



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**TERSANELERDE GEMİ ÜRETİM YÖNETİMİ MODELİ:
MARMARA BÖLGESİNDE BİR UYGULAMA**

Ercan AKAN

Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Güler ALKAN**

Haziran, 2017

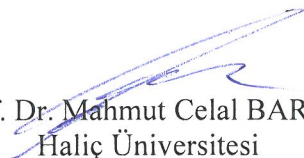
İSTANBUL

Bu çalışma 15.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliğı Anabilim Dalı, Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliğı Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

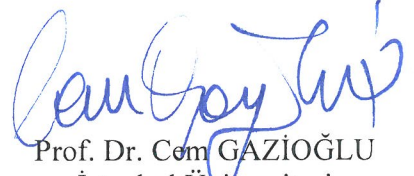
Tez Jürisi



Prof. Dr. Güler ALKAN (Danışman)
İskenderun Teknik Üniversitesi
Barbaros Hayrettin Gemi İnşaatı
ve Denizcilik Fakültesi



Prof. Dr. Mahmut Celal BARLA
Haliç Üniversitesi
İşletme Fakültesi



Prof. Dr. Cem GAZIOĞLU
İstanbul Üniversitesi
Deniz Bilimleri ve İşletmeciliğı
Enstitüsü



Doç. Dr. Serkan EKİNCİ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi



Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi



20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Lisans, yüksek lisans ve doktora öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Güler ALKAN'a, en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca, yardım ve katkı sunan Doç. Dr. Serkan EKİNCİ'ye, Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ'ye, Prof. Dr. Mahmut Celal BARLA'ya, Yrd. Doç. Dr. Sibel BAYAR'a, Yrd. Doç. Dr. Fahrettin ELDEMİR'e, Uğur SATIÇ'a, ayrıca yardımlarını esirgemeyen aileme, arkadaşlarıma ve İstanbul Üniversitesi'ne teşekkürü borç bilirim.

Haziran 2017

Ercan AKAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	xii
TABLO LİSTESİ.....	xviii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiv
1. GİRİŞ	1
1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI	3
1.2. ÇALIŞMANIN PLANI.....	6
1.3. ÖZGÜN KATKILAR	8
2. GENEL KISIMLAR.....	9
2.1. ÜRETİM VE GENEL KAVRAMLAR	9
2.1.1. Üretim ve Üretim Yönetimi.....	9
2.1.1.1. Üretim Yönetiminin Kapsamı, Amaç ve Gereklilikleri	10
2.1.1.2. Üretim Planlama ve Kontrol	10
2.1.1.3. Üretim Planlama Faaliyetlerinin Dönemsel Bazda Sınıflandırılması.....	11
2.1.2. Malzeme İhtiyaç Planlaması.....	12
2.1.3. Üretim Kaynak Planlaması.....	12
2.1.4. Kurumsal Kaynak Planlaması	12
2.1.4.1. Tersanelerde Kurumsal Kaynak Planlaması	13
2.1.5. Proje Yönetimi.....	14
2.1.5.1. Proje Kavramı	14
2.1.5.2. Tersanelerde Proje Yönetimi ve Organizasyonel Yapı	15
2.1.6. Kapasite Planlaması.....	16
2.1.6.1. Kapasite Planlama Süreci	17
2.1.7. İş Yükleme (İş Atama)	18
2.2. LİTERATÜR TARAMASI.....	19
2.2.1. Gemi İnşa Üretim Planlaması İçin Yapılan Çalışmalar	19
2.2.2. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (KKPÇP) ile İlgili Çalışmalar	23

2.2.3. Genetik Algoritma Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi ile İlgili Çalışmalar	25
2.2.4. Bulanık Mantık ile ilgili Yapılan Çalışmalar	30
2.3. GEMİ İNŞA SANAYİSİ.....	33
2.3.1. Dünya Gemi İnşaatı Durumu.....	38
2.3.1.1. 2006-2015 Dönemi Yıllık Gemi Adetleri Değerlendirilmesi	41
2.3.1.2. 2006-2015 Dönemi Yıllık Toplam Tonaj Değerlendirilmesi	42
2.3.1.3. 2006-2015 Dönemi Birim Tonaj Değerlendirilmesi.....	44
2.3.1.4. 2006-2015 Dönemi Adet Bazında Gemi Tipleri Üretimi Değerlendirilmesi	45
2.3.1.5. 2006-2015 Dönemi Tonaj Bazında Gemi Tipleri Üretimi Değerlendirilmesi	46
2.3.2. Gemi İnşa Sanayisinde Aşırı Üretim.....	46
2.3.3. Dünya Gemi İnşa Sanayisinde Mukayeseli Üstünlükler Analizi	50
2.3.4. Gemi İnşa Sanayi İhracatı ve İthalatı	53
2.3.5. Gemi İnşa Sanayisinde Devlet Teşvikleri ve Politikaları.....	55
2.3.5.1. Çin Gemi İnşa Sanayisinde Devlet Teşvikleri ve Politikaları	55
2.3.5.2. Türkiye Gemi İnşa Sanayisinde Devlet Teşvikleri ve Politikaları	56
2.3.6. Gemi İnşa Sanayisinde İşgücü Maliyetleri.....	57
2.3.7. Türkiye'deki Tersanelere Dair Bilgiler	58
2.3.7.1. Türkiye'deki Tersanelerde Kapasite Kullanımı.....	58
2.3.7.2. Türkiye Gemi İnşa Sanayisinde İstihdam	59
2.3.7.3. Türkiye'deki Tersanelerde Verimlilik	60
2.3.7.4. Türkiye'deki Gemi İnşa Sanayisinde İş Sağlığı ve Güvenliği.....	63
2.3.7.5. Türkiye Gemi İnşa Sanayi GZFT (SWOT) Analizi	63
2.4. TERSANELERDE ÜRETİM.....	65
2.4.1. Tersanelerde Üretim ve Planlama	65
2.4.2. Tersanelerde Malzeme İhtiyaç Planlaması	70
2.4.3. Dördüncü ve Sonrası Nesil Tersaneler	71
2.4.4. Türkiye'deki Tersanelerde Üretim Planlama	74
2.4.5. Tersanelerdeki Gemi İnşaat Süreci ve Üretim Kademeleri.....	77
2.4.5.1. Ön Dizayn ve Dizayn	79
2.4.5.2. Malzeme, Teçhizat, Ekipman Siparişi ve Stoklanması.....	81
2.4.5.3. Sac ve Profillerin Kullanıma Hazır Hale Getirilmesi (Shop-Primer Boyama İşlemi)	81
2.4.5.4. CNC Sac Kesim İşlemleri ve Malzemelerin Oluşturulması (Nesting)	81

2.4.5.5. Kesilmiş, Taşlanmış Malzemelerin ve Fire Sacların Stoklanması.....	82
2.4.5.6. Sac ve Profil Bükme İşlemleri.....	82
2.4.5.7. Profil Hazırlama İşlemleri.....	82
2.4.5.8. Küçük Grupların Oluşturulması ve Ön İmalatı	82
2.4.5.9. Panel İmalatı (Elemanlı Panel İmalatı ve Gruplu Panel İmalatı).....	82
2.4.5.10. Üretim Sürecinde Blok İmalatı	83
2.4.5.11. Çelik Tekne Montajı, Raspa ve Boya İşlemleri.....	83
2.4.5.12. Geminin Denize İndirilmesi	83
2.4.5.13. Donatı Rıhtımında Makine ve Boru Donatımı	83
2.4.5.14. Test ve Kontroller	84
2.4.5.15. Liman ve Seyir Tecrübeleri, Eksiklerin Giderilmesi.....	84
2.4.5.16. Belge ve Evrakların Tamamlanması.....	84
2.4.5.17. Geminin Teslimatı.....	84
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	85
3.1. BULANIK SÜRE ORTAMINDA GENETİK ALGORİTMA İLE KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİ ÇÖZÜM METODU	86
3.1.1. Problemin Tanımı ve Amacı	86
3.1.2. Proje Varsayımları.....	87
3.1.3. Tersanenin Kapasite Kısıtına Göre Değerlendirilmesi.....	90
3.1.4. Uygulamada Projeler ve Projelerin Başlatılması Senaryolar	91
3.1.5. Uygulamada Proje Çözümünde Dikkate Alınan Senaryolar	91
3.1.6. Çözüm Metodu	93
3.2. KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİ.....	96
3.2.1. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi Tanımı	96
3.2.2. Kaynakların Sınıflandırılması	97
3.2.3. Faaliyet Kaynak İlişkisi	98
3.2.4. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Modelleri	98
3.2.4.1. Tek Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi Modeli	98
3.2.4.2. Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi Modeli.....	100
3.2.4.3. Çok Projeli Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi Modeli	101
3.2.5. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemlerinde Kullanılan Yöntemler	103
3.2.5.1. Kesin Çözüm Veren Yöntemler	104
3.2.5.2. Sezgisel Yöntemler	104
3.2.5.3. Meta Sezgisel Yöntemler	105

3.2.5.4. Stokastik Yöntemler	105
3.2.6. Meta Sezgisel Algoritma Sonuçlarının Gösterilmesi	106
3.2.7. Çizelge Oluşturma Şemaları.....	107
3.2.7.1. Seri Çizelgeleme (Seri SGS)	107
3.2.7.2. Paralel Çizelgeleme (Paralel SGS)	107
3.2.8. Üyelik Fonksiyonları Bilinen Yamuk Bulanık Sayılar için Centroid Yöntemi	108
3.3. GENETİK ALGORİTMALAR	113
3.3.1. Genetik Algoritmaların Özellikleri.....	113
3.3.2. Genetik Algoritmada Kavramlar	115
3.3.3. Genetik Algoritmaların Çalışma İlkeleri	116
3.3.4. Kromozom Kodlama Yöntemleri	118
3.3.4.1. İkili Kodlama	118
3.3.4.2. On Tabanlı Kodlama	119
3.3.4.3. Permütasyon Kodlama.....	119
3.3.4.4. Ağaç Kodlama	119
3.3.4.5. Değer Kodlama.....	120
3.3.5. Seçim Yöntemleri (Selection)	120
3.3.5.1. Rulet Tekniği Seçimi (Roulette Wheel Selection).....	120
3.3.5.2. Sıralama Seçim Yöntemi (Rank Selection)	121
3.3.5.3. Turnuva Seçimi (Tournament Selection)	121
3.3.5.4. Elitizm.....	121
3.3.5.5. Sabit Durum Seçimi	122
3.3.6. Genetik Algoritma Parametreleri	122
3.3.6.1. Çaprazlama.....	122
3.3.6.2. Mutasyon.....	124
3.3.6.3. Seçim.....	124
3.3.7. Uygulamada Genetik Algoritma Varsayımları.....	124
3.3.7.1. Başlangıç Popülasyonu Oluşturulması.....	125
3.3.7.2. Kromozom Yapısının Oluşturulması.....	125
3.3.7.3. İlk Popülasyonun Oluşturulması	125
3.3.7.4. Uygunluk Fonksiyonu	126
3.3.7.5. Çaprazlama Operasyonu	126
3.3.7.6. Mutasyon Operasyonu	126
3.3.7.7. Seçim Operasyonu	126

3.3.7.8. Algoritmanın Sonlandırılması	127
3.3.8. Uygulamada Kullanılacak Yazılım	127
4. BULGULAR.....	132
4.1. BULANIK NORMAL SÜRELİ GENETİK ALGORİTMA İLE KKPÇP ÇÖZÜMÜ.....	132
4.1.1. Kapasite 1'e Göre Çözüm	133
4.1.2. Kapasite 2'e Göre Çözüm	134
4.1.3. Kapasite 3'e Göre Çözüm	135
4.1.4. Kapasite 4'e Göre Çözüm	136
4.2. BULANIK HIZLANDIRILMIŞ SÜRELİ GENETİK ALGORİTMA İLE KKPÇP ÇÖZÜMÜ (İŞ İSTASYONLARINDA).....	137
4.2.1. Kapasite 1'e Göre Çözüm	138
4.2.2. Kapasite 2'e Göre Çözüm	139
4.2.3. Kapasite 3'e Göre Çözüm	140
4.2.4. Kapasite 4'e Göre Çözüm	141
4.3. BULANIK HIZLANDIRILMIŞ SÜRELİ GENETİK ALGORİTMA İLE KKPÇP ÇÖZÜMÜ (KRİTİK FAALİYETLERDE)	142
4.3.1. Grup 1 Kritik Faaliyetlere Göre Çözüm	144
4.3.1.1. Kapasite 1'e Göre Çözüm.....	144
4.3.1.2. Kapasite 2'e Göre Çözüm.....	146
4.3.1.3. Kapasite 3'e Göre Çözüm.....	148
4.3.1.4. Kapasite 4'e Göre Çözüm.....	150
4.3.2. Grup 2 Kritik Faaliyetlere Göre Çözüm	152
4.3.2.1. Kapasite 1'e Göre Çözüm.....	152
4.3.2.2. Kapasite 2'e Göre Çözüm.....	154
4.3.2.3. Kapasite 3'e Göre Çözüm.....	156
4.3.2.4. Kapasite 4'e Göre Çözüm.....	158
4.3.3. Grup 3 Kritik Faaliyetlere Göre Çözüm	160
4.3.3.1. Kapasite 1'e Göre Çözüm.....	161
4.3.3.2. Kapasite 2'e Göre Çözüm.....	163
4.3.3.3. Kapasite 3'e Göre Çözüm.....	165
4.3.3.4. Kapasite 4'e Göre Çözüm.....	167
4.4. KKPÇP ÇÖZÜM SÜRELERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRMESİ.....	169
4.5. KKPÇP ÇÖZÜMÜNDE TERSANENİN OPTİMUM KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ	172
4.6. KKPÇP AÇISINDAN DEĞERLENDİRMESİ	175

4.7. GENETİK ALGORİTMA AÇISINDAN DEĞERLENDİRMESİ.....	178
4.8. BULANIK SÜRELER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	180
4.9. KAYNAK ARTIRIMI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	180
4.10. PSPLIB AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	182
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	184
KAYNAKLAR.....	189
EKLER.....	204
EK 1. A-gemi için blok inşa planı.	204
EK 2. B-gemi için blok inşa planı.	205
EK 3. Tersane uygulamasında tersane planı ve tersane üretim iş istasyonları şeması.	206
EK 4. A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, öncüller ve işgücü değerleri.....	207
EK 4 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, öncüller ve işgücü değerleri.	208
EK 4 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, öncüller ve işgücü değerleri.	209
EK 4 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, öncüller ve işgücü değerleri.	210
EK 4 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, öncüller ve işgücü değerleri.	211
EK 4 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, öncüller ve işgücü değerleri.	212
EK 4 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, öncüller ve işgücü değerleri.	213
EK 5. A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, bulanık süreler ve durulaştırma.	214
EK 5 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, bulanık süreler ve durulaştırma.	215
EK 5 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, bulanık süreler ve durulaştırma.	216
EK 5 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, bulanık süreler ve durulaştırma.	217
EK 5 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, bulanık süreler ve durulaştırma.	218
EK 5 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, bulanık süreler ve durulaştırma.	219
EK 5 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, bulanık süreler ve durulaştırma.	220
EK 5 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, bulanık süreler ve durulaştırma.	221

ÖZGEÇMİŞ	222
----------------	-----



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Tezin çalışma şeması.	7
Şekil 2.1: Tersanede kurumsal kaynak planlama sistemi.....	13
Şekil 2.2: Proje yönetim alanları.	15
Şekil 2.3: Geleneksel ana organizasyon yapısı	16
Şekil 2.4: Kapasite planlamanın diğer fonksiyonlarla ilişkisi.....	18
Şekil 2.5: 1980-2015 yılları arası Dünya GSYİH ve büyüme (USD) değerleri.....	34
Şekil 2.6: 1986-2015 yılları arası dünya deniz ticareti ve taşınan yük.	35
Şekil 2.7: 2010-2035 yılları arası deniz ticareti projeksiyonu.	36
Şekil 2.8: Gemi inşa endüstrisinin dinamikleri	37
Şekil 2.9: Ülkelerin 1902-2015 yılları arasında teslim ettikleri toplam gemi tonaj oranları.....	39
Şekil 2.10: 2006-2015 yıllarındaki Dünya gemi inşa sanayi ülke bazında yıllık toplam gemi üretim adetleri pazar payları	42
Şekil 2.11: 2006-2015 yılları arasındaki Dünya gemi inşa sanayi ülke ve ülke grubu bazında yıllık toplam gemi tonajları.	43
Şekil 2.12: 2006-2015 yılları arasındaki dünya gemi inşa sanayi ülke ve ülke grubu bazında yıllık toplam gemi tonaj oranları.....	44
Şekil 2.13: 2006-2015 yılları arasında Dünya gemi inşa sanayi ülkeler ve ülke grupları bazında gemi başı birim tonaj değerleri.	45
Şekil 2.14: Deniz ticareti talebi ve gemi filosu arzı arasındaki ilişkisi.....	48
Şekil 2.15: Dünya gemi inşa sanayinde mukayeseli üstünlükler analizi	51
Şekil 2.16: Gemi inşa sanayisinde ülkelerin 2000 ve 20015 yılı ortalama ücretler.....	57
Şekil 2.17: 2000-2015 dönemi kişi başına milli gelirleri.....	58
Şekil 2.18: Türk Gemi inşa sanayi 2000-2015 yılları arası toplam doğrudan istihdam değerleri.	60
Şekil 2.19: 2007-2013 yılına ait lider ülkelerin GT/Adam bazında verimlilik değerleri.....	62

Şekil 2.20: 2007-2013 yılına ait lider ülkelerin USD/Adam bazında verimlilik değerleri.....	62
Şekil 2.21: Gemi inşa üretim standart yönetim sistemi	66
Şekil 2.22: Tersanede malzeme ihtiyaç planlaması	71
Şekil 2.23: Tersanede üretim otomasyonu	73
Şekil 2.24: Tersanede üretim otomasyonu	74
Şekil 2.25: Gemi inşa prosesleri ve işlemler.	78
Şekil 2.26: Gemi inşasında üretim kademeleri.	79
Şekil 2.27: Gemi dizayn spirali.....	80
Şekil 3.1: Çözüm metodu.....	96
Şekil 3.2: Yamuk üyelik işlevi.	110
Şekil 3.3: Bulanık yamuk centroid hesaplanması.	111
Şekil 3.4: Gen, Kromozom ve Popülasyon ilişkisi.	115
Şekil 3.5: Genetik Algoritma şeması.	117
Şekil 3.6: İkili kodlama.....	119
Şekil 3.7: Permütasyon kodlama.....	119
Şekil 3.8: Ağaç kodlama.	120
Şekil 3.9: Değer kodlama.....	120
Şekil 3.10: Elitist seçim.	122
Şekil 3.11: Sıralı çaprazlama.	123
Şekil 3.12: Çok noktalı çaprazlama.	123
Şekil 3.13: Mutasyon operasyonu.	124
Şekil 3.14: Program arayüz.	127
Şekil 3.15: Program veri girişi.	128
Şekil 3.16: Program veri yükleme.....	129
Şekil 3.17: Program parametre girişi.	129
Şekil 3.18: Program çözüm çıktısı.	130

Şekil 4.1: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (normal süre).	134
Şekil 4.2: Kapasite 1 kısıtı için GA kaynak grafiği (normal süre).	134
Şekil 4.3: Kapasite 2 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (normal süre).	135
Şekil 4.4: Kapasite 2 kısıtı için GA kaynak grafiği (normal süre).	135
Şekil 4.5: Kapasite 3 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (normal süre).	136
Şekil 4.6: Kapasite 3 kısıtı için GA kaynak grafiği (normal süre).	136
Şekil 4.7: Kapasite 4 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (normal süre).	136
Şekil 4.8: Kapasite 4 kısıtı için GA kaynak grafiği (normal süre).	137
Şekil 4.9: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (iş istasyonlarında kaynak yükleme).	139
Şekil 4.10: Kapasite 1 kısıtı için GA kaynak grafiği (iş istasyonlarında kaynak yükleme).	139
Şekil 4.11: Kapasite 2 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (iş istasyonlarında kaynak yükleme).	139
Şekil 4.12: Kapasite 2 kısıtı için GA kaynak grafiği (iş istasyonlarında kaynak yükleme).	140
Şekil 4.13: Kapasite 3 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (iş istasyonlarında kaynak yükleme).	140
Şekil 4.14: Kapasite 3 kısıtı için GA kaynak grafiği (iş istasyonlarında kaynak yükleme).	141
Şekil 4.15: Kapasite 4 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (iş istasyonlarında kaynak yükleme).	141
Şekil 4.16: Kapasite 4 kısıtı için GA kaynak grafiği (iş istasyonlarında kaynak yükleme).	142
Şekil 4.17: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 1 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).	145
Şekil 4.18: Kapasite 1 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 1 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).	145
Şekil 4.19: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 1 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).	146
Şekil 4.20: Kapasite 1 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 1 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).	146

Şekil 4.21: Kapasite 2 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 1 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).....	147
Şekil 4.22: Kapasite 2 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 1 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).....	147
Şekil 4.23: Kapasite 2 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 1 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).....	148
Şekil 4.24: Kapasite 2 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 1 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).....	148
Şekil 4.25: Kapasite 3 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 1 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).....	149
Şekil 4.26: Kapasite 3 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 1 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).	149
Şekil 4.27: Kapasite 3 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 1 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).....	150
Şekil 4.28: Kapasite 3 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 1 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).	150
Şekil 4.29: Kapasite 4 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 1 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).....	151
Şekil 4.30: Kapasite 4 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 1 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).	151
Şekil 4.31: Kapasite 4 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 1 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).....	152
Şekil 4.32: Kapasite 4 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 1 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).	152
Şekil 4.33: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 2 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).....	153
Şekil 4.34: Kapasite 1 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 2 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).	153
Şekil 4.35: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 2 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).....	154
Şekil 4.36: Kapasite 1 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 2 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).	154
Şekil 4.37: Kapasite 2 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 2 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).....	155

Şekil 4.38: Kapasite 2 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 2 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).	155
Şekil 4.39: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 2 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).	156
Şekil 4.40: Kapasite 2 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 2 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).	156
Şekil 4.41: Kapasite 3 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 2 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).	157
Şekil 4.42: Kapasite 3 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 2 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).	157
Şekil 4.43: Kapasite 3 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 2 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).	158
Şekil 4.44: Kapasite 3 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 2 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).	158
Şekil 4.45: Kapasite 4 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 2 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).	159
Şekil 4.46: Kapasite 4 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 2 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).	159
Şekil 4.47: Kapasite 4 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 2 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).	160
Şekil 4.48: Kapasite 4 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 2 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).	160
Şekil 4.49: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 3 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).	161
Şekil 4.50: Kapasite 1 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 3 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).	161
Şekil 4.51: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 3 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).	162
Şekil 4.52: Kapasite 1 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 3 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).	162
Şekil 4.53: Kapasite 2 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 3 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).	163
Şekil 4.54: Kapasite 2 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 3 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).	163

Şekil 4.55: Kapasite 2 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 3 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).....	164
Şekil 4.56: Kapasite 2 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 3 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).	164
Şekil 4.57: Kapasite 3 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 3 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).....	165
Şekil 4.58: Kapasite 3 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 3 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).	165
Şekil 4.59: Kapasite 3 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 3 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).....	166
Şekil 4.60: Kapasite 3 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 3 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).	166
Şekil 4.61: Kapasite 4 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 3 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).....	167
Şekil 4.62: Kapasite 4 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 3 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).	167
Şekil 4.63: Kapasite 4 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 3 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).....	168
Şekil 4.64: Kapasite 4 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 3 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).	168
Şekil 4.65: Proje tamamlanma sürelerinin karşılaştırılması.....	171
Şekil 4.66: Pareto optimum eğrisi ve kapasite-süre çözüm kümesi.....	173

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Türkiye'nin gemi inşadaki payı (GT %) 2008-2015.....	40
Tablo 2.2: 2006-2015 yılları arasındaki Dünya gemi inşa sanayi ülke bazında yıllık toplam gemi üretim adetleri.....	41
Tablo 2.3: 2006-2015 döneminde tiplerine göre yıllık gemi üretim adetleri	46
Tablo 2.4: 2006-2015 Periyodunda Gemi Tipi Bazında Yıllık Tonaj Üretimleri.	46
Tablo 2.5: Dünya gemi sanayi 2006-2016 yıllık ihracat değerleri.	53
Tablo 2.6: Dünya gemi sanayi 2006-2016 yıllık ithalat değerleri).....	54
Tablo 2.7: 2007, 2010, 2013, 2016 yıllarında gemi sanayisi ihracatında ilk 10 ülke.....	54
Tablo 2.8: Türkiye'deki tersanelerin yıllık tonaj kapasite, üretim değerleri ve kapasite kullanım oranları.	59
Tablo 2.9: Gemi inşadaki lider ülkelerin yıllara göre istihdam değerleri.	60
Tablo 2.10: Türk tersanelerinin 2001-2015 yılları arasında çalışanın ürettiği ihracat değerleri.....	61
Tablo 2.11: Türk Tersanelerinde İstihdam, Üretilen DWT Gemi İlişkisi.	61
Tablo 2.12: Türk Tersanelerinde 2013-2015 yılları arasındaki, iş kazaları, ölüm vakası ve meslek hastalıkları verileri.....	63
Tablo 3.1: Tersane iş istasyonlarındaki kapasite ve kaynak arzı.	89
Tablo 3.2: Çözüm senaryoları gösterimi.	91
Tablo 3.3: KKPC'nin Çözüm Metotlarının Sınıflandırılması.....	104
Tablo 4.1: Çözüm sürelerinin karşılaştırılması.	169
Tablo 4.2: Çözüm değerleri analizi.	175
Tablo 4.3: PSPLib sezgisel yöntemlerin performansının karşılaştırılması.....	183

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kisaltmalar	Açıklama
Ar-Ge	: Araştırma Geliştirme
BIMCO	: Baltic and International Maritime Council
CANSI	: China Association of The National Shipbuilding Industry
CGT	: Compensated Gross Tonnage
CIM	: Computer Integrated Manufacturing (Bilgisayarla Bütünleşik Üretim Sistemleri)
CNC	: Computerized Numerical Control (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol)
CPM	: Critical Path Method
CR	: Critical Ratio (Kritik Oran'ı En Düşük Olan En Önce İşlem Görür)
CRM	: Customer Relation Management (Müşteri İlişkileri Yönetimi)
CRP	: Capacity Requirements Planning (Kapasite İhtiyaç Planlaması)
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
DTO	: Deniz Ticaret Odası
DWT	: Dead Weight Tonnage
ERP	: Enterprise Resource Planning (Kurumsal Kaynak Planlaması)
ETO	: Engineering to Order
FCFS	: First Come First Served (İlk Gelen İlk İşlem Görür)
FLNG	: Floating Liquefied Natural Gas
FRM	: Finance Resource Management (Finans Kaynak Yönetimi)
GA	: Genetik Algoritma
GANTT	: Generalized Activity Normalization Time Table
GİSBİR	: Türkiye Gemi İnşa Sanayicileri Birliği
GT	: Gross Tonnage
GT	: Grounded Theory (Gömülü Teori)
GZFT	: Güçlü Zayıf Fırsat Tehdit
HRM	: Human Resource Management (İnsan Kaynakları Yönetimi)
JIT	: Just in Time (Tam Zamanında Üretim Sistemi)
KKPÇP	: Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (RCPSP – Resource Constrained Project Sheduling Problem)
KOSHIPA	: Korea Offshore and Shipbuilding Association

LNG	: Liquefied Natural Gas
LPG	: Liquefied Petroleum Gas
MARPOL	: International Convention For The Prevention of Pollution From Ships
MRP I	: Material Requirements Planning (Malzeme İhtiyaç Planlaması)
MRP II	: Manufacturing Resource Planning (Üretim Kaynakları Planlaması)
OECD	: The Organisation for Economic Co-operation and Development
OHSAS	: Occupational Health and Safety Assessment System (İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi)
PERT	: Program Evaluation and Review Technique
PMBOK	: Project Management Body of Knowledge
PMI	: Project Management Institute
PSPLib	: Project Scheduling Problem Library
RCCP	: Rough Cut Capacity Planning (Kaba Kapasite Planlaması)
RRP	: Resource Requirement Planning (Kaynak İhtiyaç Planlaması)
SAJ	: The Shipbuilders' Association of Japan
SCM	: Supply Chain Management (Tedarik Zinciri Yönetimi)
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UNCTAD	: United Nations Conference on Trade and Development

ÖZET

DOKTORA TEZİ

TERSANELERDE GEMİ ÜRETİM YÖNETİMİ MODELİ: MARMARA BÖLGESİNDE BİR UYGULAMA

Ercan AKAN

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Güler ALKAN

Küreselleşme ile birlikte artan rekabet koşulları diğer tüm sektörlerde olduğu gibi gemi inşa sanayisinde de kendini göstermektedir. Artan ürün ve hizmet çeşitliği, müşterilerin beklentilerin artması, ürün ömür döngüsünün kısalması, artan mal ve hizmetlerin dolaşımının buna bağlı olarak gemi inşa sanayisinde arz ve talep oluşturmaya, gemi inşa sanayisinin getirdiği kompleks yapı, düşük maliyet gereksinimi, yüksek üretim seviyesi, modern ve gelişmiş üretim anlayışı ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu durum, işletmeler tarafından aynı ölçüde ürün ve hizmet kalitesini artırma yarışına girmelerine sebep olmuştur. Bu da, işletmelerin pazarda var olabilmeleri ve işletme olarak tersanelerin yaşam eğrilerinin uzun olması için verimlilik temelinde çalışmaların artmasının önemini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada; Marmara Bölgesi'ndeki tersanelere uygun amaçlı olarak Bulanık faaliyet süreli ortamında Genetik Algoritma kullanılarak Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi gemi üretim yönetim modeli araştırılarak ve uygulama yapılarak incelenmiştir. Bununla beraber, tersanenin kapasite kısıtı ile bulanık süre ortamında Genetik Algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi çözümü ile elde edilen proje tamamlanma sürelerinin oluşturmuş olduğu çözüm kümesinde optimal bir çözüm sunabilmek için Pareto optimumu ile değerlendirilmiştir.

Birinci bölümde genel bir perspektifte tezin içeriğine, önemine ve kapsamına dair bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde üretim ve üretim yönetimi, malzeme ihtiyaç planlaması, üretim kaynak planlaması, kurumsal kaynak planlaması, proje yönetimi, ürün ağacı, kapasite planlaması ve iş

yükleme konuları hakkında bilgiler verilmiştir. Tersanelerde üretim yöntemleri başlığı altında; tersanelerde üretim planlama, tersanelerde malzeme ihtiyaç planlaması, gemi inşaat süreci ve üretim kademeleri konuları hakkında bilgiler verilmiştir. Gemi inşa sanayisinde gemi üretimi konusunda yapılan literatür çalışmaları, Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi ile ilgili yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Bununla beraber Genetik Algoritma ile yapılan Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi ile ilgili yapılan çalışmalar ve bulanık mantık teorisinde üyelik sayıları bilinen bulanık sayıların durulaştırılması ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Gemi inşaatı sanayisi başlığı altında; Dünya gemi inşaatı durumu, gemi inşa sanayisinde aşırı üretim, Dünya gemi inşa sanayisinde mukayeseli üstünlükler analizi, gemi inşa sanayi ihracatı ve ithalatı, Çin gemi inşa sanayisinde devlet teşvikleri ve politikaları, Türkiye gemi inşa sanayisinde devlet teşvikleri ve politikaları, gemi inşa sanayisinde işgücü maliyetleri, Türkiye'deki tersanelere dair bilgiler, Türkiye'deki tersanelerde kapasite kullanımı, Türkiye gemi inşa sanayisinde istihdam, Türkiye'deki tersanelerde verimlilik, Türkiye'deki gemi inşa sanayisinde İş Sağlığı ve Güvenliği ve Türkiye gemi inşa sanayi GZFT analizi konuları hakkında bilgiler verilmiştir. Tersanelerde üretim başlığı altında; tersanelerde üretim ve planlama, tersanelerde Malzeme İhtiyaç Planlaması, dördüncü ve sonrası nesil tersaneler, Türkiye'deki tersanelerde üretim planlama, tersanelerdeki gemi inşaat süreci ve üretim kademeleri konuları hakkında bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde; bulanık süre ortamında genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi çözüm metodu başlığı altında; problemin tanımı ve amacı, proje varsayımları, tersanenin kapasite kısıtına göre değerlendirilmesi, uygulamada projeler ve projelerin başlatılması senaryolar, uygulamada proje çözümünde dikkate alınan senaryolar ve çözüm metodu konuları hakkında bilgiler verilmiştir. Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi başlığı altında; kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi tanımı, kaynakların sınıflandırılması, faaliyet kaynak ilişkisi, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme modelleri, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde kullanılan yöntemler olan kesin çözüm veren yöntemler, sezgisel yöntemler, meta sezgisel yöntemler, stokastik yöntemler ve çizelge oluşturma şemaları olan seri ve paralel çizelgeleme konuları hakkında bilgiler verilmiştir. Bununla beraber bulanık mantık konusu ile ilgili olarak; bulanık kavramı, üyelik fonksiyonu, yamuk bulanık sayı ve üyelik fonksiyonları bilinen yamuk bulanık sayılar için centroid yöntemi konuları hakkında bilgiler verilmiştir. Genetik Algoritmalar başlığı altında; genetik algoritmalar, özellikleri ve genel kavramları, genetik algoritmaların çalışma ilkeleri, genetik algoritmalarda kromozom kodlama yöntemleri, genetik algoritmalarda mutasyon ve çaprazlama operatörleri, genetik algoritmada seçim yöntemleri, genetik algoritmalarda parametre seçimi ve uygunluk değerinin hesaplanması konuları hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde; Türkiye'deki bir tersanede Bulanık faaliyet süre ortamında Genetik Algoritma kullanarak Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi uygulaması incelenmiştir. Bulanık normal süreli genetik algoritma ile Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi çözümü değerlendirilmesi, iş istasyonlarında bulanık hızlandırılmış süreli Genetik Algoritma ile Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi çözümü değerlendirilmesi, kritik faaliyetlerde bulanık hızlandırılmış süreli Genetik Algoritma ile Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi çözümü değerlendirilmesi açısından incelenmiştir. Ayrıca ek olarak Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi çözüm süreleri açısından değerlendirmesi, Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi çözümünde tersanenin optimum kapasitesinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi, Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi açısından değerlendirmesi, Genetik Algoritma açısından değerlendirmesi, bulanık süreler açısından değerlendirilmesi,

kaynak artırımı açısından değerlendirilmesi ve PSPLib açısından değerlendirilmesi sonuçları açısından incelenmiştir.

Son bölümde de çalışmaların model ve tersane olarak sonuçları irdelenerek önerilerle birlikte tez çalışması tamamlanmıştır.

Haziran 2017, .248. sayfa.

Anahtar kelimeler: Tersane, Gemi İnşa, Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (KKPÇP), Genetik Algoritma (GA), Bulanık Mantık.



SUMMARY

Ph.D. THESIS

MODEL OF SHIP PRODUCTION MANAGEMENT IN SHIPYARD: A CASE STUDY IN MARMARA REGION

Ercan AKAN

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Marine Transportation Management Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Güler ALKAN

With the beginning of the globalization, the industry that effected by increasing competitive conditions is one of which shipbuilding industry as all other sectors of economy. It is found out that increasing production and variation of services, increasing customers' expectations, reduction of production life cycle, creating supply and demand in shipbuilding industry depending on increasing circulation of goods, complicated structure of shipbuilding, requirement of low cost, high level production, necessary of modern and contemporary of enhanced production understanding. This situation caused that being for increasing quality of product and service level at the same level into competition by organizations. Therefore as company shipyard's life cycle curve in order to be long and survive in market, it is emphasized why carrying out studies based on productivity are significant for the organizations.

In this study, model of ship production management that Resource Constrained Project Scheduling Problem by using Genetic Algorithm under Fuzzy activity times in order appropriate shipyards in Marmara region in Turkey is studied by researching and making a case study. Nevertheless solution set which is comprised of project completion times obtained by means of solutions of Resource Constrained Project Scheduling Problem by using Genetic Algorithm under Fuzzy activities durations is evaluated by Pareto Optimum to preserve an optimal solution according to capacity constrained of shipyard.

In first chapter, it is mentioned that knowledge about contents, scope and importance of thesis in terms of general perspective.

In second chapter, it is studied that production and production management, material requirement planning, manufacturing resource planning, enterprise resource planning, project management, capacity planning and work loading. It is studied that chronological literature view regarding carried out studies of which production of shipbuilding industry, Resource Constrained Project Scheduling Problem besides Resource Constrained Project Scheduling Problem by using Genetic Algorithm and defuzzification of fuzzy numbers membership functions is known under theory of Fuzzy Logic. It is studied that overall situation assessment of shipbuilding, analysis of comparative advantages in World shipbuilding industry, overproduction in shipbuilding industry, World shipbuilding industry exports and imports, government incentives and policies of Turkey shipbuilding industry, government incentives and policies of China shipbuilding industry, labor costs in shipbuilding industry, general characterization of shipyards in Turkey, capacity utilization rate in shipyards in Turkey, employment in Turkey shipbuilding industry, productivity in shipyard in Turkey, occupational health and safety in Turkey shipbuilding industry and SWOT analysis of Turkey shipbuilding industry under the heading of shipbuilding industry structure. It is studied that production planning in shipyard, material requirement planning in shipyard, forth and subsequent generation shipyards, production planning in shipyard in Turkey, shipbuilding process and production stages of shipbuilding under the heading of production in shipyard.

In third chapter, It is studied that definition and purpose function of the problem, project assumptions in case study, solution according to capacity constraint of shipyard, solution according to the projects and project start customs scenarios in case study, solution scenarios of problem in case study and of solution method of problem under the heading of solution method of Resource Constrained Project Scheduling Problem by using Genetic Algorithm under Fuzzy activity times. It is studied that definition of resource constrained project scheduling problem, classification of resources, activity resource relationship, resource constrained project scheduling models, methods used in resource constrained project scheduling problems, definite solution methods, heuristic methods, meta- heuristic methods, serial and parallel scheduling schemes under the heading of Resource Constrained Project Scheduling Problem, moreover, it is studied that fuzzy concept, fuzzy set theory, membership function, trapezoid number, defuzzification among basics of fuzzy control and centroid method issues for trapezoid numbers with known membership functions under the heading known membership functions of Fuzzy Logic. It is studied that Genetic Algorithms, properties and general concepts of genetic algorithms, working principles of genetic algorithms, chromosome coding methods in genetic algorithms, mutation and crossover operators in genetic algorithms, selection methods in genetic algorithm, parameter selection and calculation of fitness value in genetic algorithms under the heading of Genetic Algorithm.

In fourth chapter, it is studied that a case study of Resource Constrained Project Scheduling Problem by using Genetic Algorithm under Fuzzy activity times in a shipyard in Turkey. it is studied that review solutions in terms of Resource Constrained Project Scheduling Problem by using Genetic Algorithm under Fuzzy normal activity times, review solutions in terms of Resource Constrained Project Scheduling Problem by using Genetic Algorithm under Fuzzy acceleration activity times on work stations, review solutions in terms of Resource Constrained Project Scheduling Problem by using Genetic Algorithm under Fuzzy acceleration activity times on critical activities groups. Furthermore in addition it is studied that review and determination of optimal capacity of shipyard where applied case study in the solution of the

resource constrained project scheduling problem, review in terms of projects completion times, review in terms of Resource Constrained Project Scheduling Problem, review in terms of genetic algorithm, review in terms of PSPLib, review in terms of fuzzy activity times, review in terms of acceleration of project.

Consequently in last chapter, the thesis was concluded in terms of model and shipyard along with suggestions by researching conclusion of the study.

June 2017, .248. pages.

Keywords: Shipyard, Shipbuilding, Resource Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP), Genetic Algorithm (GA), Fuzzy Logic.



1. GİRİŞ

Günümüzde Dünya ekonomisinin yaklaşık %80'ni denizyolu taşımacılığı ile gerçekleştirilmektedir. Dünya ticaretinin denizyolu ile yapıldığı, münhasır ekonomik bölgedeki faaliyetlerinin sürdürüldüğü ve deniz yapılarının insanoğlu için önemi devam ettiği müddetçe gemilere ve deniz yapılarına olan insanoğlunun bağımlılığı devam edecektir. Bunun sonucunda gemilere ve deniz yapılarının inşası için bir talep oluşturmaktadır.

Tarihsel süreçte gemilerin kullanım amacı pek değişmemiş olmasına rağmen, dizaynı, üretim metodu ve malzemesi zamanla evrilmektedir. Günümüzde gemi ve deniz yapılarının üretim temeli, çelik sac ve profilden oluşturulan pek çok blokların birleştirilerek tersanede üretilip donatılmasıdır. Gemi üretimi, farklı boyutlarda ve nitelikteki gemilerin olması, malzeme tedariklerinin uluslararası boyutta organize edilmesi, üretim kademelerinin ve aynı zamanda alt üretim kademelerinin de fazlalığı ile farklı imalat yöntemlerinin kullanılmasından ötürü bunun yanında zaman, kalite, maliyet ve yer kısıtlarının da öne çıkmasıyla üretim açısından kompleks zor bir üretim segmenttir.

Geçen yüzyıla baktığımızda 2. Dünya savaşına kadar küresel başat devletlerin Dünya'ya yön vermesine paralel olarak gemi inşa sektörü bu ülkelerin liderliğinde seyretnmiştir. 2. Dünya savaşıdan itibaren gemi inşa sanayisinde yükselen ülkelerin niteliklerine bakıldığında, gelişmekte olan ülke olması, ucuz işgücü, çelik ve hammaddenin ucuzluğu, deniz taşımacılığın ülkelerde yükselmesi, teknolojik alt yapı olarak belli bir sanayi düzeyinde olması vb. gibi özelliklerin bir araya gelmesiyle gemi inşa sanayisinin gelişmeye başladığı görülmektedir. 2. Dünya savaşıdan sonra Avrupa öncülüğünden gemi inşa sanayisi ilerlemiş, 1965 yılından 2000 yılına kadar Japonya, 2009 yılına kadar G.Kore ve artık bu liderlik Çin tarafından devam ettirilmektedir. Bugün Dünya'daki toplam gemi üretiminin %91'i Çin, G.Kore ve Japonya tarafından üretilmektedir. Türkiye'nin payı ise %0,2 civarındadır. Bu ülkelerdeki gemi inşa sektörünün gelişimi, ülkelerin sanayi, kalkına ve gemi inşa ile ilgili ülke politikalarıyla doğrudan paralellik arz etmektedir. Ülkelerdeki gemi inşa sanayisine olan yatırımın özel sektörün ötesinde devletin gemi inşa sektörünün desteklenmesi kararlılığına ve politikalarına

daha çok bağılıdır. Dünya liderlerinin gemi üretimindeki desteklere bakıldığında, devlet teşviği ve politikası desteğinin olduğu görülmektedir.

Yine bu ülkelerdeki gemi inşa sanayisinin yükselmesi sürecine bakıldığında, işgücü maliyetlerinin düşük olması en temel rekabet unsuru olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Tüm bunların yanında günümüzde rekabet koşullarının devam etmesi için Ar-Ge temelli tüm tersaneyi, gemi üretim öncesi ve sonrasını da kapsayan çeşitli verimlilik yaklaşımları uygulanmaktadır. Bu da rekabetin daha sert ve zor olduğunu göstermektedir.

Bugün sadece ucuz işgücünün rekabet için yeterli olduğu düşünülse dahi ilerleyen yakın gelecekte ucuz işgücünün çok da önemli olmadığı bir döneme girilmektedir. Bu yeni sanayi dönemiyle üretim metotları, metodolojisi değişmekte; üretimde otomasyon, robotik üretim, akıllı makineler ve insan faktörünün daha az olduğu bir dönem yavaş yavaş gelmektedir. Her ne kadar bu üretim yöntemlerinin uygulanması gemi inşa sanayisi için zor olduğu gözükse de uygulama alanları bulmaya başlamıştır.

Sınırsız insan ihtiyaçlarına kıt kaynaklar ile cevap verebilmek yeterli olamamaktadır. Günümüzde küresel ekonominin artan iştahının, tüm sektörlerde kendisini göstermektedir. Gemi inşa sanayisi ekonominin bir dinamosu değildir, ekonominin tedarik zinciri kapsamındaki taşımacılık konusunda hizmet veren araçların inşası ekonomisidir. Bu yüzden küresel ekonominin arz ve talebi artmadıktan sonra bu sektörde talep olmayacaktır. Dünya ekonomisi arz ve talebi ile Dünya'daki toplam gemi taşıma tonaj arzı ve talebi çerçevesinde şekillenen gemi inşa sanayisinde diğer sektörlerde olduğu gibi küresel rekabetin etkileri gözükmektedir. Gemi inşa sanayisinde küresel rekabeti yerine getirebilmek için, tersaneler küresel ölçekte yapı altında olduğu takdirde küresel rekabetle baş edebilir, büyür ve işletme olarak yaşamını uzun tutabilir. Aksi takdirde günün koşullarını yerine getiremeyen işletmeler gibi tarihin sayfalarında yok olup gideceklerdir. Bu durum sadece küresel işletmeler için değil, ülkemizde de faaliyet gösteren işletme olarak tersaneler içinde geçerli bir olgudur.

Bu çalışmanın önemi, bu işletmelerin yaşam eğrisinin daha uzun olması amacıyla işletmelerde kendi bünyelerinde yapılan verimlilik çalışmalarının sonucu olarak işletmelerin yaşamlarının uzun olmasına katkı sağlayacaktır. Bu açıdan bakılınca tersanelerin en önemli verimlilik

faktörü ürünleri olan gemi inşa sürecinde ortaya çıkmakta ve başlı başına en önemli unsur olmaktadır. Dolayısıyla yapılan çalışmalarda ürün olarak geminin inşa proseslerindeki verimlilik çalışmalarına odaklanılmıştır. Bu çalışmada bu yaklaşımlardan biri olan proje çizelgesi olarak Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme problemi kapsamında değerlendirilerek, mevcut koşullarla pratikte yapılan çalışmaların bu yöntem ile mukayesesi sonucunda ölçülecek olan verimlilik sonucu olacaktır. Bu kullanılacak olan yöntemlerin yanında farklı yöntemlerle de benzer bir yaklaşım olmaktadır. Fakat bu çalışmada tersanelerde bulanık süre ortamında ve genetik algoritma ile yaklaşılması daha farklı kılacaktır.

Pratikte uygulanan geleneksel yöntemlere alternatif, farklı ve daha iyi sonuçlar veren bir yaklaşım olarak gerçek hayatta kullanıldığında, tüm bu çalışmalar işletme olarak tersanelerin rekabet düzeylerini arttırmaya yönelik çalışmalar olarak dikkate alınacaktır.

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Gemi inşa sanayisinde Türkiye'nin rekabet edebilirlik seviyesini arttırmak, ticari ve askeri gemi tedarikinin sağlanması için daha güçlü rekabet edebilir bir duruma yükselmesi gerekmektedir. Bu bakış açısıyla gemi inşa sanayisinin eksiklerinin ortaya konulup daha verimli bir üretim metoduyla gemi inşa sanayisindeki verimliliğin artırılması amaçlanmaktadır. Bu çalışma üretim planlama ve proje yönetimi kapsamında Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi altında Genetik Algoritma ile ve Bulanık süre ortamında değerlendirmiştir.

Tersanelerde gemi inşanın kendine özgü üretim süreçlerine sahiptir. Üretim planlamanın temelinde kritik yol odaklı programlamalar devam etmektedir. Tersanelerin başlı başına pek çok kendi içinde üretim süreçleri bunun yanında aynı anda devam eden pek çok inşa projesi de devam etmektedir.

Her gemi inşa sürecinde farklılıklar ortaya koyan şey; ürünün spesifik olmasıdır. Ancak birden fazla ürünün aynı anda üretilmesi dikkate alındığında, ortaya bir başka sorun çıkmaktadır: Gemi mi, tersane mi sorusudur? Gemiye ucuza ve zamanında üretmek mi, yoksa tersanenin optimizasyonunu sağlamak mı? Bu noktada; bir gemi ucuza gelirken, inşa halindeki ikinci geminin daha yüksek maliyette olmayacağını garanti olmamaktadır. Bu çalışma, ürün odaklı

ve tersane iç ve dış çevresinin üretim süreçlerindeki kontrol edilebilir unsurlardaki etkisinin de en az ürün kadar önem arz ettiği ve dikkate alındığı bir bakış açısını kabul etmektedir.

Çin, G.Kore ve Japonya'da bu devlet politikaları ve desteklerinin açık ve net bir şekilde görülmektedir. Bunun yanında gemi inşa orta düşük düzey bir teknoloji olmasından dolayı gelişmekte olan ülkelerde yükselmesi de bir tesadüf değildir. Ülkelerin gelirlerinin artması sonucu rekabet düzeylerinin düşmesiyle gemi inşa sanayisinin büyüyeceği yeni ülkeler illaki yükselecektir.

Türkiye'deki tersane alt yapı ve üretim verimliliklerinin Dünya'daki en ileri üretim teknikleri uygulayan Uzakdoğu tersanelerinin düzeyine ulaşmak için toplam bir bakış açısıyla yaklaşmak gerekmektedir. Tersanenin üretim sürecinde küresel rekabete sahip olabilmek için, sadece üretim süreçlerinin en iyi düzeyde olması bir seviyeden öte yetersiz kılmaktadır. Tersanelerde gemi üretim sürecine bir bütün halinde yaklaşmak toplamdaki tersanelerin rekabetini arttıracak bir nitelik olarak öne çıkmış olacaktır.

Tersanelerde gemi üretimi de sipariş üzerine mühendislik projelerdir. Geminin üretilmesinin bir proje yönetimi kapsamında değerlendirildiği düşünüldüğünde, proje yönetiminin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için projenin belirlenen zaman ve maliyette projenin bitirilebilmesi amaçlanır. Projelerin belirsizlik ortamlarında olduğu durumlarda modellenmesi pratikteki belirsizliklere paralellik göstermektedir. Proje faaliyet sürelerinin kesinlik ifade etmesi CPM gibi, sonuçlarının da kesin bir çözüm kümesi sunmaktadır. PERT'in olasılıklı faaliyet süreleriyle beraber bu çözüm kümesi daha genişletilmiştir. Çalışmada ağırlık yöntemi uygulanarak yamuk üyelik fonksiyonları verilen gemi inşadaki proje faaliyet sürelerinin hesaplanması yöntemi kullanılmıştır. Bulanık süreleri ise bu kesin çözüm kümesinin çok daha ötesine geçerek çözüm kümelerinin bulanıklaşmasını sağlayarak net bir ifadeden kaçındığından karar vericiler için daha fazla esneklik vermektedir. Projelerin büyük çoğunluğunda proje sürelerinde gecikmeler yaşanmaktadır, bu açıdan bakıldığında projelerin bulanık mantık temelinde değerlendirilmesi karar vericilerin esnekliği çerçevesinde proje revizyonlarına gerek kalmadan öngörülebilirliği daha yüksek olacaktır. Tersanenin üretimini gerçekleştirdiği bir geminin 1 gün gecikmesi, hem tersane açısından hem de armatör açısından çok farklı boyutlarda ek maliyetlere neden olacaktır.

Bu çalışmada tersanenin üretim kapasitesi çerçevesinde ne kadarlık gemiyi aynı anda ne kadarlık bir işgücü kapasitesiyle karşılayabilmesi de ölçülmek istenmiştir. Çünkü tersanenin bir gemiyi üretebilmesi için mevcut şartlarda üretimde olacak olan işgücünü karşılayabilir, fakat mevcut kapasitesinden ne kadar daha fazla atıl olarak işgücü durmaktadır. Bu durum atılda bekleyen işgücünün üretimde kullanılmadan atıl bir durumda kalması işletme için bir verimsizlik çerçevesinde değerlendirmek doğru olacaktır. Yine aynı şekilde üretimdeki darboğazlar oluştuğunda daha fazla işgücü kaynağı gereksinimi olacağından dolayı tersanenin üretimdeki gecikme veya fazla yüklemelerden dolayı yine verimsizlik kaybına uğrayacaktır.

Günümüzde projelerin hiç biri sınırsız kaynak kullanarak günlük hayatta projeler hayata geçememektedir. Bundan dolayı projelerin uygulanmasında kaynak kısıtı söz konusu olmaktadır. Bazen bu kaynakların atıl durumda olmasına da olanak sağlamaktadır. Küresel ekonomilerde rekabet düzeyinin yüksekliği neticesindeki durum dikkate alındığında, verimlilikten uzak bir anlayışın bu mekanizmada hayatta kalması zorlaşacaktır. Bu bakışla, proje çizelgelemesinde pek çok yöntemler olabileceği gibi bu çalışmada Kaynak kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi temelinde çözüm aranmıştır.

Uygulamada, bir tersaneden temin edilen ve geleneksel yöntemlerle inşası gerçekleşen iki farklı balıkçı gemisini üretim süreci ele alınmıştır. A ve B gemileri aynı anda zamanda başlatılarak proje üretim süreleri ve adam saat değerleri hesaplanarak çözülmüştür.

Üretilen projelerin daha kısa sürede inşa edilmesine olanak sağlanması amacıyla, iş istasyonlarından (WS 04 ve WS 05) %20 işgücü artırılarak ve kritik faaliyetlerde işgücü arttırımı yapılarak proje tekrardan programlanarak hesaplanmıştır.

Tüm bu üretim yönetimi alternatifleri çerçevesinde tersanenin kapasitesinin durumu dikkate alınarak mevcut projelerin üretim süreçleri gözlenmek istenmiş ve bu çerçevede tersane için optimum kapasitenin belirlenmesi amaçlanmıştır.

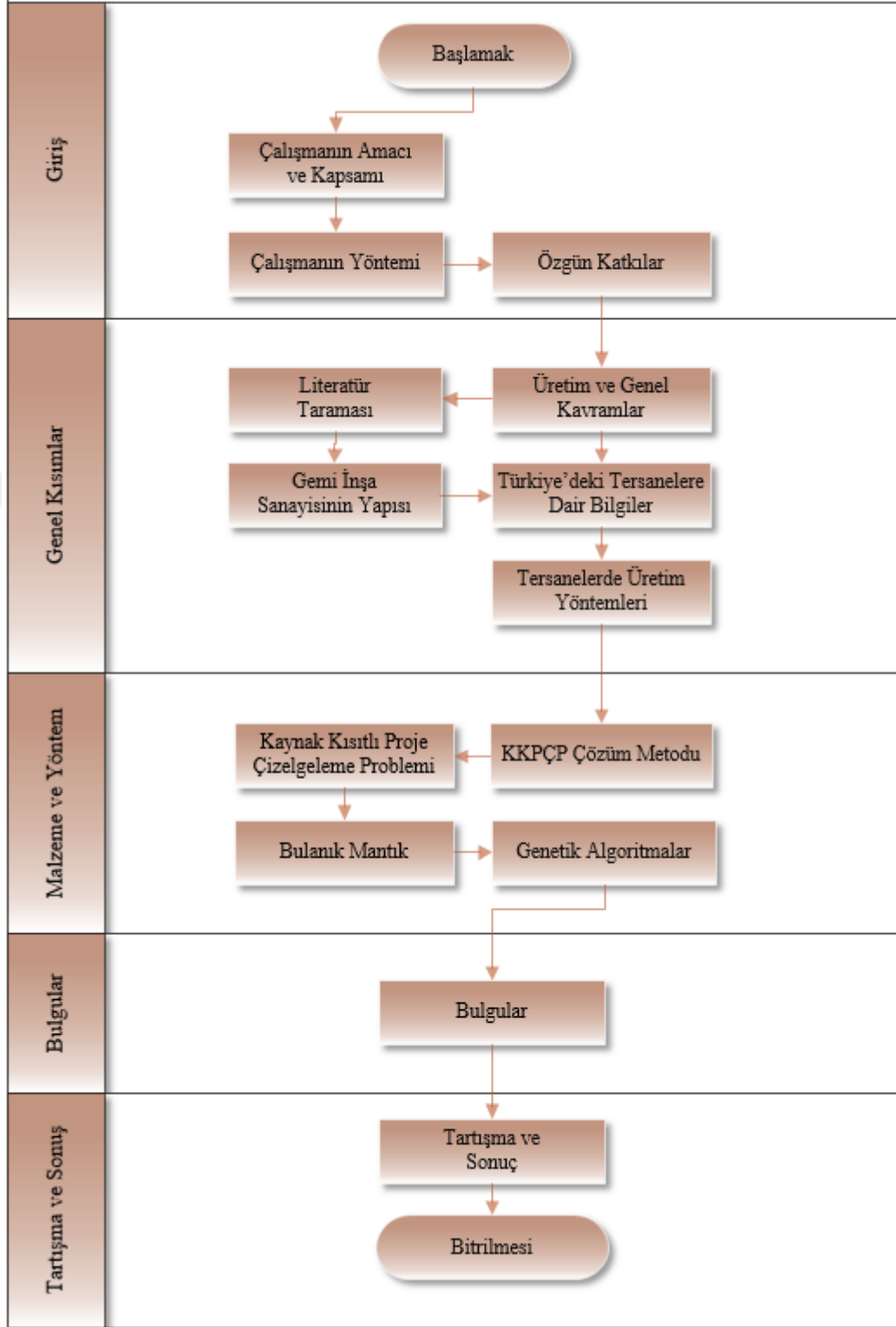
Ayrıca bu çalışmada, İstanbul Tuzla Bölgesindeki tüm irili ufaklı tersanelerin birleştirip devasa bir tersane yapısı altında birleştirilmesi ya da başka bir bölgede dünya ölçekli üretim amaçlı bir

tersane yapısı organizasyonu tasarımı yapıp yapılamayacağı, yapılabilirse kapasitesinin ne olacağı sorusuna da yanıt bulunmaya çalışılmıştır.

1.2. ÇALIŞMANIN PLANI

Çalışmanın oluşturulması ve çalışmanın adımların Şekil 1.1’de tezin çalışma akış şeması olarak belirtilmiştir. Buna göre:

1. Giriş bölümünde, genel bir değerlendirme ve yapılacak olan çalışmaların özeti olarak değerlendirilmiştir.
2. Genel kısımlar bölümünde konu ile ilgili yapılan literatür çalışmaları, üretim ve genel kavramlar, tersanelerde üretim yöntemleri, gemi inşa sanayisi, ülkelerin gemi inşaat durumu, Türkiye’deki tersanelere ait bilgiler ile çalışma etraflıca değerlendirilmiştir.
3. Çalışmanın malzeme ve yöntem bölümünde çalışmanın da modelini oluşturan kısmı olan modelin tanımlanması ve problemin amacı tanımlanmıştır. Ayrıca kaynak kısıtlı proje çizelgeleme, genetik algoritma ve bulanık sürelerin centroid yöntemiyle deterministik sürelere dönüştürülmesi konuları değerlendirilmiştir.
4. Çalışmanın bulgular bölümünde yapılan çözümün, bulanık mantık, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme, genetik algoritma ve tersane uygulaması gerçekleştirilmiştir. Tersanenin kapasitelerine göre değerlendirme, en uygun kapasitesini belirlenmesi, genetik algoritma açısından, bulanık süreler açısından ve KKPÇP açısından değerlendirilmiştir.
5. Çalışma sonuçlarının değerlendirilerek gelecek çalışmalar için öneriler sunulurak bitirilmiştir.



Şekil 1.1: Tezin çalışma şeması.

1.3. ÖZGÜN KATKILAR

Çalışmada, tersanede gemi üretimi konusu için literatürde Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (KKPÇP) olarak tanımlanan problem sınıfında yer almakta olan yöntem kullanılmıştır. Literatürde stokastik veya deterministik yöntem olarak KKPÇP ile ilgili pek çok yöntemler bulunmaktadır

Model olarak sunulan katkıları; gemi inşanın tersanelerde uygulanan yöntemlerde fark farklı proje çizelgeleme yöntemler uygulanmaktadır. Fakat Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme problemi olarak literatürde yaklaşılmamıştır. Bununla beraber uygulamada Genetik Algoritma ile bunun çizelgelemesi yine tersanelerde gemi inşa konularında değinilmemiştir ve bu uygulamanın bulanık süreli ortamda olması da yine özgün katkılar olarak sunulmaktadır. Tüm bunların tersanelerde gemi blok inşası olarak uygulanması da özgün katkı olarak nitelendirilebilir. Tersanelerde uygulama ile sonuçların değerlendirilmesi ve oluşan sonuçların ortaya konması ve bunun Genetik Algoritma ile çözümünün sonuçları da özgün bir katkı olarak değerlendirebilir.

