerin bir kısmı farklı deniz ve iç sularda yük ve yolcu taşımacılığı yaparken bir kısmı da balıkçılık, endüstriyel hizmetler, spor, dinlenme ve askeri amaçlar için kullanılır. Bu nedenle gemiler, kullanılış amaçlarındaki ortak özellikleri dikkate alınarak iki ana grupta da incelenebilir.

Ulaşım amaçlı kullanılan gemiler

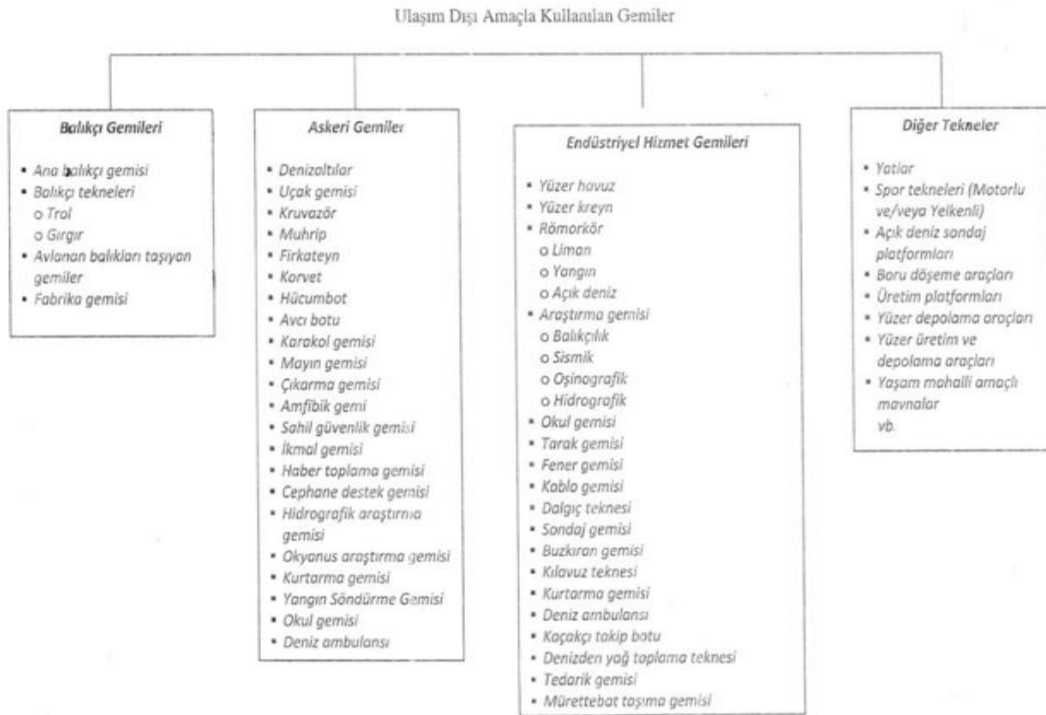
Ulaşım dışı amaçlı kullanılan gemiler

Bu ayrıma göre Tablo 2.2’de ulaşım amaçlı kullanılan gemiler, Tablo 2.3’te ulaşım dışı amaçlı kullanılan gemilerin sınıflandırılması gösterilmiştir. Gemilerin görev tanımlarına göre ayrımı Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2: Ulaşım amaçlı kullanılan gemiler (Baykal, 2011).



Tablo 2.3: Ulaşım dışı amaçlı kullanılan gemiler (Baykal, 2011).



2.2 Dökme Yük Taşımacılığı

Deniz yoluyla ticari taşımacılığının geçmişi, 1860'larda madeni teknelerin kullanılmaya başlanmasına kadar uzanır. Önceleri bu gemilerin sepet ve küreklerle yüklenip boşaltılması için, büyük miktarda ucuz işçi gerekiyordu. Sonradan, insanların yerini raylar üstünde mekanik olarak çekilen ve içindekileri doğrudan ambara boşaltan vagonet asansörleri aldı. Dökme yüklerin (sandık, balya ve çuval gibi herhangi bir kaba gerek göstermeksizin doğrudan yığılan yük) çoğu, Birinci Dünya Savaşının sonuna kadar torba ve varillerle taşınmaktaydı. Ama bunun için de çok sayıda işçi gerekiyordu.

Fakat bunlara karşın, kara ve demiryolu taşımacılığı, deniz taşımacılığıyla karşılaştırıldığında, oldukça önemsiz kalmaktaydı. Demiryolu taşımacılığı, tüneller, iniş çıkışlar, makaslar ve dönemeçler gibi nedenlerle, yükün boyutunu kısıtlı tutma zorunluluğu getirir. Motorlu araçların hızla gelişmesine karşın, karayolu taşımacılığında uzun yıllar boyunca önemli bir ilerleme görülmemiştir. Bunun nedeni, o yıllarda yollar yalnızca atla çekilen araçlara uygun olduğu için, demiryolunun karayolundan daha hızlı bir ulaşım sağlamış olmasıdır.

Yirminci yüzyılın ikinci yarısında denizyolu ile taşınarak ekonomik yarar sağlayan dökme yüklerin hızlı artışı, bu türden katı ve sıvı yükleri taşıyan gemilerin yapımını hızlandırdı. Böylece yirminci yüzyılın başlarında maden cevheri taşımacılığı şeklinde başlayan dökme yük taşımacılığı özellikle 1940 yılından itibaren deniz aşırı sefer yapmak üzere çok sayıda cevher gemisi yapılarak yaygınlaştı.

Dökme yük gemileri, kütle halinde bulunan, hacimsel büyüklükleri nedeniyle paketlenmeye müsait olmayan veyahut paketlenmesi oldukça masraflı olan malların (hurda, hudubat, tomruk, ağaç ürünleri, kum vs.) taşınmasında kullanılır.

Dökme yük gemileriyle taşınan başlıca yükler Tablo 2.4'te özetlenmiştir.

Tablo 2.4: Denizyolu ile taşınan dökme yükler (Baykal, 2011).

Sıvı Dökme Yük	Başlıca Katı Dökme Yükler	Daha Az Taşınan Dökme Yükler
Ham petrol	Demir cevheri	Çelik ürünler
İşlenmiş petrol ürünleri	Kök kömürü	Orman ürünleri, alçıtaşı
LPG	Sanayide kullanılan kömür	Talaş, çimento, suni gübre
LNG	Tahıl	Manganez, şeker, tuz
Kimyasal maddeler	Boksit ve Alüminyum Fosfat kayası	Soya, hurda, pik demiri, pirinç, sülfür vb.

Çoğu kez tek yönde yük taşıyan bu gemiler uzun mesafeli seyirlerinde gidişte temel bir dökme yük taşıırken, dönüşte farklı bir dökme yük taşıyabilirler. Bu yükler yapılan seferin her iki ayağında kömür ve tahıl gibi kuru dökme yük veya farklı türden yükleri taşıma özelliği olan O/O ve OBO tiplerinde olduğu gibi maden cevheri, kömür ve yağ gibi katı ve sıvı dökme yükte olabilir. Endüstri, enerji, gıda maddesi, hayvan yemi ve tarım sektörünün gereksinimi için gerekli maddeler, büyük hacimli taşımalardır. Demir cevheri, kömür ve tahıl büyük miktarlarda taşındığı için uluslararası dökme yük taşımacılığının başlıca yükleridir. Bunların dışında maden cevherleri, şeker, çimento, suni gübre imalinde kullanılan fosfat, suni gübre, kireç, tuz, alçı, alüminyum imali için kullanılan boksit, potasyum, hayvan yemi, odun hamuru, kereste, gazete kağıdı diğer önemli dökme yüklerdir. Kömür gemileri, 1957 senesinden itibaren liman terminallerinde otomatik yükleme-boşaltmayı hızlı bir şekilde yapan ve ekonomik nedenle ortaya çıkan tek güverteli kuru yük gemisidir. Dünyada, tankerlerden sonra ikinci büyük filoyu kuru dökme yük gemileri oluşturur.

Paketleme ve ambalajlama yerine, açık yığınlar halinde yapılan taşımacılığın en önemli yararı, ekonomik olmasıdır. Hem ambalaj gereci kullanılmaz, hem de ambalajlama işi ortadan kalkar. Ayrıca, dökme yük taşımacılığında, yükleme ve boşaltma daha çabuk yapılabileceği için, gemiler limanlarda daha az zaman yitirir ve böylece daha çok sefer yapmış olurlar.

2.3 Dökme Kuru Yük Taşımacılığı

Dökme kuru yük taşımacılığının temelini beş önemli yük tipi oluşturur. Bunlar; demir cevheri, kömür, hububat, boksit ve alumina ile fosfattır. Demir cevheri ve kömür, modern dünyada kullanılan en önemli metal olan çelik imalinde kullanılan maddelerdir. Ayrıca kömür bir enerji hammaddesi olarak da kullanılmaktadır. Tahıl ürünleri, dünyadaki beslenme ihtiyacının karşılanmasında hem doğrudan gıda maddesi olarak hem de dolaylı olarak hayvan besi maddesi olarak kullanılmaktadır.

Modern dünyada ikinci önemli metal olan alüminyum ham maddeler de dökme kuru yük taşımacılığında önemli bir yer tutar. Son olarak yapay gübre imalatının temel maddesi olan fosfat kayalarının taşınması da günden güne artarak kuru dökme yük taşımacılığında önemini arttırmıştır.

Beş ana madde dışında kalan ve az hacimli ticaret maddeleri (minor bulk trades) olarak da bilinen maddelerin deniz taşımacılığı en karmaşık sektörlerden birini oluşturur. Tablo 2.5'te yıllar itibariyle Dünya deniz ticaretinin gelişimi verilmektedir.

Tablo 2.5: Yıllar itibariyle dünya deniz ticareti rakamları - milyon ton (The Unctad Secretariat, 2010).

YILLAR	PETROL	TEMEL YÜKLER (a)	DİĞER KURU YÜKLER	TOPLAM
1970	1.442	448	676	2.566
1980	1.871	796	1.037	3.704
1990	1.755	968	1.285	4.008
2000	2.163	1.288	2.553	5.984
2006	2.698	1.849	3.135	7.682
2007	2.747	1.972	3.265	7.983
2008	2.732	2.079	3.399	8.210
2009	2.649	2.113	3.081	7.843

(a) Temel Yükler: Demir cevheri, tahıl, kömür, boksit, alüminyum ve fosfattan oluşmaktadır.

Tablo 2.5'ten de anlaşılacağı üzere, 70'li yıllardan bugüne kadar olan süreçte deniz yolu ile yapılan ticarete önemli bir gelişme kaydedilmiştir. Deniz yolu ile sıvı yük taşımacılığı iki kata yakın bir artış kaydederken, kuru yük taşımacılığı

beş kata yakın bir artış kaydetmiştir. Bu oranlar, kuru yük taşımacılığının kırk yıllık süreçte çok önemli bir gelişme kaydettiğini göstermektedir.

Türk deniz ticaret filosuna bakıldığında ise dökme yük gemilerin DWT bazında diğer tip gemilerden fazla olduğu görülmektedir.

Tablo 2.6: Türk deniz ticaret filosu gemi cinslerinin DWT ve adet bazında yıllık gelişimi (T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü, 2012).

GEMİ CİNSİ (10'LU GRUP)	(150 GT ve Üzeri Gemiler, 10'lu Grup)							
	YILLAR							
	2009		2010		2011		2012	
	Adet	DWT	Adet	DWT	Adet	DWT	Adet	DWT
Kuru Yük Gemileri (Genel Kargo)	508	1.768.424	500	1.745.054	496	1.753.636	489	1.823.586
Dökme Yük Gemileri	100	3.663.125	106	4.189.277	115	4.987.983	115	5.164.647
Konteyner	66	767.739	70	831.687	70	913.936	72	977.278
Sıvı / Gaz Taşıyan Tankerler	224	1.833.360	223	1.879.333	221	1.973.704	214	2.160.427
Yolcu Gemileri	228	40.677	242	44.819	237	48.238	253	49.989
Hizmet Gemileri	71	40.538	77	47.150	80	61.541	89	65.544
Römorkörler	113	3.088	109	3.088	111	2.711	121	3.088
Deniz Araçları	139	2.826	153	2.586	162	5.548	164	1.364
Balıkçı Gemileri	205	28.409	209	27.915	216	8.759	218	8.757
Sportif Ve Eğlence Amaçlı Tekneler Yatlar	68	2.402	88	2.242	124	2.882	144	2.947
TOPLAM	1.722	8.150.588	1.777	8.773.151	1.832	9.758.938	1.879	10.257.627

2.4 Kuru Dökme Yük Gemileri

Dökme yük gemileri veya dökme gemileri olarak da bilinen bu gemiler, kömür, maden cevheri, tahıl (buğday, arpa, mısır, çavdar, yulaf, keten tohumu gibi taneli maddeler), çimento, şeker gibi katı yüklerden birini dökme şeklindeki ambarlarında taşımak için tek güverteli ve geniş ambar ağızlı olarak yapılırlar. Kuru dökme yük gemileriyle taşınan yüklerin demir cevherinden tahıla kadar değişen çok farklı yoğunluk ve oldukça fazla çeşitleri vardır.

Büyük dökme yük gemileri genelde özel donanımlı terminaller arasında çalıştığından güvertelerinde yükleme-boşaltma donanımları yoktur. Küçük tiplerinin kendi yük elleçleme sistemleri vardır.

Demir cevheri taşıyan dökme yük gemilerinin taşıma kapasiteleri 25000-100000 DWT aralığındadır. Dökme yük taşımacılığında farklı tip ve kapasitedeki gemiler bulunmaktadır. Genel olarak 10000 DWT'na kadar olanlar, küçük dökme yük gemileri olarak bilinirken, daha büyük taşıma kapasiteli gemiler ise bazı özel isimler ile bilinirler. Bu bağlamda Handysize (10000-30000 DWT), Handymax (30000-50000 DWT), Panamax (50000-92000 DWT), Post Panamax (92000-120000 DWT), Capesize (120000-182000 DWT) 200000 DWT'dan büyük gemilerin kısaltılmış isimleri VLBC (Very Large Bulk Carrier) dir. Büyüklüklerine göre dökme yük gemilerinin tip, boy, DWT ve ambar sayıları farklıdır.

Yakın tarihten itibaren incelemeye başlarsak, 1990'lı yıllar boyunca ortalama 30.000-40.000 DWT'luk gemiler ki bunlar 'Handysize' ve 'Handymax' olarak adlandırılırlar, dökme yük pazarında sayıları gittikçe artan oranda faaliyet göstermeye başlamışlardır. Bu gemilerin en büyük avantajlarından birisi gelişmiş ambar ve kargo operasyon ekipmanına sahip olmalarıdır. Bu gemiler çoğunlukla maden cevheri, hurda metal, tahıl ve orman ürünlerini taşır.

Daha büyük dökme yük taşıyıcıları ise 'Panamax'olarak adlandırılırlar. 'Panamax'olarak adlandırılmalarının nedeni ise 'Panama Kanalı' yükleme şartlarının elverdiği en büyük uzunluk, genişlik ve yüksekliğe sahip olmalarıdır. Tonaj olarak da ortalama 50.000-80.000 DWT arasında değişirler. 'Panamax' tipi gemilerin kendilerine ait yükleme ve boşaltma sistemine sahip olmadıkları için liman yükleme ve boşaltma ekipmanlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Bu tip gemiler pratikte daha çok hububat, kömür ve maden cevheri taşımacılığında kullanılırlar.

120.000 DWT ve üzerindeki tonaja sahip gemiler 'Capesize' olarak adlandırılırlar. Bu tekneler kömür ve maden cevheri taşıyan, yükleme boşaltma donanımı olmayan dökme yük gemileridir. Kömür ve demir cevheri en çok Capesize gemiler ile taşınır. Süveyş Kanalı ve Panama Kanalı'nı geçemeyecek kadar büyük olan gemilerdir.

Dökme yük gemileri tek güverteli, ortalama hızları 15 knots olan gemilerdir. Klasik tipteki dökme yük gemilerinin yük ambarlarının toplam uzunluğu gemi boyunun %65-75'i arasında değişir. Armatörler için en önemli sorun, hangi büyüklükte bir geminin alınacağı konusudur. Bu konuda ekonomik ölçekler,

taşınacak yükün miktar ile mevcut liman ve yükleme-boşaltma olanakları başlıca etmendir.

Tablo 2.7 'de farklı tip ve büyüklükteki dökme yük gemilerinin taşıma kapasiteleri ile L, B, T olarak boyutları verilmektedir.

Tablo 2.7: Farklı tip ve büyüklükteki dökme yük gemilerinin taşıma kapasiteleri ile boyutları (Baykal, 2011).

Dökme Yük Gemisinin Tipi	DWT (Ton)	Boy L (m)	Genişlik B (m)	Su Çekimi T (m)
Handysize	28500	169	27,2	10
Handymax	50000	190	32,2	12,6
Panamax	76300	225	32,2	12,2
Capesize	172000	289	45	17,8
Ultra Cape	365000	343	63	22,8

Değişik tipte ve farklı taşıma kapasitesindeki dökme yük gemilerinin boy, genişlik, su çekimi ve hızları Tablo 2.8'de belirtilmiştir.

Tablo 2.8: Taşıma kapasitelerine göre dökme yük gemileri tipleri ve boyutları (Baykal, 2011).

Gemi Tipi ve Taşıma Kapasitesi (Dwt)	Ortalama (Dwt)	Boy (m)	Genişlik (m)	Su Çekimi (m)	Hız (deniz mili)
Handysize					
10000-19999	16223	147	21,6	8,9	14,3
20000-24999	23074	165	23,5	9,8	14,6
25000-29999	27511	174	24,4	10,1	14,6
Handymax					
30000-39999	35981	189	27,3	10,9	14,6
40000-49999	44003	181	30,3	11,2	14,5
Panamax					
50000-59999	55318	218	31,7	12,4	15
60000-79999	68023	223	32,1	13,1	14,5
Capesize					
80000-89999	87603	245	37,1	13,3	14,5
90000-149999	137150	266	42,2	16,6	14,4
150000-	179777	287	46,8	17,8	13,5

2.5 Katı ve Sıvı Dökme Yük Taşıyan Gemiler

Dökme yük gemileri genelde tek yönde yük taşırlar. Bu nedenle gemilerin balastlı denilen boş sefer sürelerini azaltmak amacıyla her seferinde farklı tipten katı veya sıvı dökme yük taşıma özelliği olan çok amaçlı gemi tipleri geliştirildi. Bu kapsamda O/O (Oil/Ore Carrier) diye bilinen tipleri, maden cevheri ve yağ türü sıvı dökme yük gemileri taşır. Kısaca OBO (Ore/Bulk/Oil Carrier) olarak adlandırılan yaygın kullanımı olan dökme yük gemisi ise, maden cevheri, kuru ve sıvı dökme yük taşımaya uygundur.

2.6 Sıvı Dökme Yük Taşıyan Gemiler (Tankerler)

Deniz taşımacılığında en büyük filoyu, büyük miktarlarda dökme sıvı yükleri taşıyan tankerler oluşturur. Tankerler ham petrol ve işlenmiş petrol ürünleri, kimyasal maddeleri, sıvılaştırılmış gazları ve özel sıvıları taşımak için inşa edilirler. Taşıdıkları sıvı dökme yüklerin cinsine göre farklılıklar gösteren bu tekneler; petrol tankerleri (ham petrol ve işlenmiş petrol ürünleri taşıyan), kimyasal tankerler, sıvılaştırılmış gaz tankerleri (LNG, LPG) ve özel sıvılar taşıyan tankerler olarak gruplandırılır.

2.7 Dökme Yük Taşıyan Başlıca Gemi Tipleri

Dökme yük gemilerinin tasarım ve kullanım amaçlarını dikkate alarak Birger Nossun tarafından 1996 yılında kuru dökme yük gemilerini on gruba ayırmıştır.

Cevher gemileri (The Ore Carrier-OB): Maden cevheri ve yük istif faktörü 12-25 ft³ ton olan diğer ağır yükleri taşımak için tasarlanmış gemilerdir.

Maden cevheri ve sıvı dökme yük taşıyan gemiler (The Ore-Oil carrier-O/O): Başlangıçta ortadaki ambar bölmesinde demir cevheri, yan bölmelerde yağ türü sıvı dökme yükleri taşıyan gemilerdir. Daha sonraki gelişmelerle orta bölmelerinde de yağ türü taşıma yapıldı. Bunların en önemli sakıncası maden cevheri dışındaki dökme yükleri ekonomik olarak taşıyamamasıdır.

Kuru dökme yük ve sıvı dökme yük taşıyan gemiler (Bulk/Oil carrier-BO): BO tipi gemiler tanker ve kuru dökme yük taşımacılığına uygun teknelerdir. A.G. Weser tersanesi tarafından tasarlanan ve 1964 yılında yapılan bu tipten tekneler oldukça başarılı olmuştur.

Cevher/dökme yük/sıvı dökme yük taşıyan gemiler (Ore/Bulk/Oil-OBO): 1960'lı yılların ortasında OB cevher gemileri ve O/O gemilerinden daha esnek bir taşımacılık yapan OBO tipi gemiler yaygınlaşmaya başladı.

Orman ürünlerini taşıyan dökme yük gemileri (Forest products carrier-WB): Başlangıçta oldukça küçük boyutta yapılan bu taşımalar zamanla gelişerek filo tonajı arttı. Daha sonra klasik yük gemileri, özel tip dökme yük gemileri gibi teknelerle orman ürünlerinin taşınması bu gemilerin önemini yitirmesine neden oldu.

Tanker tadilatları ile dökme yüke dönüştürülen gemiler (Tankers converted to bulk carriers-TB): Dökme yük ticaretinin artması sonucunda artan navlunlar nedeniyle savaş öncesi yapılan ve verimli taşımacılık yapamayan birçok tanker 1954-1955 yıllarında dökme yük gemisine dönüştürüldü. Bu dönüşüm, iç tanker yapısının değiştirilmesi veya paralel orta gövde ilavesi gibi farklı şekillerde yapıldı.

Araba/kuru dökme yük taşıyan gemiler (Container/Bulk Carriers-BB): 1960 yılının sonlarında Volkswagen arabaların Amerika'ya çok miktarda gönderilmeye başlamasıyla bu türden gemiler yapılmaya başlandı. O zamana kadar otomobiller değişik türden yük gemileriyle taşınıyordu. Böylece düşey doğrultuda Lo-Lo sistemiyle yapılan elleçleme zamanla yatay doğrultuda Lo-Lo tipine dönüştü. Japonya'dan Avrupa'ya araba ihracı sonucunda bunlarda gelişerek PCC ve PCTC tipleriyle yaygınlaştı.

Konteyner/dökme yük taşıyan gemiler (Container/Bulk carriers-CB): Konteyner gemilerinin gelişmesi sonucunda 1970 yılının ortalarında konteyner ve dökme yük taşıyan karma taşıma yapan Conbulk veya kısaca CB denen gemiler yapılarak işletilmeye başladı.

Özel dökme yük gemileri (Specialized Bulk Carriers-SB): Bu türden dökme yük gemileri; boksit/alüminyum, alçı, şeker, tuz, çimento gibi belirli bir dökme yük tipine göre tasarlanarak yapılmıştır.

Değişik dökme yükleri taşıyan gemiler (All-round Bulk Carrier-AB): Bu gemiler tip, boyut ve donanım olarak değişik dökme yükleri taşımaya uygundur. Bu tür gemiler tek güverteli genelde yükleme-boşaltma donanımları olmayan, yüksek süratli ve yakıt sarfiyatı oldukça az olan 1400-20000 DWT taşıma kapasitesindedir. Taşıdıkları yük maden cevheri ve kömürdür.

3. GEMİ GEOMETRİSİ VE TEMEL TANIMLAR

Bir gemiyi tanımlamak üzere gerekli bilgiler üç grupta toplanmıştır (Sarıöz, 1994).

- Geminin Büyüklüğü
 - Geminin Ağırlığı (Deplasman, Dead Weight Tonaj)
 - Geminin Hacimsel Kapasitesi (Gross Tonaj, Net Tonaj)
- Ana Boyutlar
- Tekne Form Katsayıları

3.1 Geminin Büyüklüğü

Geminin büyüklüğü ile ilgili ölçütler geminin ağırlığı (Deplasman, Dead Weight Tonaj) ve geminin hacimsel kapasitesi (Gross Tonaj, Net Tonaj) ile ilgilidir.

3.1.1 Geminin Ağırlığı

Herhangi bir deniz aracı aşağıdaki eşitliği sağlamak zorundadır.

$$\Delta = \sum W_i \quad (3.1)$$

Burada Δ geminin deplasman tonajı ve $\sum W_i$ gemideki ağırlıkların toplamıdır.

Deplasman: Geminin toplam ağırlığı olup bu ağırlık Arşimed Prensibine göre geminin yer değiştirdiği suyun ağırlığına eşittir.

Diğer bir ifadeyle, bir geminin belirli bir durumda yüzerken taşıdığı suyun miktarıdır. Bu değer ton olarak veya metre küp olarak ifade edilir. Ton olarak geminin ve içindekilerin ağırlığıdır (deplasman tonajı Δ). Metre küp olarak ise

geminin su hattının aşağısında kalan bölümünün hacmini ifade eder (deplasman hacmi ∇).

Bir ticari gemi için toplam ağırlık dağılımı şöyle olacaktır:

$$\Delta = w_{ls} + DWT \quad (3.2)$$

Dead Weight Tonaj (DWT): Geminin yük taşıma kapasitesinin bir ölçüsü olup kargo, yakıt, su, mürettebat ve kumpanya ağırlıklarının toplamıdır. Deplasman tonajı ile dead weight tonajı arasında kalan ve geminin tekne, makine ve sabit donanım ağırlığından oluşan fark light ship olarak adlandırılır.

Geminin light ship ağırlığı (W_{LS}) aşağıdaki gibi gruplanabilir.

$$W_{LS} = W_{st} + W_m + W_o \quad (3.3)$$

Burada W_{st} tekne ağırlığı, W_m makine ağırlığı ve W_o donanım (ekipman) ağırlığını göstermektedir. Gemide normal olarak taşınan yakıt ve su ağırlıkları dead weight tonaja dahildir. Savaş gemilerinde ağırlık dağılımı aşağıdaki şekildedir.

$$\Delta = W_{LS} + W_p \quad (3.4)$$

Burada W_{LS} yukarıdaki gibi geminin light ship ağırlığını gösterir.

W_p ise payload tonajı olup gemideki tüm silah ve sensör sistemlerini kapsar.

3.1.2 Geminin Hacimsel Kapasitesi

Gross Tonaj (GT): Geminin hacimsel kapasitesinin bir ölçüsü olup, tekne, üst yapı ve kapalı tüm hacimlerin toplamıdır.

Net Tonaj (NT): Geminin para kazanma kapasitesinin ölçüsü olup, kargo bölmelerinin hacimleri ve yolcu sayısına bağlıdır. Liman, kargo vergilerinde kullanılır.

3.2 Ana Boyutlar

Bir gemiden beklenen işlevleri yerine getirebilecek sonsuz sayıda ana boyut ve tekne form kombinasyonları mevcuttur. Bunların içerisinde optimum olanı seçmek dizaynerin görevidir. Ön dizaynda seçilecek ana boyutlar ve deplasman yeterince büyük olmalı ancak gereğinden de büyük olmamalıdır. Ayrıca ana boyutların belirlenmesinde değişik faktörler dizayneri sınırlayabilir. Bunlardan bazıları; uluslararası kurallar, geminin çalışacağı limandaki su derinliği, geminin inşa edileceği tersanenin kapasitesi ve geminin çalışacağı hat üzerindeki kanal ve boğazlara ait kısıtlar olabilir.

Geminin ana boyutları;

- Stabilité
- Hidrodinamik karakteristikleri
- Kapasite
- İnşa ve işletim maliyetleri gibi geminin tekno ekonomik performansını etkiler.

Stabilité: Gemiye herhangi bir dış kuvvetin geçici olarak etkimesi sonucunda tekrar eski konumuna dönme kabiliyeti.

Hidrodinamik Karakteristikler: Geminin sahip olduğu hidrodinamik karakteristikler, hidrodinamik performans ölçütleri ile açıklanabilir.

Tablo 3.1: Hidrodinamik performans ölçütleri.

Ölçütler	Açıklamalar
Direnç	Dalga direnci, sürtünme direnci.
Sevk	Pervane veya su jeti, tasarım özellikleri, kapasitesi, sayısı, hacim, ağırlığı, konumu.
Denizcilik	Gemi hareketlerinin hız ve ivme değerleri, Güverte ıslanması, pervanenin su yüzeyine çıkması.
Mukavemet	Sakin suda ve özellikle dalga yükleri nedeni ile dinamik haldeki zorlamalar.
Manevra	Dönme yarıçapı, kendi imkanları ile liman ve rıhtımlarda manevra yapabilme.
Stabilite	Sakin suda statik ve dalgalı ortamda dinamik stabilite davranışı, devrilmeye karşı stabilite seviyesi ve yaralı halde stabilite.

Hidrodinamik özellikler aşağıdaki değerleri yakından ilgilendirmektedir:

Tablo 3.2: Hidrodinamik özelliklerin etkileri.

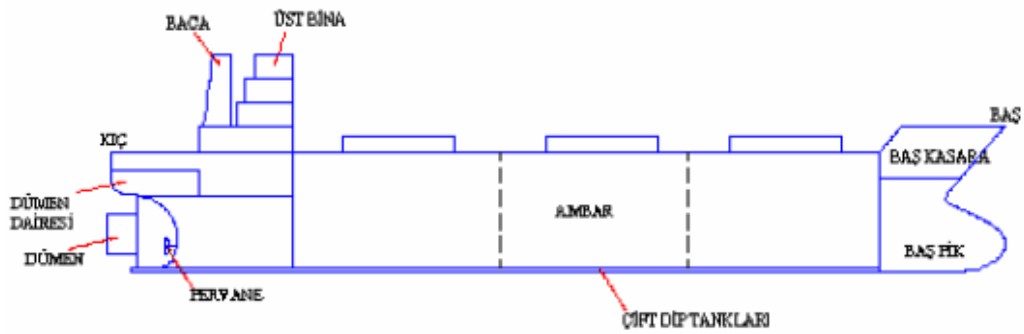
Uzun seyir yarıçapı	Yakıt depo ağırlığı/hacmi, deplasmanı etkiler.
Hız	Seyir yarıçapını etkiler, Yakıt sarfiyatı artar (direnç artar), Tekneye gelen zorlamalar artar (gemi hareketleri)
Yük kapasitesi	Deplasmanı artırır, hızı azaltır, beklenen hızı korumak için makina gücü artırılır, makine ağırlığı artar.

3.2.1 Gemi Elemanları

Gemi üretim ve dizayn yönünden tekne ve makine olarak iki temel unsurdan oluşur. Geminin makinesi de inşa edilen tekne içine monte edilmektedir. Dolayısıyla tekne, makine bölmesini de kapsayan kısımdır. Geminin teknesi, ana gövde ve yaşam mahalli olarak iki kısımdan oluşur. Yaşam mahallini oluşturan tüm üst yapılar, ana gövde üzerine monte edilerek, gemi formu elde edilir. Makine dairesi ise, ana gövde içinde yer alır (Çevik, 2005).



Şekil 3.1: Geminin genel görünümü.



Şekil 3.2: Gemi ana elemanları.

3.2.2 Gemi ile İlgili Terimler

Ana Güverte: Geminin veya teknenin üzerinde görünen en üstteki güvertesidir.

Güverte: Geminin süreklilik gösteren yatay yüzeylerine denir.

Karina: Geminin su altında kalan dış yüzeyidir.

Sintine: Geminin iç dip kısmıdır.

Borda: Geminin dış yan yüzeyidir.

Alabanda: Geminin iç yan yüzeyidir.

Baş: Geminin ön ve ileri kısmıdır.

Kıç: Geminin geri tarafıdır.

Dümen: Gemiye istenilen yöne çevirmek (steering) için saç veya tahtadan yapılan, genellikle kıçta pervane arkasına tarafa monte edilen yelpaze şeklindeki parçaya denir.

Kasara: Geminin baş, orta ve kıç kısımlarında ana güverte üzerinde yapılan tek güverteli üst binalara denir.

Baş Kasara: Gemi güvertesinin baş kısmında inşa edilen tek güverteli üst binadır.

İskele: Geminin kıçtan başa doğru bakıldığında sol yarısı, sol tarafıdır.

Sancak: Geminin kıçtan başa doğru bakıldığında sağ yarısı, sağ tarafıdır.

Omuzluk: Gemi paralel gövdesinin kıçta ve başta daralarak devam ettiği kısımlara denir.

Rota: Geminin üzerinde gittiği çizgidir.

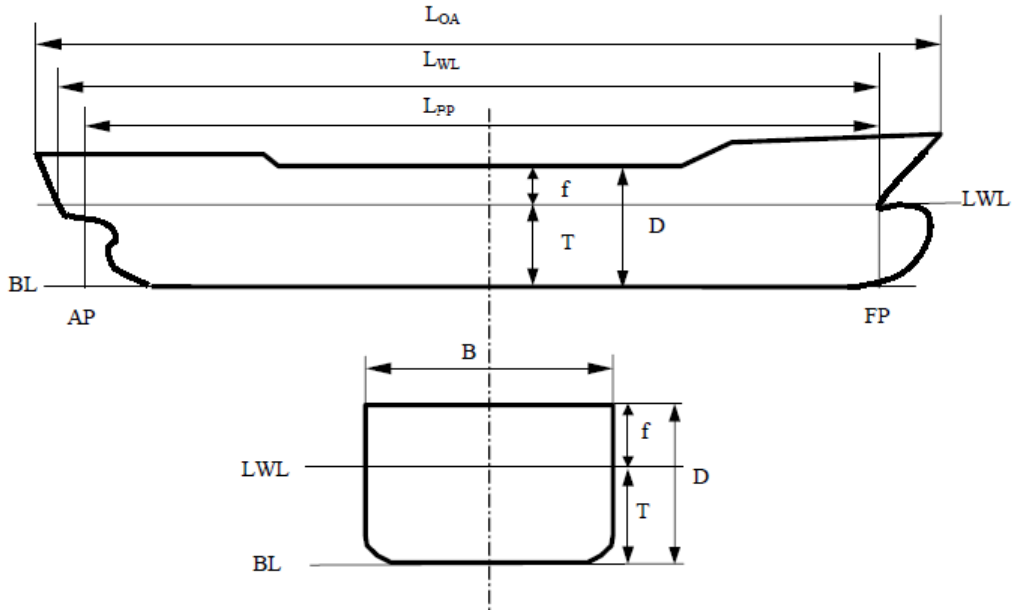
Baş Bodoslama: Omurganın baş tarafında, teknenin başını oluşturan boyuna yapı elamanı.

Omurga: Geminin postalarının üzerine oturtulup bağlandığı ve baştan kıçta kadar devam ettiği ağaç veya çelik levha şeklindeki parçalardır.

Posta: Postalar geminin kaburgalarını teşkil eder. Gemiye şekil verir ve su basıncına karşı dış kaplama saclarını kuvvetlendiren sisteme postalama denir. Posta inşa edilmezse ise tekne kaplaması içeriye veya dışarıya doğru eğilir veya bükülür.

3.2.3 Gemi Geometrisi

Genel geometrik tanımlar Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3: Genel geometrik tanımlar.

L_{OA} Tam Boy (Length Overall): Geminin başta ve kıçta en uç noktaları arasındaki yatay uzaklıktır.

L_{WL} Su Hattı Boyu (Length of Waterline): Geminin su hattında yüzerken başta ve kıçta su ile temas eden en uç noktaları arasındaki yatay uzaklıktır.