2. GENEL KISIMLAR

Bu bölümde gemi inşanın bir üretim prosesi olduğundan dolayı üretim konusu değinilmiştir. Malzeme ihtiyaç planlaması, üretim kaynak planlaması, kurumsal kaynak planlaması, proje yönetimi, kapasite planlaması ve iş yükleme konularına değinilmiştir. Ayrıca, gemi inşa ile ilgili, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi ile ilgili, genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi ve bulanık mantık konusunda üyelik fonksiyonu belli olan bulanık sayıların durulaştırılması konusunda akademik çalışmalara değinilmiştir. Gemi inşa sanayisi ile ilgili olarak; gemi inşa sanayisinde genel durum, gemi inşa sanayisinde aşırı üretim, dünya gemi inşa sanayisinde mukayeseli üstünlükler analizi, gemi inşa sanayi ihracatı ve ithalatı, gemi inşa sanayisinde devlet teşvikleri ve politikaları, gemi inşa sanayisinde işgücü maliyetleri konularına değinilmiştir. Türkiye'deki tersanelere dair konular ile ilgili olarak; Türkiye'deki tersanelerde kapasite kullanımı, Türkiye gemi inşa sanayisinde istihdam, Türkiye'deki tersanelerde verimlilik, Türkiye'deki gemi inşa sanayisinde iş sağlığı ve güvenliği ve Türkiye gemi inşa sanayi GZFT (SWOT) analizi konularına değinilmiştir. Son olarak tersanelerde üretim ile ilgili olarak; tersanelerde üretim ve planlama, tersanelerde malzeme ihtiyaç planlaması, dördüncü ve sonrası nesil tersaneler, Türkiye'deki tersanelerde üretim planlama, tersanelerdeki geminin inşaat süreci ve üretim kademeleri konularına değinilmiştir.

2.1. ÜRETİM VE GENEL KAVRAMLAR

Gemi inşa sürecinde gemilerin üretim yeri olan tersanelerde bir üretim sürecini ve bu sürecin unsurlarını kapsamaktadır. Bu bölümde üretim ve üretim yönetimi, malzeme ihtiyaç planlaması, üretim kaynak planlaması, kurumsal kaynak planlaması, proje yönetimi, kapasite planlaması ve iş yükleme konularına değinilmiştir.

2.1.1. Üretim ve Üretim Yönetimi

Genel bir ifadeyle üretim; faydalı mal ve hizmet üretme işlemi (Akan, 2006) ya da çeşitli faktörlerin satılabilir ürüne dönüştürüldüğü bir girdi-çıktı sistemi (Chodari, 1997) olarak tanımlanabilir. İşletmeler açısından temel ve en önemli fonksiyonlardan biri olan üretim; daha geniş haliyle, iş gücü, makine, malzeme vb. beşeri ve maddi faktörlerin, tüketicilerin ihtiyaçları çerçevesinde gerekli olan mal ve hizmetlere dönüşümü olarak ifade edilmiştir, (Akıncı, 2008).

Üretim yönetimi; işletmenin elinde bulunan malzeme, makine, teçhizat, iş gücü gibi kaynaklar ile üretim sistemini oluşturan diğer tüm faaliyetleri, belirli miktarlardaki ürünün istenilen kalitede, zamanda ve en düşük maliyetle üretimini sağlayarak işletmenin diğer hedef ve politikalarına uygun ve birbirleriyle de uyumlu olacak şekilde bir araya getirme, planlama ve kontrol etme faaliyetlerinin bütünüdür, (Sağlam, 2008).

2.1.1.1. Üretim Yönetiminin Kapsamı, Amaç ve Gereklikleri

Üretim yönetimi; üretim sisteminin tasarımı ve kontrol süreçlerinin geliştirilmesi faaliyetlerini kapsamaktadır. Bu bağlamda; sistemin oluşturulması, izlenen süreç, sistemin işletilmesi, kullanılan yönetsel araç ve gereçler, envanterler, üretim yönetimi yapısının kalitesi, üretim planları, üretim planlarının verimlilikleri ve yönetsel kontrol sistemlerinin, dolayısıyla gerekli karar verme yeteneğinin geliştirilmesini amaçlar.

Üretim yönetimi; üretim süreçlerini ilgilendiren tüm kararların alınmasıyla ilgili faaliyetlerin tamamını içine alması sebebiyle sorumluluk alanı oldukça geniş ve çoğunlukla karmaşıktır. Bu karmaşık yapıda, birbiriyle çelişen ya da birbirinin çalışmasına engel teşkil eden unsurların belirlenmesi ve bunlar arasında uzlaştırıcı çözümler bulunması gerekmektedir. Bunun için de; çeşitli kantitatif analiz yöntemleri ve bilgisayarlar yazılım programlarının kullanılması karar verme yeteneğini kolaylaştırması bakımından önem arz etmektedir, (Sağlam, 2008).

2.1.1.2. Üretim Planlama ve Kontrol

Rekabetin yüksek olduğu endüstrilerde, işletmelerin müşteri talep ve ihtiyaçlarına tam anlamıyla karşılık verebilmeleri, talep edilen ürünleri, istenilen miktar ve fiyatlarda sunabilmeleri gerekmektedir. Bu ihtiyaçların sağlanması sırasında; talep, hammadde, yarı mamul, parça, kalite, fiyat, zaman, üretim kapasitesi gibi birçok değişkenin göz önünde bulundurularak üretim faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi gerekir. Dolayısıyla, sayısız değişkenin bulunduğu üretim ortamlarında işletmelerin mevcut kaynaklarını en verimli şekilde kullanabilmesi için üretim planlama ve kontrol faaliyetlerini optimum düzeyde yerine getirmeleri bir zorunluluktur, (Koçak, 2007).

Üretim faaliyetleri ilk olarak üretim planlaması ile başlar. Üretim planlamasını; önceden belirlenmiş olan üretim ihtiyaçlarını karşılamak için, işgücü ve diğer üretim kaynaklarının en verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayan, üretim araç ve imkânları çerçevesinde hangi ürünün hangi miktarda, hangi yöntemlerle ve ne zaman üretileceğini gösteren, istenilen kalitede ürünlerin üretilmesi için oluşturulan tasarı ya da model olarak tanımlamak mümkündür.

İşletmelerin üretim faaliyetlerini düzenli ve verimli yürütebilmesi için iyi bir üretim planı oluşturması gerekir, (Akıncı, 2008; Aydoğan ve Asal, 2009; Sağlam, 2008).

Üretim planlarının, üretim kademelerini ayrıntılı olarak kapsıyor olması gerekir. Planın süreç sırasında değişen koşullar ya da ortaya çıkan ani değişikliklere hızlıca adapte edilebilmesi önemlidir. Bu da; üretim planının dinamik bir yapıya sahip olmasını gerektirir, (Sağlam, 2008).

2.1.1.3. Üretim Planlama Faaliyetlerinin Dönemsel Bazda Sınıflandırılması

Genel olarak üretim planlama faaliyetleri dönemsel bazda 3 aşamada incelenebilir. Bu planlamaların yapılmasından önce, üretilecek mamuller için gelecekteki talep tahminlerinin belirlenmesi gerekir. Bu talep tahminleri doğrultusunda üretim planlamaları (kısa, orta, uzun vadeli) oluşturulur, (Akıncı, 2008; Alkaner, 1998).

Kısa Vadeli Üretim Planlama

Ürünün üretim sürecinde nasıl bir yol izleyeceğini, tezgâhların nasıl yükleneceğini, ara ürün, hammadde, üretim ve stok seviyelerinin kontrolleriyle ilgili kararları kapsayan ve çalışma sahasında günlük üretim planlama problemleriyle ilgilenen planlama çeşididir (Alkaner, 1998; Türköz, 2001). Bu problemlere ilişkin planlamalar, üretim planlama ve kontrolüne ilişkin hiyerarşik sıralamada en alt seviyede yer almaktadır. Süreç akışının yardımıyla tatbik edilen bu üretim sistemi, uygulanacak çizelgeleme stratejilerinin seçimi üzerinde büyük etkiye sahiptir (Alkaner, 1998). Kısa vadeli üretim planlamalar genelde günlük, haftalık ya da aylık olabilmesine rağmen, 1 yıla kadar da çıkabilir (Türköz, 2001; Akıncı, 2008).

Orta Vadeli Üretim Planlama

Toplam üretim ya da üretim programı, üretim çıktısının zamanlama ve miktarının belirlenmesinde kullanılan, genellikle bir üretim devresini kapsayan, minimum maliyetle maksimum kapasiteyi hedefleyen, talep tahminleri ve satış bölümünden gelen isteklere göre hazırlanan planlama çeşididir. Dönemsel olabileceği gibi, 1 yıldan 5 yıla kadar uygulanmaları mümkündür. Detaylı kapasite ve malzeme ihtiyaç planlamasının bir ön süreci olması sebebiyle bu süreçte birçok planlama metodu uygulanmaktadır (Akıncı, 2008; Alkaner, 1998; Türköz, 2001).

Uzun Vadeli Üretim Planlama

Gelecekte teknolojiye meydana gelebilecek değişiklikler ile fiyat, kalite ve maliyetlerde oluşabilecek değişikliklerin göz önüne alınarak yapıldığı planlamalardır. Genelde 5 yıldan fazla bir süreç için yapılan bu planlama türünün, yaklaşık olarak 10-15 yıllık periyodu kapsadığı söylenebilir (Akıncı, 2008). Bina inşaatı, sermaye mallarının satın alınması ve üretimle ilgili araştırma geliştirme gibi alanlarda genelde bu planlama çeşidi kullanılmaktadır (Türköz, 2001).

2.1.2. Malzeme İhtiyaç Planlaması

Malzeme İhtiyaç Planlaması'nı (*MRP I: Material Requirements Planning*); nihai ürüne yönelik olarak hazırlanmış olan ana üretim çizelgesinin ürün ağacı vasıtasıyla gerekli olan parça ve malzeme çizelgesine çevirerek satın alma ve imalat emirlerine dönüştüren bir envanter yöntemi tekniği olarak tanımlanır, (Dülgerler, 2007). Aydoğan ve Asal (2009) ise, MRP'nin tanımını; belirli bir ürün veya ürün grubuna ait olan üretim planına göre ürünü meydana getiren malzemelere ayıran ve böylelikle üretim girdi miktarlarını belirleyerek işletmede sipariş ve kontrol imkânı tanıyan bir bilgi sistemi olarak tanımlar.

2.1.3. Üretim Kaynak Planlaması

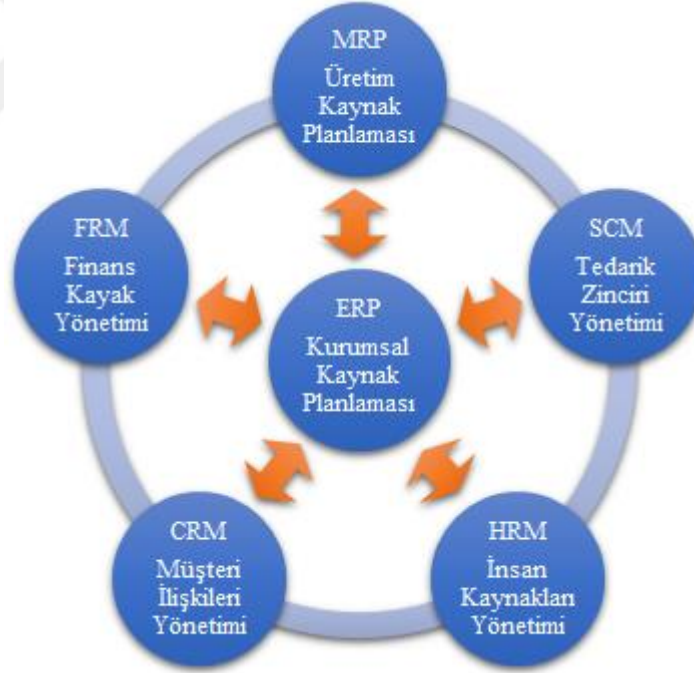
Üretim Kaynakları Planlaması (*MRP II: Manufacturing Resource Planning*); MRP I sistemindeki fonksiyonların temelinde; pazarlama, üretim, finans, muhasebe, mühendislik, tasarım, işgücü ve satınalma gibi üretimle ilgili olan ve üretimi etkileyen kaynakların birbiriyle entegre olarak etkin planlanması ve kontrolünü gerçekleştiren, bütünleşik veri tabanı uygulamasına sahip bir bilgi sistemidir (Dülgerler, 2007).

2.1.4. Kurumsal Kaynak Planlaması

Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP: Enterprise Resource Planning); MRP I ve MRP II sistemlerini kapsayan, ayrıca müşteri ilişkileri yönetimi ve tedarik zinciri yönetimi fonksiyonlarını da bünyesine katarak sadece üretim odaklı olarak değil, işletmedeki planlama, üretim, satınalma, satış, kalite, insan kaynakları, finans, muhasebe, maliyet ve diğer tüm iş süreçlerinin ortak bir veri tabanı altında toplayarak bütünleşik entegrasyonunu sağlayan, otomasyon alt yapısıyla bilgiye gerçek zamanlı erişim imkânı veren, hedefleri gözeterek işletmeye süreç bazlı bir bakış açısı ile yaklaşan bir bilgi sistemi ya da yazılım çözümü olarak tanımlanabilir (Koçak, 2007; Sağlam, 2008).

2.1.4.1. Tersanelerde Kurumsal Kaynak Planlaması

Kurumsal Kaynak Planlamasının temel kapsamındaki işletme fonksiyonları bir tersane için dikkate alındığında Şekil 2.1'deki gibi standart olduğu ve Hyundai tersanesinde kullanılmaktadır. İleri üretim ve kontrol teknolojilerin kullanılması ile gemi inşaatının üretim ve esnekliğinin arttırılmasına hızlandırılabilir. Gemi inşa üretimi çok kompleks bir yapıdır. Çünkü pek çok çeşit gemi, çok fazla farklı parçalardan ve alt sistemlerden oluşmaktadır. Bunun yanında kısıtlı tersane sahası, tedarik zinciri ve üretim planlamadaki doğruluk verimlilik artışı için imkân sunmaktadır. Gemi inşadaki üretim planlama ve kontrol dikkate değer bir şekilde günümüzde ilerlemiş bulunmaktadır. Günümüzdeki tersanelerin çoğunluğunda, Üretim Kaynak Planlaması (MRP), Finans Kaynak Yönetimi (FRM), Müşteri İlişkileri Yönetimi (CRM), İnsan Kaynakları Yönetimi (HRM) ve Tedarik Zinciri Yönetimi (SCM) sistemlerini içeren yapı olan Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) kullanılmaktadır, (Min, 2008).



Şekil 2.1: Tersanede kurumsal kaynak planlama sistemi.

2.1.5. Proje Yönetimi

2.1.5.1. Proje Kavramı

Proje kavramının çok değişik şekillerde tanımını yapmak mümkündür. Çok geniş anlamda proje önceden tespit edilmiş spesifik amaçlara ulaşmak üzere, kaynakların nasıl kullanılacağı gösteren çalışmadır. PMI (Project Management Institute), projeyi, “Benzersiz ve tek olan bir ürün, hizmet veya sonuç üretebilmek için düzenlenmiş geçici bir faaliyet” olarak tanımlamaktadır (PMBOK, 2013).

- Yeni bir ürün veya servis geliştirme, gemi inşaatı
- Organizasyon yapısında köklü bir değişiklik yapmak,
- Yeni bir taşıma aracı geliştirmek,
- Politik bir kuruluş için bir kampanya oluşturmak,
- Yeni bir iş prosedürü ya da prosesi geliştirmek,
- Bir ERP paketinin bir şirkete entegre edilmesi birer projedir.

Proje Yönetimi Enstitüsü (PMI) proje yönetimini şöyle tanımlamaktadır: Proje yönetimi bilgi, beceri, araçlar ve tekniklerin proje amacını gerçekleştirmek için uygulanmasıdır.

Proje yönetimi, detayda bu noktaları içine almalıdır: Projede amaçlara istenen maliyet, zaman performansta ulaşmaktır. Her proje tektir. Her projede çeşitli problem ve risklerle karşılaşılır. Projeler istenen amaçlara ulaşılan kadar yapılan geçici faaliyetlerdir. Projeler, proje yaşam eğrisini oluşturan amaca ulaşmak için yapılır ve çeşitli fazlardan oluşurlar.

PMBOK, proje yönetimi alanlarını aşağıdaki Şekil 2.2’de kategorize etmişlerdir, (Duncan, 1996).

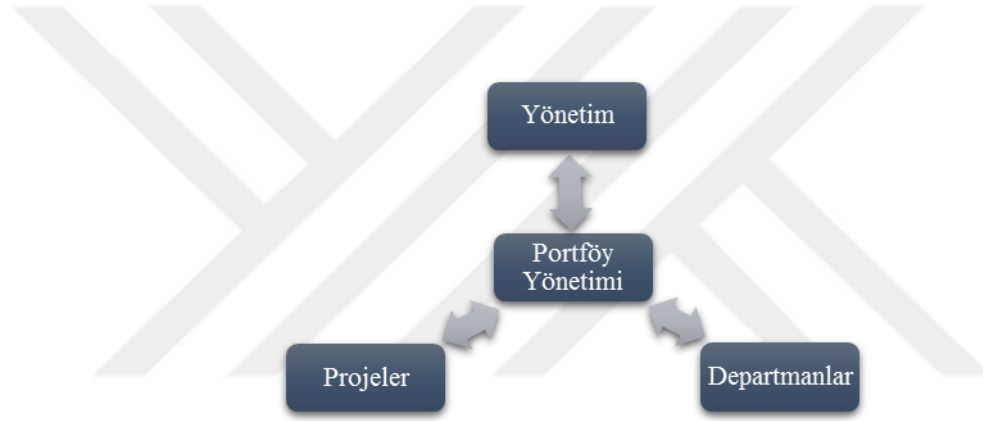


Şekil 2.2: Proje yönetim alanları (Duncan, 1996).

2.1.5.2. Tersanelerde Proje Yönetimi ve Organizasyonel Yapı

Organizasyon ve planlama, birbirine oldukça yakın kavramlardır. Organizasyonun etkin ve verimli planlama yapmaya uygun yapıda olması önemlidir. Bu sebeple organizasyonel planlama; tersanelerde planlama sürecinin iyileştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Birçok tersane, yeni gelen bir siparişe “proje” gözüyle bakmaktadır. Gemi inşa sanayinde yaygın olan geleneksel matriks yapıda, projenin başarıya ulaşmasında proje organizasyon yönetimi sorumlu görülür. İşin gerçekleştirilmesi için gereken kaynakları departmanlar dağıtır. Tersanenin genel

yönetimi, esasen satın alma, organizasyonel süreçleri yönetme ve kolaylaştırma gibi işleri üstlenirler. Bu tür bir organizasyonel yapıda, üretim organizasyonu ve proje organizasyonunda karmaşa yaşanması oldukça muhtemeldir. Üretim organizasyonunda, yönetim kararları kapasitenin aşılması ya da kapasitenin çok altında kalınması gibi konulara odaklıdır. Proje organizasyonundaysa, yönetim kararları projenin verilen bütçe ve zaman sınırları içinde gerçekleştirilebilmesi üzerine yoğunlaşır. Çoklu proje durumlarında çakışmalar yaşandığı gibi, geç fark edilerek daha da karmaşıklaşmasının önüne geçilemeyebilir. Bazı durumlarda, proje ve kaynak/departman müdürlerinin kişisel başarıları için durumu kolaylaştırmadıkları gibi körüklemeye çalıştıklarına da rastlanmaktadır. Geleneksel organizasyonel yapısında bunun önüne geçilmesi için bir ara kademe bulunmamaktadır, (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Geleneksel ana organizasyon yapısı (Dijk ve diğ., 2002).

Tüm projeleri ve tüm kaynakları/departmanları kapsayan bir koordinasyon mekanizmasının olmayışı, bu yapıda sıklıkla yazılı olarak yapılmayan, dolayısıyla işleyişte kayıtlara geçmeyen ikili görüşmelere neden olmakta; etkin ve verimli bir kapasite kullanımını engellemektedir (Dijk ve diğ., 2002).

2.1.6. Kapasite Planlaması

Kapasite; bir sistemin bir işi yapabileceği en iyi değerdir (Eraslan, 2009). Bir işletmenin verimliliğinin artırılmasında en önemli faktörlerin başında gelen kapasite planlaması (Dijk ve diğ., 2002); firmanın üretim faaliyetlerini gerçekleştirmek üzere gerekli insan, makine ve fiziksel kaynakları belirlemek (Eraslan, 2009) gibi ana üretim çizelgesinin realizasyonunu sağlamak için yapılan bir faaliyettir (Koçak, 2007).

Atölyeye iş emirleri gönderilmeden önce, işletmede malzeme ihtiyaç planlarının uygulanması için gereken kapasitenin yeterli olup olmadığının ölçülmesi ve bu planların gerektirdiği kapasite ihtiyaçlarının belirlenmesi gerekir. Kapasite sınırlarının aşılmaması için ayrıntılı bir kapasite planlaması yapılması önemlidir. Çünkü kapasite yeterli ise, parça üretimlerini başlatacak iş emirleri oluşturulabilecek, yetersizse; rota geliştirme, fason üretim ya da fazla mesai gibi seçenekler için karar alınacak ya da kapasite veya ana üretim çizelgelemesinde değişiklik yapılması gerekecektir (Ağayev, 2007).

2.1.6.1. Kapasite Planlama Süreci

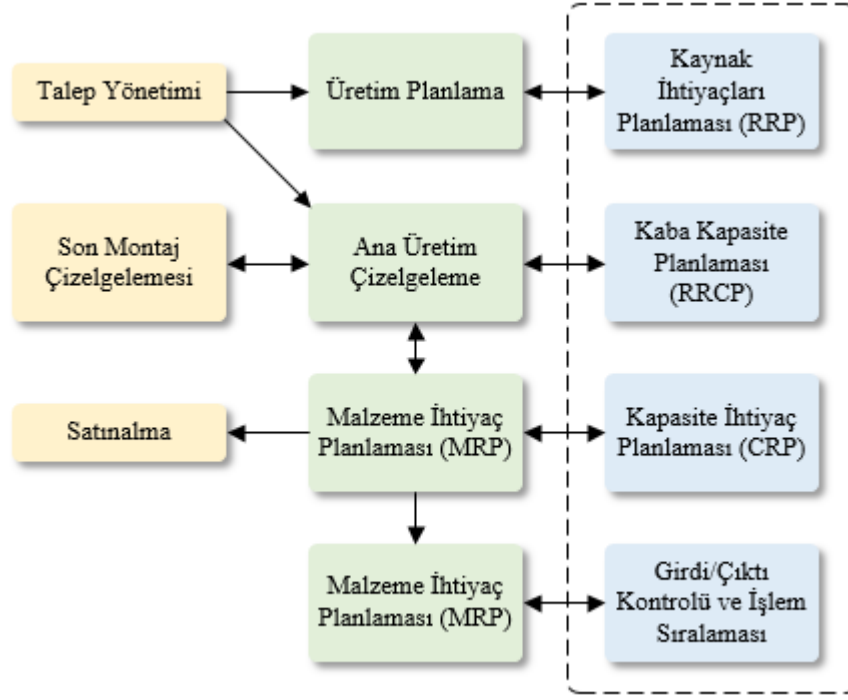
Kapasite planlama süreci; MRP çıktısının kapasite planıyla karşılaştırması, değişikliklerin önceden belirlenen sınırları aşp aşmadığının belirlenmesi ve üretim ihtiyaçlarıyla uyumlu olacak şekilde düzeltici faaliyetlerin yapılması gibi işlemlerden oluşan bir süreçtir. Üretim planlarının uygulanabilirliğinin kontrol edilebildiği bu süreç; önemli hataların öngörülmesi ve erkenden önlem alınabilmesini sağlar, (Eraslan, 2009).

İyi bir kapasite planlamasının; kapasiteyi üretim ihtiyaçlarıyla uyumlu hale getirmesi (Eraslan, 2009), ürüne yönelik talepteki değişikliklerin işletme üzerindeki olumsuz etkilerini azaltması beklenir, (Doğan, 2009). Kapasite planlaması sonucunda kapasitenin yetersiz olduğunun tespiti halinde; rota geliştirme, fason üretim veya fazla mesai gibi opsiyonların biri ya da birden fazlası işletme stratejisi çerçevesinde değerlendirmeye alınabilir. Bu uygulamalara rağmen talebin karşılanması mümkün görünmüyorsa, bu durumda ana üretim çizelgesinde değişikliğe gidilmesi ya da kapasite artırımı yapılması söz konusu olur, (Dayanç, 2011).

Kapasite planlamasının hiyerarşik yapısı üç aşamadan oluşmaktadır (Eraslan, 2009). Bunlar:

- Kaynak İhtiyaç Planlaması (RRP: Resource Requirement Planning)
- Kaba Kapasite Planlaması (RCCP: Rough Cut Capacity Planning)
- Kapasite İhtiyaç Planlaması (CRP: Capacity Requirements Planning)

Kapasite planlama aşamalarının diğer fonksiyon ve planlarla ilişkisi Şekil 2.4’de görülmektedir.



Şekil 2.4: Kapasite planlamanın diğer fonksiyonlarla ilişkisi (Eraslan, 2009).

2.1.7. İş Yükleme (İş Atama)

İşletmelerde verimliliğin en yüksek düzeye getirilmesi ve maliyet minimizasyonun sağlanmasında, “uygun işler için uygun işçilerin yüklenmesi” yani “iş yükleme (ya da iş atama)” problemi oldukça önemlidir. Bu çerçevede; işçilerin en kısa sürede, en az maliyetle ve en etkin şekilde hangi işlerde çalışacağını belirlenmesini sağlayan İş Yükleme, üretim planlamanın en önemli aşamalarından birini oluşturmaktadır, (Demirdöğen ve Güzel, 2009).

İş yükleme; bir üretim sisteminde, işlerin yapılacağı iş istasyonu, makine/tezgâh veya işi yapacak işçinin seçim işlemine denir. Bir diğer ifadeyle iş yükleme; işlerin hangi makine/tezgâhlarda, kimler tarafından yapılacağını belirlenmesi ve kesin olarak belirlenen işlerin mevcut kapasitelere dağıtım işlemidir, (Demirdöğen ve Güzel 2009).

2.2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde yapılan çalışmanın Kayak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Probleminin (KKPÇP) Genetik Algoritma ve Bulanık sürelerinin olduğu ortamda, gemi inşa sanayisinde uygulaması çerçevesinde dikkate alınmıştır. Bu sebeple gemi inşa sanayisindeki yapılan çalışmalar, KKPÇP, Genetik Algoritma KKPÇP üzerine yapılan çalışmalar ve Bulanık Mantık konusunda üyelik fonksiyonu belli olan bulanık sayıların durulaştırılması konusunda akademik çalışmalara değinilmiştir.

2.2.1. Gemi İnşa Üretim Planlaması İçin Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde gemi inşa sanayisinde yapılan çalışmalar dikkate alınmıştır.

Kao ve diğ. (1995) Çin'deki tersanelerin rekabet edebilmesi için yüksek işçilik girdileri ve teslim sürelerinin uzun olması problemlerinin çözümü için teknoloji ve yönetim olarak sınıflamıştır. Tersanenin küresel çapta rekabet edebilmesi için ileri teknoloji ile tasarlanması başlı başına yeter koşul olmayıp bunun yanında diğer süreçlerin yönetilmesi ve yönetsel desteklerin de olması gerektiğini önermiştir.

Cho ve Chung (1996) gemi blok montajında blok parçalarının yapısal bilgilerini ve geometrik ilişkisini otomatik bir proses planlama sistemi için vaka bazlı mantık ve kesme, bükme operasyon planının kural tabanlı mantığının yanı sıra kaynak işleme planını kullanarak geliştirilen blok yapısı için Parça Montaj Grafiği olarak adlandırılan semantik bir ağ türü temsil sistemi geliştirilmiştir.

Lee ve diğ. (1997) operasyon yönetimi, yapay zekâ, uzman sistemler, operasyonel araştırma, bilgi teknolojisi ve organizasyonel öğrenme sistemlerini kapsayan gemi üretim sürecinde planlama ve çizelgeleme konusunda çalışma yapmıştır. Çizelgeleme sürenin azaltılması, simülasyon ile en iyi çizelgelemenin seçimi, planlama süreçleri, grafik çıkışıyla görsel üretim yönetimi ve kontrol, üniversiteden sanayiye teknoloji transferi konusunda yenilikler getirmiştir.

Kim ve diğ. (2002) blok montaj prosesinde çizelgeleme probleminde, planlanamayan bloklarının sayısını en aza indirmek ve işgücü için iş yükünün dengelenmesi amaçlanarak, tüm değişkenlerin değerleri belirlenene kadar bir alt fonksiyonu yinelemeli olarak kullanılan Kısıtlar Memnuniyet Problemi tekniğine temelinde bir algoritma önerilmiştir.

Min (2008) yüksek verimlilik, küresel rekabet, gemilerin kalite ve emniyeti sağlamak için temel bir alan olan otomasyon teknolojisi G.Kore gemi inşa sanayisinde kilit bir rol oynadığını bunun için de Ar-Ge faaliyetlerine odaklanılması gerektiğini dile getirmiştir.

Hiekata ve diğ. (2010) gemi üretim sürecinde sistem kayıtlarını ve süreç ontolojisini kullanarak dizayn kalitesini arttırmak için bir bileşen çifti ve bir arıza özetlenerek istatistiksel analiz uygulanıp istatistiksel veriler ayrıntılı tasarım kalitesini artırmak ve tasarım bölümü için soyut bilgi olarak çıkarılan bir yöntem önermiştir.

Park ve Seo (2010) gemi üretiminde blokların stok istif sahasında tanımlanan düzlemsel depolama konumu atama sorununu çözümü için genetik algoritma tabanlı ve dinamik düzlemsel depolama konumu atama problemi için algoritmalar geliştirilmiştir.

Cha ve Roh (2010) gemi inşasında proses planlaması için simülasyon çerçevesinin kilit bir bileşeni olan bir simülasyon çekirdeği, birleştirilmiş kesikli olay ve ayrık zaman simülasyonu kavramına göre bir simülasyon modeli çalışılmıştır.

Soong ve diğ. (2011) gemi üretim yönetiminin stratejik yaklaşımı için sistem fonksiyonları, performans piramidi, değer ağacı ve kurumsal karne gibi işletme araçları aracılığıyla araştırılarak dijital tersane için stratejik KPI uygulaması araştırması yapılmıştır. Planlama ve çizelgeleme yönetimi, malzeme yönetimi, atölye yönetimi, üretim teknikleri yönetimi ve kalite yönetimi olarak sınıflandırılmıştır.

Formentini ve Romano (2011) gemi inşada çoklu proje ortamında bilgi aktarım uygulamalarının etkin bir şekilde nasıl destekleyebileceği amacıyla ampirik olarak geliştirilmiş, onaylanmış Değer Analizi tekniğine dayanan bir bilgi toplama ve aktarım modeli önerilmiştir.

Yu-Guang ve diğ. (2011) etkin üretim kontrolünü gerçekleştirmek için performans modellemesi temelinde gerçek zamanlı sevkiyat ve blok montaj sisteminin simülasyonun zamana bağlı renkli Petri Ağı yaklaşımı modeli üzerinde çalışılmıştır.

Özkök (2012) tersane üretim sisteminde üretilen çift taban bloğunun yapısı ve üretim sistemini oluşturan iş istasyonları tespit edilmiş, üretim sisteminin simülasyon modeli simülasyon yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Üretim sistemindeki çeşitli iş istasyonları için bazı makine arızaları oluşturularak arızanın sistem verimliliğine etkileri araştırılmıştır.

Masmoudi ve diğ. (2012) çoklu proje kaba-kesim kapasite planlamasındaki belirsizlikleri modellemek için bulanık ve stokastik kaba kapasite planlaması modellenmiş, simülasyonlu tavlama prosedürü uygulanmıştır ve deterministik algoritmalarla kıyaslanmıştır.

Liua (2012) gemi üretiminde çelik üretim atölyesinin optimizasyonu ve değerlendirmesi için planlı üretim akışı ve optimize edilmiş üretim kaynağı temel alınarak dijital atölye yerleşimi için gelişmiş bir genetik algoritma optimizasyon yöntemi önerilmiştir.

Jinsong ve diğ. (2013) gemi inşasında çizelgeleme problemi için Lagrange gevşetme yöntemi ile rahatlatılmış alt dereceli Lagrange dual problemini çözmek için kullanılmış ve sonuçlar sezgisel işlemle değiştirilmiş bir yöntem önerilmiş. Örnek ile makul süre ve hassasiyetle çözebildiğini gösterilmiştir.

Yuguang ve diğ. (2013) gemi blokların inşasında bulanık değerlendirme kuralı temel alınarak montaj ilişki matrisi oluşturulmuş ve montaj bloklarının bölünmesini analiz etmek için bulanık sentetik değerlendirme yöntemi kullanılmıştır.

Hwang ve diğ. (2014) mevcut elle işleme sürecinin analizi ile blok taslak kurallarını bir diyagramla temsil etme yöntemi önerilerek, blok atama sürecini otomatikleştiren bir blok tahsis programı geliştirilmiş ve blok atama planlamasının otomasyonunun mümkün olduğu gösterilmiştir.

Joo ve Kim (2014) gemi bloklarının tersaneler arasında taşınması sırasında üretim planlamaya göre zamanında teslim edilmesi konusunda çizelgeleme problemi, genetik algoritma temelinde meta-sezgisel algoritma olarak modellenmiş, daha optimal bir teslim süresi ve çözüm sunulmuştur.

Park ve diğ. (2014) gemi blok üretim prosesinde performans değerlendirmesi için, süreç madenciliği ve veri zarflama analizi entegre edilerek sistematik bir yaklaşım önerilmiştir.

Kwon ve Lee (2015) tersane montaj hatlarında üretilen büyük montaj blokları için mekânsal çizelgeleme problemini karma tam sayı programlama modeli ile formüle edilmiş ve iki aşamalı sezgisel algoritma, sevk öncelikli kurallar ve alt sol dolum alan tahsis yönteminin bir modifikasyonu olan çapraz dolum alanı tahsis yöntemini kullanılmıştır.

Back ve diğ. (2016) tersane üretim simülasyonu veri modeli, yinelemeli simülasyon modelleme prosedürü analizi ile tanımlanmıştır. Geçmişteki simülasyon modellerine göre bu model ile modelleme süresinin önemli ölçüde kısalmıştır.

Yuguang ve diğ. (2016) gemi üretim montaj hattında katmanlı optimizasyon temelli genetik algoritma tabanlı ayrık parçacık sürüşü optimizasyonu algoritması geliştirilmiştir.

Wang ve diğ. (2016) gemi blok üretiminde hibrit olmayan akış hat çizelgesi temelinde, belirsiz faktör gerçek bir ortamda analiz edilerek ve her alt zamanlama problemi için doğrusal olmayan, teori ve uygulama arasındaki farkı azaltmak için, dönme ufku ve yeni zamanlama yöntemlerini içeren bir tamsayı programlama modeli önerilmiştir.

Dong ve diğ. (2016) gemi bakım ve inşa kapsamında, süre ve maliyet kısıtı çerçevesinde verimlilik ve zaman kazanmak için esnek iki kademeli kuyruk modeli geliştirilerek optimal dinamik kontrol politikası ve optimum maliyet sağlayabilen Markov Karar Süreçleri kullanılarak modellenmiştir. Karmaşıklığından dolayı statik bir modele Ortalama Değer Analizi ile dönüştürülmüştür.

Mei ve diğ. (2016) aynı türde en çok üretim yapan esnek ara ürün üretimindeki karmaşık faktörlerden etkilenen üretim süreçlerini değerlendirmek için bir etki faktörü sistemi oluşturularak öznel ve objektif ağırlıkları, Entropi ve Analitik Ağ Süreci temelinde birleştiren çok yönlü bir optimizasyon işleminden uzak ve üretim planı optimizasyonunda Analitik Ağ Süreci'ne dayanan bulanık kapsamlı değerlendirme kullanan yöntem sunulmuştur.

2.2.2. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (KKPÇP) ile İlgili Çalışmalar

Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Probleminin (*RCPSP – Resource Constrained Project Scheduling Problem*) yapısı dikkate alındığında gemi inşa sanayisine uyarlı çalışmalar pek gözükmemekte ve diğer alanlarda yapılan Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgelemesi Problemi çalışmaları dikkate alınmıştır.

Kolisch (1995) KKPÇ Problemleri için bir algoritma olan ProGen geliştirilmiş ve bu algoritma ile öncelik kuralı metoduna göre problemi çözerek, Kolisch ve Sprecher (1996) diğer araştırmacılarında çözüm algoritmalarının kıyaslanması amacıyla PSPLib Proje Çizelgeleme Kütüphanesi oluşturulmuştur.

Ulusoy ve Özdamar (1996) kaynak kısıtı kapsamında etkileşimli bir proje zamanlama sistemi için Yerel Kısıtlamaya Dayalı Analiz adı verilen ve daha önce test edilmiş ve proje süresinin en aza indirgenmesinin kriterine yakın optimal sonuçların üretildiği gösterilen, kısıt tabanlı bir zamanlama algoritması geliştirilmiştir. Özdamar ve Ulusoy (1996) ileriye yönelik çizelgeleme geçişi ile elde edilen proje süresini iyileştiren ardışık ileri/geri planlama geçişlerini yapan yinelemeli zamanlama algoritması önerilmiştir. Yerel Kısıtlamaya Dayalı Analiz'deki ideal süreden ortalama proje süresi sapmasının algoritma kullanılarak % 1 olduğu gözlemlenmiştir.

Boctor (1996) çalışmada çok modlu KKPÇ Probleminde 7 faaliyet ve 3 mod seçilerek oluşturulan kombinasyonda oluşturulmuş 21 sezgisel metotla rastsal 240 problem oluşturularak çalışılmıştır. Afshar-Nadjafi ve diğ. (2013) alt faaliyetlerinin kaynak kullanıma bağlı olarak ayrılmış kümeler oluşturularak ve bu kümelerdeki elemanların yine aynı modda kullanılmasıyla çözüm amaçlanmıştır.

Sprecher ve Drexler (1998) çok modlu KKPÇ Probleminin çözümü için dal ve sınır algoritması ve paralel bir çizelgeleme algoritması geliştirilmiştir. Reyck ve Herroelen (1998) KKPÇ Probleminde proje faaliyetlerinin arasındaki maksimum ve minimum gecikme süreleriyle oluşan ve güncellenerek faaliyet öncelik KKPÇ Probleminin dal ve sınır algoritması geliştirilmiştir.

Schirmer (1998) KKPÇ Problemi için vaka temelli bir yaklaşım geliştirilerek algoritma PSPLib verileri çerçevesinde karşılaştırma yaparak değerlendirilmiştir.

Hartmann ve Kolisch (2000) KKPÇP için sezgisel algoritmaların yanı sıra öncelik kurallarına dayanan X-Pass yöntemlerini simüle tavlama yaklaşımı ile ilgili bir metot önerilmiştir.

Brucker ve Knust (2000) KKPÇ probleminde işgücü kaynağının minimizasyonu için kısıtlama yayılımına ve doğrusal programlamaya dayalı kaynak sınırlamalı proje çizelgeleme problemi için yeni bir alt sınır geliştirilmiştir.

Abbasi ve diğ. (2006) KKPÇ probleminde işgücü kaynağını en aza indirgeyecek ve zamanlamayı daha güvenilir hale getirmek için zaman maksimizasyonu temelinde bir çözüm elde etmek için simüle tavlama algoritması önerilmiştir.

Shadrokh ve Kianfar (2007) KKPÇ problem kategorisinden kaynak yatırımı problemi konusunda, kaynak kapasitesi ve projenin tamamlanma süresi maliyeti temel alınarak minimum olması amaçlanan yöntem geliştirmiştir.

Homberger (2007) Kaynak Kısıtlı Çoklu Proje Çizelgeleme problemi için çoklu ajan yöntemi ile yeniden başlatma evrim metodu kullanılarak iki algoritma yöntemi önerilmiştir. Adhau ve diğ. (2012) kaynak kesişimlerinin önüne geçmek ve problemin optimal bir çözüm kümesi oluşturması için açık arttırma yöntemine temelinde müzakere kullanılarak dağıtımı yapılmış çoklu ajan metodu önerilmiştir. Adhau ve diğ. (2013) daha önce yapılmış olan metotlarla olan mukayese yapılabilmesi için kaynak taşıma maliyeti ve zamanı dikkate alınmayarak hesaplanmıştır.

Le (2008) KKPÇP problemlerinde kullanılan kaynakların projeler arasında transferi için kaybedilen süreleri de kapsayarak, kaynak transfer zamanının asgari düzeyde çalışacak bir algoritma metodu önerilmiştir.

Beşikçi ve diğ. (2012) çok modlu kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgeleme ve kaynak kullanımı problemi temelinde, ilk aşamada projelerin kaynaklara paylaştırılarak ikinci aşama kaynakların paylaşım histogramı genetik algoritma ile çözülen iki aşamadan oluşan bir genetik algoritma önerilmiştir.

2.2.3. Genetik Algoritma Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi ile İlgili Çalışmalar

Genetik Algoritma Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemin (*GA RCPSP – Genetic Algorithm Resource Constrained Project Scheduling Problem*) yapısı dikkate alındığında gemi inşa sanayisine uyarlı çalışmalar pek gözükmemekte ve diğer alanlarda yapılan Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Probleminin Genetik Algoritma ile çözümü değerlendirilecektir.

Sprecher ve diğ. (1995) KKPC problemlerinde yarı aktif, aktif ve gecikmenin olmadığı çizelgeler için genetik algoritma önerilmiştir.

Hartmann (1998) KKPC problemi çözümü için probleme özgü bilgiyi içeren permütasyon tabanlı, öncelik değeri temelli ve öncelik kuralına dayalı bir genetik algoritmayı modeli önermiştir.

Hartmann (2001) çok modlu KKPC probleminde en önemli şey problemin gösterilmesi öneminin yerel arama kavramlarıyla genişletilmesi düşüncesi temelinde iki yerel aramayı içeren ve daha efektif sonuçların alındığı bir genetik algoritma önermiştir.

Alcaraz ve Maroto (2001) tek modlu KKPC problemi için standart etkinlik listesi sunumuna dayanan, çaprazlama teknikleri ve iyi performans gösteren iki noktalı geçit ile bir genetik algoritma önerilmiştir.

Hartmann (2002)) KKPC probleminde kaynak dengelemenin minimum olması amacıyla kısa sürede optimal sonuçlar veren kendini uyarlayan genetik algoritma geliştirilmiştir.

Toklu (2002) KKPC problemi için, doğrudan çizelgeleme üzerinde çalışan bir genetik algoritma geliştirilmiştir.

Kim ve diğ. (2003) KKPC problemini çözmek için bulanık mantık denetleyicisi ile hibrit genetik algoritma geliştirilmiştir.

Hindi ve diğ. (2002) faaliyet listesi gösterimi ilgili düzen koruma çapraz stratejisine ve ilk popülasyon rastgele bir mekanizma ile üretilen dayanan bir genetik algoritma önerilmiştir.

Coelho ve Tavares (2003) KKPC problemi için, baba ve annedeki sıranın tersinde olan her bitişik çifti değiştirerek geç katılım fonksiyonu geçişi adlı faaliyet gösterimini kullanılarak yeni bir çapraz operatör ile genetik algoritma önerilmiştir.

Valls ve diğ. (2004) KKPC problemi için, faaliyet listelerini bir araya getirirken çizelgelemenin özelliklerini kullanan tepe bir geçit operatörü geliştirilen hibrit genetik algoritma önerilmiştir.

Tseng, ve Chen (2006) KKPC problemi için Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Genetik Algoritmayı ve Yerel Arama stratejisini birleştiren hibrit meta sezgisel bir model önerilmiştir.

Ranjbar ve Kianfar (2007) KKPC probleminde proje süresini en aza indirmek için her etkinliği kendi modlarından birinde zamanlayan, kaynak kullanım oranına dayalı ve yerel bir arama metodunun dahil edildiği bir genetik algoritma önerilmiştir.

Franco ve diğ. (2007) KKPCP probleminde kaynak miktarının minimizasyonu amacıyla nesne yönelimli programlamanın kullanılması kromozomların ve nesiller üzerinde manipülasyonu kolaylaştıran, iki noktalı çaprazlama ile daha uzun hesaplama süreleri olmasına karşın daha iyi sonuç veren bir genetik algoritma geliştirmiştir.

Valls ve diğ. (2008) KKPC problemine özgü geçit operatörü ile üretilen tüm çizelgelere uygulanan bir yerel iyileştirme operatörü, seçilimin yeni bir yolu ve ikinci aşamada birinci aşamada bulunan en iyi zamanlamanın bir komşusunun evrimini yeniden başlatan iki fazlı strateji içeren hibrit genetik algoritma önerilmiştir.

Magalhaes-Mendes (2008) KKPC probleminde genetik operatörler rasgele sayı üretme, kromozom kopyalama ve kısmi kromozom değiş tokuşu içeren çizelgeler, önceliklerin genetik algoritma tarafından tanımlandığı öncelik kuralı kullanılarak algoritma önerilmiştir.

Goncalves ve diğ. (2008) çoklu projelerde KKPC problemi için önceliklere, gecikme zamanları ve teslim sürelerine dayalı etkin zaman çizelgeleri üreten genetik algoritma önerilmiştir.

Long ve Ohsato (2007) KKPC probleminde proje süresinin minimum olması için bulanık süre ortamında genetik algoritma önerilmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır.

Chang ve diğ. (2008) KKPC probleminde simülasyon sonuçlarının genetik algoritma ile kaynak ve efort temelli modelin daha gerçekçi koşullar altında karar desteği verirken yeteneğini geliştirdiğini göstermektedir.

Van Peteghem ve Vanhoucke (2008; 2010) ÇMKKPC problemi için biri sola yaslanmış zaman çizelgeleriyle diğeri sağa yaslanmış programlarla iki popülasyon kullanılan, aktivitenin bitiş süresini en aza indirgeyen ve mod seçimini geliştiren bir genetik algoritma önerilmiştir.

Montoya-Torres ve diğ. (2009) KKPC probleminde proje zamanlama sorunu, karar destek sistemlerinin tasarımı ve en yaygın dillerin programlama özelliklerinden yararlanmak için çoklu dizi nesne yönelimli bir genetik algoritma modeli kullanarak kromozomların alternatif sunumu önerilmiştir.

Tseng ve Chen (2009) ÇMKKPC problemi için iki fazlı genetik yerel arama algoritmasını önerilmiştir.

Agarwal ve diğ. (2011) KKPC problemi için hibrit bir model olan global arama için Genetik Algoritma tekrarlamaları ve Yerel Arama için Sinir Ağları yinelemeleri üzerine dayan hibrit Nöro Genetik yaklaşım önerilmiştir.

Magalhaes-Mendes (2011) ÇMKKPC probleminde proje süresinin minimum olması için rasgele sayı üretme temelinde yeni kromozom popülasyonları oluşturan, kromozom kopyalama ve kısmi kromozom alışverişi içeren buluşsal yöntemle öncelikler kullanılarak oluşturulmuş iki seviyeli bir genetik algoritma önerilmiştir.

Khanzadi ve diğ. (2011) KKPC Problemi için kromozomun gösterimi, çaprazlama, mutasyon operatörünü öncelik ve kaynak kısıtlamalarına uyacak şekilde temsil eden büyük ölçekli projelerde için genetik algoritma önerilmiştir.

Palencia ve diğ. (2012) otobüs montaj hattına uyarlanan KKPC problemi genetik algoritma yaklaşımıyla çözülerek zamanında teslim oranı %30 artmıştır.

Ponz-Tienda ve diğ. (2012) adapte genetik algoritma önerilen KKPCP'de sunulan yöntem PSPLib'de karşılaştırmalarında etkin bir algoritma olduğu görülmüştür.

Shi-Man (2012) çok modlu KKPC problemi için Etkinlik Kaynak Rekabet İlişkisi tarafından, ilk katmanda kromozomlar aktivite sırasını seçmek ve ikinci katmanda kromozomlar aktivite modlarının kombinasyonuna karar vermek için hiyerarşik kodlamalı genetik algoritma önerilmiştir.

Madan ve Madan (2013) KKPC probleminin çözümünde zaman maliyet temelli bir yaklaşımla genetik algoritma önerilmiştir.

Afshar-Nadjafi ve diğ. (2013) KKPC probleminde proje süresini en aza indirmek amacıyla geçmişteki çözümlerden elde edilen bilgileri kaydeden bir bellek vektörü tanımlanarak daha iyi bir alt küme modu seçmek için akıllı bir yerel arama ile donatılmış bir genetik algoritma önerilmiştir.

Devikamalam ve Jane (2013) KKPC problemi genetik algoritma kullanılarak, kaynak dağılımı optimizasyonu sağlanarak maliyetin azalmasını sağlamıştır.

Ouerfelli ve Dammak (2013) KKPC probleminde için yakınsak optimal sezgisel çözümleri sağlayabilen, İki Nokta Geçişli Genetik Algoritma önerilmiş PSPLib'deki karşılaştırmalar sonucu iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.

Kim (2013) KKPC probleminde benzersiz zamanlama yöntemini ile iterasyon yönteminin kullanılması önerilen Elitist Genetik Algoritmadan elde edilenlerden % 10 daha fazla optimum değer sağladığı görülmüştür.

Tasan ve Gen (2013) KKÇPÇ problemlerinde, genetik arama süreci boyunca genetik parametrelerin düzenlenmesi için bulanık mantık kontrol tabanlı otomatik ayarlama stratejisi kullanan genetik algoritma önerilmiştir.

Masmoudi ve diğ. (2013) projelerde belirsizliğin olduğu ortamlarda, bulanık yamuk süre ortamında KKÇPÇ problemleri için diğer yöntemlere nazaran karmaşık bir genetik algoritma önerilmiştir.

Huang (2013) KKÇPÇ problemlerinde faaliyet sürelerinin bulanık kümeler halinde temsil edildiği bulanık süreye dayalı simülasyon ve genetik optimizasyon mekanizmalarını bir araya getiren bir proje çizelgeleme problemi tanımlanmıştır.

Aziz (2013) KKÇPÇ’de proje süresinin minimizasyonu, net bugünkü değerin maksimizasyonu temelindeki uygulamasında genetik algoritma ile optimal çözüm sağlanmıştır.

Cheng ve diğ. (2014) KKÇPÇ problemi, bulanık kümeleme yöntemi ve Diferansiyel Evrim algoritması ile problemin çözümü gerçekleştirilmiştir.

Trautmann ve Gnagi (2015) KKÇPÇ problemi çözümü için seri çizelge şeması üretilmesi temelinde optimal çözüm amaçlayan bir genetik algoritma önerilmiştir.

Kaiafa ve Chassiakos (2015) toplam maliyetin en aza indirilmesi, proje bitirme süresinin aşılmaması, kaynak dağılımının izlenmesi amaç temelinde, yeterli ve dengeli çözümler sağlayabileceğini bir genetik algoritma önerilmiştir.

Sawant (2016) KKÇPÇ probleminde kaynak miktarının minimizasyonu amacıyla geliştirilen genetik algoritma, her bir problem için 10 adet her hangi bir tercih yapılabilecek çözüm üretilmiştir. Zhang ve diğ. (2008) yine aynı problemde problemin amaç fonksiyonun işgücünün minimizasyonu temelinde çözmüş ve sonuçları PSPLIB ile yapılan karşılaştırmalar ile efektif bir sonuç elde etmiştir.

2.2.4. Bulanık Mantık ile ilgili Yapılan Çalışmalar

Genel olarak Bulanık sayıların sıralanması ve ağırlık merkezi yöntemi konularında yapılan çalışmalar ile Bulanık mantık ile durulaştırma ve proje programlamada yapılan çalışmalar irdelenmiştir.

Liou ve Wang (1992) bulanık sayıları integral değeri ile sıralamak için üyelik işlevlerinin türüne ve işlevlerin normallğine bağımlı olmayan ve birden fazla bulanık sayıyı aynı anda sıralayabilen bir yöntem önerilmiştir. Ayrıca, karar vericinin iyimser tutumunu yansıtmak için iyimserlik endeksi kullanılmıştır.

Hapke, ve Slowinski (1996) KKPC problemlerini bulanık zaman parametreleri ile çözmek amaçlı bilinen öncelikli listeler oluşturmak için bulanık bir düzen prosedürü önerilmiştir.

Runkler (1997) uygun bir durulaştırma yöntemini seçmek için yapılan geleneksel deneme yanılma yaklaşımının aksine, burada sunulan metodoloji, bulanık kural tabanlı gelişmiş sistemlerin sistematik tasarımı için önemli ve kullanışlı bir yardımcı olduğu önerilmiştir.

Cheng (1998) bulanık sayıları mesafe metoduna göre sıralamak için merkez noktasına olan uzaklığın merkezi noktayı hesaplamasına dayanan, LR tipi bulanık sayıların ters fonksiyonlarından entegre edilerek, bulanık bir ortamda sıralama fonksiyonu kullanılan bir yöntem önerilmiştir.

Kuchta (2001) projenin, kritik olmayan faaliyetler ve kritik faaliyetlerin belirlenmesinde bulanık kümeleri kullanılarak bir algoritma önerilmiştir.

Leu ve diğ. (2001) bulanık kümeler ile faaliyet sürelerinin belirsizliklerinin modellemek için maliyet-zaman açısından ele alınan genetik algoritma tabanlı bir algoritma önerilmiştir.

Wang (2004) belirsiz ürün geliştirme projeleri için bulanık küme teorisine dayalı çizelgeleme problemini çözmek için bir genetik algoritma yaklaşımı geliştirilmiştir.

Zieliński (2004) proje şebekelerindeki en erken başlangıç zamanlarının ve bolluklarının olası sürelerinin aralıklarının bulanık sayılarla temsil edilen sürelerde hesaplanmasının sorunlarını

ele alarak genel şebekelerde en erken başlangıç zaman aralıklarını belirlemek için yeni polinom algoritmaları önerilmiştir.

Zare ve diğ. (2006) her faaliyetin başlangıç zamanı parametreleri, süresi, üretim ağındaki döngüler sayısı üçgen bulanık sayı olarak ve üretim planlamasının sonuçları bulanık kümeler olarak tanımlanarak belirsizlik koşulları altında sipariş üretim planlaması için pratik ve uygun bir algoritma önerilmiştir

Wang ve diğ. (2006), Cheng (1998) tarafından centroid yöntemindeki formüllerin yanlış gösterilmiş olduğu ve olası yanlış uygulamalardan kaçınmak, yeni yamuk ve üçgen bulanık sayıları için basitleştirilmiş doğru centroid formüller önerilmiştir.

Garcia ve Lamata (2007) bulanık sayıları sıralanması amacıyla Liou ve Wang endeksinin bir uzantısı olan integral değeri ile bulanık sayıların sıralanması için bir yaklaşım sunulmaktadır.

Wang (2009) en yaygın olarak kullanılan centroid bulanıklaştırma yaklaşımının uzantıları ve alfa düzey kümelerine küçültme kümesi ile küçültme kümesi yöntemi kullanılmıştır.

Zammori ve diğ. (2009) karmaşık proje ağlarındaki kritik yolun belirlenmesi konusunda, proje planlama yaklaşımlarının yeteneklerini genişletmek için bulanık mantık ve çok kriterli karar verme tekniklerini birleştiren elde edilen kritik yolu tanımlamak için TOPSIS önerilmiştir.

Bhaskar ve diğ. (2011) bulanık etkinlik süreleri KKPC probleminde paralel çizelgeleme şeması oluşturma için öncelik kuralına dayanan sezgisel bir yöntem önerilmiştir.

Zareei ve diğ. (2011) Proje çizelgeleme probleminde faaliyet süresi LR bulanık sayıya yaklaşımı temelinde, çözüm metodolojisi doğrusal programlama formülasyonu ve Zadeh'nin uzatma ilkesinin bir kombinasyonunu uygulanmıştır

Saneifard ve Saneifard (2011) bulanık sayıların centroid noktasına dayalı olarak sıralanması için bulanık sayıların yeni ölçümü kullanılarak durulaştırma problemine yeni bir yaklaşım önerilmiş ve arzu edilen özelliklerin bir kısmı incelenmiştir.

Allahviranloo ve Saneifard (2012) bulanık sayıları etkili bir şekilde sıralamak için bulanık sayıların merkezi noktalarını ve maksimum gevrek değerini bulanık sayıları sıralayacak bir yöntem önerilmektedir.

Thorani ve diğ. (2012) yaygın yamuk bulanık sayıların alan, mod, eğrileri ve ağırlıkları temel alınarak bulanık sayıların sıralanması için yamuk şeklinde olduğu kadar üçgen bulanık sayıları ve görüntülerini de sıralayan bir metodu önermektedir.

Ebadi ve diğ. (2013) tüm yamuk bulanık sayıların alanı için merkez nokta ve yamuk şeklinde bulanık sayıların sol/sağ yayılımını kullanarak yeni bir mesafe ölçümü önerilmiştir.

Lazim ve Azman (2015) ağırlık merkezci elde etmek için sadece merkez çemberleri üzerinde değil, aynı zamanda yamuk şeklinde bulanık sayıların mesafeleri, yayılımı ve alanı da dikkate alan bulanık sayılarını hesaplamak için bir yöntem sunulmuştur.

Rezvani (2013) bulanık sayıları sıralamak için yamuk bulanık sayıları üç düzlem figürüne bölünüp, her bir düzlem figürünün ağırlık merkezlerini hesaplanıp, ağırlık merkezini takip edip ve ardından Öklid mesafesini bulan temelli bir yöntem önerilmiştir.

Yakhchali (2014) faaliyetlerin kritiklik olasılık derecelerini hesaplamak için bir şebeke yolu numaralandırma tekniğine dayanan ve faaliyetlere karşılık gelen kritiklik gerekliliği için maksimum ve minimum derecelerle hesaplanan bir algoritma önerilmiştir.

Yakhchali ve Ghodsypour (2010a; 2010b) erken başlama zamanlarının olası değerlerinin hesaplanması, şebekedeki faaliyetlerin bulanık etkinlik süreleri ile belirlenmesi için anlaşılması kolay ve karmaşıklığı gideren bir polinom algoritması önerilmiştir.

Huang ve diğ. (2013) faaliyet sürelerinin bulanık kümeler halinde temsil edildiği proje çizelgeleme problemi kaynak kısıt olamadan değerlendirilmiş ve dört yoldan katkı sunmuştur; tamamlanma süresini tahmin etmek için bir hesaplama formülü geliştirilmiştir, tamamlanma süresi sınırlarıyla toplam maliyeti en aza indirmeyi amaçlayan formüle edilmiştir,

uygulamada karşılaşılan farklı karar verme gereksinimlerini karşılamak için üç tür bulanık modeli oluşturulmuş, genetik operatörlerin ve genetik algoritmanın sayısal parametrelerinin etkisini araştırılmıştır.

Liang (2010) belirsiz ortamlarda birden fazla hedefle proje yönetimi karar problemlerini çözmek için iki aşamalı bir bulanık hedef programlama yöntemi geliştirmiştir.

Sadjadi ve diğ. (2012) karmaşık belirsizliğe sahip bir ortamda kritik yol problemi için ilk aşamada belirsiz model aralık parametreleri olan bir modele α kesme yöntemi ile dağılım fonksiyonu kavramlarına dönüştürülmüş ve ikinci aşamada aralık modeli sağlam bir optimizasyon min-max pişmanlık kriteri ile deterministik bir modele dönüştürülerek bir genetik algoritma uygulanmıştır.

Long ve Ohsato (2012) proje zamanlamasını yönetmek için bulanık kritik zincir yöntemi önerilmiştir.

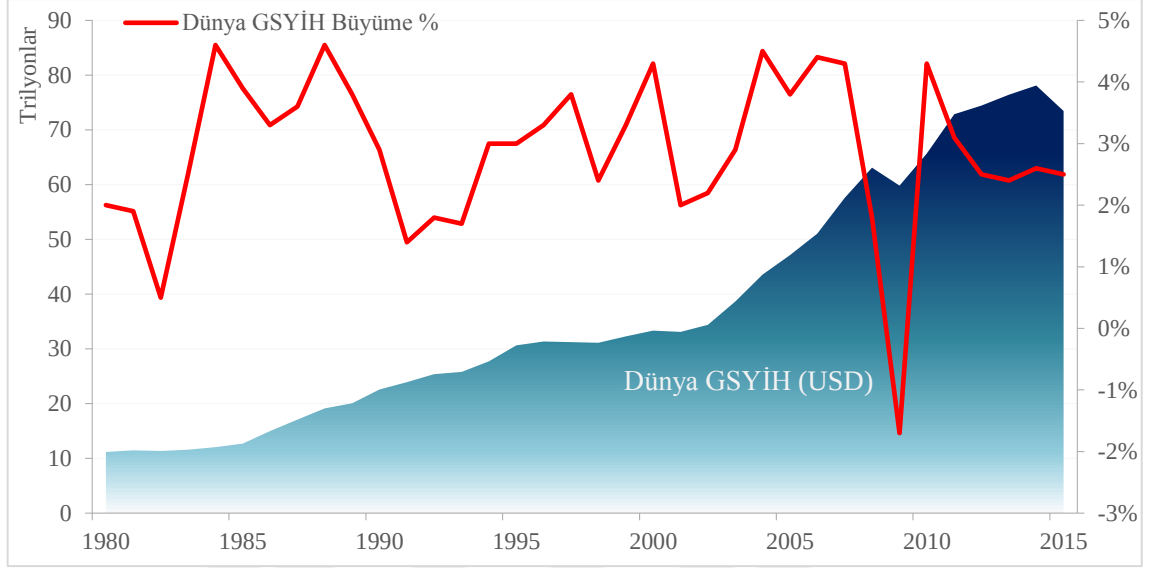
Çebi ve Otaç (2015) bulanık ortamda proje çizelgeleme problemi çözümünde, proje süresini ve maliyetini en aza indirmek için çok amaçlı bir doğrusal programlama modeli önerilmiştir.