Su Hattı: Geminin su üstünde ve su altında kalan bölümlerinin kesiştiği yer. (Gövdede ıslak ile kuru yüzey arasındaki çizgi)

L_{PP} Dikmeler Arası Boy (Length Between Perpendicular): Baş ve kıç dikeyler arasındaki yatay uzaklıktır.

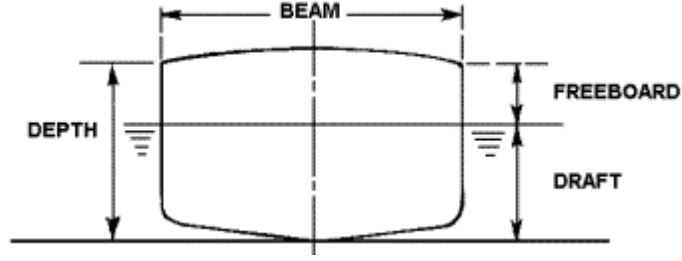
Boyu farklı, deplasmanı aynı olan iki gemi için, boy arttıkça;

- Islak alan artar,
- Dalga direnci azalır,
- Sevk verimi artar,
- W_{st} ve inşa maliyeti artar.
- Tekne formunun narinliği artar, narinlik katsayısı (C_B) azalır.
- Yük taşıma kapasitesi azalır.
- Başlangıç stabilitesi azalır.
- Doğrusal rota dengesi (yol tutma) artar.
- Manevra kabiliyeti azalır.
- Dalıp çıkma, güverte ıslanması, baş-kıç vurma, dövünme azalır, denizcilik iyileşir.

BL Temel Hattı-Kaide Hattı (Baseline): Gemi boyunca dip kaplaması ile simetri düzleminin kesiştiği hattır. Bu genellikle yatay bir doğru olmakla birlikte balıkçı gemisi veya römorkör gibi kıçta büyük bir pervane yuvasına sahip olması gereken gemi tiplerinde kıçta eğimli olabilir.

FP Baş Dikey (Fore Peak): Gemi baş bodoslaması ile su hattının kesiştikleri noktadan su hattına dik olarak geçen düşey doğru.

AP Kıç Dikey (After Peak): Dümen rodu eksenini ile su hattının kesiştiği noktadan dizayn su hattına dik olarak geçen düşey doğru.



Şekil 3.4: Geminin genişlik, derinlik, draft ve freebord gösterimi.

T=ds (Draft, su çekimi): Geminin temel hattı ile yüzdüğü su hattı arasındaki düşey uzaklıktır.

(Geminin taban düzleminden yüzdüğü su hattına kadar olan düşey mesafedir.)

Su çekimi artarsa, pervane çapı artar.

f (Freeboard): Gemi ortasında dizayn su hattı ile ana güverte arasındaki düşey uzaklıktır. Freebord, derinlik ile su çekimi arasındaki farka eşittir.

Freeboard artarsa,

- Dalgalı denizlerde güvenli seyir sağlanır,
- Yaralanma halinde gerekli deplasman sağlanır,
- Geminin kesit mukavemetini artırır, dolayısıyla stabilite artar.
- Güverte ıslanması azalır.
- Yolcu ve mürettebat için güvenli ortam sağlanır.

D Derinlik (Depth): Profil resminde geminin en alt noktası ile (kaide veya omurga hattı) en üst noktası arasında kalan düşey uzunluktur.

Gemi ortasında, güverte kenarında, geminin kaide hattından en üst güverteye kadar düşey olarak ölçülen derinlik (m) arttığında;

- Yük taşıma kapasitesi artar.
- Boyuna mukavemet artar.
- Ağırlık merkezi yukarı çıkacağından stabilite azalır.

- L/D oranı yetkili kuruluşlarca sınırlandırılır. Çok düşük olursa burkulma problemleri, büyük olunca boyuna mukavemet problemleri oluşur.

B Genişlik (Breadth-beam): Gemi ortasında alınan enine kesitin (orta kesit) veya en geniş kesitin bordadan bordaya uzunluğudur.

- Deplasman sabitken, genişlik arttığında,
- Gemi direnci, güç gereksinimi ve işletim maliyeti artar.
- Başlangıç stabilitesi artar.
- W_{st} ve inşa maliyeti artar.

3.3 Tekne Form Katsayıları

Dizaynda gemi büyüklüğünün ve ana boyutların belirlenmesinden sonraki aşamada tekne formunun belirlenmesi gelir.

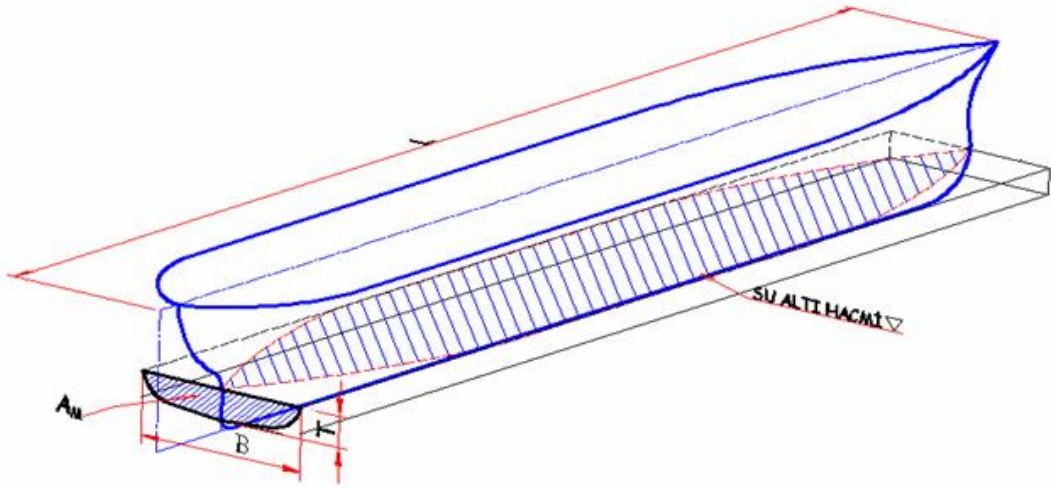
Bir geminin inşa ve işletim maliyetleri, taşıma kapasitesi, yerleşim özellikleri, sevk karakteristikleri, hız, stabilite, enine ve boyuna mukavemet ve yapısal dizayn özellikleri gibi temel tekno-ekonomik performans karakteristiklerini etkileyen en önemli elemanı tekne boyutları ve formudur.

Verilen ana boyutları ve deplasmanı sağlayan sonsuz sayıda üç boyutlu geometrik form bulmak mümkündür. Ancak bunların içinden optimum olanı, geminin yerleşim talepleri, direnç, sevk, denizcilik, manevra kabiliyeti, stabilite ve ağırlık dağılımı gibi birbiriyle çelişen performans özelliklerini dengeleyecek ve geminin kullanım amacına en uygun olan form olacaktır.

Gemi teknesinin değişik şekilleri arasında bir karşılaştırma yaparken, kullanılacak ölçütlerin boyutsuz olması değerlendirme açısından çok yararlıdır. Bu nedenle gemilerin narin ve dolgun olduklarını belirlemek için boyutsuz bazı katsayılar kullanılır. Geminin enine kesitlerini, su hatlarını ve hacmini belirlemek amacıyla kullanılan boyutsuz katsayılara, geminin narinlik katsayıları denir. Çok yaygın olarak kullanılan bu katsayılar tekne narinlik katsayısı (blok katsayısı), orta

kesit narinlik katsayısı, su hattı narinlik katsayısı, (enine) prizmatik katsayı, (boyuna) düşey prizmatik katsayıdır. Gemilerin direnç, güç ve denizcilik özelliklerinin belirlenmesinde de narinlik katsayılarından yararlanılır (Baykal, 2011).

Blok Katsayısı (C_B): Gemi su altı gövdesinin dolgunluk derecesi, C_B tekne narinlik katsayısı ile ifade edilir. Yüklü su hattında geminin su altı hacmini; boyutları L_{WL} su hattı boyu, B gemi genişliği ve T drafta (su çekimi) eşit olan dikdörtgenler prizması hacmine oranı, tekne narinlik katsayısı (blok katsayısı) olarak bilinir.

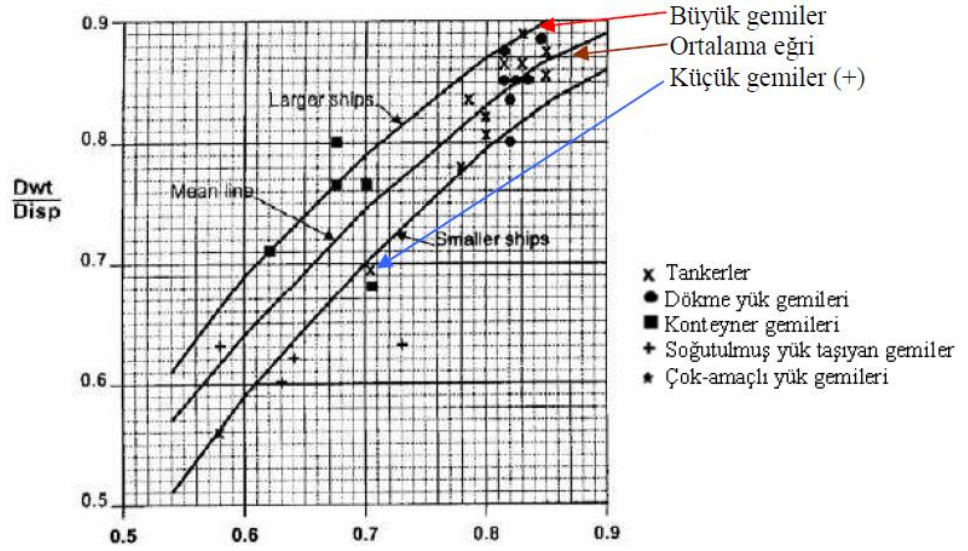


Şekil 3.5: Tekne narinlik katsayısı (blok katsayısı).

Geminin yüzdüğü su hattı altında kalan hacmine deplasman hacmi denir ve geminin su altı geometrisine ait olan bu hacim ∇ şeklinde ifade edilmiştir.

$$C_B = \nabla / (L_{WL} \times B \times T) \quad (3.5)$$

Blok Katsayısı (C_B) 1'den küçüktür.



Şekil 3.6: Blok katsayısının Yük kapasitesi / Deplasman oranına göre gemiler (Alkan, 2012).

Gemilere göre blok katsayısı değerleri değişmektedir. Bazı gemi çeşitlerine göre blok katsayısı değerleri Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3: Gemilere göre blok katsayısı değerleri (Alkan, 2012).

Gemi Çeşitleri	Blok Katsayısı
Tankerler	0,75 - 0,80
Konteyner Gemileri	0,70 - 0,74
Koster	0,62 - 0,70
Yolcu Gemileri	0,55 - 0,60
Balıkçı Gemileri	0,50 - 0,55

C_B 'si küçük olan tekneler hız yapmaya yönelik tasarlanmıştır, C_B 'si büyük olan tekneler ise deplasman tipidir, yük taşımak için tasarlanmıştır diye düşünülebilir.

Boyutsuz Oranlar: Gemi geometrisini tanımlamada ve sistematik analiz çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bazı boyutsuz oranlar da vardır. Bunlar modellemede dizayn parametreleri olarak ifade edilebilir. Gemi tip ve büyüklüğüne

bağlı olarak belirli aralıklarda değişen boyutsuz oranların başlıcaları aşağıdaki gibi sıralanabilir. Bu oranlar modelde gemi formunu temel olarak tanımlayacak biçimde mümkün olduğunca az olmalı ve birbirleri arasında korelasyon olmamalıdır.

Tablo 3.4: Boyutsuz oranların başlıcaları (Baykal, 2011).

Boy-Genişlik Oranı	Length-Beam Ratio	L_{pp}/B
Boy-Draft Oranı	Length-Draft Ratio	L_{pp}/d_s
Boy-Derinlik Oranı	Length-Depth Ratio	L_{pp}/D
Genişlik-Draft Oranı	Breadth-Draft Ratio	B/d_s

Literatürde geçen modellerde kullanılan oranlar Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5: Modellemede kullanılan oranlar (Sayılı, Alkan, Nabergoj ve Uysal, 2007).

Model	Fonksiyonel İlişkiler	Açıklama
(Bales, 1980)	$T/L, c/L, CWPF, CWPA, CVPF, CVPA$	Savaş Gemisi
(Wijngaarden, 1984)	$L/B, L/T, CP^4, CWP, LCF, LCB$	Araştırma Gemisi
(Nabergoj et al., 1989)	$T/L, c/L, CWPF, CWPA, CVPF, CVPA$	Trawler Tipi Balıkçı Teknesi
(Trincas et al., 2001)	$L, T/B, L^2/BT, AWP/\nabla^{2/3}, CPVF, CPVA, BML/L^3B, (LCB-LCF)\nabla, LCB\nabla^{1/3}$	Akdeniz Tipi Balıkçı Teknesi
(Alkan, 2003)	$L/B, L/T, B/T, CB, CP, CM, CVP, CWP, L/\nabla^{1/3}, LCB, LCF$	

Örneğin; B/ds oranı hidrodinamik performansa ve stabilizasyonla doğrudan ilişkilidir. L/D oranı geminin gücü ile, B/D oranı ise geminin stabilizasyonu ile ilişkilidir.

4. GEMİ DİZAYNI

Hızla gelişen ve derinleşen bilim, teknolojinin her alanında olduğu gibi gemi dizayn ve inşasında da etkili yansılar sunmaktadır. Bilimin birçok dalında uğraş veren insanları, daha önce geliştirilmiş yöntemlerinin yanı sıra, kişisel sezgileri de yönlendirmiştir. Gemi inşaatı ise, doğduğu günden beri bir bilim-sanat sentezi olarak ele alınmıştır. Kısaca gemi inşaatı; güvenli ve en ekonomik optimum dizayn ile birlikte, gemi inşasına dolaylı ve doğrudan etkisi olan endüstriyel ve bilimsel alanlardan da faydalanarak, dinamik bir sanat yapıtı oluşturmaktadır.

Gemiler; kendilerinden beklenen belirli görevleri yerine getirmeleri için dizayn edilirler. Bir gemi görevinin başarıyla yapılması için; dengeli bir şekilde yüzmeli, istenilen sürati yapabilmeli, açık denizlerde, sığ ve dar sularda manevra yapabilmeli, ağır deniz şartlarında da büyük dalga kuvvetlerine karşı dayanıklı olabilmelidir. Bir gemiden beklenen bu özelliklerin ve yeteneklerin sağlanması dizaynın temel amacıdır. Ancak, bu özellik ve yetenekler, birbirleriyle çelişen düzenlemeleri gerektirir. Uygun bir dizayna ulaşabilmek için bu özellikler arasında bir uzlaşım sağlamak gerekir.

Genel olarak dizayn, gemiden istenilecek görevi yerine getirebilecek şekilde, teknolojik üstünlüğe sahip, en ekonomik, en yararlı üretim olanağı veren ve geçerli ulusal ve uluslararası deniz ve emniyet kurallarına uygun bir geminin tasarlanması, hesaplanması ve çizilmesi işlemidir. Kısaca; bir geminin dizaynı, o geminin kağıt üzerinde inşa edilmesi demektir.

Gemi dizaynındaki temel adımlar:

1. Gemiden beklenen işlev ve performans karakteristikleri belirlenir.
2. Dizaynı sınırlayacak kısıtlar belirlenir.
3. Çeşitli dizayn alternatifleri geliştirilir.
4. Geliştirilen alternatiflerden optimum dizayn seçilir.

5. Seçilen dizaynın detayları geliştirilir.
6. Geminin inşası tamamlanarak seyir ve servis tecrübeleri daha sonraki dizaynlarda yararlanılmak üzere dizaynere verilir.

İlk aşama hedef olan karakteristiklerin belirlenmesidir. Bu karakteristikler:

a. Teknik özellikler: Geminin stabilite özellikleri, tam yol sürati, seyir yarıçapı, payload ağırlığı, deplasmanı, boyutları, ticaret gemilerinde dead weight tonajı, gros ve net tonajlar, makine türü, yakıt tüketimi, denizcilik özellikleri vb. gibi sayılabilir.

b. Ekonomik özellikler: Geminin para kazanma kapasitesi de demek olan dead weight tonajı, işletme masraflarında rol oynayan net ve gros tonajları, ilk elde etme maliyeti, ayrıca yakıt tüketimi, sürati vb. ve teknik olduğu kadar, ekonomik önemi de olan özelliklerdendir.

c. Askeri özellikler: Savaş gemileri için geçerli olan bu özellikler arasında geminin silah sistemleri etkinliği, sürati, seyir çapı, denizcilik özellikleri, sistem güvenilirlikleri, hayatta kalabilme özellikleri (survivability) sayılabilir.

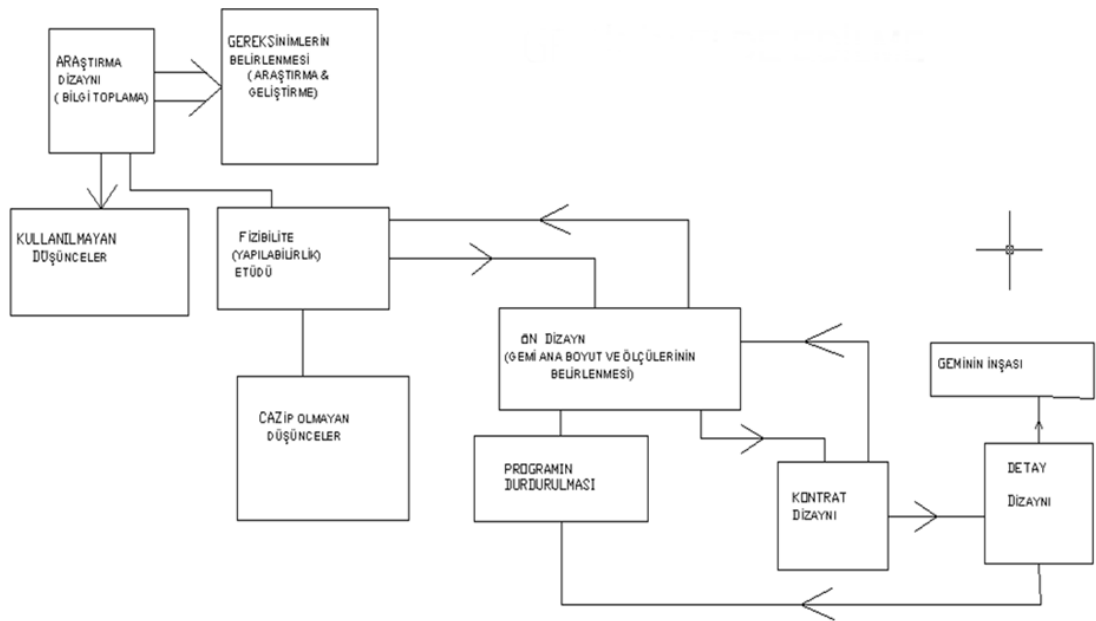
Gemi dizaynında rol oynayan teknik karakteristikler, savaş ve ticaret gemileri için aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Tablo 4.1: Savaş ve ticaret gemilerinin teknik karakteristikleri.

Savaş gemileri	Ticaret gemileri
Sürat	Sürat
Stabilite	Stabilite
Yapısal dayanıklılık	Yapısal dayanıklılık
Seyir yarıçapı	Yakıt tüketimi
Denizcilik özelliği	Denizcilik özelliği
Yararlı yük (payload)	Ambar hacmi
Bölmeleme ve hayatta kalma	Bölmeleme
Manevra yeteneği	Manevra yeteneği
Gizlilik (düşmana yakalanmama)	Kolay yükleme/boşaltma

4.1 Dizaynın Aşamaları

Gemi dizaynında tek çözüm yolu yoktur. Dizayn sonunda gemiden beklenen özellikler arasında dengeli bir uzlaşma sağlanmalıdır. Gemilerin, işletme/kullanım amaçlarına göre dizayn yollarında değişimler olabilir. Çoğu kez başlangıçta varsayılan gemiden farklı özelliklerde bir gemiye ulaşılır. Gemi dizaynı, “nasıl bir gemi?” sorusunun sorulması ile başlayıp, işçilik resimlerinin çizilmesi ile sona eren bir süreçtir. Her aşamada harcanan insan gücü biraz daha fazladır.



Şekil 4.1: Bir geminin elde edilme aşamaları.

4.2 Geminin Elde Edilme Aşamaları

Gemi dizaynı, ardışık yaklaşımlar içeren ve gitgide son olarak inşa edilecek olan gemiye yaklaşılan bir işlemler dizisidir. Bir geminin dizayn aşamalarını aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Harekat gereksinimlerinin belirlenmesi: Gemiye duyulan gereksinimlerin tam olarak anlaşılması ile başlayan bu aşamada, gemiden beklenen hareket gereksinimleri, yani geminin ne gibi amaçlarla kullanılacağı belirlenir.

2. Kavram dizaynı: Yukarıda belirlenen hareket gereksinimlerine en iyi ne tür bir geminin yanıt verebileceği sorusu, bu aşamanın ana amacıdır. Bu aşamada; geminin yaklaşık boyutları, sürati, sevk sistemi, sensör, bilgi-işlem-muharebe sistemlerinin konfigürasyonu vb. gibi genel özellikleri belirlenir. Ayrıca gerekli bütçeleme ve maliyet-etkinlik analizi için yaklaşık bir maliyet tahmini de yapılır. Bu nedenle bu aşamaya “fizibilite dizaynı” adı da verilebilir.

3. Ön dizayn: Bu aşamada kavram dizaynında hesaba katılmayan unsurlar da göz önüne alınmaktadır. Geminin mukavemet hesapları ile yapısal elemanların yaklaşık boyutlandırılması yapılır, geminin hidrostatik eğrileri elde edilir, sağlam ve yaralı stabilite hesapları yapılır. Geminin endaze hesaplarının sonunda model deneyleri yapılarak hız-güç eğrisi ile denizcilik ve manevra özellikleri de elde edilir. Geminin genel yerleşim planı da bu aşamada çizilerek, bir ön şartname hazırlanır ve ihale aşamasına geçilir. Ayrıca, geminin maliyeti ile ilgili değerlendirmeler de yapılarak, bütçeleme ve finansman ile ilgili çalışmalar için de gerekli veriler elde edilmiş olur.

4. Kontrat dizaynı: Gemiye inşa edecek olan kuruluşa yol gösterecek olan tüm planların ve dokümanların hazırlandığı aşamadır. Kontrat dizaynı; ön dizayn aşaması sonunda ortaya çıkan verilerden hareketle, kullanıcı (armatör) ile yapımcı (tersane) arasında gerekli teknik, ticari, hukuksal konuları belirleyici bir kontratın imzalanması için yeterince ayrıntılı bir hesaplama, çizim ve tanımlama işlemleri bütünü olarak düşünülebilir. Bu aşama ile tersanenin inşa edeceği geminin tüm özellikleri belirlenmiş olur.

5. Fonksiyonel dizayn: Dizayn onay otoritesinin talep edeceği tüm hesap, resim ve tanımlamaların yapıldığı dizayn aşamasıdır. Üretim sürecinde satın alınacak araç, gereç ve alt sistemlerinde şartnameleri hazırlanır. Bu aşama, geminin yalnızca sistemler bazında değerlendirildiği ve bunun dışında tek bir ünite olarak ele alındığı son aşamadır.

6. Geçiş dizaynı: Genellikle böyle bir dizayn aşamasının varlığından söz edilmez. Bu aşamada sistem bazından ürün bazına geçilir ve tersanenin imal işlemleri için gerekli olan işlem analizi yapılır. Yapılacak olan işlemler, en alt düzeye kadar indirgenerek değerlendirilir.

7. Detay dizaynı ve atölye resimleri: Dizayn faaliyetinin son aşamasını oluşturur. Bu aşamada dizayn, sistem bazında değil, planlanan üretim ünitesi bazında yapılır.

Yukarıda bahsedilen dizayn işlemleri, daha önce de söz edildiği gibi, iteratif bir yaklaşımla yapılır. Gemi dizaynerinin işi, kontrat dizaynı aşamasına kadardır.

Harcanan insan gücü her dizayn aşamasında biraz daha artmaktadır. Tipik bir gemi için harcanan “Adam x Gün” olarak iş gücü;

Kavram dizaynı	40 – 80 A x G	
Ön dizayn	300 – 2000 A x G	
Kontrat dizaynı	3000 – 20000 A x G	kadardır.

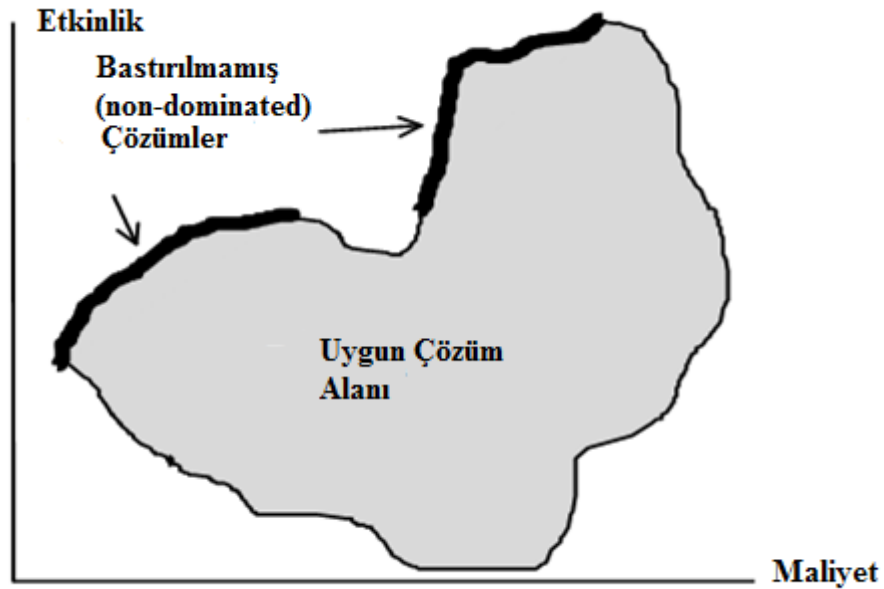
Görüldüğü gibi, dizayn ilerledikçe bu amaç için harcanan insan gücü de hızla artmaktadır.

4.3 Gemi Dizayn Yaklaşımları

Brown ve Salcedo (2003) gemi tasarımı için sistematik bir yaklaşım için gerekli üç bileşen olduğuna vurgu yapmakta ve bu üç bileşeni; etkin ve etkili bir tasarım uzayı oluşturulması, amaç fonksiyonunun iyi tanımlanmış ölçülebilir özellikler içermesi ve dizayn uzayının ifadesi için etkin bir format kullanılması şeklinde ifade etmektedir.

Etkinlik, maliyet ve risk farklı özelliklerdir ve farklı ölçüm metotları gerektirmektedir. Bu üç farklı özellik tek bir fonksiyonda birleştirilememektedir. Eş zamanlı olarak karar verme ve karşılaştırma için problem çözümüne dahil edilmesi gerekmektedir. Gemi tasarımlarının etkinliği harp oyunu veya diğer kompleks

yöntemler kullanılarak analiz edilebilmektedir. Ancak bu yaklaşım yapılandırılmış bir tasarım uzayındaki tasarımları değerlendirilirken fazla fayda sağlamamaktadır. Bastırılmamış (non-dominated) çözüm problemin ve kısıtların tanımlanmış durumda amaç fonksiyonunda tek bir en iyi çözümün olduğu uygun çözümü göstermektedir. Örneğin Şekil 4.2’de maliyetin minimize, etkinliğin maksimize edildiği problem çözümü yer almaktadır. Tercih edilen kavramsal tasarımlar bastırılmamış (non-dominated) çözümlerden birisi olacaktır. Hangisinin olacağı karar verici makamların maliyet ve etkinlik arasındaki dengeyi kurması ile belirlenmektedir.

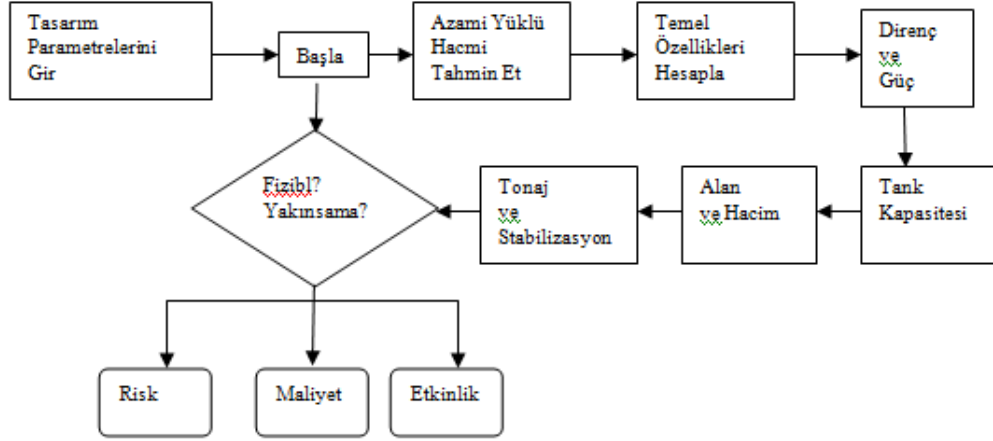


Şekil 4.2: Maliyet-etkinlik tasarım uzayı (Brown ve Salcedo, 2003).

Gemi tasarım sürecinde tasarımcılar tarafından kullanıcı ve karar verici makamların değerlendirmesi için bir çalışma modeli oluşturulmaktadır. (Şekil 4.3) Böylelikle görev etkinliği, onun gemi ve performans kriterleri ile ilişkisi de tanımlanmış olmaktadır. Bu kantitatif değerlendirme yapılandırılmış bir optimizasyon süreci için temel teşkil etmektedir.

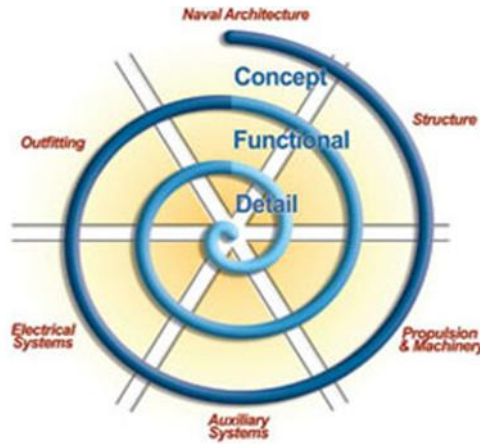
Tasarlanacak geminin çeşidine göre beklentiler de değişmektedir. Örneğin bir savaş gemisi için görev etkinliği belirlenirken entegre edilmesi gereken hususlar; savunma politikası ve hedefleri, tehdit durumu, mevcut kuvvet yapısı, görev ihtiyacı,

görev senaryoları, harp oyunu sonuçları ve uzman fikirleri yer almaktadır (Brown ve Salcedo, 2003, s. 2).



Şekil 4.3: Tasarım akış diyagramı.

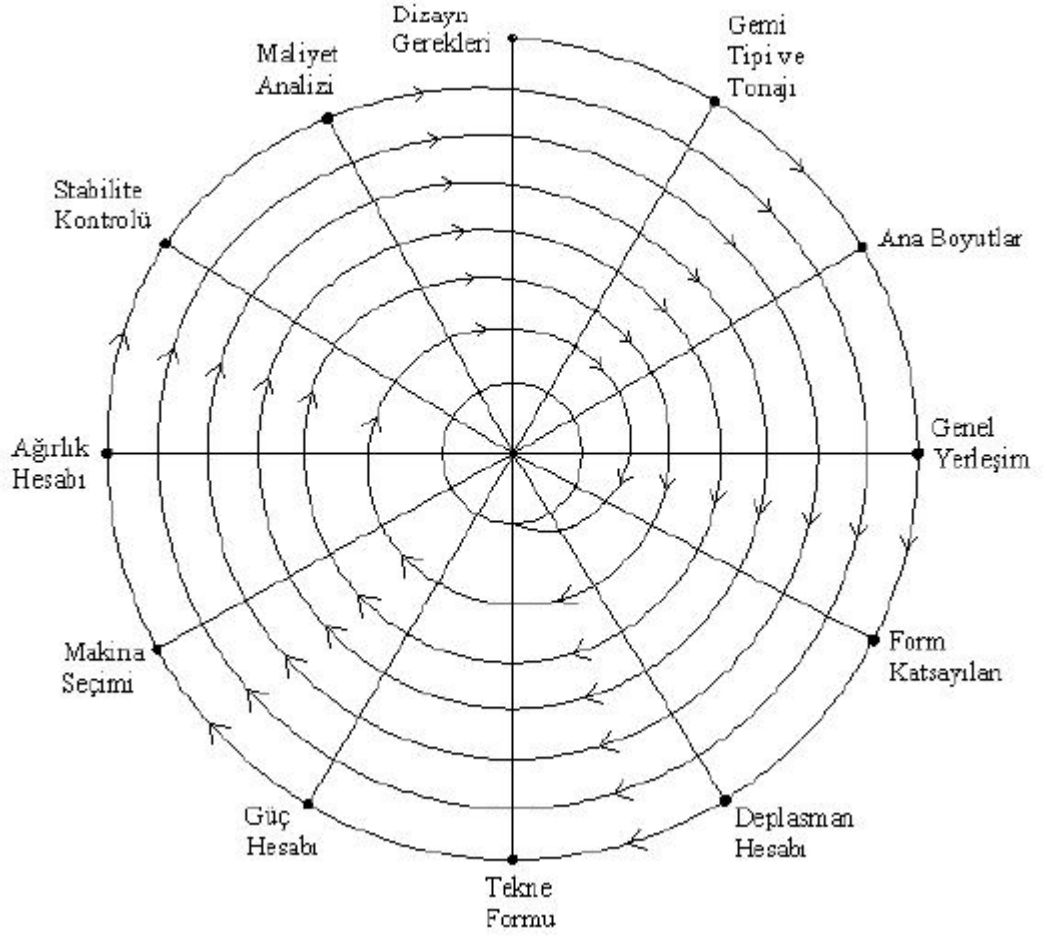
Mistree, Smith, Bras, Allen ve Muster (1990), gemi tasarım faaliyetlerinin temelini Evans'ın spiral modelinin oluşturduğu belirtmektedir. Brinati, Agosto ve De Conti (2007) de farklı tasarım modellerinin içinde en çok kullanılanın Evans tarafından geliştirilen model olduğunu belirtmektedir.



Şekil 4.4: Spiral tasarım (kısa gösterim).

Gemi tasarımları 1990'lara kadar temel gemi tasarımı ve Evans-Buxton-Andrews spirali kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu spiralde tasarım sürecinin

ardışık olacağı ve ömür devri ile ilgili konuların dahil edilme imkanının kısıtlı olduğu varsayılmıştır.



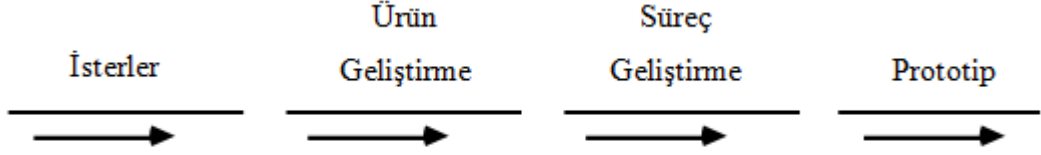
Şekil 4.5: Evans spiral model.

Spiral modelde Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te görüleceği üzere işlemler ardışık sırada gerçekleşmektedir. Ayrıca emek yoğun ve pahalı bir sistemdir. Geçmişte gemi tasarımında fazlasıyla faydalanılan model bilgi sistemlerinden uzaktır ve artan bir detaya sahiptir. Bu durum Buxton'ın modele katkısıyla giderilmeye çalışılmıştır. Modelin görsel bir zenginliği olsa da optimal çözümlere ilişkin bir yapısı bulunmamaktadır. Ancak modelin ana katmanları (Şekil 4.4) gemi tasarımının ana fonksiyonlarıdır (Mistree vd., 1990, s.10). Kavramsal tasarım aşamasında ihtiyaçların belirlenmesi, isterlerin tanımlanması, tasarım kriterlerinin seçimi ve çözüm yöntemine karar verilmesi yer almaktadır (Brinati vd., 2007).

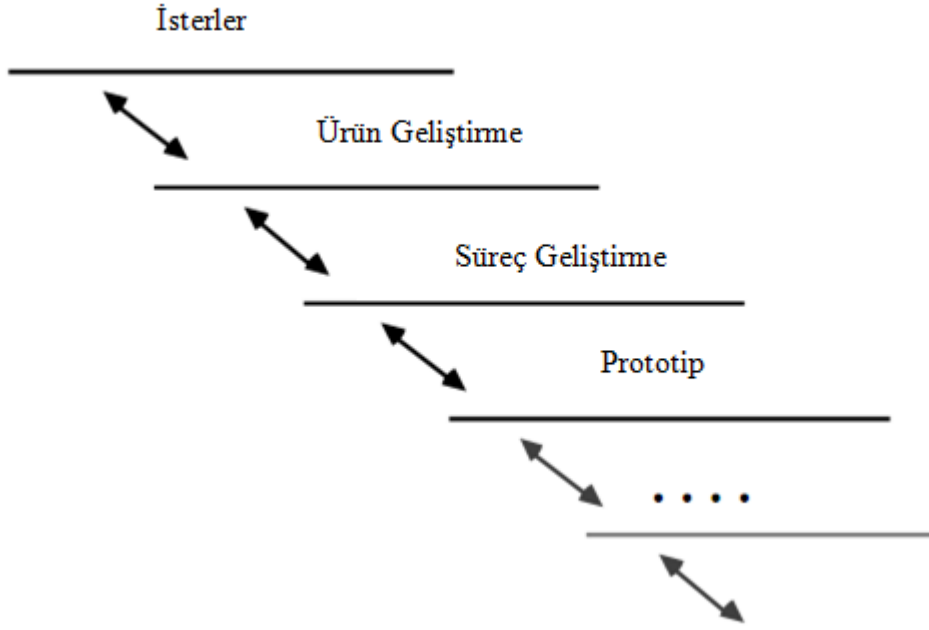
Mistree vd., (1990) gemi tasarım etkin ve etkililiğinin artırılması için yeni bir süreç önermektedir. Bu süreç sistem felsefesine ve ömür devri açısından eş zamanlı mühendisliğe vurgu yapmaktadır ve tasarım süreçlerini betimleyici ve öngörücü olarak iki grupta tasnif etmektedir. Öngörücü yöntemler analiz, sentez ve değerlendirme olmak üzere üç temel faaliyeti içermekte ve sistematik bir yaklaşım sergilemektedir. Bu kapsamda Pahl ve Bitz yöntemi olarak literatürde yer alan metot Almanya'da geliştirilmiş sistematik bir tasarım yaklaşımıdır. Öngörücü yaklaşım olarak nitelenen bu yöntemde ürün tasarımı fonksiyonel aşamalara ayrılmaktadır. Bağımsız olarak tasarlanabilen modüller sayesinde tasarım faaliyeti basitleştirilmiş olmaktadır. Öte yandan bağımsız modüller şeklinde tasarım çalışmaları bütünleştirme aşamasında bazı sorunlar yaşanmasına sebep olabilmektedir. Yöntemi yedi aşamalı bir şekilde tanımlamak mümkündür. Birinci aşamada değerlendirme kriterleri sıralanmakta, ikinci aşamada bu kriterler ağırlıklandırılmaktadır. Daha sonra kriterlere operasyonel ölçme değerleri tanımlanmakta, müteakiben her bir kritere sayısal değerler atanmaktadır. Ağırlıklar ile sayısal değerlerin çarpımı ile her bir kriterin değeri bulunduğundan sonra toplam değere ulaşılmaktadır. En büyük değer en optimal sonuç olacak şekilde alternatifler değerlendirilmektedir. Son aşamada belirsizlikleri elimine etmek ve tutarlılık sağlamak için sonuçlar kontrol edilmektedir.

Öte taraftan betimleyici yaklaşımlarda bir tasarımcının liderliğinde çalışılmakta ve bir çözüm aranmaktadır. Yaklaşım problemin analizi, kavramsal tasarım, nihai tasarım ve detay tasarımı olarak dört aktiviteyi içermektedir (Mistree vd., 1990, s.5).

Bunlarla birlikte eş zamanlı mühendislik tasarımı kavramsal tasarım aşamasından envanterden çıkarmaya kadar ürün ömür devrini hesaba katan ve ortak anlayışla oluşturulmuş bir yaklaşımdır (Mistree vd., 1990, s.6). Eşzamanlı mühendislik ihtiyaç makamının talepleri ve önceliklerine odaklanan, süreç iyileştirme sonucunda kalite oluştuğuna inanan, süreç iyileştirmenin tüm işletmenin bitmeyen sorumluluğu olduğu felsefesine sahip bir yaklaşımdır (Mistree vd., 1990, s.6).



Şekil 4.6: Sistematik tasarım yaklaşımı.



Şekil 4.7: Eşzamanlı mühendislik tasarımı.

Eşzamanlı tasarım yaklaşımının çok çeşitli uygulama şekilleri bulunsa da temelde üç faaliyet jenerik olarak hepsinde geçerli bulunmaktadır (Mistree vd., 1990, s.8). Bunlar; tasarım, üretim ve destek süreçleri için çok fonksiyonlu ekiplerin kullanılması, bilgisayar destekli programlara yer verilmesi ve ürün tasarım, üretim ve destek süreçlerini optimize etmek amacıyla çeşitli analitik yöntemlerle çözümler bulunmasıdır.

5. OPTİMİZASYON

Optimizasyon, bir problemin çözümünde matematiksel modeller geliştirerek, yönetsel karar üretmeye yardım eden disiplinlerdir (Sarker, 2002).

5.1 Formülasyonu

Bir tasarım probleminin matematiksel modeli, bir eşitlikler sistemi ve problemin temelini açıklayan matematiksel ifadelerdir. Eğer hedeflenen n tane karar varsa, bunlar karar değişkenleri x_1, x_2, \dots, x_n olarak temsil edilir. Uygun bir performans ölçümü, karar değişkenlerinin fonksiyonu olarak tanımlanır. Bu fonksiyona amaç fonksiyonu denir. Karar değişkenlerinin alabileceği değerlerde sınırlamalar varsa, bu sınırlamalar tipik olarak eşitsizlikler veya eşitliklerle açıklanır ve bunlara kısıtlar denir. Burada amaç, kısıtların her birini sağlayarak amaç fonksiyonunun en iyi değerini elde eden karar değişkenlerinin değerlerini belirlemektir.

Örnek olarak, bir tersanede kârı en fazla yapmak için n farklı gemi tipinin üretim seviyelerini seçme problemi ele alınırsa; üretim seviyeleri sınırlı kaynaklardan dolayı m tane kısıta bağlı olacaktır. Bu modelin amacı, aşağıdaki durumları sağlayacak parametrelerini belirlemektir.

$$\text{Max } f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (5.1)$$

aşağıdakilere bağlı olarak;

$$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_1 \quad (5.2)$$

$$g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_2 \quad (5.3)$$

.

.

$$g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_m \quad (5.4)$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \quad (5.5)$$

Bu modelde, karar değişkenleri x_1, x_2, \dots, x_n üretim seviyelerini gösterir, amaç fonksiyonu $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ kârı ölçer ve $g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_i$ $i = 1, \dots, m$ eşitsizlikleri ile kısıtlamalar gösterilir.

x_1, x_2, \dots, x_n değerlerinden herhangi birine *çözüm* denir. Oysaki tüm kısıtlamaları sağlayan çözüm *uygun çözüm* olarak adlandırılır. Tüm uygun çözümlerin kümesine *uygun çözüm kümesi* denir. Amaç fonksiyonunu maksimum yapan uygun bölgedeki bir çözüm *optimal çözüm* olarak adlandırılır.

Başka optimizasyon modelleri amaç fonksiyonunu minimize etmeyi amaçlayabilir (maliyetin minimize edilmesi). Ayrıca modeller karışık kısıtlamalara sahip olabilir, eşitlik ve eşitsizlikler olabilir veya hiç bir kısıtlama olmayabilir (Sağ, 2008).

5.2 Optimizasyon Modellerinin Sınıflandırılması

Bir optimizasyon problemini çözmeden önce, amaç fonksiyonunun özellikleri, kısıtlamalar ve karar değişkenlerinin durumu önemlidir. Örneğin amaç fonksiyonu lineer veya lineer olmayan, ayrık veya ayrık olmayan, içbükey veya dışbükey olabilir. Karar değişkenleri sürekli veya ayrık, içbükey veya dışbükey olabilir. Bu farklılıklar her bir modelin nasıl çözülebileceğini etkiler ve böylece optimizasyon modelleri bu farklılıklara göre sınıflandırılabilir (Sarker, 2002).

Birçok optimizasyon tekniği lineer fonksiyon kısıtlamalarında amaç fonksiyon veya fonksiyonlarına bağlıdır. Bir fonksiyon, c_i değerleri sabit olduğunda

$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1, c_2x_2, \dots, c_nx_n$ şeklinde ifade edilebilirse lineerdir. Eğer amaç fonksiyon ve tüm kısıt fonksiyonları, lineer fonksiyonsa, modele lineer programlama modeli denir.

Yukarıda verilen örnekte tek bir amaç vardı (kârın maksimize edilmesi). Bazen tüm yönetimsel amaçları tek bir amaçta ifade etmek mümkün değildir. (Kârın maksimize edilmesi ve maliyetin minimize edilmesi gibi) Bu sebeple, birden çok amaç fonksiyonu içeren çok amaçlı optimizasyon modeli ortaya çıkar.

Lineer programlama ve nonlinear programlama tekniklerinde alışlagelmiş olarak karar değişkenlerinin sürekli olduğu varsayılır. Başka bir deyişle, karar değişkenlerinin kısıtlamaları sağlayan, tamsayı olmayan değerler dâhil herhangi bir değer alabilmesine izin verilir. Bununla beraber birçok uygulamada, karar değişkenleri sadece tamsayı değerleri için anlamlı olur. Mesela kişilere veya teçhizata tamsayı miktarlarında atama yapmak için tamsayı değerler sıklıkla gereklidir. Tüm değişkenlerin tamsayı olmasının gerektiği bir model *tamsayı* programlama modeli olarak tanımlanır. Değişkenlerden bazıları süreklirse, ancak diğerlerinin tamsayı olması gerekiyorsa bu modele de karışık-tamsayı programlama modeli denir. Modeldeki tüm fonksiyonlar lineerse, lineer tamsayı programlama modeli veya fonksiyonlardan herhangi biri lineer değilse lineer olmayan tamsayı programlama modeli olarak kategorize edilebilir.

Amaç fonksiyonu veya kısıt fonksiyonlarından herhangi biri lineer değilse model, lineer olmayan programlama modeli olarak adlandırılır. Lineer olmayan programlama problemleri birçok şekilde olabilir. Tek bir algoritma tüm bu farklı problem türlerini çözemez. Bu nedenle, optimizasyon algoritmaları değişik lineer olmayan programlama problemlerini çözmek için geliştirilmiştir (Sağ, 2008).

5.3 Çok Kriterli Optimizasyon

Çok kriterli optimizasyon, tek kriterli optimizasyondan çok farklıdır. Tek kriterli optimizasyonda, bir amaç için en iyi olan tek bir tasarım veya karar elde edilmeye çalışılır. Bu, genellikle minimizasyon veya maksimizasyon problemine dayalı olarak küresel minimum veya küresel maksimumun bulunmasıdır (Osyczka, 2002).

Gerçek dünyada, tasarımların veya problemlerin tamamına yakını birden fazla ve birbiriyle çelişebilen amaçların eş zamanlı optimizasyonunu gerektirir. Örneğin; bir köprü inşası için iyi bir tasarım, düşük kütle ve yüksek dayanıklılıkla ifade edilir. Uçak tasarımı; yakıt verimliliği, yük ve ağırlığın eş zamanlı optimizasyonunu gerektirir. Bir arabanın tavan pencere tasarımı için sürücünün duyacağı gürültünün minimize edilmesi, havalandırmanın ise maksimize edilmesi amaçlanır. Bu bakımdan, çoklu-amaç durumunda tüm amaçlara göre en iyi olan tek bir çözüm

mevcut olmayabilir. Bu durumda karar vericinin, üzerinde uzlaşma sağlanmış sonlu bir kümeden bir çözüm seçmesi istenir. Uygun çözüm, tüm amaçlar için kabul edilebilir düzeyde bir performans sağlamalıdır.

5.3.1 Pareto Optimal Kavramı

Pareto Optimal kavramı 1900'lü yılların başlarında, İtalyan iktisatçı ve sosyolog olan Vilfredo Pareto tarafından bulunmuş olan ekonomik yeni refah teorisinden gelmektedir. Pareto, bir ulusun ekonomisinde olası olan denge durumlarını araştırırken, adını kendisinden alan pareto optimal kavramını buldu. Pareto optimal duruma ulaşılması halinde insanların yararlı mallara ve hizmetlere olan gereksinimleri, en iyi biçimde karşılanmış olur. Bununla modern refah teorisinin temellerini kurmuştur. Bu teoriye göre;

1. Herkesin durumunu daha iyi yapan veya kimsenin durumu değiştirmedeği halde en az bir kişinin durumunu daha iyi hale getiren,
2. Herkesin durumunu daha kötü yapan veya kimsenin durumunu değiştirmedeği halde en az bir kişinin durumunu daha kötü yapan değişmelerin değerlendirilmesini yaparak şu sonuçlara varmıştır:

Bazılarının durumunu daha iyi hale getirip bazılarının durumunu daha kötü hale getiren değişmelerin refahı ne yönde etkilediği söylenemez. Refah, ancak hiç kimsenin durumunu kötüleştirmeden bazı kişilerin durumunu iyileştirebiliyorsa artmış sayılır ve şayet kimsenin durumunu kötüleştirmeden bir kişinin dahi durumunu iyileştirme olanağı yoksa refah maksimuma ulaşmış sayılır.

Pareto-optimal kavramı ile çok amaçlı optimizasyon algoritmaları geliştirilmiştir. Buna göre; uygun bir çözüm amaç değerlerine göre, en iyi, en kötü ve diğer çözümlerden farksız olabilir. En iyi çözüm, amaçların herhangi biri içinde en kötü olmayan ve en azından bir amaç içinde diğerlerinden daha iyi olan çözüm anlamındadır. Optimal çözüm, arama uzayında, herhangi bir diğer çözüm tarafından bastırılmayan çözümdür. Böyle bir optimal çözüme *Pareto-Optimal Çözüm* ve bütün bu şekildeki optimal çözümlerin kümesi de *Pareto-Optimal Küme* olarak adlandırılır (Sağ, 2008).

5.4 Çok Kriterli Optimizasyon Problemleri

Çok kriterli optimizasyon problemi birden fazla amaçtan, eşitlik ve eşitsizliklerden oluşur. Bu problemlerin genel matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{Minimize/maksimize } f_i(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5.6)$$

Aşağıdakilere bağlı olarak;

$$g_j(x) \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (5.7)$$

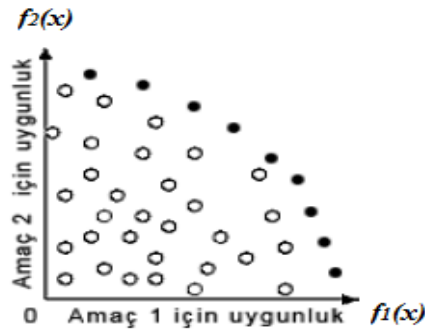
$$h_k(x) \leq 0 \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (5.8)$$

x belirlenen bir karar değişkenler vektörü ve $f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)$ maksimize/minimize edilecek amaç fonksiyonlardır. Aşağıdaki eşitsizlikler x ve y çözümleri arasında tutulduğunda, x çözümü y çözümü tarafından bastırılır.

$$\forall i: f_i(x) \leq f_i(y) \text{ ve } j: f_j(x) \leq f_j(y) \quad (5.9)$$

Bastırılmamış çözümlerin örnekleri Şekil 5.1’de görülmektedir. Bastırılmamış ve bastırılmış çözümler sırasıyla kapalı ve açık çemberlerle iki boyutlu amaç uzayında görülmektedir. Şekil 5.1’deki iki boyutlu amaç uzayı, aşağıdaki iki amaçlı optimizasyon problemini ifade eder (Sağ, 2008).

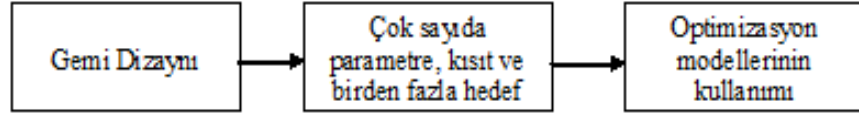
Maksimize $f_1(x)$ ve $f_2(x)$ için;



Şekil 5.1: Bastırılmamış çözümler (kapalı çemberler) ve bastırılmış çözümler (açık çemberler).

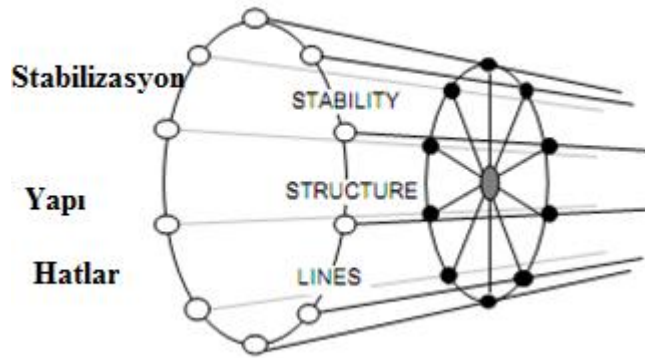
6. GEMİ DİZAYNINDA OPTİMİZASYON

Gemi dizaynında temel amaç, verilen dizayn koşullarını sağlayan alternatifler içinde en ekonomik olanı bulmaktır. Bunun için de pek çok dizayn hesabının ve kontrolünün çok sayıda alternatif dizayn için gerçekleştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 6.1: Dizayn ve optimizasyon süreci.

Mistree vd. (1990) göre optimizasyon modelleri hesaplamaları kısaltmakta, tasarım değişken ve kısıtlarından gerekli olan kadarı çözüme dahil edilebilmekte ve amaç fonksiyonunda tanımlı en iyi çözüm otomatik olarak bulunabilmektedir. Önceleri tek kriterli karar verme modelleri uygulanırken, zamanla çok kriterli karar verme modelleri kullanılmaya başlanmıştır. Çünkü, gemi dizayn optimizasyon problemleri birbiriyle çelişen çeşitli amaç fonksiyonlarına sahiptir. Örneğin Mistree vd. (1990, s.6) tarafından sıralı lineer programlama ile optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Böylelikle gemi tasarım optimizasyon uygulamalarında Şekil 6.2'dekine benzer şekilde eşzamanlı mühendislik uygulamaları da yer almıştır (Mistree vd., 1990, s.12).



Şekil 6.2: Spiral modelde eşzamanlı tasarım.

Tahara, Tohyama ve Katsui (2006) da gemi dizaynının çok kriterli karar verme problemi olduğunu belirtmektedir. Örneğin, direncin azaltılması ya da belirli hareketlerin artırılması tasarım sürecinin hedefi olabilir. Ayrıca tasarımcıların motor gücü ile ilgili veya bakım maliyetlerine ilişkin değerleri de hesaba katmaları gerekmektedir. Bazı değerlerin yükseltilmesi bazılarının istenen değerlere ulaşmasını önleyebilir. Genelde her açıdan mükemmel bir dizayn yaratmak olanaksız olduğu için tasarımcının temel görevi gemiden beklenen değişik işlevler arasından dengeli bir bütünlük sağlamaktır (Özyiğit, 2006, s.13). Bu nedenle çok amaçlı bir optimizasyon yaklaşımı uygun olmaktadır.

Shin ve Han (1998) tarafından belirtildiği gibi gemi tasarım optimizasyon modellerinde tasarımcıların kendi değişken uzayları oluşmakta ve çok farklı programlar kullanılarak çözüm kümeleri oluşturulmaktadır. Örneğin araştırmacılar bilgisayar destekli CAD programıyla çalışırken, McGookin, Murray-Smith, Li ve Fossen (2000) seyir kontrol sistemi optimizasyonu için genetik algoritma kullanılmıştır. Diez ve Peri (2010) ise stokastik çalışmayı gemi tasarımına uygulamış, böylelikle beklenen değer ve standart sapmadaki farklılıkları amaç fonksiyonuna yansıtılmış, kısıtlar için ise en kötü senaryo koşullarını esas almıştır. Yaakob, Teoh, Liev ve Koh (2005) balıkçı teknelerinin maliyetini düşürmek için dayanıklılıklarını yeniden modellemişler, hafif bir modifikasyon ile %12 yakıt tasarrufu sağlamayı başarmışlardır. Papanikolaou (2010) gemi tasarım optimizasyonu için sistem yaklaşımını uygulayarak bir çözüm yolu aramıştır.

Brinati vd. (2007) kargo hariç yapı, makine grubu, dış tasarım gibi ağırlık hesaplamalarının regresyon ile yapılabileceğini belirtmektedir. Araştırmacılar tarafından diğer kriterler için de tasarım modellemeleri ortaya konmaktadır. Ölçer (2008) tarafından çok maksatlı kombinasyonel problemlerin çözümleri incelenmiş ve evrimsel hesaplamalarla ulaşılan çözüm yöntemleri kullanılması önerilmiştir. Ray, Gokarn ve Sha (1995) çok kriterli karar verme modeli ile gemi tasarım optimizasyon modeli geliştirmiştir. Konteynır tasarımını kullanan araştırmacılar bu modelde genel bir optimizasyon aracını, bir karar verme modelini ve pek çok gemi mimari tahmin modelini bir araya getirmiştir. Yapısal tasarım modellemesi diğer modelleme uygulamalarına kıyasla çok daha fazla etkenin bir arada uygulanmasını gerektirmektedir. Örneğin bir füze için menzil, hız, hareket kabiliyeti ve kontrol

etkinliği iken (Tanıl, 2009), kapasite, hız, suüstü ve sualtı formlar, boyutlar, stabilizasyon, yük durumu gemilerde önem kazanmaktadır.

Tanıl (2009) füze dış tasarımı için kullanılmak üzere MATLAB programında çalıştırılan bir algoritma türetmiştir. Böylelikle kavramsal tasarım aşamasında kullanıcı tarafından girilen parametreler ışığında optimum konfigürasyonun elde edilmesi hedeflenmiştir. Türkmen ve Turan (2007) çok kriterli karar verme metodolojisini yolcu gemisi yapısal tasarımını geliştirmek için kullanmış, güvenlik ve ekonomik açıdan kazanımlar elde etmiştir. Arslan ve Güner (2008) bulanık mantık metodolojisini uygulayarak optimal çözüm bulmaya çalışmıştır. Bunlarla birlikte genetik algoritma kullanılarak da bir çözüm bulunabilir (Brinati vd., 2007).

6.1 Optimizasyon Yöntemi

Çok kriterli optimizasyon problemlerini çözebilmek için birçok yaklaşım geliştirilmiştir.

Bu çalışmada Eski Sovyetler Birliği'nde geliştirilen Parametre Uzayı Araştırma (Parameter Space Investigation) tekniği kullanılmıştır. PSI Metodu MOVI (Multicriteria Optimization and Vector Identification) adı verilen yazılım ile uygulanmıştır.

PSI Metodu kullanılarak yapılan ilk gemi dizayn modelinin optimizasyonu Saint Petersburg'da bulunan State Sea Technical Üniversitesi'nde Dr. O.M. Berezanskii ve Dr. Y. N. Semenov tarafından gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada petrol ve gaz endüstrisi filosu için Norveç'te ULSTEIN grup tarafından inşa edilmiş bir prototip gemi olan UT-704'ün performans kriterlerini geliştirmek amaçlanmıştır. Performans kriterleri tonaj, hız, sermaye yatırımları ve işletme maliyetleri idi. Gemilerin bu tür istatistiksel verileri dizayn değişkeni kısıtlarını seçmek için kullanılmıştır. Sonuç olarak, prototip önemli ölçüde geliştirilmiştir.

Roman B. Statnikov tarafından yürütülen PSI çalışmaları bu tezin ana referansı olarak alınmıştır.

6.2 Parametre Uzayı Araştırma Yöntemi

Parametre Uzayı Araştırma Yöntemini tanımlamak için çok kriterli optimizasyon problemlerinin matematiksel formülasyonu gereklidir. Bu metotta, sistem r boyutlu uzayda bir nokta olan, r dizayn değişkenlerine dayanır. (Örneğin dizayn değişkenleri vektörü.) Dizayn değişkeni vektörü aşağıdaki şekildedir.

$$\alpha = \alpha_1, \dots, \alpha_r \quad (6.1)$$

Capesize dökme yük gemisinin optimizasyonu modelinde yedi adet dizayn değişkeni bulunmaktadır. Bunlar; dikmeler arası boy (L_{pp}), genişlik (B), draft (d_s), blok katsayısı (C_b), gemi hızı (v_{tr}), kargo hacmi (V_{car}), makine veritabanı numarası (IME).

Dizayn değişkeni vektörü;

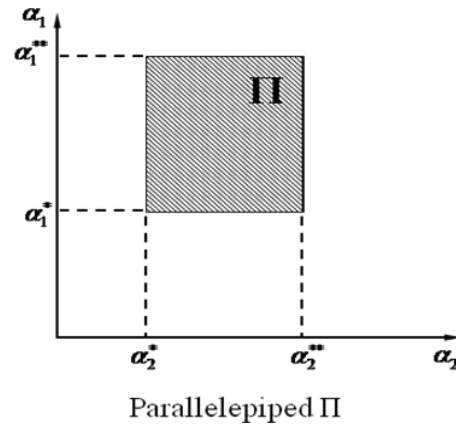
$$\alpha = (L_{pp}, B, d_s, C_b, v_{tr}, V_{car}, IME) \quad (6.2)$$

şeklinindedir.

Her dizayn değişkeninin kısıtları bulunmaktadır.

Bu kısıtlar; $\alpha_j^* \leq \alpha_j \leq \alpha_j^{**} \quad j = 1, \dots, r$ şeklinde gösterilir. α_j^* ve α_j^{**} değişken α 'nın alt ve üst sınır değerini göstermektedir. Dizayn değişkenleri kısıtlarıyla tanımlanan dizayn değişkenleri uzayı, r boyutlu uzayda " Π " olarak ifade edilen paralelkenar prizma (Parallelepiped) şeklini oluşturur. Dizayn değişkenleri uzayı en fazla üç boyutlu olarak gösterilebildiği için paralelkenar prizma (parallelepiped) PSI metodunda kullanılan bir terimdir.

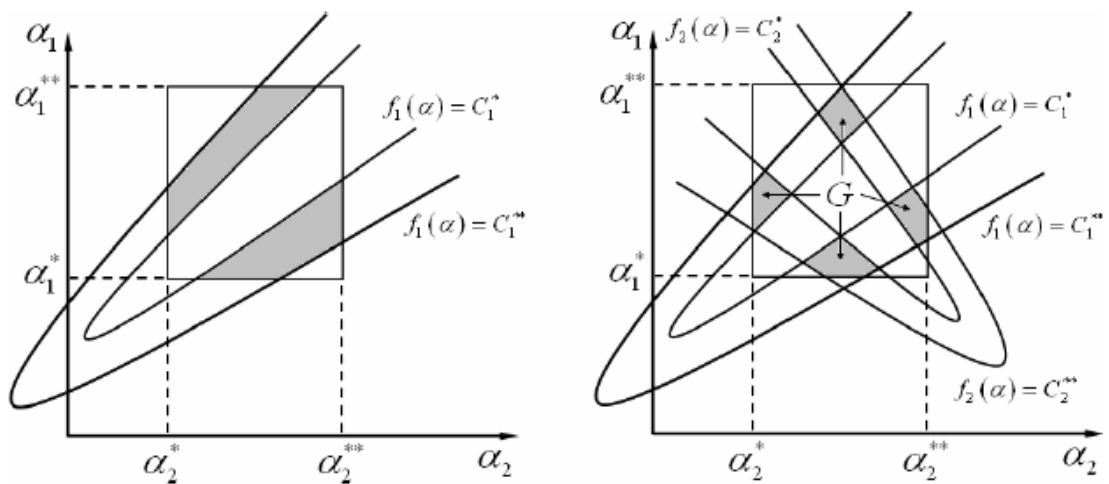
Model iki dizayn değişkeninden oluştuğunda, $\alpha = \alpha_1, \alpha_2$ dizayn değişkeni kısıtları $\alpha_1^* \leq \alpha_1 \leq \alpha_1^{**}$ ve $\alpha_2^* \leq \alpha_2 \leq \alpha_2^{**}$ olarak ifade edilir. Dizayn değişkeni uzayı bu kısıtlarla iki boyutlu olarak Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



Şekil 6.3: Paralelkenar prizma (Parallelepiped).

Her dizayn optimizasyon problemi dizayn değişkenlerinin fonksiyonu olan fonksiyonel bağıntılara sahiptir. Bu fonksiyonel bağıntılar optimize edilmezler ve fonksiyonel kısıtlara bağlıdır.

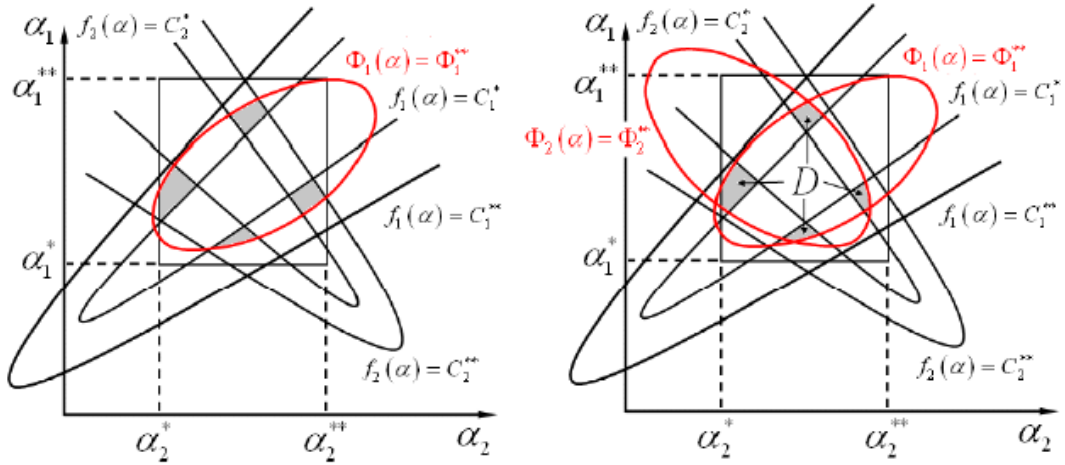
Örneğin; L/B oranı, her gemi türü için kabul edilebilir aralıkta (fonksiyonel kısıtları) olan gemi dizayn modeli için fonksiyonel bağıntı olabilir. Bu fonksiyonel kısıtlar $C_l^* \leq f_l(\alpha) \leq C_l^{**}$, $l = 1, \dots, t$ şeklinde gösterilir. $f_l(\alpha)$ fonksiyonel bağıntıları, C_l^* ve C_l^{**} ise bu fonksiyonel bağıntıların alt ve üst sınırlarını oluşturur. Dizayn değişkeni ve fonksiyonel kısıtlar birlikte Π 'nin alt kümesi olan "G" kümesini oluşturur. Alt küme G'nin iki boyutlu gösterimi Şekil 6.4'tedir.



Şekil 6.4: Fonksiyonel kısıtların uygulanmasından sonra oluşan altküme G.

Minimize veya maksimize edilmesi gereken performans kriterleri, dizayn modelinin özelliğidir. Performans kriterleri, kriter kısıtlarına bağlıdır. Performans kriterlerinin, dizayn değişkenlerinin fonksiyonu olduğu varsayıldığında, kriter kısıtları $\Phi_v(\alpha) \leq \Phi_v^{**}$, $v = 1, \dots, k$ şeklinde yazılabilir. Burada $\Phi_v(\alpha)$ performans kriterini, Φ_v^{**} ise $\Phi_v(\alpha)$ 'nın en kötü değerini ifade eder.

Kriter kısıtları, dizayn değişkeni ve fonksiyonel kısıtlar uygun çözüm kümesi "D"yi oluşturur. (Uygun çözüm kümesi D, G'nin alt kümesidir.) Uygun çözüm kümesindeki her vektör çok kriterli optimizasyon probleminin potansiyel çözümüdür. Altküme D'nin iki boyutlu gösterimi Şekil 6.5'tedir.



Şekil 6.5: Kriter kısıtlarından sonra oluşan uygun çözüm kümesi D.

Performans kriterleri $\Phi(\alpha) = (\Phi_1(\alpha), \dots, \Phi_k(\alpha))$ şeklinde vektör olarak ifade edilir.

Sözde Kriterler

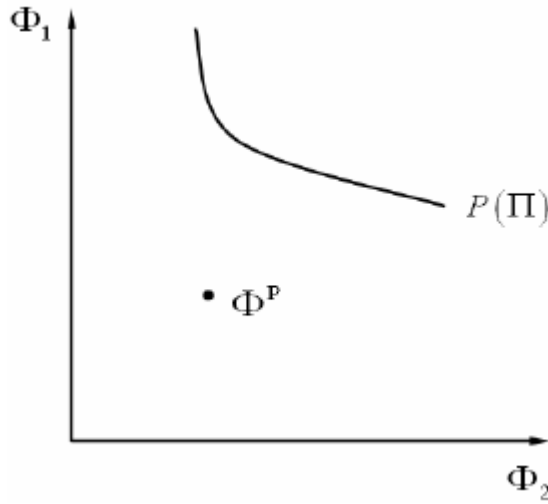
Fonksiyonel kısıtlar bazen doğru olarak belirlenmeyebilir. Uygulamada, iyi çözümler kısıtların ötesinde kalabilir. Bu iyi çözümlerin uygun çözüm kümesinde yer alması için kısıtların tekrar düzenlenmesi gerekmektedir. $f_i(\alpha) \leq C_l^{**}$ $l = 1, \dots, t$ yerine sözde kriter olarak ifade edilen $\Phi_{k+1}(\alpha) = f_i(\alpha)$ kullanılır. Kısıt Φ_{k+1} 'yı bulmak için, $\Phi_{k+1}(\alpha)$ 'yı içeren test tablosu derlenmelidir. (Performans kriterlerini $\Phi_v(\alpha) \leq \Phi_v^{**}$, $v = 1, \dots, k$ içeren test tabloları bulunmaktadır.)

Genel olarak uygun çözüm kümesi (D) bulunmak istendiğinde, tüm performans kriterleri ve sözde kriterleri gözönünde bulundurulur. Problem artık $\Phi_v(\alpha) \leq \Phi_v^{**}, v = 1, \dots, k, k + 1, \dots, k + t$ kısıtlarıyla çözülmektedir. Böylece uygun çözüm kümesini tanımlamak için problem k+t kriterli olarak ele alınmalıdır.

Uygun çözüm kümesindeki (D) vektörler arasında bulunan optimal çözüm, pareto optimal çözüm kümesi belirlenerek bulunabilir. ($P \subset D \subset G \subset \Pi$)

Minimizasyon problemlerinde pareto optimal çözüm kümesi $\Phi(P) = \min_{\alpha \in D} \Phi(\alpha)$ şeklinde tanımlanabilir. $P \subset D$; Pareto Optimal Çözüm Kümesi olarak ifade edilir. Fakat bu pareto optimal çözüm kümesi oluşturulurken sözde kriterler dikkate alınmamaktadır.