Knyazeva ve diğ. (2015) KKPC probleminin bulanık bir kaynaktan kısıtlanmış proje çizelgeleme problemi için bulanık sezgisel öncelik algoritması önerilmiştir.

2.3. GEMİ İNŞA SANAYİSİ

Gemi inşa sanayinin yapısı ülkelerin ekonomik ve teknolojik gelişmeleriyle yakından bağlıdır. Denizyolu taşımacılığı karayolu taşımacılığına nazarınla yaklaşık olarak 6,5 kez, demiryolu taşımacılığına göre ise yaklaşık olarak 3,5 kez daha ucuzdur. Dolayısıyla, Dünya taşımacılık faaliyetlerinin %90'nına yakın bir oranda denizyolu taşımacılık ile yapılmaktadır. 2005 yılında yaklaşık 800 milyon DWT kapasitedeki dünya deniz ticareti filosuyla 300 milyar dolarlık ticaret yapılırken, 2014 yılında filo kapasitesi 1,68 milyar DWT'ye ulaşmış ve bu filoyla yapılan deniz ticareti de 400 milyar doları ulaşmıştır. Dolayısıyla, deniz taşımacılığı ile gemi inşa sanayi arasında yakın bir ilişki bulunmakta ve gemi inşa sanayi uluslararası rekabete açık bir piyasa olma niteliği taşımaktadır. Bu bağlamda, gemi inşa sanayindeki bütün kriterler, dünya rekabet

koşullarına göre ayarlanmak durumundadır, (DPT, 2006; Günay, 2002; T.C. Ulaştırma, Haberleşme ve Denizcilik Bakanlığı, 2017; UNCTAD, 2014).

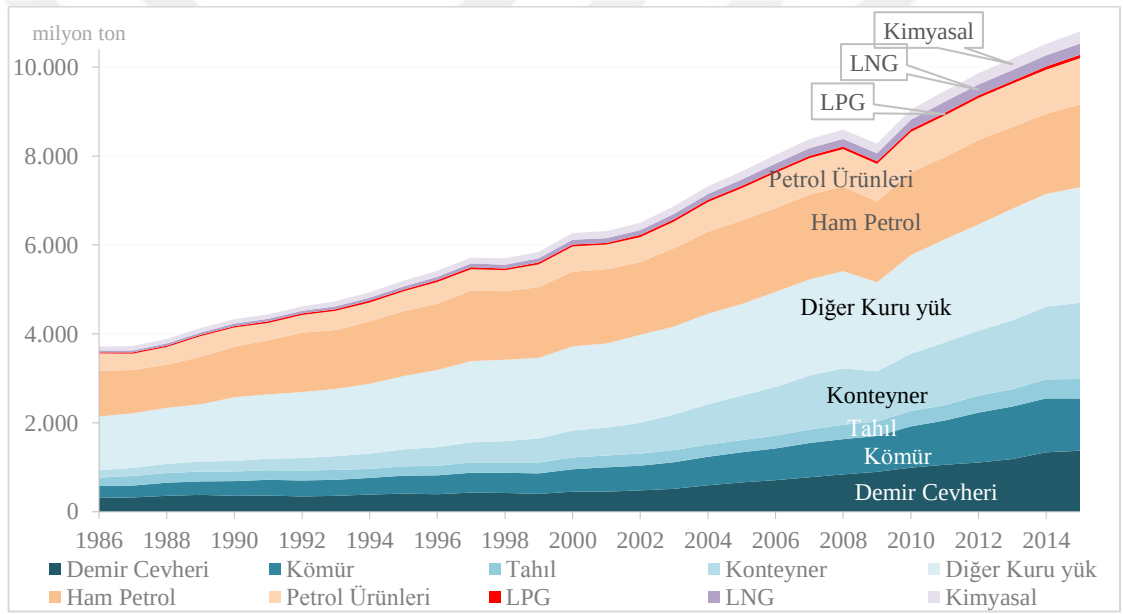


Şekil 2.5: 1980-2015 yılları arası Dünya GSYİH ve büyüme (USD) değerleri.

1980 sonrası ve özellikle 1990 sonrasında dünyada artan liberal politikalar ve sınırların kalkarak dünyanın küçülmesi, Dünya ekonomisini büyümesi taşımacılığın artması, deniz taşımacılığın artması ve dolayısıyla da gemi taşıma kapasitesinin artması talebi sonucu gemi inşa talebi arttırmaktadır, (Şekil 2.5). Bunun yanında artan yoğun ticaret ve bunun getirmiş olduğu yüksek rekabetle, politik ve teknolojik gelişmeler diğer sektörlerde olduğu gibi denizcilik sektörünü de etkilemiştir. Dolayısıyla dünyadaki rekabetçi iklim ortamında bu mal ve hizmetlerin dolaşımındaki sürelerin azalması doğal taşımacılık sektöründe en çok gemi inşa sanayinde değişimlere yol açmıştır. Yaklaşık her 12 yılda bir mevcut ticaret hacminin ikiye katlandığı düşünüldüğünde Dünya ekonomisinin büyümesine paralel olarak özellikle 2025'li yıllara doğru artarak devam edecektir, (World Bank, 2016; DPT, 2006; Clarkson, 2016).

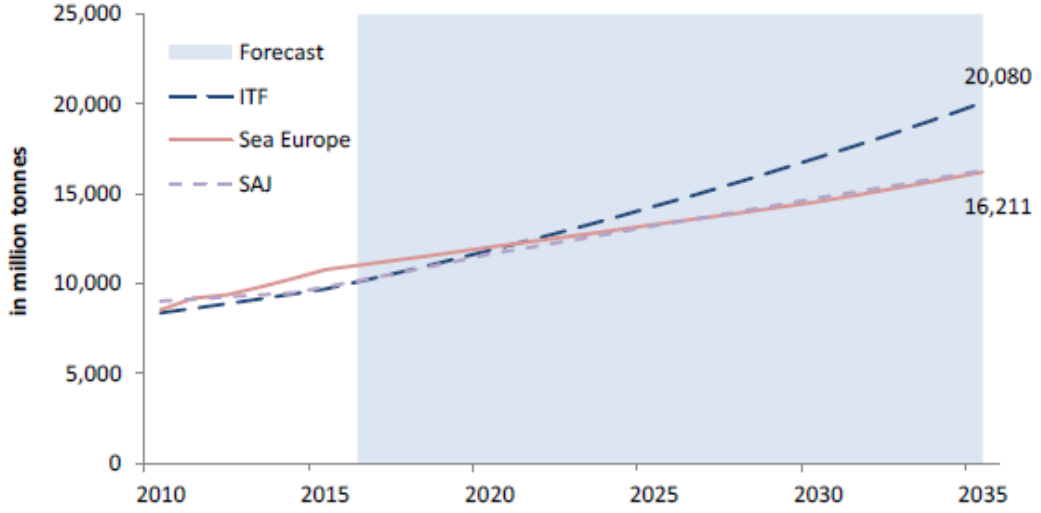
Şekil 2.6'da 1986-2015 yılları arasındaki dünya deniz ticareti ve taşınan yük değişimi görülmektedir. Dünya Deniz Ticaretinin yük cinsine göre olan milyon ton ile ölçülmüş grafiği bulunmaktadır. 2000 yılından 2015 yılı sonuna kadar ki dönemi kapsamaktadır. 2000-2015 yılları arasındaki deniz ticaretinin büyüme oranı 6.270 milyon ton'dan 10.800 milyon tona % 72 civarında olup ve bu dönem aralığında ortalama deniz ticaretinin büyüme oranı yıllık % 3,70

civarındadır. Bu dönemde Kuru Yük (Demir Cevheri, Kömür, Tahıl, Konteyner ve Diğer Kuru Yük) 3.718 milyon ton'dan, % 96 artarak 7.296 milyon tona çıkmıştır. Büyüme oranı yıllık % 4,70 civarındadır. Bu dönemde Petrol (Ham Petrol, Petrol Ürünleri) 2.249 milyon ton'dan, % 29 artarak 2.903 milyon tona çıkmıştır. Büyüme oranı yıllık % 1,80 civarındadır. Bu dönemde Gaz ve Kimyasal (Kimyasallar, LPG, LNG,) 303 milyon ton'dan, % 98 artarak 601 milyon tona çıkmıştır. Büyüme oranı yıllık % 4,70 civarındadır. Bu dönemde ham petrol ve petrol ürünleriyle beraber kimyasal ürünlerin taşınması belli bir oranda kapasitesi korumuş olmasına karşın, yüklemedeki artış Kuru yük ve Gaz ve Kimyasal segmentinde gözükmemektedir. Dünya deniz ticaretine bakıldığında bir artışın olduğu gözükmemektedir (SAJ, 2016; UNTAC, 2016).



Şekil 2.6: 1986-2015 yılları arası dünya deniz ticareti ve taşınan yük (SAJ, 2016).

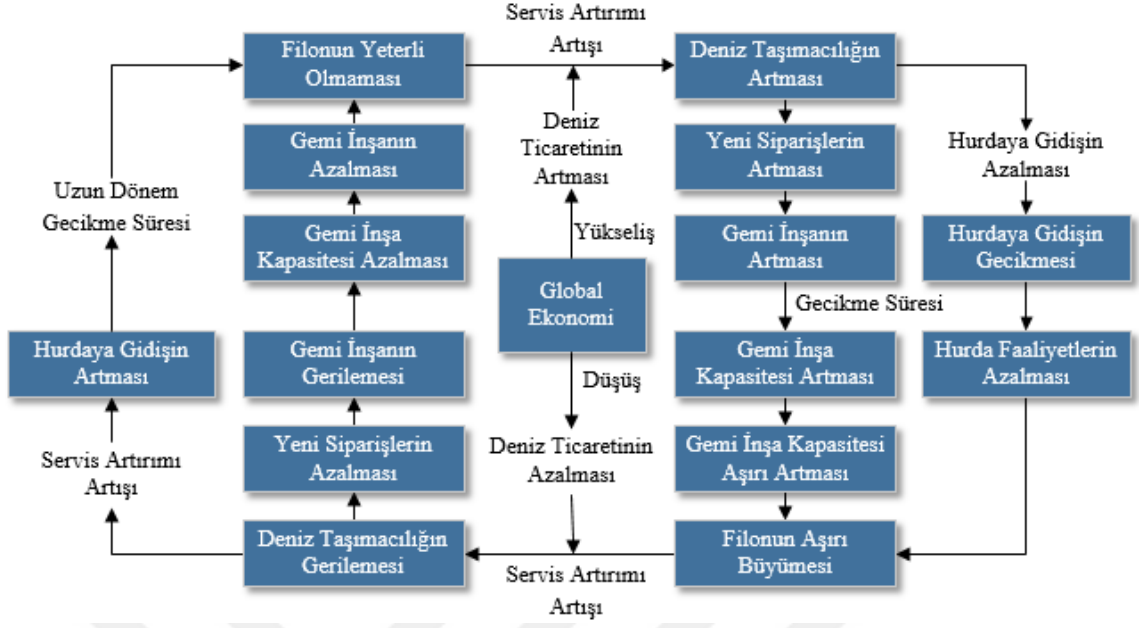
Dünya ticaretinin hacmi, her geçen gün artmaktadır. Deniz taşımacılığı sektörü ülkelerin ithalat ve ihracat artış, azalışlarına ve hatta dünyadaki mal değişimlerine paralel olarak iniş çıkış yaşayan bir sektördür. Dünya ekonomisinin gelecek projeksiyonda büyüme eğiliminde olması, ulaştırma açısından denizyolu taşımacılığında da bir talep oluşturacaktır. Şekil 2.7'de, 2015 yılı itibariyle yaklaşık 10.000 milyon ton olan denizyolu yük taşımacılığı 2025 yılında tahmini yaklaşık 15.000 milyon ton ve 2035 yılında tahmini yaklaşık 20.000 milyon ton bir kapasite artışı öngörülmektedir, (Daniel ve Strodel, 2015). Bu periyotta mevcut Dünya filosunun kapasitesini arttırması gerekecektir. Tersaneler için kapasiteye cevap verebilmek için yeni gemilerin inşası ile cevap verilecektir.



Şekil 2.7: 2010-2035 yılları arası deniz ticareti projeksiyonu.

2008 yılına kadar yüksek orderlar ve bunun teslim sürelerinin 2011 yılına kadar yayıldığı düşünüldüğü bu zaman dönemin gemi inşa sanayisi zirve dönemini yaşamıştır. Ancak bu dönemden sonra küresel ekonomik krizin yansımaları, düşük talep ile beraber gemi inşa arz fazlasının etikleri halen devam etmek olup 2015-2017 dönemi için en düşük seviyesine gerilediği ve tekrardan yeni siparişlerle beraber yükselişe geçeceği ve düşünülmektedir. Devam eden düşük talep sonucu öncelikle tersanelerin durumunu da kötü etkilemekte, iptal edilen orderla, yeni gemi siparişlerin yatırımı devasa olan yatırımları finansmanında zorluklar yaşamaktadırlar. Bugün Çin, G.Kore ve Japonya'daki tersaneler bu zorlukları yaşamaktadır. Esas sorunun kaynağı, gemi inşa sektöründeki arz ve talep dengesinin oluşmamasından kaynaklanmaktadır (BIMCO, 2016b; KOSHIPA, 2016).

Gemi inşa sanayisi yapısı itibariyle, arz fazlasını taşıyabilen nadir olan üretim sektörlerinden bir tanesidir. Gemi inşa sanayisi sadece kendi kendini oluşturan bir bağımsız bir endüstri sektörü ekonomisi olmayıp, küresel ölçekte faaliyet gösteren pek çok dinamiklere bağlı olan bir sektördür. Gemi inşa sanayisinde rekabet tamamen serbest piyasa koşullarında gerçekleşmemektedir. Gemi inşa sanayisinde arz talep oluşması için öncelikle Dünya ekonomisinde değişiklik olup arz ya da talep tarafına yönelecek bir etkinin oluşması gerekmektedir. Bu durumda gemi inşa sanayisi Dünya ekonomisinin büyümesiyle, gemi inşanın ya yükseliş trendine geçecek ya da tam tersi bir durum ile düşüş trendine durumuna girecektir. Şekil 2.8'de bu dinamiklerin birbirleriyle olan ilişkisi ve belirtilmiştir.



Şekil 2.8: Gemi inşa endüstrisinin dinamikleri (Won, 2010).

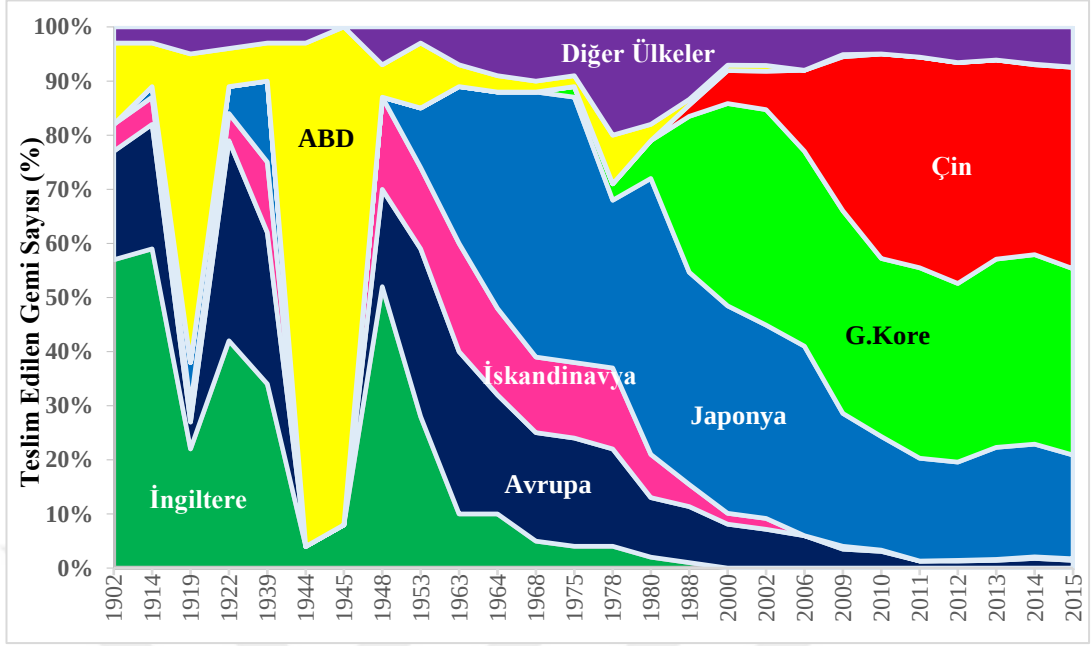
Yükseliş trendinde olan bir piyasada Dünya ekonomisi büyümesi sonucu deniz taşımacılığında ve denizyoluyla mal taşımacılığının hacminde artış olacaktır dolayısıyla emtia ve navlun fiyatları yükselmeye başlayacaktır. Bunun sonucunda doğal olarak deniz taşımacılığında mevcut kapasitenin yanında yeni kapasite talebi oluşacaktır. Bu durum armatörlerin talebiyle tersanelerde yeni gemi inşa siparişlerinin artmasına, yeni gemi inşanın ve tersanelerinin kapasitelerinin artmasına bir süre sonrada, tersanelerinin kapasitelerinin üzerine çıkmasına ve bunun sonucunda mevcut Dünya gemi filosunun daha fazla büyümesine sağlayacaktır. Bu süreçte, aktif olarak çalışan gemilerin hurdaya gitmeleri ötelenerek azalır ve gemi hurda söküm tesislerindeki faaliyetler azalmaya başlar. Böylelikle yeni ve ikinci el gemi fiyatları yükselirken, hurdaya çıkan gemilerin fiyatlarında düşüş yaşanmaya başlar. Düşüş trendinde olan bir piyasada Dünya ekonomisi küçülmesi sonucu deniz taşımacılığında ve denizyoluyla mal taşımacılığının hacminde düşüş olacaktır dolayısıyla emtia ve navlun fiyatları düşmeye başlayacaktır. Bunun sonucunda doğal olarak deniz taşımacılığında mevcut kapasiteden daha düşük bir kapasiteye ihtiyaç duyulacaktır. Bu durum armatörlerin talebiyle tersanelerde yeni gemi inşa siparişlerinin azalmasına, yeni gemi inşanın ve tersanelerinin kapasitelerinin azalmasına bir süre sonrada, tersanelerinin düşük kapasite nedeniyle atıl kapasite olmasına ve bunun sonucunda mevcut Dünya gemi filosunun küçülmesine olanak sağlayacaktır. Bu süreçte, aktif olarak çalışan gemilerin hurdaya gitmeleri hızlanarak artar ve gemi hurda söküm

tesislerindeki faaliyetler artmaya başlar. Böylelikle yeni ve ikinci el gemi fiyatları düşerken, hurdaya çıkan gemilerin fiyatlarında artış yaşanmaya başlar. Bunun sonucunda tersanelerin gemi üretim arz ve talep dengesi oluşmaya başlayarak üretim yapılır.

Ayrıca, gemi inşa sanayisinde tersaneyi etkileyen iç ve dış faktörler olarak ikiye ayırmak mümkündür. İç faktörler tersane tarafında kontrol edilebilirken, dış faktörler tersane tarafından kontrol edilmediği dikkate alınmıştır. Dış faktörler olarak; Dünya'nın ve ülkenin siyasi durumu, Dünya ekonomisi ve ticareti, Baltık navlun endeksi, yakıt fiyatları, banka ve finans kuruluşları, armatörler, tedarikçiler, taşıyonlar, rakipler, Ar-Ge ve üniversiteler, devlet politikaları, tedarik zinciri, döviz kuru, emtia fiyatları, gemi üretim fiyatları, yeni ve ikinci el gemi fiyatları, hurda fiyatları, Dünya gemi filosu, işgücü piyasası, dizayn ofisleri, klas kuruluşları, IMO düzenlemeler ve yeni teknolojik gemiler olarak sıralanabilir. İç faktörler olarak; yönetim, misyon ve strateji, Ar-Ge, risk yönetimi, pazarlama ve satış, proje portföy yönetimi, iç denetim, finans ve muhasebe, bilgi teknolojisi, yönetim sistemi, kalite yönetimi, kuru ve yüzer havuz, üretim teknolojisi, gemi üretim planlama ve metodu, insan kaynakları, depolama, stok ve envanter yönetimi, satınalma ve tedarik zinciri, tersane ERP programı, dizayn ve diğer proje dönüşümleri olarak sıralanabilir. Tersaneyi etkileyen bu faktörlerden tersanenin yapacağı iyileştirmeler ve alacağı proaktif önlemler, küresel ölçekte rekabet edebilmesi yönünde önemli avantajlar sağlayacaktır.

2.3.1. Dünya Gemi İnşaatı Durumu

Gemi inşa sanayisi tarih boyunca farklı ülkelerin liderliğine tanıklık etmiştir, 1953-1963 yıllarını içine alan 11 yıllık süreçte Avrupa ülkelerinin hâkimiyeti ardından, 1964-2001 yılları arasında 38 yılında Japonya'nın liderliği, 2002-2009 yıllarında 8 yıl G.Kore'nin liderliği ve 2010-2016 yıllarında ise 6 yıl Çin'in liderliğinde görülmektedir. Avrupa 200li yıllardan itibaren gemi inşa sanayisinde etkinliğini terk ederek daha lüks kategorideki gemilere yönelmişlerdir, (Doğan, 2012). 1900'lu yıllardan itibaren gemi inşa sanayisinde faaliyet gösteren ülkelerin dünya gemi inşa sanayisindeki pazar paylarına sahip ülkeler gösterilmektedir, (Şekil 2.9).



Şekil 2.9: Ülkelerin 1902-2015 yılları arasında teslim ettikleri toplam gemi tonaj oranları (Stopford, 2014; SAJ, 2016).

1953-1963 yıllarını içine alan 11 yıllık süreçte Avrupa ülkelerinin hâkimiyeti ardından, 1964 yılından 2012 yılı sonuna kadarki 49 yıllık sürecin 38 yılında (1964-2001) Japonya'nın liderliği, 8 yılında (2002-2009) G.Kore'nin liderliği ve 6 yılında (2010-2015) ise Çin'in liderliği aldığı görülmektedir.

Gemi inşa ülkelerin üretim liderlerinin en önemli özelliği en rekabetçi üretim girdileri sağlamasıdır. Aynı zamanda gelişmekte olan ülke kategorisinde hızlıca büyüyen ekonomik kategorideki ülkeler olmuştur. Gelir düzeyi arttıkça, gelişmişlik düzeyi arttıkça, ülkelerin gemi inşa sanayisine verilen önemde zaman içerisinde kaybolmakta ve Dünya için mutlak ihtiyaç olan gemi inşa sanayisi kendisine başka ülkeler aramaktadır. Bugün gemi inşa sektörünün en önemli rekabet avantajlarının toplandığı ülke olan Çin, sahip olduğu bu avantajı ile liderliğini uzun yıllar koruyacağı öngörülmektedir.

2008 yılına kadar yüksek orderlar ve bunun teslim sürelerinin 2011 yılına kadar yayıldığı düşünüldüğü bu zaman dönemin gemi inşa sanayisi zirve dönemini yaşamıştır. Ancak bu dönemden sonra küresel ekonomik krizin yansımaları, düşük talep ile beraber gemi inşa arz fazlasının etikleri halen devam etmek olup 2015-2017 dönemi için en düşük seviyesine

gerilediği ve tekrardan yeni siparişlerle beraber yükselişe geçeceği ve düşünülmektedir. Devam eden düşük talep sonucu öncelikle tersanelerin durumunu da kötü etkilemekte, iptal edilen orderla, yeni gemi siparişlerin yatırımı devasa olan yatırımları finansmanında zorluklar yaşamaktadırlar. Bugün Çin, G.Kore ve Japonya'daki tersaneler bu zorlukları yaşamaktadır. Esas sorunun kaynağı, gemi inşa sektöründeki arz ve talep dengesinin oluşmamasından kaynaklanmaktadır (BIMCO, 2016; KOSHIPA, 2016).

Üretilen gemilerin toplam tonajı (GT) bazında 2000 yılından sonra, Türkiye için olumlu etkileri görülmüş; 2006, 2007 ve 2008 yıllarının gemi inşa sanayi açısından iyi geçmiştir. 2006-2008 yılları arasında hem adet bazında hem de toplam tonaj bazında artış yaşanarak %0,6'lık pazar payından 132 gemi adediyle %1,0 seviyelerine çıkmıştır. Ancak 2008 yılı sonrası Türkiye'nin pazar payı %0,7 ile %0,4 arasında kalmış, 2015 yılı %0,3'lük pazar payıyla kapatılmıştır, (Tablo 2.1).

Tablo 2.1: Türkiye'nin gemi inşadaki payı (GT %) 2008-2015 (SAJ, 2016).

Ülke	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Türkiye	1,0%	0,7%	0,4%	0,4%	0,2%	0,3%	0,3%	0,3%

Avrupa'daki tersanelerin kontratları 2016 yılının ilk 8 ayındaki 2015 yılının aynı dönem dilimiyle karşılaştığında artış olduğu görülmektedir. Avrupa'da 2,52 milyon CGT sipariş alınmıştır. Bu da 2015 yılının aynı dönemiyle karşılaştırıldığında, %45,3'ü artış görülmüştür. Ancak Japonya ve G.Kore tersanelerin sipariş durumu ise sırasıyla %86,7 ve % 86,5 en büyük düşüşleri yaşamaktadır. Çin ise aynı dönemde %49 daha az CGT yeni kontratlar almaktadır. Global tanker ve konteyner segmentleri, 2016 yılındaki CGT olarak kontratların azalmasının ana nedenleridir. Bu iki sınıf gemilerin sipariş oranındaki azalma 2015'in ilk 8 aydaki dönem için %67,7'ye tekabül etmektedir. 2015 yılının ilk 8 ayı ile 2016 yılının ilk 8 ayı karşılaştırıldığında, tanker siparişlerinde %80,1 konteyner siparişlerinde de %84,1 oranında bir azalama görülmektedir. Tersanelerin yeni sipariş alamaması tersanelerin yoğun oldukları düşünülmektedir. Yeni siparişlerin düşmesi ve tersanelerin yüksek kapasite yoğunluğu tersanelerin yeni üzerinde bir baskı oluşturmakta ve yeni siparişler alınmamaktadır. G.Kore tersaneleri 2 yıldan az süre için yeni kontratları bekletmenin yeterli olacağı yönünde düşünülmektedir. Avrupa ülkelerinde bu sipariş trendi olumlu gözükmemektedir. Bu yeni siparişleri, yeni pazara girmiş tersaneler tarafından absorbe edilmemektedir. Japonya, Çin ve G.Kore'de

yeni siparişlerde aşağı yönlü bir trend vardır. Bu süreç yıllar boyunca devam edilebileceği düşünülmektedir. Düşük sipariş durumu tersanelerin kapanmasından daha tercih edilebilecek bir durum olduğunu söylenmektedir. Yeni gemilerde LNG, FLNG, Offshore gemileri ve büyük konteyner gemileri öne çıkmaktadır. Bunun yanına MARPOL'un yeni uygun nitelikte gemilerin inşası, daha ekonomik verimlilikte ve çevreci gemilerin önemini öne çıkarmaktadır. G.Kore tersanelerindeki yeni siparişlerin düşüşü 2014'den 2015 yılı geçişle düşüşe başlamıştır. Çin ve Japonya ise ayrı ayrı 2 yıl sonra durumu görmüştür. G.Kore'de bu durum devlet desteğinin yapay olarak gemi inşanın canlı tutulması sonucu olmuş olabilir. Tüm bunların yanında pozitif görülecek olan Avrupa tersanelerinin son yıllardaki artan siparişleridir. Çoğunlukla bu siparişler Ferry, Römorkör ve Cruise gemileridir. Çin tersanelerin siparişlerin %67,9'u ve Japonya tersanelerini %58,4'ü konteyner, Dry Bulk ya da Offshore gemilerinden oluşmaktadır. Bu siparişlerinin ertelenmesi ve iptal edilmesi ihtimal olmakla böyle bir durumda tersaneler için daha bir sorun olacağı ve finansal olarak ciddi durumlar ve ödemelerinde ötelemelerin olabileceğidir (BIMCO, 2016; KOSHIPA, 2016).

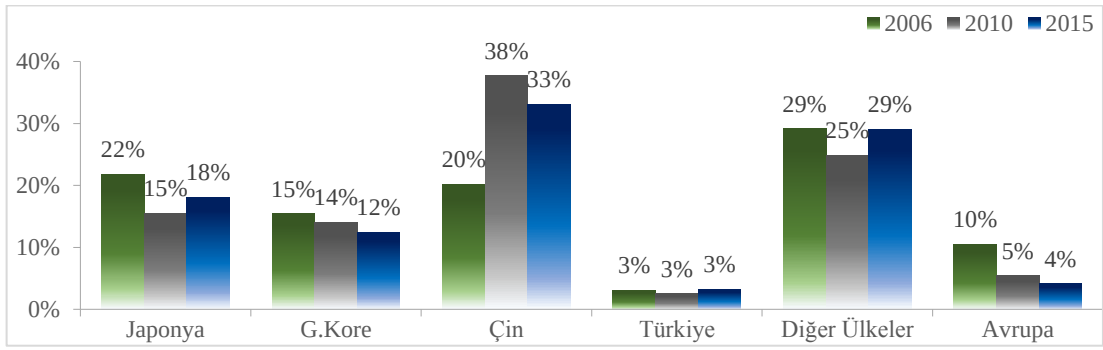
2.3.1.1. 2006-2015 Dönemi Yıllık Gemi Adetleri Değerlendirilmesi

Dünya çapında gemi inşa pazarında 2006 yılında dünya genelinde 2.447 adet gemi üretilmişken, 2015 yılı sonunda yıllık üretilen gemi adedi 2.870'ü bulmuştur. Bu; adet bazında yıllık ortalama %3 artışa denk gelmektedir, (Tablo 2.2).

Tablo 2.2: 2006-2015 yılları arasındaki Dünya gemi inşa sanayi ülke bazında yıllık toplam gemi üretim adetleri (SAJ, 2016).

Ülkeler	Yıllara Göre Teslim Edilen Gemi Adetleri									
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Japonya	534	543	562	576	580	593	586	540	522	520
G.Kore	377	430	520	524	526	572	472	386	341	358
Çin	493	661	861	1.086	1.413	1.425	1.436	1.073	906	949
Türkiye	74	112	132	127	94	87	80	68	94	91
Avrupa	256	269	248	212	202	148	148	123	122	118
Diğer Ülkeler	713	767	919	1.029	933	845	960	899	968	834
Dünya	2.447	2.782	3.242	3.554	3.748	3.670	3.696	3.089	2.963	2.870

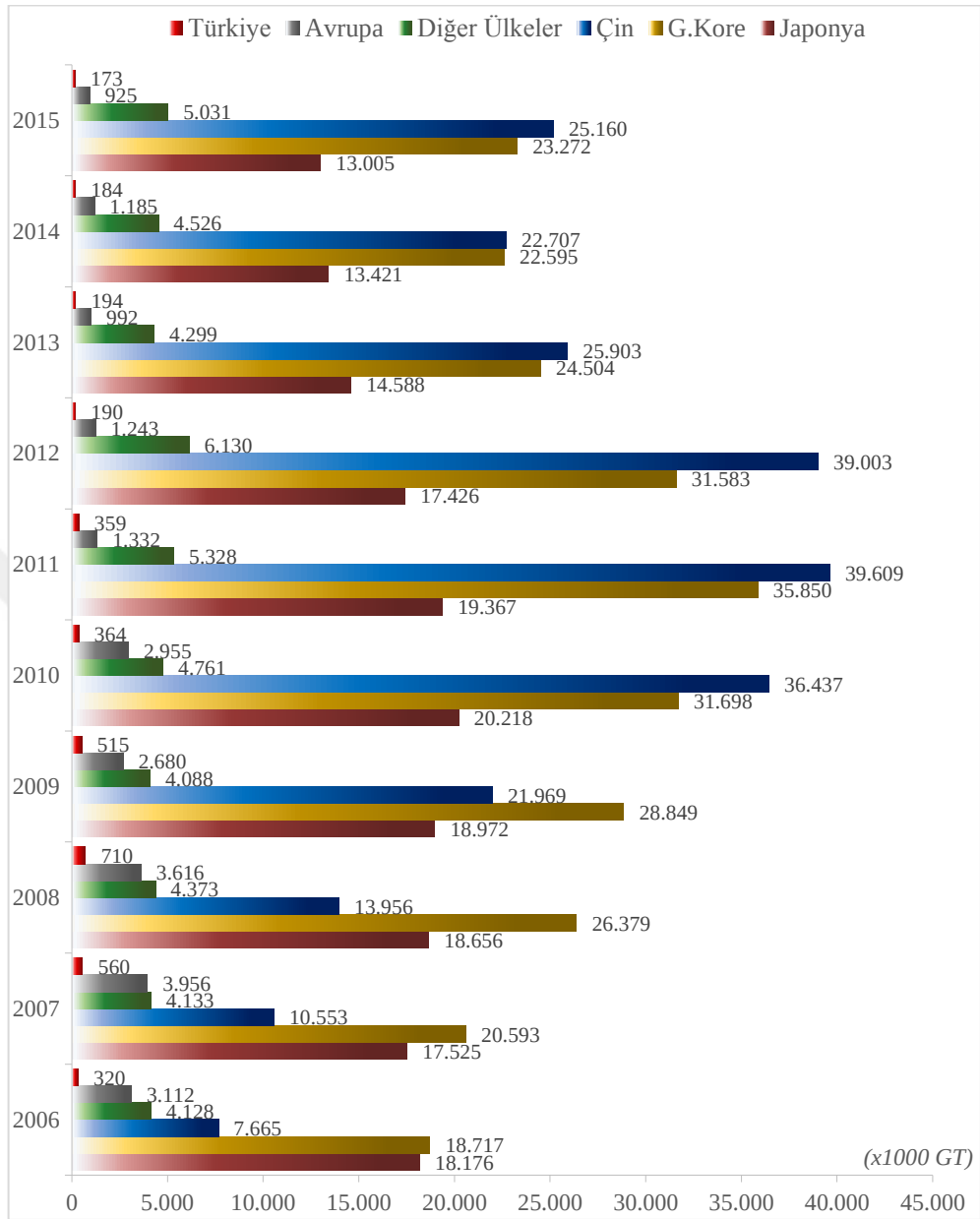
2006-2015 periyodunda Çin ortalama %20 ile %36 arasında, Japonya %15-22 oranları arasında bir pazar payına sahiptir. G.Kore %15-12 oranında pazar payı almış. Avrupa ülkelerinin 2006 yılında %10 olan pazar payı %4 oranındadır ve Türkiye %3 civarındadır, (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: 2006-2015 yıllarındaki Dünya gemi inşa sanayi ülke bazında yıllık toplam gemi üretim adetleri pazar payları (SAJ, 2016).

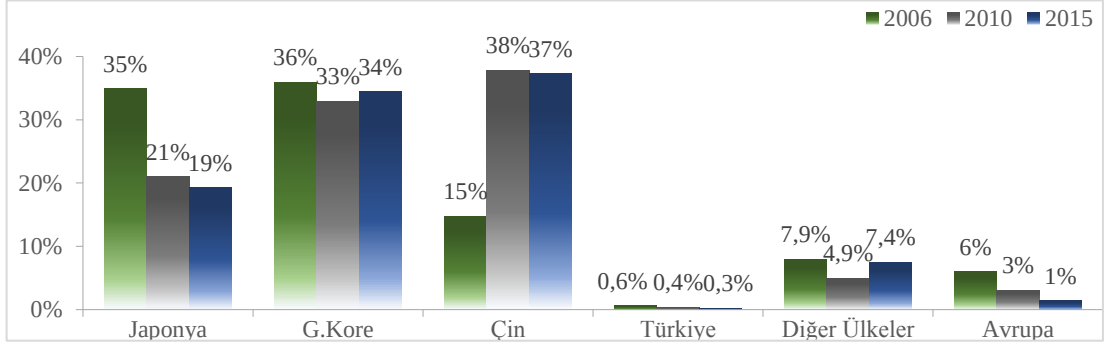
2.3.1.2. 2006-2015 Dönemi Yıllık Toplam Tonaj Değerlendirilmesi

Dünya gemi inşa sanayinin 2006-2015 yılları arasındaki yıllık toplam gemi tonajları, 2006 yılında dünya genelinde 52 milyon 118 bin GT gemi üretim gerçekleşmişken, 2015 yılı sonunda yıllık üretilen gemi 67 milyon 566 bin GT üretim gerçekleşmiştir, (Şekil 2.11). 2006-2011 yıllarını kapsayan 6 yıllık süreçte tonaj bazında yıllık ortalama büyüme %15 oranında olmuştur. Ancak 2012-2015 yılları arasında %11 civarında daralma olmuştur.



Şekil 2.11: 2006-2015 yılları arasındaki Dünya gemi inşa sanayi ülke ve ülke grubu bazında yıllık toplam gemi tonajları (SAJ, 2016).

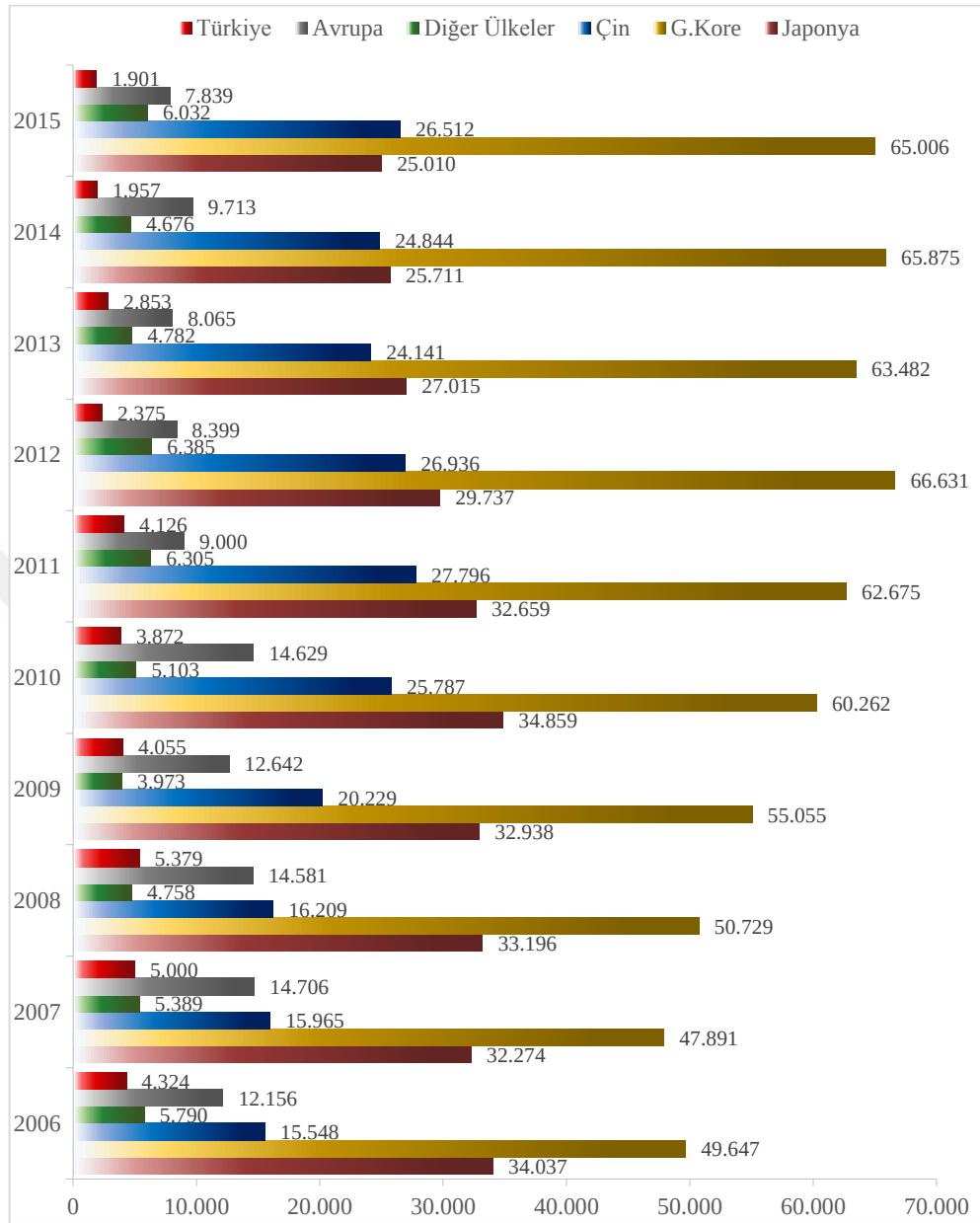
Şekil 2.12’de 2006 yılındaki üretimini 2 katından fazla arttıran Çin, 2015 yılı sonundaki üretimi %37 oranındadır. Avrupa’nın üretimi %1 seviyesine gerilemiş, Türkiye’nin üretimi %0,4 ortalamasındadır. G. Kore %34 ortalamasında ve Japonya’nın üretimi %19’a gerilemiştir.



Şekil 2.12: 2006-2015 yılları arasındaki dünya gemi inşa sanayi ülke ve ülke grubu bazında yıllık toplam gemi tonaj oranları (SAJ, 2016).

2.3.1.3. 2006-2015 Dönemi Birim Tonaj Değerlendirilmesi

2006 yılında dünyada üretilen gemilerin gemi başı birim tonajı 21.299 GT/Adet iken, 2015 yılı sonunda bu değer %11 yükselerek 23.542 GT/Adet'e ulaşmıştır. Bu dönemde; G.Kore ortalaması 58.751 GT/Adet, Çin ortalaması 22.438 GT/Adet, Japonya ortalaması 30.744 GT/Adet, Avrupa ortalaması 11.168 GT/Adet ve Türkiye ortalaması 3.580 GT/Adet olmuştur. 2006-2015 yıllarında G.Kore en büyük oranda gemi üreten ülke olmuş ve bu dönemde ürettiği gemiler büyümüştür. Çin de bu dönemde ürettiği gemilerin büyüklüğü artmıştır. Ancak Japonya'nın üretmiş olduğu gemiler küçülmüştür. Türkiye'nin ürettiği gemiler 2006 yılında 4.324 GT'den 1.901 GT'ye küçülmüştür, (Şekil 2.13).



Şekil 2.13: 2006-2015 yılları arasında Dünya gemi inşa sanayi ülkeler ve ülke grupları bazında gemi başı birim tonaj değerleri (SAJ, 2016).

2.3.1.4. 2006-2015 Dönemi Adet Bazında Gemi Tipleri Üretimi Değerlendirilmesi

1996 yılından itibaren üretilen gemi sayısı yıllar içinde artmakta ve en çok üretilen gemi 2012 yılında gerçekleşmiştir. Geçen 15-20 yıl içinde yolcu gemileri, yolcu ve konteyner gemileri daha az üretilmeye başlanmış, diğer tipteki gemilerin üretimi artmıştır, 2006-2015 yılları arasında dökme yük gemilerinin adedi %108 artmış, diğer, sınıfındaki gemiler %58 artmış,

konteyner gemileri %41 azalmış ve yolcu gemileri %52 artmıştır. 2006-2015 yılları arasında en fazla üretimi yapılan gemi, dökme yük ve diğer sınıfı gemiler olmuştur, (Tablo 2.3).

Tablo 2.3: 2006-2015 döneminde tiplerine göre yıllık gemi üretim adetleri (SAJ, 2016).

Gemi Tipleri	Yıllık Toplam Adet											Oran (%)	
	1996	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2006	2015
Diğer	721	748	811	982	1.254	1.146	1.061	1.178	1.184	1.337	1.182	34%	41%
Kuru Yük	498	436	521	562	524	569	602	535	422	339	332	24%	12%
Yolcu	77	31	52	44	55	45	40	44	21	50	47	4%	2%
Chemical	105	253	322	461	419	324	232	158	157	162	208	5%	7%
LPG/LNG	57	68	93	134	101	88	71	46	68	83	114	3%	4%
Dökme Yök	279	310	317	342	537	985	1169	1204	767	615	645	13%	22%
Tanker	159	239	271	289	386	331	303	319	258	171	130	8%	5%
Konteyner	203	362	395	428	278	260	192	212	212	206	212	10%	7%
Toplam	2.099	2.447	2.782	3.242	3.554	3.748	3.670	3.696	3.089	2.963	2.870		

2.3.1.5. 2006-2015 Dönemi Tonaj Bazında Gemi Tipleri Üretimi Değerlendirilmesi

2006 yılına Dünya'daki toplam üretimin 52 milyon 118 bin GT ve 2015 yılında 67 milyon 757 bin GT olmuştur. 2006-2015 yılları arasında, tonaj bazında en çok üretilen gemiler dökme yük gemileri olmuştur. Bu dönemde üretimde tonaj düşüşü en çok tankerlerde olmuştur. Konteyner ve LPG/LNG gemilerinde artış söz konusudur, (Tablo 2.4).

Tablo 2.4: 2006-2015 Periyodunda Gemi Tipi Bazında Yıllık Tonaj Üretimleri (SAJ, 2016).

Gemi Tipleri	Yıllık Toplam Tonaj (10.000 x GT)											Pazar (%)	
	1996	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2006	2015
Diğer	38	77	121	148	213	256	305	238	246	422	298	1%	4%
Kuru Yük	241	443	551	675	652	766	749	616	440	358	388	9%	6%
Yolcu	61	75	86	104	99	126	55	79	57	71	66	2%	1%
Chemical	112	367	446	640	581	453	323	214	273	328	459	4%	7%
LPG/LNG	108	336	416	788	599	367	172	51	262	401	523	4%	8%
Dökme Yök	944	1.347	1.338	1.301	2.269	4.355	5.300	5.389	3.341	2.620	2.652	37%	39%
Tanker	609	1.093	1.325	1.489	2.146	1.856	1.942	1.593	954	620	638	24%	9%
Konteyner	472	1.475	1.450	1.623	1.148	1.465	1.339	1.377	1.475	1.641	1.734	18%	26%
Toplam	2.584	8.512	5.732	6.769	7.707	9.643	10.185	9.558	7.048	6.462	6.757		

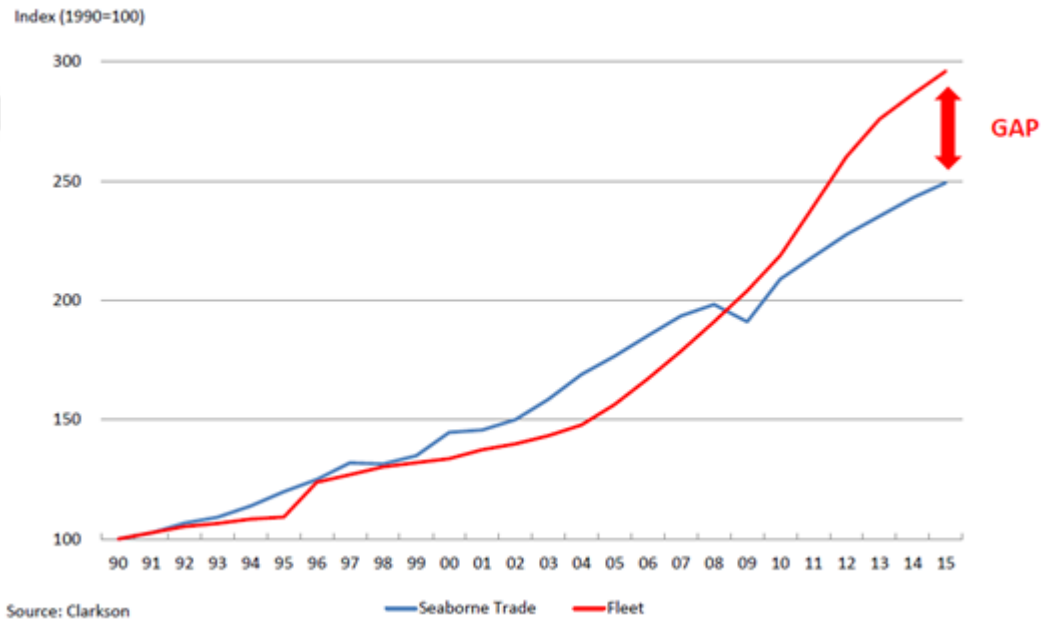
2.3.2. Gemi İnşa Sanayisinde Aşırı Üretim

Dünya gemi inşa üretiminin 1975 yılında aşırı üretimle 36 milyon GT ancak 29 yıl sonra bu değer aşılmış ve 29 yıl süre boyunca bu değer altında kalmıştır. 2003-2007 yılları arasındaki gemi siparişlerindeki yüksek düzey ile 2011 yılı sonu itibariyle Dünya gemi üretiminde zirveye

101 milyon 855 bin GT üretim miktarıyla ulaşılmıştır. Gemi inşada aşırı üretim döngüsünü etkileyen unsurların arkasında pek çok dinamik vardır, yaklaşık 30-35 yılda bir olan aşırı gemi üretim döngüsünün olduğu düşünülmektedir. 1970 yıllarında başlayan gemi üretimindeki artış 1975 yılı itibariyle gemi üretiminde zirve oluştuktan sonra en düşük gemi üretimi 1979-1987 yılları arasında meydana geldiği düşünüldüğünde 2011 yılında gerçekleşen üretim rekoru sonrasında 2023 yılına kadarki süreçte düşük üretim düzeyinde seyredebileceği olma ihtimali görülmektedir. Şuana kadar gerçekleşen üretimde 2014 yılı itibariyle en düşük seviye olduğu görülmektedir. Gordon (2011), gemi üretimindeki bu düşüşün 2016 yılına kadar kademeli olarak gerileyeceği 60 milyon GT civarına kadar gerileyip yeniden yükselişe geçerek 2009-2011 yılında gerçekleşen üretim seviyesini ancak 2023-2024 yıllarında yikanabileceğini ön görmektedir.

Dünya ekonomisi farklı dönemlerde küçük büyük ölçekli ekonomik krizlerin olduğu düşünüldüğünde bu durumda deniz taşımacılığı dolayısıyla gemi inşayı dolaylı olarak etkilemektedir. Büyük ölçekte yaşanan 1929, 1958 ve 1987 yıllarındaki ekonomik krizlerin ortalama 29 yılda bir büyük krizlerin meydana gelme olasılığın yüksek ihtimal olduğu düşünülmekte ve 2008 yılında meydana gelen ekonomik krizin bugün halen bir şekilde etkilerinin devam ettiği de görülmektedir. Buna göre Gordon (2011) yukarıda bahsedilen öngörüsü 29 yıllık ekonomik kriz döngüsü ve bunun etkilerinin gemi inşa sanayisini de etkilemesi bu döngüye de uymakta olduğu düşünülmektedir. Meydana gelen her ekonomik kriz sonucunda mal ve hizmetlerin üretiminin azalması, dolayısıyla da %90 denizyolu taşımacılığının yapıldığı taşımacılıkta azalama ve bunun sonucunda da yeni gemi siparişlerinin azalarak gemi inşada üretimin azalmamasıyla sektörün etkilendiği doğal bir durumdur. Dünya gemi inşa sanayisinde 2007-2011 rekor talep ve üretimin ardından, 2008 yılında verilen yeni gemi siparişlerinin keskin düşüşü, ekonomik büyüklük bağlamında biriken ve iptal edilmeyen yeni gemi siparişlerin tamamlanması için talep yoğunluğundan dolayı teslimin 2-3 yıla kadar süren bir gecikmesiyle yeni gemilerin teslim edilmesini göstermektedir. Dolayısıyla 2010 yılında görülen zirve ile bundan sonraki yıllarda düşüş, 2008 yılından beri devam eden etkilerin göstergesidir. Dünya'daki gemi inşa sanayisindeki gemi üretim düşüşün 2014-2016 yılları arasında dip yapacağı yönünde bir sonuç ortaya çıktığı görülmektedir. Clarkson (2016), deniz ticaretinin gemi kapasitesine olan oran yapıldığında gemi arzının 2008 yılından sonra denizyolu ticareti talebini geçtiğini ve bu farkın yıllar için de artarak devam ettiği görülmektedir. Şekil

2.14’de 2008 yılından itibaren düzenli olarak bu farkın açıldığı görülmektedir. Piyasasının arz-talep temelinde dengelendiği düşünüldüğüne ilerleyen yıllar içerisinde bu farkın kapanacağı ve arz-talep dengesini bulacağı düşünülmelidir. Oluşan gemi arzındaki bu fazlalığın azalarak deniz ticareti talebiyle gemi filosu arzının dengeleneceği bir duruma gelmesi için piyasa kendini düzeltecektir. Bu düzeltmeler; gemi fiyatlarının düşmesi, navlun endeksinin düşmesi, Laid Up’a çıkan gemilerin artması ve yeni gemilerin hurdaya gönderilerek gemi sökümünün artması gibi olan sonuçlar doğuracaktır.



Şekil 2.14: Deniz ticareti talebi ve gemi filosu arzı arasındaki ilişkisi (Clarkson, 2016).

Gemi inşa sanayinde aşırı üretime neden olan faktörler şöyle sıralanabilir:

- *Laid Up Tonnage* olarak adlandırılan, taşımacılıkta kullanılan gemilerin kullanmadıkları kapasite oranının azalması ya da bir başka ifadeyle gemilerin taşıma kapasitelerinin olduğundan daha fazla kullanılmasıdır. Ortalama olarak her 20 yılın sonunda taşıma kapasiteleri kullanımı artmaya, talep eğrisi kademeli olarak arz eğrisini sıkıştırmaya başlamaktadır (Ikei ve diğ. 2011). Bu durum dolayısıyla 5-10 yıl içinde yeni gemi inşa talepleri oluşturmaktadır, siparişlerin tamamlanma durumu dikkate alındığında 30-35 yılda gemi inşada aşırı talep durumları oluşmaktadır. Genel olarak küçük ve gelişmekte olan piyasalarda gemilerin taşıma kapasitelerinin gemiye boy verilerek geminin kapasitesi arttırılır (Şişmanyazıcı, 2011).

- *Denizyolu taşımacılığında yüksek navlun:* Özellikle tanker ve dökme yük pazarında son 30 yılın en yüksek değeri görmüştür. Bunun neticesinde daha çok talebin üzerinde yeni tanker ve dökme yük gemi siparişleri verilmiştir (Ikei ve diğ. 2011). Yine benzer durum tankerler için geçerlidir, 1996 yılında üretilen Tankerler ve Kimyasal Tankerler, 2000’li yıllarla birlikte daha çok üretilmiştir. Gemi üretiminde yaşanan bu aşırı artışın sonucunda denizyolu taşımacılığındaki piyasada navlun fiyatlarında tekrardan bir denge sürecine girilmiştir. Yeni sipariş orderlarına bakılınca Offshore ve LNG/LPG tarzında yeni gemilerin inşasında önemli bir artış bulunmaktadır. Bu durum gerek jeopolitik gerekse de ekonomik talep sonucu oluşmuş olsa da ilerleyen yıllarda bu sınıf gemilerin üretilmesi sonucu piyasada bu sınıf gemilerin arz fazlası bir durum oluşturması da dikkate alınmalıdır.
- *Yeni gemilerin işletim maliyetlerinin düşmesi:* Yeni gemilerin işletim maliyetleri eski gemilerin işletim maliyetlerine göre daha düşüktür. Normal koşullarda yeni gemilerin maliyetleri eski gemilere göre daha yüksek olmakta fakat işletim maliyetleri daha düşük olmaktadır. Fakat düşen faizler ile beraber sermayeye ulaşmanın kolaylığı sonunda yeni gemilerin rekabetçi olma avantajını arttırmaktadır. Kiriz dönemlerinde işletme maliyetleri düşük olan yeni gemileri çalıştırılırken, yaşı büyük olan eski gemilerin yüksek oranda daha düşük kapasitelerle çalıştırılarak zarların minimum düzeyde tutulmasına çalıştırılır. Denizyolu taşımacılığındaki servise giren gemilerin yatırım maliyetleri genel olarak ortalama 0-2 yıl arasında düşmekte, 3-8 yıl arasında bu maliyetler hafifçe artmakta, 10-13 yılları sonunda ise bakım, tamir ve sigorta giderlerinin yükselmesi sebebiyle işletme maliyetleri artmaktadır. Bundan dolayı yeni gemilerin rekabetçi navlun fiyatlarıyla deniz ticaretinde çalışmaları armatörler tarafından daha cazip olmakta ve bunun neticesinde yeni gemiye olan talep daha cazip gale gelmektedir (Şişmanyazıcı, 2011).
- *Çin faktörü:* Çin ekonomisinin agresif olarak aşırı büyümesi, tüm piyasalarda bir talep etkisi oluşturmuş ve bu durum deniz taşımacılığındaki navlun fiyatlarını ve gemi inşa sanayisinde oluşan arz ve talep dinamiğinin de etkilenip dengenin bozulmasına (Ikei ve diğ., 2011), piyasanın aşırı talep sonucu kontrolsüz olarak bir üretim sürecine girmesine girerek talep fazlası oluşması sonucu aşırı gemi üretimine sebep olmuştur. Çin ekonomisinin büyüklüğü dikkate alınınca kendi deniz ticaret sahip olması için yeni gemilerin inşası ayrıca gemi inşa sanayisinde lider ülke olmasının sonucu ile doğal bir

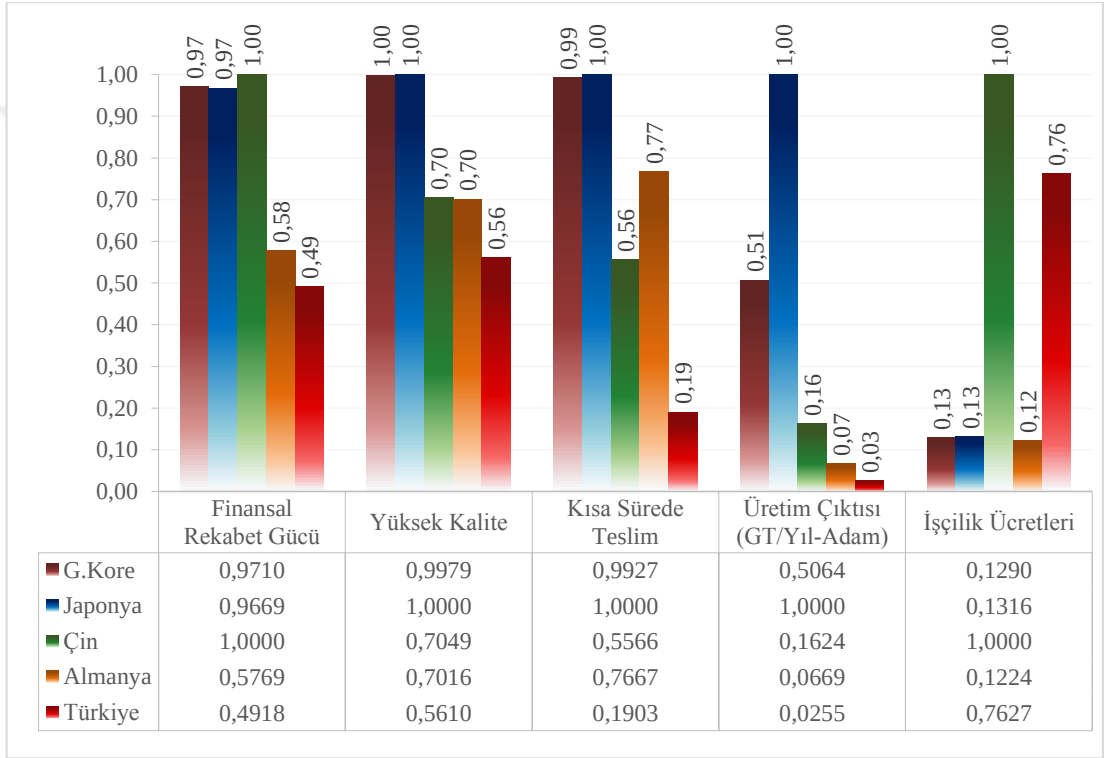
süreçtir. Fakat 2016 yılı itibariyle beraber Çin ekonomisindeki yavaşlamanın gemi inşa sektörüne de kuşkusuz yansıtacağı düşünülmelidir.