Kriter vektörünün minimizasyon olan iki kriterden oluştuğu varsayılırsa, Pareto optimal çözüm kümesi $P(\Pi)$ Şekil 6.6'daki eğriye benzemektedir. $P(\Pi)$ kullanılarak hesaplanan Pareto optimal çözümdeki kriter değerleridir. Φ^P Prototip değerdir, başka bir deyişle geliştirilmesi gereken mevcut dizayn ya da istenen dizayndır.



Şekil 6.6: Pareto optimal küme.

6.3 MOVI ile Çok Kriterli Optimizasyon

Optimizasyon problemleri çözümlenirken, MOVI yazılımı, incelenen problemin özelliklerini ifade eden matematiksel modeli kullanır.

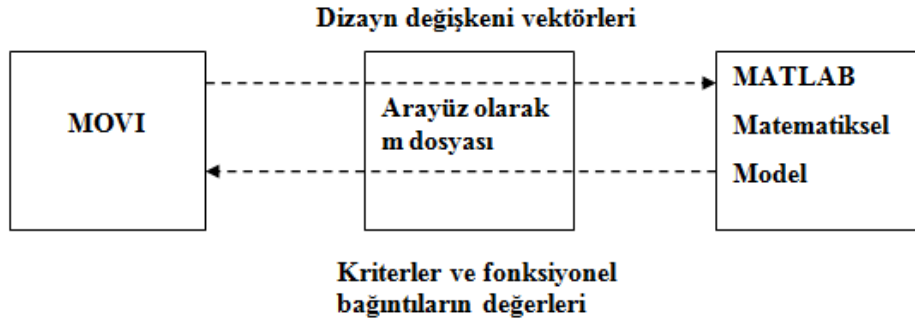
Matematiksel model, çıkış fonksiyonları ve giriş parametreleri (dizayn değişkenleri) arasındaki ilişkileri açıklar.

Model MOVI yazılımını kullanılarak:

1. MOVI tarafından oluşturulan giriş parametrelerini (dizayn değişkenlerini) alır.
2. Giriş parametrelerine dayalı çıkış fonksiyonlarını hesaplar.

Genel olarak, model veri dosyalarını, programları vb. içerebilir. Model yapısı ne kadar karışık olursa olsun, model arayüzü Şekil 6.7'de görüldüğü gibi Movi ile model arasındaki etkileşimi sağlar. Model arayüz dosyası için aşağıdaki biçimler desteklenir.

1. **Dynamic Link Library (DLL dosyası):** Model çıkış fonksiyonları, DLL kütüphane arayüzünden alınan fonksiyonların ardışık aranması yoluyla tek tek hesaplanır. Giriş parametreleri olarak adlandırılan fonksiyon parametreleri olarak model içinde hesaplanır.
2. **Matlab M-fonksiyon (M-dosyası):** Çıkış modeli fonksiyonları Matlab ortamında bir M-fonksiyonu ile hesaplanır. Giriş parametreleri, giriş argümanları olarak M-fonksiyonuna iletilir. Çıkış fonksiyonları, M-fonksiyonunun çıkış vektörü ile ifade edilir.
3. **Çalıştırılabilir EXE dosyası:** Model çıkış fonksiyonları çalıştırılabilir arayüz dosyası ile hesaplanır. Hem giriş parametreleri hem de çıkış fonksiyonları metin dosyaları olarak aktarılır/iletilir.



Şekil 6.7: MOVI 1.4 ve model arasında veri değişimi.

```
function [c1,c2,c3,f1,f2,f3,f4,f5,f6,f7,f8,f9]= ship(p1,p2,p3,p4,p5,p6,p7 )
```

Çıkış fonksiyonu

Giriş parametreleri

6.4 Capesize Dökme Yük Gemisinin Matematiksel Modeli

Bu matematiksel model sadece “Capesize (dökme yük gemisi)” durumu için geçerlidir. Diğer gemi tipleri için hesaplama faktörleri, makine veritabanı, güç ve maliyet parametrelerinin yeniden düzenlenmesi gerekmektedir (Zanic ve Cudina, 2009, s.29).

Minimum freeboard hesabı, “CAPESIZE (dökme yük gemisi)” durumu için (Zanic ve Cudina, 2009, s.41) hesaplanmaktadır. Diğer gemi tipleri için tekrar düzenlenmesi gerekmektedir.

6.4.1 Sabit Değerler ve Parametreler

6.4.1.1 Hesaplama Faktörleri

- $ff_1 = 5$: Çelik yapı ağırlığının azaltılmasında yüksek mukavemetli çelik etki faktörü
- $ff_2 = .0282$: Ampirik faktör (Cudina, 2008, s. 333).
- $ff_3 = 450$: Yaşam mahalleri çelik yapı kütlesi ve özel tasarım özellikleri (baş kasara, buz sınıfı, vb) için ilave ağırlık (t)
- $ff_4 = 800$: Ampirik faktör (Cudina, 2008, s. 333).
- $ff_5 = 0.9$: Ana makine optimizasyonu kapsamında 0.85 ile 0.9 arasında değişen CSR/SMCR oranı
- $ff_6 = 0.28$: Ampirik faktör (Cudina, 2008, s. 334).
- $ff_7 = 100$: Belirli bir tasarım için spesifik olan ilave ekipman ağırlığı (güverte vinçleri, helikopter platformu, vb) (t)
- $A_f = 29$: cGT (OECD'ye göre, gros ton telafisi) hesaplaması için gerekli telafi faktörü (Cudina, 2008, s. 334).
- $B_f = 0.61$: cGT (OECD'ye göre, gros ton telafisi) hesaplaması için gerekli telafi faktörü (Cudina, 2008, s. 334).
- $\kappa = 0.64$: Geminin Özgül Hacimliliği

6.4.1.2 Makine Veritabanı

MAN B&W 6S70MC-C, mark 7, Makine Veritabanı Numarası ($I_{me\ i}$) = 1

$MCR_i = 18660$ (kW at 91 rpm) azami devamlı güç

$C_{me\ i} = 8400000$ (US \$) uygulanabilir ana makine maliyeti

$KCSR = 1.000$ (*) sabit (CSR devamlı servis gücü artmıyor)

MAN B&W 5S70MC-C, mark 7, Makine Veritabanı Numarası ($I_{me i}$) = 2

$MCR_i = 15550$ (kW at 91 rpm) azami devamlı güç

$C_{me i} = 7400000$ (US \$) uygulanabilir ana makine maliyeti

$KCSR = 1.022$ (*) sabit (CSR devamlı servis gücünü %2-3 oranında artırmak için seçilen değer)

(*) Eğer ana makine olarak MAN B&W 5S70MC-C seçilirse, yüksek pervane devirlerinde tahrik sisteminde oluşacak düşük verimlilik nedeniyle devamlı servis gücü (CSR) %2-3 oranında artırmak gerekmektedir (Zanic ve Cudina, 2009, s.41).

6.4.1.3 Güç Parametreleri

$a1 = 5.171E-3$

$a2 = -1.465E-1$

$a3 = 1.072$

$a4 = 8.145E-1$

$a5 = 3.843$

$a6 = 3.589$

$a7 = 6.634E-4$

6.4.1.4 Maliyet Parametreleri

Malzeme maliyetlerinin hesaplanması için gerekli olan veriler:

$c_{st} = 1000$ çelik ortalama birim maliyeti(US \$/ton)

$rW_{gst} = 1.12$ çelik brüt kütlesi ve çelik yapı ağırlığı arasındaki oran
(W_{gst}/W_{st})

$C_{fix} = 26000000$ malzeme ve ekipman maliyetlerini oluşturan diğer maliyetler (US\$)

İşgücü maliyetlerinin hesaplanması için gerekli veriler:

$P_{cGT} = 35$ Tersane Verimliliği (çalışma saati /cGT)

cGT: OECD'ye göre, gros ton telafisi

$V_L = 30$ birim saat ücreti (US \$/çalışma saati)

Diğer maliyetler: Bu maliyetler (finansman giderleri, havuzlama, römorkör kiralama, model deneyleri, dış hizmetler, vb) tasarım aşamasında sabit olarak kabul edilebilir olup, tasarım parametresi olarak verilmektedir.

$C_{oc} = 7000000$

“Yeni Gemi İnşa Maliyeti”nin (C_{NB}) hesaplanması için gerekli parametreler aşağıda ifade edilmiştir (Zanic ve Cudina, 2009, s.42).

$V_{cam} = 5000$ Sehim hacmi (m^3)

$V_{sup} = 11000$ Yaşam mahalleri hacmi (m^3)

$V_{fc} = 0$ Üst güverte (baş kasara) hacmi (m^3)

$KCBD = .005285$ Kalıp derinliğindeki blok katsayısına yaklaşmak için sabit (CBD)

6.4.1.5 Sabitler

$\gamma_{tot} = 1.0279$: Deniz suyu yoğunluğu (tekne dış kaplaması ve takıntıların etkisi dahil) (t/m^3)

6.4.2 Optimizasyon Problemi

6.4.2.1 Dizayn Değişkenleri

p1	- Dikmeler Arası Boy	L_{pp} (m)
p2	- Genişlik	B (m)
p3	- Draft	d_s (m)
p4	- Blok Katsayısı	C_B (-)
p5	- Kargo Hacmi	V_{car} (m ³)
p6	- Gemi Hızı	v_{tr} (knots)
p7	- Makine Veritabanı Numarası	$I_{me i}$ (-) (ayrık değişken)

6.4.2.2 Fonksiyonel Bağıntılar

f1 = L_{pp}/B	Dikmeler Arası Boy / Genişlik oranı
f2 = L_{pp}/d_s	Dikmeler Arası Boy / Draft oranı
f3 = B/d_s	Genişlik / Draft oranı
f4 = L_{pp}/D	Dikmeler Arası Boy / Derinlik oranı
f5 = $(D-d_s)-F_{B60}$	Freeboard Kontrolü

“Freeboard $(D-d_s)$ ” en az “yaklaşık minimum freeboard (F_{B60}) ” kadar olmalıdır.

6.4.2.3 Sözde Kriterler

Sözde kriterler MOVI’de “criteria” sekmesinden pseudocriterion kutucuğu işaretlenerek modele dahil edilebilir.

$f6 = MCR_i - SMCR$	Makine Güç Kontrolü	(minimize edilecek sözde kriter)
$f7 = DWT$	Deadweight (t)	(maksimize edilecek sözde kriter)
$f8 = V_{car}$	Kargo Hacmi (p5) (m ³)	(maksimize edilecek sözde kriter)
$f9 = v_{tr}$	Gemi Hızı (p6)	(maksimize edilecek sözde kriter)

Dizayn değişkeni olan kargo hacmi (p5) ve gemi hızı (p6) aynı zamanda sözde kriterlerdir.

6.4.2.4 Kriterler (Performans Kriterleri)

“Amaç Fonksiyonu (Objective Function)” olarak da adlandırılan “dizayn” kriterleri:

$c1 = W_{st}$	Çelik Yapı Ağırlığı (t)	(minimize edilecek kriter)
$c2 = SMCR$	Güç İhtiyacı (kW)	(minimize edilecek kriter)
$c3 = C_{NB}$	Yeni Gemi İnşa Maliyeti (US \$)	(minimize edilecek kriter)

6.4.3 Kısıtlar

6.4.3.1 Dizayn Değişkeni Kısıtları

$265 \leq p1 \leq 280$	- Dikmeler Arası Boy	Lpp (m)
$43 \leq p2 \leq 45$	- Genişlik	B (m)
$17.5 \leq p3 \leq 17.95$	- Draft	ds (m)
$0.85 \leq p4 \leq 0.875$	- Blok Katsayısı	CB (-)
$185000 \leq p5 \leq 195000$	- Kargo Hacmi	Vcar (m ³)

$14.5 \leq p_6 \leq 15.5$ - Gemi Hızı vtr (knots)

$p_7 = 1$ veya 2 - Makine Veritabanı Numarası İme i (-)

MAN B&W 6S70MC-C, mark 7, Makine Veritabanı Numarası = 1

MAN B&W 5S70MC-C, mark 7, Makine Veritabanı Numarası = 2

6.4.3.2 Fonksiyonel Kısıtlar

$5.8 \leq f_1 \leq 6.5$	Lpp/B	Dikmeler Arası Boy / Genişlik oranı
$15.3 \leq f_2 \leq 16.2$	Lpp/ds	Dikmeler Arası Boy / Draft oranı
$2.3 \leq f_3 \leq 2.7$	B/ds	Genişlik / Draft oranı
$11.0 \leq f_4 \leq 11.9$	Lpp/D	Dikmeler Arası Boy / Derinlik oranı
$0 \leq f_5$	(D-ds)-FB60	Freeboard Kontrolü

“Freeboard (D-ds)” en az “yaklaşık minimum freeboard (FB60)” kadar olmalıdır.

6.4.3.3 Sözde Kriter Kısıtları

$0 < f_6$ $MCR_i - SMCR$ Makine Güç Kontrolü

Makine Güç Kontrolü: Seçilen makinenin gücü, güç ihtiyacından fazla olmalıdır. Başka bir deyişle, seçilen makinenin gücü ile güç ihtiyacı arasındaki fark sıfırdan büyük olmalıdır ($0 < f_6$). Öte yandan, makine veri tabanında güç ihtiyacını sağlayan daha düşük güçte bir makine olabileceğinden f_6 aynı zamanda minimize edilmelidir. Bu nedenle f_6 sözde-kriterler bölümünde yer alacaktır ve sıfırdan büyük olma şartı “fonksiyonel kısıt” değil “sözde-kriter kısıtı” olarak değerlendirilecektir.

6.4.3.4 Kriter Kısıtları (Performans Kriterleri Kısıtları)

Modelde kriter kısıtları bulunmamaktadır.

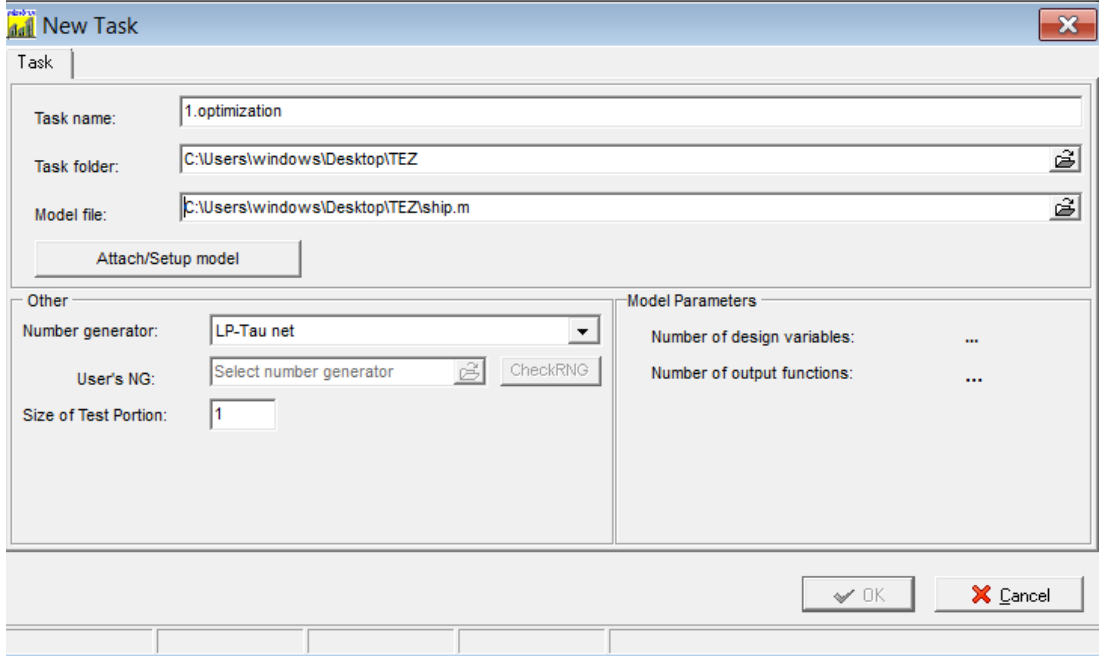
6.4.4 Prototip

p1	- Dikmeler Arası Boy	Lpp (m)	= 274.0
p2	- Genişlik	B (m)	= 44.4
p3	- Draft	ds (m)	= 17.85
p4	- Blok Katsayısı	CB (-)	= 0.865
p5	- Kargo Hacmi	Vcar (m3)	= 189670
p6	- Gemi Hızı	vtr (knots)	= 15.03
p7	- Makine Veritabanı Numarası	Ime i (-)	= 2 (MAN B&W 5S70MC-C, mark 7)

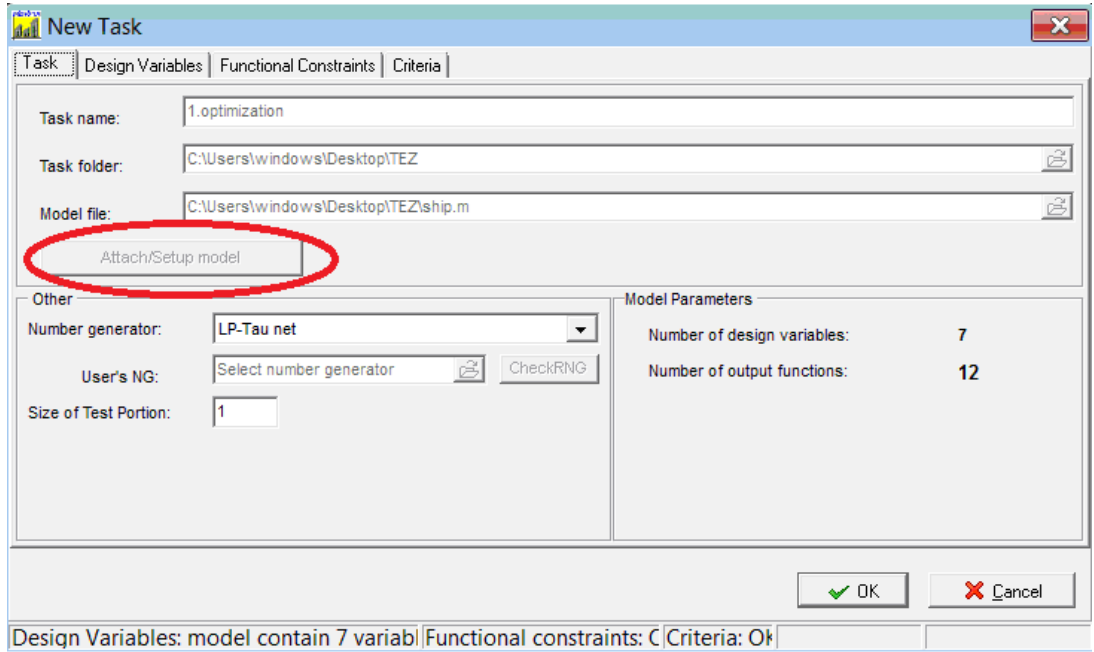
6.5 Capesize Dökme Yük Gemisinin Çok Kriterli Optimizasyonu

Optimizasyon modeli MOVI'de ilgili menüler aracılığıyla tanımlanır. Bunun için temel butonlar tanımlanmıştır. Bunlardan bazıları: Data Input (Veri Girişi), Run Tests, (Test Yürütme) Test Table (Test Tablosu), Tables (Tablolar), Histograms and Graphs, (Histogramlar ve Grafikler) ve Prototype (Prototip) butonlarıdır.

Problem tanımlanırken New Task (Yeni Görev) arayüzüne veri girişi yapılır. Modelin m dosyası ve MOVI dosyasının oluşturulacağı klasör, isim bilgileri girilir. 'Attach/Setup Model' (Modeli Ekle/Kur) butonu ile model eklenir.



Şekil 6.8: Veri girişi (yeni görev) arayüzü.

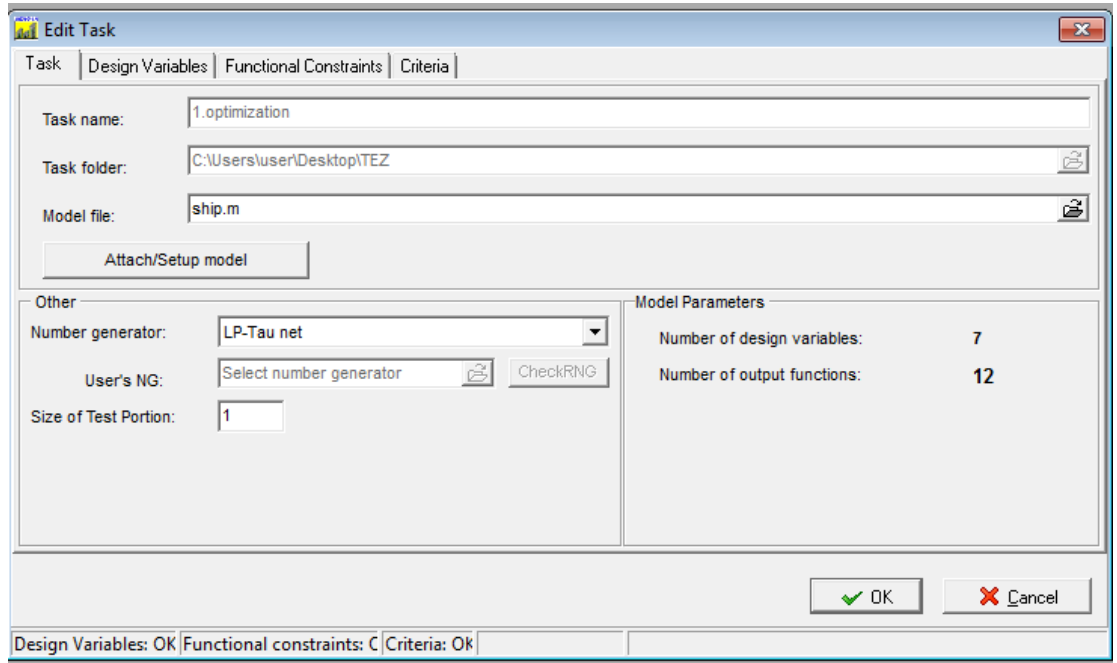


Şekil 6.9: Veri girişi (model ekleme) arayüzü.

Model eklendikten sonra sayı üretici ve test miktarının büyüklüğü girilir. Sayı üretici olarak LP Tau, Windows RNG ve User RNG kullanılabilir. LP Tau

varsayılan üret e  olarak tanımlanmıştır. LP-Tau düzgün dağılımlı diziler üretir ve 51 dizayn değişkeni ve 2^{20} testi destekler. Windows RNG, Windows tarafından oluşturulan rassal sayı  retecedir. Bu  rete  kullanıldığında parametreler için yaklaşık bir sınırlama yoktur. User NG (Kullanıcı NG) ise, kullanıcının tanımladığı bir sayı  retecedir.

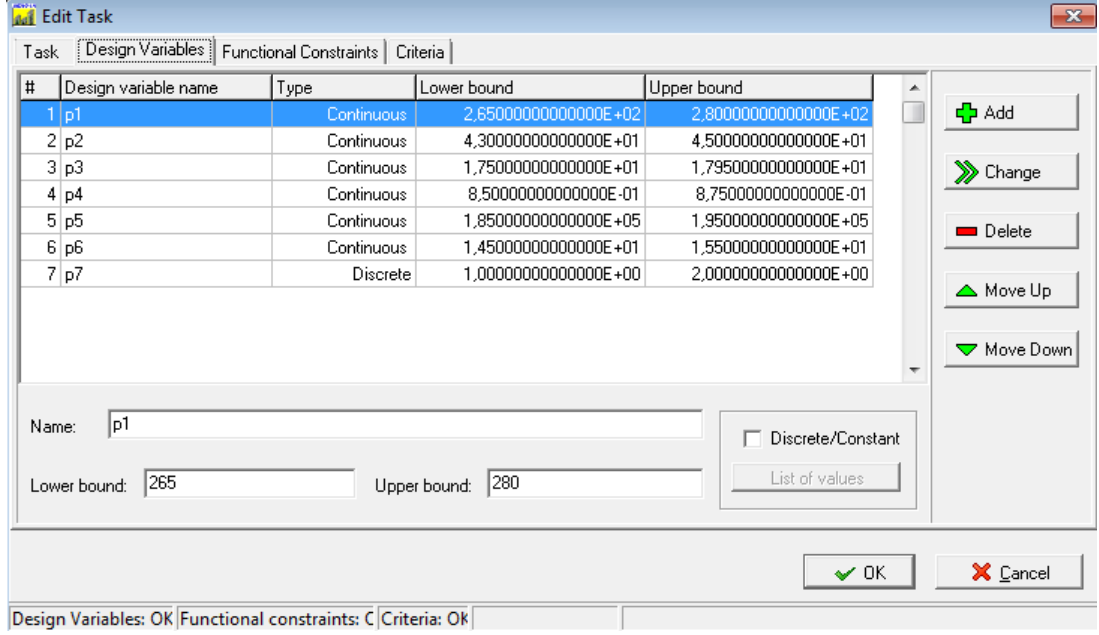
Varsayılan  rete , LP Tau, bu optimizasyon modeli için seçilmiştir. Test miktarının büyüklüğü varsayılan değer olarak 1 alınmıştır. Bu, işlem sürecince diske kaydedilen işlem sayısını belirler.



şekil 6.10: Görev düzenleme arayüzü.

Arayüzde görüldüğü gibi modelde 7 adet dizayn değişkeni ve 12 adet çıkış fonksiyonu bulunmaktadır.

Edit Task (Görev Düzenle) menüsünün Design Variables (Dizayn Değişkenleri) sekmesi ile modelde kullanılan dizayn değişkenleri tanımlanır.



Şekil 6.11: Görev düzenleme (dizayn değişkenleri) arayüzü.

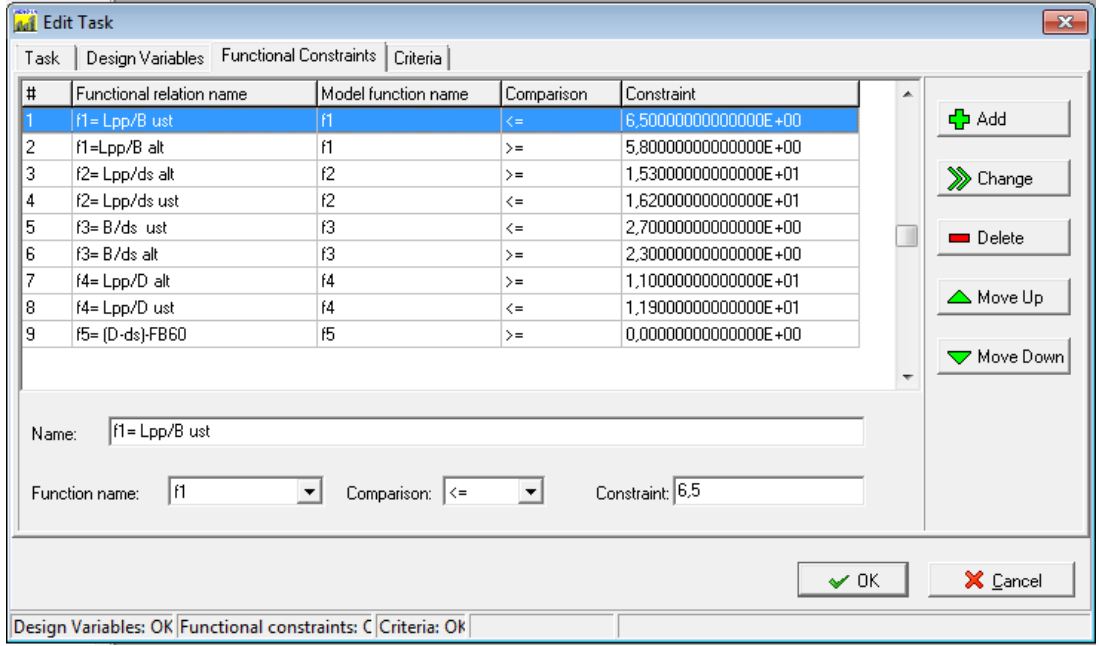
Yedi adet dizayn değişkeni, bu değişkenlerin alt ve üst sınırları ile değişkenlerin tipi (sürekli, ayrık) design variables sekmesine girilmiştir.

Dizayn değişkenlerin sınırları Tablo 6.1’de gösterilmiştir.

Tablo 6.1: Dizayn değişkenlerinin sınırları.

Alt Sınır	Değişken	Üst Sınır
$265 \leq$	p1	≤ 280
$43 \leq$	p2	≤ 45
$17.5 \leq$	p3	≤ 17.95
$0.85 \leq$	p4	≤ 0.875
$185000 \leq$	p5	≤ 195000
$14.5 \leq$	p6	≤ 15.5
Ayrık Değişken	p7	=1 veya 2

Functional Constraints (Fonksiyonel Kısıtlar) sekmesi ile fonksiyonel bağıntılar ile alt ve üst sınırları girilir.



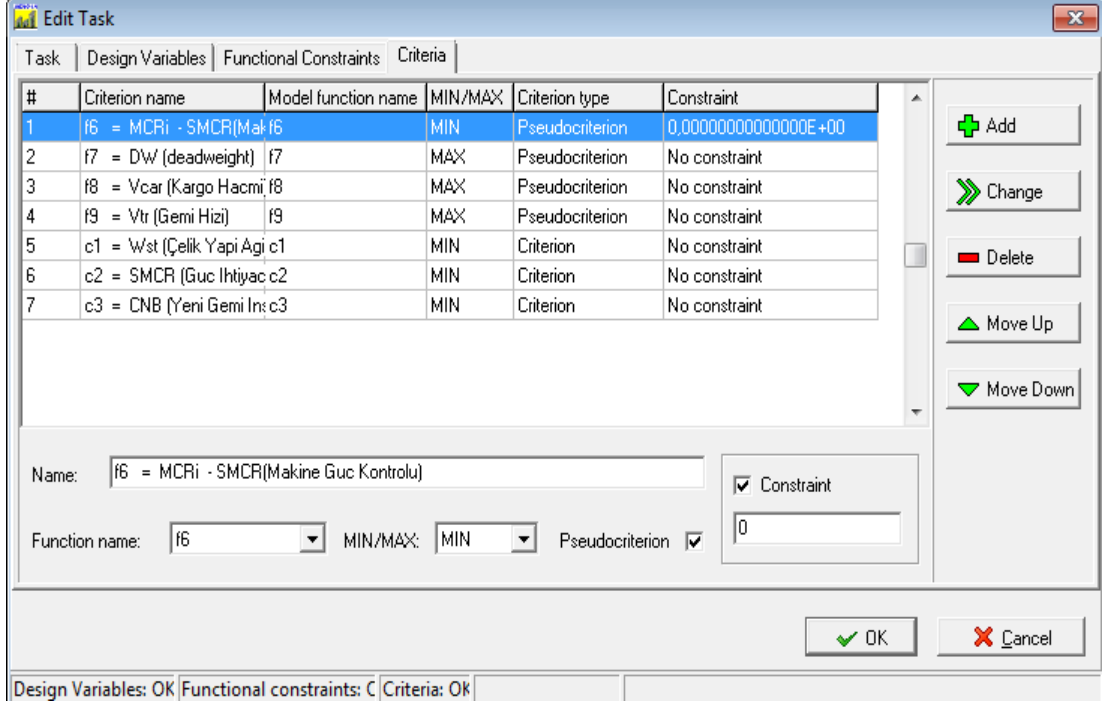
Şekil 6.12: Görev düzenleme (fonksiyonel kısıtlar) arayüzü.

Bu fonksiyonel kısıtlar Tablo 6.2'deki gibidir.

Tablo 6.2. Fonksiyonel kısıtlar.

Alt Sınır	Fonksiyonel Bağntı	Üst Sınır
5.8 ≤	f1	≤ 6.5
15.3 ≤	f2	≤ 16.2
2.3 ≤	f3	≤ 2.7
11.0 ≤	f4	≤ 11.9
0 ≤	f5	

Criteria (Kriterler) sekmesi aracılığıyla da kriterler ve sözde kriterler tanımlanır, özellikleri ve kısıtları girilir.



Şekil 6.13: Görev düzenleme (kriterler) arayüzü.

Sözde kriterler için 'Pseudocriterion' sekmesi işaretlenir. Kısıtlar da 'Constraint' kutucuğu işaretlenerek girilir. Kriter kısıtı f_6 için $0 < f_6$; $MCR_i - SMCR$ şeklinde ifade edilmiştir.

Prototip Değerler

Geliştirilecek model için prototip değerler, prototype (prototip) sekmesinden girilir. Prototip değerler MOVI'de sıfır "0" vektörü ile gösterilir. Bu prototip değerler Tablo 6.3'teki gibidir:

Tablo 6.3: Prototip değerler.

Değişken	Değer
p1	279
p2	43
p3	17,5
p4	0,875
p5	185000
p6	15,27
p7	1

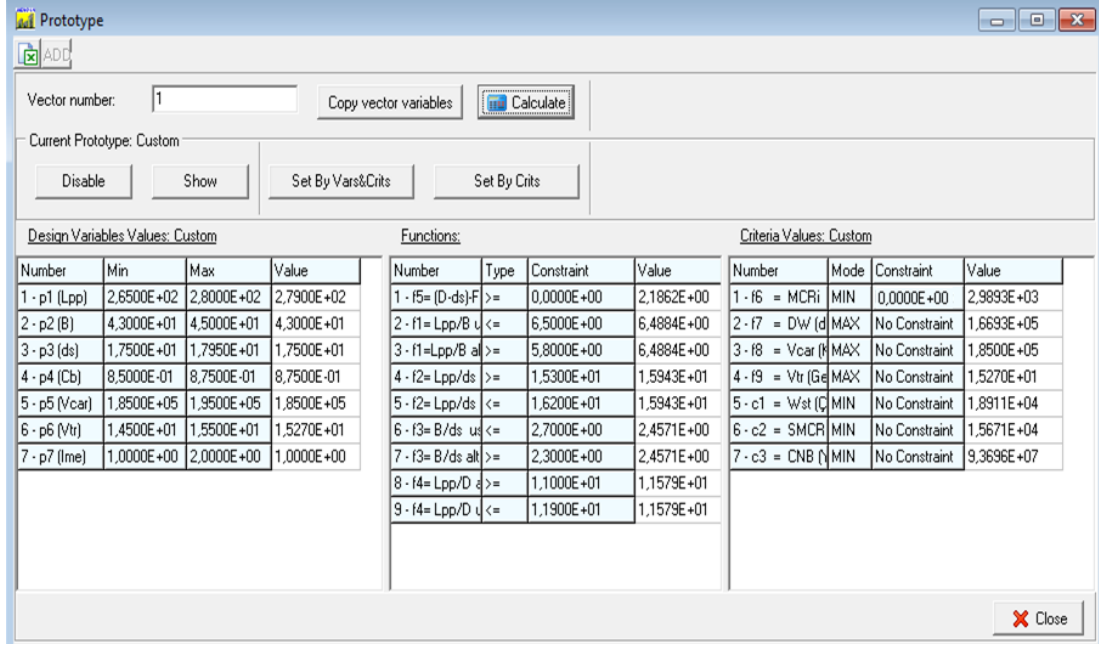
Şekil 6.14'te gösterilen prototip değerler Tablo 6.4 ve Tablo 6.5 referans alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.4: Tersanelerde üretilen gemilerin özellikleri (Zanic ve Cudina, 2009, s.29).

Shipyard	IHHI	Sasebo H.I.	Koyo Dock.	Namura	NKK
L_{oa} (m)	289.0	289.0	288.93	287.64	289.0
L_{pp} (m)	277.0	279.0	280.0	277.0	279.0
B (m)	45.0	44.98	45.0	45.0	45.0
D (m)	23.8	24.4	23.8	24.1	24.1
d (m)	17.6	17.95	17.6	17.7	17.81
DW (t)	170780	170415	171199	171191	172510
GT	83849	87407	85379	85868	87522
Capacity of cargo holds (m ³)	186668		188205	191255	191582
Main engine	6RTA72	6S70MC	6S70MC	6S70MC	6S70MC
SMCR (kW/rev.)	16040/93	16860/91	16100/87	16370/90.1	14705/80
CSR (kW/rev.)	13636/88.1	13700/85	13695/82.4	13910/85.3	12500/75.8
$v_{v,ballast}$ (kn)	17.53	16.34	16.79	16.67	
$v_{service}$ (kn)	14.8	14.5	14.6	14.8	14.7

Tablo 6.5: Gemilerin tiplerine göre özellikleri (Japan Ship Exporters' Association, 2004).

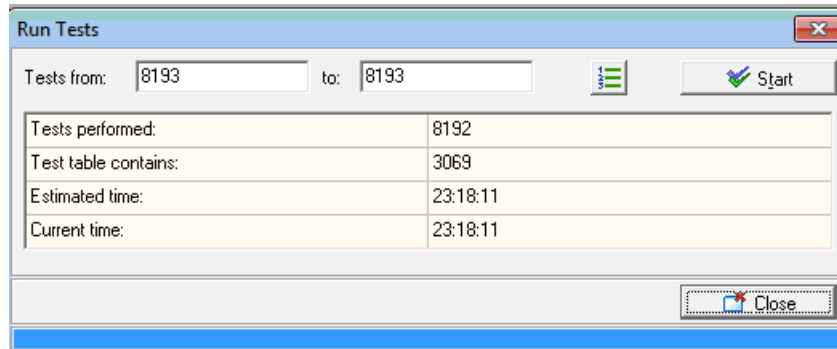
Ship	L_{oa} (m)	L_{pp} (m)	B (m)	d (m)	d_s (m)	DW (t)	Kargo Kapasitesi (m ³)	Ana Motor	$V_{tr, ballast}$ (kn)
Newcastle Max type Cape	290.00m	280.00m	47.00m	24.40m	17.95m	184,887t	205,630m ³	Mitsui MAN B&W6S70MC diesel x 1 unit	14.7kt
Cape Riviera	290m	280m	47.00m	24.40m	17.95m	185,875t	205,722m ³	Kawasaki MAN B&W6S70MC Mk VI diesel x 1 unit	14.7kt
Cape Heron	289.00m	279.00m	45.00m	24.40m	17.95m	177,656t	197,050m ³	Mitsui-MAN B&W6S70MC diesel x 1 unit	15.0kt
CAPE DOVER	290.00m	280.00m	47.00m	24.40m	17.95m	185,805t	205,722m ³	Kawasaki-MAN B&W6S70MC MkVI diesel x 1 unit	14.7kt
ROYAL CHORALE	289.00m	279.00m	45.00m	24.40m	17.95m	177,544t	197,050m ³	Mitsui MAN B&W6S70MC diesel x 1 unit	15.0kt
SHIN-SHO	289.00 m	279.00 m	45.00 m	24.40 m	17.95 m	177,489t	197,050m ³	MITSUI-MAN B&W6S70MC diesel x 1 unit	15.0kt
OCEAN COMET	288.97m	279.00m	45.00m	24.40m	17.93m	176,943t	188400m ³	MAN B&W 6S70MCMark VI x 1 unit	14.6kt
SHIN KORYU	299.7m	290.2m	50m	25.0m	18.2m	207,991t	218,790m ³	MAN B&W 6S70MC-Cdiesel x 1 unit	16.3kt
FIRST IBIS	299.7m	290.2m	50m	25.0m	18.2m	208,038t	218,790m ³	MAN B&W 6S70MC-Cdiesel x 1 unit	16.3kt
SHIN KOHO	292.0m	287.9m	45m	24.5m	18.15m	182,128t	193,396m ³	MAN B&W 7S65ME-Cx 1 unit	15.35kt
FRONTIER NEIGE	292.00m	288.00m	45.00m	24.70m	18.20m	182,737t	203,226m ³	Kawasaki MAN B&W6S70MC-C7 diesel x 1 unit	15.3kt
SANKO PARTNER	291.98m	283.80m	45.00m	24.70m	18.214m	181,399t	201,243m ³	Hitachi-MAN B&W6S70MC-C diesel x 1 unit	15.15kt



Şekil 6.14: Prototip değerler arayüzü.

6.5.1 Birinci Tur Optimizasyon

Prototip değerler girildikten sonra Run Test arayüzü ile $2^{13}=8192$ test yapılır. Bu demektir ki, 8192 dizayn değişkeni vektörü MOVI tarafından üretilmiştir. Bu testlerin sonucunda vektörlerin 3069'u test tablosuna girebilirken, 5123'ü kısıtları karşılayamamıştır.



Şekil 6.15: 1. Opt. için yapılan testler.

Test tablosu (Test Table) arayüzü, Tüm Sıralı Test Tablosu (Full Ordered Test Table) ile analize başlamak için kullanılır. Örneğin; Eğer kriter minimizasyon ise test tablosunda değerler artan şekilde sıralanır. Her bir kriter değeri için karşılık gelen dizayn değişkeni vektör numarası tabloda yer alır.

Prototip değerler "0" vektörü ile ifade edilir. Prototipten daha iyi değerleri bulmak için prototip değer kısıt olarak alınır ve 7 adet vektör uygun çözüm kümesine girer.

Vektörlerin yer aldığı test tablosu Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'deki gibidir.

Pseudo(MIN) 1		Pseudo(MAX) 2		Pseudo(MAX) 3		Pseudo(MAX) 4	
Name	f6 = MCRi - SMCR(Makine Guc)	Name	f7 = DW (deadweight)	Name	f8 = Vcar (Kargo Hacmi)	Name	f9 = Vtr (Gemi Hizi)
Nf	1574	Nf	1172	Nf	1172	Nf	246
Min	3,62170847579910E+00	Min	1,59995810651254E+05	Min	1,85002441406250E+05	Min	1,45001220703125E+01
Max	6,74418807725400E+03	Max	1,78928853483297E+05	Max	1,94990234375000E+05	Max	1,54987792968750E+01
Vector	Criterion value	Vector	Criterion value	Vector	Criterion value	Vector	Criterion value
4613	2,96827604291509E+03	7507	1,66975418784978E+05	5785	1,85045166015625E+05	2701	1,52727050781250E+01
5014	2,96923105729972E+03	5401	1,66969360277077E+05	3403	1,85041503906250E+05	677	1,52724609375000E+01
4343	2,96969314402704E+03	7337	1,66968097092557E+05	4515	1,85040283203125E+05	4853	1,52716064453125E+01
297	2,97094970550031E+03	5335	1,66966415793927E+05	2139	1,85036621093750E+05	6359	1,52708740234375E+01
4199	2,97165441161061E+03	1803	1,66957376069778E+05	3937	1,85031738281250E+05	4351	1,52706298828125E+01
3871	2,97274321350774E+03	3977	1,66957039794529E+05	5001	1,85030517578125E+05	3219	1,52702636718750E+01
3859	2,97333943931600E+03	5163	1,66954490327666E+05	6855	1,85028076171875E+05	1211	1,52700195312500E+01
6071	2,97430291771160E+03	6339	1,66952618945048E+05	5934	1,85025634765625E+05	0	1,52700000000000E+01
2006	2,97437171065902E+03	315	1,66950546148754E+05	7677	1,85023193359375E+05	2183	1,52697753906250E+01
1023	2,97486025658611E+03	8022	1,66945108581933E+05	277	1,85019531250000E+05	7518	1,52694091796875E+01
7993	2,97777504250254E+03	7393	1,66944507003835E+05	2382	1,85017089843750E+05	2581	1,52687988281250E+01
35	2,97953947588483E+03	1499	1,66943670457703E+05	8053	1,85013427734375E+05	573	1,52685546875000E+01
6163	2,98098721013819E+03	7247	1,66937302581194E+05	925	1,85009765625000E+05	7761	1,52684326171875E+01
7427	2,98144052320330E+03	782	1,66936937843351E+05	2771	1,85007324218750E+05	5753	1,52681884765625E+01
0	2,98930959723787E+03	0	1,66933131067280E+05	5691	1,85006103515625E+05	5235	1,52672119140625E+01
4447	2,98966813841947E+03	891	1,66929155574919E+05	1850	1,85004882812500E+05	4199	1,52667236328125E+01
1147	2,99045252121306E+03	1895	1,66927240612945E+05	3561	1,85002441406250E+05	3093	1,52663574218750E+01
7630	2,99385193201072E+03	2238	1,66926415668601E+05	0	1,85000000000000E+05	1059	1,52661132812500E+01

Şekil 6.16: 1. Opt. için tam sıralı test tablosu (1).

Movi 1.4 : 1.optimization - [Full Ordered Test Table]

Tasks Test Tables Tables Graphs Service Window ?

N 8192
N1 3069
N2
NF 7

Constraints Result Truncated table Extend Return

Pseudo(MAX) 4
Name f9 = Vtr (Gemi Hizi)
Nf 246
Min 1,45001220703125E+01
Max 1,54987792968750E+01

Crit(MIN) 5
Name c1 = Wst (Çelik Yapı Ağırlığı)
Nf 45
Min 1,83218281078291E+04
Max 1,96924824422944E+04

Crit(MIN) 6
Name c2 = SMCR (Guc İhtiyacı)
Nf 7
Min 1,19158119227460E+04
Max 1,73687750039674E+04

Crit(MIN) 7
Name c3 = CNB (Yeni Gemi Insa Maliyeti)
Nf 7
Min 9,15747657905601E+07
Max 9,54037901768911E+07

Vector	Criterion value
227	1,52773437500000E+01
3661	1,5270996093750E+01
6406	1,52767333984375E+01
7709	1,52762451171875E+01
7191	1,52752685546875E+01
5183	1,52750244140625E+01
4139	1,52745361328125E+01
2131	1,52736816406250E+01
123	1,52734375000000E+01
1713	1,52729492187500E+01
2701	1,52727050781250E+01
677	1,52724609375000E+01
4853	1,52716064453125E+01
6359	1,52708740234375E+01
4351	1,52706298828125E+01
3219	1,52702636718750E+01
1211	1,52700195312500E+01
0	1,52700000000000E+01

Vector	Criterion value
2755	1,89073448899254E+04
4781	1,89076166761718E+04
5357	1,89076483787607E+04
3663	1,89078781609055E+04
627	1,89081458638215E+04
737	1,89081852724145E+04
7723	1,89084314880601E+04
8185	1,89086895312671E+04
6731	1,89088382002609E+04
6417	1,89089500525010E+04
5217	1,89092442062708E+04
4117	1,89093244252337E+04
249	1,89095915353400E+04
3369	1,89103193936339E+04
5813	1,89105947672951E+04
2835	1,89106086582288E+04
5385	1,89109084920705E+04
0	1,89112086548331E+04

Vector	Criterion value
3613	1,56225325315615E+04
917	1,56293593283175E+04
1709	1,56312839488662E+04
2247	1,56324919645783E+04
43	1,56325284641467E+04
2577	1,56331429729109E+04
2941	1,56353394455624E+04
7655	1,56375471203833E+04
5043	1,56419694309076E+04
5545	1,56487828277377E+04
1627	1,56492719702226E+04
1215	1,56517110836931E+04
2777	1,5659996652064E+04
7311	1,56656258143720E+04
7630	1,56661480679893E+04
1147	1,56695474278869E+04
4447	1,56703318615805E+04
0	1,56706904027621E+04

Vector	Criterion value
2543	9,3688095855870E+07
7385	9,36884549397178E+07
2355	9,36885803850265E+07
3335	9,36895665465811E+07
6027	9,3689998649428E+07
1633	9,36905173176794E+07
1667	9,36906241444548E+07
2279	9,36911787950116E+07
7449	9,36917091413310E+07
1087	9,36931080479693E+07
221	9,36931235425264E+07
6747	9,36931803716421E+07
7910	9,36939606829478E+07
2547	9,36945830984171E+07
2685	9,36948602127339E+07
6141	9,36952580262624E+07
5431	9,3695247779257E+07
0	9,36960747402973E+07

Tests performed: 8192 Test table contains: 3069 Feasible set contains: 7

Şekil 6.17: 1. Opt. için tam sıralı test tablosu (2).

Bu 7 uygun çözümden sadece 2 adedi pareto optimal çözümdür. Pareto optimal çözümü içeren vektörler 7371 ve 5145 vektörleridir.

Feasible And Pareto Optimal Solutions

Tests performed:	8192
Test table contains:	3069
Feasible set contains:	7
Number of Pareto optimal solutions:	2

Criteria constraints

Constraint 1 st = 2,98930959723787E+03	Hard_Constraint 1 st = none
Constraint 2 nd = 1,66933131067280E+05	Hard_Constraint 2 nd = none
Constraint 3 rd = 1,85000000000000E+05	Hard_Constraint 3 rd = none
Constraint 4 th = 1,52700000000000E+01	Hard_Constraint 4 th = none
Constraint 5 th = 1,89112086548331E+04	Hard_Constraint 5 th = none
Constraint 6 th = 1,56706904027621E+04	Hard_Constraint 6 th = none
Constraint 7 th = 9,36960747402973E+07	Hard_Constraint 7 th = none

Feasible solutions

Number of feasible solutions : 7

Numbers of vectors:

#7371, #5145, #3683, #955, #7799, #7337, #7973

Pareto optimal solutions

Number of Pareto optimal solutions: 2

Numbers of vectors:

7371, # 5145

Şekil 6.18: 1. Opt. için uygun ve pareto optimal çözümler.

Uygun çözüm kümesinde kriterler ve sözde kriterlerin değerleri aşağıdaki gibidir.

Vector	1 - f6 = MDR1 - SMCR	2 - f7 = DW (deadweight)	3 - f8 = Vcar (Kargo Hac)	4 - f9 = Vr (Diemi Hiz)	5 - c1 = W/t (Çelk.Yapi)	6 - c2 = SMCR (Guc lily)	7 - c3 = CNB (Yeni Gem)
Min	3.82597452789727E+01	1.68368097092957E+05	1.85472412109375E+05	1.52840576171875E+01	1.87784442005491E+04	1.53225099729844E+04	9.21622289904677E+07
Max	2.27490027015596E+02	1.69432645985611E+05	1.90091552734375E+05	1.53642578125000E+01	1.88994084698754E+04	1.55116402547210E+04	9.27659664533755E+07
0	2.98930959723787E+03	1.66933131067200E+05	1.85000000000000E+05	1.52700000000000E+01	1.89112086548331E+04	1.56706904027621E+04	9.36902747402973E+07
955	3.82597452789727E+01	1.69240582195642E+05	1.86728519625000E+05	1.53642578125000E+01	1.88856784039543E+04	1.55116402547210E+04	9.23690534076975E+07
3683	6.50684442054662E+01	1.69432645985611E+05	1.8949707031250E+05	1.53952246093750E+01	1.88994084698754E+04	1.54949319557945E+04	9.22211673786753E+07
5145	2.27490027015596E+02	1.68887012964663E+05	1.86949462890625E+05	1.52906494140625E+01	1.88064959589949E+04	1.53225099729844E+04	9.22138135319571E+07
7337	1.62552826889034E+02	1.68368097092957E+05	1.89763287109375E+05	1.52947980046875E+01	1.88675163742444E+04	1.53874471731109E+04	9.28075906587920E+07
7371	2.13861894063972E+02	1.66984175643934E+05	1.85472412109375E+05	1.53338623046875E+01	1.87784442005491E+04	1.53361381059360E+04	9.21622289904677E+07
7799	1.73110968891658E+02	1.67613288622005E+05	1.89370458984375E+05	1.52840576171875E+01	1.8881532199631E+04	1.53768890111083E+04	9.24483461114374E+07
7973	7.69414120047138E+01	1.67555081584513E+05	1.90091552734375E+05	1.53211669921875E+01	1.88891141437425E+04	1.54730589871953E+04	9.27659664533755E+07

Şekil 6.19: 1. Opt. için kriterler tablosu.

Dizayn değişkenlerinin değerleri ise Şekil 6.20’de gösterilmiştir.

Number of vector	Variable # 1 - p1	Variable # 2 - p2	Variable # 3 - p3	Variable # 4 - p4	Variable # 5 - p5	Variable # 6 - p6	Variable # 7 - p7
Min	2.73743296132813E+02	4.31726074218750E+01	1.77979040527344E+01	8.51065063476563E-01	1.85472412109375E+05	1.52840576171875E+01	2.00000000000000E+00
Max	2.78972778320313E+02	4.46262207031250E+01	1.79495605468750E+01	8.61337280273437E-01	1.90091552734375E+05	1.53642578125000E+01	2.00000000000000E+00
0	2.79000000000000E+02	4.30000000000000E+01	1.75000000000000E+01	8.75000000000000E-01	1.95000000000000E+05	1.52700000000000E+01	1.00000000000000E+00
955	2.77993164062500E+02	4.35878906250000E+01	1.79495605468750E+01	8.54858398437500E-01	1.86728519625000E+05	1.53642578125000E+01	2.00000000000000E+00
3683	2.76627197285625E+02	4.44262635312500E+01	1.77796020507813E+01	8.51969228519625E-01	1.89497070312500E+05	1.53952246093750E+01	2.00000000000000E+00
5145	2.73915405273438E+02	4.46262207031250E+01	1.78340393066406E+01	8.51065063476563E-01	1.86949462890625E+05	1.52906494140625E+01	2.00000000000000E+00
7337	2.73743296132813E+02	4.42175292968750E+01	1.77579040527344E+01	8.54721069339939E-01	1.89763287109375E+05	1.52947980046875E+01	2.00000000000000E+00
7371	2.77376098632813E+02	4.34831542968750E+01	1.77825134277344E+01	8.56880296895937E-01	1.85472412109375E+05	1.53338623046875E+01	2.00000000000000E+00
7799	2.78972778320313E+02	4.31726074218750E+01	1.77671325683594E+01	8.61337280273437E-01	1.89370458984375E+05	1.52840576171875E+01	2.00000000000000E+00
7973	2.74668137895313E+02	4.39108886718750E+01	1.78682067871094E+01	8.95233764648437E-01	1.90091552734375E+05	1.53211669921875E+01	2.00000000000000E+00

Şekil 6.20: 1. Opt. için dizayn değişkenlerinin değerleri.

Birinci tur optimizasyon için pareto optimal sonuçlar ise Şekil 6.21 ve Şekil 6.22’de gösterilmiştir.

Vector	1 - İS = MCRİ - SMCR(M	2 - İ7 = DW (deadweight	3 - İB = Vcar (Kargo Hac	4 - İB = Vr (Geni Hız)	5 - c1 = Wai (Çelik Yapı A	6 - c2 = SMCR (Güc İht)	7 - c3 = CNB (Yeni Gem
Min	2.13861894063972E+02	1.66984179649394E+05	1.85472412109375E+05	1.52906494140625E+01	1.87784442005491E+04	1.53225099729844E+04	9.21622285904677E+07
Max	2.27490027015596E+02	1.68887012964663E+05	1.86949462890625E+05	1.53338623046875E+01	1.88064559589949E+04	1.53361381059360E+04	9.22138135319571E+07
0	2.98930959723787E+03	1.69333131067290E+05	1.85000000000000E+05	1.52700000000000E+01	1.89112008548331E+04	1.56706904027621E+04	9.36960747402937E+07
5145	2.27490027015596E+02	1.68887012964663E+05	1.86949462890625E+05	1.52906494140625E+01	1.88064559589949E+04	1.53225099729844E+04	9.22138135319571E+07
7371	2.13861894063972E+02	1.66984179649394E+05	1.85472412109375E+05	1.53338623046875E+01	1.87784442005491E+04	1.53361381059360E+04	9.21622285904677E+07

Şekil 6.21: 1. Opt. için pareto optimal değerler (kriterler).

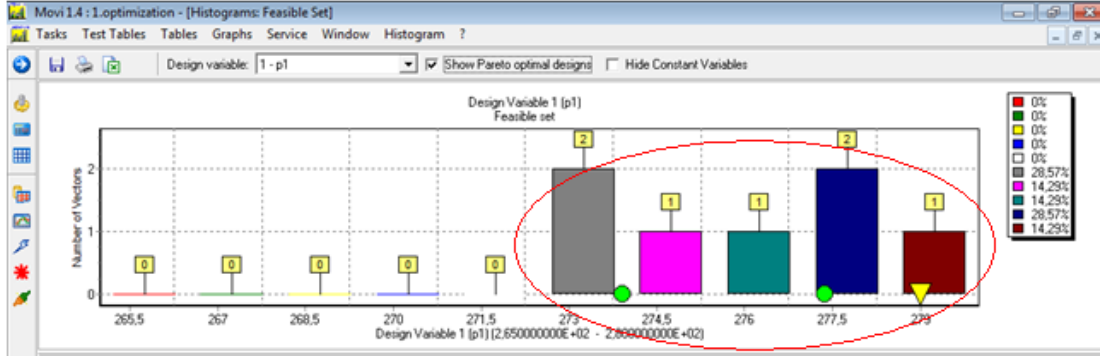
Number of vector	Variable # 1 - p1	Variable # 2 - p2	Variable # 3 - p3	Variable # 4 - p4	Variable # 5 - p5	Variable # 6 - p6	Variable # 7 - p7
Min	2.77376098632813E+02	4.46262207031250E+01	1.78340393066406E+01	8.56088256835937E-01	1.86949462890625E+05	1.53338623046875E+01	2.00000000000000E+00
Max	2.77376098632813E+02	4.46262207031250E+01	1.78340393066406E+01	8.56088256835937E-01	1.86949462890625E+05	1.53338623046875E+01	2.00000000000000E+00
0	2.79000000000000E+02	4.30000000000000E+01	1.75000000000000E+01	8.75000000000000E-01	1.85000000000000E+05	1.52700000000000E+01	1.00000000000000E+00
5145	2.73915405273438E+02	4.46262207031250E+01	1.78340393066406E+01	8.51065063478563E-01	1.86949462890625E+05	1.52906494140625E+01	2.00000000000000E+00
7371	2.77376098632813E+02	4.46262207031250E+01	1.78340393066406E+01	8.56088256835937E-01	1.86949462890625E+05	1.53338623046875E+01	2.00000000000000E+00

Şekil 6.22: 1. Opt. için pareto optimal değerler (dizayn değişkenleri).

Histogramlar aracılığı ile uygun çözümdeki dizayn değişkenlerinin analizi yapılabilir. Histogramlar, değişkenlerin belirli aralıklardaki dağılımını gösterir. Böylece daha düzgün dağılıma ulaşabilmek için değişkenleri alt ve üst sınırları tekrar belirlenebilir.

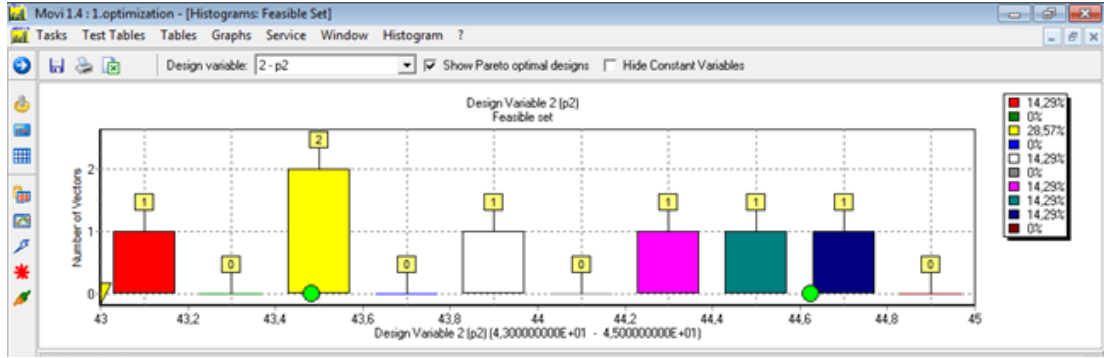
Dizayn değişkenleri histogramlar şeklinde Şekil 6.23 – Şekil 6.29’da gösterilmiştir.

Histogramlarda pareto optimal çözümlerin değerleri yeşil daire olarak, uygun çözümlerin toplandığı aralıklar ise kırmızı daire içerisinde gösterilmiştir. Prototip değer ise ▽ şeklinde gösterilmektedir.

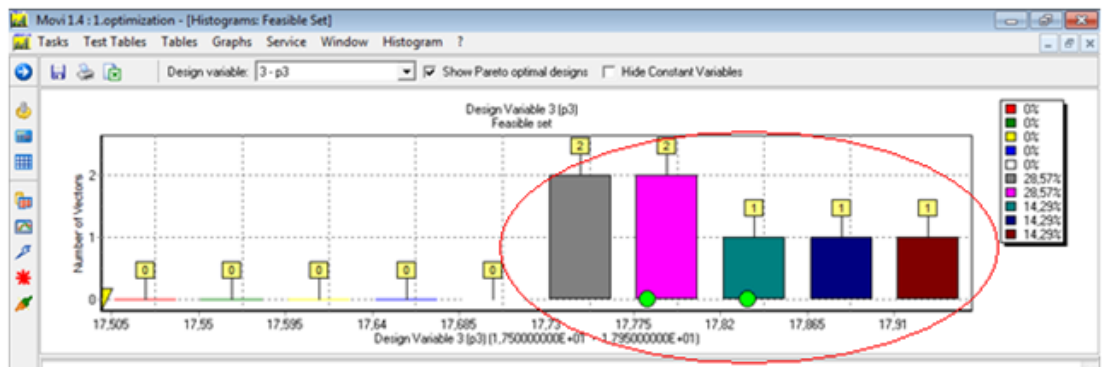


Şekil 6.23: 1. Opt. için dizayn değişkeni 1'in, uygun çözüm aralığı.

Dizayn değişkeni p1 (dikmeler arası boy) için alt sınırın düzenlenmesi gerekmektedir.

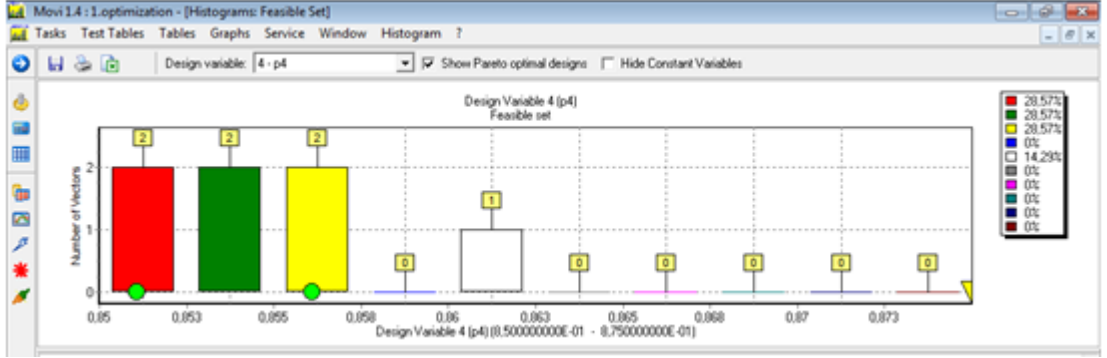


Şekil 6.24: 1. Opt. için dizayn değişkeni 2'nin, uygun çözüm aralığı.

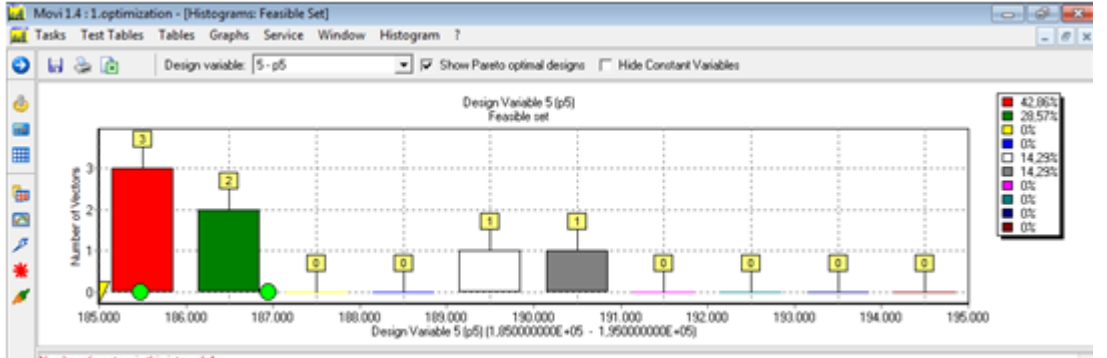


Şekil 6.25: 1. Opt. için dizayn değişkeni 3'ün, uygun çözüm aralığı.

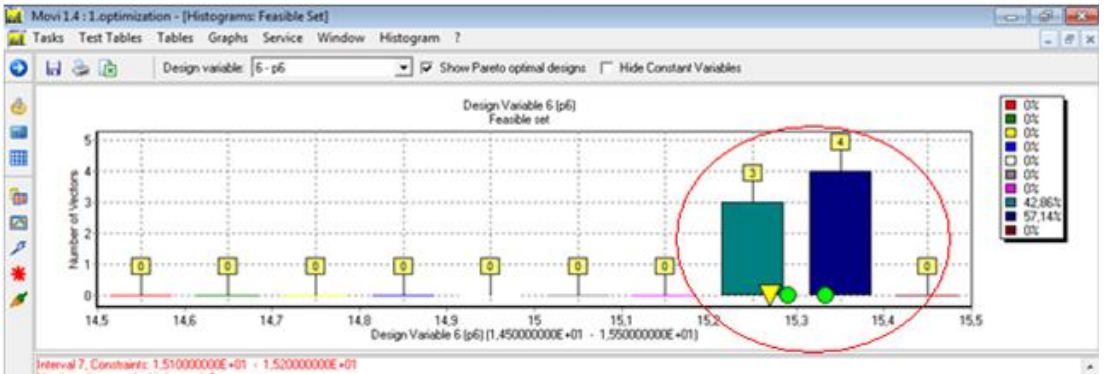
Dizayn değişkeni p3 (draft) için de alt sınır tekrar dzenlenmelidir.



şekil 6.26: 1. Opt. için dizayn değişkeni 4'un, uygun çözüm aralığı.

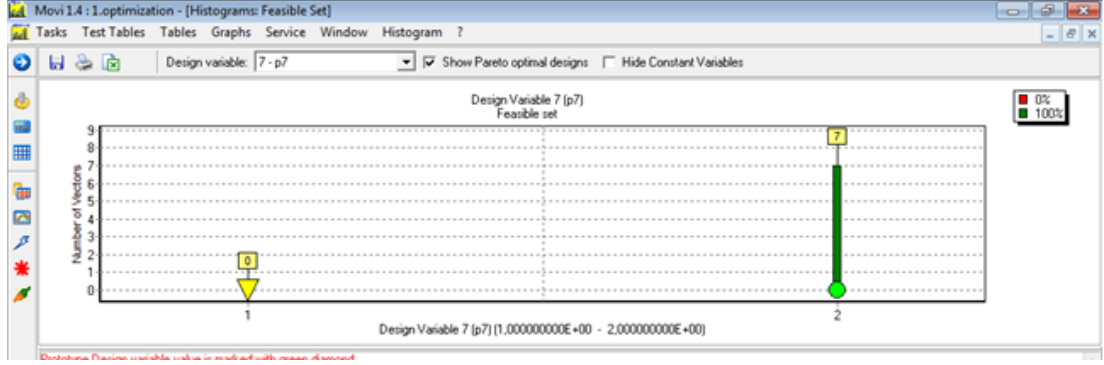


şekil 6.27: 1. Opt. için dizayn değişkeni 5'in, uygun çözüm aralığı.



şekil 6.28: 1. Opt. için dizayn değişkeni 6'nın, uygun çözüm aralığı.

Dizayn değişkeni p6 (gemi hızı) için hem üst sınır hem de alt sınır düzenlenmelidir.



Şekil 6.29: 1. Opt. için dizayn değişkeni 7'nin, uygun çözüm aralığı.

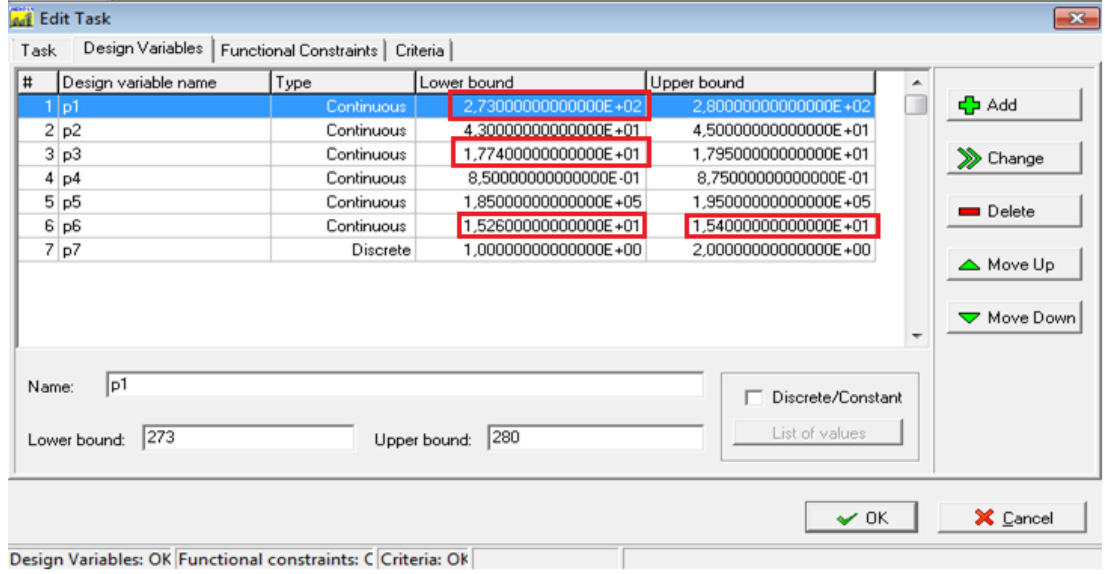
6.5.2 İkinci Tur Optimizasyon

Dizayn değişkenlerinin sınırları Edit Task menüsünden tekrar düzenlenir.

p1 için alt sınır 273

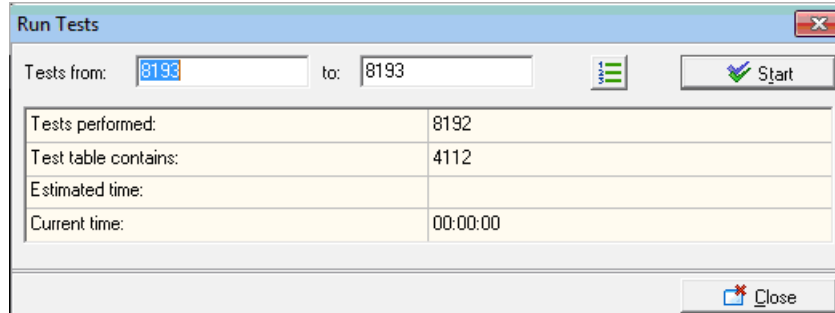
p3 için alt sınır 17,74

p6 için alt sınır 15,26; üst sınır ise 15,4 olarak tekrar tanımlanmıştır.



Şekil 6.30: 2. Opt. için yeniden düzenlenen sınırlar.

İkinci tur optimizasyon için yeniden düzenlenen sınırlar ile 8192 test yapılır.



Şekil 6.31: 2. Opt. için yapılan testler.

Bu test sonucunda 4112 adet vektör test tablosuna girebilmiştir. 4080 Vektör ise kısıtları sağlamamaktadır.

Vektörlerin yer aldığı test tablosu Şekil 6.32 ve Şekil 6.33'te gösterilmiştir.