- *5 yaş üzeri gemilere yönelik politikalar:* 5 yaşın üzerinde olan gemilere dair yanlış politikaların uygulanması sonucu yeni gemilerin üretilmesini hızlandırmış, 1960'lı yıllarda Avrupa ve Japonya'nın ekonomik hızlı büyümesi gibi Çin ekonomisini tetiklemiştir. Bu durum ekonomik büyümenin sonucu olarak aşırı talebe karşılık demir cevheri ve çelik taşımalarını gerçekleştiren dökme yük gemilerine olan talebi 3-4 kat kadar artmasını sebep olmuştur. Ayrıca üretim üssü haline gelip Avrupa, Amerika, Afrika, Ortadoğu ve Asya Pasifik ülkelerine yönelik üretim artışı neticesinde pazarda konteyner gemilerine olan talebi arttırmış (Ikei ve diğ. 2011) buna bağlı olarak da enerji ihtiyacının gidermek için artan ham petrol talebi de tankerlere olan talebi de arttırmıştır.

2.3.3. Dünya Gemi İnşa Sanayisinde Mukayeseli Üstünlükler Analizi

Gemi inşa sanayisi yapısı itibariyle, arz fazlasını taşıyabilen nadir olan üretim sektörlerinden bir tanesidir. Gemi inşa sanayisinde rekabet tamamen serbest piyasa koşullarında gerçekleşmemektedir. Ülkelerin kendi gemi inşa sanayisini korumak amaçlı politikalar, arz ve talep değerlerinde çok önemli rolü vardır. Devletlerin destek ve teşviklerin olmadığı durumlar göz önünde bulundurularak yapılan analizler, gemi inşa sektörü açısından rekabet gücünün tespiti ve Türkiye'deki gemi inşa sanayisi için rekabet şartlarının kendi lehine çevirmesi için gerekli şartlıların test edilmesi hususunda referans şartlarını sağlayacaktır. Ayrıca gemi inşa sektörü bir disiplinler arası yönetimi de gerektirdiğinden dolayı, bu süreç içinde pek çok değişimin ve girdinin olduğu unsurlar bulunmaktadır. Gemi inşa için bir tersanenin üstünlüğü sadece işgücümün ucuz olmasından dolayı olamaz, bunun yanında pek çok unsurlarında olması gereklidir. Mesela, kalite, malzeme teknoloji girdisi, üretim teknolojileri, vb unsurları içeren bir ölçme eksik olacaktır. Bunların yanında, tersanenin finans gücünden, Ar-Ge'ye yapılan yatırımlar ve geri dönüşü, teknolojinin kullanımı, teknolojik verimlilik, müşteri memnuniyeti, teslim süresi, tersanenin inşa kabiliyeti vb. gibi durumlarında önemi söz konusu olmaktadır, (Türk Loydu Vakfı, 2007). Finansal Rekabet Gücü, Yüksek Kalite, Kısa Sürede Teslim, Üretim Çıktısı (GT/Yıl-Adam), İşçilik Ücretleri konusunda Mukayeseli üstünlükler gemi inşaatında en büyük pazar payına sahip ilk dört ülke olan Güney Kore, Japonya, Çin, Almanya ve Türkiye arasında gerçekleştirilmiştir.

Çelikten imal edilen bir gemideki işçilik girdi maliyeti toplam maliyetin %35-40 civarında olduğu (DPT, 2006; Özyiğit, 2006; TBMM, 2008) dikkate alındığında, geminin maliyetinde Çin’e karşı baştan %22’lik bir dezavantaj durumu ile karşılaşılabacaktır. Türkiye’deki tersanelerinin en büyük dezavantajlarından biri de; “kısa sürede teslim” konusunda Çin’e karşı 3 kat, Almanya’ya karşı 3,5 kat, G.Kore ve Japonya’ya karşı ise 5 kat olan dezavantaj durumuna sahiptirler, (Şekil 2.15).



Şekil 2.15: Dünya gemi inşa sanayinde mukayeseli üstünlükler analizi (KOSHIPA, 2016; SAJ, 2016; TBMM, 2008; Trading Economics, 2016; T.C. Ulaştırma Haberleşme ve Denizcilik Bakanlığı, 2017).

Bununla beraber, “finansal rekabet gücü” konusunda Türk tersaneleri, Avrupa’yla neredeyse başa baş (Avrupa’ya göre %17 daha düşük) konumdayken, Çin, G.Kore ve Japonya’ya karşı 2 kat dezavantajlıdır. “yüksek kalite” konusunda ise Çin ve Almanya’ya karşı 1,5 kat, Japonya ve G.Kore’ye karşı yaklaşık 2 kat dezavantajlıdır.

Tersane “adam başı çıktı” bazında yıllık üretilen toplam tonajın çalışan başına düşen değerine baktığımızda, Türkiye’deki tersanelerde 2006 yılında 11 GT/kişi olan çalışan başı üretim çıktısı, 2007 yılında %49 yükselerek 17 GT/kişi’ye, 2008 yılında %58 yükselişle 26 GT/kişi’ye, 2009 yılında ise %2 yükselerek 27 GT/kişi’ye ulaşmıştır. Ancak 2014 yılında çalışan başı üretilen yıllık tonaj değerinde 8 GT/kişi ortalaması yakalanmıştır. Bu değer Çin’de 51 GT/Adam, Almanya’da 21 GT/Adam, Japonya’da 354 GT/Adam ve G.Kore’de 159 GT/Adam’dır. Türk tersanelerinin tonaj (GT) bazında çalışan başı yıllık üretim çıktısı; Türkiye’nin, Almanya 2,6 katı¹, Çin 6,5 katı², Japonya ise 39 katı³ ve G.Kore 20 katı⁴ oldukça küçük bir oranda kalmaktadır. Bir nevi verimlilik olarak da tanımlayabileceğimiz bu durum, Japonya’nın adam başı en fazla üretimi gerçekleştirdiğinin söylenebilir. Bu durumun bir başka sonucu da Japonya’da nitelikli işgücü ve robotik üretimler olduğu söylenebilir.

İşçilik Ücretlerine bakıldığında, 2016 yılı ve aylık bazda dolar cinsinde ülkelerin ortalama ücretleri mukayese edildiğinde; G.Kore \$3.101, Japonya \$3.040, Çin \$400, Almanya \$3.267 ve Türkiye \$524’dır. Bu da G.Kore Türkiye’den 6 kat, Japonya 5,8 kat, Almanya 6,2 kat daha fazla iken Türkiye de Çin’den 1,3 kat daha fazla bir işçilik ücreti vardır⁵.

Sermaye Maliyetleri karşılaştırıldığında, G.Kore Düşük, Japonya çok düşük, Çin Çok Düşük, Almanya Orta ve Türkiye yüksek kategoridedir. Ar-Ge çalışmaları ve destekleriyle ilgili olarak sınıflandırıldığında; G.Kore Yüksek, Japonya yüksek, Çin düşük, Almanya yüksek ve Türkiye Düşük kategoridedir. Malzeme girdi fiyatları konusunda; G.Kore Orta, Japonya Orta, Çin

¹ 2013 yılı Ağustos rakamlarına göre Almanya’daki tersanelerde toplam 16.729 kişi istihdam edilmektedir. Almanya bu istihdamla 2013 yılında toplam 12 adet gemi ve 350.000 GT gemi üretimi gerçekleştirmiştir. Bu da $350.000/16.729 = 21$ GT/Adam-Yıl üretim çıktısı anlamına gelmektedir (SAJ, 2016; OECD, 2015).

² Mayıs 2013 itibarıyla Çin’deki 1000’i aşkın tersanede çalışan yaklaşık 510.000 işçi (Clarkson, 2015) 2013 yılı içinde yıllık bazda 1.073 adet gemi ve 25.903.000 GT’luk (SAJ, 2016) toplam üretim gerçekleştirmiştir. Bu da $25.903.000/510.000 = 51$ GT/Adam-Yıl üretim çıktısı anlamına gelmektedir (Clarkson, 2015; SAJ, 2016; OECD, 2015).

³ Japon Gemi İnşacılar Derneği’nin yayınladığı 2013 verilerine göre, Japon tersanelerinde 46.513 kişi (daimi çalışan + taşeronlar) çalışmaktadır. 2013 yılında Japonya’nın toplam 540 adet gemi ve tonaj bazında yıllık 14 milyon 588 bin GT olarak gerçekleşmiş, çalışan başı üretim çıktısı yıllık 314 GT/Adam-Yıl olarak belirmektedir. Bu değer aynı yılda Türkiye’deki tersane işçilerinin (Japonya’da çalışanlarının yarısı oranında) yıllık çalışan başı üretim çıktısı olan 8 GT/Adam-Yıl ortalamasının yaklaşık 40 katıdır (SAJ, 2016).

⁴ 2013 yılında toplam 154.208 doğrudan istihdamla (daimi çalışan + taşeronlar) yıllık toplamda 386 adet gemi ve 24 milyon 504 bin GT üretim gerçekleştiren G.Kore, 159 GT/kişi üretim çıktısı ortalamasına sahip olmuştur. Bu değer aynı yılda Türkiye’deki tersane yıllık çalışan başı üretim çıktısı olan 8 GT/Adam-Yıl ortalamasının yaklaşık 20 katıdır (KOSHIPA, 2016; SAJ, 2016).

⁵ 2016 yılı ilk çeyrek verilerine göre ülkelerin ortalama ücretleri; G.Kore 3.534.203 KWD, Japonya 305.460 JPY, Çin 2.675-5.170 CNY, Almanya 3.612 EUR ve Türkiye 1.512 TL’dir, (Trading Economics, 2016)

Düşük, Almanya orta ve Türkiye yüksek kategoridedir. İstihdam (yetiştirilmiş işgücü sayısı) G.Kore yüksek, Japonya yüksek, Çin Orta, Almanya orta ve Türkiye orta değerdedir. İşletme büyüklüklerinin avantajları; G.Kore Yüksek, Japonya yüksek, Çin yüksek, Almanya orta ve Türkiye düşük kategoridedir.

2.3.4. Gemi İnşa Sanayi İhracatı ve İthalatı

Gemi inşa sanayinin desteklendiği ve geliştirildiği bütün ülkelerde; bağlı olduğu yan sanayi sektörlerinde hızlı bir gelişim gösteren, döviz girdisi sağlayan, bölgesinde nitelikli iş gücünü arttıran, bölgesel ticaretin gelişmesine, katkı sağlayan, bölgede yaşayan insanların refah ve kültürel düzeyini yükselten, yan sanayi ile birlikte önemli bir istihdam potansiyeli yaratan, bir ağır sanayi koludur, (DTO, 2016).

Dünya gemi inşa sanayisi Dünya ekonomisinin gelişimine bağlı olarak ilerlemektedir. 2004 yılında görülmeye başlayan artış eğilimi sonraki yıllarda hız kazanmış ve bu durum gemi inşa sanayisinde talep oluşturarak 2006 yılında 91 milyar dolardan, 2011 yılında 191 milyar dolara kadar devamlı yükselmiştir. 2011 yılından sonraki süreçte ekonomi ve gemi arzının dengesine göre yeni gemi inşa taleplerinde düşüş yaşanmıştır. 2011 yılı sonrası düşük talep ve azalan iş hacimleriyle beraber 2016 yılı sonunda devam eden düşüş yaklaşık %50 düşüş ile 124 milyar dolar civarında olmuştur. Dünya genelinde 2011 yılına kadar sipariş edilen gemi sayısında olduğu gibi tonaj miktarında da artış görülmüştür. Tersaneler çok sayıda gemi siparişi almıştır. Gemi inşa sektöründe, özellikle Çin’de kapasite artırımları söz konusudur. Gemi inşa tersaneleri fiyat artışlarına rağmen gelen siparişler karşısında tam dolulukta çalışmaya başlamış ve gerilme görülmüştür, (ITC, 2017).

Tablo 2.5: Dünya gemi sanayi 2006-2016 yıllık ihracat değerleri (ITC, 2017).

Ülkeler	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Çin	8,110	12,220	19,571	28,364	40,296	43,625	38,820	28,681	25,202	28,813	22,515
G.Kore	21,493	26,632	40,968	42,483	46,735	54,133	37,828	35,870	38,340	38,420	33,155
Japonya	14,057	15,523	19,824	22,191	26,037	26,055	22,230	15,384	12,914	11,407	12,895
Türkiye	1,399	1,819	2,648	1,826	1,109	1,271	0,813	1,139	1,270	0,997	0,970
Almanya	3,726	4,915	6,398	3,141	6,864	4,243	5,084	4,642	5,425	5,750	5,697
Diğer	42,751	45,791	58,285	48,951	52,319	62,217	53,639	60,886	55,566	50,830	49,022
Dünya	91,53	106,90	147,69	146,96	173,36	191,54	158,41	146,60	138,72	136,22	124,25
	x1.000.000										

Tablo 2.5’de Gemi inşa ihracatında her ne kadar üretilen gemi tonajında Çin lider olmasına karşın G.Kore, ihracat kaleminde en fazla değere sahip ülkedir. 2011 yılında 54 milyar dolar ve

2016 yılında 33 milyar dolar değerindedir. Aynı dönemde Çin 2011 yılında 43 milyar dolar ve 2016 yılında 22 milyar dolarında olmuştur. Türkiye açısından ise 2008 yılında 2,6 milyar dolar ve yaklaşık son 10 yıllık ortalama 1 milyar dolar civarında olmaktadır, (ITC, 2017; TÜİK, 2017).

Tablo 2.6: Dünya gemi sanayi 2006-2016 yıllık ithalat değerleri (ITC, 2017).

Ülkeler	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Çin	0,531	0,993	1,288	2,479	1,678	2,040	1,784	2,035	1,318	1,003	1,924
G.Kore	1,031	1,887	3,360	2,823	3,359	2,403	2,543	1,694	1,774	2,355	1,849
Japonya	0,192	0,266	0,554	0,257	0,455	0,375	0,576	0,524	0,569	0,498	0,809
Türkiye	0,317	0,712	0,874	1,202	1,041	1,507	1,006	0,898	0,453	0,532	0,359
Almanya	8,793	3,777	8,127	6,699	14,600	9,695	6,112	4,549	2,557	2,023	2,839
Diğer	54,759	59,926	81,844	76,558	89,015	98,273	79,303	86,810	71,101	71,307	82,853
Dünya	65,62	67,56	96,05	90,02	110,15	114,29	91,32	96,51	77,77	77,72	90,63
	x1.000.000										

Tablo 2.6’da Dünya gemi inşa ithalatında, 2011 yılına kadar artış görülmektedir 2006 yılında 65 milyar dolar, 2011 yılında 114 milyar dolar ve 2016 yılında 90 milyar dolar olmuştur. Türkiye gemi ithalatında 2009-2012 yılları arasında 1 milyar dolar değerinde ihracattan daha fazla ithalat etmiştir, 2016 yılı itibariyle bu değer 360 milyon dolar civarındadır, (ITC, 2017; TÜİK, 2017).

Tablo 2.7: 2007, 2010, 2013, 2016 yıllarında gemi sanayisi ihracatında ilk 10 ülke (ITC, 2017).

Sıra		2007		2010		2013		2016
1	G. Kore	26,632	G. Kore	46,735	G. Kore	35,870	G. Kore	33,155
2	Japonya	15,523	Çin	40,296	Çin	28,681	Çin	22,515
3	Çin	12,220	Japonya	26,037	Japonya	15,384	Japonya	12,895
4	İtalya	6,087	Almanya	6,864	Brezilya	7,934	Almanya	5,697
5	Almanya	4,915	İtalya	5,406	Polonya	5,445	İtalya	4,867
6	Polonya	3,593	Hindistan	4,223	Almanya	4,642	Hollanda	4,773
7	ABD	3,160	Polonya	3,209	Hindistan	3,597	Brezilya	3,841
8	İspanya	2,830	Fransa	2,776	İtalya	3,377	Polonya	3,698
9	Hollanda	2,773	ABD	2,629	ABD	2,678	Hindistan	3,222
10	Fransa	2,686	Rusya	2,286	Singapur	2,488	Fransa	2,772
	x1.000.000							

Tablo 2.7’de 2007, 2010, 2013 ve 2016 yıllarında gemi inşa ihracatındaki ilk 10 ülkelere yer verilmiştir. Buna göre G.Kore diğer ülkelere göre açık ara daha fazla ihracat gerçekleştirmektedir.

Bu da ürün bakımında daha yüksek değerli gemiler olduğu anlaşılmaktadır. Çin 2010 yılında bu farkı kapaya çalışmış olsa da 2016 yılı sonu itibariyle G.Kore bu farkı açmıştır. İlk 3 ülke lider ülkeler olduğu görülmektedir. G.Kore'nin 2016 yılındaki pazar payı ihracat değeri olarak %27 ve Çin'in pazar payı %18 civarındadır, (ITC, 2017).

2.3.5. Gemi İnşa Sanayisinde Devlet Teşvikleri ve Politikaları

Bir ülkenin gemi inşa sanayinde devlet teşviği ve desteğine ihtiyaç duyması belirli süreçler sonucunda gelişen doğal bir sonuçtur.

- İlk aşamada; yeterli düzeyde deniz ticareti oluşmamış olan ülkeler ihtiyaçları olan ticari gemileri gelişmiş ülkelere ikinci el ya da yeni gemi olarak sağlarlar.
- İkinci aşamada; deniz ticareti, yerli ve yabancı gemi sayısı artar. Bu gemilerin bakım ve onarımı için tersaneler kurulur.
- Üçüncü aşamada; gemi bakım ve onarım faaliyetleri için teknoloji gerektiğinden ve ayrıca ulusal filonun büyümesi zorunluluğundan yeni gemi inşa faaliyetleri için tersaneler kurulmalıdır. Bu durum; beraberinde, büyüyen gemi inşa faaliyetlerini karşılayabilme çerçevesinde çelik sanayisini hareketlendirir.
- Dördüncü aşama; fiyat avantajının rekabet gücünü artırarak ülkenin global gemi inşa sanayinde pazar payını artırdığı aşamadır.
- Beşinci aşamada; kullanılan teknoloji yükseltilmeye, verimlilik artmaya, fiyatlar düşürülmeye başlar ki bu aşamada işçilik maliyetleri yükselir.
- Altıncı aşamada; işçilik maliyeti yüksekliği ve kalifiye işgücü kıtlığı verimliliği ve fiyat rekabet gücünü düşürmeye başlar. Rekabet gücü ve dolayısıyla pazar payı kaybedilince, diğer bir deyişle yükseliş trendi tersine döndüğünde ülke, finansal destekler ve devlet teşviklerine ihtiyaç duyar.

Geçmiş liderlerden ABD ve İngiltere son aşamaları yaşarken; Japonya 5. ve 6. süreçlerin ortasında, G.Kore 5 sürecinde (Won, 2010), Çin ise; devlet desteği ve koruması altında bulunmakla birlikte 4. aşamayı tecrübe etmektedir.

2.3.5.1. Çin Gemi İnşa Sanayisinde Devlet Teşvikleri ve Politikaları

1980 yılı sonrası Dünya gemi inşa sanayisinde en düşük iş gücü maliyetine sahip olan Çin'de gemi inşa sanayinde devlet teşvik ve destekleri 1990'lı yıllarda başlamıştır (Won, 2010),

1990'lı yılların sonunda doğru devlet teşvik, finansman desteğini doğrudan yapmaya başlanmış ve 2000'li yıllardan itibaren bu destekler hızlanmıştır (Altan ve diğ., 2010).

Çin Gemi İnşa Sanayicileri Derneği, 13. 5 yıllık kalkınma planı gemi inşa sektörünü politikaları kapsamında: zarar eden tersaneleri kapatılması, küçük ve orta ölçek tersanelerin birleşmesi yönündeki teşvikler, yeniden yapılandırma, rekabetin ve verimliliğin artmasının sağlanması. Üst düzey yönetici ve teknoloji geliştirecek nitelikli insanların gemi inşa sektörü açısından yetersiz oluşu ve yurtdışından nitelikli insanların ülkede çalışması için teşviği. Kurumların yeni teknoloji geliştirmeleri, Ar-Ge çalışmaları ve inivasyon çalışmalarının yapılması için gerekli desteklerin sağlanması. Tersanelerde sanal üretim, otomasyon ve robotik teknolojilerin gelişimi, sadece gemi inşa sanayisi için diğer sektörler için ileri teknoloji üretiminin desteklenmesi. Bilimsel ve teknolojik gelişmelerin ve inivasyonun öneminin farkındalığının artmasını sağlayarak, gemi inşa sanayisinin gelişimi için gemi inşa enstitülerinin desteklenmesi. Finansman, işletmelerle bankalar arasında daha destekçi bir durum olması ve sektöre verilen kredilerin teşviğinin sağlanması, çeşitlendirilmiş ve farklılaştırılmış kredi politikaların uygulanması. Uluslararası politika yapıcılığı niteliğinin kazanılması ve daha çok liderliğin öne çıkması. Tersane birliğinin teşvik edilmesi şeklindedir, (CANSI, 2016).

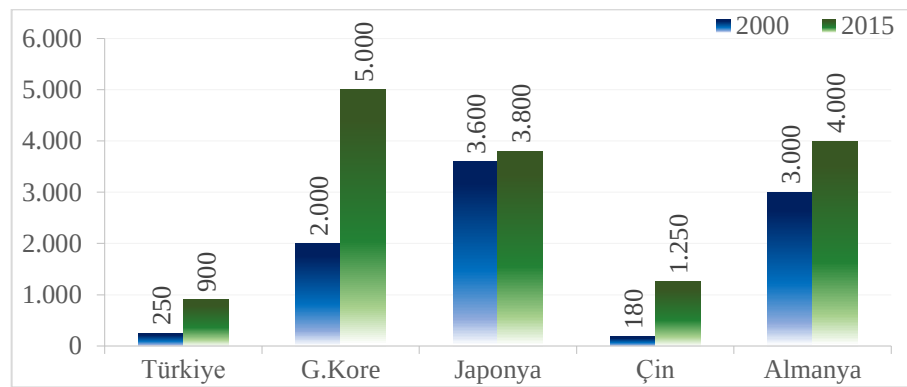
2.3.5.2. Türkiye Gemi İnşa Sanayisinde Devlet Teşvikleri ve Politikaları

Türkiye tersaneleri sektöre verilen destekler; 1995 yılından bu yana Türk Eximbank gemi inşaatı ve ihracat için finansman programına uygun olarak verilen avans teminat yoluyla gemi katılan şirketler desteklemiştir. Denizcilik Müsteşarlığı Türk gemi inşa faaliyetleri nedeniyle Türkiye ile AB arasındaki Gümrük Birliği'nin ilgili hükümleri, devlet desteğinin bazı kısıtlayıcı yükümlülüklerine tabi olduğunu kaydetmiştir. Hazine Müsteşarlığı, çeşitli destek önlemleri içeren Yatırım Teşvik Programı, hedefleri ve bu program kapsamında, uygun yatırım projeleri yararlanma izin yatırım teşvik belgeleri verilmektedir. Program çok boyutludur. Mal ve hizmetlerin, çevre koruma ve Ar-Ge faaliyetleri için yatırımların desteklenmesi için yatırımların desteklenmesi üretimi için yatırım destek içerir. Yatırım teşvik uygulaması temel olarak vergi ve her bir projenin kendi karakteristik özelliği olduğundan dolayı proje bazlı olarak geçerlidir. Yatırım teşvik programı gemi inşada belli bir sektörü desteklemeyi amaçlamaz, teşvik kriterlerine uygun olan sektörleri kapsamamaktadır. Teknolojik ilerlemelerin sistematik takibini sağlamak üzere Teknoloji Kazanımı Yol Haritası oluşturulmuştur. Küresel kriz nedeniyle üretim ve ihracat seviyesinde önemli düşüş gerçekleşen Türk gemi inşa sanayiinin rekabet gücünün bulunduğu alanlarda, Ar-Ge çalışmalarıyla gemi tasarımı ve üretiminde dünya

piyasalarından alınan pay artırılacaktır. Türk gemi inşa sanayinin rekabet gücünü artırmayı amaçlayan Ekonomi Bakanlığı, 13 gemi yapım projesini yatırım teşviki kapsamına almıştır. Gümrük vergisi muafiyeti; Hazine Müsteşarlığı tarafından yatırım teşvik belgesi listesine uygun olarak yatırım projelerinin değerlendirilmesinde Gümrük Vergisi Muafiyeti kapsamında “Makine ve Teçhizat Listesi”ndeki belirtilen makine ekipmanları kapsamaktadır. Hazine Müsteşarlığı Katma Değer Vergisi ödenmesi muafiyeti düzenlemeleri yapmaktadır. Yatırım Teşvik Belgesi kapsamındaki makine ve ekipman listeleri kapsamındaki ithalat, makine ve teçhizat yurtiçi alımlarında KDV vergisinden muaf tutulur. Vergi İndirimler; yatırıma katkı oranı 31 Aralık 2010 sonrası için kurumlar vergisi veya gelir vergisi,% 15 oranındadır. Genel teşvik kapsamında sağlanan destekler olarak “Tersanelerin Gemi İnşa Yatırımları için Sigorta Primi İşveren Hissesi Desteği” desteklenmiştir, (Dünya Gazetesi, 2014; OECD, 2011; Kalkınma Bakanlığı, 2013; TC Ekonomi Bakanlığı, 2012; 2017).

2.3.6. Gemi İnşa Sanayisinde İşgücü Maliyetleri

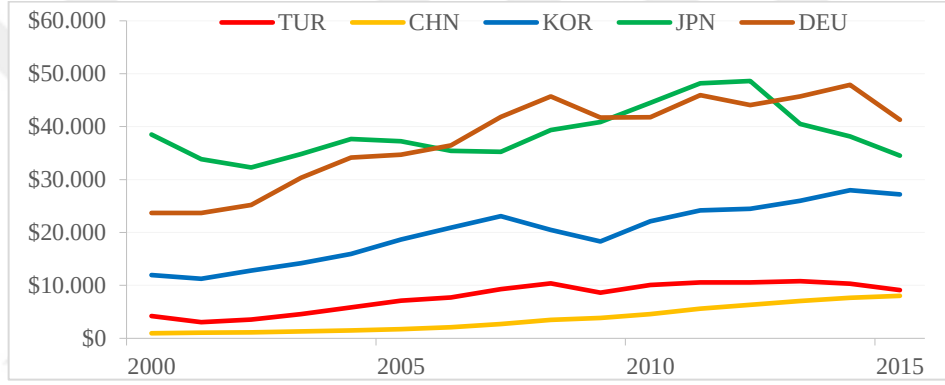
Türkiye’deki tersane yatırımları ve tersanelerin büyüklüklerine bakıldığı zaman dünyadaki gemi üretimin GT ölçeğinde %1 payı olan tersanelerimiz bulunmaktadır. Türkiye’de 80 adet tersane bulunmaktadır. Şekil 2.17’de, Türkiye’nin kişi başına milli gelir 2015 yılı itibariyle \$9.437’dir. Japonya’da 18 işletmenin kontrol ettiği 32 tersane ve Dünya’da üretilen gemileri GT olarak pazar payı %20’sine sahipken ve kişi başına düşen gelir 2015 yılı itibariyle \$32.486’dır.



Şekil 2.16: Gemi inşa sanayisinde ülkelerin 2000 ve 2015 yılı ortalama ücretler, (Trading Economics, 2016).

Türkiye ile Japonya’yı kişi başına gelir ile karşılaştırdığında Türkiye Japonya’ya göre %31 daha düşük, G.Kore’ye göre de %65 daha düşüktür ve Çin’e göre de %18 daha yüksektir. Buradan,

ülkemizin işçilik girdileri ve ücretleri de kişi başına düşen gelirle paralel arz etmektedir. Japonya ve G.Kore'nin kişi başına yüksek gelirleri olmasına rağmen gemi inşa sanayisinde rekabet edecek ve Dünya piyasasının %55'ini ellerinde bulundurduklarına göre, gemi inşa piyasasında ülkemizin işçilik olarak düşük ücrette olması şuan için bir avantaj olabilir ve bu avantajı uzun yıllar rekabet edebilecek bir durum için kullanabilir. Aynı zamanda ilerleyen yıllarda Türkiye'nin geliri bugünkü değerle \$30.000 olana kadar rekabet edebilir bir düzeyde olacaktır. O halde ülke sanayisinin rekabet edebilir düzeyde olmasının neden temel işçilik girdileri elbette önemlidir fakat ana unsur değildir. Verimlilik daha fazla önemli olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2.17: 2000-2015 dönemi kişi başına milli gelirleri (World Bank, 2017).

2.3.7. Türkiye'deki Tersanelere Dair Bilgiler

Türkiye'deki tersanelerde gemi inşa faaliyetlerine ek olarak gemi bakım, onarım ve söküm hizmeti veren tersaneler, 2016 yılı sonu itibarıyla sayısı 80 adettir, (T.C. Ulaştırma, Haberleşme ve Denizcilik Bakanlığı, 2017).

2.3.7.1. Türkiye'deki Tersanelerde Kapasite Kullanımı

Türkiye'deki tersanelerin 2001-2014 yılları arasındaki verilere göre yıllık ortalama kapasite kullanım oranı %24 civarındadır. 2008 yılı haricinde Türk tersanelerinin yıllık kapasite kullanım oranları %10 ila %40 arasında değişmiştir, (Tablo 2.8).

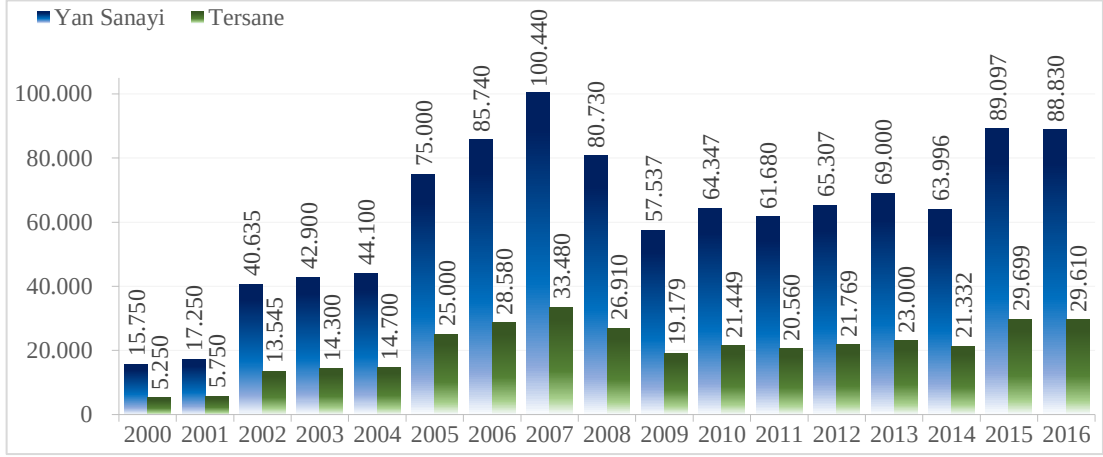
Tablo 2.8: Türkiye’deki tersanelerin yıllık tonaj kapasite, üretim değerleri ve kapasite kullanım oranları (T.C. Ekonomi Bakanlığı, 2012; OECD, 2011; DTO, 2016; TC. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2016).

Yıl	Türk Tersanelerinin Yıllık Üretim Kapasitesi (DWT)	Yıllık Üretim (DWT)	Yıllık Kapasite Kullanım Oranı
2001	1.000.000	119.350	11,94%
2002	1.088.206	84.700	7,78%
2003	1.184.192	106.450	8,99%
2004	1.288.645	293.229	22,75%
2005	1.402.311	331.740	23,66%
2006	1.526.003	556.285	36,45%
2007	1.660.605	670.000	40,35%
2008	1.807.080	1.277.959	70,72%
2009	1.966.475	550.000	27,97%
2010	2.139.930	524.907	24,53%
2011	3.600.221	517.697	14,03%
2012	3.600.221	634.503	17,19%
2013	3.610.000	601.652	16,30%
2014	3.670.000	524.139	14,21%
		Ortalama	25,01%

2.3.7.2. Türkiye Gemi İnşa Sanayisinde İstihdam

Gemi inşa sanayisi; çelik, makine imalat, elektrik elektronik, boya, plastik, sanayi gibi pek çok sanayi kolları tarafından beslenen ve bunun yanı sıra tamir ve bakım faaliyetlerini de kapsayan bir yapıya sahip olmasından dolayı geniş faaliyet alanı oluşturmakta ve istihdama önemli katkılar sağlamaktadır (Günay, 2002; DPT, 2006). Türkiye’de gemi inşa sanayisinin 2000’li yıllarda gelişmesiyle birlikte tersane ve yan sanayisinde istihdam artışları olmuştur. En fazla sayıda istihdam sayısı 2007 yılında 133.920 kişi istihdam edilmiş, 2016 yılı itibariyle istihdam sayısı 29.610 ve yan sanayisinde çalışan sayısı takriben 118.440 kişidir (Şekil 2.18), (OECD, 2011; T.C. Ulaştırma, Haberleşme ve Denizcilik Bakanlığı, 2017).

Tablo 2.9’da, Almanya’nın gemi inşaatının payının düşmesine paralel olarak iş gücünün de düşmekte olduğu, Çin (sağlıklı yıllık veriler temin edilememektedir) pazar payının artmasıyla işgücünde de arttığına, Japonya’nın pazar payının azalmasıyla istihdamında azaldığına ve G.Kore, yıllar içinde düzenli olarak artan bir istihdam sayısı vardır, (T.C. Ulaştırma, Haberleşme ve Denizcilik Bakanlığı, 2017; OECD, 2015; SAJ, 2016; KOSHIPA, 2016; Clarkson, 2015).



Şekil 2.18: Türk Gemi inşa sanayi 2000-2015 yılları arası toplam doğrudan istihdam değerleri.

*"Yan Sanayi", "Doğrudan İstihdam"ın 3 katı, "Yan Sanayiyle Birlikte Toplam İstihdam"; "Doğrudan İstihdam"ın 4 katı olarak alınmıştır (TBMM, 2008).

Tablo 2.9: Gemi inşadaki lider ülkelerin yıllara göre istihdam değerleri, (T.C. Ulaştırma, Haberleşme ve Denizcilik Bakanlığı, 2017; OECD, 2015; SAJ, 2016; KOSHIPA, 2016; Clarkson, 2015).

Yıl	Türkiye	G.Kore	Japonya	Çin	Almanya
2000	5.250	-	-	-	-
2001	5.750	-	37.016	-	25.583
2002	13.545	65.907	38.431	-	-
2003	14.300	66.836	41.810	-	-
2004	14.700	71.781	40.438	-	-
2005	25.000	80.573	43.335	-	22.889
2006	28.580	93.385	47.164	-	21.008
2007	33.480	118.893	50.240	260.000	21.877
2008	26.910	101.682	52.139	-	23.637
2009	19.179	107.402	53.896	-	21.975
2010	21.449	118.300	53.320	-	19.098
2011	20.560	124.114	52.764	-	18.343
2012	21.769	138.399	51.180	490.000	17.928
2013	23.000	154.208	46.513	500.000	16.729
2014	21.332	184.441	44.340	-	17.446
2015	29.699	181.239	46.416	-	-

2.3.7.3. Türkiye'deki Tersanelerde Verimlilik

Gemi üretiminde ülkelerin rekabetini ölçmenin temelinde girdilerin çıktılara oranı sonucu verimlilik ölçülmektedir. Gemi inşaada bu oranlar, üretilen DWT miktarı ile yapılan ihracat USD değerinin tersanelerde üretim yapan toplam istihdama oranları dikkate alınmıştır.

Gemi inşanın ihracatına yönelik olarak USD/Adam verimliliğine bakıldığında; Türkiye'deki birim ihracat değerinin en yüksek olduğu 2008 yılı ile USD 98.397/Adam olarak

gerçekleşmiştir. Ancak küresel talep düşüklüğün bir yansıması olarak yıllar içinde azalan süreçte 2016 yılı itibari ile azalarak USD 33.563/Adam olarak gerçekleşmiştir, (Tablo 2.10).

Tablo 2.10: Türk tersanelerinin 2001-2015 yılları arasında çalışanın ürettiği ihracat değerleri (T.C. Ulaştırma, Haberleşme ve Denizcilik Bakanlığı, 2017; TÜİK, 2017).

Yıl	Yıllık İhracat Değeri (USD)	Yıllık İstihdam Sayısı (Adam)	İhracat Bazında Verimlilik (USD/Adam)
2001	308.647.245	5.750	53.678
2002	290.222.077	13.545	21.427
2003	440.510.520	14.300	30.805
2004	686.334.184	14.700	46.689
2005	1.251.572.997	25.000	50.063
2006	1.398.515.566	28.580	48.933
2007	1.818.572.293	33.480	54.318
2008	2.647.859.293	26.910	98.397
2009	1.826.246.762	19.179	95.221
2010	1.108.614.072	21.449	51.686
2011	1.271.173.240	20.560	61.827
2012	812.834.775	21.769	37.339
2013	1.139.344.313	23.000	49.537
2014	1.270.033.249	21.332	59.537
2015	996.783.727	29.699	33.563
2016	970.057.882	29.610	32.761
		Ortalama	51.611

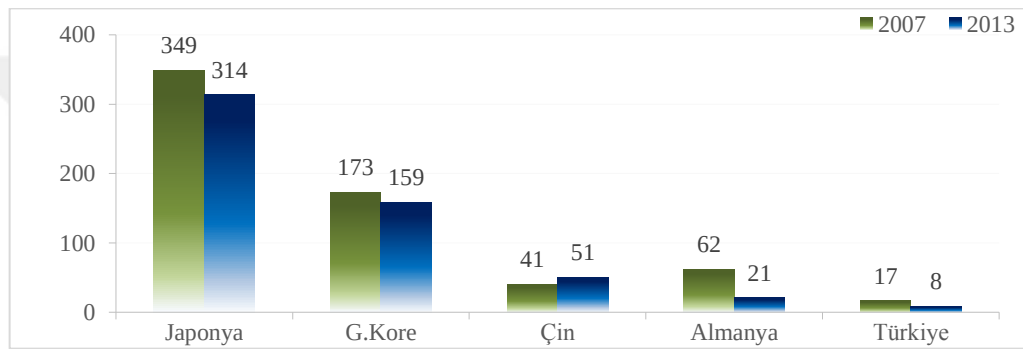
Tablo 2.11: Türk Tersanelerinde İstihdam, Üretilen DWT Gemi İlişkisi (GİSBİR, 2016; T.C. Ulaştırma, Haberleşme ve Denizcilik Bakanlığı, 2017).

Yıl	Yıllık DWT Üretim	Yıllık İstihdam Sayısı (Adam)	Üretim Verimlilik (DWT/Adam)
2002	123.297	13.545	9,10
2003	203.555	14.300	14,23
2004	201.883	14.700	13,73
2005	295.790	25.000	11,83
2006	416.128	28.580	14,56
2007	660.654	33.480	19,73
2008	962.072	26.910	35,75
2009	670.638	19.179	34,97
2010	482.200	21.449	22,48
2011	350.487	20.560	17,05
2012	192.804	21.769	8,86
2013	173.797	23.000	7,56
2014	139.073	21.332	6,52
		Ortalama	16,65

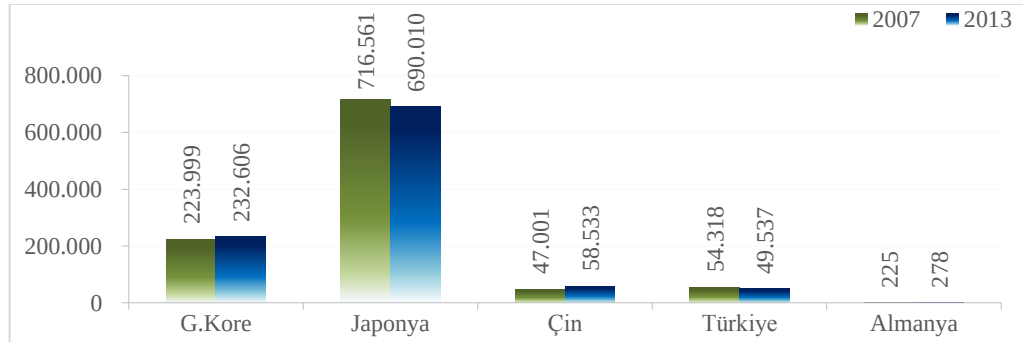
2002-2008 döneminde artış döneminde, 2002 yılında ülkede üretilen kişi başına üretim miktarı 9,1 DWT/Adam iken bu oran 2008 yılına kadar % 293 artarak 35,8 DWT/Adam olmuş ve 2008-

2015 döneminde düşüş dönemi 2014 yılı sonunda %82 azalarak 6,5 DWT/Adam olmuştur, (Tablo 2.11), (DTO, 2016; T.C. Ulaştırma, Haberleşme ve Denizcilik Bakanlığı, 2017).

Şekil 2.19’de, lider ülkelerin toplam üretmiş olduğu 2007-2013 yıllarına ait GT üretimin, tersanelerde çalışanlarına bölünmesiyle kişi başına düşen birim GT/Adam değerinin en yüksek olduğu Japonya olduğu görülmektedir. Otomasyon, kalifiye işgücü ve teknolojik üstünlük temel etkindir. 2007’de Japonya Türkiye’den 20 kat fazla iken 2013 yılında 37 kat olmuştur, (OECD, 2011; SAJ, 2016; Clarkson, 2015; KOSHIPA, 2016).



Şekil 2.19: 2007-2013 yılına ait lider ülkelerin GT/Adam bazında verimlilik değerleri.



Şekil 2.20: 2007-2013 yılına ait lider ülkelerin USD/Adam bazında verimlilik değerleri.

Şekil 2.20’de, lider ülkelerin toplam üretmiş olduğu 2007-2013 yıllarına ait ihracat değerlerinin tersanelerde çalışanlarına olan oranın sonucunda, birim USD/Adam değerinin en yüksek olduğu Japonya olduğu görülmektedir. Bunun temelinde otomasyon, kalifiye işgücü ve teknolojik üstünlük vardır. 2007’de Japonya Türkiye’den 13 kat fazla iken 2013 yılında 14 kat olmuştur, (OECD, 2011; SAJ, 2016; Clarkson, 2015; KOSHIPA, 2016, ITC, 2017).

2.3.7.4. Türkiye’deki Gemi İnşa Sanayisinde İş Sağlığı ve Güvenliği

Gemi inşa sanayisi tüm dünya, ağır ve tehlikeli işler grubunda yer almaktadır. Gemi inşanın, boya, asbest, demi tozu, metal çapakları, kaynak uygulamaları ve bu işlemin sonucunda açığa çıkan kimyasal gaz ve zararlı ışınlar, kimyasal maddeler, yangın, patlama, elektrik çarpması, düşme ve çarpmalara karşı koruyucu iş sağlığı ve güvenliği anlayışı, baret, ayakkabı, maske, eldiven vb koruyucu ekipmanların ve önlemlerin alınması gerekmektedir.

İşletmelerin İş Sağlığı ve Güvenliği ile ilgili standartları konusundaki standartları OHSAS 18001 “İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi” ile bunun yanında Türkiye’de 6331 sayılı kanun gereğince uygulanması İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu şartlarını uygulamak zorundadırlar.

SGK’nın 2013 yılından itibaren İş Kazaları, Meslek Hastalıkları ve Ölümlü İş Kazaları istatistiklerini daha ayrıntılı bir şekilde değerlendirmeye başlamıştır, 2013 yılından önce bu veriler yeterli değildir, (Tablo 2.12).

Tablo 2.12: Türk Tersanelerinde 2013-2015 yılları arasındaki, iş kazaları, ölüm vakası ve meslek hastalıkları verileri (SGK, 2016)

Yıllar	İş Kazası		Meslek Hastalığı		Ölümlü İş Kazası	
	Gemi İnşa	Gemi Sökümü	Gemi İnşa	Gemi Sökümü	Gemi İnşa	Gemi Sökümü
2013	1.321	305	8	0	6	2
2014	1.736	527	16	0	9	2
2015	1.944	345	10	0	7	2

2.3.7.5. Türkiye Gemi İnşa Sanayi GZFT (SWOT) Analizi

Bu bölümde Türkiye’deki tersanelerin GZFT (Güçlü Yönleri-Zayıf Yönleri-Fırsatlar-Tehditler) Analizi verilmektedir.

Güçlü Yönler:

Kimyasal tanker üretimindeki başarısı, mega yat üretiminde Dünya üçüncülüğü, iş gücü kaliteli ve ucuzdur. Pazara olan yakınlık ve uygun coğrafi konuma sahip olunması, özel tersanelerin yarıya yakını Tuzla bölgesinde bulunması, malzeme tederâğında sorun yaşanmaması. Kalite ile belgelenmiş ürün kullanılması, Türk tersaneleri müşteri talepleri lehine esnekliği, kaliteli ahşap işçiliği, gemiler Uzakdoğu üreticilerine göre geç teslimine karşın Dünya piyasasında önemli bir

yere sahip olması. Türkiye’deki ulaşım, bankacılık, haberleşme, konaklama vb. yan hizmetlerin çağdaş düzeyde oluşu (DTO, 2016; Cengiz, 2007; Hazneci, 2009).

Zayıf Yönler:

Sermaye, finansman, teminat ve uzun dönem kredi temini sorunu, proje tamamlanma sürelerinin uzunluğu, düşük üretim ve kapasite kullanım oranı, yüksek enerji girdileri, büyük tonajlı gemi inşa kabiliyetinin yetersizliği, üretim planlama yetersizliği, alıcı baskın pazar, tasarım eksikliği, marka tescil yetersizliği. Kurumsallaşma yetersizliği, rekabette fiyat avantajının kullanılması, kalite yönetim sistemlerinin etkin kullanılmaması, inovasyon eksikliği ve teknolojinin etkin kullanılmaması, Pazarlama ve satış stratejilerindeki eksiklikler. Ar-Ge eksikliği, gümrük mevzuatında zorluklar, profesyonel yönetici bulunmaması, üniversitelerin sektöre tam olarak desteğinin aktaramaması, kalifiye teknik eleman sıkıntısı, yan sanayinin ürün çeşitliliği ve belgeli standardizasyon yetersizliği, Malzeme tedarikinde dışa bağımlılık ve bu bağımlılıktan ötürü tedarik zincirinin uluslararası yapıya sahip olması, yat sektöründeki işletmelerin küçük ve orta ölçekte olması, güçlü örgüt yapısında olmamalarıdır, (Cengiz, 2007; DPT, 2006; Hazneci, 2009; Ayvaz ve Duman, 2012; DTO, 2016).

Fırsatlar:

Koster filosunun Türk tersanelerinde yenilenmesi, bakım-onarım ve yeni gemi inşa için uygun coğrafik konumu, Avrupa’da ve bölge ülkelerinde balıkçı filolarının yenilenme ihtiyacı, Türk gemi inşa sanayisinin butik tarzdaki çekiciliği, savunma sanayine olan katkının artması, yenilebilir enerji kaynakları kullanımının artması, Offshore ve LPG/LNG yapılarının artması, yat inşanın serbest bölgelerde yoğunluk kazanması, bölgesel talep artışıdır, (DPT, 2006, Cengiz, 2007; Hazneci, 2009; Mickeviciene, 2011; Ayvaz ve Duman, 2012; DTO, 2016).

Tehditler:

Çin’in işçilik kalitesinin de artarak yükselişi, yeni inşa talebinin azalması, Dünya’daki koruyucu politikalar, rakip ülke tersanelerinin artan rekabeti, jeopolitik riskler, yavaşlayan küresel ekonomi, artan döviz kurları, Dünya’da faizlerin artması, hammadde, yarı mamul ve mamul fiyatlarında değişiklikler, vergi düzenlemeleri, lider ülkelerin yeni yatırımları, AB uyumu kapsamında laboratuvar altyapı teknolojik yetersizlikler olarak sıralanabilir, (DPT, 2006, Cengiz, 2007; Hazneci, 2009; Mickeviciene, 2011; Ayvaz ve Duman, 2012; DTO, 2016).

2.4. TERSANELERDE ÜRETİM

2.4.1. Tersanelerde Üretim ve Planlama

Günümüz global dünyada rekabet koşulları ve teknolojik gelişmeler üretim yapan işletmeler üzerinde, müşterilerin beklentisi doğrultusunda en kısa zamanda, en kaliteli ürünü en ucuza üreterek müşteriye sunma baskısını hissettirmektedir.

Gemi inşa sanayisinde günümüzdeki dünya tersanelerin tamamına yakın olarak uygulanmış oldukları en son üretim yöntemi; gemi farklı kısımların tersanenin ya da bir başka tersanelerde ilgili üretim yerlerinde bloklar halinde olacak şekilde üretilerek, tüm bu blokların üretiminden sonra, tersanenin niteliğine ve geminin özelliğine göre kızakta ya da havuzda gemiyi oluşturan blokların montajı şeklinde birleştirilerek geminin oluşturulması ve inşa edilmesi yönetimi olmaktadır.

Ancak projenin büyüklüğü göz önünde bulundurulduğu zamanlarda; tersane altyapısının yetersiz kalıp karşılamadığı ölçülerde olduğunda, kızak üzerinde geminin tamamı değil birkaç bloktan oluşan blok gruplarının montajı yapılarak, kalan işlem havuz da birleştirmek suretiyle geminin inşası tamamlanmaktadır. Bu durum büyük projeler için kuru veya yüzer havuz ihtiyacı meydana getirmekte, tersanenin yıllık olarak gemi üretimindeki üretebileceği maksimum adet ve gemi büyüklüğü de bu havuzların adet ve kapasitesine göre sınırlanarak etkilenmektedir. Dolayısıyla bu durum tersanenin yıllık üretim verimliliğini de etkilemektedir, bu çerçevede aynı anda birden çok gemi inşa faaliyetleri de kızak ve havuz kapasitesiyle kısıtlanmaktadır. Aynı zamanda, gemi inşa kademelerinde iş akışı sıralamasındaki öncelikli sıralama da yer alan gemi bloklarını üretiminde olası meydana gelecek olacak gecikmeler, bu bloğun sonrasında üretime girecek olan blok üretilmiş olmuş olsa dahi blok birleştirme sırasında bir gecikmenin olmasına neden olacak ve geminin tamamlanması dolayısıyla teslim süresini de uzatacaktır. Bu da tersanelerin üretim planlaması üzerinde, üretim süreci boyunca yapılan planlamaların ve blok üretiminde de üretimdeki eş zamanlı olarak ya da sürekliliğin sağlanması için başarılı olmak zorunlu kılınmaktadır. Bunun yanında malzeme tedarikinde oluşabilecek olan problem ve gecikmeler, işgücünde oluşabilecek sorunlar, makine, ekipman ve teçhizatları oluşabilecek olan arızalar veya öngörülmemiş güz sorunlar, birbirleriyle bağlantılı üretim kademelerini kapsayan bu üretim yönteminin dezavantajlarının meydana gelmesine neden olabilmekte ve böylece bu durum projenin zamanında teslim edilmesini olumsuz olarak etkilenmesine neden

olmaktadır. Bunun gibi dezavantajlara rağmen, üretim yönteminin, diğer yöntemlere göre daha kısa süre içinde ve blokların farklı yerlerde imalatı yapılarak sonunda kızak veya havuzda montajının yapılmasıyla daha küçük bir alanda gemi inşasının tamamlanması açısından avantajlı olması ve günümüzde yaygın olarak kullanımı ağırlamaktadır (Özyiğit, 2006).

Won (2010) gemi inşaat üretim yönetim sistemini standart bir organizasyonu Şekil 2.21'deki gibi 4 temel kategoride sınıflandırarak belirtmiştir.



Şekil 2.21: Gemi inşa üretim standart yönetim sistemi (Won, 2010).

Gemi üretiminin karmaşık ve kapsamlı bir süreci içermesi nedeniyle, planlama, çizelgeleme ve kontrol olacak şekilde alt başlıklar altınca incelenerek, tasarım, mühendislik, tahminleme, üretim malzeme tedariki konularını kapsayacak şekilde ele alınması gerekir. Üretim planlama ve yönetimi; üretime girecek olan hangi kaynakların ne zaman, hangi işlemlerle, hangi tezgâhlara, kim tarafından, hangi önceliklerle, ne kadar ve hangi şekillerde kullanılacağına ilişkin olarak tüm sorulara yanıt bulmak ve çizelgeleme için yardımcı olması gerekir. Bu

bağlamda tersanelerde üretim, öncelik, zaman ve kaynak ihtiyacı çerçevesinde yapılması gereken faaliyetler programının ayrıntılı ve noksansız formülasyon olması özelliğini taşımalıdır planlanan faaliyetlerle gerçekleşen faaliyetler arasındaki sapma ve farklılıklar düzenli olarak kontrol edilmeli ve asgari düzeyde tutulacak şekilde yönetilmesi gerekir (Alkaner, 1998). Bununla beraber bir tesis olarak tersanenin bakımının düzenli olarak yapılması, insan kaynakları yönetimi ve muhasebe faaliyetlerinin eksiksiz olarak yerine getirilmesi gerektirecek şekilde yönetilmeli ve tüm aşamalarındaki planların noksansız ve koordinasyonlu olacak şekilde yerine getirilmesi sağlanarak geminin zamanında teslimi temin sağlanmalıdır (Akıncı, 2008).

Tersanelerdeki üretim planlama da diğer üretim sistemlerinde olduğu gibi, 3 aşamada incelenmesi mümkündür (Alkaner, 1998; Tokala, 2015):

Kısa Vadeli Üretim Planlama; çalışma sahasında günlük üretim planlama problemleriyle ilgilenir. Bu problemlere ilişkin planlamalar, üretim planlama ve kontrolüne ilişkin hiyerarşik sıralamada en alt seviyede yer almaktadır. Tek tek ürünleri, makinaları ve çalışanların zamanını çizelgeler. Üretim sırası, işgücünün atanması, envanter kontrolü ve araç planlaması yapılır. Orta vadeli planlamanın yüksek kullanılabilirlik hedefine ve uzun vadeli planlamanın maliyet minimizasyon hedefine mümkün olduğu kadar hızlı ürünler sunmayı amaçlamaktadır, (Alkaner, 1998; Tokala, 2015). Süreç akışının yardımıyla uygulanan üretim sistemi, uygulanacak çizelgeleme stratejilerinin belirlenmesinde büyük etkiye sahiptir. Gemi inşa sanayinde montaj işlemleri kesikli (aralıklı) üretim prensibi üzerine planlanmaktadır. Siparişe Göre Mühendislik Üretimi (ETO) çerçevesinde karşılaşılan problemlerin çözümlerine ilişkin öneriler, genelde algoritmaların optimizasyonu ve tahminsel kurallar üzerine kuruludur. Fakat gemi inşa sanayinde siparişe göre üretim çerçevesinde her ürün için farklı üretim planlamaları kendine özel ve karmaşık bir yapıya sahip olduğundan, analitik ve iş akışının en iyi sıralamasıyla ilgilenen kombinatorial yaklaşımların basitleştirilmesi ve tersanelerde pratikte uygulanmasının sağlanabilmesi gerekmektedir. Aksi durumda gemi inşa sanayisindeki reel uygulaması mümkün olmayacaktır. Proje Tipi Üretim, çerçevesinde siparişe üzerine özel olarak üretimi yapılan gemi inşa sanayinde, gemilerin üretim planlamasında süreçler birbirleriyle bağlı pek çok alt grup ve alt süreçlerden meydana gelmektedir. Birbiriyle ilişkili olan faaliyetler dikkate alınarak çizelgelenmenin yanı sıra, kritik öneme sahip faaliyetlerin tanımlanması ve kaynak tahsisi çizelgeleme yaklaşımı ile sağlanması mümkündür.

Orta Vadeli Üretim Planlama; toplam üretim ya da üretim programı, üretimdeki çıktının zamanlama ve miktarının orta vadede planlandığı süreçte tamamlanır. Üretimdeki işçi sayısı, üretimde ihtiyaç duyulan stok birikimi ve tedarik konuları da dahil olmak üzere tersanenin taktik kararlar olarak tanımlanmaktadır. Temel amacı, mevcut kaynakların verimli bir şekilde kullanımı önemli bir konudur. Bu kararların zaman çerçevesi günlerden aylara kadardır. Uzun vadeli planlamada yapılan kararlar genellikle sabittir, yani bunlar orta vadeli planlamanın kısıtlamalarıdır, (Alkaner, 1998; Tokala, 2015). Detaylı kapasite ve malzeme ihtiyaç planlamasının bir ön süreci olması sebebiyle bu süreçte birçok planlama metotları uygulanmaktadır. Bu planlama metotlarından biri; üretim sisteminin kontrolü ve problemlerin planlanmasında matematiksel modellemeye dayalı “Analitik” metodudur. Lineer Programlama, Tamsayı Programlama, Sıraya Dizme Modelleri gibi yaklaşımları içeren bu planlama metodu Atölye Tipi Parti Üretimi için öneriliyorsa da, tersanelerde orta vadeli planlama düzeyinde uygulaması bulunmamaktadır. Bir başka planlama metodu da; toplu üretim planlama problemlerinin çözümünde kullanılan “Simülasyon Yaklaşımı” ya da “Sistem Dinamikleri” metodudur. Bu deneysel yaklaşım, matematiksel modellerdeki eksiklikler nedeniyle analitik araçlarla değiştirilmiştir. Bu simülasyon modellemesinin gemi inşa sanayinde üst düzey planlama uygulaması Brazier ve Perry (1991) tarafından önerilmiştir. Bu metod; tersanenin kapasite ihtiyaçları, envanteri, üretiminin tüm aşamaları için önerilen üretim çizelgelemesinin analizini sağlarken, gemi inşa üretim sürecinin tamamını simüle edebilmeyi ve aynı zamanda baştan kaba tahminleme ve planlama yapabilmeyi de sağlamaktadır (Alkaner, 1998).

Uzun Vadeli Üretim Planlama; bir işletmenin ya da tersanenin ürünleri, fabrikaları, ekipmanları, üretim hatları ve lojistik sistemlerini kapsayan stratejisi olarak ifade edilmektedir. Bir tersanenin geleneksel olarak hedefi, gelecek dönemdeki ürünler için kapasitenin sağlanması, karlılık ve maliyet en önemli konulardır. Uzun dönemin vade planı aylar ve yıllar arasındadır, (Tokala, 2015).

“Stratejik Planlama” aşamasında, tek bir gemi için üretim programı ön dizayn temelli tanımlanır. “Taktiksel Planlama”; planı detaylandırmayı ve gerçek üretim durumuna uygun olarak ayarlamayı sağlar. “Operatif” ya da “Uygulamalı Kontrol”; atölye ya da sahadaki

ustabaşı planı hayata geçirir, eksik/kayıp malzeme ya da makine arızaları gibi muhtemel aksaklıklara karşı tepkisini tespit eder.

Tersanelerdeki üretim planlama için kullanılan bir diğer planlama yöntemi de GT “Grounded Theory” (Gömülü Teori) metodudur. Bu planlama metodu, benzer özelliğe sahip olan işlerin seçimi yapılarak sınıflandırılma yöntemine dayanmaktadır. Gemi üretiminde gövde kısmının sürekli olarak üretiminin yapılması, benzer ara üretimi yapılan ürünlerin gemiler için benzer olması ve onlarda da kullanılabilmesi, benzer işlemlere tabi olan parti üretimi çerçevesinde; lazer (kaynak, kesim, stok), boru (kesim, bükme, stok), blok (imalat, montaj, stok), panel/levha/profil (imalat, bükme, stok), sac/çelik (kesme, işleme, kumlama, boyama, raspalama, galvanizleme, stok), stok/ambar/depo, montaj, imalat, tasarım, havuz, kızak gibi önemli atölye, bölüm, kısım, hat veya tersanedeki sahaların şekillenmesine etki etmiştir. Bu yöntemin kullanılması, “hat dengeleme” metoduyla iş akış kontrol mekanizmalarında faydalı olduğu görülmektedir.