Movi 1.4 : 2.optimization - [Full Ordered Test Table]

Tasks Test Tables Tables Graphs Service Window ?

N 8192
N1 4112
N2 ----
NF 102

Constraints Result Truncated table Extend Return

Pseudo(MIN) 1		Pseudo(MAX) 2		Pseudo(MAX) 3		Pseudo(MAX) 4	
Name	f6 = MCRi - SMCR(Makine Guc)	Name	f7 = Dw (deadweight)	Name	f8 = Vcar (Kargo Hacmi)	Name	f9 = Vtr (Gemi Hiz)
Nf	2478	Nf	2197	Nf	2197	Nf	2048
Min	8.98022470901196E-02	Min	1.62272097648391E+05	Min	1.85001220703125E+05	Min	1.52600854492187E+01
Max	4.3448841078896E+03	Max	1.79222150303893E+05	Max	1.949879296875E+05	Max	1.5399658203125E+01
Vector	Criterion value	Vector	Criterion value	Vector	Criterion value	Vector	Criterion value
3094	2.97966071108786E+03	2241	1.66981104804241E+05	7242	1.85042724609375E+05	5642	1.52702026367188E+01
6246	2.98220240164860E+03	5490	1.66975467047897E+05	4515	1.85040283203125E+05	2409	1.52701513671875E+01
4557	2.98314763199792E+03	2358	1.66974383930216E+05	162	1.85039062500000E+05	4638	1.52701342773438E+01
3337	2.9832753153554E+03	387	1.66971901708670E+05	6490	1.85037841796875E+05	321	1.52701171875000E+01
2342	2.98401519759037E+03	5898	1.6697162629516E+05	2139	1.85036621093750E+05	7208	1.52701000976563E+01
5998	2.98410627052549E+03	6682	1.66967940758310E+05	5001	1.85030517578125E+05	3959	1.52700830078125E+01
5340	2.98433539057592E+03	7278	1.66966261228055E+05	648	1.85029296875000E+05	6204	1.52700317382813E+01
1643	2.98436519422144E+03	1638	1.66966013621983E+05	6855	1.85028076171875E+05	0	1.52700000000000E+01
4147	2.98439608958456E+03	5064	1.66953690971249E+05	3014	1.85026855468750E+05	4116	1.52699975585937E+01
404	2.985953717131360E+03	1005	1.66950186671012E+05	5934	1.85025634765625E+05	843	1.52699804687500E+01
2666	2.98611204918808E+03	5443	1.66946305610751E+05	4116	1.85020751953125E+05	3192	1.52699462890625E+01
1899	2.9862520659416E+03	834	1.66944592692272E+05	277	1.85019531250000E+05	5903	1.52699291992187E+01
6204	2.98904996147611E+03	4131	1.66941021229602E+05	2382	1.85017089843750E+05	6963	1.52698950195312E+01
732	2.9891737475044E+03	1505	1.66939856348814E+05	4764	1.8501096328125E+05	4891	1.52698608398437E+01
0	2.98930959723787E+03	0	1.66933131067280E+05	7122	1.85008544921875E+05	3750	1.52698095703125E+01
4142	2.98939549402668E+03	3672	1.66932869376990E+05	3561	1.85002441406250E+05	6637	1.52697583007812E+01
2637	2.9898349530115E+03	6984	1.66931226758315E+05	4363	1.85001220703125E+05	4549	1.52697241210938E+01
150	2.9898510856252E+03	7874	1.66925930603074E+05	0	1.85000000000000E+05	7926	1.52696899414063E+01

Tests performed: 8192 | Test table contains: 4112 | Feasible set contains: 102

Şekil 6.32: 2. Opt. için tüm sıralı test tablosu (1).

Movi 1.4 : 2.optimization - [Full Ordered Test Table]

Tasks Test Tables Tables Graphs Service Window ?

N 8192
N1 4112
N2 ----
NF 102

Constraints Result Truncated table Extend Return

Pseudo(MAX) 4		Crit(MIN) 5		Crit(MIN) 6		Crit(MIN) 7	
Name	f9 = Vtr (Gemi Hiz)	Name	c1 = Wst (Çelik Yapı Ağırlığı)	Name	c2 = SMCR (Guc İhtiyacı)	Name	c3 = CNB (Yeni Gemi İnşa Maliyeti)
Nf	2048	Nf	276	Nf	102	Nf	102
Min	1.52600854492187E+01	Min	1.84546193104634E+04	Min	1.43165115892111E+04	Min	9.17556398308954E+07
Max	1.5399658203125E+01	Max	1.97159852055489E+04	Max	1.71862852361707E+04	Max	9.54582827703235E+07
Vector	Criterion value	Vector	Criterion value	Vector	Criterion value	Vector	Criterion value
6308	1.52705786132813E+01	4747	1.89092718816971E+04	1311	1.56637237040416E+04	7791	9.36872171326918E+07
3067	1.52705615234375E+01	2426	1.89096603896579E+04	3114	1.56639563595940E+04	3672	9.36873718134187E+07
8127	1.52705102539063E+01	573	1.89097837163792E+04	7908	1.56639621866948E+04	2572	9.36876267609520E+07
7083	1.52704418945312E+01	7506	1.89098619084480E+04	4503	1.56642072984826E+04	5173	9.36880735666154E+07
4995	1.52704077148437E+01	4211	1.89098959898674E+04	5275	1.56642558144476E+04	5315	9.36887674599725E+07
7469	1.52703735351562E+01	1832	1.89099819639331E+04	2889	1.56643581885776E+04	3070	9.36890841191811E+07
5381	1.52703393554687E+01	7869	1.89100048100893E+04	1556	1.56658102610638E+04	1697	9.36895483243914E+07
6457	1.52703051757812E+01	537	1.89100165680890E+04	3836	1.56658338668145E+04	3077	9.36896381249369E+07
2662	1.5270288089375E+01	4476	1.89102367324614E+04	4802	1.56663851105021E+04	3085	9.36899298186593E+07
590	1.52702539062500E+01	5884	1.89102562470812E+04	3250	1.56665238565437E+04	5258	9.36906040101901E+07
5642	1.52702026367188E+01	5715	1.89104297706818E+04	988	1.56679458724247E+04	6447	9.36924180042260E+07
2409	1.52701513671875E+01	7215	1.89106385734427E+04	2205	1.56679791110376E+04	4660	9.36924243134588E+07
4638	1.52701342773438E+01	4141	1.89106628291176E+04	2139	1.56684344684766E+04	2701	9.36925219296452E+07
321	1.52701171875000E+01	1006	1.89107878109449E+04	575	1.56684985780292E+04	2126	9.36928784996776E+07
7208	1.52701000976563E+01	6930	1.89108336764845E+04	150	1.56701489143375E+04	6963	9.36931440301033E+07
3959	1.52700830078125E+01	5116	1.89110271807607E+04	2637	1.56701650446988E+04	7995	9.36934521215697E+07
6204	1.52700317382813E+01	7457	1.89111498087598E+04	4142	1.56706045093733E+04	7867	9.36956495423830E+07
0	1.52700000000000E+01	0	1.89112086548331E+04	0	1.56706304027621E+04	0	9.36960747402973E+07

Tests performed: 8192 | Test table contains: 4112 | Feasible set contains: 102

Şekil 6.33: 2. Opt. için tüm sıralı test tablosu (2).

Tekrar, prototipten daha iyi değerleri bulmak için prototip değer kısıt olarak alınır ve 102 adet vektör uygun çözüm kümesine girer. Bu 102 uygun çözümden 9'u pareto optimal çözümdür.

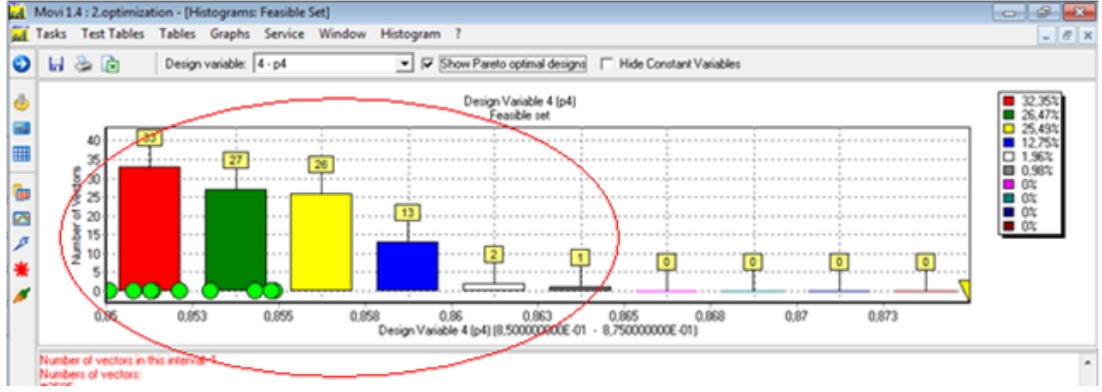
Feasible And Pareto Optimal Solutions	
Tests performed:	8192
Test table contains:	4112
Feasible set contains:	102
Number of Pareto optimal solutions:	9
Criteria constraints	
Constraint 1** = 2,98930959723787E+03	Hard_Constraint 1** = none
Constraint 2** = 1,66933131067280E+05	Hard_Constraint 2** = none
Constraint 3** = 1,85000000000000E+05	Hard_Constraint 3** = none
Constraint 4** = 1,52700000000000E+01	Hard_Constraint 4** = none
Constraint 5** = 1,89112086548331E+04	Hard_Constraint 5** = none
Constraint 6** = 1,56706904027621E+04	Hard_Constraint 6** = none
Constraint 7** = 9,36960747402973E+07	Hard_Constraint 7** = none
Feasible solutions	
Number of feasible solutions : 102	
Numbers of vectors:	
#2794, #3220, #6096, #3741, #1016, #6593, #7998, #6332, #3240, #3561, #4773, #2967, #7606, #4506, #57, #1778, #4561, #3048, #1529, #5715, #243, #5842, #2921, #2208, #4113, #140, #7348, #4826, #2709, #903, #6063, #4953, #2466, #4141, #2089, #7156, #7562, #2529, #1208, #7625, #4307, #8001, #1935, #1842, #5339, #2474, #1713, #6411,	
Pareto optimal solutions	
Number of Pareto optimal solutions: 9	
Numbers of vectors:	
# 2794, # 3220, # 6096, # 3741, # 3240, # 3561, # 903, # 4307, # 1935	

Şekil 6.34: 2. Opt. için uygun ve pareto optimal çözümler.

Değişkenlerin alt ve üst sınır değerleri histogramlar aracılığı ile tekrar belirlenmelidir.

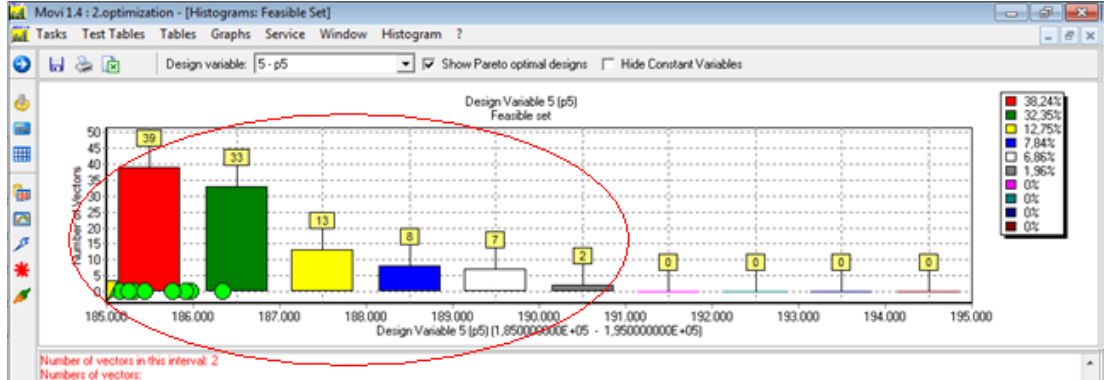
Histogramlarda pareto optimal çözümlerin değerleri yeşil daire olarak, uygun çözümlerin toplandığı aralıklar ise kırmızı daire içerisinde gösterilmiştir. Prototip değer ise ▽ şeklinde gösterilmektedir. Şekil 6.35 ve Şekil 6.36'da yeniden düzenlenmesi gereken sınırlar belirtilmiştir.

Dizayn değişkeni p4 (blok katsayısı) için üst sınır tekrar düzenlenmesi gerekmektedir.



Şekil 6.35: 2. Opt. için dizayn değişkeni 4'ün, uygun çözüm aralığı.

Dizayn değişkeni p5 (kargo hacmi) için üst sınırın tekrar düzenlenmesi gerekmektedir.



Şekil 6.36: 2. Opt. için dizayn değişkeni 5'in, uygun çözüm aralığı.

Değişkenlerin alt ve üst sınır değerleri Şekil 6.37'deki tablo aracılığı ile de belirlenebilir. Şekil 6.37 ve Şekil 6.38'de dizayn değişkenlerinin uygun çözüm ve pareto optimal değerleri gösterilmiştir.

Tests performed: 8192 Feasible set contains: 102 Pareto optimal set contains: 9

Number of	Variable # 1 - p1	Variable # 2 - p2	Variable # 3 - p3	Variable # 4 - p4	Variable # 5 - p5	Variable # 6 - p6	Variable # 7 - p7
Min:	2.73138427734375E+02	4.30722656250000E+01	1.77405126953125E+01	8.50003051757812E-01	1.85002441406250E+05	1.52706127929688E+01	2.00000000000000E+00
Max:	2.79723999023438E+02	4.49211425781250E+01	1.79470007324219E+01	8.63482666015625E-01	1.90112304687500E+05	1.53985302734375E+01	2.00000000000000E+00
0	2.79000000000000E+02	4.30000000000000E+01	1.75000000000000E+01	8.75000000000000E-01	1.85000000000000E+05	1.52700000000000E+01	1.00000000000000E+00
5	2.77375000000000E+02	4.32500000000000E+01	1.78187500000000E+01	8.59375000000000E-01	1.86250000000000E+05	1.53475000000000E+01	2.00000000000000E+00
57	2.77265625000000E+02	4.34062500000000E+01	1.78810937500000E+01	8.56640625000000E-01	1.85156250000000E+05	1.52884375000000E+01	2.00000000000000E+00
140	2.74339843750000E+02	4.43671875000000E+01	1.77654296875000E+01	8.53417968750000E-01	1.96132812500000E+05	1.53174218750000E+01	2.00000000000000E+00
165	2.77511718750000E+02	4.31484375000000E+01	1.79196484375000E+01	8.53277343750000E-01	1.88789062500000E+05	1.52714843750000E+01	2.00000000000000E+00
243	2.78660156250000E+02	4.36328125000000E+01	1.78622265625000E+01	8.53613281250000E-01	1.85117187500000E+05	1.53382031250000E+01	2.00000000000000E+00
276	2.74107421875000E+02	4.43164062500000E+01	1.78191601562500E+01	8.50341796875000E-01	1.90019531250000E+05	1.53696484375000E+01	2.00000000000000E+00
568	2.73772460937500E+02	4.39121093750000E+01	1.78648925781250E+01	8.55590820312500E-01	1.87255893750000E+05	1.53150976562500E+01	2.00000000000000E+00
868	2.74059570312500E+02	4.40488281250000E+01	1.79095960937500E+01	8.50854492187500E-01	1.89501953125000E+05	1.53377929687500E+01	2.00000000000000E+00
881	2.76903320312500E+02	4.33613281250000E+01	1.79030371093750E+01	8.57885742187500E-01	1.86689453125000E+05	1.53159179687500E+01	2.00000000000000E+00
903	2.79172851562500E+02	4.37441406250000E+01	1.77824511718750E+01	8.52124023437500E-01	1.85322265625000E+05	1.53000589375000E+01	2.00000000000000E+00
1005	2.78024414062500E+02	4.30722656250000E+01	1.78858105468750E+01	8.57397460937500E-01	1.88056640625000E+05	1.52989648437500E+01	2.00000000000000E+00
1016	2.73868164062500E+02	4.42597656250000E+01	1.78923730468750E+01	8.51928710937500E-01	1.85869140625000E+05	1.53583984375000E+01	2.00000000000000E+00
1073	2.76831542968750E+02	4.37861328125000E+01	1.7840795894375E+01	8.57702636718750E-01	1.85834960937500E+05	1.53016308937500E+01	2.00000000000000E+00
1146	2.75573730468750E+02	4.39892578125000E+01	1.78555615234375E+01	8.55944824218750E-01	1.86225893750000E+05	1.52852246093750E+01	2.00000000000000E+00
1208	2.73796386718750E+02	4.48408203125000E+01	1.7744819339375E+01	8.51354980468750E-01	1.86577148437500E+05	1.53328027343750E+01	2.00000000000000E+00
1318	2.75751464843750E+02	4.40947265625000E+01	1.79191357421875E+01	8.51306152343750E-01	1.88354492187500E+05	1.53675292968750E+01	2.00000000000000E+00
1331	2.78955214843750E+02	4.32822656250000E+01	1.79125732421875E+01	8.58337402343750E-01	1.85541992187500E+05	1.52844042968750E+01	2.00000000000000E+00
1506	2.74958496093750E+02	4.39462890625000E+01	1.79396435546875E+01	8.52770996093750E-01	1.90112304687500E+05	1.53385449218750E+01	2.00000000000000E+00
1529	2.77364746093750E+02	4.35087890625000E+01	1.79330810546875E+01	8.55114746093750E-01	1.85424804687500E+05	1.53429199218750E+01	2.00000000000000E+00

Tests performed: 8192 Test table contains: 4112 Feasible set contains: 102

Şekil 6.37: 2. Opt. için değişkenlerin uygun çözüm aralığındaki değerleri.

Tests performed: 8192 Feasible set contains: 102 Pareto optimal set contains: 9

Number of vector	Variable # 1 - p1	Variable # 2 - p2	Variable # 3 - p3	Variable # 4 - p4	Variable # 5 - p5	Variable # 6 - p6	Variable # 7 - p7
Min:	2.73138427734375E+02	4.30722656250000E+01	1.77405126953125E+01	8.50003051757812E-01	1.85002441406250E+05	1.52706127929688E+01	2.00000000000000E+00
Max:	2.79723999023438E+02	4.49211425781250E+01	1.79470007324219E+01	8.63482666015625E-01	1.90112304687500E+05	1.53985302734375E+01	2.00000000000000E+00
0	2.79000000000000E+02	4.30000000000000E+01	1.75000000000000E+01	8.75000000000000E-01	1.85000000000000E+05	1.52700000000000E+01	1.00000000000000E+00
903	2.79172851562500E+02	4.37441406250000E+01	1.77824511718750E+01	8.52124023437500E-01	1.85322265625000E+05	1.53000589375000E+01	2.00000000000000E+00
1935	2.79613769531250E+02	4.31240234375000E+01	1.79279541015625E+01	8.53039507812500E-01	1.85981445312500E+05	1.5287000195312500E+01	2.00000000000000E+00
2794	2.75387451171875E+02	4.41967773437500E+01	1.78906909179687E+01	8.51361083984375E-01	1.85163574218750E+05	1.53277099609375E+01	2.00000000000000E+00
3220	2.74126220703125E+02	4.40571289062500E+01	1.78173657226562E+01	8.54327382578125E-01	1.85256347656250E+05	1.53503369140625E+01	2.00000000000000E+00
3240	2.73579345703125E+02	4.41908789062500E+01	1.7860021928562E+01	8.50811767578125E-01	1.86350097656250E+05	1.52868994140625E+01	2.00000000000000E+00
3561	2.77147709078125E+02	4.34516601562500E+01	1.78423852539062E+01	8.54864501953125E-01	1.85002441406250E+05	1.52795166015625E+01	2.00000000000000E+00
3741	2.7807056640625E+02	4.34348203125000E+01	1.79188793945312E+01	8.50103759785625E-01	1.85441894531250E+05	1.53857470703125E+01	2.00000000000000E+00
4307	2.78951635742188E+02	4.31682128906250E+01	1.790253137207031E+01	8.54788208007813E-01	1.85919189453125E+05	1.5273825683937E+01	2.00000000000000E+00
6096	2.73329561523438E+02	4.44172363281250E+01	1.77627893066406E+01	8.51284790039062E-01	1.85767822265625E+05	1.52966323242187E+01	2.00000000000000E+00

Şekil 6.38: 2. Opt. için değişkenlerin Pareto optimal değerleri.

Şekil 6.39 ve Şekil 6.40'ta kriterlerin uygun çözüm ve Pareto optimal değerleri gösterilmiştir.

Movi 1.4 : 2.optimization - [Table of Criteria]

Tasks Test Tables Tables Graphs Service Window ?

Criterion: Feasible set Show pseudocriteria

Tests performed: 8192 Feasible set contains: 102 Pareto optimal set contains: 9

Vector	1- f6 = MCR1	SMCR1	2- f7 = DW (deadweight)	3- f8 = Vcar (Kargo Hac)	4- f9 = Vtr (Gemi Hiz)	5- c1 = Wst (Çelik Yapı)	6- c2 = SMCR (Güc İhtiy)	7- c3 = CNB (Yeni Gemi)
Min	8,97516231156260E-01	1,66950186671012E+05	1,85002441406250E+05	1,52706127929688E+01	1,86653932749224E+04	1,49107572958984E+04	9,19609620262129E+07	
Max	6,39242714101627E+02	1,71686702421077E+05	1,90112304687500E+05	1,53895302734375E+01	1,89106628291176E+04	1,55491024837688E+04	9,27348933603385E+07	
0	2,98930959723787E+03	1,66933131067280E+05	1,85000000000000E+05	1,52700000000000E+01	1,89112086548331E+04	1,56706904027621E+04	9,36960747402973E+07	
5	8,97516231156260E-01	1,67044541298374E+05	1,86250000000000E+05	1,53475000000000E+01	1,87969596491347E+04	1,55491024837688E+04	9,23469089855068E+07	
57	2,98984492519749E+02	1,67778954232196E+05	1,85156250000000E+05	1,52884375000000E+01	1,87511181295869E+04	1,52510155074803E+04	9,21042689793573E+07	
140	1,14668306899219E+02	1,67905110964909E+05	1,86132812500000E+05	1,53174218750000E+01	1,87659039564041E+04	1,54353316930108E+04	9,21451946509535E+07	
165	2,52339923591575E+02	1,67663323947975E+05	1,88789062500000E+05	1,52714843750000E+01	1,89005354944351E+04	1,52976600764084E+04	9,27348933603385E+07	
243	2,66823946551393E+02	1,68741753930108E+05	1,85117187500000E+05	1,53382031250000E+01	1,88515674694803E+04	1,52831760534486E+04	9,21275252208741E+07	
276	1,19975607521883E+02	1,67298167034733E+05	1,90019531250000E+05	1,53696484375000E+01	1,88847765890919E+04	1,54300243924781E+04	9,26357545199068E+07	
568	6,90908188642697E+01	1,67159122323670E+05	1,87258893750000E+05	1,53150976562500E+01	1,87146354084692E+04	1,54809091811357E+04	9,2275563969803E+07	
868	2,35665851527495E+02	1,67278072673155E+05	1,89501953125000E+05	1,53377929687500E+01	1,88168643622791E+04	1,53143341848725E+04	9,25202501889714E+07	
881	1,13608257866268E+02	1,67778024333735E+05	1,86689453125000E+05	1,53159179687500E+01	1,87987564756179E+04	1,54363917421337E+04	9,2355783553759E+07	
903	5,20920749389596E+02	1,68367709985529E+05	1,85322265625000E+05	1,53000589375000E+01	1,88982606098327E+04	1,50290792506104E+04	9,21684565093127E+07	
1005	3,38226952945624E+02	1,66950186671012E+05	1,88056640625000E+05	1,52989648437500E+01	1,88686610522760E+04	1,52117730470544E+04	9,25814892037595E+07	
1016	2,73392614516433E+01	1,68201394280597E+05	1,85869140625000E+05	1,53558398437500E+01	1,86966015306823E+04	1,55226607385484E+04	9,20045252211099E+07	
1073	5,9246486333853E+01	1,68826198190005E+05	1,89834960937500E+05	1,53016308937500E+01	1,88336423696930E+04	1,54907535130666E+04	9,22815610754493E+07	
1146	1,44002368989480E+02	1,68641413087788E+05	1,86225889375000E+05	1,52852246093750E+01	1,87978172787628E+04	1,54059976314052E+04	9,22454598132672E+07	
1208	3,69729368320477E+01	1,68784915253403E+05	1,86577148437500E+05	1,53328027343750E+01	1,88242019309782E+04	1,55130270631680E+04	9,2197923252334E+07	
1318	8,64565347109456E+01	1,68768054583814E+05	1,88354432187500E+05	1,53675292968750E+01	1,88839614381598E+04	1,54635434652891E+04	9,24622821920076E+07	
1331	2,32458385799742E+02	1,68766394806774E+05	1,85641992187500E+05	1,52844042968750E+01	1,88403705164200E+04	1,53175446142003E+04	9,2275332579953E+07	
1506	1,24610642384198E+02	1,68116729416813E+05	1,90112304687500E+05	1,53388448218750E+01	1,88962886683118E+04	1,54253893576518E+04	9,2712065854620E+07	
1529	1,34436064447711E+02	1,68463002790652E+05	1,85424804687500E+05	1,53429199218750E+01	1,87772051018401E+04	1,54155639355523E+04	9,21197980233366E+07	

Tests performed: 8192 Test table contains: 4112 Feasible set contains: 102

Şekil 6.39: 2. Opt. için kriterlerin uygun çözüm kümesindeki değerleri.

Movi 1.4 : 2.optimization - [Table of Criteria]

Tasks Test Tables Tables Graphs Service Window ?

Criterion: Pareto optimal set Show pseudocriteria

Tests performed: 8192 Feasible set contains: 102 Pareto optimal set contains: 9

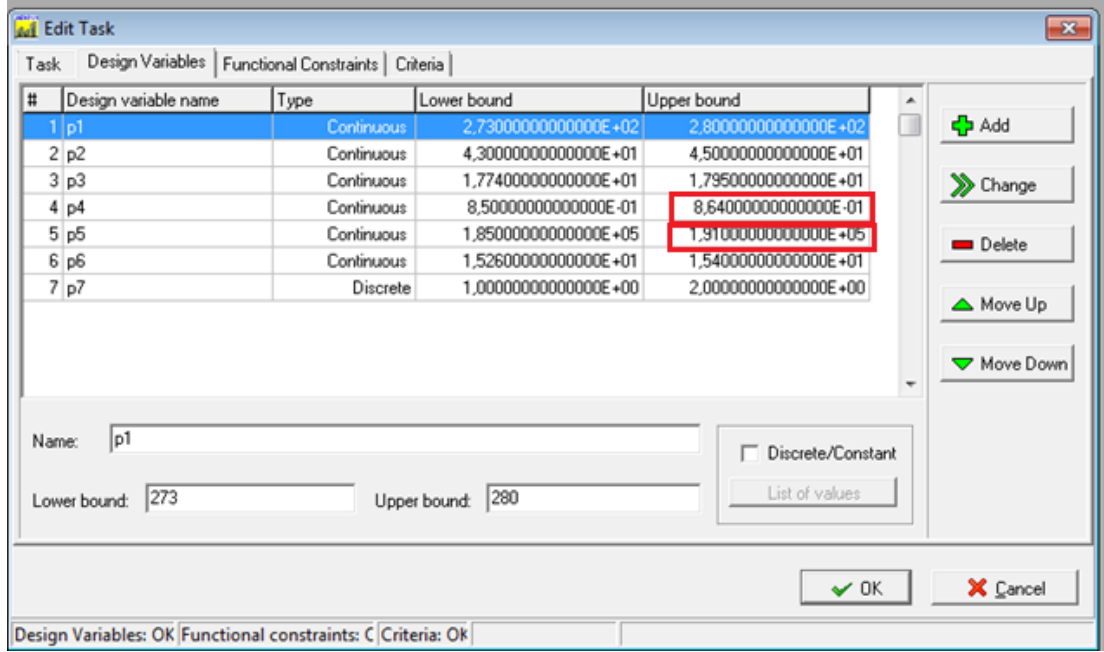
Vector	1- f6 = MCR1	SMCR1	2- f7 = DW (deadweight)	3- f8 = Vcar (Kargo Hac)	4- f9 = Vtr (Gemi Hiz)	5- c1 = Wst (Çelik Yapı)	6- c2 = SMCR (Güc İhtiy)	7- c3 = CNB (Yeni Gemi)
Min	1,038493363241734E+01	1,67011367547520E+05	1,85002441406250E+05	1,52738256835937E+01	1,86653932749224E+04	1,49107572958984E+04	9,19609620262129E+07	
Max	6,39242714101627E+02	1,68392079236859E+05	1,86350087656250E+05	1,53857470703125E+01	1,88982606098327E+04	1,55396150636759E+04	9,21282302031047E+07	
0	2,98930959723787E+03	1,66933131067280E+05	1,85000000000000E+05	1,52700000000000E+01	1,89112086548331E+04	1,56706904027621E+04	9,36960747402973E+07	
903	5,20920749389596E+02	1,68367709985529E+05	1,85322265625000E+05	1,53000589375000E+01	1,88982606098327E+04	1,50290792506104E+04	9,21684565093127E+07	
1905	6,39242714101627E+02	1,67769070365097E+05	1,85901445312500E+05	1,52870019531250E+01	1,88479021212427E+04	1,49107572958984E+04	9,21282302031047E+07	
2794	2,32415700563097E+02	1,68392079236859E+05	1,85163574218750E+05	1,53277098609375E+01	1,87419662295340E+04	1,53175842984036E+04	9,19609620262129E+07	
3220	1,038493363241734E+01	1,67283715152270E+05	1,85256347656250E+05	1,53503369140625E+01	1,86653932749224E+04	1,55396150636759E+04	9,19684062547762E+07	
3240	4,12765486703913E+02	1,67011367547520E+05	1,86350087656250E+05	1,52968994140625E+01	1,86687824917318E+04	1,51372345132961E+04	9,20130045789425E+07	
3561	4,60321863886154E+02	1,67128614967068E+05	1,85002441406250E+05	1,52795166015625E+01	1,87298891595221E+04	1,50896781361138E+04	9,20082237239293E+07	
3741	3,70140300841362E+02	1,67393189472164E+05	1,85441894531250E+05	1,53857470703125E+01	1,87646259605204E+04	1,51798596991586E+04	9,20008071806983E+07	
4307	5,45412417441168E+02	1,67653032632259E+05	1,85919189453125E+05	1,52738256835937E+01	1,88038063784183E+04	1,50045875925588E+04	9,22056291354820E+07	
6096	3,16052184728907E+02	1,67017466137222E+05	1,85767822265625E+05	1,52956323242187E+01	1,86793800542443E+04	1,52338478152711E+04	9,19690104614970E+07	

Şekil 6.40: 2. Opt. için kriterlerin pareto optimal çözüm kümesindeki değerleri.

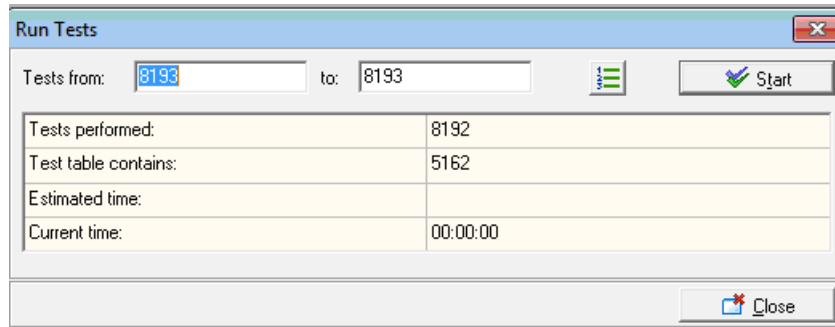
6.5.3 Üçüncü Tur Optimizasyon

Dizayn değişkenlerinin sınırları Edit Task menüsünden tekrar düzenlenir.

Dizayn değişkeni p4 için üst sınır 0,864 ve dizayn değişkeni p5 için üst sınır 191000 olarak değiştirilmiştir.



Şekil 6.41: 3. Opt. için yeniden düzenlenen sınırlar.



Şekil 6.42: 3. Opt. için yapılan testler.

Bu testler sonucunda 8192 testin 5162'si test tablosuna girebilirken, 3030 adedi girememiştir.

Prototip değerler kısıt olarak alınır ve 282 adet vektör uygun çözüm kümesine girer. Test tabloları Şekil 6.43 ve Şekil 6.44'te gösterilmiştir.

The screenshot shows the Movi 1.4.3 optimization software interface. The main window displays a 'Full Ordered Test Table' with four pseudo-optimization problems. The interface includes a menu bar (Tasks, Test Tables, Tables, Graphs, Service, Window, ?), a toolbar with icons for Constraints, Result, Truncated table, Extend, and Return, and a status bar at the bottom showing 'Tests performed: 8192', 'Test table contains: 5162', and 'Feasible set contains: 282'.

Pseudo(MIN) 1		Pseudo(MAX) 2		Pseudo(MAX) 3		Pseudo(MAX) 4	
Name	f6 = MCRi - SMCR(Makine Guc)	Name	f7 = DW (deadweight)	Name	f8 = Vcar (Kargo Hacmi)	Name	f9 = Vlr (Gemi Hiz)
Nf	2179	Nf	1543	Nf	1543	Nf	1416
Min	2.32531174224277E-01	Min	1.61965242411034E+05	Min	1.85000732421875E+05	Min	1.52600170898437E+01
Max	4.37411780735298E+03	Max	1.77316898021752E+05	Max	1.90999267578125E+05	Max	1.53999658203125E+01
Vector	Criterion value	Vector	Criterion value	Vector	Criterion value	Vector	Criterion value
956	2.98024984511816E+03	2526	1.66949855325475E+05	1458	1.85020507812500E+05	2409	1.52701513671875E+01
2839	2.98053889635730E+03	6864	1.66945904686099E+05	5001	1.85018310546875E+05	4638	1.52701342773438E+01
7637	2.98146734337860E+03	5450	1.66945107461247E+05	648	1.85017578125000E+05	321	1.52701171875000E+01
6023	2.98352101744048E+03	3335	1.66943675782913E+05	6855	1.85016845703125E+05	7208	1.52701000976563E+01
6211	2.98363033454803E+03	4780	1.66941249943301E+05	3014	1.85016113281250E+05	3959	1.52700830078125E+01
1851	2.98454095922464E+03	2284	1.66940755394606E+05	5934	1.85015380859375E+05	6204	1.52700317382813E+01
5131	2.98505371305498E+03	4277	1.66940580566685E+05	7677	1.85013916015625E+05	2915	1.52700146484375E+01
7731	2.98615820699817E+03	1724	1.66940568673960E+05	3324	1.8501318393750E+05	0	1.52700000000000E+01
4378	2.98651494780576E+03	6267	1.66940070853911E+05	4116	1.85012451171875E+05	4116	1.5269997558937E+01
1787	2.98655617357251E+03	132	1.66939181169113E+05	277	1.85011718750000E+05	843	1.52699804687500E+01
7767	2.98696431779292E+03	556	1.66936359818450E+05	2382	1.85010253906250E+05	3192	1.5269962690625E+01
2274	2.98699091934367E+03	2618	1.66935851452810E+05	8053	1.85008056640625E+05	5903	1.52699291992187E+01
2315	2.98892245178564E+03	7895	1.66935316613642E+05	4764	1.85006591796875E+05	1104	1.52699121093750E+01
8179	2.98921877436034E+03	990	1.66933355207867E+05	7122	1.85005126953125E+05	6963	1.52698950195312E+01
0	2.98930959723787E+03	0	1.66933131067280E+05	5691	1.85003662109375E+05	2156	1.52698779296875E+01
458	2.99009178071492E+03	1532	1.66929282962285E+05	3561	1.85001464843750E+05	4891	1.52698608398437E+01
892	2.99141579821066E+03	7059	1.66926645109145E+05	4353	1.85000732421875E+05	68	1.52698437500000E+01
1629	2.99266424734398E+03	6942	1.66924870111255E+05	0	1.85000000000000E+05	7673	1.52698266601562E+01

Şekil 6.43: 3. Opt. için tüm sıralı test tablosu (1).