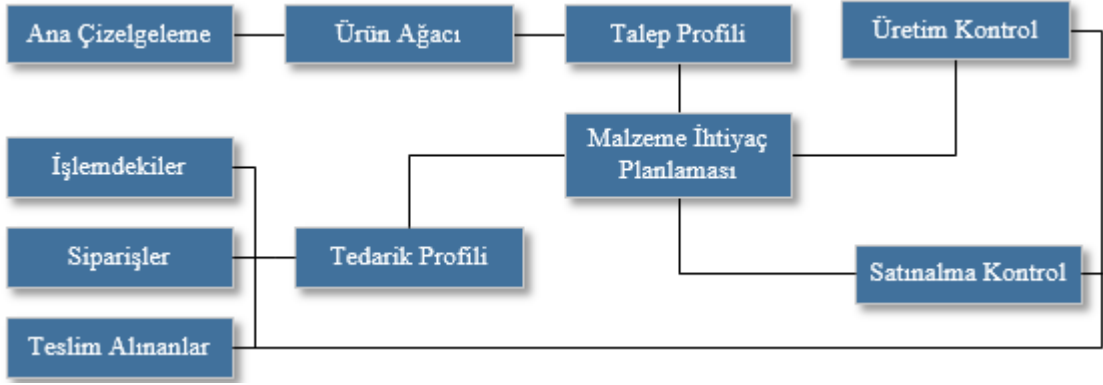
Tersanelerde üretim planlama ve yönetiminde verimlilik iyileştirmelerine yönelik OPT “Optimized Production Technology” (En İyi Üretim Teknolojisi) ya da Bottleneck Theory (Darboğaz Teorisi), çeşitli simülasyon programları veya sürekli iyileştirmeye yönelik Kaizen modelleri gibi farklı sistemler kullanılmaktadır. MRP II ve JIT’in birleşiminden oluşturulan En İyi Üretim Teknolojisi (OPT); üretim sisteminin sistemin verimliliğini etkileyen üretim istasyonlarında sıkışma veya beklemelere neden olarak zaman kaybına uğratan üretim darboğazlarını ortadan kaldırmaya ve üretim süresini kısaltmak için geliştirilen farklı bir sistemdir. Temel mantığı; üretim faaliyetlerinin akış dengesini kurmak olup, kapasite dengesiyle ilgilenmektedir. 1979 yılında ileri sürülen teori, tersaneler için üretim planlama ve çizelgeleme problemlerinde faydalı olabileceği düşünülmüş ve tersaneler için çeşitli yapılan çeşitli uygulama ve çalışmalarda yet almıştır. Tersanelerde OPT’nin uygulamalarında, genel uygulamasında olduğu gibi, tersanenin tüm üretim istasyonlarındaki sadece darboğazların birimlerinin tespitine yönelik olarak istasyonların detaylı analizi yapıldıktan sonra darboğaz olarak tespit edilen istasyonlar için iyileştirme uygulamalarının yapılmasına yönelik olarak odaklanılır. Tersanedeki üretim istasyonlarında sorunlu olan darboğaz sorunu problemi çözülerek, tüm sistemin üretip çıkışının artması sağlanır ve böylelikle toplam üretim süresi azalarak verimliliğin artması sağlanır (Özkök ve Helvacıoğlu, 2013).

2.4.2. Tersanelerde Malzeme İhtiyaç Planlaması

Tersanelerde planlama yapılması gereken bir diğer önem arz eden faaliyet ise malzeme tedarikidir. Gemi inşasında gemi maliyetinin yaklaşık %40'ını oluşturan malzemeler tersane dışından yurt içi ve yurt dışı tedarikçilerden temin edildiğinden, Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP I), yani üretimin hangi aşamasında hangi malzeme, makine veya teçhizata ihtiyaç duyulacağı ve ihtiyaç duyulan malzemenin üretim planı çerçevesinde belirlenen süre içinde temin edilip edilemeyeceğinin belirlenmesi oldukça önemlidir, (Akıncı, 2008; Özyiğit, 2006; Odabaşı, 2002). Gemi inşa sanayisi, farklı çeşitteki yarı mamul, ara ürün ve bitmiş olan ürünlerin yüksek miktarlarını ilgilendiren malzemeler yoğun işlemler kapsamı nedeniyle, sipariş üzerine üretimi yapılan gemi inşa sanayisinde sorunlarla maruz kalılabilmektedir.

Malzeme tedarikinde genellikle planlama, kontrol ve envanter bakımı gibi problemler ortaya çıkmaktadır. Gemi üretimin ortamı gereği, malzeme teslim sürelerindeki belirsizliklerin tedarik ve envanter işlemlerini zorlaştırmaktadır. Bu noktada üretim planlama ve kontrolü için, kapasite planlama, faaliyet çizelgeleme, malzeme tedariki, malzeme ve envanter planlama ve kontrolüne yönelik çeşitli planlama ve yöntemler devreye girmektedir. Bu yöntemlerden biri; üretim kararlarını koordine etmeye yönelik MRP I Malzeme İhtiyaç Planlaması adlı yöntem, tersanelerde tek başına ya da daha gelişmiş sistemler altında kullanılmaktadır. Envanter kontrol ve planlamasına yönelik amaçlı geliştirilmiş olan sistem ise JIT “Just-in-Time” (Tam Zamanında) sistemidir. Çok nadir olarak gerçekleşmiş olsa dahi, tersanelerdeki gemi üretiminin zamanında önce teslimi için üretimin yanında malzemelerin gerektiğinden çok önce ve yeterli miktarda fazladan tedariki gerçekleştirilip stokta bekletilmesi durumunda envanter fazlalığı oluşur. JIT ile amaçlanan envanter fazlalığının önlenmesidir. JIT felsefesinin odağında; stoksuz, tam zamanında üretim yatmaktadır. Her ne kadar gemi inşa sanayinde uygulanmasının zorluğu olsa da, temel prensiplerinin tersaneler için kullanılabilmesi mümkün gözükmemektedir, (Alkaner, 1998). Ancak gemi üretim planlama doğrultusunda tedarik zincirindeki risklerden kaçınmak için bir güvenlik stoğunun olması tersane açısından risklerin yönetilmesini kolaylaştıracaktır.

Tersanelerdeki malzeme ihtiyaç planlaması, (Şekil 2.22).



Şekil 2.22: Tersanede malzeme ihtiyaç planlaması (Yue ve diğ., 2008).

Üretilecek olan geminin tüm malzemelerin tedariklerinin yapılmasında ana planlamadan, ürün ağacı planı çerçevesinde yapılmaktadır. Dolayısıyla vaktinden önce tedarik ya da geç tedarik, tersanede önemli derecede maddi zarara neden olma ihtimali yüksektir. Ya da tedarik süresi uzun olan ve “uzun bekleme süreli kalemler” (long lead time items) olarak adlandırılan malzemelerin ihtiyaç planlamasının doğru yapılmaması halinde yine gemi maliyetinde artış yaşanacak, karlılık düşecektir (Akıncı, 2008). Bu belirtilen risklerden dolayı geminin öngörülen zamanda teslimi gerçekleştirilmediği durumda, tersane ile armatör arasında imzalanmış olan kontrat gereği, geminin gecikmesinden oluşan yaptırımlar söz konusudur. Tüm bunlar hem tersane hem de armatör açısından geminin üretim maliyetlerinin artmasına neden olacaktır. Malzeme İhtiyaç Planlamasında sapmalara neden olabilecek risklerin tersane verimliliğini azaltması kaçınılmazdır.

2.4.3. Dördüncü ve Sonrası Nesil Tersaneler

Dördüncü nesil tersanede üretim süreci, temel olarak çelik üretimi ile geminin donatımı birbirinden ayrı olarak yapılmakta, çeliklerin üretimi için otomasyona olan yöneliş artmış ve fabrika tarzında çok sayıda proses hattı tek bir çatı altında toplanmıştır. Zaman içerisinde blok büyüklüklerinin artması sonucu geminin yüzdürülmesi öncesi donatıların en üst düzeyde olması sağlanmıştır. Geminin donatı işlemleri için modüler donatı sistemi kullanılarak, geminin üretim süreleri azaltılarak yüksek verimlilik üretimine odaklanılmıştır. Buna karşın 5. Nesil tersane henüz emekleme aşamasında olmasına karşın ürün odaklı bir felsefeyi kapsamaktadır. Önceki nesil tersaneler, temelde verimliliği arttırmak ve çevrim sürelerini azaltmak üzerine odaklanılmış ve tersaneler çok dar bir ürün yelpazesine odaklanmaya ve bu ürün grubu için özelleştirilmiş tesisler geliştirme eğilimini kapsıyordu. Son ürünlerin oluşturulmasında standart

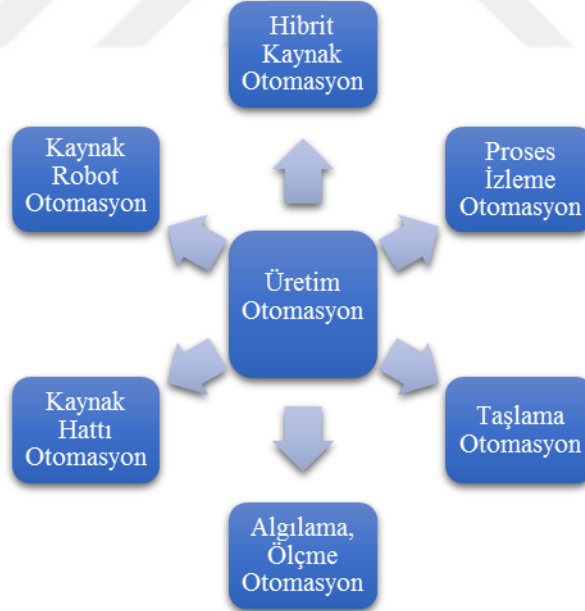
geçici ürünlerin farklı birleştirmelerinden inşa edilerek bu öncül beşinci nesil tersaneler için bir fayda oluşturmaktadır. Toplam bir gemi üretimi bakış konseptini kabul ederek, çelik üretimi ve donatımı tamamen entegrasyon halindedir. Ürün yelpazesi arttırıldığından dolayı yeni bir ürün üzerindeki eğitim öğrenme eğitimi önemli ölçüde azaltılmıştır, (Universty of Aalto, 2016).

Ayvaz ve Duman (2012) DSME'yi 5. nesil dünya liderlerinden biri olarak nitelemiştir. DSME tersanesinin kalite yönetim sistemi felsefesinin temelinde, müşteri taleplerini ve gereksinimleri talep etmeden önce tamamıyla yerine getirebilmek, ürün ve performans kalitesi için her bir çalışanın sorumluluğunun her bir birey tarafından üstlenilmesi, servis ve ürünün kalitesinin sürekli artmasının sağlanması çabaları, atanan görevleri doğru bir hatasız şekilde ilk seferinde tamamlanması şeklindedir, (DSME, 2016).

DSME tersanesi bünyesinde yapılan çalışmalar; tekne formu araştırmaları kapsamında tekne formu optimizasyonu ve standardizasyonu, pervane dizaynı, titreşim azaltma, enerji verimliliği araştırmaları, tekne manevra analizi yapılmaktadır. Yapısal mühendislik kapsamında, Offshore yapıları ve gemilerin mukavemet ve yorulma analizleri, yükleme analizler ve yapısal bütünlük analizleri, yapısal bütünlük ve dayanıklılık analizleri yapılmaktadır. Kaynak teknolojileri kapsamında, kaynak ve ekipmanları teknolojileri geliştirme ve uygulama araştırmaları, projelere destek ve ortak girişim çalışmaları yapılmaktadır. Üretim teknolojileri araştırmaları kapsamında, kalibrasyon geliştirme ve desteklenmesi, kablo yerleştirme mekanizmaları ve verimlilik artırma teknolojileri, enerji verimliliği teknolojileri, üretim ortamındaki iş sağlığı ve güvenliğinin arttırılması teknolojileri, kaplama ve korozyon geçirmezlik malzemeleri ve sistemleri, kaplama ve korozyon dayanıklılık sistemleri değerlendirmeleri ve iyileştirmeleri, korozyon ve paslanma sorunlarının giderilmesi çalışmaları yapılmaktadır. Makine ve otomasyon çalışmaları kapsamında, akıllı fabrika sistemi, gemi inşa ve denizcilikte robotik ve otomasyon sistemleri, otomasyon üretim proses optimizasyonu, yeni nesil üretim sistemi ve bileşenleri, patentli teknoloji ekipmanları, robotik ve otomasyon teknolojileri, otomasyon teknik destekleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır (DSME, 2016).

Tersanelerde Otomasyon Üretim Sistemi, gemi üretimindeki lider tersanelerin artan iş gücü maliyetleri ve bunları tehdit olarak yükselmeye başlayan ucuz iş gücüne dayalı ülkelerin ön plana çıkmasıyla verimlilik temelli çalışmamaların daha da önem kazandığı Ar-Ge konularının

önemiyle üretim otomasyonun öne çıktığı gözükmemektedir. Bu da hem verimliliğin hem de kalitenin artmasına olanak sağlamaktadır. Entegre edilmiş üretim otomasyonu çeliklerin kesiminden geminin üretime olan süreçte çok farklı türde teknolojiler bulunmakta ve tüm bu alanlarda üretim otomasyonu önemli bir yerde bulunmaktadır. Üretimde otomasyonun kullanılması farklı alanlarda farklı yöntemlerin kullanılması ve üretim verimliliği ile güvenliğinin arttırılmasını sağlar. Her bir adımda kullanılan tüm bu üretimi gerçekleştirmek için geniş bir teknoloji kullanımı ile mümkündür. Hyundai tersanesinde, gemi inşa endüstrisinde çok çeşitli imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Tersanede kesme, kaynak, taşlama, ölçme ve boyama, döküm, dövme ve makina atölyesi motor atölyelerinde taşınmakta ve diğer iş atölyelerinde birçok süreç kullanılmaktadır. Üretim prosesine girecek olan parçaların boyutları ve şekilleri çok sayıda olduğundan, gemi inşa süreçlerinin otomasyonu son derece zordur. Ancak verimliliği arttırmak ve çalışma ortamını arttırmak için sıkı gereksinimler, birçok otomatik üretim teknolojisinin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Şekil 2.23, gemi inşa endüstrisinde otomasyon işlemleri göstermektedir (Min, 2008).



Şekil 2.23: Tersanedeki üretim otomasyonu (Min, 2008).

Yıllar içerisinde gemi üretim kesim ve kaynak prosesleri insan gücünden otomasyona doğru bir evrilme sürecindedir. Örneğin panel üretiminde kullanılan robot sistemleri verimlilikte ve kalitede artış sağlamaktadır.

Bir başka uygulama ise, ön üretim ve özellikle panel hattı ve kesit birleştirme süreçlerindeki planlama ve kontrolde simülasyon uygulaması, Flensburger'deki ilk SAPP uygulamasıdır. Tersane; simülasyon destekli üretim planlama ve kontrol uygulamasına 2002 yılından beri başarıyla devam etmekte, aynı zamanda programı “dijital fabrika” konsepti çerçevesinde komple tüm tersaneye yönelik geliştirmeye devam etmektedir, (Siemens, 2016). Şekil 2.24’de Lojistik, Profil İmalatı, parça imalatı, ön üretim, blok üretim, boyama, tekne inşa temeline oluşmaktadır.



Şekil 2.24: Tersanedeki üretim otomasyonu (Siemens, 2016).

2.4.4. Türkiye’deki Tersanelerde Üretim Planlama

Türkiye’deki tersanelerde de Dünya’da kabul görmüş olan çelik tekne üretiminde, atölyelerde veya sahada üretilen blokların kızaklar üzerinde ya da havuzda montaj işlemi gerçekleştirilerek birleştirilmesiyle gemilerin üretimi yapılmaktadır. Üretilecek olan gemilerin büyüklükleri tersanelerdeki vinçlerin kaldırma kapasiteleriyle sınırlı olduğundan, tonaj yönünden düşük vinç kapasitesine sahip tersaneler ancak belirli büyüklükteki gemileri üretebilmektedir. Ayrıca;

büyük projelerde kızak üzerinde sadece birkaç bloğun montajı yapılarak blok grupları oluşturulmakta, bu blok grupları kuru havuzlarda birleştirilerek gemi inşası tamamlanmaktadır (Akıncı, 2008; Özyiğit, 2006). Bunun yanında tersane kızağının ya da havuzun büyüklüğü üretilcek geminin büyüklüğünü doğrudan etkileyen bir unsurdur. Üretilcek olan geminin niteliği, büyüklüğü, tersanenin üretim kabiliyetine göre değişmektedir.

Tersanelerin almış olduğu gemi siparişlerinde belirli tip ve boyutlardaki gemi özelliklerine sahip olan gemilerin birbirlerine benzer özellikler taşısa dahi, temelde her bir gemi siparişin birbirlerinden bağımsız ve özgün projelerin olması niteliğini taşımaktadırlar. Bundan dolayı gemi inşa sanayisinde üretim tipi olarak ETO “Siparişe Göre Mühendislik Üretimi” olarak sınıflandırılıp uygulanmaktadırlar. Fakat bazı projeler aynı niteliklere sahip olan gemilerden oluştuğunda birden fazla siparişler olabilmektedir ve yine gemi bazında ETO tarzında üretim olurken, üretim miktarı bakımından Parti Üretimi olarak yapılmaktadır. Her iki üretim de; üretim yöntemlerine göre sınıflandırmada yoğun olarak “Montaj Üretim” kapsamında gerçekleşmektedir. Bununla beraber üretimin çeşitli aşamalarında CIM “Bilgisayar Bütünleşik Üretim” Sistemleri de kullanılmaktadır.

Türkiye’deki faaliyet gösteren tersanelerin hepsinde üretim departmanı bulunmakta ve çoğunluğunda satınalma, finans ve muhasebe departmanları, yarıdan fazla tersane de kalite kontrol departmanı vardır. Gemi inşa sanayisinde planlama mutlaka olmaz özelliklerinden biri iken Türkiye’deki tersaneler yaklaşık olarak %90 oranında planlama departmanı bulunmaktadır. Bir tersanede planlama departmanının eksik olması, üretim maliyetlerinde yükselme, malzeme tedarik sürecinde zamanında teslim ve istenilen miktarda teslim sorunları, malzeme tedariklerinin gecikmesi vb. problemler oluşmaktadır. Bununla bağlantılı olarak, Türkiye’deki tersanelerde gemi projelerinin teslim süresi, Çin, G.Kore, Japonya ve Almanya tersanelerinin gemi teslim sürelerine göre daha uzun süre almaktadır. Dolayısıyla Türkiye’deki tersanelerin tamamı göz önünde bulunduğunda üretilen gemilerin kalitesi Çin, G.Kore, Japonya, Almanya gibi tersanelerinde üretilen ürünlerin kalitesinde daha düşüktür. Türkiye’deki tersanelerde çalışan başına yıllık üretim tonaj bazında (GT/Adam.Saat) Almanya, Batı Avrupa’daki tersaneleri ile Çin, G.Kore ve Japon tersanelerinden daha düşük verimliliktedir. Türkiye’deki tersanelerin sadece %30 oranında İnsan Kaynakları Bölümü ve Dizayn/Tasarım Bölümü bulunmakta ve %60’ından fazlasında yazılım programı kullanılmaktadır. Yazılım programı

kullanan tersanelerin %30'ından biraz fazlası ERP “Kurumsal Kaynak Planlaması” program yazılımı, yaklaşık %40'ı PM “Proje Yönetimi” program yazılımı, %6'sı MRP “Malzeme İhtiyaç Planlaması” program yazılımı, %24'ü Üretim Çizelgeleme program yazılımı kullanmaktadır. Buna göre; Türkiye'deki tersanelerin sadece %25'ünde Proje Yönetim (PM) sistemi, yaklaşık %20'inde Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) sistemi, %15'ünde Üretim Çizelgeleme sistemi, %5'ünde MRP I (Malzeme İhtiyaç Planlaması) sistemi kullanılmaktadır (Doğan, 2012; KOSHIPA, 2016; SAJ, 2016; TBMM, 2008).

Türkiye'deki tersaneler üretimi kontrol eden, denetleyen ve yönlendiren birimler genellikle “Dizayn” ve “Kalite Kontrol” departmanları altında gerçekleştirilmektedir. “Planlama” departmanında, bu birimler gibi taşeron firmaları düzenli bir şekilde olmak üzere kontrol ederek ve denetleyerek üretim planı çerçevesinde sürecin işleyip işemediğini kontrol etmektedirler. (Özyiğit, 2006).

Türkiye'deki tersanelerde planlama departmanlarında, “üretim takvimi” niteliğinde oluşturulabilen “üretim planları”; üretimin tümünü kapsayacak olacak şekilde hazırlandığı gibi Çelik İşleri Planı, Teçhiz İşleri Planı, Boru Donatım İşleri Planı, Makina Donatım İşleri Planı, Boya İşleri Planı vb. gibi kısmi gemi üretim kademelerine yönelik olarak da hazırlanması mümkün olmaktadır. Bu üretim planları tersanenin bütün departmanlarına ve taşeron firmalarına iletilerek bilgilendirilmektedir.

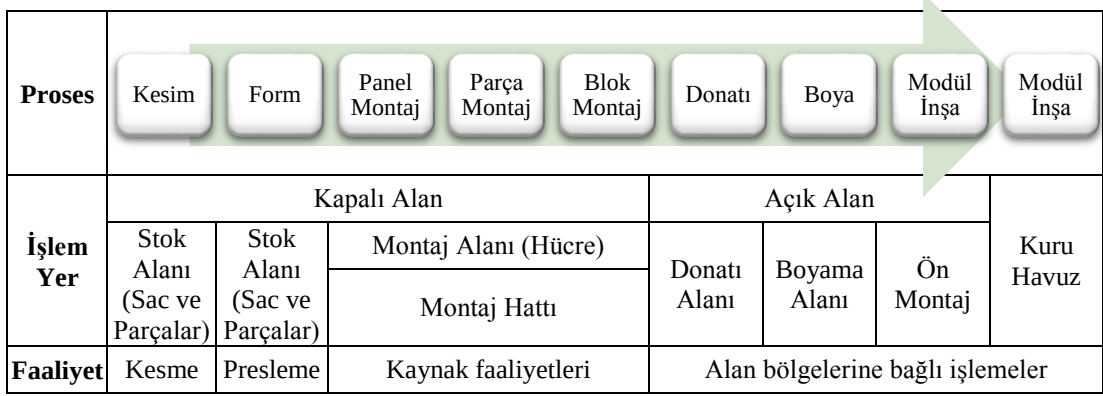
Tersanedeki gemi inşa faaliyetlerinin amaçlanan süreçten ve hesaplanıp öngörülmüş maliyetler çerçevesinde yapılabilmesi için planlanmış bir uygulamanın yapılması zorunlu olmaktadır. Bu planın, öngörülen tüm üretim kademesinde zamanında üretimin tamamlanması için ihtiyaç duyulacak olan kaynakların belirlenmesi de kapsam dahilindedir. gemi inşa faaliyetleri sürecinde kullanılacak olan kaynaklar; tesis, teçhizat, makine, ekipman, taşıma araçları, işgücü, enerji ve diğer satın alma kalemlerinin tümünü kapsamaktadır, (Akıncı, 2008). Dolayısıyla tüm bu ihtiyaçların tersane imkanları çerçevesinde gerçekleştirmektedir, üretim sürecinde yapılan doğru bir kaynak planlamasının gerçekleşmemesi halinde tersanenin hayata geçirebilecek bir projenin almasının veya gerçekleştirebilme olanağı olan bir projede kapasitenin doğru hesaplanmamasından dolayı projeyi alamamasına sebep olabilmesi mümkün olacaktır. Bu her

iki durum için tersanenin olabilecek olan risklerin mali ve tersanenin üretim çıktısına dolayısıyla da verimliliğine negatif katkı olarak yansımaları olmasını mümkün kılmaktadır.

Gemi inşa sürecinde kullanımı için ihtiyaç duyulan malzemelerin tipi ve türü, malzeme işleme tekniği, üretim yöntem, üretim yöntemlerine uygun malzeme tedariki, üretim yöntemlerine uygun olan üretim planlama, proje yönetimi, üretim yöntemlerine uygun tersanelerin alt yapısı önemlidir. Dolayısıyla, tersanenin yerleşimini, malzeme akışını ve malzeme stoklanması ile üretimin en optimal şekilde olması önem arz etmektedir. Diğer bir ifade ile tersanenin verimli bir şekilde üretim yapabilmesi için üretim yöntemine uygun olarak tesisin düzenlenmesi, tersanenin üretim ve montaj hatlarında, malzeme, tedarik ile diğer mevkiiler arasında iletişim optimum olmalıdır.

2.4.5. Tersanelerdeki Gemi İnşaat Süreci ve Üretim Kademeleri

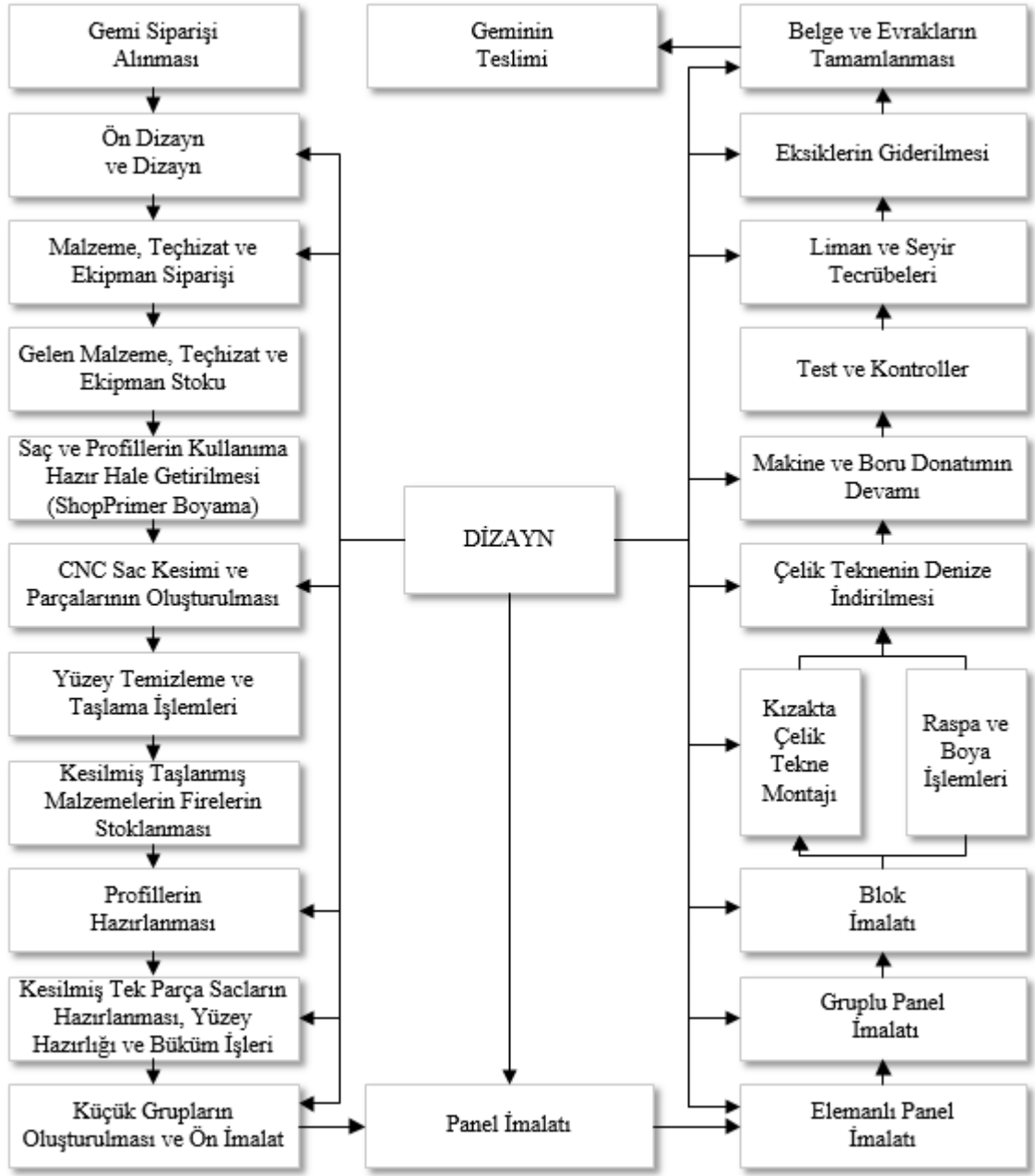
Tersanelerin büyüklüklerine, üretim metodu, gemi tipine ve tersanenin üretim teknolojisine göre tersanelerde farklı tersane tesis yerleşimi olabilmektedir. Tersanenin yerleşimi, işletmenin operasyonel hedeflerini minimum maliyetle ve maksimum verimlilikle gerçekleştirmeyi amaçlayan tesislerin düzenlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Tersanede zayıf bir düzen, verimlilik ve dolayısıyla karlılık açısından oldukça zararlı olduğunu ortaya koyabilir. Zayıf tersane yerleşimine özgü belirtiler şu şekilde özetlenebilir: malzemelerin akışında çok büyük hareket mesafeleri, kaynakların nakliyesinde darboğazlar, malzemelerin aşırı işlenmesi, bilgi dolaşımı, verimsiz iletişim sistemi, makine ve işgücü kullanımındaki düşük oran ve ancak bunlardan bazıları olarak adlandırılabilir. Bunun gibi eksikliklerin arkasında yatan sebepler şunlar olabilir: yetersiz altyapılar, çeşitli departmanların yetersiz konum düzenlenmesi, zayıf elleçleme ekipmanı, yetersiz imalat süreçleri ve teknoloji ve verimsiz planlama sistemleridir. Bu nedenle, mevcut duruma göre gelişmesine izin vermek yerine bir tesis yerleşimi planlamak ilkedir. Malzeme alımından başlayarak ve mevcut hakim ortamı göz önüne alarak işletmenin tüm üretim süreçlerini iyice tasarlayan bir prosedürden oluşur. Bu tür bir yaklaşımın bazı öngörülemeyen yararlar getireceği beklenmektedir: hacim ve ekipmanın optimum kullanımı, malzemelerin daha verimli akışı, verimli malzeme kullanımı, geliştirilmiş üretim süreci, daha iyi planlama sistemi ve iş organizasyonunda esnekliktir, (Eyres ve Bruce, 2012).



Şekil 2.25: Gemi inşa prosesleri ve işlemler (Won, 2010).

Tersane tesis yerleşkesinde üretim akışı U ve L tipinde olabilmektedir. Tersane tesis tasarımını etkileyen unsurlar bulunmaktadır. İşletmeler tesis kurarken maksimum fayda sağlamayı amaçlamaktadırlar ve buna göre yatırım yapılmaktadır, (Eyres ve Bruce, 2012). Şekil 2.25’de tersanedeki üretim proseslerin işlem hiyerarşisi ve tersanenin hangi bölgesine ne yapıldığına dair temel üretim faaliyetleri gösterilmektedir.

Şekil 2.26’de üretim kademelerinin alt kademeleri aşağıdaki şekilde detaylandırılabilir, (Özyiğit, 2006).

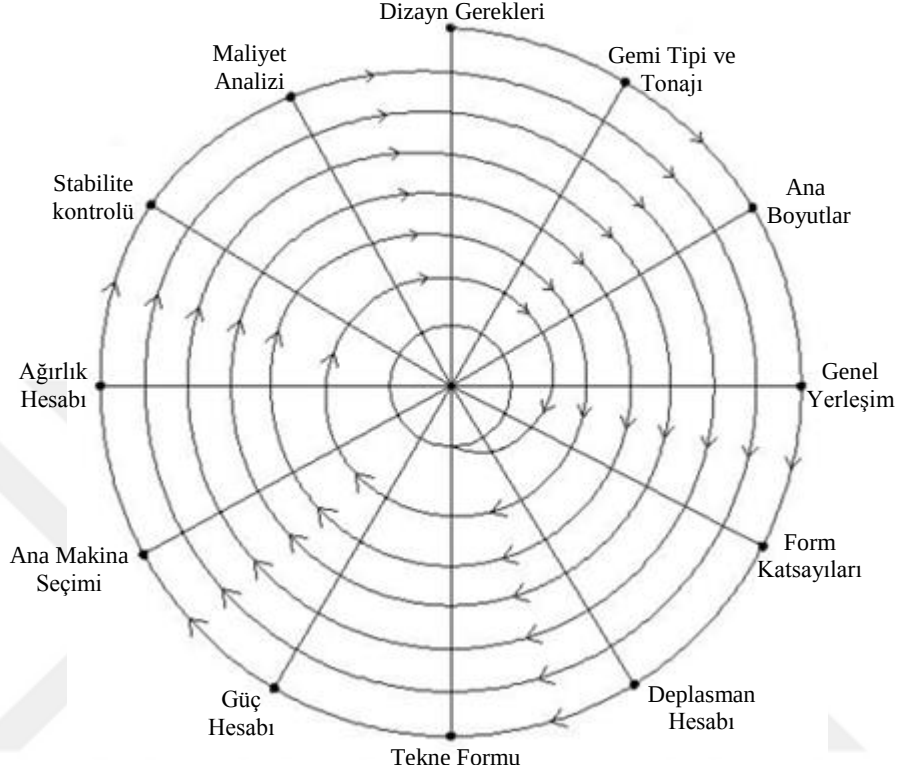


Şekil 2.26: Gemi inşasında üretim kademeleri (Özyiğit, 2006).

2.4.5.1. Ön Dizayn ve Dizayn

Gemi ön dizayn ve dizaynında en önemli konu gemi tipine uygun görev ya da gereksinim tanımlarının doğru ve anlaşılır yapılmasıdır. Ticaret gemilerinde taşınacak yük ve yolcu karakteristikleri dizaynı yönlendirirken, savaş gemilerinde silah ve teçhizatlar daha belirleyici olacaktır. Armatörün istekleri doğrultusunda ve gemi dizaynında etkili olacak kısıtlamaların belirlenmesinden sonra geminin teknik ve ekonomik analizinin yapılması gerekir.

Geleneksel olarak geminin dizayn işlem süreci bir dizayn spiraliyle gösterilmektedir, (Şekil 2.27).



Şekil 2.27: Gemi dizayn spirali (Eyres ve Bruce, 2012).

Dizayn spirali dizaynının yinelenen yapısını ve ideal bit çözüme doğru gidişinin sürecini ifade eder. Dizayndan beklenen gereksinimlerin belirtildiği spiralinin başlangıç noktasında tasarım sürecine başlayan tasarımcı, geminin kaba yerleşim planını dizayn ederek oluşturur. Yaklaşım yöntemleri ve geçmişteki deneyimler dikkate alınarak istenen amaçlar doğrultusunda bir geminin ön dizaynı aşama aşama mükemmelleştirme yoluyla tamamlanır.

Özyiğit (2006), bir çelik teknenin toplam maliyetinin yaklaşık olarak %40'ını işçilik giderlerinin, %40'ının malzeme (ana malzeme ve sarf edilen malzeme) giderlerinin, %15'ini tersane genel giderlerinin ve %5'ini ise vinç hizmet giderlerinin oluşturduğunu ifade etmiştir. %40'lık malzeme giderinin alt açılım gider kalemleri; %25 ana malzeme giderleri (sac, profil, köşebent vb. giderleri) ve %15 sarf edilen malzeme giderleri (elektrot, kesme, cugul ve taşlama taşları, zımpara vb. giderler) olarak belirtilmiştir. İşçilik maliyet oranı TBMM Meclis Araştırması Komisyonu 2008 Temmuz Raporu'nda bu değere çok yakın bir şekilde %39 olarak

belirtilmiştir. Günümüzde yeni gemi inşa maliyet kalemlerini 5 ana kategoride toplanabilir: Türk Loydu Vakfı (2007) hammadde (%22-24), ana makine (%9-11), yardımcı makineler, elektrik, teçhizat (%32-34), işçilik giderleri (%25-29), diğer giderler (%6-8).şeklindedir. Maliyet kalemlerinin yüzde oranları, ülkeden ülkeye ve yıldan yıla değişiklik gösterebilmesine karşın günümüzde bu oranları genel bir fikir vermesi açısından doğru kabul edebilir. Ülkeler ve tersaneler bazında yeni gemi inşa giderlerini azaltmak, yukarıda sayılan kategorilerden farklı olarak, dizayn maliyetleri, amortisman maliyetleri ve oranları, finansman giderleri, vb. kalemlere de bağlıdır.

2.4.5.2. Malzeme, Teçhizat, Ekipman Siparişi ve Stoklanması

Gemi inşasında kullanılan malzemelerin, teçhizat ve ekipmanlar aşağıdaki gibi sınıflandırılır;

- Temel Ekipmanlar
- Makina Dairesi Donatımı
- Güverte Üstü Donatımı
- Yaşam Mahali ve Kaptan Köşkü
- Yangınla Mücadele ve Can Kurtarma Ekipmanları
- Elektronik ve Aydınlatma Ekipmanları
- Boya ve Korozyondan Korunma

Çelik tekne inşaatında kullanılan malzemeler; sac, profil ve borudur. Fakat teçhizat işlemlerin inşa süreci boyunca sürüyor olmasından dolayı başlangıçtaki siparişe saclar, profiller ve köşebentlerle birlikte malzeme listesinde belirtilen miktarda, kalitede ve ebatlarda dolu demir, lama ve puntel borularının eklenmesi gerekir, (Özyiğit, 2006).

2.4.5.3. Sac ve Profillerin Kullanıma Hazır Hale Getirilmesi (Shop-Primer Boyama İşlemi)

Gemi inşa süreci boyunca farklı işlemlerin uygulanacak olan sacların depolanma aşamasında sac yüzeyinde oluşabilecek oksitlenmenin engellenmesi için ve asıl boya işlemi yapılana kadar sacın yüzey kalitesi yüksek düzeyde tutmak amacıyla standartlara uygun olarak shop-primer boya işlemi, ön imalat astarı olarak uygulanır, (Özyiğit, 2006). Bu işlem tersanede yapılabildiği gibi, sacların shop-primer olarak yapılmış olarak da tedariği mümkün olmaktadır.

2.4.5.4. CNC Sac Kesim İşlemleri ve Malzemelerin Oluşturulması (Nesting)

Gemi inşasının parçalarında kullanılacak olan sacların kesim işlemi, malzemelerin verimli olarak kullanılması açısından önemlidir. Dizayn departmanı tarafından dizayn edilen parçalar, üretim akışında önemli olan CNC kesim tezgâhlarının algılayabileceği nesting formuna resimlere dönüştürülür. CNC tezgâhlarında kesilen parçalar montaj için işaretler kullanılarak

manyetik vinçlerle kesimi gerçekleştirilen sacların bulunduğu alana istiflenir. Kesim sonrası meydana gelen fireler ebatlarına göre sınıflandırılarak stok alanında istiflenir, (Özyiğit, 2006).

2.4.5.5. Kesilmiş, Taşlanmış Malzemelerin ve Fire Sacların Stoklanması

Kesim işlemiyle oluşan fire sac ve malzemelerin, kalınlık ve tiplerine göre verilecek fire numaralarıyla gruplanması önemlidir. Bu fire malzemeler ilgili stok saha veya bölümlerinde gruplarına uygun olarak stoklanmalıdır, (Özyiğit, 2006).

2.4.5.6. Sac ve Profil Bükme İşlemleri

Gemi yapısının özellikle baş ve kıç blokları gibi bazı kısımları eğimli bir forma sahiptir. Bu kısımlarda kullanılacak sac ve profillerin tasarım gereği bükülerek oluşturulması gerekmektedir. Kesimden çıkan parçaların büküm işlemine girmeden önce taşlama ve yüzey hazırlama işlemlerinin tamamlanmasından sonra sac ve profiller için büküm pres ve tezgahlarında işlem yapılır (Özyiğit, 2006).

2.4.5.7. Profil Hazırlama İşlemleri

Profil hazırlama işlemi; üretim kademelerinde shop-primer boyama (ön imalat astar boya) ve kesim işlemlerinden sonra gelmektedir. Taşlama ve yüzey hazırlama işlemleri tamamlanan profiller dizayn bölümüne belirlenen kalıplara göre basılarak ya da bükülerek montaj bölümüne iletilir (Özyiğit, 2006).

2.4.5.8. Küçük Grupların Oluşturulması ve Ön İmalatı

Gemi inşa sürecinin bu üretim kademesinde, iki ayrı levha birleştirilir ya da bir levha ile birden fazla profil birleştirilerek küçük gruplar oluşturulur. Daha önceki üretim kademelerinde hazırlanan sac ve profiller, kesim ve hazırlama işlemi sırasındaki işaretlere uygun olarak birleştirilir. Kaynak işlemleri ardından geçici montaj parçaları, kaynak soğuduktan sonra alınıp taşlanarak yüzey iyileştirmesi yapılır. Daha sonra; ön imalatı tamamlanmış bir veya birden fazla küçük grup, tek profil ve/veya tek sac levha ile birleştirilerek iki ayrı küçük grup montajlanarak ara gruplar oluşturulur (Özyiğit, 2006).

2.4.5.9. Panel İmalatı (Elemanlı Panel İmalatı ve Gruplu Panel İmalatı)

Bu üretim kademesinde; bir veya birden fazla sac levhan kaynak tekniği ile alın altına birleştirilir. Bu aşamada forklift, konveyör ve trans paletler kullanıldığından, tersanenin yeterli vinç kapasitesi ve geniş açık alan gereklidir. Gruplu panel imalatı aşamasında ise; düz panel veya eğimli panel ile imalatı yapılan gruplar ve elemanların birleştirildiği üretim kademesini kapsar. Elemanlı panel imalatından gelen paneller, ön imalattan gelen küçük gruplar ve gruplu panelin oluşturulması için daha önce üretilen büyük gruplar gazaltı kaynağıyla birleştirilerek ve taşlama yoluyla yüzey iyileştirmesi yapılarak gruplu panel imalatı yapılır (Özyiğit, 2006).

2.4.5.10. Üretim Sürecinde Blok İmalatı

Blok imalatı aşamasında; düz veya eğimli panellerin üzerine gruplar ve elemanlar; bu kesitler üzerine de başka düz veya eğimli paneller yerleştirilir. İnşa edilen yapı oldukça ağırlaştığından imalatın yapılacağı tezgahın zemine sabitlenmesi, düzlem kontrolünün yapılması ve temiz olması gerekmektedir. Montaj sonrası puntalama işlemi yapılarak, montajlanan parçaların seviye ve düzgünlükleri kontrol edilir, köşe kaynakları ardından üste konulacak elemanlı veya gruplu panellerin pozisyonlarına dikkat edilerek montaj işlemi tamamlanır. Ardından taşlama ve temizleme yoluyla yüzey iyileştirmesi yapılmaktadır. Boyanın yapılıp kuruması ardından blok kızak montajına hazır hale gelmektedir (Özyiğit, 2006).

2.4.5.11. Çelik Tekne Montajı, Raspa ve Boya İşlemleri

Atölye ve sahada üretilen blokların montaj inşasının sıralaması, dizayn departmanı tarafından düzenlenen üretim bölümüne bildirilen blok montaj planı çerçevesinde yapılmaktadır. Bu üretim kademesi, temel olarak çelik tekne üretiminin son aşamasıdır. Kaynak işlemi gerçekleştirilerek blok montajı tamamlanır, (Özyiğit, 2006).

2.4.5.12. Geminin Denize İndirilmesi

Gemi, tersanenin özelliklerine göre değişik şekillerde denize indirilebilir. Günümüzde küçük tonajlı gemiler için yaygın olarak indirme şekli kızak üzerinden geminin kaydırılarak denize indirilmesidir ve büyük tonajlı gemilerin denize indirilmesi blokların kızak yerine havuzda inşa edilerek yüzdürülmesi şeklinde olmaktadır, (Özyiğit, 2006).

2.4.5.13. Donatı Rıhtımında Makine ve Boru Donatımı

Üretimin bütün kademeleri boyunca devam eden gemi donatım sürecinin aşağıdaki başlıklara ayrılarak incelenmesi mümkündür:

- Çelik teçhiz işleri,
- Boru işleri,
- Makine işleri,
- Üst bina donatım işleri,
- Elektronik seyir cihazları donatım işleri,
- Elektrik ve aydınlatma işleri,
- Gemi genelindeki yangınla mücadele ve kurtarma ekipmanları donatım işleri,
- Havalandırma işleri.

2.4.5.14. Test ve Kontroller

Yeni geminin inşa sürecinin planlama aşamasından gemi teslimi süreçlerinde tüm kademelerde klas kuruluşunun denetimi altında her türlü işlem, malzeme ve ekipmanların düzenli olarak kontrol ve test gerçekleştirilir.

2.4.5.15. Liman ve Seyir Tecrübeleri, Eksiklerin Giderilmesi

Tekne, makina, elektrik ve teçhizat işlerinin tamamlanmasının ardından gerçekleştirilen liman tecrübeleri; geminin tüm teçhizat, makina ve cihazlarının testleri ve bunların işçilik, malzeme ve çalışmaları açısından uygunluklarının tasdiklendiği aşamasıdır.

2.4.5.16. Belge ve Evrakların Tamamlanması

Gemi teslimi sırasında uluslararası ve milli deniz mevzuatına göre belli başlı kural ve standartlara uygun olarak inşa edilmesi ve bu kural ve standartlara uygunluğunu belgeleyen sertifikaların gemi sahibine teslimi gereklidir (Özyiğit, 2006).

2.4.5.17. Geminin Teslimatı

Denize indirilen geminin, tüm donatılarının tamamlanması, liman ve seyir tecrübelerinin yapıpı tamamlanması, varsa eksikler tespiti yapılarak giderilmesi, gemiyle ilgili her türlü belge, sertifika ve evrakların tamamlanmasının ardından taraflar arasındaki şartnamede, gerekli standartlar ve kurallar tamamlanmış olarak teslim edilmedir, (Özyiğit, 2006).

Dünya ekonomisinde %80'nin denizyolu yapılması ile denizcilik politikaları çerçevesinde deniz taşımacılığı şekillenmektedir. Bu politikalar gemi inşa sanayisini de direkt etkilemekte ve gemi inşa sanayisinde bir arz talep oluşturmaktadır. Artan rekabet ile işletmeler bu rekabetçi duruma kendileri adapta edemedikleri durumda işletmeler sürdüremeyeceklerdir. Gemi inşa diğer sektörlerden farklı olarak ülkelerin politikaları ile de doğrudan ilgilidir. Gemi inşa sanayisi ülkelerin destekleri ve politikaları ile şekillenmektedir. Dolayısıyla ülkelerin kendi gemi inşa sanayisine yapılan desteklerle küresel ölçekte rekabet daha da zor olmaktadır. Gelişen teknoloji ve üretim metotlarının gemi inşanın karmaşık üretim sistemine entegrasyonu ile işletmeler verimlilikleri arttırmakta ve bu rekabet koşullarında varlıklarını sürdürmektedirler. Gemi inşa sanayisinde üretim prosesinde en önemli konulardan biri de üretim ve planlama oluşturmaktadır. Üretim ve planlama konusunda pek çok metot kullanılmakta ve bu çalışmanın konusunda olan Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgelemesi tersanelerin rekabetçi ortamda kıt kaynaklarla proje çizelgelemesi konusunda çözüm için seçenek olmaktadır. Bu çalışmada tersanelerdeki kıt kaynakların olduğu durumlar için bulanık süre ortamında genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgelemesi açısından değerlendirilmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde proje çizelgeleme yöntemlerinden biri olan Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi temelindeki konulara değinilmiştir.

Günümüzde artan rekabet düzeyi diğer tüm sektörlerde olduğu gibi gemi inşa sanayisinde de etkisi görülmektedir. Müşterilerin ürün konusunda, kalite, zaman ve maliyet açısından beklentilerinin artması işletmelerde ürünlerin tesliminin daha kısa sürede teslim ve daha düşük maliyette üretim baskısı oluşturmaktadır. Bu durum diğer tüm sektörlerde olduğu gibi gemi inşa sanayisi için de aynıdır. Gemi inşa süreci uluslararası boyutta gerçekleşen, pek çok süreçlerden ve alt süreçlerden oluşan kompleks bir yapıya sahiptir. Gemi inşanın üretim açısından; üretim yöntemlerine göre montaj üretim, ürün miktar ve çeşitliliğine göre proje tipi üretim, envantere göre siparişe göre mühendislik üretimi, işlerin akış şekline göre sabit konumlu atölye üretimi ve çağdaş üretim sistemlerine göre bilgisayarla bütünleşik üretim sistemleri olarak sınıflandırılabilir.

Ayrıca kıt kaynakların daha efektif olarak kullanılması üretim süreçlerinde maliyetleri azaltan ve rekabeti arttıran bir durumdur. Tersane olarak işletmeler gemi inşa sürecinde tahsis etmiş olduğu kaynakların verimli kullanması işletmenin rekabeti açısından önemli bir durum olacaktır. Dolayısıyla gemi inşa sürecinin bir proje olduğu düşünüldüğünde, tersanenin kıt kaynaklarıyla gemi inşanın gerçekleştirilmesi durumunda başvurulacak yöntemlerin biri de kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemidir. Bu çalışma kaynak kısıtlı proje çizelgelemesi temelinde irdelenmiştir. Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerin kombinasyonel yapıda ve zor problem sınıfında yer almaktadır. Çözüm yöntemlerinde kesin çözüm metotları, sezgisel yöntemler ve meta sezgisel yöntemler ile çözümler yapılmaktadır. Farklı metotlar olmasına karşın meta sezgisel yöntemlerden genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme ile çözümlerde kısa sürede etkin çözümler sunmaktadır.

Gemi inşa süresinde her bir geminin yeni bir proje olduğu dikkate alındığında her bir gemi inşanın süreçleri de özgün olmaktadır. Karar vericilerin projenin faaliyet sürelerinin, kaynaklarının belirlenmesinde deterministik yaklaşımı ile yapılan değerlendirmeler tam kesinlik isterken. Bunun yerine bulanık mantık temelindeki bir yaklaşımla, karar vericilere daha geniş kümede bir çözüm sunmaktadır.

Bu çalışmada üyelik fonksiyonları belli olan, ağırlık merkezi (*centroid*) durulaştırma (*defuzzification*) metodu kullanılarak bulanık süreler deterministik sürelere dönüştürülerek, genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme metodu çözümü uygulanmıştır.

Dolayısıyla bu çalışmada, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi, genetik algoritmalar ve bulanık küme konularına değinilmiştir. Ayrıca problemin tanımı ve çözüm metodu anlatılmıştır.

3.1. BULANIK SÜRE ORTAMINDA GENETİK ALGORİTMA İLE KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİ ÇÖZÜM METODU

Bu bölümde önerilen model olan bulanık süre ortamında kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin genetik algoritma ile çözüm yöntemi konusundaki bilgilere değinilmiştir.

3.1.1. Problemin Tanımı ve Amacı

Günümüz koşullarında artan rekabet koşullarında verimlilik daha öne çıkmakta, işletmeler rekabet içinde uygulamakta oldukları pek çok üretim yöntemleri bulunmaktadır. Gemi inşa proje tipi üretim ve işlerin akış şekline göre sabit konumlu atölye üretimi çerçevesinde değerlendirilir. Gemi inşası, proje olarak değerlendirildiğin farklı proje çizelgeleme teknikleri vardır. Dolayısıyla proje çizelgelemesinde de tersanenin işgücü kaynak arzı öne çıkmaktadır. Burada önerilen metot, tersanelerde gemi inşa yönetimleri için uygulanan yöntemlerin yanında Bulanık süre ortamında Genetik Algoritma ile Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi yöntemi uygulanmasıdır.

Proje çizelgelemeleri için kullanılan yöntemlerin biri de Kaynak kısıtlı proje çizelgelemesi problemidir. Geleneksel yöntemlerde uygulanan kaynak kısıtlı proje çizelgeleme metodu ilk gelen ilk işlem görür (*first come first served*) göre projenin faaliyetleri çizelgelenmekte ve ilgili faaliyetin projenin ilerleyen aşamalarındaki kaynak gereksinimini kullanılmasını dikkate almamaktadır. Problemin yapısı gereği zor sınıfta yer alır ve optimum çözümler zordur. Hâlbuki meta sezgisel yöntemlerden biri olan genetik algoritma ile yapılan kaynak kısıtlı proje çizelgelemelerinde, projenin çizelgelemelerini oluşturmak için ilk olarak kritik faaliyetler oluşturulmakta ve geriye kalan faaliyetler rastsal, öncelik kuralına uygun ve her bir faaliyetin çizelgelenmesi koşulları çerçevesinde projenin bütününe dikkate alarak bir çizelgeleme için

genetik algoritmalar ile verimli çizelgeler oluşturabilmekte ve kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerine etkin bir alternatif sunmaktadır. Ayrıca, gemiler nitelik, büyüklük, özellikler ve tür olarak farklılıklar gösterdiğinden dolayı çoğu gemi inşa projesi ilk proje gibi belirsizlik içeren bir proje olacaktır. Bu noktada bulanık kümelerin proje faaliyetleri ve iş gücü kaynakları üzerinde uygulanması, projelerde karşılaşılabilecek olan risklerini de asgari düzeye indirilerek yönetebilmesini sağlayacaktır. Dolayısıyla çalışmada yamuk bulanık sayılar kullanılmıştır.

Tersanelerde arz edilen işgücü kaynağının verimli olarak kullanılması, kaynak tahsisinin tersanenin ihtiyaç duyulan başka üretim yerlerinde daha efektif olarak tahsis edilmesi, gemi veya blok inşa sürecinde ihtiyaç duyulan asgari kaynak ihtiyacının belirlenmesi, kaynak ihtiyacının olmadığı ya da bu kaynak ihtiyacının sağlanmasında problem olabileceği durumlar dikkate alınarak, tersanenin mevcut kapasitesi kademeli olarak azaltılarak ve gemilerin blok inşasında çeşitli senaryolar üretilerek projenin tamamlanmasındaki durumları gözlemlemek için bu senaryolara göre bir tersane kapasite-proje tamamlanma süresi çerçevesinde çok amaçlı bir trade off çözüm kümesi oluşturulmuştur. Bu çözüm kümesindeki çözümler, tersanenin kademeli olarak azaltılmış olan farklı kapasiteleri kısıtı ile bulanık süre ortamında Genetik Algoritma ile Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgelemesi sonucu elde edilen proje tamamlanma sürelerinin oluşturmuş olduğu çözümlerdir.

Çalışmada tersanenin farklı kapasite ve durumları için elde edilen çözümlerden oluşan çözüm kümesinin Pareto optimumu eğrisini ile değerlendirilerek tersanenin optimal kapasitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca tüm çözümlerde blok inşa projelerinin minimum sürede tamamlanması amaçlanmıştır.

3.1.2. Proje Varsayımları

Tersanenin farklı kapasiteleri temelinde bulanık süre ortamında genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme çözüm esnasında projede kabul edilen varsayımlar:

- Uygulamadaki veriler gemi blok inşasını kapsamakta olup, geminin teslimine kadarki olan süreçleri kapsamamaktadır.
- Tersanede uygulanacak olan projelerin faaliyetleri bellidir
- Faaliyetin öncülleri ardılları belirlenmiştir.
- Her bir faaliyetin ihtiyaç duyduğu kaynak miktarı bellidir.
- Her bir faaliyetin süreleri bellidir.

- Faaliyetlerin süreleri bulanık belirlenmiştir.
- Faaliyetler sürekli.
- Tersanenin günlük işgücü kapasitesi bellidir.
- Kaynaklar faaliyetlerin başlama zamanında hazır olmalıdır.
- Kullanılan kaynaklar yenilebilir kaynaklardır.
- Proje başlangıç ve bitiş kukla faaliyetleriyle beraber 326 faaliyetten oluşmaktadır.
- Hava şartlarının çalışmayı etkilemediği kabul edilmiştir.
- Bir faaliyetteki kaynak, o faaliyeti kullanan bir faaliyetin kullandığı en fazla kaynak miktarından az olmamalıdır.
- Tersanede 5 iş istasyonunun olduğu ve bu istasyonlarda farklı tek tip kaynak olduğu varsayılmıştır.
- Her bir iş istasyonundaki kaynak kısıtları bellidir.
- Tersanenin 2 tane inşa kızağı vardır
- Tersanenin 3 CNC ve 2 tane profil kesme makineleri vardır.

Kaynak, gemi blok üretimindeki işgücü olarak ifade edilmektedir. Buna göre çalışmada kullanılan kaynakların açıklaması;

- Kaynak 1: Kesim iş istasyonundaki işgücünü ifade etmektedir.
- Kaynak 2: Ön Panel Üretim iş istasyonundaki işgücünü ifade etmektedir.
- Kaynak 3: Panel Üretim iş istasyonundaki işgücünü ifade etmektedir.
- Kaynak 4: Blok Üretim iş istasyonundaki işgücünü ifade etmektedir.
- Kaynak 5: Kızaktaki iş istasyonundaki işgücünü ifade etmektedir.

Uygulamanın yapılacağı tersanedeki iş istasyonları WS 02 (Kesim), WS 04 (Ön Panel Üretimi), WS 05 (Panel Üretimi), WS 09 (Blok Üretimi), WS 12 (Kızak) dikkate alınacak olan istasyonlar olup aşağıda açıklanmıştır. Tablo 3.3’de tersanedeki iş istasyonlarındaki işgücü kapasite değerleri belirtilmiştir.

EK 3’de tersanenin genel bir planı, üretim akış şeması bulunmakta ve tüm iş istasyonları belirtilmiştir.

Tablo 3.1: Tersane iş istasyonlarındaki kapasite ve kaynak arzı.

İş İstasyonu	Kaynak (işgücü)	Kapasite 1 (kişi/gün)	Kapasite 2 (kişi/gün)	Kapasite 3 (kişi/gün)	Kapasite 4 (kişi/gün)
WS 02 (Kesim)	Kaynak 1 (Kesim işgücü)	10	10	10	10
WS 04 (Ön Panel Üretim)	Kaynak 2 (Ön Panel Üretim işgücü)	115	100	85	70
WS 05 (Panel Üretim)	Kaynak 3 (Panel Üretim işgücü)	115	100	85	70
WS 09 (Blok Üretim)	Kaynak 4 (Blok Üretim işgücü)	270	240	210	180
WS 12 (Kızak)	Kaynak 5 (Kızak işgücü)	135	120	105	90
Toplam		645	570	495	420

WS 02 Kesim İş İstasyonu (Cutting): Sac ve Profillerin kesim atölyesidir. Stok sahasından fiziki üretime geçilen ilk safhadır. Üretim CNC tezgâhlarında yapılmaktadır. CNC Plasma Cutting makineleri 4 ünite ile sınırlıdır Profil üretimi otomasyonla yapılmaktadır. Bu alanda en önemli faktör makine tezgâhlarının sayısı ve kapasitesi kısıtıdır.

WS 04 Ön Panel Üretimi İş İstasyonu (Prefabrication): Panel hattında gerçekleşen, sac ve profillerin kesiminden sonra ön panel üretime geçilen aşamadır ve kesimi gerçekleşen profil ile sacların birleştirilerek üretilmesidir. Bu kapalı mekanlarda gerçekleşen ve insan faktörüyle beraber ekipmanın ön planda olduğu bir iş istasyonudur. Çok geniş alana yayılarak üretim gerçekleştirilebilir ve bu bölgede iş yüklemesi yapılabilir.

WS 05 Panel Üretimi İş İstasyonu (Prefabrication): Panel hattında gerçekleşen, ön panel üretimlerinin yapıldıktan sonra elemanlı panellerin üretimi gerçekleşmektedir. Bu kapalı mekanlarda gerçekleşen ve insan faktörüyle beraber ekipmanın ön planda olduğu bir iş istasyonudur. Bu bölgede iş yüklemesi yapılabilir.

WS 09 Blok Üretimi İş İstasyonu (Block Production): Panel hattında gerçekleşen, panel üretimlerinin yapıldıktan birleştirilerek daha büyük gemi parçaları olan blokların üretimi gerçekleşmektedir. Blokları üretimi gerçekleştikten sonra blokların birleşimiyle daha büyük yapılar olan modüllerin üretimi yapılmaktadır. Bu üretim yerleri kapalı ve açık mekanlarda gerçekleşen ve insan faktörüyle beraber ekipmanın ön planda olduğu bir iş istasyonudur. Bu bölgede iş yüklemesi ön panel üretimi ve panel üretimi kadar kolay yapılamamaktadır.

WS 12 Havuzda/Kızakta Birleştirme İş İstasyonu (Erection): Tersanede denize indirme kızak üzerinde inşası yapılan gemi denize indirildiğinden dolayı üretimi yapılan blok ve modüllerin kızakta üretim planı çerçevesinde sırasıyla birleştirilerek inşası geminin suya ininceye kadar olan sürecini kapsamaktadır. Bu üretim istasyonu açık mekanlarda gerçekleşen ve insan faktörüyle beraber ekipmanın ve yer probleminin ön planda olduğu bir iş istasyonudur. Bu bölgede iş yüklemesi diğer istasyonlar kadar kolay yapılamamaktadır. Bu iş istasyonunda aynı anda 2 gemiye kızakta blokların birleştirilmesi imkanı tanımaktadır. Bu durum aynı anda kızakta 2 den fazla geminin inşasına olanak tanımadığından 3 ve daha çok sayıdaki gemilerin inşasında 1 ve 2 numaralı gemilerin denize indirilmesi gerekmektedir. Bu süreçte 3 ve daha fazladaki gemilerin bloklarının inşası yapılabilir ve stok yapılarak üretimi sürdürülerek süreç işlemektedir.

3.1.3. Tersanenin Kapasite Kısıtına Göre Değerlendirilmesi

Tersanede uygulamasındaki çözümü yapılacak olan problemin A ve B gemilerin blok inşasında, tersanenin sağlayacağı kaynak işgücü kapasitesi çerçevesinde gerçekleşecektir.

Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemindeki tersanenin sağlayacağı işgücü kapasitesine bağlı olarak alternatif çözümler üretilecektir. Bu bağlamda, tersane her zaman gerekli olan kaynağı sağlayamayacağı durumlar ya da blok üretimi gerçekleşecek olan geminin inşasındaki kullanılması gereken optimal tersanenin işgücü arzının belirlenmesi hususyla, tersanenin 4 farklı kapasitesi çözümde kullanılmıştır. Kapasite değerleri adam/gün olarak belirtilmiştir. Bu çözümlerdeki kapasite kısıtları:

- Kapasite 1: tersanenin gerçek durumdaki kapasitesini ifade etmektedir.
- Kapasite 2: tersanenin kapasitesinin, kapasite 1’den toplam 75 kişi azaltılarak elde edilen kapasitedir.
- Kapasite 3: tersanenin kapasitesinin, kapasite 2’den toplam 75 kişi azaltılarak elde edilen kapasitedir.
- Kapasite 4: tersanenin kapasitesinin, kapasite 3’den toplam 75 kişi azaltılarak elde edilen kapasitedir.

100-200 kişi arasında işgücüne sahip kapasite 1’deki üretim istasyonlarında 15 kişi ve 200 kişi üzerinde işgücüne sahip üretim istasyonlarında 30 kişi kademeli olarak azaltılarak toplamda 75

kişi azalacak şekilde kapasiteler oluşturulmuştur. Kapasite 4 en düşük kapasiteyi temsil etmektedir. WS 02 (Kesim) iş istasyonundaki kapasitede azaltma yapılmamıştır.

Çözümde kullanılan farklı senaryolarda tersanenin her bir kapasitesine göre çözülerek çözüm kümesi oluşturulmuştur.

3.1.4. Uygulamada Projeler ve Projelerin Başlatılması Senaryolar

Uygulamada A ve B olmak üzere 2 adet gemi blok inşa projesinin çözümü yapılmıştır. Bu çalışmada A ve B gemi blok inşa projelerinin aynı anda inşasına başladığı kabul edilmiştir. Bu iki gemiye ait olan blok inşa planları EK 1’de A gemisi için ve EK 2’de B gemisine ait detaylar bulunmaktadır. Üretilen gemi sayısının artırılması ve üretime girecek olan gemilerin başlatılma farklılığı bir başka çalışma konusu olarak dikkate alınmamıştır.

3.1.5. Uygulamada Proje Çözümünde Dikkate Alınan Senaryolar

Çalışmada gemi blok inşasında farklı çözüm senaryoları üretilerek bu senaryolar çerçevesinde çözümler üretilmiştir. Bu senaryolar aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.

Bu senaryoların çözüm kümesi Tablo 3.2’de olacak şekilde gösterilmiştir.

Tablo 3.2: Çözüm senaryoları gösterimi.

		1	2	3	4
		Kapasite	Kapasite	Kapasite	Kapasite
		645 kişi/gün	570 kişi/gün	495 kişi/gün	420 kişi/gün
A	Senaryo A: Normal Proje Programlama	A1	A2	A3	A4
B	Senaryo B: WS 04 (Ön Panel Üretim) ve WS 05 (Panel Üretim) istasyonlarına %20 işgücü artırma	B1	B2	B3	B4
C	Senaryo C: 295 ve 297 numaralı kritik faaliyetlerde 3 kişi (%12) artırma	C1	C2	C3	C4
D	Senaryo D: 274, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 3 kişi (%12) artırma	D1	D2	D3	D4
E	Senaryo E: 274, 295, 297, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 3 kişi (%12) artırma	E1	E2	E3	E4
F	Senaryo F: 295 ve 297 numaralı kritik faaliyetlerde 5 kişi (%20) artırma	F1	F2	F3	F4
G	Senaryo G: 274, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 5 kişi (%20) artırma	G1	G2	G3	G4
H	Senaryo H: 274, 295, 297, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 5 kişi (%20) artırma	H1	H2	H3	H4

Senaryo A: Normal Proje Programlama: Tersanenin 4 farklı kapasitesine göre sırasıyla A1, A2, A3 ve A4 olarak temsil edilmiştir. Bulanık süre ortamında genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgelemesi yapılmıştır. İşgücü kaynak yüklemesi yapılmamıştır.

Senaryo B: WS 04 (Ön Panel Üretim) ve WS 05 (Panel Üretim) istasyonlarına %20 işgücü arttırma: Tersanenin 4 farklı kapasitesine göre sırasıyla B1, B2, B3 ve B4 olarak temsil edilmiştir. Bulanık süre ortamında genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgelemesi yapılmıştır. WS 04 (Ön Panel Üretim) ve WS 05 (Panel Üretim) istasyonlarında %20 işgücü kaynak yükleme yapılmıştır.

Senaryo C: 295 ve 297 numaralı kritik faaliyetlerde 3 kişi (%12) arttırma: Tersanenin 4 farklı kapasitesine göre sırasıyla C1, C2, C3 ve C4 olarak temsil edilmiştir. Grup 1 olarak da ifade edilen 295 ve 297 numaralı kritik faaliyetlerde, 3 kişi (%12) işgücü kaynak yükleme yapılmıştır.

Senaryo D: 274, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 3 kişi (%12) arttırma: Tersanenin 4 farklı kapasitesine göre sırasıyla D1, D2, D3 ve D4 olarak temsil edilmiştir. Grup 2 olarak da ifade edilen 274, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde, 3 kişi (%12) işgücü kaynak yükleme yapılmıştır.

Senaryo E: 274, 295, 297, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 3 kişi (%12) arttırma: Tersanenin 4 farklı kapasitesine göre sırasıyla E1, E2, E3 ve E4 olarak temsil edilmiştir. Grup 3 olarak da ifade edilen 274, 295, 297, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde, 3 kişi (%12) işgücü kaynak yükleme yapılmıştır.

Senaryo F: 295 ve 297 numaralı kritik faaliyetlerde 5 kişi (%20) arttırma: Tersanenin 4 farklı kapasitesine göre sırasıyla F1, F2, F3 ve F4 olarak temsil edilmiştir. Grup 1 olarak da ifade edilen 295 ve 297 numaralı kritik faaliyetlerde, 5 kişi (%20) işgücü kaynak yükleme yapılmıştır.

Senaryo G: 274, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 5 kişi (%20) arttırma: Tersanenin 4 farklı kapasitesine göre sırasıyla G1, G2, G3 ve G4 olarak temsil edilmiştir. Grup 2 olarak da ifade edilen 274, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde, 5 kişi (%20) işgücü kaynak yükleme yapılmıştır.

Senaryo H: 274, 295, 297, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 5 kişi (%20) arttırma: Tersanenin 4 farklı kapasitesine göre sırasıyla H1, H2, H3 ve H4 olarak temsil edilmiştir. Grup 3 olarak da ifade edilen 274, 295, 297, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde, 5 kişi (%20) işgücü kaynak yükleme yapılmıştır.

Ayrıca uygulamadaki kaynak yüklemesinin yapılacağı kritik faaliyetlerde aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır:

- Grup 1: 295 ve 297 numaralı kritik faaliyetler
- Grup 2: 274, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetler
- Grup 3: 274, 295, 297, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetler

3.1.6. Çözüm Metodu

Bu çalışmada tersanede gemi blok inşasının bulanık süre ortamında genetik algoritma kullanarak kaynak kısıtlı proje çizelgeleme metoduyla çözülmüştür. Ardından tersanenin kademeli olarak azalan farklı 4 kapasitesi çerçevesinde 8 farklı senaryo ile toplam 32 adet olan bir çözüm kümesi oluşturulmuştur. Bu çözüm kümesinde yer alan çözümleri, Pareto optimal eğrisi yöntemiyle optimum tersanenin kapasitesi-proje tamamlanma süresinin çözümleri aranmıştır. Bununla beraber çözüm kümesinde yer alan çözümlerden, fizibil olmayanlar ve uygulanabilir olmayan çözümler de aranmış ve değerlendirilmiştir, (Şekil 3.1).

Buna göre çözüm aşamaları aşağıdaki gibi adımlanmıştır.

1.Aşama: Problem kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi yöntemi temelinde çözüleceğinden dolayı, amaç fonksiyonu KKPÇP olarak belirlenir.

2.Aşama: Blok inşası yapılacak olan A ve B gemilerine ait blok inşa planı mevcut olup EK 1 ve EK 2’de yer alan plana göre yapılmıştır. Tersanenin kademeli olarak azaltılan tersane kapasite değerleri Tablo 3.1’de bulunmaktadır. Ayrıca EK 3’de tersane planında iş istasyonları ve iş akış gösterilmektedir. EK 4’de, A ve B gemileri ait blok inşasına için projeyi oluşturan faaliyet listesi, faaliyetlere ait kaynak işgücü değerleri, faaliyet sıralamasını gösteren faaliyet öncülleri ve projedeki faaliyetlerin hangi iş istasyonunda işlem göreceğine ait bilgiler

bulunmaktadır. EK 5’de projenin faaliyetlerine ait olan bulanık yamuk süre olarak atanmış faaliyet süreleri bulunmaktadır. Bu veriler aynı zamanda KKPÇ problemini çözümü için ihtiyaç duyulan verilerdir.

2.Aşama: Problem genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgelemesi temelinde çözüleceğinden dolayı deterministik olarak sürelerle işlem yapılması gerekmektedir. Projenin faaliyet sürelerinin, yamuk bulanık küme şeklinde olmasından dolayı, faaliyetlerin bulanık süreleri deterministik sürelere dönüşümü, üyelik fonksiyonu belli olan yamuk bulanık sayıların ağırlık merkezi (*centroid*) yöntemi ile durulaştırma (*defuzzification*) yapılarak deterministik sürelere dönüştürülür. EK 5’de verilen A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetlerinin yamuk bulanık süreleri ve bu faaliyet sürelerinin ağırlık merkezi (*centroid*) durulaştırma (*defuzzification*) sonucu $\tilde{X}_0(\tilde{A})$ değerleri bulunmaktadır.

3.Aşama: Tüm veriler sağlanarak, genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgelemesi ile çözüm kümelerinin oluşturulması ve kullanılacak olan genetik algoritma programı için hazırdır. KKPÇP çözümünde bu çalışmada meta sezgisel yöntem olan genetik algoritma kaynak kısıtlı proje çizelgelemesi ile çözümü yapılacağından dolayı genetik algoritmaların mutasyon oranı, seçim oranı, çaprazlama, popülasyon büyüklüğü ve jenerasyon parametre değerleri belirlenir ve bu parametre değerleri ile problem çözümüne başlanır. Her bir çözüm için pek çok farklı genetik parametre değerleriyle çözümler üretilmiş ve en iyi yerel değere sahip olan çözümler çözüm kümesine dahil edilmiştir.

4.Aşama: Genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi, senaryo A’ya göre tersanenin 4 farklı kapasitesine göre 4 farklı çözüm elde edilmiştir. Bu çözümler A1, A2, A3 ve A4 çözümleridir, Tablo 3.2.

5.Aşama: Genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi, senaryo B’ye göre tersanenin 4 farklı kapasitesine göre 4 farklı çözüm elde edilmiştir. Bu çözümler B1, B2, B3 ve B4 çözümleridir, Tablo 3.2.

6.Aşama: Genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi, senaryo C'ye göre tersanenin 4 farklı kapasitesine göre 4 farklı çözüm elde edilmiştir. Bu çözümler C1, C2, C3 ve C4 çözümleridir, Tablo 3.2.

7.Aşama: Genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi, senaryo D'ye göre tersanenin 4 farklı kapasitesine göre 4 farklı çözüm elde edilmiştir. Bu çözümler D1, D2, D3 ve D4 çözümleridir, Tablo 3.2.

8.Aşama: Genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi, senaryo E'ye göre tersanenin 4 farklı kapasitesine göre 4 farklı çözüm elde edilmiştir. Bu çözümler E1, E2, E3 ve E4 çözümleridir, Tablo 3.2.

9.Aşama: Genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi, senaryo F'ye göre tersanenin 4 farklı kapasitesine göre 4 farklı çözüm elde edilmiştir. Bu çözümler F1, F2, F3 ve F4 çözümleridir, Tablo 3.2.

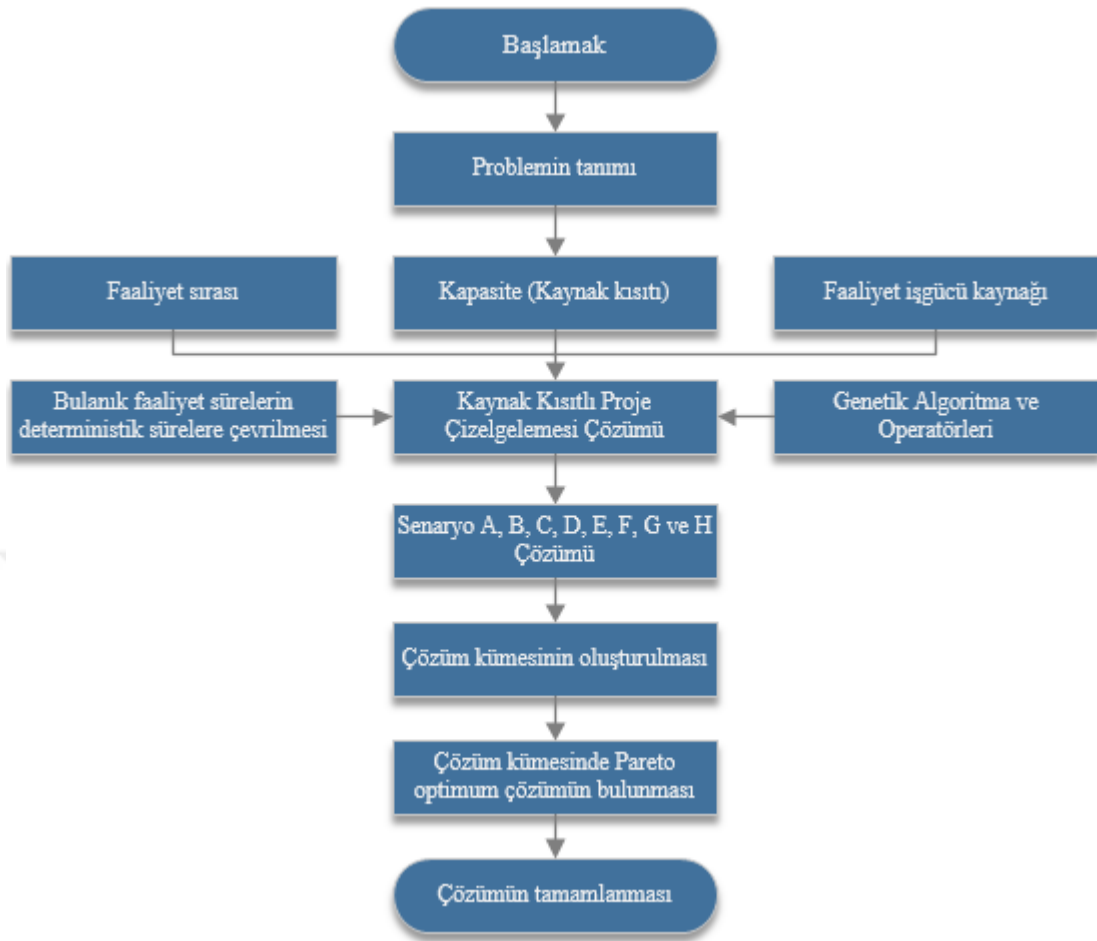
10.Aşama: Genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi, senaryo G'ye göre tersanenin 4 farklı kapasitesine göre 4 farklı çözüm elde edilmiştir. Bu çözümler G1, G2, G3 ve G4 çözümleridir, Tablo 3.2.

11.Aşama: Genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi, senaryo H'ye göre tersanenin 4 farklı kapasitesine göre 4 farklı çözüm elde edilmiştir. Bu çözümler H1, H2, H3 ve H4 çözümleridir, Tablo 3.2.

12.Aşama: Tüm bu 8 farklı senaryoya göre, projenin farklı çözümlerini içeren tersanenin kapasitesi-projenin tamamlanma süresi ile 32 adetten oluşan bir çözüm kümesi oluşturulur.

13.Aşama: Bu çözüm kümesi Pareto optimum eğrisi yöntemiyle optimum çözümler ve fizibil olmayan çözümler belirlenir, yorumlanır.

Böylece çözüm tamamlanmış olur.



Şekil 3.1: Çözüm metodu.

3.2. KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Bu bölümde yapılan çalışmanın Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Probleminin (KKPÇP) sınıflandırılması, tanımlanması bahsedilecektir.

3.2.1. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi Tanımı

Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi (KKPÇP), kısıtlı kaynaklar kullanılarak bir projenin faaliyetlerini, öncüllük ilişkilerini ihlal etmeden amaç fonksiyonunu en uygun veya en optimal çözüm olanakları arasındaki matematiksel yöntem ile değerlendiren metottur.

Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi, literatürde oldukça sık olarak çalışılan ve farklı yöntemlerin kullanılmasıyla çözüm üretilen bir problem çeşididir. Ele alınan faaliyet öncelikleri

ve kaynak kısıt olmak üzere iki farklı kısıt olduğundan dolayı Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Probleminin diğer problemlere göre olan zor olduğu görülmektedir. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi literatürde “*NP (Non-Polynomial) - Hard in the Strong Sense*” (Blazewicz ve diğ., 1983) olarak sınıflandırılan problem sınıfında yer almaktadır. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi yapısına uygun olarak problemdeki varsayımlar aşağıdaki gibi belirtilebilir:

- Faaliyet süreleri deterministiktir (bulanık süreli verilen faaliyetlerin süreleri deterministik olarak çevrilecektir)
- Faaliyetlerdeki birim zamanda kullanılan kaynak miktarı sabittir,
- Bir faaliyet tarafından kullanılan atanan kaynak, başka bir faaliyet tarafından kullanılamaz, sadece o faaliyetin süresinin bitiminden sonra kullanılabilir,
- Faaliyetlerin başlangıcı ve bitişi arasında ara verilmez ve süreksizlik yoktur,
- Tanımlanan faaliyetler iptal edilemez ve faaliyetlerin gerçekleşmesi gerekmektedir,
- Faaliyetlerin gerçekleştirilmesi için kullanılan kaynakların yenilebilir kaynak olarak dikkate alınmaktadır,
- Faaliyetler bitirilmeden sonraki faaliyetler başlanamamaktadır,

Kaynak Kısıt Proje çizelgeleme Probleminde literatür çalışmalarında iki grupta sınıflandırıldığında; bir grupta proje süresinin minimum sürede çözülmesi amaçlanırken diğer gruptaki çalışmalar ise proje maliyetinin minimum olması hedeflenmiştir. Bir diğer grup ise zaman-maliyet açısından çok amaçlı optimal bir çözüm amaçlanmıştır.

3.2.2. Kaynakların Sınıflandırılması

Kaynaklar projenin hayata geçmesi için kullanılan unsurlardır. Projelerde ifade edilen kaynak türleri:

Yenilenebilir Kaynaklar; bir zaman birimindeki kullanım miktarı sınırlı olmakla beraber, kaynakların kullanılması ile bitmezler. Faaliyetin bitmesinden sonra tekrar kullanıma hazır olurlar. Bu kaynakların miktarı sınırlı olduğundan dolayı kullanılabilirliği üzerinde de sınır söz konusudur.

Yenilemez Kaynaklar; bir zaman birimindeki kullanım miktarı sınırlı olmakla beraber, kaynakların kullanılması ile tükenmektedirler. Bir kaynak hem proje süresi çerçevesinde hem

de faaliyet süresi boyunca kaynak kullanımı üzerinde kısıt söz konusu olduğunda buna iki yönden kısıtlı kaynak denir. Adet olarak ifade edilen kaynaklara bölünebiliyorsa buna süreksiz kaynak, bölünemeyen kaynaklara da sürekli kaynak denir.

3.2.3. Faaliyet Kaynak İlişkisi

Projeleri oluşturan faaliyetlerin gerçekleştirilmesi süresince, bu faaliyete atanıp kullanılacak olan kaynaklar arasında ilişki bulunmaktadır. Genellikle, bu faaliyette kullanılan kaynağın artırılmasıyla faaliyet süresinin azalması beklenmesine uygun olarak *Maliyet-Zaman (Time Cost Trade Off)* şeklinde ifade edilmektedir. Kaynağın kullanımında sürekli ve süreksiz olmasından ötürü maliyet-zaman çiftine sürekli ve süreksiz bir işlev olarak adlandırılır. Süreksizlik durumunda maliyet-zaman çiftine karşılık gelen noktaya bir mod olarak ifade edilir. Birden fazla moda sahip olan proje çizelgeleme problemleri de çok modlu problemler olarak adlandırılmaktadır. Bir diğer tür etkileşim ise faaliyetin süresi sabit olup kaynakların farklı kullanımları olabilmektedir, bu duruma da kaynakların kendi arasındaki etkileşimi (*Resource-Resource Trade Off*) denir.

3.2.4. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Modelleri

Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi modelleri iki kategoride incelenmektedir:

- Proje faaliyet süreleri ve atanan kaynak miktarlarının değişmediği ve sabit olduğu kabul edilen Tek Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi.
- Proje faaliyet süreleri ve atanan kaynak miktarlarının değişken olduğu ve sabit olmadığı kabul edilen Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi.

3.2.4.1. Tek Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi Modeli

Proje aşamasında faaliyet süreleri belirlenmiş olup sabit olarak dikkate alınır. Tek Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi modelinin amacı, proje süresinin minimum olması ya da proje maliyetinin minimum olmasının amaçlamaktadır. Tanımlanan Tek Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi, literatürde klasik problem olarak da ifade edilmektedir. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Probleminde kullanılan değişkenler; faaliyetlerin hangi zaman aralığında yürütüleceğini belirleyen değişkenler ve kullanılan kaynakların faaliyetlere nasıl dağıtılacağını belirleyen kaynak atama değişkenleridir. Ayrıca, modelde kullanılan 4 grup parametreler ise; faaliyet süresi, kaynak kullanım sınırı, faaliyet kaynak ihtiyacı ve öncelik kısıtıdır. Tek Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Probleminin matematiksel algoritmasının ifadesi aşağıda gibidir, (Kolisch ve Sprecher, 1996; Ulusoy, 2002).

$$\min Z = \sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} tX_{jt} \quad (3.1)$$

$$\sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} X_{jt} = 1; \quad j = 1, \dots, J \quad (3.2)$$

$$\sum_{t=EFT_i}^{LFT_i} tX_{it} \leq \sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} (t - d_j)X_{jt} \quad j = 2, \dots, J \quad i \in P_j \quad (3.3)$$

$$\sum_{j=1}^j k_{jr} \sum_{r=t}^{t+d_j-1} X_{jr} \leq K_r \quad r \in R, \quad t = 1, \dots, T \quad (3.4)$$

$$X_{jt} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ faaliyeti } t \text{ dönemi sonunda bitiyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlar için,} \end{cases} \quad (3.5)$$

Sembollerin tanımları aşağıdaki gibi açıklanmıştır:

t Zaman indisi $t = 1, \dots, T$

j Faaliyet indisi $j = 1, \dots, J$

R Yenilenebilir kaynaklar kümesi,

d_j j faaliyet süresi,

p_j j faaliyetin öncüllerinin kümesi,

EFT_j j faaliyetin en erken bitiş zamanı,

LFT_j j faaliyetinin en geç bitiş zamanı,

k_{jr} j faaliyetinin r kaynağından birim zamanda kullanım miktarı,

K_r r yenilenebilir kaynağının birim zaman kullanım üst sınırı,

Denklem (3.1), amaç fonksiyonu ve proje süresinin minimizasyonudur. Denklem (3.2) kısıtı, her faaliyetin çizelgelemesi gerekmektedir, kısıtı. Denklem (3.3) kısıtı, j faaliyeti ile ve öncülü olan i faaliyeti arasındaki öncüllük ilişkisini yerine getirmeli kısıtı. Denklem (3.4) kısıtı,

Faaliyet başına birim zamandaki kaynak kısıtı. Denklem (3.5) kısıtı, X_{jt} değişkeni $\{EFT_j, LFT_j\}$ zaman aralığında tanımlanmıştır.

3.2.4.2. Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi Modeli

Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemin en belirgin niteliğinin faaliyet sürelerinin sabit olmamasıdır. Bundan dolayı faaliyet süresi, kaynak atanmasının belirlenmesi ve faaliyet başlama zamanıyla beraber es zamanda saptanmaktadır. Bu da karmaşık bir yapıda olmasını sağlamaktadır. Atanan kaynak miktarı ile beraber faaliyet süreleri değişmektedir. Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi modelinin amacı, proje süresinin minimum olması ya da proje maliyetinin minimum olmasının amaçlamaktadır. Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemin matematiksel algoritmasının ifadesi aşağıda gibidir (Mori ve Tseng, 1997; Ulusoy, 2002).

$$\min Z = \sum_{m=1}^{M_j} \sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} tX_{jmt} \quad (3.6)$$

$$\sum_{m=1}^{M_j} \sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} X_{jmt} = 1; \quad j = 1, \dots, J \quad (3.7)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^{M_j} k_{jmr} \sum_{r=t}^{t+d_{jm}-1} X_{jmr} \leq K_r \quad r \in R, t = 1, \dots, T \quad (3.8)$$

$$\sum_{m=1}^{M_i} \sum_{t=EFT_i}^{LFT_i} tX_{imt} \leq \sum_{m=1}^{M_j} \sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} (t-d_{jm})X_{jmt} \quad j = 2, \dots, J \quad i \in P_j \quad (3.9)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^{M_j} k_{jmr} \sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} X_{jmt} \leq K_r, \quad r \in N, \quad (3.10)$$

$$X_{jmt} \in \{0,1\}, \quad j = 1, \dots, J; m = 1, \dots, M_j; t = EFT_j, \dots, LFT_j \quad (3.11)$$

Sembollerin tanımları aşağıdaki gibi açıklanmıştır:

t Zaman indisi $t = 1, \dots, T$

j Faaliyet indisi $j = 1, \dots, J$

R Yenilenebilir kaynaklar kümesi,

- d_j j faaliyet süresi,
- p_j j faaliyetin öncüllerinin kümesi,
- EFT_j j faaliyetin en erken bitiş zamanı,
- LFT_j j faaliyetinin en geç bitiş zamanı,
- k_{jr} j faaliyetinin r kaynağından birim zamanda kullanım miktarı,
- K_r r yenilenebilir kaynağının birim zaman kullanım üst sınırı,
- M_j j faaliyetin mod sayısı,
- m Mod indisi $m=1, \dots, M_j$
- N Yenilemez kaynak kümesi,

Denklem (3.6), Amaç fonksiyonu ve proje süresinin minimizasyonudur. Denklem (3.7) kısıtı, Her faaliyetin çizelgelemesi gerekmektedir, kısıtı. Denklem (3.8) kısıtı, birim zamandaki yenilenebilir kaynakların kullanım üst sınırını göstermektedir. Denklem (3.9) kısıtı, j faaliyeti ile ve öncülü olan i faaliyeti arasındaki öncüllük ilişkisini yerine getirmeli kısıtı. Denklem (3.10) kısıtı, Faaliyet başına birim zamandaki kaynak kısıtı. Denklem (3.11) kısıtı, X_{jt} değişkeni $\{EFT_j, LFT_j\}$ zaman aralığında tanımlanmıştır.

3.2.4.3. Çok Projeli Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi Modeli

İşletmelerde tek projenin olması durumunda farklı durumlar da söz konusu olabilmektedir. İşletme de bir proje devam ederken bir başka projenin başlaması ilk projenin başlamasına bağlıdır. Ya da iki projenin de aynı süre zarfında devam ettirilebilir. Çok proje içeren Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi aşağıdaki gibi formülize edilmiştir (Sarı, 2014).

$$\min Z = \frac{\sum_{t=EFT_{jq}}^{LFT_{jq}} tX_{qjt}}{Q} \quad (3.12)$$

$$\sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} X_{jt} = 1; \quad j = 0, 1, \dots, n+1 \quad (3.13)$$

$$\sum_{t=EFT_i}^{LFT_i} tX_{imt} \leq \sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} (t-d_j)X_{jt} \quad j=1,...,n+1 \text{ ve } i \in P_j \quad (3.14)$$

$$\sum_{j=1}^j k_{jr} \sum_{r=t}^{t+d_j-1} X_{jt} \leq K_r \quad r \in R, t=1,...,r \quad (3.15)$$

$$X_{jt} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ faaliyeti } t \text{ dönemi sonunda bitiyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlar için,} \end{cases} \quad (3.16)$$

Sembollerin tanımları aşağıdaki gibi açıklanmıştır:

- t Zaman indisi $t=1, \dots, T$
- j Faaliyet indisi $j=1, \dots, J$
- R Yenilenebilir kaynaklar kümesi,
- d_j j faaliyet süresi,
- P_j j faaliyetin öncüllerinin kümesi,
- EFT_j j faaliyetin en erken bitiş zamanı,
- LFT_j j faaliyetinin en geç bitiş zamanı,
- k_{jr} j faaliyetinin r kaynağından birim zamanda kullanım miktarı,
- K_r r yenilenebilir kaynağının birim zaman kullanım üst sınırı,
- M_j j faaliyetin mod sayısı,
- q Proje indisi $q=1,..., Q$,

Denklem (3.12), Amaç fonksiyonu ve proje gecikmesinin en az olmasıdır. Denklem (3.13), Her bir j faaliyetin çizelgelemesi gerekmektedir. Denklem (3.14), faaliyet j 'nin başlayabilmesi için bağlı olduğu faaliyetlerin X_{it} , $i \in P_j$ tamamlanmış olması kısıtı. Denklem (3.15), j faaliyeti ile ve öncülü olan i faaliyeti arasındaki öncüllük ilişkisini yerine getirmeli kısıtı. Denklem (3.16), Faaliyet başına birim zamandaki kaynak kısıtı, X_{jt} değişkeni $\{EFT_j, LFT_j\}$ zaman aralığında tanımlanmıştır.

Çoklu proje olmasının temelde tek proje olmasından pek bir farkı yoktur. Karar değişkenleri ve kısıtları tekli proje ve çoklu proje için değişmemektedir. Sadece projelerin amaçları değişiklik gösterebilir. Örneğin, biri sadece proje süresinin minimizasyonunu amaçlarken bir başka proje ise bunun yanında maliyetinde minimum olmasını amaçlayabilir. Çoklu projelerin ele alınmasında her bir proje kendi başına ele alınabilir ve başlangıç ve bitim düğümleri vardır. Ya da tek bir proje altında birleştirilerek tek bir proje olarak değerlendirilir. Tüm projelerin bütünleşerek tek bir başlangıç ve bitiş düğüm noktası oluşturulur. Bu çalışmada iki proje ayrı ayrı değerlendirilmeyip, iki proje tek bir proje olarak bütünleştirilmiştir, faaliyet ve kaynak ilişkiler buna göre düzenlenmiştir.

3.2.5. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemlerinde Kullanılan Yöntemler

Kaynak kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi, literatürde çok çeşitli metotlar kullanılarak çözümü gerçekleştirilebilmektedir. Pek çok yöntemin oluşu bu sınıftaki problemlerin çözümü için alternatifleri arttırmaktadır. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Probleminin bu tez de çözümü Genetik Algoritma kullanılarak çözüleceğinden dolayı sadece bu konuya değinilmiştir.

Abdolshah (2014) yapmış olduğu çalışmada Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Probleminin sınıflandırmasını Tablo 3.3'daki sınıflandırmıştır. Buna göre sınıflandırma Kesin çözüm metotları, sezgisel ve meta sezgisel olarak 3 grupta sınıflandırılmıştır. Genetik Algoritma Meta Sezgisel Metotlar altında Evrimsel Algoritma kategorisinde sınıflandırılmıştır. CPM/PERT yöntemi ise Kesin Çözüm Metotları altında Sentetik Yöntemler kategorisinde sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemine dair çözümler 3 ana başlık altında toplanabilir, bunlar Kesin Çözüm Metotları, Sezgisel Yöntemler ve Meta Sezgisel Yöntemlerdir.

Tablo 3.3: KKPÇ'nin Çözüm Metotlarının Sınıflandırılması (Abdolshah, 2014).

Kesin Çözüm Metotları	Sezgisel Yöntemler	Meta Sezgisel Yöntemler
- Matematik Planlama - Deterministik - Lineer Programlama - Tamsayılı Programlama - Sıfır Bir Yöntemi - Sayısal Yöntemler - Dinamik Programlama - Dal Budak Yöntemi - Sentetik Yöntemler - Dinamik Planlama - CPM/PERT - Simülasyon - Sentetik - Skolastik Yöntemler - Markov zinciri - Amaç Teorisi - Sistem Analizi	- Arama Tabanlı - İlerletme - Komşu Araştırma - İleri ve Geri İlerletme - İnşa Tabanlı - Öncelik Temelli - Tek Geçişli - Çok Geçişli - Çizelge Oluşturma - Paralel Çizelgeleme - Seri Çizelgeleme - Çift Çizelgeleme - Kesin Metot Temelli - Ayrıştırma - Gevşetme - Kesin Metot - Lagrangee - Hibrit - Pek çok Sezgisel Yöntemin Kombinasyonu	- Davranış Metotları - Yerel Arama - GRASP - Değişken Komşu Arama - Rehberli Yerel Arama - Tedavi Edici Yerel Arama - Yerel Arama Tabanlı - Benzetilmiş Tavlama - Tepe Tırmanma - TABU Arama - Rasgele Optimizasyon - Populasyon Temelli - Evrimsel Algoritma - Genetik Algoritma - Genetik Programlama - Evrimsel Strateji - Evrimsel Programlama - Memetik Algoritma - Sürü Zekası - Dağınık Arama - Karınca Kolonisi - Para Sürü Optimizasyonu - Arı Kolonisi Algoritması - Dağıtım Tahmini - Yapay Zeka - Kesin Metot - Meta Sezgisel - Meta Hibrit - Sezgisel

3.2.5.1. Kesin Çözüm Veren Yöntemler

Matematiksel çözüm üreten yöntemler olarak da adlandırılan deterministik çizelgeleme modellerinde, bir dizi iş, bir dizi makineler ve bazı performans önlemleri optimize ya da en uygun çözümün bulunması temeline dayanmaktadır. Kesin sonuç üreten deterministik yöntemlerde, aynı algoritma ile aynı problem için her zaman aynı kesin neticeyi verecektir. Bu özelliği nedeni ile bu yöntem türü, kısıt sayısı fazla olan karmaşık problemlerde işlem süreleri nedeni ile pratik bir yöntem olmamaktadır. Deterministik algoritmalar optimum sonucu üretmediklerinde, alternatif çözüm üretmediklerinden dolayı farklı çözüm üretme imkanları olmayacaklardır. CPM/PERT yöntemi bu kategoride yer alan bir yöntemdir.

3.2.5.2. Sezgisel Yöntemler

Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde kombinasyonel işlemi problem kümesi sınıfında yer almaktadır. Bu sınıf problemlerin optimal çözümü aranmasına karşın, pek çok çizelgeleme problemlerinde her zaman optimal sonucu bulacak bir algoritma

oluşturulamamaktadır. Bundan dolayı bu sınıf problemlerin optimal sonucu bulmaktaki zorluktan sezgisel yöntemleri tercih edilmektedir.

Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi kombinasyon yapıda olduğundan dolayı orta düzey problemlerden itibaren problemlerin çözümü, yazılım yardımıyla dahi çok fazla süre almaktadır. Ancak basitleştirilmiş algoritmalar üzerinde sezgisel yöntemleri kullanmak tatmin edici olmaktadır. Sezgisel yöntemlerin sonuçları, kesin çözüm içeren yöntemlerde alt ve üst sınır oluşturmakta ve bu yönden dolayı önemlidirler. Sezgisel yöntemlerden elde edilen sonuçlar, kesin yöntemler için alt ve üst sınır oluşturduklarından dolayı önemlidir. Öncelik kuralına dayalı sezgisel yöntemlerin öncelik kuralı ve çizelgen oluşturma yöntemi olmak üzere iki boyutu bulunmaktadır. Öncelik kurallarına göre olan algoritmaları, tüm faaliyetler öncelik kuralına göre atanarak, faaliyetler arasında öncül ilişkiler çerçevesinde ve kaynak kısıtları ile çizelge oluşturulduğunda algoritma bitirilmelidir. Bu algoritmalar tek bir çözüm sunmaktadırlar.

3.2.5.3. Meta Sezgisel Yöntemler

Meta sezgisel, çözüm uzayında en iyiye yakın çözümlerini kapsayan bölgelerde aramak için probleme özgü sezgisellere rehberlik etmek amacıyla tasarlanan genel amaçlı sezgisel yöntemdir. Meta sezgisel yöntemlerin özellikleri: Çözüm aramada rehberlik yapan stratejiler sunar. Amaç en iyi ya da en iyiye yakın çözüm sunmak için çözüm kümesinde arama yapar, basit algoritmalarından kompleks algoritmalara kadar geniş bir olanak sağlamaktadır. Meta sezgisel algoritmalar genellikle yaklaşık algoritma olmaktadır. Çözüm uzayındaki yerel en iyiden uzaklaşmak için çeşitli yöntemler kullanırlar. Meta sezgisel yöntemler, belli bir probleme özgü olarak değildirler. İleri düzey meta sezgisel yöntemlerde arama sırasında hafıza kullanılır.

Meta sezgisel yöntemleri çözüm gösterimi ve çizelgeye dönüştüren çizelgeleme yöntemlerinden bir tanesi de rassal anahtar gösterimidir. Rassal anahtar gösteriminde, gösterilen her bir elemanı bir faaliyete karşılık gelmektedir bu da projedeki faaliyet listesindeki ilgili faaliyete karşılık gelmektedir. Elemanların öncelik kullarını oluşturan bir diğer kural da öncelik kurallarıdır.

3.2.5.4. Stokastik Yöntemler

Stokastik çizelgeleme, probleminin optimizasyon amacının doğası gereği verilen kararın zamanlarına göre gerçekleşmesi, seçilen zaman dilimi, proje faaliyet süreleri, faaliyetler

arasındaki seçim durumu ve belirlenmiş olan açık dünyanın etkisi derecesine izin verilerek olasılık kurallarının etkin olmasıdır, (Dempster ve diğ., 1982).

3.2.6. Meta Sezgisel Algoritma Sonuçlarının Gösterilmesi

Meta-sezgisel algoritma seçildikten sonra sonuçların gösterilebilmesi amacıyla uygun tasarım yöntemin seçilmesi gerekir. KKPÇP için genellikle çizelgenin kendisi sonuçların gösterilmesinde kullanılmaktadır. Literatürde kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin gösterilmesinde 5 farklı tasarım yöntemi kullanılmaktadır, (Hartmann, ve Kolisch, 1999).

Faaliyet listesi tasarımı; bu tasarım yönteminde faaliyetlerin sıraları sonuçların gösterilmesinde kullanılmaktadır. Bu yapıda bir faaliyet mutlaka öncüllerinden sonra gelmelidir. Seri ve paralel çizelgeleme yapılarında çoğunlukla faaliyet liste tasarımı kullanılmaktadır. Faaliyet sırası değiştirildiğinde farklı yeni sonuçlar üretilmektedir. Genetik algoritmalarda bu tasarım genellikle kullanılmaktadır.

Rastgele anahtar tasarımı; bu tasarım yönteminde faaliyet sırası yerine gerçek sayı değerleri yazılarak faaliyetlerin sırası, probleme göre büyükten küçüğe ya da küçükten büyüğe doğru olacak şekilde faaliyetler dizilerek bulunur. Faaliyetlere atanan değerler faaliyetin öncelik şartını sağlayacak şekilde ayarlanır.

Öncelik kuralı tasarımı; Bu yaklaşımda çözümler kullanılan öncelik kurallarının sırası ile gösterilmektedir. Örneğin yedi elemanlı bir tasarımda yedi kural kullanılacaktır ve bu kuralların sırası sonucu belirleyecektir. Bu yaklaşım ile her faaliyet farklı bir kural ile seçilecek kural değiştikçe seçilen faaliyette beraber değişecektir.

Kaydırma vektörü tasarımı; Kaydırma vektörü tasarımında sonuçlar kaydırma vektörleri ile temsil edilirler. Hesaplama yapılırken sonucun öncelikli faaliyetlerinden en geç biten faaliyetin süresinin sonuna kaydırma vektörü eklenerek sonuç bulunur.

Çizelge tasarımı gösterimi; Faaliyetler ayrık kümelerle ayrılarak gösterilirler. Öncelikli tamamlanması gerekenler, geciktirilemeyecek faaliyetler, paralel çalışabilecek faaliyetler ve esnek faaliyetler olmak üzere faaliyetler dört farklı kümeye ayrılırlar.

3.2.7. Çizelge Oluşturma Şemaları

Çizelge oluşturma şemaları (SGS) Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi için sezgisel yöntemlerin çekirdeğini oluşturmaktadır. SGS sıfırdan başlayıp kısmi bir programın kademeli olarak genişletilmesi ile uygulanabilir bir zaman çizelgesi oluşturulur. Kısmi çizelgeleme, sadece $n + 2$ alt kümelerinin çizelgelenmesinin olduğu bir çizelgelemedir. Faaliyet artışı Seri SGS ve zaman artışı Paralel SGS olarak adlandırılan iki farklı çizelgeleme (SGS) vardır, (Kolisch ve Hartmann, 1999).

3.2.7.1. Seri Çizelgeleme (Seri SGS)

Kullanılabilir kaynak tamamlanma zamanı ve erken başlama öncülleri seçilen ve çizelgelenen her bir faaliyete (n) kadar Seri SGS ($g=1,2,...,n$) çizelge oluşmaktadır. Her aşama g ile ilişkili olarak, iki ayrık etkinlik kümesi vardır. Çizelgelenmiş set S_g , çoktan planlanmış aktiviteleri içerebilirken, uygun ayarlanmış D_g çizelgeleme için uygun olan tüm etkinlikleri içerir. S_g ve D_g 'nin birleşiminin tüm faaliyetlerin setini vermediğini unutulmamalıdır. Çünkü genellikle uygun olmayan aktiviteler, çizelgelenmemiş aktiviteler ve öncüllerin henüz çizelgelemediğinden dolayı bu g aşamasında çizelgelemeyen aktiviteler bulunmaktadır. Çizelgelemede tüm faaliyetlerin çizelgelemesi tamamlanıncaya kadar işlem devam etmektedir. Seri çizelgelemelerin her aşamasında seçilebilir aday faaliyet kümesi hazırlanması, yöntemde her zaman uygun ve etkin çizelge elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Projenin çizelgelemesi, en uygun olan faaliyetlerin oluşturduğu kümeden bir faaliyet seçilerek, kendine en uygun durumdaki öncelikli olan faaliyetin tamamlanması ve faaliyetin kaynak kapasitesini geçmediği en erken zamana atanmaktadır. Faaliyetin çizelgelemesinden sonra, çizelgelememesi tamamlanmış faaliyetlerin oluşturduğu kümeye dahil edilirken, bundan sonrasında çizelgeleme için uygun olan faaliyet kümesinin güncellemesi gerçekleşir. Gerçekleşen her bir adım için bir faaliyet çizelgelendiğinden dolayı bu çizelgeleme için uygun faaliyet kalmayana kadar devam etmektedir, (Kolisch ve Hartmann, 1999).

3.2.7.2. Paralel Çizelgeleme (Paralel SGS)

Paralel çizelgeleme şeması zamana artış yapmaktadır. Çizelgelemesi gerçekleşen faaliyetler, çizelgelenen faaliyetlerin kümesi olan C_g 'ye atanır. g 'ye kadar çizelgelenen faaliyetler ya çizelgelenmiş olan C_g faaliyetler ya da çizelgelenen olacak olan A_g faaliyetlerdir. Kaynak kısıtı dikkate alınmaksızın en erken çizelgeleme yapılabilecek olan faaliyet süresi tg 'ye atanır. Kaynak kısıtı dikkate alınarak, tg 'de başlayacak olan faaliyetlerde çizelgeleme için uygun olan faaliyetlerin kümesine D_g 'ye atanır ve bu küme eğer boş değil ise bu kümeden bir faaliyet seçilerek tg zamanına atanır. Eğer D_g kümesi boş küme ise tg 1 arttırılarak $tg=tg+1$ yeni tg

zamanı için Dg kümesi güncellenerek oluşan kümenin boş küme olup olmadığı kontrol edilir ve böylece Dg kümesi boş küme oluncaya kadar bu işlem devam eder. Bu işlemler bir sonraki tg zamanı için tekrarları ve çizelgelenecek faaliyetler bitene kadar bu işlem devam ettirilir. Paralel çizelgelemeler erteleme yapmaksızın çizelgeleme meydana getirirken, seri çizelgelemeler aktif çizelgelemeler meydana getirmektedir. Bundan dolayı, seri çizelgelemeler düzgün performans ölçütü ile optimum çözüm içermektedir, paralel çizelgelemeler de ise bu durum olmayabilir ve seri çizelgeleme metotların optimum çözüm için daha etkin olmaktadır, (Kolisch ve Hartmann, 1999).

3.2.8. Üyelik Fonksiyonları Bilinen Yamuk Bulanık Sayılar için Centroid Yöntemi

Bu çalışmanın temelinde yer alan Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme problemi genetik algoritma ile çözüm aranmıştır. Ancak, projenin faaliyet sürelerinin, yamuk bulanık küme şeklinde olmasından dolayı, faaliyetlerin bulanık süreleri deterministik süreler dönüşümü, üyelik fonksiyonu belli olan yamuk bulanık sayıların ağırlık merkezi (*centroid*) yöntemi ile durulaştırma (*defuzzification*) yapılarak deterministik süreler dönüştürülüp çözüm aranmıştır. Dolayısıyla konu bulanık mantık kısmında durulaştırma (*defuzzification*) kısmı ele alınmış olup detaylı olarak bulanık mantık konusuna değinilmemiştir. Sadece çok genel kavramlara değinilmiştir.

İngilizce kelime anlamı “fuzzy logic” olan bulanık mantık, çok net olmayan mantığa dayalı önermelerin, mantık süzgecinden geçirilerek incelenmesinin yapıldığı bir yöntem olarak adlandırılmaktadır. Bulanık küme teorisini geliştiren Zahed’e (1965) göre ise, nesneler sınıfının sınırlarının net bir şekilde tanımlanmadığı durumlarda ortaya çıkan belirsizliklerin sistematik bir şekilde ele alınabilmek amacıyla bir kavramlar ve teknikler yapısı geliştirme girişimi olarak tanımlanmıştır.

Belirsizlik içeren büyüklükler, bulanık sayılar olarak da adlandırılan ve bulanık kümeleri karakterize eden üyelik fonksiyonları ile tanımlanmaktadır. Bulanık sayılar, bulanık bir ortamda insan düşünce ve karar verme mekanizmasına benzer bir şekilde “if .. then.... else ...” biçimindeki önerme ve kural yürütme işlemlerine tabi tutularak bir bulanık sonuca ulaşılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında bulanık mantık, tersaneler gemi inşasında proje çizelgelemesinde faaliyet sürelerinde uygulanmasına değinilmiştir. Genellik proje çizelgeleme problemlerindeki verilerin girdileri konusunda tüm bilgilerin bilindiği tarzda deterministik bir yaklaşım söz konusudur. Fakat gerçek hayatta bu genellikle uymamakta ve daha fazla belirsizlik hususları içermektedir. Bulanık küme teorisi bu konuda, bilgilerin kesinliğinin net olmadığı ve özel durumların değişkenliğinin olduğu durumlar için bir modeli formüle ederek çözüm sunmaktadır. Bu gibi belirsizliğin olduğu durumlar için en uygun çözüm sunabilmek ve bu belirsizliklerin etkilerini azaltmak için çözüm tekniklerine ihtiyaç vardır. Bir projenin ilk olarak hayata geçmesi (tersanelerdeki gemileri neredeyse hemen hepsi özgü projelerdir) o projenin faaliyet süreleri, kaynak gereksinimleri gibi konularda mutlak doğru tam olarak bilinmesinin zorlukları vardır. Böyle durumlarda faaliyet sürelerinin, kaynak gereksinimlerinin tam olarak bilinmesinde bir belirsizlik söz konusudur ve bunun üstesinden gelmek için kullanılabilecek en iyi yöntemlerden biri de bulanık küme yaklaşımıdır.

Üyelik fonksiyonu; tanım uzayında bulunan her eleman bir dereceye kadar bulanık kümenin üyesidir. Sıfırdan farklı bir üyelik derecesine sahip elemanlar, bulanık kümenin elemanlarını oluşturmaktadır. Tanım uzayındaki her elemanına sayı atayan işleve üyelik işlevi ve bu sayıya da üyelik derecesi olarak nitelendirilmektedir. Üyelik derecesi 0 ve 1 arasında değer almaktadır. Bu tanıma göre kesin kümeler, üyelik işlevlerin kare şeklindeki haliyle tanımlanmış özel durum olarak nitelendirilmektedir. Fonksiyon, elemanların kümedeki üyelik derecelerini veren ve özel bir aralıkta evrensel kümelerin elemanlarına değer atayan fonksiyon olarak ifade edilebilir. Büyük değerler büyük dereceli üyeliğe karşılık gelirken, küçük değerlerin üyelik derecesi daha küçük olduğu görülmektedir. Tanımlanan fonksiyona üyelik fonksiyonu ve küme de bulanık kümedir.

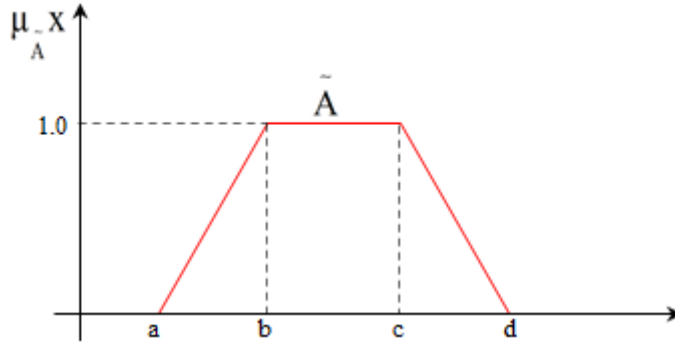
Yamuk üyelik işlevinin tanımı aşağıdaki gibidir:

$$\text{yamuk}(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x - a}{b - a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d - x}{d - c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (3.17)$$

Bunu hesaplamak için daha uygun hale getirilen bir diğer temsil şekli de aşağıdaki gibidir:

$$\text{yamuk}(x, a, b, c, d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right) \quad (3.18)$$

Şekil 2.1’de üyelik fonksiyonu $\tilde{A}$ bulanık sayısı, bir yamuk bulanık sayıdır. Burada sayılar $a \leq b \leq c \leq d$ olarak ve a en küçük olası değeri, b olası değeri, c daha olası değeri ve d de en büyük olası değeri ifade etmektedir. Yamuk bulanık sayılar (a, b, c, d) olarak gösterilmektedir. $b = c$ oldukları durumda yamuk üyelik işlevi üçgen üyelik işlevine haline döner ve üçgen üyelik durumu, yamuk üyelik durumunun özel bir durumudur. Yaygın olarak kullanılan yamuk bulanık sayılarda atimetik işlemler aşağıdakidir, (Atlı, 2012; Ross, 2010; Lee, 2005; Ibrahim, 2005).



Şekil 3.2: Yamuk üyelik işlevi.

Bulanık çıkarım kümesinden yola çıkarak kesin deterministik bir sayı elde etme işlemine durulaştırma denir. Çıkarım durumunda, bulanık küme çıkışları üzerinde gerekli olan değişiklikler yapılarak bunlar gerçek (crisp) sayılara dönüştürülmektedir. Durulaştırıcı, bulanık işlemcilerin son elemanı olarak sürece girmektedir. Bulanık kural işleme ünitesinde elde edilen kural sonuçları, durulaştırıcıda değerlendirilip, kesin bir sonuca dönüştürülmektedir, (Atlı, 2012; Ross, 2010; Lee, 2005; Ibrahim, 2005).

Durulaştırma işlemleri arasında yaygın olarak kullanılan yöntemlerin biri de Ağırlık Merkezi (*Centroid*) yöntemidir. Bu yöntemde bulanık çıktı kümesi $\tilde{A}$ ’nin ağırlık merkezinin

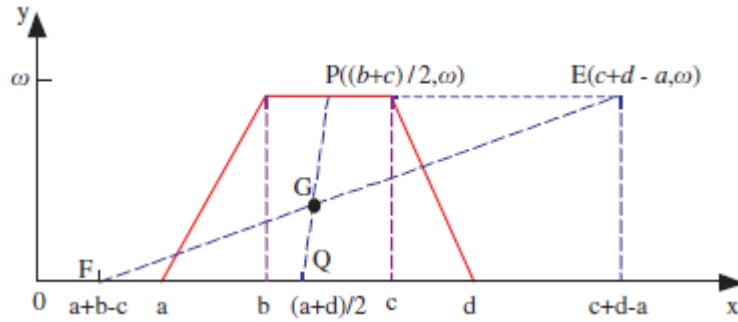
izdüşümünde bulunan $\tilde{X}_0(\tilde{A})$ değeri, kuralın kesin (crisp) değeri çıktı olarak kabul edilmektedir. Ross (2010) matematiksel olarak ifadesini formül (3.19) gibi yapmıştır.

$$\tilde{X}_0(\tilde{A}) = \frac{\int x \mu_{\tilde{A}}(x) dx}{\int \mu_{\tilde{A}}(x) dx} \quad (3.19)$$

$\tilde{A}$ normal bulanık süreleridir ve $\mu_{\tilde{A}}$ üyelik fonksiyonları (3.20)'de belirlenmiştir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} f_{\tilde{A}}^L(x), & a \leq x \leq b, \\ 1, & b \leq x \leq c, \\ f_{\tilde{A}}^R(x), & c \leq x \leq d, \\ 0, & \text{yoksa,} \end{cases} \quad (3.20)$$

Şekil 3.3'de bulanık yamuk bir sayının Bir trapezoid olan $\tilde{A}$ 'nın geometrik grafiğini ve trapezoidin merkezini belirlemek için uzantısını gösterilmektedir.



Şekil 3.3: Bulanık yamuk centroid hesaplanması, (Wang ve diğ., 2006).

$f_{\tilde{A}}^L : [a, b] \rightarrow [0, 1]$ ve $f_{\tilde{A}}^R : [c, d] \rightarrow [0, 1]$ düz çizgiden R , kapalı aralık $[0, 1]$ 'na olan iki sürekli eşleşmedir. Birincisi, sol üyelik fonksiyonu olarak adlandırılan ve gittikçe artan bir işlevdir ve ikincisi, sağ üyelik fonksiyonu olarak adlandırılan monoton olarak azalan bir işlevdir. Eğer $b \neq c$ olduğunda, $\tilde{A}$ bulanık aralığı referans ya da düz bulanık sayılar edilir. Eğer $f_{\tilde{A}}^L$ ve $f_{\tilde{A}}^R$ her ikisi de lineer ise, $\tilde{A}$ yamuk bulanık sayılar olarak adlandırılır ve $\tilde{A} = (a, b, c, d)$ olarak

gösterilir. $b = c$ olduğu durumlarda yamuk bulanık sayılar, üçgen bulanık sayılara indirgenir ve $\tilde{A} = (a, b, d)$ olarak gösterilir. Üçgen bulanık sayılar ise yamuk bulanık sayıların özel bir durumudur.

Formül (3.21)'de centroid bulanıklaştırma yöntemi, yatay eksenindeki bulanıklaştırılmış sayıların $\tilde{A}$ 'ın centroid koordinatlarının tanımı olarak tanımlanır, (Uehara ve Hirota, 1998; Wang ve Luoh, 2000).

$$\tilde{X}_0(\tilde{A}) = \frac{\int_a^d x \mu_{\tilde{A}}(x) dx}{\int_a^d \mu_{\tilde{A}}(x) dx} = \frac{\int_a^b (x f_{\tilde{A}}^L) dx + \int_b^c (x) dx + \int_c^d (x f_{\tilde{A}}^R) dx}{\int_a^b (f_{\tilde{A}}^L) dx + \int_b^c dx + \int_c^d (f_{\tilde{A}}^R) dx} \quad (3.21)$$

Wang (2009) yönteminde, Formül (3.22)'de yamuk bulanık sayıları $\tilde{A} = (a, b, c, d)$ için:

$$\tilde{X}_0(\tilde{A}) = \frac{1}{3} \left[a + b + c + d - \frac{dc - ab}{(d + c) - (a + b)} \right] \quad (3.22)$$

Tersanede gemi üretim uygulamada, projelerdeki yamuk bulanık sayıların deterministik sayılara dönüştürülmesi için Wang (2009) yöntemi kullanılacaktır. EK 5'de gemi üretimindeki proje faaliyet sürelerinin centroid yöntemi ile her bir faaliyete uygulanarak durulaştırma sağlanmıştır.

$\tilde{A} = (a, b, c, d)$ için $b = c$ durumu olduğunda yukarıdaki (3.22) formül aşağıdaki duruma dönüşür, formül (3.23).

$$\tilde{X}_0(\tilde{A}) = \left(\frac{a + b + d}{3} \right) \quad (3.23)$$

Bu durumda centroid üçgen bulanık sayıları $\tilde{A} = (a, b, d)$ şekline dönüşür.

3.3. GENETİK ALGORİTMALAR

Sezgisel yöntem kategorisinde, evrimsel hesaplama tekniği altında olan genetik algoritma yöntemi Holland (1975) tarafından Evrim Teorisi'nden esinlenilerek geliştirilen, Goldberg (1989) tarafında daha detaylı olarak geliştirmiş ve doğal seçim ilkelerine dayanarak oluşturulmuş arama ve optimizasyon yöntemi olarak literatüre kazandırılmıştır. Temel dayanağı Evrim Teorisi ve Genetik konularını içermektedir. Kalıtımla gelen bilginin sonraki nesillere aktarılmasının içeren, çaprazlama, mutasyon ve seçim süreçlerinin algoritma olarak modellenmesi ile Genetik Algoritmalar yöntemleri meydana gelmiştir. Genetik Algoritmaların pek çok alanda uygulama imkânı sunmakta ve birçok problemin çözümünde daha kesin, kolay ve hızlı çözümler ürettiğinden geniş uygulama imkânı sunmaktadır. Bunlardan biri de uygulama alanı olarak imkân bulan Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemleridir.

3.3.1. Genetik Algoritmaların Özellikleri

Genetik Algoritmalar, asgari olarak şu elementler oluşmaktadır: Kromozom popülasyonları, uygunluğa göre seçim, yeni nesillerin üretimi için çaprazlama, yeni nesillerin mutasyonu için rasgele mutasyonlardır. Genetik Algoritmada mevcut popülasyonlardaki her bir kromozoma bir skor atanan uygunluk fonksiyonu talebi sıkça vardır. Kromozomun uygunluğu eldeki çözüm kromozomlarının nasıl daha iyi olmasına bağlıdır, (Mitchell, 1999). Tipik bir algoritmada 3 genetik operatör kullanılmaktadır; seçim (selection), çaprazlama (crossover) ve mutasyon (mutation), (Coley, 1999).

Goldberg (1989) genetik algoritmaların normal optimizasyonlardan farklı 4 yönü vardır:

- Genetik Algoritmalar, olasılık işlem kurallarını uygularlar, deterministik değildir.
- Genetik Algoritmalar, amaç fonksiyonu bilgisini kullanırlar diğer yardımcı bilgiler ve türevler değildir.
- Genetik Algoritmalar noktaların kümesinden çözüm aramaya başlarlar, bir noktadan değildir.
- Genetik Algoritmalar kurulan parametre kodlarıyla çalışırlar, parametrelerin kendileriyle çalışmazlar.