Pseudo(MAX) 4		Crit(MIN) 5		Crit(MIN) 6		Crit(MIN) 7	
Name	f9 = Vtr (Gemi Hizi)	Name	c1 = Wst (Çelik Yapı Ağırlığı)	Name	c2 = SMCR (Güc İhtiyacı)	Name	c3 = CNB (Yeni Gemi İnşa Maliyeti)
Nf	1416	Nf	384	Nf	282	Nf	282
Min	1.52600170898437E+01	Min	1.84398437063085E+04	Min	1.42858821926470E+04	Min	9.17205932903402E+07
Max	1.53996658203125E+01	Max	1.94804412005803E+04	Max	1.63251696498804E+04	Max	9.45153106286321E+07
Vector	Criterion value	Vector	Criterion value	Vector	Criterion value	Vector	Criterion value
7469	1.52703735351562E+01	1528	1.89095806057366E+04	7322	1.56619377090521E+04	4326	9.36906533314888E+07
5381	1.52703393954687E+01	5351	1.89096113692135E+04	1009	1.56635794511666E+04	3252	9.36910326409172E+07
1626	1.52703222656250E+01	5270	1.89098151683198E+04	5694	1.56636218008284E+04	2648	9.36915771174400E+07
6457	1.52703051757812E+01	2116	1.89098915188934E+04	3104	1.56636875210850E+04	1399	9.36917354866803E+07
2652	1.52702880869375E+01	83	1.89099092859020E+04	4653	1.56637453299958E+04	4474	9.36919640513394E+07
4369	1.52702709360937E+01	3843	1.89099554557937E+04	7455	1.5663854705644E+04	4845	9.36924087668137E+07
590	1.52702539062500E+01	4965	1.89100629061865E+04	460	1.56641125101993E+04	2893	9.3692735896637E+07
7714	1.52702368164062E+01	559	1.89100692413639E+04	935	1.56645486047780E+04	4380	9.36930229696638E+07
5642	1.52702026367188E+01	4657	1.89101695188689E+04	1949	1.56650709592985E+04	8060	9.36933910875248E+07
1365	1.52701855468750E+01	316	1.89101863694648E+04	4785	1.56655266260175E+04	5475	9.36936353278802E+07
2409	1.52701513671875E+01	3917	1.89102634191872E+04	2234	1.56659837550295E+04	2129	9.36940738446465E+07
4638	1.52701342773438E+01	5990	1.89102779176804E+04	7888	1.56662979222788E+04	325	9.36941930283592E+07
321	1.52701171879000E+01	5769	1.89104812138501E+04	685	1.56665546129355E+04	6868	9.36942291297588E+07
7208	1.52701000976563E+01	6369	1.89105051045780E+04	3844	1.56673051159098E+04	642	9.36950052275435E+07
3959	1.52700830078125E+01	2018	1.89108574202208E+04	1629	1.56673357526564E+04	331	9.36950901606868E+07
6204	1.52700317382813E+01	4326	1.89109453957605E+04	892	1.56685842017893E+04	3990	9.36956480733521E+07
2915	1.52700146484330E+01	7013	1.8911125035836E+04	458	1.56689082192851E+04	2473	9.3695849229442E+07
0	1.52700000000000E+01	0	1.89112086548331E+04	0	1.56706904027621E+04	0	9.36960747402973E+07

Tests performed: 8192 | Test table contains: 5162 | Feasible set contains: 282

Şekil 6.44: 3. Opt. için tüm sıralı test tablosu (2).

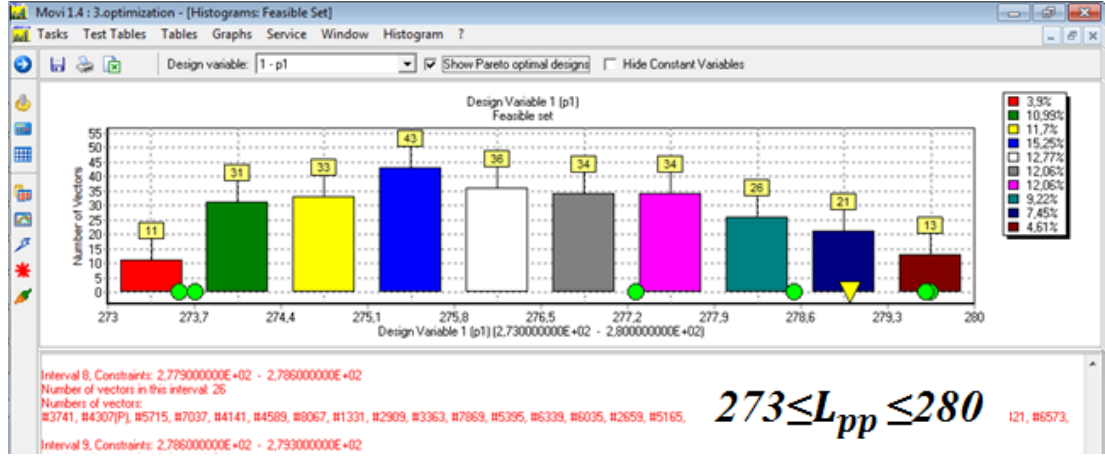
Yapılan 8192 test sonucunda, prototip değerlerden daha iyi sonuçlar alınarak, 282 uygun çözüm bulunmuştur ve bunların 6'sı pareto optimal çözümdür.

Feasible And Pareto Optimal Solutions	
Tests performed:	8192
Test table contains:	5162
Feasible set contains:	282
Number of Pareto optimal solutions:	6
Criteria constraints	
Constraint 1** = 2.98930959723787E+03	Hard_Constraint 1** = none
Constraint 2** = 1.66933131067280E+05	Hard_Constraint 2** = none
Constraint 3** = 1.85000000000000E+05	Hard_Constraint 3** = none
Constraint 4** = 1.52700000000000E+01	Hard_Constraint 4** = none
Constraint 5** = 1.89112086548331E+04	Hard_Constraint 5** = none
Constraint 6** = 1.56706904027621E+04	Hard_Constraint 6** = none
Constraint 7** = 9.36960747402973E+07	Hard_Constraint 7** = none
Feasible solutions	
Number of feasible solutions : 282	
Numbers of vectors:	
#3240, #1016, #2794, #6332, #7998, #1944, #4506, #3741, #5484, #4773, #7606, #57, #2208, #3048, #1529, #2967, #140, #1778, #2466, #7156, #6910, #7348, #1842, #4826, #4113, #1734, #4618, #2474, #7562, #243, #5842, #2529, #7163, #1208, #4307, #5272, #132, #2921, #2709, #1146, #1029, #1713, #5715, #4526, #2774, #7625, #4198, #5989,	
Pareto optimal solutions	
Number of Pareto optimal solutions: 6	
Numbers of vectors:	
# 3240, # 1944, # 57, # 4307, # 1935, # 207	

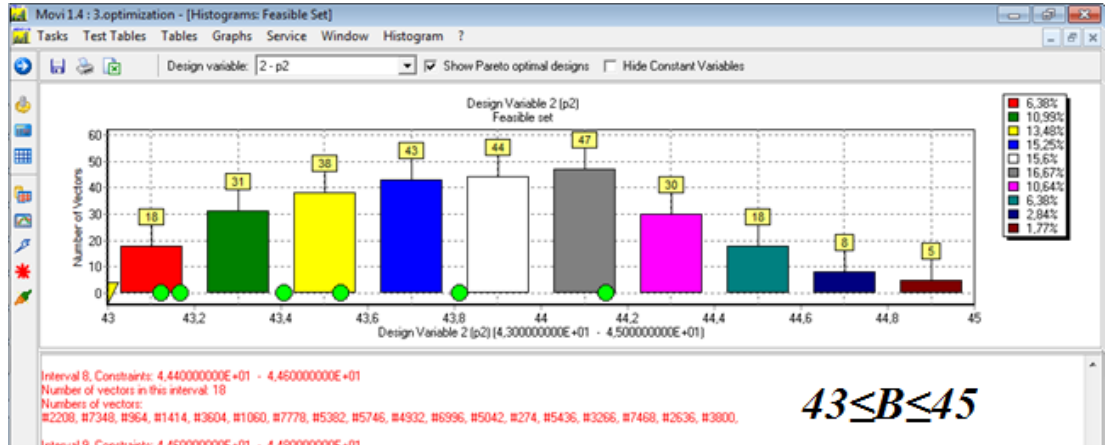
Şekil 6.45: 3. Opt. için uygun ve pareto optimal çözümler.

Histogramlar aracılığı ile değişkenlerin alt ve üst sınır değerleri Şekil 6.46-Şekil 6.52'deki gibi gösterilir.

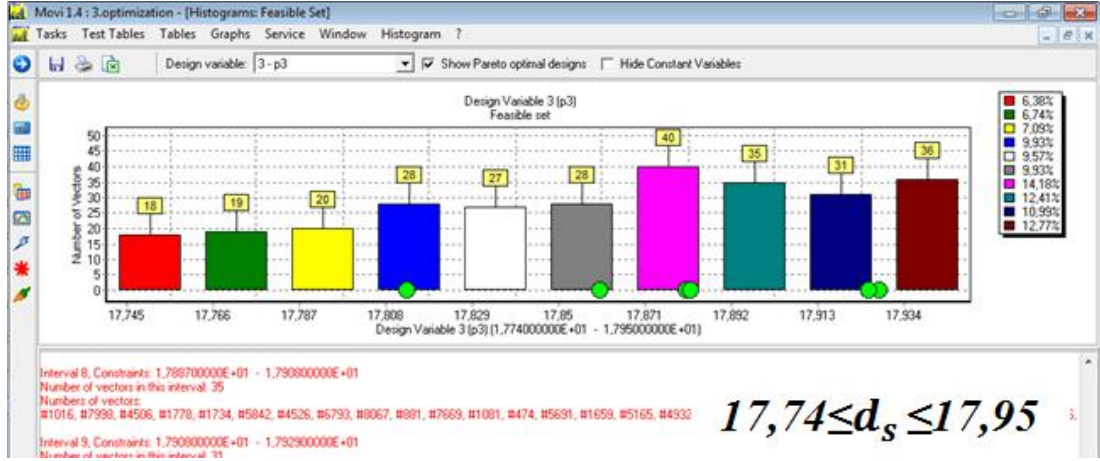
Histogramlarda pareto optimal çözümlerin değerleri yeşil daire olarak, prototip değer ise ▽ şeklinde gösterilmektedir.



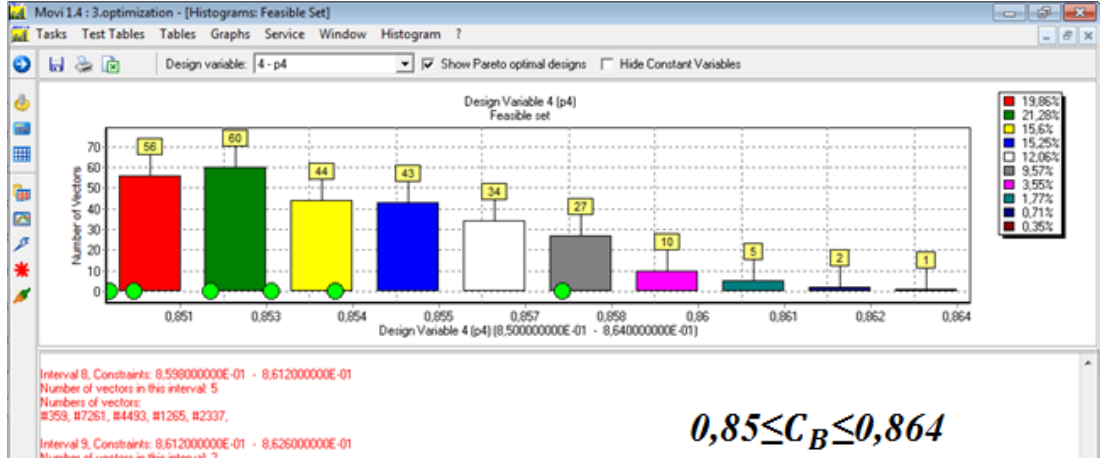
Şekil 6.46: 3. Opt. için dizayn değişkeni 1'in, uygun çözüm aralığı.



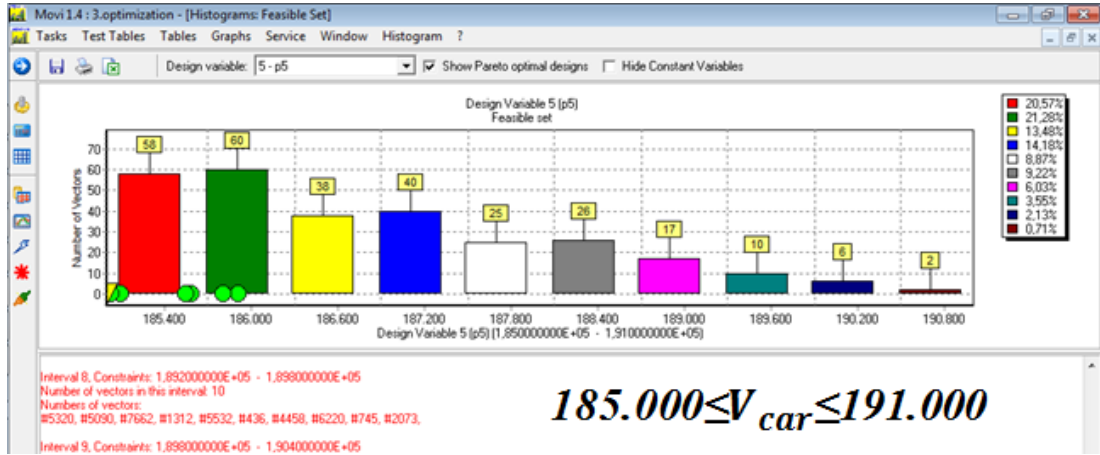
Şekil 6.47: 3. Opt. için dizayn değişkeni 2'nin, uygun çözüm aralığı.



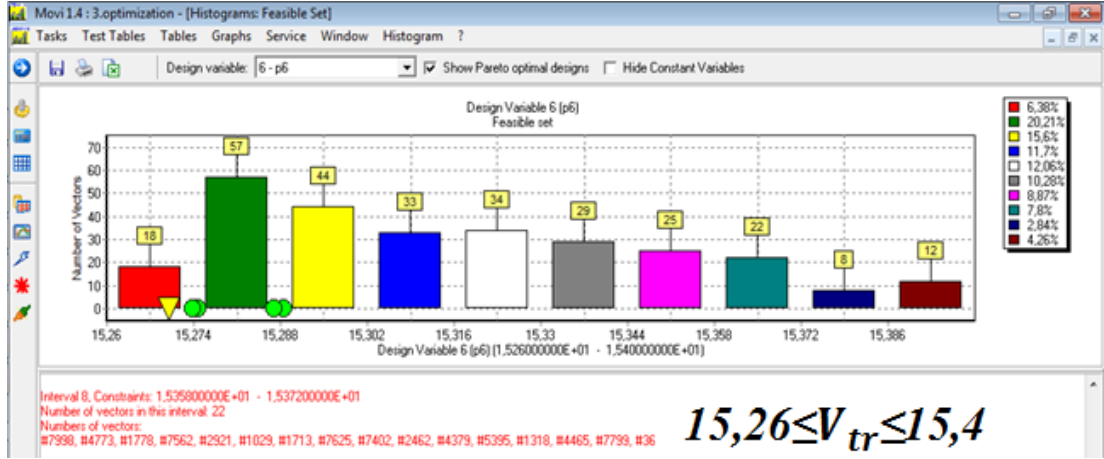
Şekil 6.48: 3. Opt. için dizayn değişkeni 3'ün, uygun çözüm aralığı.



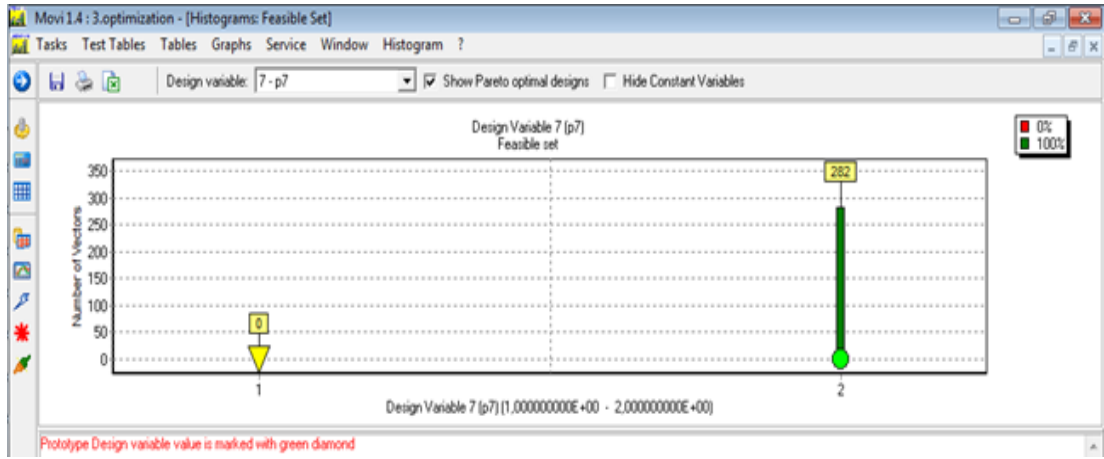
Şekil 6.49: 3. Opt. için dizayn değişkeni 4'ün, uygun çözüm aralığı.



Şekil 6.50: 3. Opt. için dizayn değişkeni 5'in, uygun çözüm aralığı.



Şekil 6.51: 3. Opt. için dizayn değişkeni 6'nın, uygun çözüm aralığı.



Şekil 6.52: 3. Opt. için dizayn değişkeni 7'nin, uygun çözüm aralığı.

Number of vec	Variable # 1 - p1	Variable # 2 - p2	Variable # 3 - p3	Variable # 4 - p4	Variable # 5 - p5	Variable # 6 - p6	Variable # 7 - p7
Min	2.73126454843750E+02	4.30236816406250E+01	1.77417687988281E+01	8.50001708984375E-01	1.85003662109375E+05	1.5270100097656E+01	2.00000000000000E+00
Max	2.79910278320313E+02	4.49211425781250E+01	1.79497949218750E+01	8.63041259765625E-01	1.90660156250000E+05	1.5399094238281E+01	2.00000000000000E+00
0	2.79000000000000E+02	4.30000000000000E+01	1.75000000000000E+01	8.75000000000000E-01	1.85000000000000E+05	1.52700000000000E+01	1.00000000000000E+00
57	2.77265625000000E+02	4.34062500000000E+01	1.78810937500000E+01	8.53718750000000E-01	1.85093750000000E+05	1.52884375000000E+01	2.00000000000000E+00
83	2.78523437500000E+02	4.37656250000000E+01	1.77777343750000E+01	8.51421875000000E-01	1.86546875000000E+05	1.52917187500000E+01	2.00000000000000E+00
132	2.73902343750000E+02	4.37421875000000E+01	1.78835546875000E+01	8.56289062500000E-01	1.86054687500000E+05	1.53261718750000E+01	2.00000000000000E+00
140	2.74339843750000E+02	4.43671875000000E+01	1.77654296875000E+01	8.51914062500000E-01	1.85679687500000E+05	1.53174218750000E+01	2.00000000000000E+00
186	2.75542968750000E+02	4.40859375000000E+01	1.77687109375000E+01	8.58257812500000E-01	1.86710937500000E+05	1.52846093750000E+01	2.00000000000000E+00
207	2.79644531250000E+02	4.35390625000000E+01	1.78130078125000E+01	8.50054687500000E-01	1.85914062500000E+05	1.52747656250000E+01	2.00000000000000E+00
220	2.74613281250000E+02	4.41015625000000E+01	1.79376953125000E+01	8.56617187500000E-01	1.88726562500000E+05	1.52703906250000E+01	2.00000000000000E+00
243	2.78660156250000E+02	4.36328125000000E+01	1.78622265625000E+01	8.52023437500000E-01	1.86070312500000E+05	1.53382031250000E+01	2.00000000000000E+00
274	2.74982421875000E+02	4.45664062500000E+01	1.78979101562500E+01	8.51941406250000E-01	1.87261718750000E+05	1.52821484375000E+01	2.00000000000000E+00
276	2.74107421875000E+02	4.43164062500000E+01	1.78191601562500E+01	8.50191406250000E-01	1.88011718750000E+05	1.53696484375000E+01	2.00000000000000E+00
347	2.78974609375000E+02	4.31445312500000E+01	1.78372070312500E+01	8.57957031250000E-01	1.85996093750000E+05	1.53355742187500E+01	2.00000000000000E+00
359	2.79302734375000E+02	4.30507812500000E+01	1.78929882812500E+01	8.59925781250000E-01	1.85339843750000E+05	1.52766796875000E+01	2.00000000000000E+00
376	2.73833984375000E+02	4.42382812500000E+01	1.77945507812500E+01	8.56863281250000E-01	1.85902343750000E+05	1.52810546875000E+01	2.00000000000000E+00
417	2.76650390625000E+02	4.34023437500000E+01	1.79134960937500E+01	8.55496093750000E-01	1.88597656250000E+05	1.53417578125000E+01	2.00000000000000E+00
436	2.74244140625000E+02	4.42148437500000E+01	1.79200589375000E+01	8.53308937500000E-01	1.89535156250000E+05	1.53286328125000E+01	2.00000000000000E+00
444	2.74681640625000E+02	4.38398437500000E+01	1.78281835937500E+01	8.55933937500000E-01	1.90660156250000E+05	1.53198828125000E+01	2.00000000000000E+00
474	2.75501953125000E+02	4.38554687500000E+01	1.78921679687500E+01	8.57136718750000E-01	1.85925781250000E+05	1.53056640625000E+01	2.00000000000000E+00
526	2.76069339375000E+02	4.36308937500000E+01	1.78747363281250E+01	8.57724609375000E-01	1.87572265625000E+05	1.52779101562500E+01	2.00000000000000E+00
559	2.79678710937500E+02	4.32246093750000E+01	1.79108300781250E+01	8.58818359375000E-01	1.85791015625000E+05	1.53019726562500E+01	2.00000000000000E+00

Şekil 6.53: 3. Opt. için dizayn değişkenlerinin uygun çözüm değerleri.

Number of vector	Variable # 1 - p1	Variable # 2 - p2	Variable # 3 - p3	Variable # 4 - p4	Variable # 5 - p5	Variable # 6 - p6	Variable # 7 - p7
Min	2.73126454843750E+02	4.31246234375000E+01	1.78130078125000E+01	8.50054687500000E-01	1.85026367187500E+05	1.52738256875000E+01	2.00000000000000E+00
Max	2.79644531250000E+02	4.41508789062500E+01	1.79279541015625E+01	8.57389648437500E-01	1.85914062500000E+05	1.52884375000000E+01	2.00000000000000E+00
0	2.79000000000000E+02	4.30000000000000E+01	1.75000000000000E+01	8.75000000000000E-01	1.85000000000000E+05	1.52700000000000E+01	1.00000000000000E+00
57	2.77265625000000E+02	4.34062500000000E+01	1.78810937500000E+01	8.53718750000000E-01	1.85093750000000E+05	1.52884375000000E+01	2.00000000000000E+00
207	2.79644531250000E+02	4.35390625000000E+01	1.78130078125000E+01	8.50054687500000E-01	1.85914062500000E+05	1.52747656250000E+01	2.00000000000000E+00
1935	2.79613769531250E+02	4.31246234375000E+01	1.79279541015625E+01	8.51702149437500E-01	1.89568067187500E+05	1.52870019531250E+01	2.00000000000000E+00
1944	2.73707519531250E+02	4.38115234375000E+01	1.78820166015625E+01	8.57389648437500E-01	1.85026367187500E+05	1.52738789531250E+01	2.00000000000000E+00
3240	2.73573345703125E+02	4.41508789062500E+01	1.78600219726562E+01	8.50454589843750E-01	1.85810058937500E+05	1.52868994140625E+01	2.00000000000000E+00
4307	2.78551635742188E+02	4.31682128906250E+01	1.79253137207031E+01	8.52681396484375E-01	1.89551513671875E+05	1.52738256875000E+01	2.00000000000000E+00

Şekil 6.54: 3. Opt. için dizayn değişkenlerinin Pareto optimal değerleri.

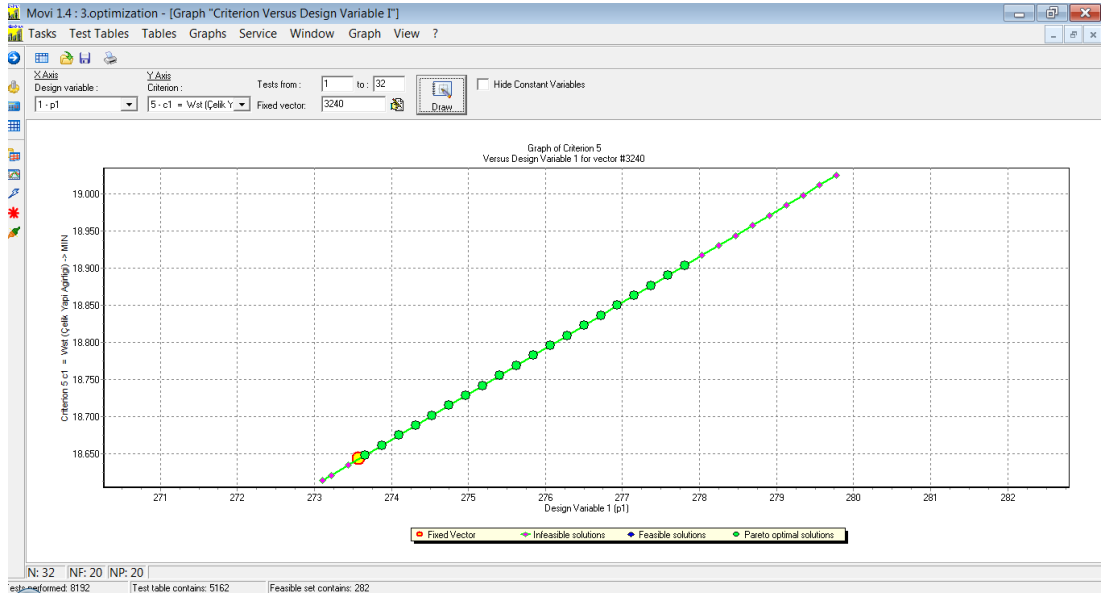
Şekil 6.53 ve Şekil 6.54’te dizayn değişkenlerinin uygun çözümleri ve Pareto optimal çözümleri verilmiştir.

Pareto optimal vektörler için kriterlerin dizayn değişkenlerine bağlılığı Criterion vs Design Variable 1 (Kriter-Dizayn Değişkeni 1) grafiği ile gösterilir. Bu grafikler Pareto optimal sonuçların geliştirilmesini sağlar. Örneğin üçüncü tur optimizasyon sonucunda elde edilen Pareto optimal sonuçlardan (# 3240, # 1944, #

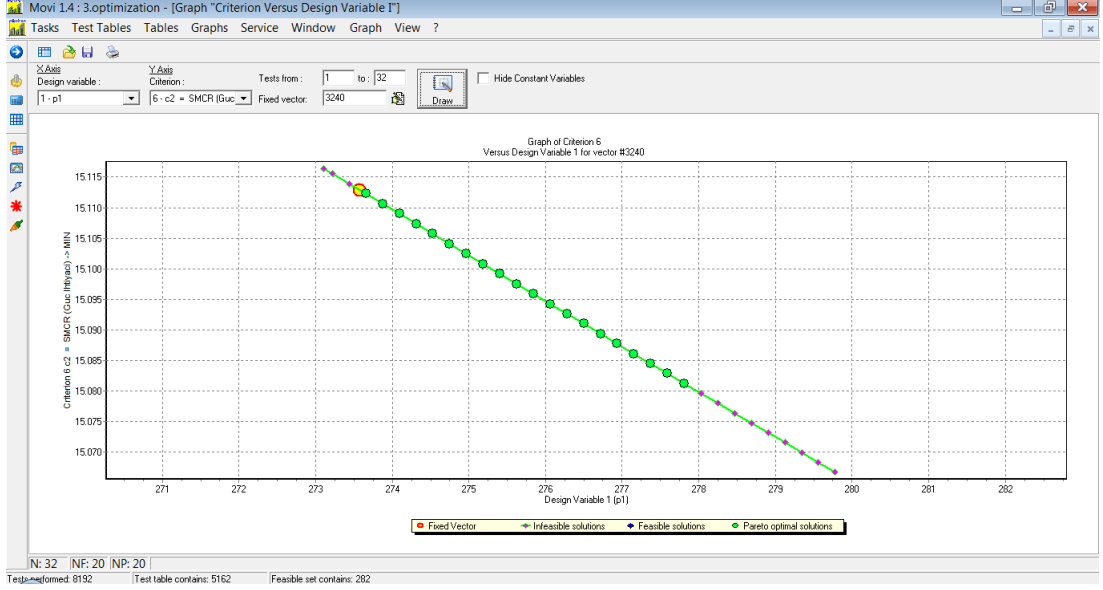
57, # 4307, # 1935, # 207) vektörlere karşılık gelen kriter ve dizayn değişkenleri arasındaki ilişkiyi gösterir.

Şekil 6.55-Şekil 6.57’de (# 3240 vektörü için) dizayn değişkeni p_1 ’in üç kriter ile arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler gösterilmiştir.

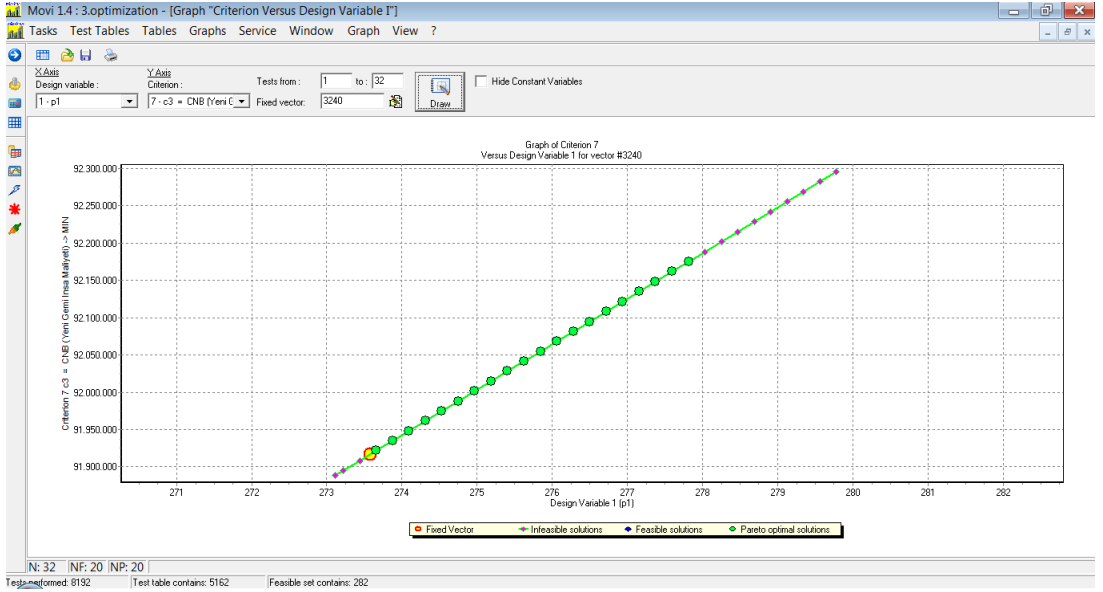
Kırmızı daire ile vektör # 3240 gösterilmiştir. Uygun olmayan çözümler magenta renkli daireler ile, uygun çözümler mavi renkli ve pareto optimal çözümler yeşil renkli daireler ile gösterilmiştir.



Şekil 6.55: 3. Opt. sonucu elde edilen pareto optimal çözüm # 3240 için dizayn değişkeni 1 in kriter 1 ile ilişkisi.



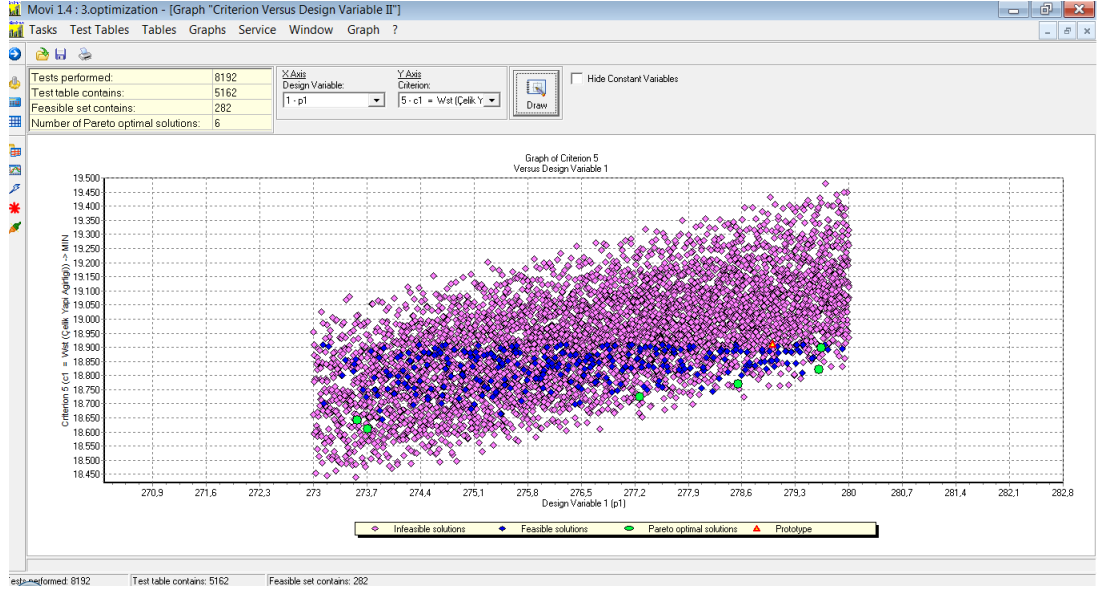
Şekil 6.56: 3. Opt. sonucu elde edilen pareto optimal çözüm # 3240 için dizayn değişkeni 1 in kriter 2 ile ilişkisi.



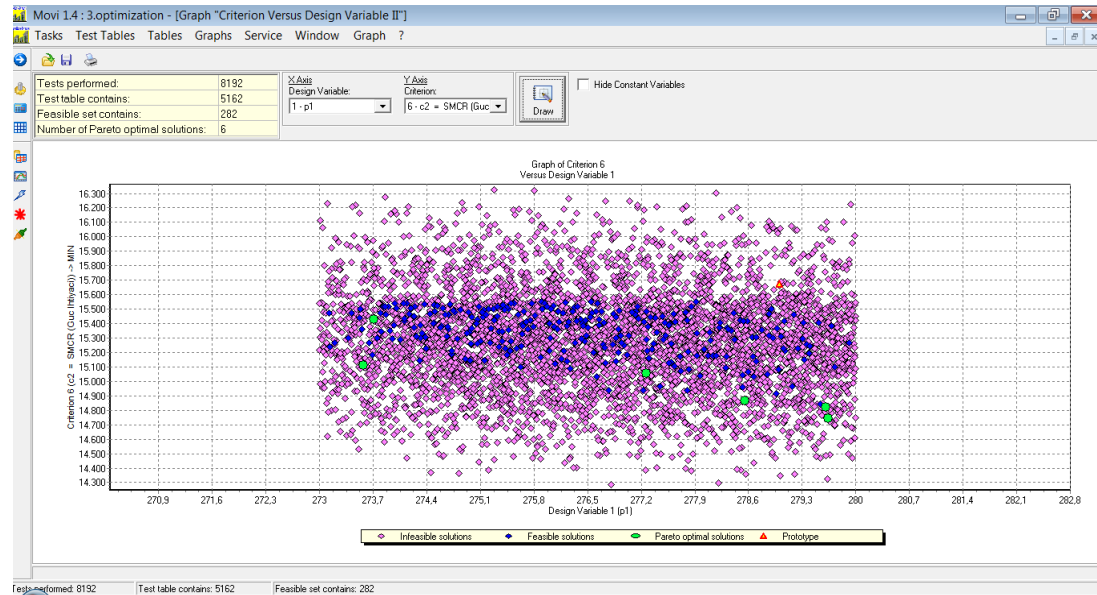
Şekil 6.57: 3.Opt. sonucu elde edilen pareto optimal çözüm # 3240 için dizayn değişkeni 1 in kriter 3 ile ilişkisi.

Tüm vektörler için kriterlerin dizayn değişkenlerine bağlılığı Criterion versus Design Variable II (Kriter- Dizayn Değişkeni II) grafiği ile gösterilir. Bu grafiklerin örnekleri Şekil 6.58-6.60’da gösterilmiştir.

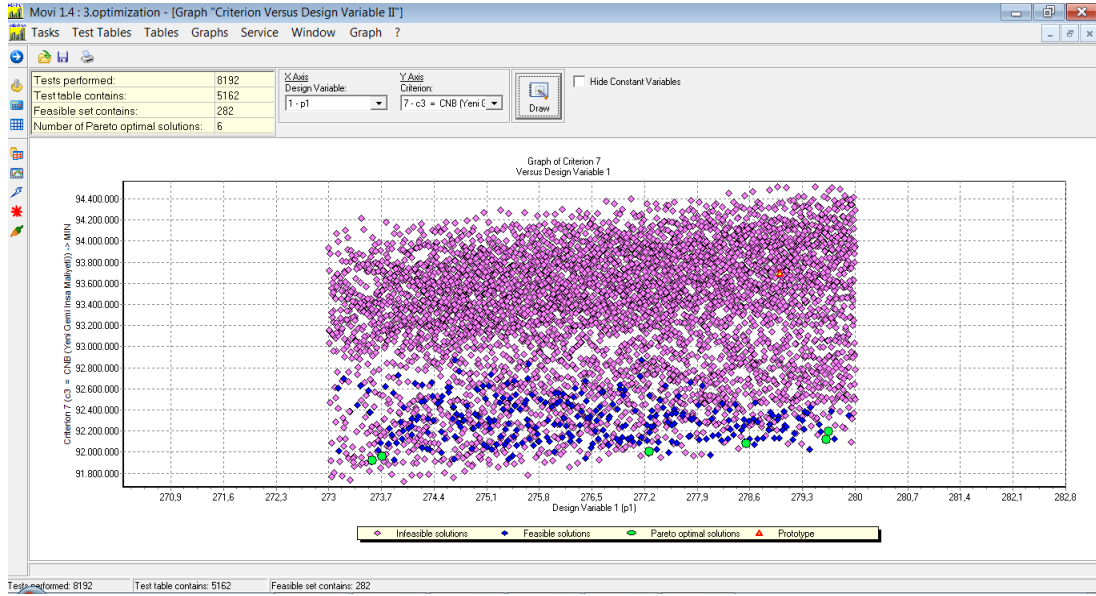
Grafiklerde kırmızı daire ile işaretlenmiş nokta prototip değeri, magenta renkli noktalar uygun olmayan çözümleri, mavi noktalar uygun çözümleri, yeşil renkli noktalar ise pareto optimal çözümleri göstermektedir.



Şekil 6.58: Dizayn değişkeni 1 ile kriter 1 arasındaki ilişki.



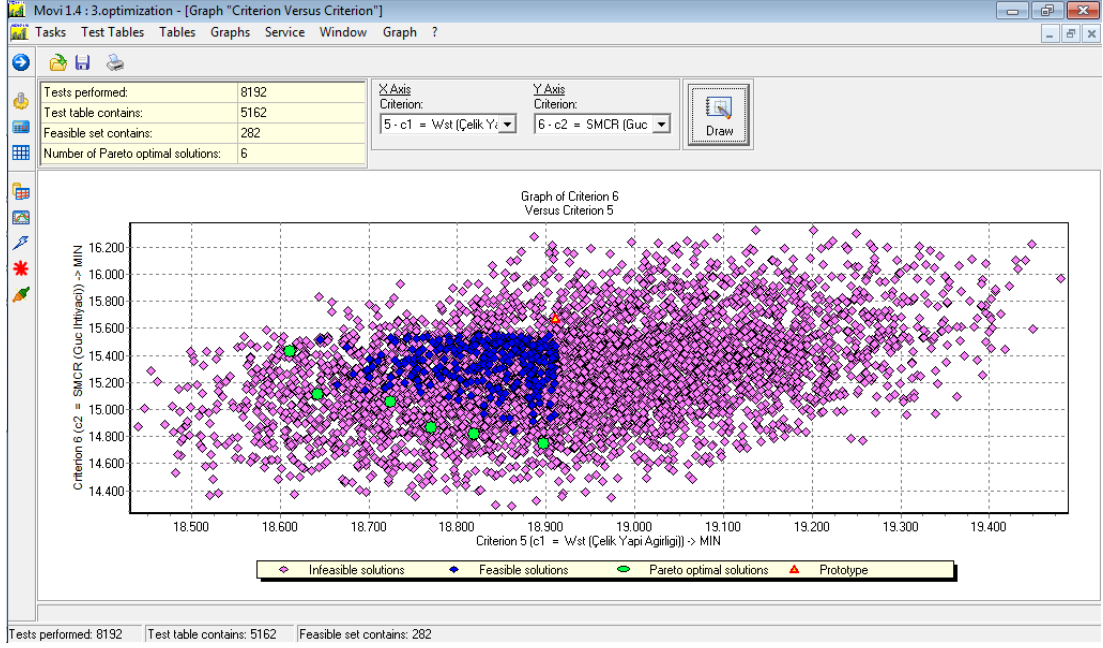
Şekil 6.59: Dizayn değişkeni 1 ile kriter 2 arasındaki ilişki.



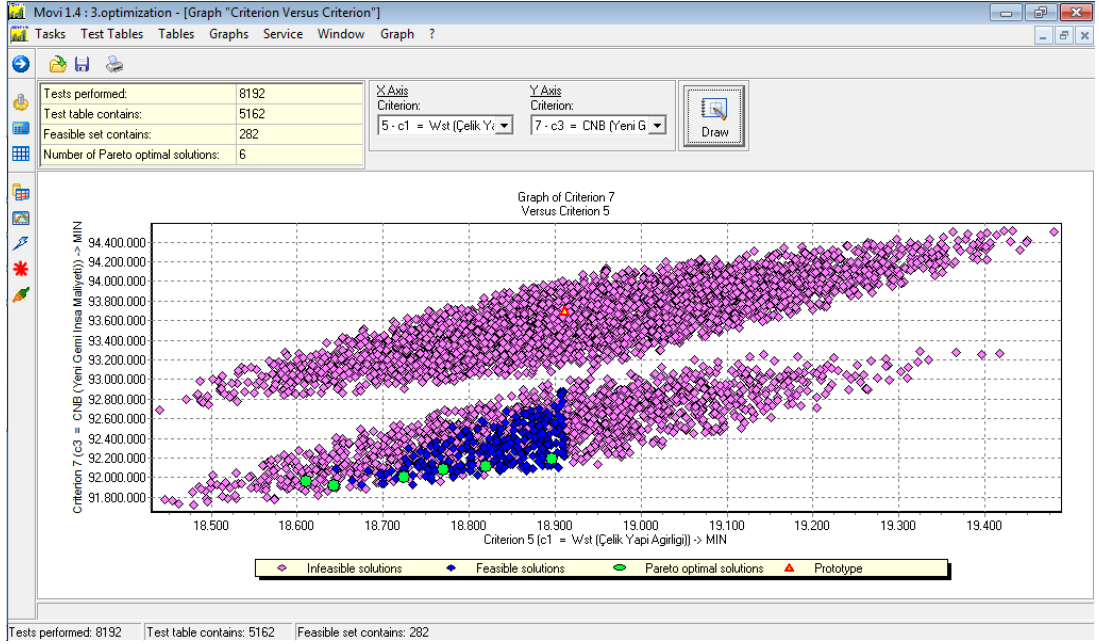
Şekil 6.60: Dizayn değişkeni 1 ile kriter 3 arasındaki ilişki.

Kriter - Kriter grafikleri (Criterion versus Criterion) kriterlerin diğer kriterlere olan bağılılığını gösterir. Bu grafikler Şekil 6.61-6.63'te gösterilmiştir.

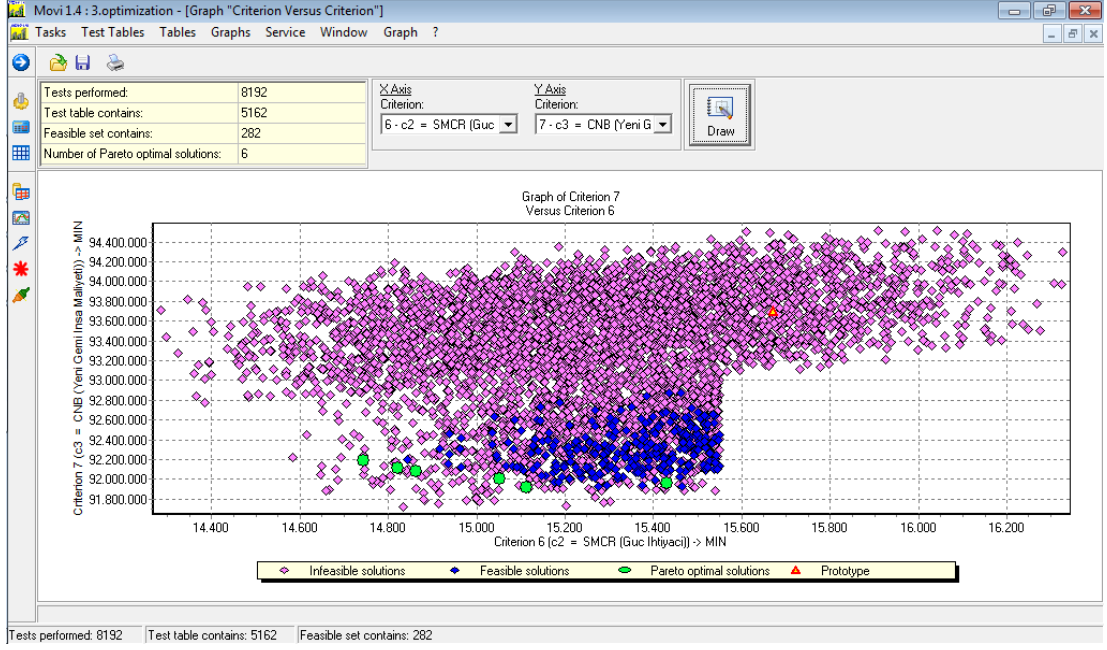
Bu grafiklerde de kırmızı daire ile işaretlenmiş nokta prototip değeri, magenta renkli noktalar uygun olmayan çözümleri, mavi noktalar uygun çözümleri, yeşil renkli noktalar ise pareto optimal çözümleri göstermektedir.



Şekil 6.61: Kriter 1 (çelik yapı ağırlığı) min ile kriter 2 (güç ihtiyacı) min grafiği.



Şekil 6.62: Kriter 1 (çelik yapı ağırlığı) min ile kriter 3 (yeni gemi inşa maliyeti) min grafiği.



Şekil 6.63: Kriter 2(güç ihtiyacı) min ile kriter 3(yeni gemi inşa maliyeti) min grafiği.

Üçüncü tur optimizasyon sonucunda elde edilen kriter değerlerinin uygun çözüm kümesi ve pareto optimal çözüm kümesi Şekil 6.64 ve Şekil 6.65'te gösterilmiştir.

Movi 1.4 : 3.optimization - [Table of Criteria]

Tasks Test Tables Tables Graphs Service Window ?

Criterion: Feasible set Show pseudocriteria

Tests performed: 8192 Feasible set contains: 282 Pareto optimal set contains: 6

Vector	1 - f6 = MCR1 - SMCR1	2 - f7 = DW / deadweight	3 - f8 = Vcar (Kargo Hac)	4 - f9 = Vtr (Gemi Hiz)	5 - c1 = Wst (Çelik Yapi)	6 - c2 = SMCR (Guc Ihtiy)	7 - c3 = CNB (Yeni Gemi)
Min:	5,80882674425084E-01	1,66939181169113E+05	1,85003662109375E+05	1,52701000976563E+01	1,86108878230573E+04	1,47437371607438E+04	9,19171244110355E+07
Max:	8,06262839256211E+02	1,71601061248316E+05	1,90660156250000E+05	1,53990942382813E+01	1,89101695188689E+04	1,56494191173256E+04	9,28727854296780E+07
0	2,98930959723787E+03	1,66933131067280E+05	1,85000000000000E+05	1,52700000000000E+01	1,89112086548331E+04	1,56706904027621E+04	9,36960747402973E+07
57	4,97926150938682E+02	1,67178378916490E+05	1,85093750000000E+05	1,52894375000000E+01	1,87242274081788E+04	1,50520738490613E+04	9,20054453081582E+07
83	5,88318026347564E+02	1,67803953480875E+05	1,86546875000000E+05	1,52917187500000E+01	1,89099032859020E+04	1,49616819736524E+04	9,23048090233495E+07
132	3,26967116647174E+01	1,66939181169113E+05	1,86054687500000E+05	1,53261718750000E+01	1,86454196739402E+04	1,55173032883353E+04	9,20870283146863E+07
140	2,1893779593701E+02	1,67612561405247E+05	1,85679687500000E+05	1,53174218750000E+01	1,87340480424386E+04	1,53310622040630E+04	9,20280302509792E+07
186	9,80354098292992E+00	1,68954024316660E+05	1,86710337500000E+05	1,52846093750000E+01	1,88516951172508E+04	1,55401964590171E+04	9,24116246823182E+07
207	8,06262839256211E+02	1,67696279819509E+05	1,85914062500000E+05	1,52747656250000E+01	1,88969940668431E+04	1,47437371607438E+04	9,21915289103390E+07
220	4,45889319710434E+01	1,69394131634421E+05	1,88726562500000E+05	1,52703906250000E+01	1,88758496173737E+04	1,55054410680290E+04	9,26155519902079E+07
243	3,75924579172050E+02	1,68412498102731E+05	1,85070312500000E+05	1,53382031250000E+01	1,88362422830647E+04	1,51740754208280E+04	9,20715785614076E+07
274	1,83500011972232E+02	1,70178607069114E+05	1,87261718750000E+05	1,52821484375000E+01	1,88839161752791E+04	1,5366499980278E+04	9,2341689873869E+07
276	1,30460284360510E+02	1,67353143762123E+05	1,88011718750000E+05	1,53696484375000E+01	1,87973300224976E+04	1,54193397156395E+04	9,23160570728589E+07
347	1,81224548712356E+02	1,67523495722706E+05	1,85996093750000E+05	1,53357421875000E+01	1,88517607737980E+04	1,53687754512876E+04	9,23410639489696E+07
359	2,58205605625648E+02	1,68380802614868E+05	1,85339843750000E+05	1,52766796875000E+01	1,88431710217203E+04	1,52917943943744E+04	9,22979653204467E+07
376	3,10615205391496E+01	1,68109081615527E+05	1,85902343750000E+05	1,52810546875000E+01	1,87296199158766E+04	1,55189394794609E+04	9,21603289056545E+07
417	1,60798594926937E+02	1,67312369352725E+05	1,88597656250000E+05	1,53417578125000E+01	1,88551372071377E+04	1,53892014050731E+04	9,25761688371131E+07
436	3,00862589864282E+01	1,68689406328296E+05	1,89535156250000E+05	1,53286328125000E+01	1,88810680216298E+04	1,55199137410136E+04	9,26374936834835E+07
444	8,78422213941703E+01	1,66976089122353E+05	1,90660156250000E+05	1,53198828125000E+01	1,89062392971767E+04	1,54621577786058E+04	9,28698097680570E+07
474	1,15422522880217E+01	1,68689762162845E+05	1,85925781250000E+05	1,53095640625000E+01	1,87661445072898E+04	1,55384577477120E+04	9,22063763487782E+07
526	1,73043100864152E+02	1,68004861688719E+05	1,87572265625000E+05	1,52779101562500E+01	1,88344950786818E+04	1,53769568991358E+04	9,24847519106840E+07
559	1,67363377883732E+02	1,69270223301332E+05	1,85791015625000E+05	1,53019726562500E+01	1,89100692413639E+04	1,53826366221163E+04	9,23854216395236E+07

Tests performed: 8192 Test table contains: 5162 Feasible set contains: 282

Şekil 6.64: 3. Opt. sonucu oluşan uygun çözüm kümesi

Movi 1.4 : 3.optimization - [Table of Criteria]

Tasks Test Tables Tables Graphs Service Window ?

Criterion: Pareto optimal set Show pseudocriteria

Tests performed: 8192 Feasible set contains: 282 Pareto optimal set contains: 6

Vector	1 - f6 = MCR1 - SMCR1	2 - f7 = DW / deadweight	3 - f8 = Vcar (Kargo Hac)	4 - f9 = Vtr (Gemi Hiz)	5 - c1 = Wst (Çelik Yapi)	6 - c2 = SMCR (Guc Ihtiy)	7 - c3 = CNB (Yeni Gemi)
Min:	1,19429035489567E+02	1,66960617225460E+05	1,85026367187500E+05	1,52738256835937E+01	1,86108878230573E+04	1,47437371607438E+04	9,19171244110355E+07
Max:	8,06262839256211E+02	1,67696279819509E+05	1,85914062500000E+05	1,52894375000000E+01	1,88969940668431E+04	1,54305709645104E+04	9,21915289103390E+07
0	2,98930959723787E+03	1,66933131067280E+05	1,85000000000000E+05	1,52700000000000E+01	1,89112086548331E+04	1,56706904027621E+04	9,36960747402973E+07
57	4,97926150938682E+02	1,67178378916490E+05	1,85093750000000E+05	1,52894375000000E+01	1,87242274081788E+04	1,50520738490613E+04	9,20054453081582E+07
207	8,06262839256211E+02	1,67696279819509E+05	1,85914062500000E+05	1,52747656250000E+01	1,88969940668431E+04	1,47437371607438E+04	9,21915289103390E+07
1935	7,28881293662307E+02	1,67528841008212E+05	1,85988871875000E+05	1,52870019531250E+01	1,88194818934796E+04	1,48211187063377E+04	9,21150276573663E+07
1944	1,19429035489567E+02	1,67370242923994E+05	1,85026367187500E+05	1,52738769531250E+01	1,86108878230573E+04	1,54305709645104E+04	9,19567701249416E+07
3240	4,37172162653233E+02	1,66960617225460E+05	1,85810058937500E+05	1,52868894140625E+01	1,86426451017024E+04	1,51128279373468E+04	9,19171244110355E+07
4307	6,87037330852629E+02	1,67233339296259E+05	1,85951513671875E+05	1,52738256835937E+01	1,87701770173170E+04	1,48629626683474E+04	9,20829465745172E+07

Şekil 6.65: 3. Opt. sonucu oluşan pareto optimal çözüm kümesi

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Prototipin geliştirilmeye çalışıldığı çok kriterli optimizasyon problemlerinde uygun çözümün bulunması büyük önem taşır. Bu çalışmada Parametre Uzayı Araştırma yöntemi kullanılarak Capesize tipi dökme yük gemisi prototipinin geliştirilmesi sağlanmış ve bu dökme yük gemisinin dizayn optimizasyon modeli ile uygun çözüm kümesi oluşturulmuştur.

(Cudina, 2008, 2010; Zanic ve Cudina, 2009) tarafından oluşturulan model MATLAB ortamında geliştirilerek MOVI'de tekrar çözülmüştür. MOVI ile uygun çözüm kümesi ve pareto optimal çözüm kümesi bulunarak Zanic ve Cudina (2009)'nın sonuçlarından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Prototip değerler, Zanic ve Cudina (2009)'nın optimizasyon sonucunda bulunduğu değerler ve üçüncü tur optimizasyon sonucu bulunan pareto optimal değerler Tablo 7.1 ve 7.2'de gösterilmiştir.

Zanic ve Cudina'nın (2009)'da belirttiği gibi modelde kullanılan parametrelerin MATLAB çözümü izleyen sıradadır:

[c1,c2,c3,f1,f2,f3,f4,f5,f6,f7,f8,f9]= ship(274 , 44.4 ,17.85 ,0.865 ,189670 ,15.03, 2)

p1	- Dikmeler Arası Boy	Lpp (m)	= 274.0
p2	- Genişlik	B (m)	= 44.4
p3	- Draft	ds (m)	= 17.85
p4	- Blok Katsayısı	CB (-)	= 0.865
p5	- Kargo Hacmi	Vcar (m3)	= 189670
p6	- Gemi Hızı	vtr (knots)	= 15.03
p7	- Makine Veritabanı Numarası	Ime i (-)	= 2 (MAN B&W

5S70MC-C, mark 7)

Tablo 7.1: Cudina'nın sonucu ve bulunan pareto optimal sonuçlar (kriterler).

Vektör	c1 = Wst ton (Çelik Yapı Ağırlığı) MIN	c2 = SMCR kW Güç İhtiyacı) MIN	c3 = CNB US \$ (Yeni Gemi İnşa Maliyeti) MIN
Min:	18.600	14.700	91.900.000
Max:	18.900	15.400	92.200.000
0	18.900	15.700	93.700.000
57	18.700	15.100	92.000.000
207	18.900	14.700	92.200.000
1935	18.800	14.800	92.100.000
1944	18.600	15.400	92.000.000
3240	18.600	15.100	91.900.000
4307	18.800	14.900	92.100.000
CUDINA	19.000	15.300	93.000.000

Bu sonuçlar için dizayn değişkenlerinin değerleri Tablo 7.2'de belirtilmiştir.

Tablo 7.2: Dizayn değişkenlerinin değerleri.

	p1 (L_{pp})	p2 (B)	p3 (d_s)	p4 (C_B)	p5=f8 (V_{car})	p6=f9 (V_{tr})	p7= $I_{me i}$
Min:	274	43,1	17,8	0,850	185.000	15,27	2
Max:	280	44,2	17,9	0,857	186.000	15,28	2
0	279	43	17,5	0,875	185.000	15,27	1
57	277	43,4	17,9	0,854	185.000	15,28	2
207	280	43,5	17,8	0,850	186.000	15,27	2
1935	280	43,1	17,9	0,852	186.000	15,28	2
1944	274	43,8	17,9	0,857	185.000	15,27	2
3240	274	44,2	17,9	0,850	186.000	15,28	2
4307	279	43,2	17,9	0,853	186.000	15,27	2
CUDINA	274	44,4	17,9	0,865	190.000	15,03	2

Minimize edilen $c1 = W_{st}$ ton (Çelik Yapı Ağırlığı) kriteri için prototip değer 18900 ton, Cudina'nın optimizasyon sonucunda elde ettiği değer 19000 ton'dur. MOVI ile yapılan üç tur optimizasyon sonucunda altı çözüm pareto optimal çözüm kümesine girmiştir. Bu altı çözümün $c1$ değerine bakıldığında bu değerler 18600 ve 18900 arasında değişmektedir. Bu altı çözümün tümü $c1$ (çelik yapı ağırlığı) için Cudina'nın değerinden daha iyidir. Ayrıca 57, 1935, 1944, 3240 ve 4307 vektörlerinin değerleri prototip değerler ile hesaplanan $c1$ değerinden daha iyidir.

Minimize edilen $c2 = SMCR$ kW (Güç İhtiyacı) kriteri için prototip değer 15700 kW, Cudina'nın optimizasyon sonucunda elde ettiği değer 15300 kW'tır. Altı pareto optimal çözümün $c2$ değerine bakıldığında bu değerler 14700 ve 15400 arasında değişmektedir. Bu altı çözümden beşi $c2$ (güç ihtiyacı) için Cudina'nın değerinden daha iyidir (57, 207, 1935, 3240 ve 4307 vektörlerinin değerleri). Altı çözümün tümünün $c2$ kriter değeri, prototip değerler ile hesaplanan $c2$ değerinden daha iyidir.

Minimize edilen $c_3 = \text{CNB US \$}$ (Yeni Gemi İnşa Maliyeti) kriteri için prototip değer 93.700.000 US \$, Cudina'nın optimizasyon sonucunda elde ettiği değer 93.000.000 US \$'dır. MOVI ile yapılan üç tur optimizasyon sonucunda altı çözüm pareto optimal çözüm kümesine girmiştir. Bu altı çözümün c_3 değerine bakıldığında bu değerler 91.900.000 ve 92.200.000 US \$ arasındadır. Bu altı çözümün tümü c_3 (yeni gemi inşa maliyeti) için Cudina'nın değerinden ve prototipten daha iyidir.

Bu kriter değerleri bulabilmek için giriş parametreleri olarak Tablo 7.2'deki dizayn değişkenleri değerleri alınmalıdır.

Analiz sonucunda bulunan kriter değerleri, prototip değerlerden ve Cudina'nın değerlerinden daha iyi çıkmıştır.

Çalışma sonucunda, Capesize dökme yük gemisi prototip dizaynı geliştirilmiştir.

Pareto optimal sonuçların analizinden sonra, kullanıcı kendisine uygun olan modeli seçebilir ya da optimizasyon sürecine devam edebilir.

8. KAYNAKLAR

Alkan, A.D. (2012). *Gemi Dizaynı Ders Notları*. Yıldız Teknik Üniversitesi.

Anıl, K.A. (2005). Multi-Criteria Analysis in Naval Ship Design. Master's Thesis, *Naval Postgraduate School*, Monterey, California.

Arslan, Ö. ve Gürel, O. (2008). Farklı Tip ve Boyutta Gemilerin Seçiminin Bulanık Mantık Yöntemiyle İncelenmesi. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 3(4), 55-60.

Barker, T.J. and Zabinsky, Z.B. (2011). A multicriteria decision making model for reverse logistics using analytical hierarchy process. *Omega*, 39, 558–573.

Baykal, R. (2011). *Gemiler ve Açık Deniz Yapıları*. İstanbul: Birsen Yayınevi.

Brinati, H.L., Augusto O.B. and De Conti, M.B. (2007). Learning Aspects of Procedures for Ship Conceptual Design Based on First Principles. *International Conference on Engineering Education – ICEE 2007*, Portekiz.

Brown, A. and Salcedo, J. (2003). Multiple-Objective Optimization in Naval Ship Design. *Naval Engineers Journal*, 115 (4), 49-61.

Campana, E.F., Liuzzi, G., Lucidi, S., Peri D., Piccialli, V. and Pinto A. (2009). New global optimization methods for ship design problems. *Optimization and Engineering*, 10, 533–555.

Choi, K. (2008). Recent Trend in Design Parameters of Ice-transiting Vessels. *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 18 (4), 282–287.

Chuang, T.N., Lin, C.T., Kung, J.Y. and Lin, M.D. (2010). Planning the route of container ships: A fuzzy genetic approach. *Expert Systems with Applications* 37, 2948–2956.

Cudina, P. (2010). Nova Metodologija Projektiranja Trgovackih Brodova (A New Design Methodology Merchant Ships). Phd Thesis, *Sveuciliste U Zagrebu (University Of Zagreb)*, Zagreb.

Cudina, P. (2008). Design Procedure and Mathematical Models in the Concept Design of Tankers and Bulk Carriers. *Brodogradnja (Shipbuilding)*, 59 (4), 323-339.

Çelik, F. (2012). *Gemi Dizaynı Ders Notları*, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Çevik, Ü. (2005). *Güverte ve Makine için Gemi İnşaatı*. İstanbul: Birsen Yayınevi.

Delta Marine Ltd. (2010). *The Future of Ship Design*. UK: MPI Group.

Demko, D. (2005). Tools for Multi-Objective and Multi-Disciplinary Optimization in Naval Ship Design, MSc Thesis, *Virginia Polytechnic Institute and State University*, Virginia.

Dictionary of Ship Hydrodynamics (2011). International Towing Tank Conference.

Diez, M. and Peri, D. (2010). Robust optimization for ship conceptual design. *Ocean Engineering*, 37, 966–977.

Eyres, D.J. (2007). *Ship Construction*. Vol6, Oxford: Butterworth-Heinemann.

Gökşin, F. (1985). *Gemi Dizaynında Optimizasyon Uygulamaları*. İstanbul: İ.T.Ü. Matbaası.

Japan Ship Exporters' Association. (2004). *Sea Japan*, (307), 1-6.

Kafalı, K. (1988). *Gemilerin Dizaynı*. İstanbul: İ.T.Ü. Matbaası.

Kafalı, K. (1982). *Gemi Formunun Statik ve Dinamik Esasları, Gemilerin Hidrodinamik Dizaynı*. cilt 3, İstanbul: İ.T.Ü. Matbaası.

Kafalı, K. (1971a). *Gemi Formunun Statik ve Dinamik Esasları, Gemi Geometrisi ve Stabilite*. cilt 1, İstanbul: İ.T.Ü. Matbaası.

Kafalı, K. (1971b). *Gemi Formunun Statik ve Dinamik Esasları, Gemi Direnci ve Sevki*. cilt 2, İstanbul: İ.T.Ü. Matbaası.

Mahendra, A.K., Kumar, S., Sanyal A., Gouthaman, G. and Bera, T.K. (2010) Design Optimization of Sludge Hygenization Research Irradiator. *International Journal of Emerging Multidisciplinary Fluid Sciences*, 2 (2), 59-73.

McGookin, E.W., Murray-Smith, D.J., Li, Y. and Fossen, T.I. (2000). Ship steering control system optimisation using genetic algorithms. *Control Engineering Practice*, 8, 429-443.

Mistree, F., Smith, W.F., Bras, B.A., Allen, J.K. and Muster, D. (1990). Decision-Based Design: A Contemporary Paradigm for Ship Design. *The Society of Naval Architects and Marine Engineers Annual Meeting October 31-November 3*, San Francisco, California.

Molland, A.F. (2005). *Ship Design and Economics*. Lecture Notes. School of Engineering Sciences, University of Southampton, UK.

Naval Ship Design Volume 2 (2006). *16th International Ship and Offshore Structures Congress Committee 20-25 August 2006*, Southampton, UK.

Nutku, A. (1958). *Gemi Dizayını*. İstanbul: Kutulmuş Matbaası.

Odabaşı Y., Helvacioğlu, Ş. ve Erol, N. (2010). Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Bölümü Ders Notları. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Osyczka A. (2002) *Evolutionary Algorithms for Single and Multicriteria Design Optimization*. New York: Physica Verlag.

Ölçer, A.İ. (2008). A hybrid approach for multi-objective combinatorial optimisation problems in ship design and shipping. *Computers & Operations Research*, 35, 2760 – 2775.

Özdemir, M. (2004) Amaç Esaslı Gemi Yapım Standartları (Goal Based Ship Construction Standards - GBS), *Gemi Mühendisliği ve Sanayimiz Sempozyumu 24-25 Aralık*.

Özyiğit, İ. (2006). Gemi İnşaatında Planlama ve Üretim Kademeleri. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul*.

Papanikolaou, A. (2010). Holistic ship design. *Computer-Aided Design*, 42, 1028-1044.

Ray, T., Gokarn, R.P. and Sha, O.P. (1995). A global optimization model for ship design. *Computers in Industry*, 26, 175-192.

Risager, C. and Perram, J.W. (1998). *Ship Design Optimization. Lecture Notes in Computer Science*, 476-482.

Rostamzadeh, R. and Sofian, S. (2011). Prioritizing effective 7Ms to improve production systems performance using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS (case study). *Expert Systems with Applications*, 38 (5) 5166–5177.

Sağ, T. (2008). Çok Kriterli Optimizasyon İçin Genetik Algoritma Yaklaşımları. Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Konya*.

Samur, B. (2010). Mathematical Modeling and Optimization of Vessel Route Selection and Refueling Decisions. Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul*.

Sarıöz, K. (1994). *Gemi İnşaatı Ders Notları (Gemi Ön Dizayını)*. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Sarker, R. (2002). *Evolutionary Optimization*. USA: Kluwer Academic Publishers.

Saylı, A., Alkan, A.D., Nabergoj, R. and Uysal, A.Ö. (2007). Seakeeping assessment of fishing vessels in conceptual design stage, *Ocean Engineering*, 34 (5), 724-738.

Schneekluth, H. and Bertram, V. (1998). *Ship Design for Efficiency and Economy*. vol 2, Oxford: Butterworth-Heinemann.

Shenoi, R. A. and Dodkins, A. R. (2000). Design of Ships and Marine Structures made from FRP Composite Materials. (eds: Kelly. A. and Zweben, C.) *Comprehensive Composite Materials*, vol. 6, Oxford UK: Elsevier Science Ltd.

Shin, Y. ve Han S. (1998). Data enhancement for sharing of ship design models. *Computer-Aided Design*, 30, (12), 931–941.

Statnikov, R., Anıl, K.A., Bordetsky, A. and Statnikov, A. (2008). Visualization Approaches for the Prototype Improvement Problem. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 15, 45–61, Published online in Wiley InterScience. doi: 10.1002/mcda.424.

Statnikov, R., Anıl, K.A., Bordetsky, A. and Statnikov, A. (2007). Visualization Tools for Multicriteria Analysis of the Prototype Improvement Problem. *Proceedings of the 2007 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Multicriteria Decision Making*.

Tahara, Y., Tohyama, S. and Katsui, T. (2006). CFD-based multi-objective optimization method for ship design, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 52, 499–527.

Tanı, Ç. (2009). Optimal External Configuration Design Of Missiles. MSc Thesis, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi*, Ankara.

T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü. (2012). Deniz Ticareti 2012 İstatistikleri, Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü Yayınları, Rapor No:DTGM/05.

T.C. Ekonomi Bakanlığı. (2012). Gemi İnşa Sektörü. Sektör Raporları.

The Unctad Secretariat. (2010). *Review of Maritime Transport 2010*. United Nations, New York and Geneva, 8.

Thomas, G. and Johnson, B. (1982). *Introduction to Naval Architecture*. United States Naval Institute. Annapolis, Maryland: Naval Institute Press.

Türkmen, B.S. and Turan, O. (2007). A new integrated multi-objective optimisation algorithm and its application to ship design. *SAOS*, 2 (1), 21–37.

Vaidya, O.S. and Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169 (1), 1–29.

Virginia Tech Team ATLAS (2005). *Advanced Tactics Littoral Alternative Submarine Ocean Engineering Design Project*. AOE 4065/4066, Virginia Tech Üniversitesi.

Watson, D. G. M. (1998). *Practical Ship Design*. Oxford, UK: Elsevier Science.

Yaakob, O., Teoh, E.L., Liew, Y.W. and Koh, K.K. (2005). Design of Malaysian Fishing Vessel for Minimum Resistance. *Jurnal Teknologi*, 42, 1–12.

Yıldız, A. (2008). Türkiye’de Tersanelerin Tarihi ve Gemi İnşa Sanayisinin Gelişimi. *Mühendis ve Makine*, 49 (578), 23-47.

Zanic, V. and Cudina, P. (2009). Multiattribute Decision Making Methodology in the Concept Design of Tankers and Bulk Carriers. *Brodogradnja (Shipbuilding)*, 60,(1), 19-43.