Harpout ve Harpout (2004) Genetik Algoritmaların kullanım alanlarında karmaşık problemleri amaçlamakta ve meta sezgisel kategorisinde yer almaktadırlar. Olasılıksal arama ve unsuları birleştirilerek yönlendirilmiş rastgele algoritmalarından farklı değildirler. Genetik Algoritmaların

çözüme ulaşması mevcut direkt arama yöntemlerden daha hızlıdır. Genetik arama tabanlı yöntemlerin potansiyel bir çözüm popülasyonlarıyla beraber yöntemi sürdürürler fakat diğer metotlardaki yöntem araştırma kümesinde tek bir noktadan sürdürmektedir. Bir genetik algoritma belirli bir problem için aşağıdaki 5 unsura sahip olmalıdır;

- Probleme potansiyel çözümü için genetik olarak gösterilmesi,
- Potansiyel çözümlerin popülasyonu oluşturma yolunun bulunması,
- Uygunluk çözümünü sıralayacak bir çevre rolünün oynayacağı bir fonksiyon,
- Nesillerin oluşmasını sağlayacak, genetik operatörler,
- Genetik algoritmanın kullanacağı çeşitli parametre değerleri (popülasyon büyüklüğü, genetik operatörlerin uygulanan olasılık değeri)

Genetik algoritmalar, doğal seleksiyon genetiğinin temellerinde bir optimizasyon ve arama tekniğidir. Bir Genetik Algoritmanın uygunluk fonksiyonun maksimize/minimize durumuna özel kurallar seçiminin altına pek çok özel oluşturulmuş popülasyonların evrimine müsaade etmektedir. Genetik Algoritmaların bazı avantajlarını Goldberg (1989) şöyle ifade eder;

- Optimizasyon sürekli veya ayrık değişkenlidir.
- Türev bilgisine ihtiyaç duymaz,
- Eş zamanlı olarak geniş bir örneklerle çözümü araştırır,
- Büyük değişken sayılarla ilgilidir,
- Paralel hesaplama için çok uygundur,
- Lokal minimumdan globale atlayabilen kompleks bir çözüm optimizasyon değişkenleridir,
- Tek bir çözüm sunmaz ve optimum değişkenli çözümler listesi sunar,
- Kodlanmış değişkenlerle optimizasyonun yapılması için değişkenler kodlanır,
- Rakamsal oluşturulmuş veri, denenmiş veri veya analitik fonksiyonlar ile çalışır,

Genetik Algoritmaların pek çok avantajının olması, her problemi çözmek için en iyi yöntem anlamına gelmemektedir. Örneğin geleneksel yöntem ile sadece bir kaç değişken analitik konveks fonksiyonun iyi bir çözüm sunması çözümü hızlıca bulabilir. Bu gibi durumlar için Genetik Algoritma tabanlı yöntemlerin üstesinden gelebilmekte iken Genetik Algoritma yöntemi daha popülasyonun miktarını hesaplamaktadır. Bu gibi durumlarda, geçmiş tecrübeler ve problemine göre bir çözüm metodu kullanmak daha doğru olacaktır ve diğer yöntemler

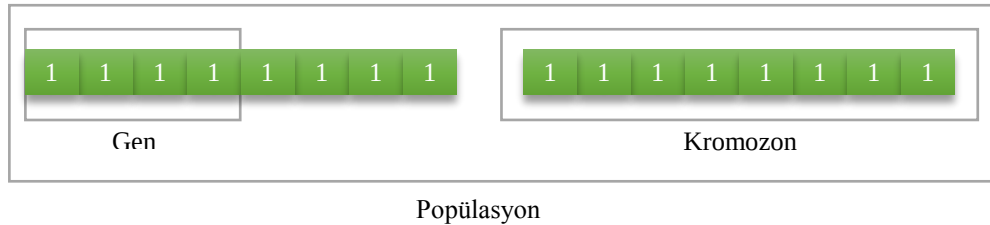
Genetik Algoritmadan daha hızlı çözümler sunabilecektir. Büyük popülasyon içeren işlemlerde Genetik Algoritmanın gücü ortaya çıkacaktır, (Goldberg, (1989).

3.3.2. Genetik Algoritmada Kavramlar

Gen: Genetik algoritmada gen kavramı, çözümde bir bölümü temsil etmektedir. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemlindeki karşılığı ise gen, projedeki bir faaliyete karşılık gelmekte ve temsil edilmektedir, (Coley, 1999; Mitchell, 1999; Harpout ve Harpout, 2004).

Kromozom: Genetik Algoritmadaki karşılığı çözümün temsil edilmesi olarak tanımlanır. Bir kromozomun bir çözüme kodlanmış durumudur. Algoritmanın türüne ve problemin çeşidine göre kromozomdaki kodlama, ikili, onluk tabanda ve harf olarak ya da sayı olarak düzenlenebilirler. Genetik Algoritma ile Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemin için Kromozomların her biri birer çizelgelemeye karşılık geldiği için çizelge oluşturma yapıları ile meydana getirirler ve kromozomları çizelgenin temsili için rastgele anahtar, faaliyet listesi vb. yöntemlerle yapılırlar (Coley, 1999; Mitchell, 1999; Satıç, 2014).

Popülasyon: Genetik Algoritmada popülasyon, bir defada aranan çözüm adedini ifade etmektedir. Bir defada elde edilen çözüm adedi arttıkça elde edilen çözümlerin geneldeki en uygun sonucun bulunma imkânının artmasını sağlamaktadır. Popülasyon ve nesillerin sayısı çözüm kümesinde yapılan arama adedini ifade etmektedir. Büyük popülasyonu ve nesil sayıları en optimal çözümü bulma imkanını arttırmasına karşılık çözüm süresinin uzamasında bağlı olarak popülasyon değerinin ayarlanmasının yapılması önerilmektedir. Popülasyon değerlerinin küçük miktarlarda olması yereldeki optimumlara takılmaya neden olabilmektedir (Şekil 3.4), (Coley, 1999; Mitchell, 1999; Satıç, 2014).



Şekil 3.4: Gen, Kromozom ve Popülasyon ilişkisi.

Nesil: Genetik algoritmada nesil kavramı, nesillerin çözüm üretmesi anlamına gelmektedir. Nesil sayısı arttıkça çözümler için uygulanan iyileştirme süreci de artmasını sağlamaktadır, (Coley, 1999; Mitchell, 1999; Satıç, 2014).

Uygunluk Fonksiyonu: Genetik Algoritmada amaçlanan çözümün tanınması için bulunmuş çözümlerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı uygunluk fonksiyonu popülasyondaki bireylerin değerlendirilmesinde kullanılır. Bu sürecin sonunda bireylere uygunluk puanı verilir. Problemin türüne göre de uygunluk fonksiyonu değişiklik gösterir. Birden fazla amaç söz konusu olduğunda uygunluk fonksiyonu bu amaçların birleşimi sonucudur. Uygunluk fonksiyonun seçiminde probleme uygun olarak doğrusal ve üstel ölçeklendirme gibi en uygun uygunluk fonksiyonunun seçimi yapılır, (Coley, 1999; Mitchell, 1999; Satıç, 2014).

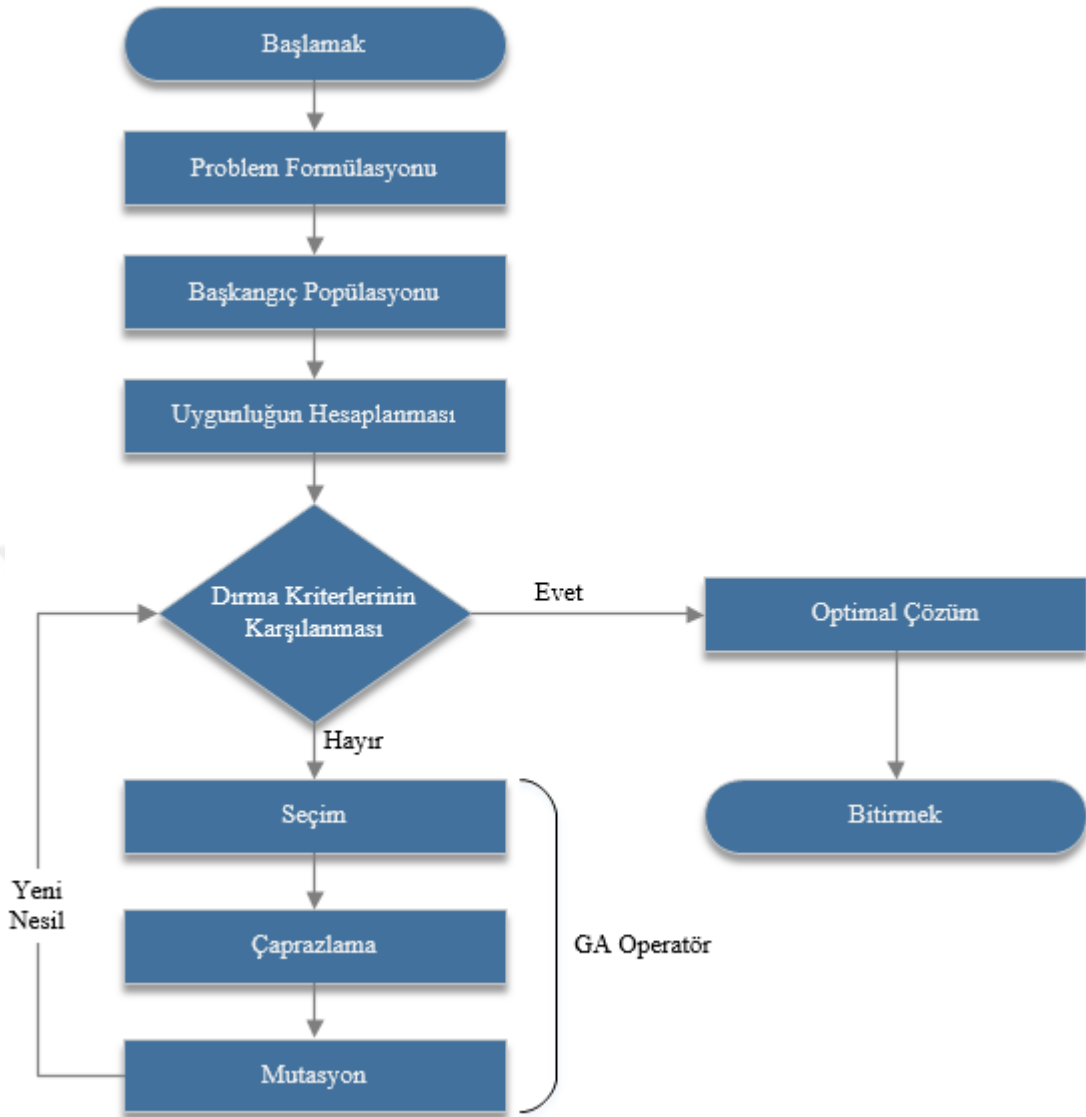
Seçim: Yeni nesile seçim için kromozomların seçilmesidir. Yeni nesile seçim işleminde uygunluk fonksiyonlarına göre seçimler yapılmakta ve genetik algoritmanın daha iyi çözümlerin sunmasını sağlamaktadır, (Coley, 1999; Mitchell, 1999; Satıç, 2014).

Çaprazlama: Genetik algoritmalarda çaprazlama, bir kromozomun veya bir kuşaktan diğerine kromozomların programlamasını değiştirmek ve yeni nitelikli bireylerin oluşturulması için kullanılan genetik bir operatördür, (Coley, 1999; Mitchell, 1999; Satıç, 2014).

Mutasyon: Genetik Algoritmada mutasyon, mevcut bilginin bir miktar değişikliğe uğramasıyla yeni bir çözüm oluşturmaktır. Mutasyon operatörü çaprazlama operatöründen sonra yeni nesil kromozomlara uygulanabileceği gibi çaprazlama operatöründen bağımsız olarak da uygulanabilmektedir. Genetik Algoritmada, problemin niteliğine uygun olarak aşağıda belirtilen mutasyon operatörlerden uygun olan seçilir, (Coley, 1999; Mitchell, 1999; Satıç, 2014). Bunlar; tersine çevirme, yer değiştirme, ekleme ve karşılıklı değişimdir.

3.3.3. Genetik Algoritmaların Çalışma İlkeleri

Şekil 3.5’de genetik algoritmanın akış şeması gösterilmiştir, (Coley, 1999; Mitchell, 1999; Harpout ve Harpout, 2004).



Şekil 3.5: Genetik Algoritma şeması.

Genel olarak standart bir Genetik Algoritmanın çalışma ilkeleri aşağıdaki gibi ifade özetlenebilir:

- Olası çözümlerin kodlamasının yapıldığı bir çözüm popülasyonu meydana getirilir. Popülasyonun büyüklüğünün seçiminde işlemlerin karmaşıklık ve derinliği önemlidir. Popülasyon bu işlemten sonra rastgele oluşturularak birey sayısı belirlendikten sonra problemin yapısına bağlı olarak kromozomların kodlanır.
- Popülasyondaki her kromozomun ne kadar iyi olduğu belirleyen uygunluk fonksiyonu ile kromozomların ne kadar iyi olduğu bulunur. Bu uygunluk fonksiyonu işletilerek kromozomların uygunluklarının bulunmasına ise evrimleşme denir. Genetik

Algoritmanın odağını ulaştıran ve probleme özel çalışan tek kısım bu uygunluk fonksiyonudur. Genellikle Genetik Algoritmanın başarılı olabilmesinin amacı bu fonksiyona bağlıdır.

- Seçilen kromozomlar eşlenerek çaprazlama ve mutasyon operatörleri uygulanarak, yeni bir popülasyon oluşturulur. Yapılan eşleşme ise kromozomların uygunluk değerlerine göre seçme yöntemlerinden biri kullanılarak belirlenir. Çaprazlama popülasyondaki çeşitliliği arttırırken, mutasyon ise bir çözüm üzerinde etkisi olmaktadır.
- Geçici yeni kromozomlar oluştuğunda eski kromozomlar kaldırılarak sabit büyüklükte yeni bir popülasyon oluşması sağlanır.
- Tüm yeni kromozomların uygunluk değeri hesaplanarak popülasyonun başarısı bulunur.
- İşlemler tekrarlanır ve verilmiş süre zarfında daha iyi olan yeni nesiller meydana gelir.
- Sonuç olarak, popülasyonların hesaplanmasında en iyi bireylerin bulunduğu çözüm bulunmuş olur, (Coley, 1999; Mitchell, 1999; Harpout ve Harpout, 2004).

3.3.4. Kromozom Kodlama Yöntemleri

Kromozomların kodlanması, Genetik Algoritma ile ilgili bir soruna çözüm getirmeye başladığında ilk sorulan sorudur. Kodlama, soruna ağırlıklı olarak bağlıdır. Sorun çözümü için uygun kodlamayı seçmek önemlidir. Kodlama, çözülen sorunun gerçek (tam sayı) sayıların N boyutlu uzayına dönüşümü gösterir. Çeşitli kodlamalar aşağıda hâlihazırda kullanılmış bazı kodlamalar tanıtılacaktır.

3.3.4.1. İkili Kodlama

İki kodlamalar 0 ve 1 değerini alan ikili sayı sistemi kullanılan en yaygın kodlamalardır. Mevcut Genetik Algoritma teorisinin çoğu, sabit uzunlukta sabit sıralı ikili kodlamalar varsayımına dayanmaktadır. İkili kodlama sistemi diğer sistemlere göre daha iyi sonuçlar vermesine karşın, değişken değeri temsil eden genlerin belirlenirken hane sayı adedinin artmasından dolayı problemlerin yapısına göre zorluk çıkmaktadır. Ayrıca, bu gibi avantajlara rağmen ikili kodlamalar pek çok problem için doğal olmayan ve oldukça keyfi karar verme eğilimindedir, (Şekil 3.6), (Mitchell, 1999).

Kromozom A	0	1	0	1	0	1	0	0	1
Kromozom B	0	0	0	1	1	0	1	1	1

Şekil 3.6: İkili kodlama.

3.3.4.2. On Tabanlı Kodlama

Pek çok uygulamada ikili tabanlı kod kullanılmasına karşın, bazı çözümlerde istenilen sonuçlara ulaşmayı mümkün kılmamaktadır. Değişkenlerin sürekliliğinde ondalık kod sistemi daha iyi sonuçlar vermektedir. On tabanlı kodlama sisteminde, her bir değişkenin on tabanlı sayı sistemin ile temsil edilmesi gerekmektedir. Bu durum iki tabanlı sisteme sayılar dönüşmeyeceğinden ve algoritmanın başlangıcındaki, değişkenlerin uzunluğunun belirlenmesi gibi hesaplamalara da gerek duyulmayacak olması algoritmanın çözüme ulaşma süresi daha kısa olacaktır, (Haupt ve Haupt, 2004).

3.3.4.3. Permütasyon Kodlama

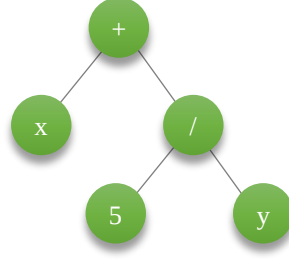
Permütasyon kodlamasında, her kromozom, bir dizideki bir konumu temsil eden bir dizi sayısıdır. Bu kodlama sisteminde, kromozom uzunluğu tasarım değişkenlerindeki sayıya eşittir. Bu kodlama yöntemi, daha çok tasarım değişkenlerinin birden daha fazla alt değişkene sahip olduğu problemler için tercih olmaktadır. Tasarım değişkenlerinin kodları 1 ve tasarım değişkenleri sayısı arasında rastlantısal olarak seçimi yapılan rakamlardan oluşmaktadır, (Şekil 3.7), (Haupt ve Haupt, 2004).

Kromozom A	3	2	5	1	4	6	9	8	7
Kromozom B	8	5	6	7	2	3	1	4	9

Şekil 3.7: Permütasyon kodlama.

3.3.4.4. Ağaç Kodlama

Ağaç kodlaması esas olarak gelişmekte olan programlar veya ifadeler için, yani genetik programlama için kullanılır. Bu durumda kromozom genleri, programlama dili komutlarını, matematiksel işlemleri ve programın diğer bileşenlerini temsil eder (Haupt ve Haupt, 2004). Ağaç kodlamaya örnek'te verilmiştir, (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Ağaç kodlama.

3.3.4.5. Değer Kodlama

İkili kodlama sisteminin kullanımın zor olduğu ve yetersiz kalındığı problemler için tercih edilmektedir. Çünkü ikili kodlama dizinlerine göre çok uzun olduğundan dolayı iyi sonuç çözümleri için zor olmaktadır. Değer kodlamada, her kromozom bazı değerler dizisidir. Değerler, (gerçek) sayı, karakter veya nesneler gibi soruna bağlı herhangi bir şey olabilir. Doğrudan değer kodlaması, gerçek sayılar gibi daha karmaşık değerlerin kullanıldığı durumlarda kullanılabilir. Her bir kromozom çözüm kümesiyle eşit uzunluktaki gerçek sayılardan oluşan bir vektör olarak kodlanmaktadır ve değer kodlama çok fazla karar değişkenine sahip büyük alanların temsili mümkün kılmaktadır, (Haupt ve Haupt, 2004). Değer kodlamaya örnek Şekil 3.9’de verilmiştir.

Kromozom A	1.2324	5.3243	0.4556	2.3293	2.4545
Kromozom B	ABDJE	IFJDH	DIERJ	FDLDF	LFEGT

Şekil 3.9: Değer kodlama.

3.3.5. Seçim Yöntemleri (Selection)

3.3.5.1. Rulet Tekniği Seçimi (Roulette Wheel Selection)

Rulet Tekniği Seçimi metodu Holland (1975) tarafından geliştirilen ilk seçim metodudur. Bu yöntemde seçim işlemi bireylerin uygunluk fonksiyonu ile hesaplanan değerlere göre yapılmaktadır. Uygunluk fonksiyonu değerinin büyük olması seçilimin kesin olacağı anlamına gelmez ve sadece seçilme ihtimali daha yüksek olmaktadır. Bu yöntemde kromozomların değerleri tabloda yazılır ve toplanır. Bu bireylerin seçilme değerleri bulunarak 0 ve 1 aralığında seçilme ihtimalleri hesaplanır, (Haupt ve Haupt, 2004; Erdal, 2006).

3.3.5.2. Sıralama Seçim Yöntemi (Rank Selection)

Sıralama Seçimi, seçim olasılığı mutlak uygunluk yerine göreceli uygunluk ile orantılı olduğu dışında, uygunluk orantılı seçilimine benzer. Rulet Tekniği yönteminde seçim eğer uygunluklar çok fazla değişiyorsa bazı problemlere yol açacaktır. Mesela en iyi kromozom uygunluğu tüm rulet tekerleğinin %90'ı ise diğer kromozomların seçilme şansları çok az olacaktır. Sıralama seçimi önce popülasyonu sıralar ve daha sonra her kromozom uygunluğu bu sıralamadan sonra alır. En kötüsü 1 uygunluğunu alacak, ikinci en kötü 2 ve en iyisi N uygunluk değerini alacak ki N de popülasyondaki kromozom sayısıdır. Bundan sonra her kromozomun seçilme hakkı olacaktır. Fakat bu metot daha yavaş gibidir, çünkü en iyi kromozomlar diğerlerinden fazla değişiklik göstermez (Mitchell, 1999).

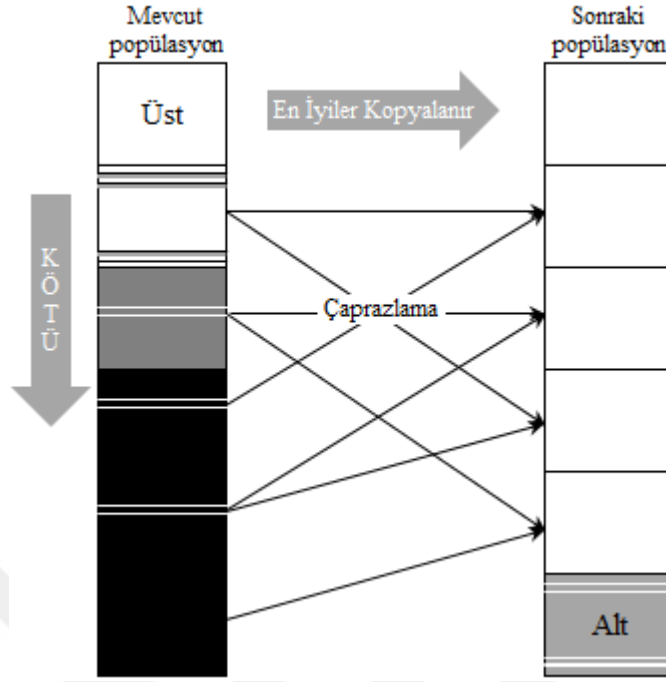
3.3.5.3. Turnuva Seçimi (Tournament Selection)

Turnuva Seçimi, evrimsel algoritmalarda en yaygın kullanılan seçim stratejileri arasındadır. Çok çeşitli sorunlar için iyi çalışmakta ve verimli bir şekilde uygulanabilmektedir. Turnuva seçimi, seçim baskısı açısından rütbe seçimine benzer, ancak hesaplamayla daha verimli ve paralel uygulanmaya daha uygundur. İki birey, popülasyondan rastgele seçilir. Daha sonra r rastgele bir sayı r 0 ve 1 arasında seçilir. $R < k$ ise (k bir parametre), iki kişinin katılımcısı bir ebeveyn olarak seçilir; aksi halde daha az uyum sağlayan kişi seçilir. İkisi daha sonra orijinal popülasyona geri gönderilir ve tekrar seçilebilir, (Mitchell, 1999).

3.3.5.4. Elitizm

Elitizm, Genetik Algoritmayı her kuşakta en iyi kişilerin bir kısmını elinde bulundurmaya zorlayan pek çok seçim yöntemine eklemidir. Bu bireyler, çoğaltılmak üzere seçilmezlerse veya çaprazlama veya mutasyonla yok edilirlerse kaybedilebilirler.

Elit üyelerin yayılmasının sağlanması elitizm olarak adlandırılır ve elit üyelerin seçilmesini gerektirmez, bunun bir kopyası çaprazlama veya mutasyonla bozulmaz. Elitizm ilk önce en iyi kromozomu (veya en iyi birkaç kromozomu) yeni popülasyona kopyalar. Gerisi klasik bir şekilde yapılır. Uygunluk orantılı seçimi, en uygun olan kişi de dahil olmak üzere herhangi bir kişinin seçimini garanti etmez. En güçlü birey, diğerlerinden çok daha fazla uyarlanmadığı sürece, bazen seçilmeyecektir. Seçilmemek ölmektir. Birçok uygulama için nesiller arasında en iyi veya en seçkin üyeyi kaybetmemek suretiyle arama hızı büyük ölçüde iyileştirilebilir. Elitizm, Genetik Algoritmanın performansını çok hızlı bir şekilde artırabilir, çünkü en iyi bulunan çözümün kaybedilmesini önler (Coley, 1999; Mitchell, 1999). Şekil 3.10'de genetik algoritma operatörü elitist seçimine örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Elitist seçim.

3.3.5.5. Sabit Durum Seçimi

Bu seçimin esas fikri, kromozomların büyük bir bölümünün gelecek nesillere sağ kalmasıdır. Literatürde tanımlanan çoğu Genetik Algoritma, yeni kuşağın tümüyle bir önceki kuşaktaki ebeveynlerin oluşturduğu soylardan her nesilde nesiller olmuştur. Elitist planlar gibi bazı programlarda, ardışık kuşaklar, bir önceki neslin bir kısmı yeni nüfusta tutarlılık derecesinde örtüşür. Her kuşakta yeni bireylerin kesimine "nesiller arası boşluk" denir. Kararlı durum seçiminde, her kuşakta yalnızca birkaç kişi değiştirilir. Genellikle az sayıda olan bireylerin sayısı az olan bireylerin yerine, en uygun bireylerin çaprazlanması ve mutasyonundan kaynaklanan yeni bireyler alır, (Mitchell, 1999).

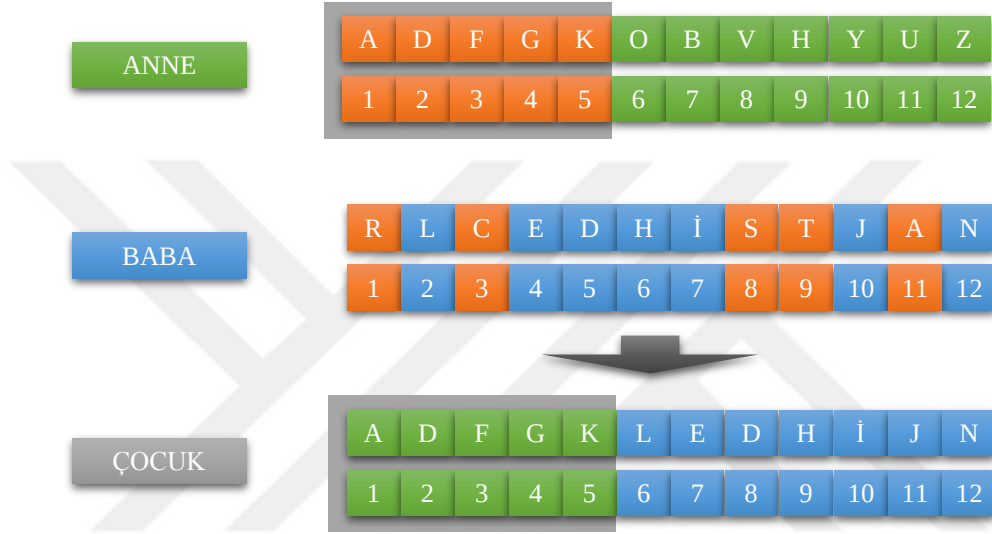
3.3.6. Genetik Algoritma Parametreleri

Genetik Algoritma operatörlerinin; çaprazlama, mutasyon ve seçimidir

3.3.6.1. Çaprazlama

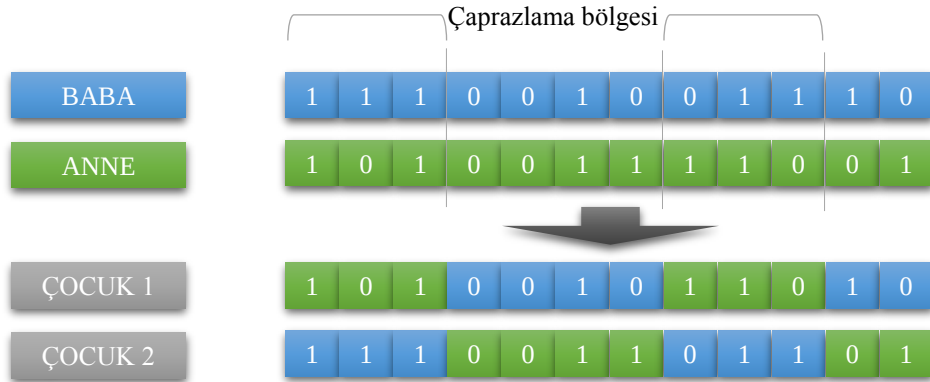
Genetik algoritmalarda çaprazlama, bir kromozomun veya bir kuşaktan diğerine kromozomların programlamasını değiştirmek ve yeni nitelikli bireylerin oluşturulması için kullanılan genetik bir operatördür. Birden fazla ebeveyn ile bunlardan yeni nesiller üreten bir süreçtir. Algoritmada tek noktalı sıralı çaprazlama yöntemi kullanılmıştır (Davis, 1985). Çaprazlama için seçilen ebeveynler rastgele seçilerek yerel optimuma takılması önlenmiştir.

Çaprazlamadan oluşan yeni nesiller belli bir olasılıkla mutasyon operatörüne girmektedir ve mutasyon operatörüne girmeyen yeni bireyler direkt olarak yeni nesillere aktarılmaktadır. Çaprazlamada bir ebeveyn projedeki çizelgenin bir bölümü seçilmektedir ve yavru çizelgeye aktartılmaktadır. Eksik kalmış faaliyetler, diğer ebeveyndeki çizelge sırası ile yavru çizelgeye ilave edilir ve bu yeni çizelge, faaliyet öncelik sırası korunarak oluşturulmuş olur, (Şekil 3.11), (Coley, 1999; Mitchell, Harpout ve Harpout, 2004; 1999; Satıcı, 2014).



Şekil 3.11: Sıralı çaprazlama.

Şekil 3.12'de genetik algoritmanın çaprazlama operatörü için çok noktalı bir çaprazlama örneği verilmiştir.



Şekil 3.12: Çok noktalı çaprazlama.

3.3.6.2. Mutasyon

Genetik Algoritmaların belli bir miktarda popülasyonlar ile çalışıldığından dolayı bir süre sonra popülasyondaki genetik bilgilerin kaybolma ihtimali söz konusudur. Kromozomu oluşturan genler aynı olabilmektedir. Bu durumda kromozomu çaprazlama operatörü ile değiştirmeyi olanaksız kılmaktadır. popülasyonu oluşturan kromozomlardaki genlere dışarıdan müdahale edilerek rast gele gen değişikliği yapılmaktadır.



Şekil 3.13: Mutasyon operasyonu.

Genetik Algoritmadaki kullanılan mutasyon operatörü, tek noktalı mutasyon operatörüdür. Mutasyon operatörü, belirlenmiş olasılık dahilinde çaprazlama sonucu olan yavruyu seçmektedir. Mutasyona uğrayacak olan faaliyetin seçilmesi, faaliyetin başlangıç zamanı ile faaliyete bağlı olan en geç tamamlanacak olan faaliyet zamanı arasındaki rastgele olarak atanan faaliyet ilişkisi bozulmadan mutasyon işlemi yapıp oluşan yeni birey de yeni popülasyona katılmış olur, (Şekil 3.13), (Harpout ve Harpout, 2004; Satıç, 2014).

Uygulamada farklı mutasyon oranlarıyla algoritma çalışılmıştır. Mutasyon oranının 10 – 100 arasında değişik değerlerde kullanılarak çözüm kümeleri değerlendirilmiş ve en iyi çözüm içinler için tablolar oluşturulmuştur.

3.3.6.3. Seçim

Bölüm 3.3.5. Seçim Yöntemleri (Selection) konusu adı altında değinilmiştir.

3.3.7. Uygulamada Genetik Algoritma Varsayımları

Uygulaması yapılmış olan problemin çözümünde Satıç (2014) tarafından geliştirilen Genetik Algoritma yazılımı kullanılarak GA KKPÇP çözümü uygulanmıştır. Bu yazılımda:

Seri Çizelgeleme kullanılmıştır. Kromozomların oluşturulmasında faaliyet liste tasarımı yöntemi kullanılmıştır. Çaprazlama için sıralı çaprazlama ve kaydırma yöntemi kullanılmıştır. Mutasyon için mutasyon kaydırma yöntemi kullanılmıştır. Seçilim için yeni nesile aktarılan olan kromozomlar elist seçim yöntemi kullanılmıştır. Elitist seçimle aktarılanların dışında kalan kromozomlar sadece çaprazlama operatörü kullanılmıştır, Mutasyon operatörünün belli bir mutasyon şansı ile çaprazlama sonucu oluşan yeni bireylere uygulanmıştır. Uygunluk fonksiyonu projenin bitiş zamanının alınması dikkate alınmıştır.

3.3.7.1. Başlangıç Popülasyonu Oluşturulması

Projenin faaliyetleri başlangıç zamanları kaynak kapasitesi kısıtları dikkate alınmaksızın sadece faaliyetlerin öncelik kısıtları dikkate alınarak, rastsal olarak belli bir periyot içinde atanmaktadır. Kullanılan çizelgeleme periyodu, tüm faaliyetlerinin tamamlanma süresi olan projenin en uzun tamamlanma süresi olmaktadır. Projeni oluşturan faaliyet kısıtları dikkate alınarak, rastsal olarak verilen başlangıç zamanları büyükten küçüğe doğru sıralanarak faaliyet sırası oluşturulur. Böylece ilk nesil oluşturulmuş olur ve faaliyet sırası kromozom olarak saklanır. Proje çizelgesi faaliyet listesi kullanılarak gösterilir. Genetik Algoritmada bir kromozomun karşılığı faaliyet sırasını temsil etmektedir. Faaliyetler çizelgelemesi gerçekleştirilirken Seri Çizelgeleme (Kolisch ve Hartmann, 1999) kullanılmıştır. Yazılımda seçilen popülasyon büyüklüğü kadar genetik Algoritmada popülasyon oluşturulmaktadır.

3.3.7.2. Kromozom Yapısının Oluşturulması

Kromozomların oluşturulmasında faaliyet liste tasarımı yöntemi kullanılmıştır. Başlangıç popülasyonundaki bir bireyin faaliyetlerinin başlangıç sırası kromozomun yapısında bulunana genler olarak temsil edilmektedir. Faaliyetlerin başlangıç ve bitiş zamanlarının faaliyet sırasının kaynak kapasitelerine göre tahsisi yapılarak bulunmaktadır.

3.3.7.3. İlk Popülasyonun Oluşturulması

Genetik algoritma yapısında ilk olarak başlangıç toplumunun oluşturulması ile başlamaktadır. Başlangıç toplumu faaliyet önceliği kuralı gereğince rastsal olarak oluşturulmuştur. Projedeki faaliyetlerin sıralanması amacıyla seri çizelgeleme yapısı kullanılmıştır ve seri çizelgeler, yeterince arama yapıldığı zaman optimum çözüm bulunacağını varsayan aktif çizelgeler üretmektedir. Optimum çözümü ulaşmak için Seri Çizelgeleme (Kolisch ve Hartmann, 1999) yöntemi (Bölüm 3.2.7.1. Seri Çizelgeleme (Seri SGS)) kullanılmıştır.

$$D_g = \left\{ \begin{array}{l} x_j, \text{ kümeden rastsal olarak seçilen bir faaliyet çizelgeye} \\ \text{eklenir ve küme güncellenir.} \\ \emptyset, \text{ kümede eleman kalmayınca çizelgeleme sonlanır.} \end{array} \right\} \quad (3.24)$$

3.3.7.4. Uygunluk Fonksiyonu

Kullanılan uygunluk fonksiyonu değeri, oluşturulan kromozomların değerlendirilmesinde genetik algorithmada kullanılabilmesi için derecelendirilmesinde kullanılmaktadır. Kullanılan uygunluk fonksiyonun çeşidine göre minimizasyon ya da maksimizasyon olabilmektedir. Bireylerin uygunluk değeri, proje sürelerine göre hesaplanmıştır. Algorithmada kullanılan uygunluk fonksiyonu süre uygunluğudur.

$$F_{\text{süre}} = \frac{t - t_{\min}}{t_{\min}} \quad (3.25)$$

$F_{\text{süre}}$: Faaliyetin süre uygunluğu

$t_{\min}$: projenin kaynak kapasitesi dikkate alınmaksızın kritik yoldaki bitirme süresi

t : n. Kromozomun proje tamamlanma süresi.

Genetik algorithmada kullanılan uygunluk fonksiyonu zamana bağlıdır. Bu çalışmadaki amaç, proje süresinin tersanenin tüm kaynak kısıtlarında en aza indirmektedir.

3.3.7.5. Çaprazlama Operasyonu

Genetik Algorithmada tek noktalı sıralı çaprazlama yöntemi kullanılmıştır (Davis, 1985). Bölüm

3.3.6.1. Çaprazlama konusu altında işlenmiştir.

3.3.7.6. Mutasyon Operasyonu

Genetik Algorithmadaki kullanılan mutasyon operatörü, tek noktalı mutasyon operatörüdür.

3.3.6.2. Çaprazlama konusu altında işlenmiştir. Uygulamada farklı mutasyon parametreleri %0-%100 arasındaki değerler denenmiştir sadece belli bir mutasyon parametresine bağlı olarak çözülmemiştir.

3.3.7.7. Seçim Operasyonu

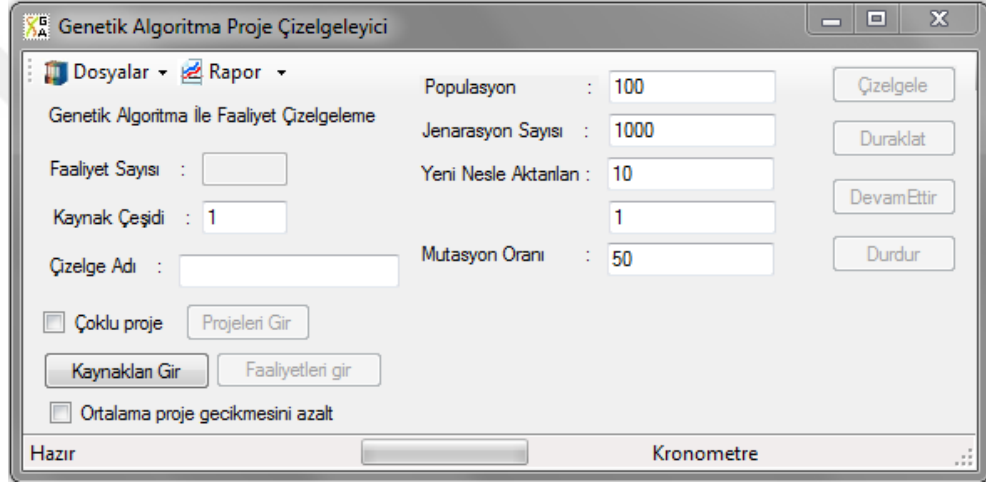
Uygulamada, Genetik Algorithmada Elistist seçim operasyonu uygulanmıştır. En iyi birey (ya da bir grup) seçmek ve gelecek nesile aktarmak için bu topluluktaki en iyi bireyler seçilerek yeni nesil bireylerin oluşmasında kullanılır.

3.3.7.8. Algoritmanın Sonlandırılması

İlk oluşturulan popülasyon ile çaprazlama, mutasyon ve seçim ile oluşan yeni nesilde yine aynı genetik operatörlerin uygulanması ile genetik algoritma belirtilen jenerasyon satısına ulaştığında algoritma durmaktadır.

3.3.8. Uygulamada Kullanılacak Yazılım

Tersanelerde Genetik Algoritma ile proje Çizelgeleme uygulaması, Uğur Satıç (Satıç, 2014) tarafından geliştirilen *Genetik Algoritma Proje Çizelgeleyici* adlı programı kullanılarak çözüme ulaşılmıştır, (Şekil 3.14).



Şekil 3.14: Program arayüz.

Proje verilerin sisteme yüklenmesi için PSPLib (<http://www.om-db.wi.tum.de/psplib/>) kütüphanesinden dosya formatı olan “.sm” uzantılı dosyalar şeklindedir. Örnek uygulamada “.sm” uzantılı dosyaya veriler girilerek düzenlenmiştir. Toplam 326 faaliyet için bu işlem yapılmıştır. Her türlü kapasiteye göre düzenlenmiştir. Bununla beraber bu verilerin tersanenin farklı kapasitesine değerlerine göre düzenlenmiştir.

Şekil 3.15’de gösterilen “.sm” dosyasında bulunan 326 faaliyetten ilk 3 ve son 3 tanesi gösterilmiş olup 4-323 arasındaki faaliyetler fazla sayıda olmasından dolayı gösterilmemiştir. (a) proje adetleri, proje faaliyet adedi, kaynak bilgileri bulunmaktadır, (b) projenin faaliyet adedi belirtilir, (c) projenin her bir faaliyetine ait olan ardılların ilgili ardıl değerleri ve projenin her bir faaliyetteki ardıl adetleri bulunmaktadır. Proje 326 faaliyetten oluşmaktadır, (d) projenin

her bir faaliyetine ait olan proje faaliyet süreleri ve projenin her bir faaliyetin kaynak gereksinim değerleri bulunmaktadır. Proje 326 faaliyetten oluşmaktadır, (e) projeye ait kaynak kısıt değerleri ve her bir kaynağın değerleri dikkate alınmıştır. Projede farklı 5 kaynak kısıtı vardır.

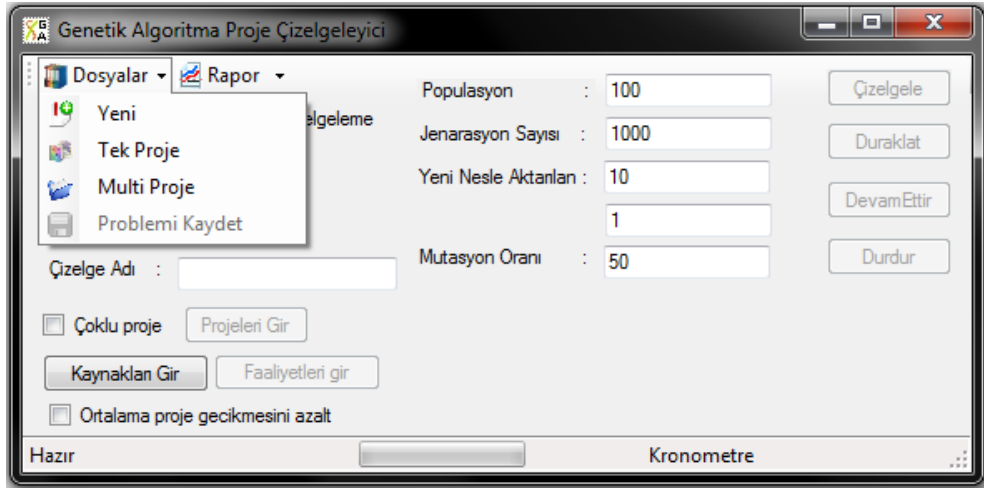
```

*****
file with basedata      :
initial value random generator:
*****
projects                : 1
jobs (incl. supersource/sink ): 326
horizon                 :
RESOURCES
- renewable             : 5   R
- nonrenewable          : 0   N
- doubly constrained    : 0   D
*****
PROJECT INFORMATION:
prnpr. #jobs rel.date duedate tardcost MPM-Time
1      326 *      **      **      **
*****
PRECEDENCE RELATIONS:
jobnr. #modes #successors successors
1      1      1      2
2      1      6      3  4  6 14 22 76
3      1      5      4  5 17 27 69
.      .      .      .  .  .  .  .
.      .      .      .  .  .  .  .
324     1      1      326
325     1      1      326
326     1      0
*****
REQUESTS/DURATIONS:
jobnr. mode duration R1 R2 R3 R4 R5
-----
1      1      0      0  0  0  0  0
2      1      4     10  0  0  0  0
3      1      4     10  0  0  0  0
.      .      .      .  .  .  .  .
.      .      .      .  .  .  .  .
324     1      1      0  0  0  0 75
325     1      1      0  0  0  0 75
326     1      0      0  0  0  0  0
*****
RESOURCE AVAILABILITIES:
R1 R2 R3 R4 R5
10 40 40 90 75
*****

```

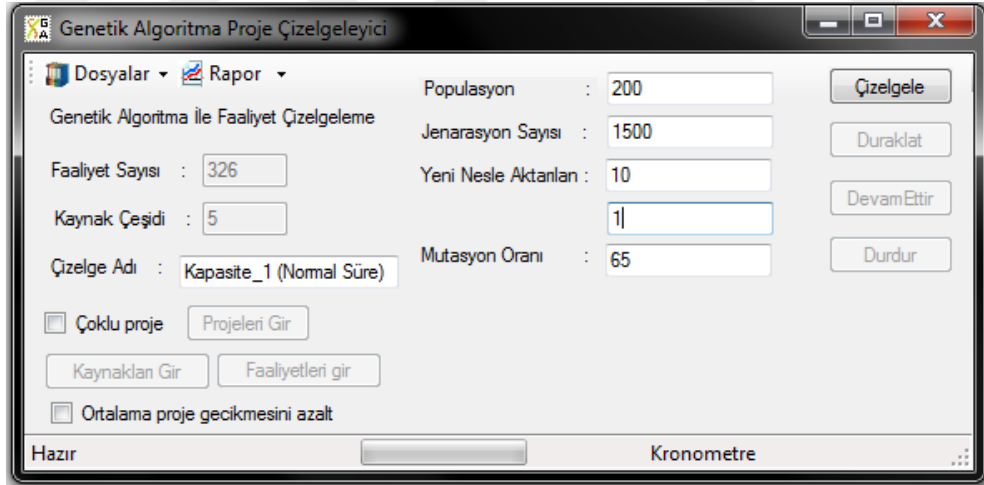
Şekil 3.15: Program veri girişi.

Genetik Algoritma Proje Çizelgeleyici programına *Dosyalar/Tek Proje* seçilerek düzenlenen “.sm” uzantılı uygulama projesi dosyası yüklenir, (Şekil 3.16).



Şekil 3.16: Program veri yükleme.

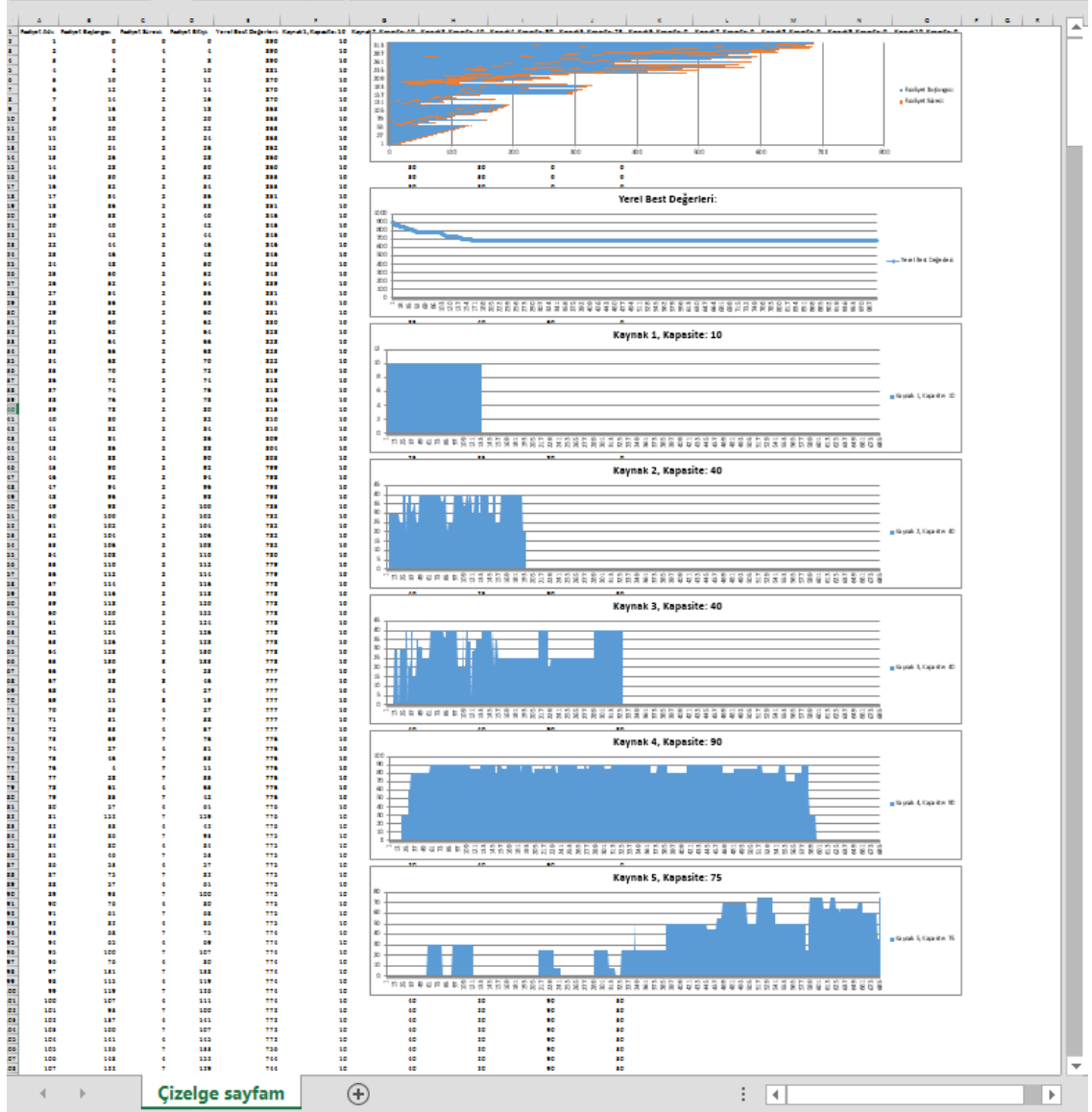
Genetik Algoritma Proje Çizelgeleyici programına yüklenen veriler, popülasyon, jenerasyon, mutasyon oranı ve yeni nesile aktarılan birey oranı parametreleri seçilerek program çalıştırılır, (Şekil 3.17). Bu program, çalışma süresi bu parametrelere ve faaliyet sayısına bağlı olarak değişmektedir. Çözüm için uygulamada her bir tersane kapasite kısıtı için çözüm yapılmıştır.



Şekil 3.17: Program parametre girişi.

Popülasyon; çözümleri oluşturan her biri popülasyondaki bir bireye karşılık gelmektedir. Bu parametre değeri oluşturulacak olan bireyin sayısını ifade ederken, bireyin sayısının artmasına müteakip çözüm süresinin de uzamasına neden olacaktır.

Jenerasyon sayısı: popülasyonu oluşturan bireylerin bir kısmı değişime girmeden, rastsal olarak seçilen bir grup kendi arasındaki bilgi değişimiyle, rastsal olarak seçilmiş başka grupta bilgisinin değişimi sonucu yeni popülasyona katılır ve bu süreç döngü olarak yeni popülasyon bir başka popülasyonu oluşturana kadar devam eder. Jenerasyon sayısı, popülasyon sayısı olup sayının artması optimum çözüm olanağı artarken çözüm süresine de ulaşma süresi artacaktır.



Şekil 3.18: Program çözüm çıktısı.

Yeni nesle aktarılan; popülasyondaki en iyi bireylerin seçimiyle yeni nesile aktarılan bireylerin seçimine elitist seçim olarak, popülasyondaki çözümler aldıkları puana göre en iyiden en kötüye sıralanarak ne kadarlık bir kısmının yeni nesile aktarılması belirlenir.

Mutasyon oranı: genetik algorithmada çaprazlama operatörü ile oluşan bireylerin belirlenen olasılık değerine göre mutasyon operatöründe işlem görür. Mutasyon operatöründe uygulanan operasyon tek noktalı mutasyon yapılmıştır. Mutasyon oranı, bireylerin mutasyona uğrama oranıdır.

zm sonucu Excel dosyasına aktarılarak sonuçlar bulunur. Bu sonuçlarda, faaliyet başlangıcı, faaliyet bitişi, yerel best değerleri, kullanılan kaynaklar, GANTT şeması, grafiği, yerel best değeri grafiği ve kullanılan kaynaklara göre her bir kaynağın grafiklerini kapsamaktadır, (şekil 3.18).

Problemin amacı tanımlanması, tersane uygulamasınındı proje faaliyetleri, bulanık faaliyet süreleri, işgücü kaynakları, faaliyet öncülleri, tersanenin kademeli azaltılmış kapasiteleri olan verilerin sağlanması ile bunun yanında problemin zm metodu ve kullanılacak olan yazılımı tanıtılması ile zm aşamasına geçilebilir.

4. BULGULAR

Bu bölümde çalışmanın metodu olan, Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi kapsamında Genetik Algoritma ve Bulanık Süre ortamında çözümler gerçekleştirilmiştir. Tersanenin farklı kapasiteleri kapsamında, farklı senaryolara göre oluşturan çözüm kümesinde optimal tersane kapasitesinin bulunması için Pareto optimum eğrisi kullanılmıştır. Buna göre bu çözümler; normal genel olarak kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin genetik algoritma ile bulanık süre ortamında çözümü, WS 04 (Ön Panel Üretim) ve WS 05 (Panel Üretim) iş istasyonlarında işgücü yüklemesi %20 varsayılarak yapılan kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin genetik algoritma ile bulanık süre ortamında çözümü, son olarak grup 1, grup 2 ve grup 3 olarak sınıflandırılan projenin kritik faaliyetlerinde yapılan 3 kişi %12 ve 5 kişi %20 iş gücü kaynak yüklemesi yapılarak kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin genetik algoritma ile bulanık süre ortamında çözümü ve bu çözümlerin yerel en iyi değerleri ile kaynak dağılım grafikleri değerlendirilmiştir. Bu çözümden elde edilen çözümlerle 32 farklı çözümden oluşan bir çözüm kümesi oluşturulmuş, bu çözüm kümesinin proje tamamlanma sürelerine göre değerlendirilmiştir. Ayrıca projenin optimum kapasitesini bulmak için proje süresi-tersane kapasitesi bağlamında Pareto optimum eğrisiyle optimal çözümler bulunarak değerlendirilmiştir. Çözümler kaynak kısıtlı proje çizelgelemesi, genetik algoritmalar, bulanık süreler, kaynak yükleyerek projenin hızlandırılması ve PSPLib açısından değerlendirmeler yapılarak bölüm tamamlanmıştır.

4.1. BULANIK NORMAL SÜRELİ GENETİK ALGORİTMA İLE KKPÇP ÇÖZÜMÜ

Uygulamanın bu aşamasında, bulanık süre ortamında genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgelemesi çözümü, Pareto optimum çözüm kümesini oluşturacak olan kısmını kapsamaktadır. Bu bölümdeki çözümler, Tablo 3.2'ye göre A1, A2, A3 ve A4 çözümlerine karşılık gelmektedir.

Çözümde, öncelikle her bir proje için faaliyetlere göre kaynak işgücü değerleri mantıksal deterministik olarak atanmış ve faaliyetler arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Projenin faaliyet süreleri mantıksal bulanık yamuk süre olarak atanmıştır. Faaliyetlerin işgücü kaynağına olan ihtiyacında kaynak kısıtlaması olarak ve talep edilen işgücü kaynağının tersane tarafından tersanenin kapasitesine göre karşılandığı varsayılmıştır.

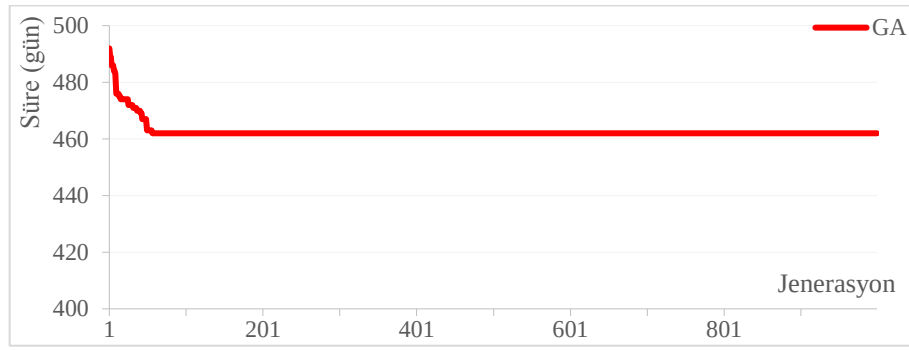
Çözüm için tersanenin sağlayabildiği kaynak kapasitesi 4 farklı durum olarak dikkate alınmıştır.

Bulanık süre ortamında Genetik Algoritma ile KKPÇP çözümünde; EK 1’de A gemisi ve EK 2’de B gemisi için verilen gemi blok inşa planına göre düzenlenmiş olan blok inşa planı çerçevesinde, Genetik Algoritma ile KKPÇP programlaması çözümünün gerçekleştirmek için EK 4’de verilen A ve B gemilerinin faaliyetleri, öncülleri ve işgücü değerleri ile beraber EK 5’de verilen A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetlerinin yamuk bulanık süreleri ve bu faaliyet sürelerinin ağırlık merkezi (*centroid*) durulaştırma (*defuzzification*) sonuucu $\tilde{X}_0(\tilde{A})$ değerleri, bunun yanında tersanenin 4 farklı kapasite değerleri kapsamında, genetik algoritma ile KKPÇP çözümü amacıyla yazılım programında tersanenin 4 farklı kapasitesine göre normal çözüm bulunmuştur. Çözümde uygulanan bulanık süre ortamında genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme çözümlerinde 25 adet çözüm kümesi oluşturularak her bir kapasite ve durum için en iyi çözüm seçilmiştir. Ayrıca, genetik algoritmanın parametreleri aşağıdaki gibi seçilerek çözüm kümesi oluşturulmuştur:

- Popülasyon sayısı: 100 – 200 arasında
- Jenerasyon sayısı: 1.000 – 1.500 arasında
- Mutasyon oranı: %30 – %100 arasında
- Yeni nesile aktarılan: %10

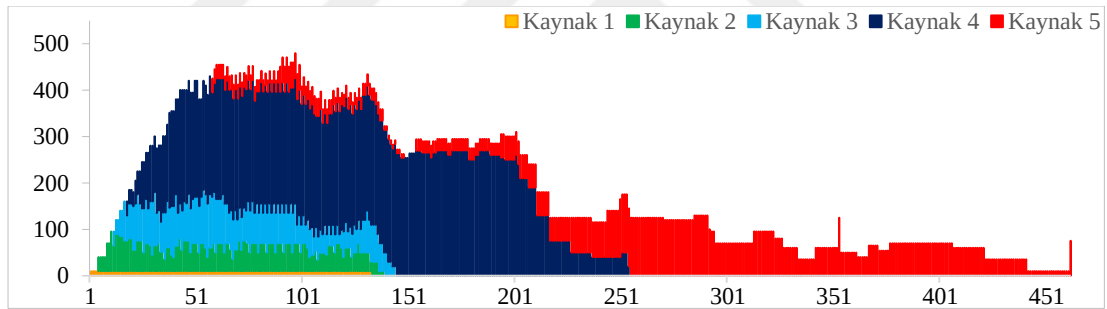
4.1.1. Kapasite 1’e Göre Çözüm

Tersanenin Kapasite 1’e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1.000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 492 günden başlamış 462 gün bulunmuştur, (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (normal süre).

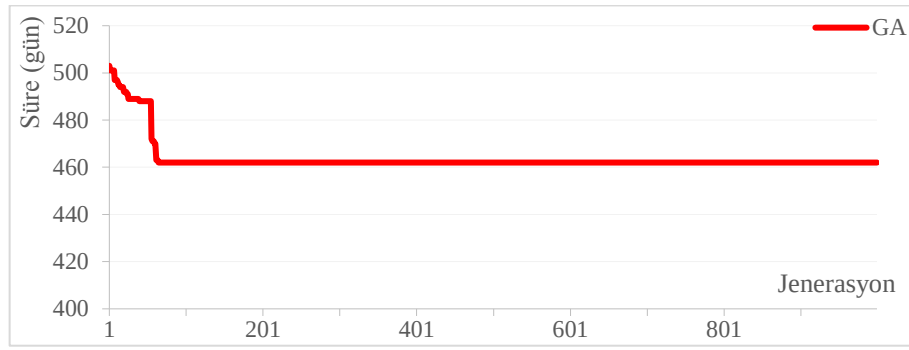
Tablo 3.1’de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 1 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.2’deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 480 adam/gün ile projenin 97. gününde olmuştur.



Şekil 4.2: Kapasite 1 kısıtı için GA kaynak grafiği (normal süre).

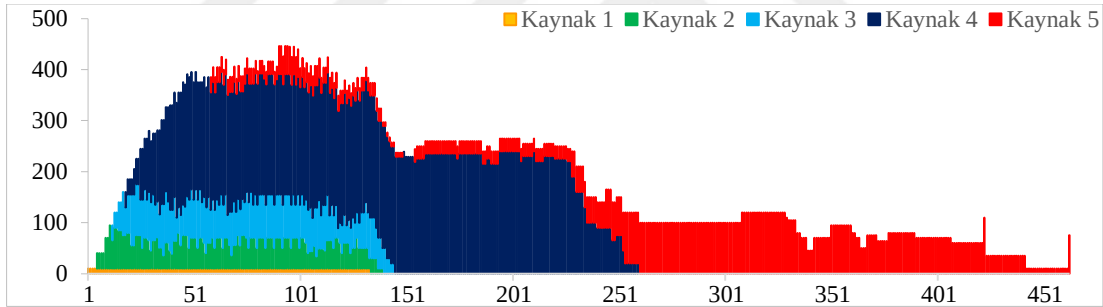
4.1.2. Kapasite 2’e Göre Çözüm

Tersanenin Kapasite 2’e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 503 günden başlamış 462 gün bulunmuştur, (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: Kapasite 2 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (normal süre).

Tablo 3.1’de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 2 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.4’deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 446 adam/gün ile projenin 90, 91, 92 ve 94. günlerinde olmuştur.

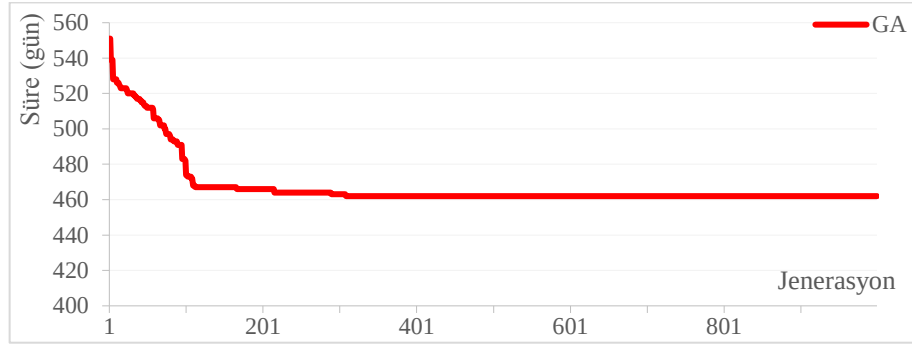


Şekil 4.4: Kapasite 2 kısıtı için GA kaynak grafiği (normal süre).

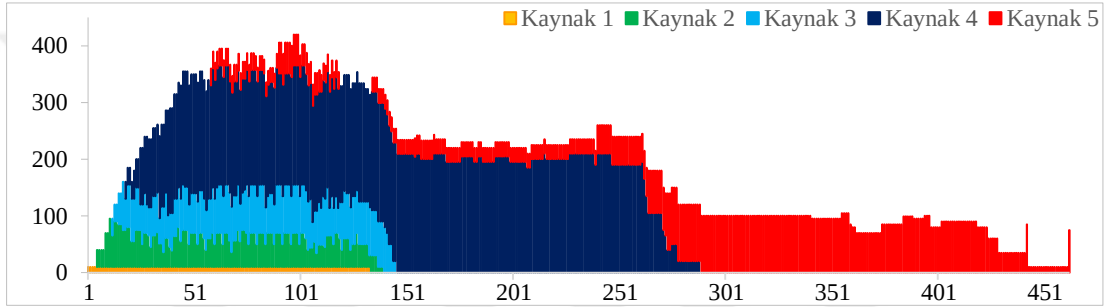
4.1.3. Kapasite 3’e Göre Çözüm

Tersanenin Kapasite 3’e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 551 günden başlamış 462 gün bulunmuştur, (Şekil 4.5).

Tablo 3.1’de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 3 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.6’deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 420 adam/gün ile projenin 97, 98 ve 99. günlerinde olmuştur.



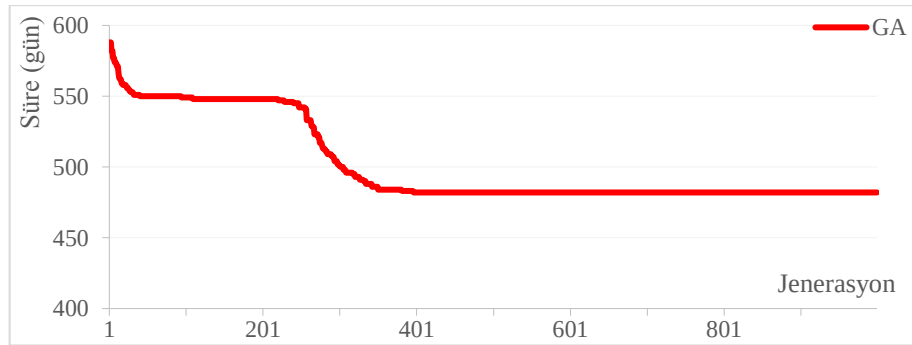
Şekil 4.5: Kapasite 3 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (normal süre).



Şekil 4.6: Kapasite 3 kısıtı için GA kaynak grafiği (normal süre).

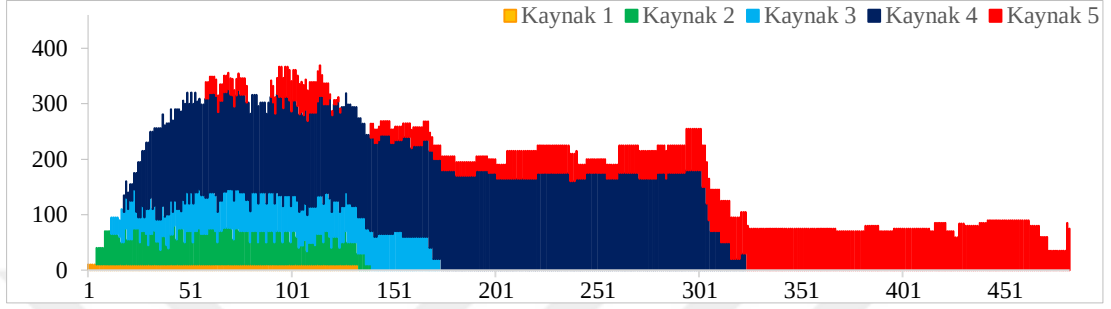
4.1.4. Kapasite 4'e Göre Çözüm

Kapasite 4'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 588 günden başlamış 482 gün bulunmuştur, (Şekil 4.7).



Şekil 4.7: Kapasite 4 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (normal süre).

Tablo 3.1’de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 4 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılım diyagramı Şekil 4.8’deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 369 adam/gün ile projenin 114. gününde olmuştur.



Şekil 4.8: Kapasite 4 kısıtı için GA kaynak grafiği (normal süre).

4.2. BULANIK HIZLANDIRILMIŞ SÜRELİ GENETİK ALGORİTMA İLE KKPÇP ÇÖZÜMÜ (İŞ İSTASYONLARINDA)

Uygulamanın bu aşamasında, bulanık süre ortamında genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgelemesi çözümü, Pareto optimum çözüm kümesini oluşturacak olan kısmını kapsamaktadır. Bu bölümdeki çözümler, Tablo 3.2’ye göre B1, B2, B3 ve B4 çözümlerine karşılık gelmektedir.

Çözümde, öncelikle her bir proje için faaliyetlere göre kaynak işgücü değerleri mantıksal deterministik olarak atanmış ve faaliyetler arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Projenin faaliyet süreleri mantıksal bulanık yamuk süre olarak atanmıştır. Faaliyetlerin işgücü kaynağına olan ihtiyacında kaynak kısıtlaması olarak ve talep edilen işgücü kaynağının tersane tarafından tersanenin kapasitesine göre karşılandığı varsayılmıştır.

Çözüm için tersanenin sağlayabildiği kaynak kapasitesi 4 farklı durum olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca WS 04 (Ön Panel Üretim) ve WS 05 (Panel Üretim) iş istasyonlarında işin profil ve tekil saclar ile ön panellerin imalatında işgücü yüklemesi %20 varsayılarak projelerdeki faaliyetlerdeki sürelerin ters orantılı olarak azalmasını sağladığı farz edilerek proje çizelgelemesi yapılmıştır. Verimlilik kaybının olmadığı düşünülmüştür.

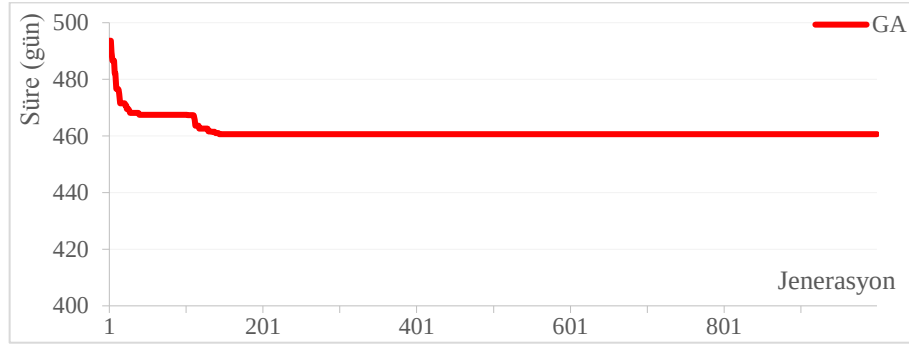
Bulanık süre ortamında Genetik Algoritma ile KKPÇP çözümünde; EK 1’de A gemisi ve EK 2’de B gemisi için verilen gemi blok inşa planına göre düzenlenmiş olan blok inşa planı çerçevesinde, Genetik Algoritma ile KKPÇP programlaması çözümünün gerçekleştirmek için EK 4’de verilen A ve B gemilerinin faaliyetleri, öncülleri ve işgücü değerleri ile beraber EK 5’de verilen A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetlerinin yamuk bulanık süreleri ve bu faaliyet sürelerinin ağırlık merkezi (*centroid*) durulaştırma (*defuzzification*) sonuucu $\tilde{X}_0(\tilde{A})$ değerleri, bunun yanında tersanenin 4 farklı kapasite değerleri kapsamında, genetik algoritma ile KKPÇP çözümü amacıyla yazılım programında tersanenin 4 farklı kapasitesine göre ve WS 04 (Ön Panel Üretim) ve WS 05 (Panel Üretim) iş istasyonlarında %20 işgücü kaynağı yüklenerek çözüm bulunmuştur. Çözümde uygulanan bulanık süre ortamında genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme çözümlerinde 25 adet çözüm kümesi oluşturularak her bir kapasite ve durum için en iyi çözüm seçilmiştir. Ayrıca, genetik algoritmanın parametreleri aşağıdaki gibi seçilerek çözüm kümesi oluşturulmuştur:

- Popülasyon sayısı: 100 – 200 arasında
- Jenerasyon sayısı: 1.000 – 1.500 arasında
- Mutasyon oranı: %30 – %100 arasında
- Yeni nesile aktarılan: %10

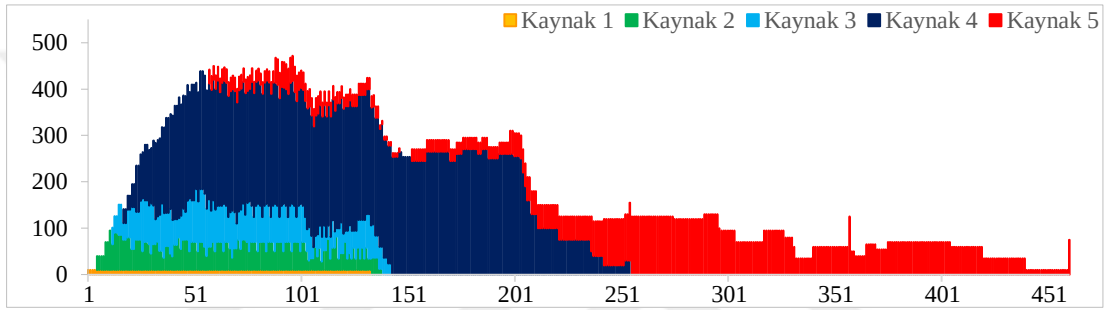
4.2.1. Kapasite 1’e Göre Çözüm

Tersanenin Kapasite 1’e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 494 günden başlamış 461 gün bulunmuştur, (Şekil 4.9).

Tablo 3.1’de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 1 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılım diyagramı Şekil 4.10’deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 476 adam/gün ile projenin 96. gününde olmuştur.



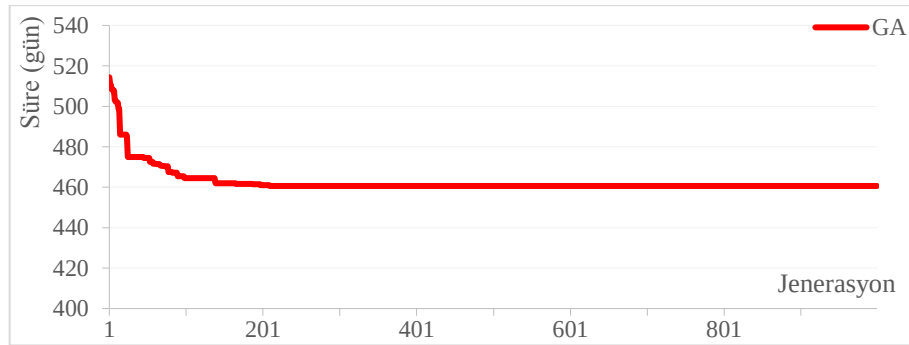
Şekil 4.9: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (iş istasyonlarında kaynak yükleme).



Şekil 4.10: Kapasite 1 kısıtı için GA kaynak grafiği (iş istasyonlarında kaynak yükleme).

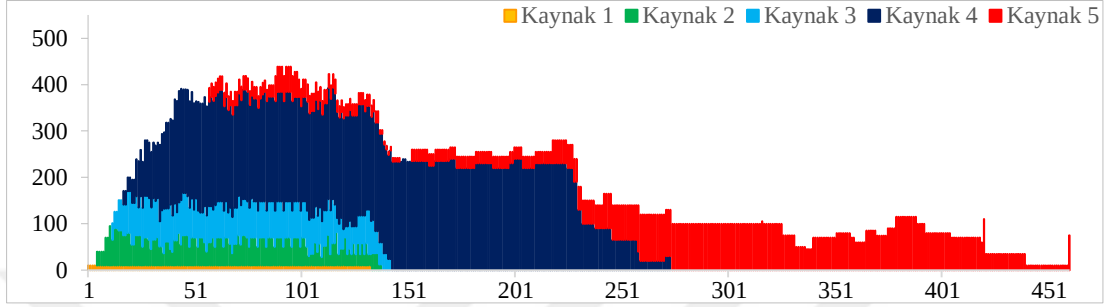
4.2.2. Kapasite 2'e Göre Çözüm

Tersanenin Kapasite 2'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 514 günden başlamış 461 gün bulunmuştur, (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Kapasite 2 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (iş istasyonlarında kaynak yükleme).

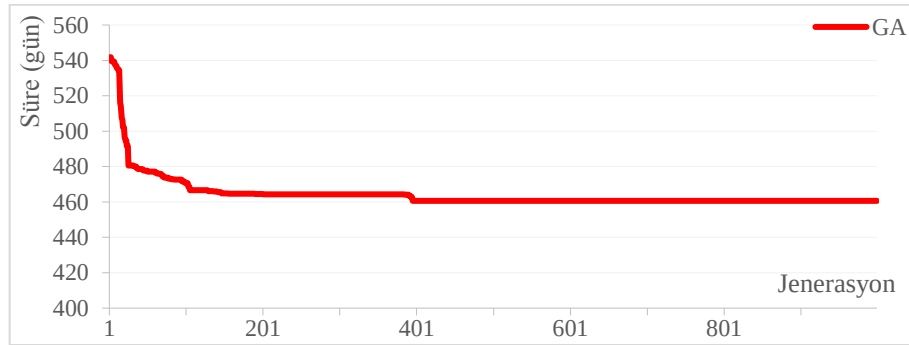
Tablo 3.1’de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 2 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.12’deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 439 adam/gün ile projenin 89, 90, 91, 93, 94 ve 95. günlerinde olmuştur.



Şekil 4.12: Kapasite 2 kısıtı için GA kaynak grafiği (iş istasyonlarında kaynak yükleme).

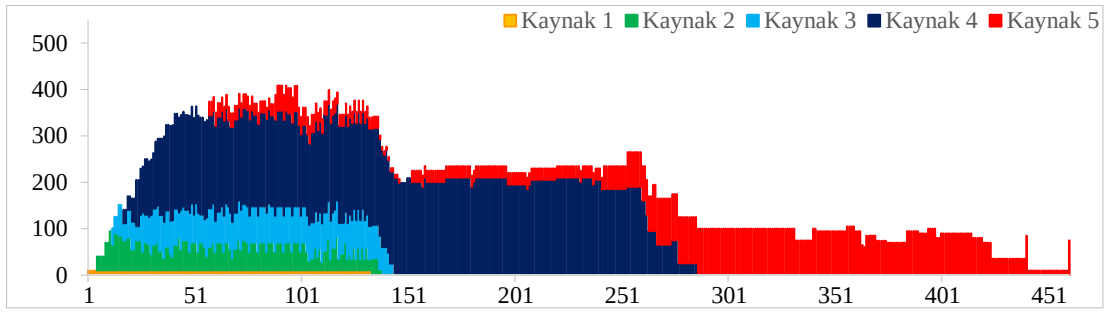
4.2.3. Kapasite 3’e Göre Çözüm

Tersanenin Kapasite 3’e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 542 günden başlamış 461 gün bulunmuştur, (Şekil 4.13).



Şekil 4.13: Kapasite 3 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (iş istasyonlarında kaynak yükleme).

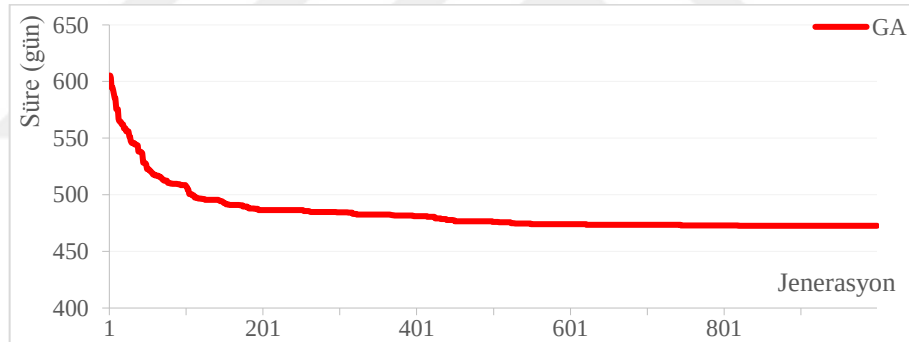
Tablo 3.1’de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 3 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.14’deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 409 adam/gün ile projenin 89, 90, 91 ve 92. günlerinde olmuştur.



Şekil 4.14: Kapasite 3 kısıtı için GA kaynak grafiği (iş istasyonlarında kaynak yükleme).

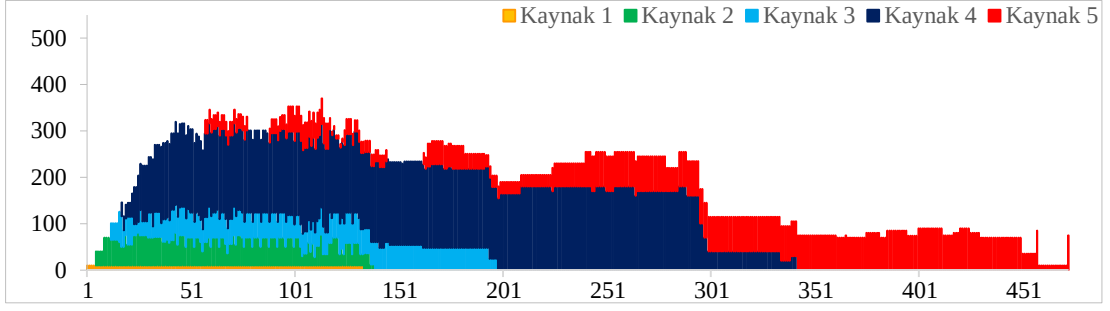
4.2.4. Kapasite 4'e Göre Çözüm

Tersanenin Kapasite 4'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 605 günden başlamış 473 gün bulunmuştur, (Şekil 4.15).



Şekil 4.15: Kapasite 4 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (iş istasyonlarında kaynak yükleme).

Tablo 3.1'de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 4 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.16'deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 370 adam/gün ile projenin 113. gününde olmuştur.



Şekil 4.16: Kapasite 4 kısıtı için GA kaynak grafiği (iş istasyonlarında kaynak yükleme).

4.3. BULANIK HIZLANDIRILMIŞ SÜRELİ GENETİK ALGORİTMA İLE KKPÇP ÇÖZÜMÜ (KRİTİK FAALİYETLERDE)

Uygulamanın bu aşamasında, bulanık süre ortamında genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgelemesi çözümü, Pareto optimum çözüm kümesini oluşturacak olan kısmını kapsamaktadır.

Çözümde, öncelikle her bir proje için faaliyetlere göre kaynak işgücü değerleri mantıksal deterministik olarak atanmış ve faaliyetler arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Projenin faaliyet süreleri mantıksal bulanık yamuk süre olarak atanmıştır. Faaliyetlerin işgücü kaynağına olan ihtiyacında kaynak kısıtlaması olarak ve talep edilen işgücü kaynağının tersane tarafından tersanenin kapasitesine göre karşılandığı varsayılmıştır.

Çözüm için tersanenin sağlayabildiği kaynak kapasitesi 4 farklı durum olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca grup 1, grup 2 ve grup 3 kritik faaliyetler üzerinde 3 kişi %12 ve 5 kişi %20 oranında işgücü yüklemesi yapılarak, projelerdeki faaliyetlerdeki sürelerin ters orantılı olarak azalmasını sağladığı farz edilerek proje çizelgelemesi yapılmıştır. Verimlilik kaybının olmadığı düşünülmüştür.

Bulanık süre ortamında Genetik Algoritma ile KKPÇP çözümünde; EK 1’de A gemisi ve EK 2’de B gemisi için verilen gemi blok inşa planına göre düzenlenmiş olan blok inşa planı çerçevesinde, Genetik Algoritma ile KKPÇP programlaması çözümünün gerçekleştirmek için EK 4’de verilen A ve B gemilerinin faaliyetleri, öncülleri ve işgücü değerleri ile beraber EK 5’de verilen A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetlerinin yamuk bulanık süreleri ve bu faaliyet

sürelerinin ağırlık merkezi (*centroid*) durulaştırma (*defuzzification*) sonuucu $\tilde{X}_0(\tilde{A})$ değerleri, bunun yanında tersanenin 4 farklı kapasite değerleri kapsamında, genetik algoritma ile KKPÇP çözümü amacıyla yazılım programında tersanenin 4 farklı kapasitesine göre ve grup 1, grup 2 ve grup 3 kritik faaliyetler üzerinde 3 kişi %12 ve 5 kişi %20 oranında işgücü yüklemesi yapılarak, çözüm bulunmuştur. Çözümde uygulanan bulanık süre ortamında genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme çözümlerinde 25 adet çözüm kümesi oluşturularak her bir kapasite ve durum için en iyi çözüm seçilmiştir. Ayrıca, genetik algoritmanın parametreleri aşağıdaki gibi seçilerek çözüm kümesi oluşturulmuştur:

- Popülasyon sayısı: 100 – 200 arasında
- Jenerasyon sayısı: 1.000 – 1.500 arasında
- Mutasyon oranı: %30 – %100 arasında
- Yeni nesile aktarılan: %10

Bu bölümde kaynak kısıtı olmadan çözümü gerçekleştirilen çözümde ortaya çıkan projenin kritik faaliyetlerinden projenin daha kısa sürede bitirilmesi için faaliyet süresi uzun kritik yollar üzerinde ve aynı zamanda işgücü artırımına imkân sağlayan faaliyetlerde bir işgücü kapasitesi arttırılarak çözüm üretilmiştir. Bunlar;

- Grup 1 Kritik Faaliyetler: 295 ve 297 nolu kritik faaliyetler
- Grup 2 Kritik Faaliyetler: 274, 299, 300 ve 301 nolu kritik faaliyetler
- Grup 3 Kritik Faaliyetler: 274, 295, 297, 299, 300 ve 301 nolu kritik faaliyetler

Bu faaliyet grubunda her bir faaliyet için önce %12 oranında 3 kişi ve sonra %20 oranında 5 kişi iş gücü arttırılarak çözüm üretilmiştir. İlgili kritik faaliyetlerin, işgücü artırımına uygun ve verimlilik kaybı yaşanmadığı var sayılmıştır.

Projenin kritik faaliyetleri: 2, 3, 69, 133, 194, 198, 274, 295, 297, 299, 300, 301, 317, 323, 325 numaralı faaliyetlerdir.

Bu bölümdeki çözümler, Tablo 3.2'ye göre:

Grup 1 Kritik Faaliyetler: 295 ve 297 nolu kritik faaliyetler %12 oranında 3 kişi kaynak yüklemesi ile oluşan çözüm kümesi C1, C2, C3 ve C4 çözümlerine karşılık gelmektedir.

Grup 2 Kritik Faaliyetler: 274, 299, 300 ve 301 nolu kritik faaliyetler %12 oranında 3 kişi kaynak yüklemesi ile oluşan çözüm kümesi D1, D2, D3 ve D4 çözümlerine karşılık gelmektedir.

Grup 3 Kritik Faaliyetler: 274, 295, 297, 299, 300 ve 301 nolu kritik faaliyetler %12 oranında 3 kişi kaynak yüklemesi ile oluşan çözüm kümesi E1, E2, E3 ve E4 çözümlerine karşılık gelmektedir.

Grup 1 Kritik Faaliyetler: 295 ve 297 nolu kritik faaliyetler %20 oranında 5 kişi kaynak yüklemesi ile oluşan çözüm kümesi F1, F2, F3 ve F4 çözümlerine karşılık gelmektedir.

Grup 2 Kritik Faaliyetler: 274, 299, 300 ve 301 nolu kritik faaliyetler %20 oranında 5 kişi kaynak yüklemesi ile oluşan çözüm kümesi G1, G2, G3 ve G4 çözümlerine karşılık gelmektedir.

Grup 3 Kritik Faaliyetler: 274, 295, 297, 299, 300 ve 301 nolu kritik faaliyetler %20 oranında 5 kişi kaynak yüklemesi ile oluşan çözüm kümesi H1, H2, H3 ve H4 çözümlerine karşılık gelmektedir.

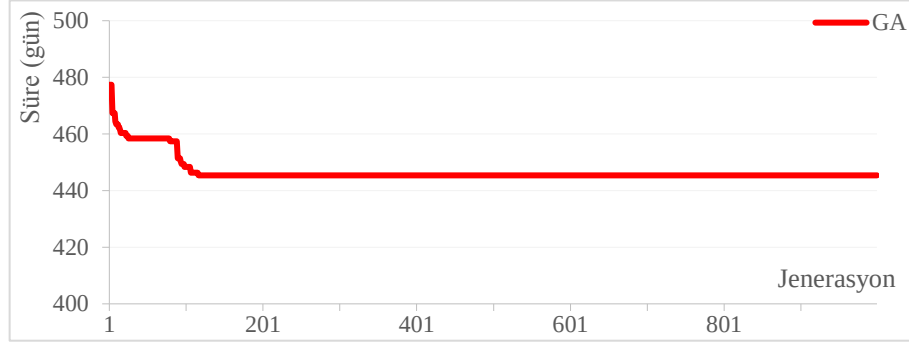
4.3.1. Grup 1 Kritik Faaliyetlere Göre Çözüm

Grup 1 Kritik Faaliyetlerinden; sadece 295 ve 297 nolu faaliyetler için her bir faaliyet için önce %12 oranında 3 kişi ve sonra %20 oranında 5 kişi iş gücü arttırılarak çözüm üretilmiştir.

4.3.1.1. Kapasite 1'e Göre Çözüm

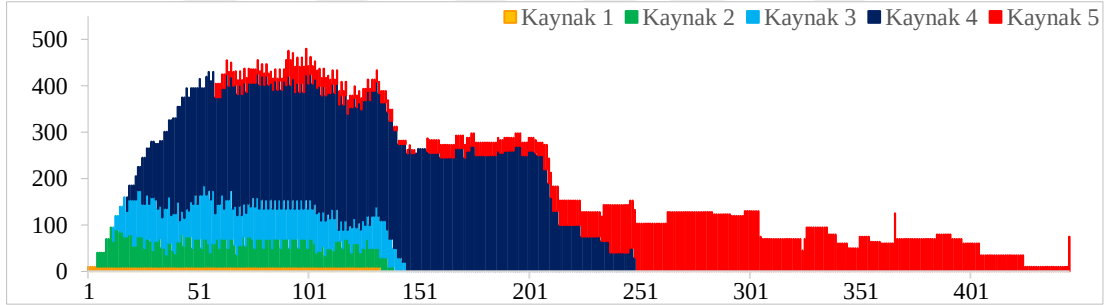
295 ve 297 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %12 oranında 3 kişi iş gücü arttırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 1'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 477 günden başlamış 445 gün bulunmuştur, (Şekil 4.17).



Şekil 4.17: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 1 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

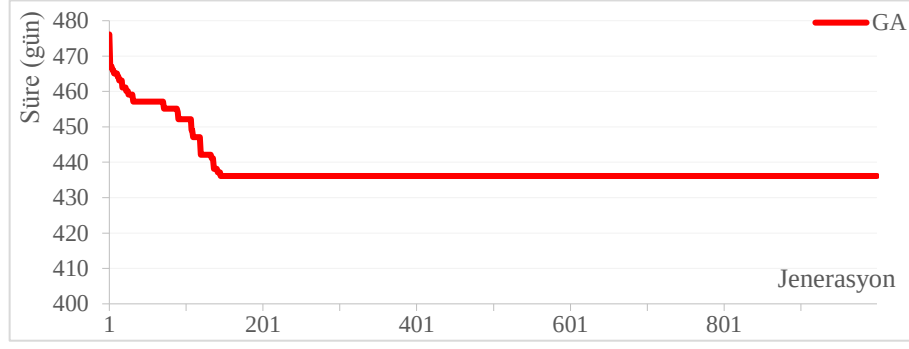
Tablo 3.1’de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 1 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.18’deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 480 adam/gün ile projenin 99. gününde olmuştur.



Şekil 4.18: Kapasite 1 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 1 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

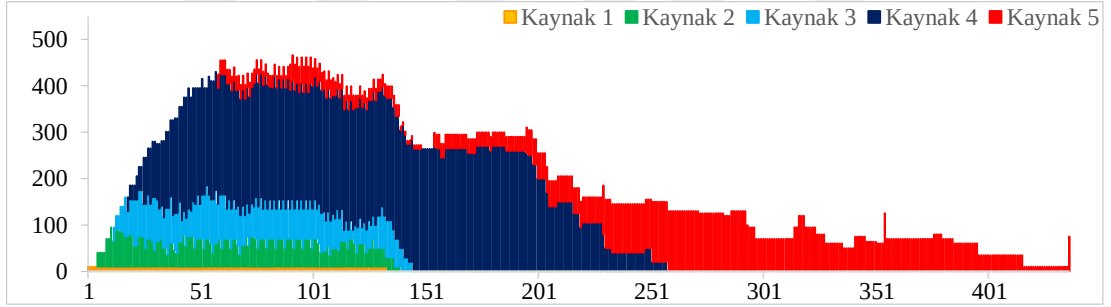
295 ve 297 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %20 oranında 5 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 1’e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 476 günden başlamış 436 gün bulunmuştur, (Şekil 4.19).



Şekil 4.19: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 1 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

Tablo 3.1’de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 1 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.20’deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 466 adam/gün ile projenin 91. gününde olmuştur.

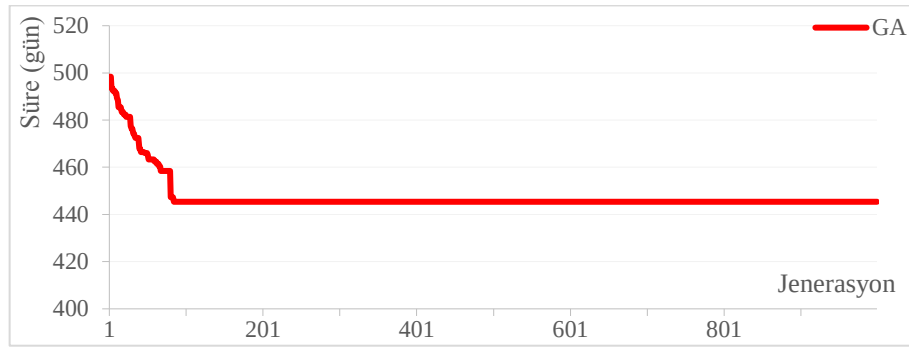


Şekil 4.20: Kapasite 1 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 1 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

4.3.1.2. Kapasite 2’ye Göre Çözüm

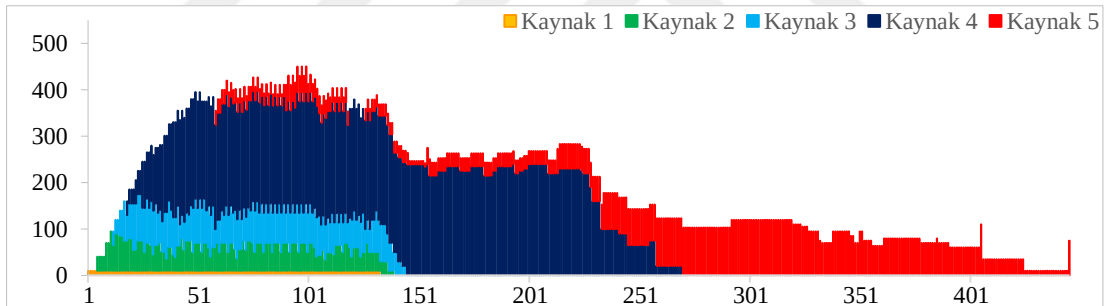
295 ve 297 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %12 oranında 3 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 2’ye göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 498 günden başlamış 445 gün bulunmuştur, (Şekil 4.21).



Şekil 4.21: Kapasite 2 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 1 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

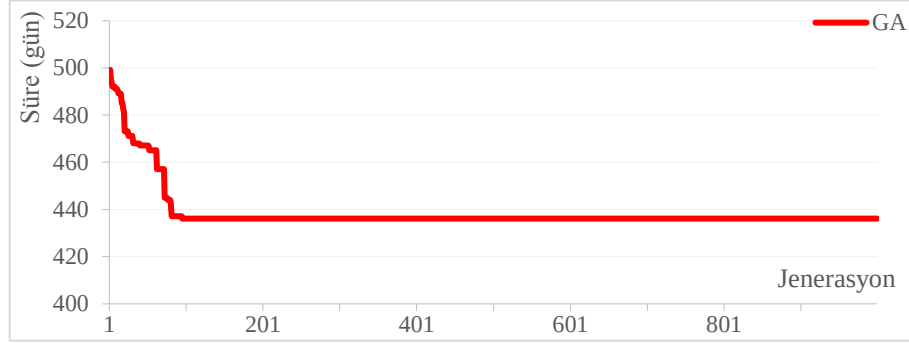
Tablo 3.1’de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 2 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılım diyagramı Şekil 4.22’deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 450 adam/gün ile projenin 95, 97 ve 99. günlerinde olmuştur.



Şekil 4.22: Kapasite 2 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 1 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

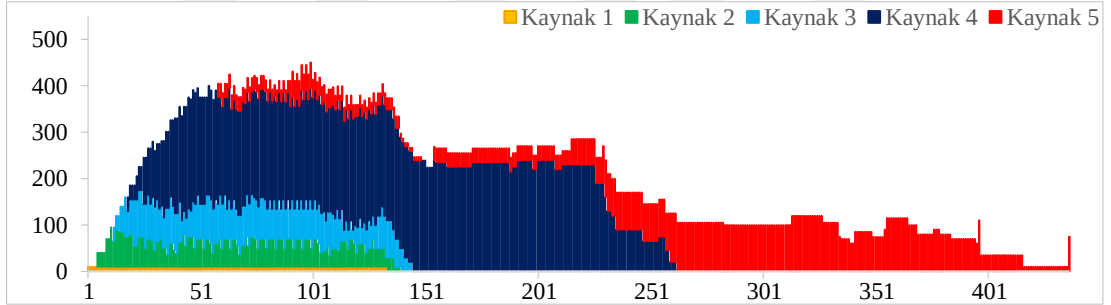
295 ve 297 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %20 oranında 5 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 2’e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 499 günden başlamış 436 gün bulunmuştur, (Şekil 4.23).



Şekil 4.23: Kapasite 2 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 1 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

Tablo 3.1’de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 2 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.24’deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 450 adam/gün ile projenin 99. gününde olmuştur.

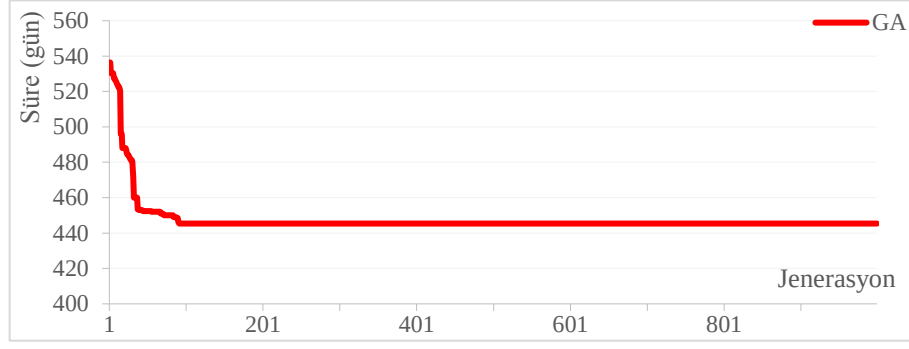


Şekil 4.24: Kapasite 2 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 1 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

4.3.1.3. Kapasite 3’e Göre Çözüm

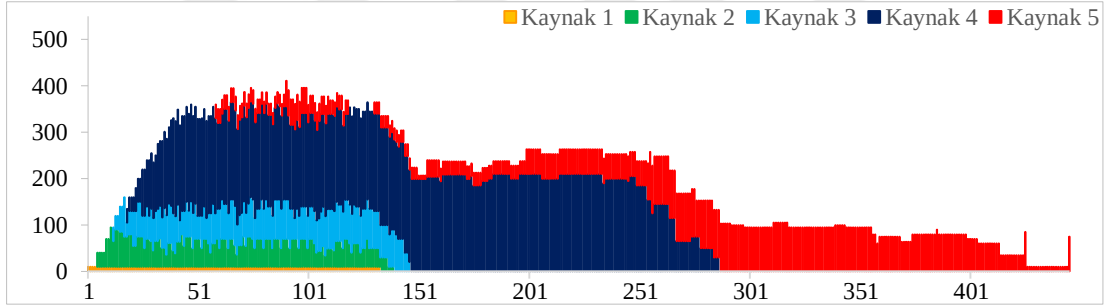
295 ve 297 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %12 oranında 3 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 3’e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 530 günden başlamış 445 gün bulunmuştur, (Şekil 4.25).



Şekil 4.25: Kapasite 3 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 1 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

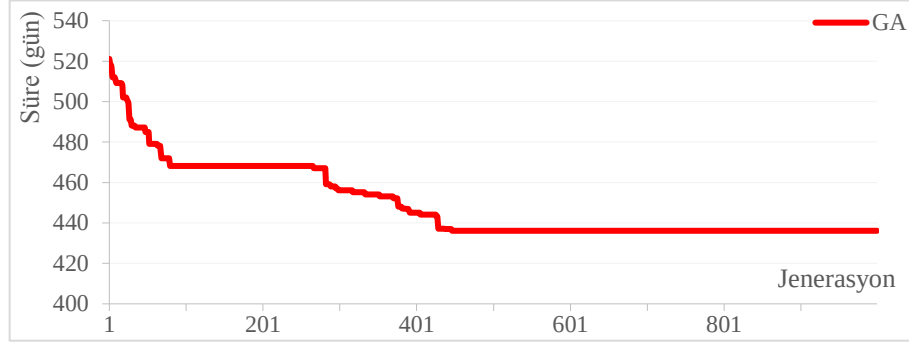
Tablo 3.1’de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 3 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılım diyagramı Şekil 4.26’deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 411 adam/gün ile projenin 90. gününde olmuştur.



Şekil 4.26: Kapasite 3 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 1 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

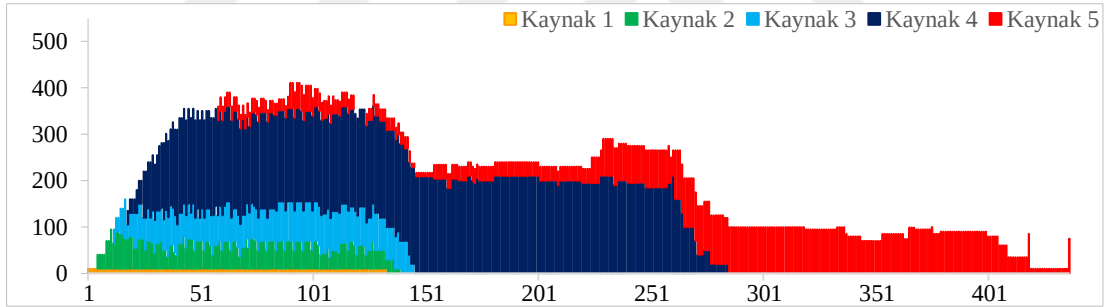
295 ve 297 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %20 oranında 5 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 3’e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 518 günden başlamış 436 gün bulunmuştur, (Şekil 4.27).



Şekil 4.27: Kapasite 3 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 1 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

Tablo 3.1’de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 3 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.28’deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 411 adam/gün ile projenin 90, 91, 93 ve 94. günlerinde olmuştur.

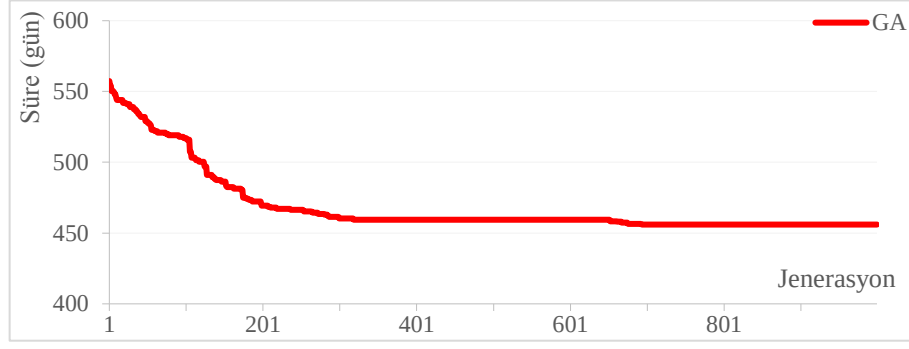


Şekil 4.28: Kapasite 3 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 1 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

4.3.1.4. Kapasite 4’e Göre Çözüm

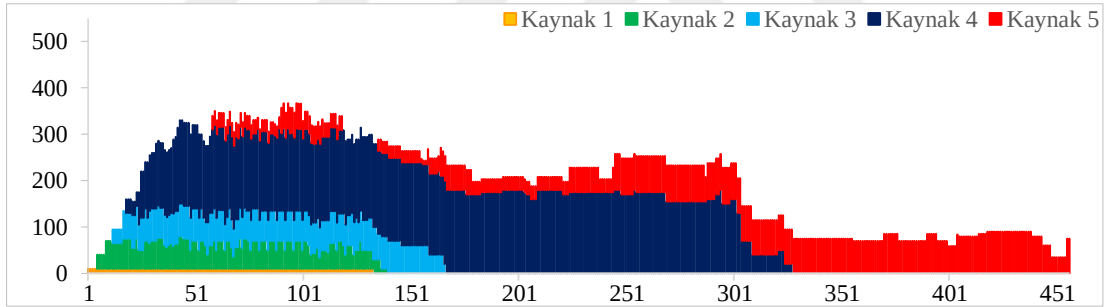
295 ve 297 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %12 oranında 3 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 4’e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 554 günden başlamış 456 gün bulunmuştur, (Şekil 4.29).



Şekil 4.29: Kapasite 4 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 1 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

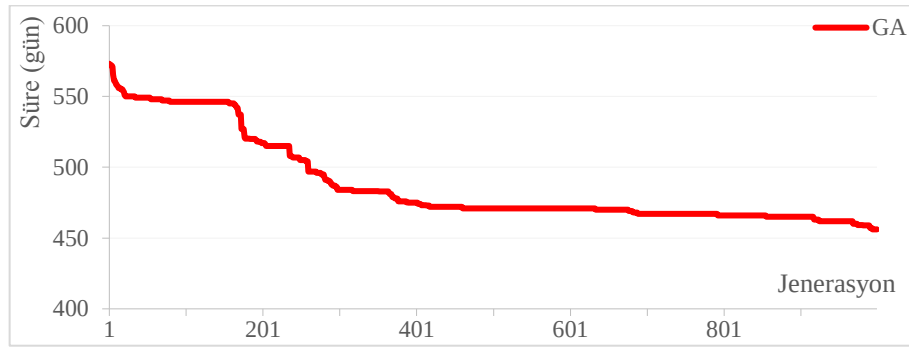
Tablo 3.1’de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 4 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılım diyagramı Şekil 4.30’deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 367 adam/gün ile projenin 91, 93 ve 97. günlerinde olmuştur.



Şekil 4.30: Kapasite 4 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 1 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

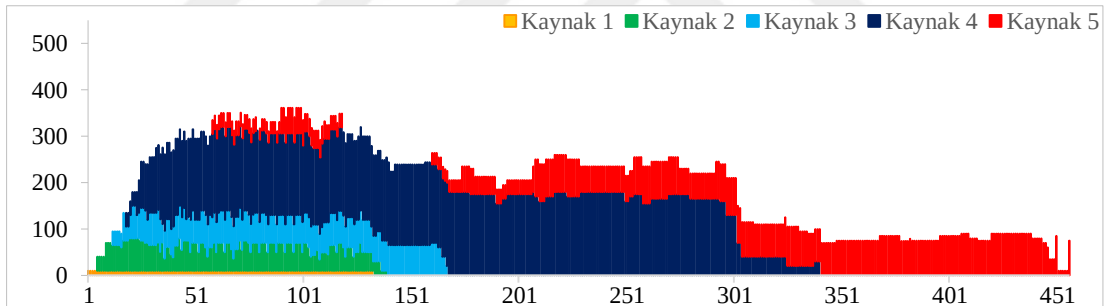
295 ve 297 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %20 oranında 5 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 4’e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 565 günden başlamış 456 gün bulunmuştur, (Şekil 4.31).



Şekil 4.31: Kapasite 4 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 1 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

Tablo 3.1’de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 4 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılım diyagramı Şekil 4.32’deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 361 adam/gün ile projenin 90, 91, 93, 94, 95, 97, 98 ve 99. günlerinde olmuştur.



Şekil 4.32: Kapasite 4 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 1 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

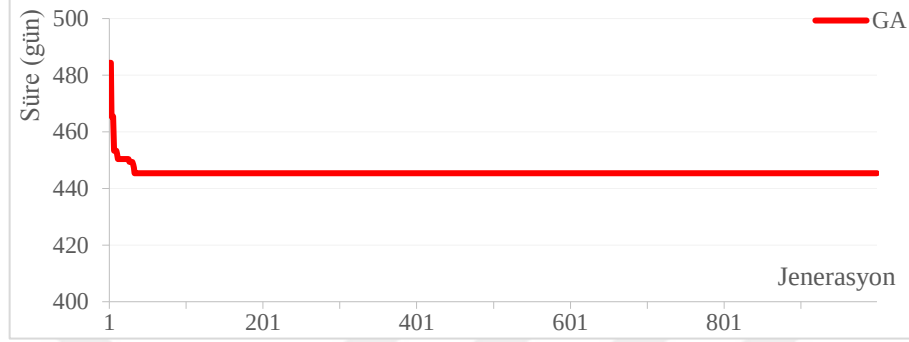
4.3.2. Grup 2 Kritik Faaliyetlere Göre Çözüm

Grup 2 Kritik Faaliyetlerinden; sadece 274, 299, 300 ve 301 nolu kritik faaliyetler için her bir faaliyet için önce %12 oranında 3 kişi ve sonra %20 oranında 5 kişi iş gücü arttırılarak çözüm üretilmiştir.

4.3.2.1. Kapasite 1’e Göre Çözüm

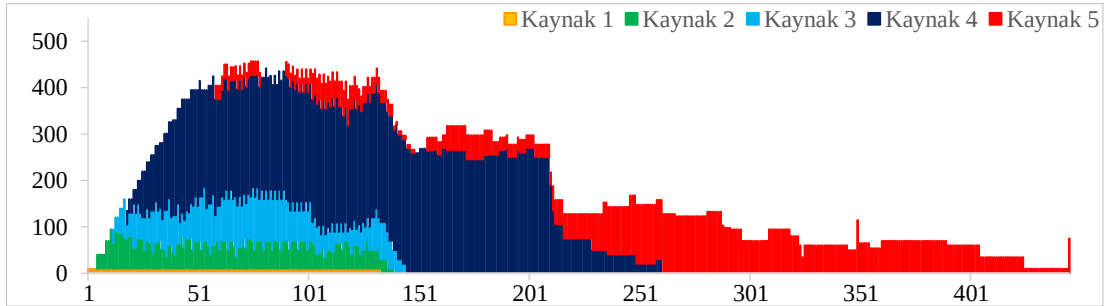
274, 299, 300, 301 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %12 oranında 3 kişi iş gücü arttırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 1'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 484 günden başlamış 445 gün bulunmuştur, (Şekil 4.33).



Şekil 4.33: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 2 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

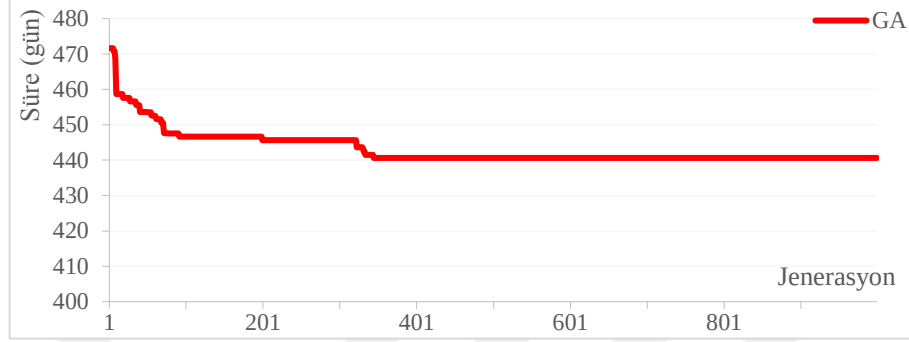
Tablo 3.1'de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 1 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.34'deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 457 adam/gün ile projenin 74, 75, 76 ve 77. günlerinde olmuştur.



Şekil 4.34: Kapasite 1 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 2 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

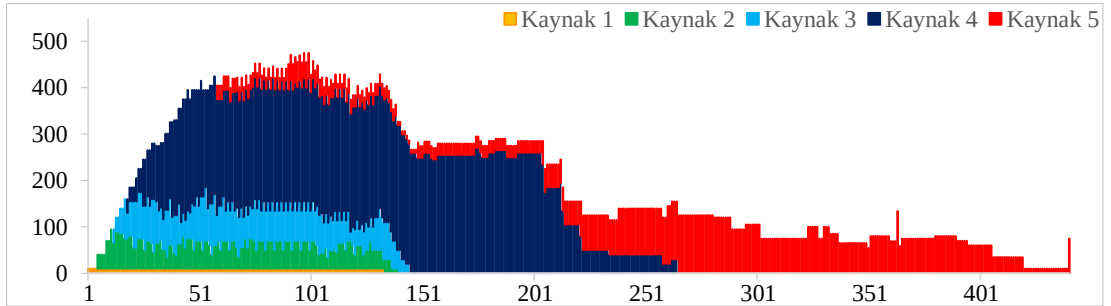
274, 299, 300, 301 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %20 oranında 5 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 1'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 472 günden başlamış 441 gün bulunmuştur, (Şekil 4.35).



Şekil 4.35: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 2 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

Tablo 3.1'de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 1 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.36'deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 475 adam/gün ile projenin 97 ve 99. günlerinde olmuştur.

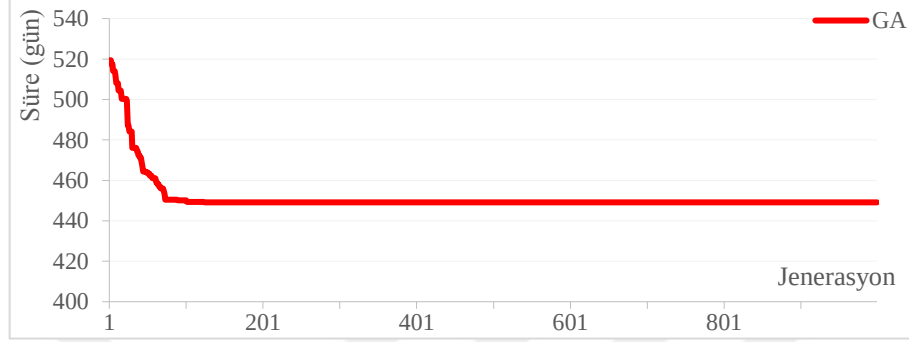


Şekil 4.36: Kapasite 1 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 2 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

4.3.2.2. Kapasite 2'e Göre Çözüm

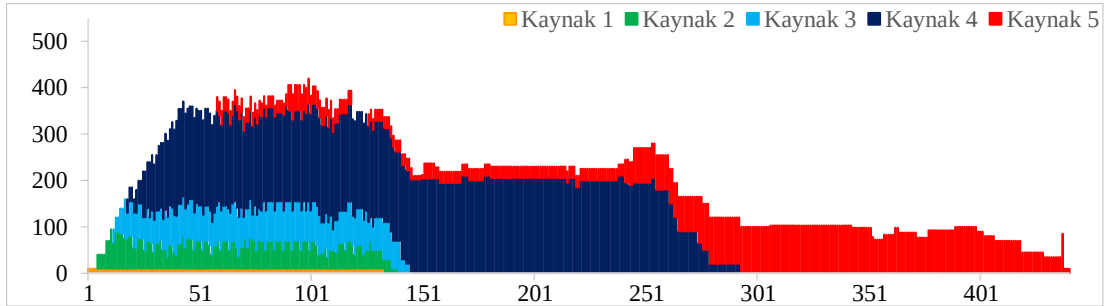
274, 299, 300, 301 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %12 oranında 3 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 2'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 520 günden başlamış 448 gün bulunmuştur, (Şekil 4.37).



Şekil 4.37: Kapasite 2 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 2 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

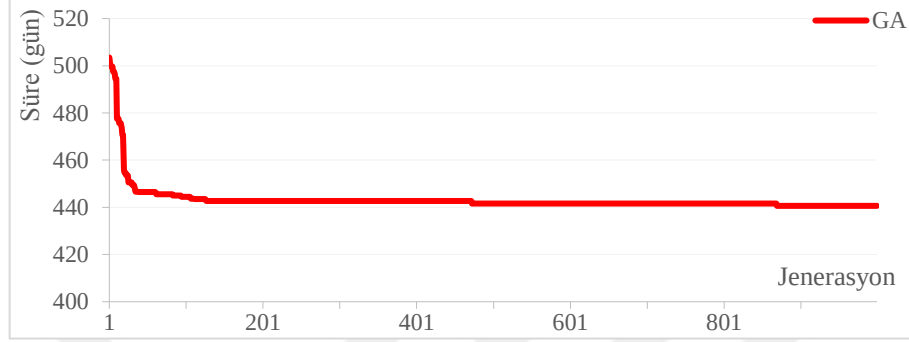
Tablo 3.1'de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 2 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.38'deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 446 adam/gün ile projenin 90, 91, 93, 94 ve 95. günlerinde olmuştur.



Şekil 4.38: Kapasite 2 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 2 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

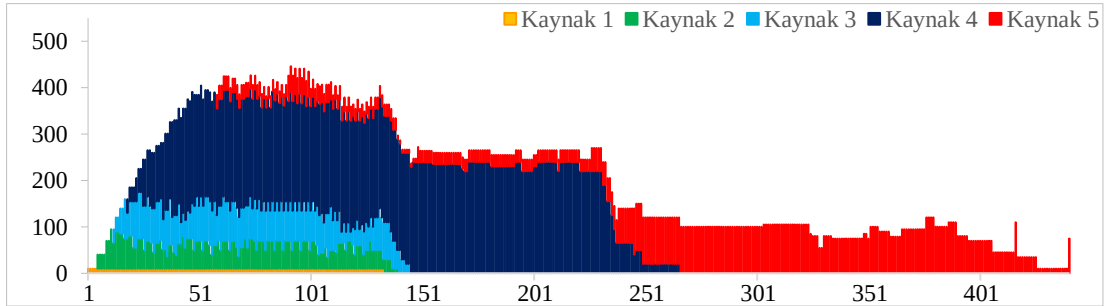
274, 299, 300, 301 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %20 oranında 5 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 2'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 504 günden başlamış 441 gün bulunmuştur, (Şekil 4.39).



Şekil 4.39: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 2 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

Tablo 3.1'de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 2 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.40'deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 446 adam/gün ile projenin 91. gününde olmuştur.

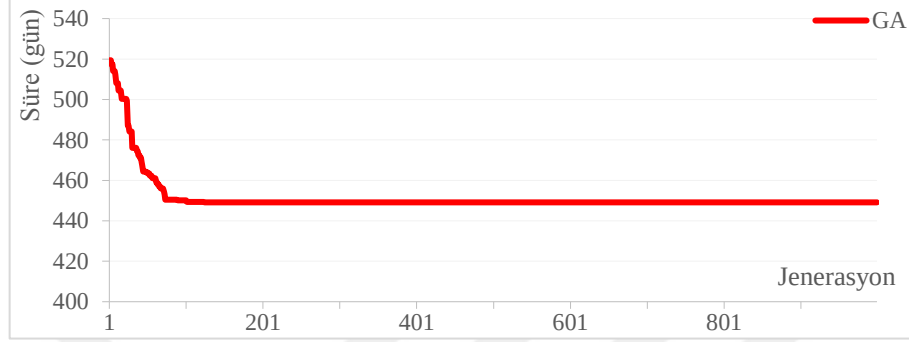


Şekil 4.40: Kapasite 2 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 2 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

4.3.2.3. Kapasite 3'e Göre Çözüm

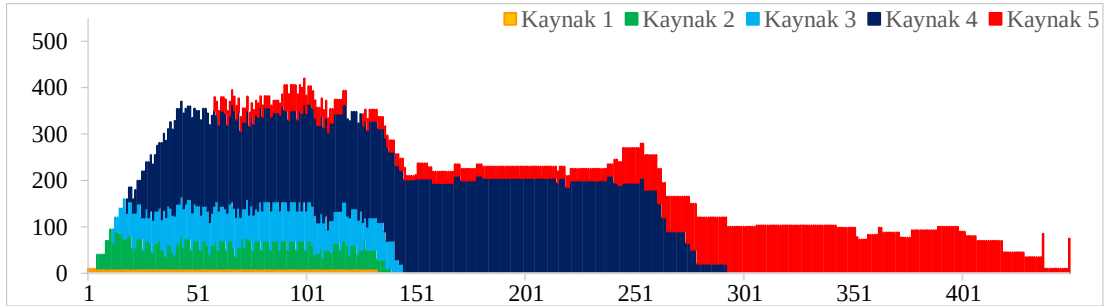
274, 299, 300, 301 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %12 oranında 3 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 3'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 519 günden başlamış 449 gün bulunmuştur, (Şekil 4.41).



Şekil 4.41: Kapasite 3 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 2 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

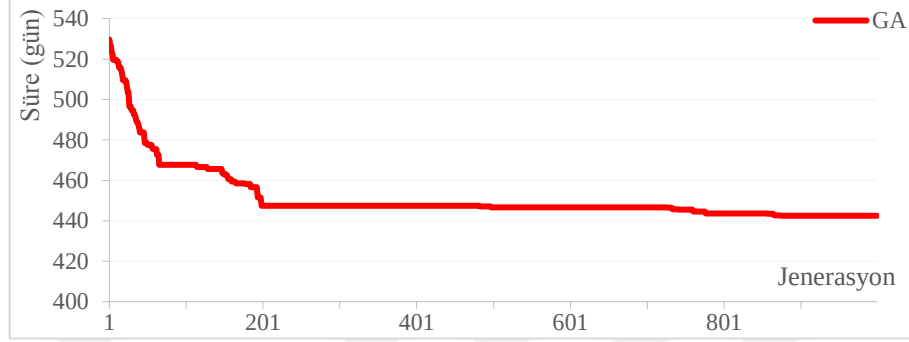
Tablo 3.1'de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 3 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.42'deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 420 adam/gün ile projenin 99. gününde olmuştur.



Şekil 4.42: Kapasite 3 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 2 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

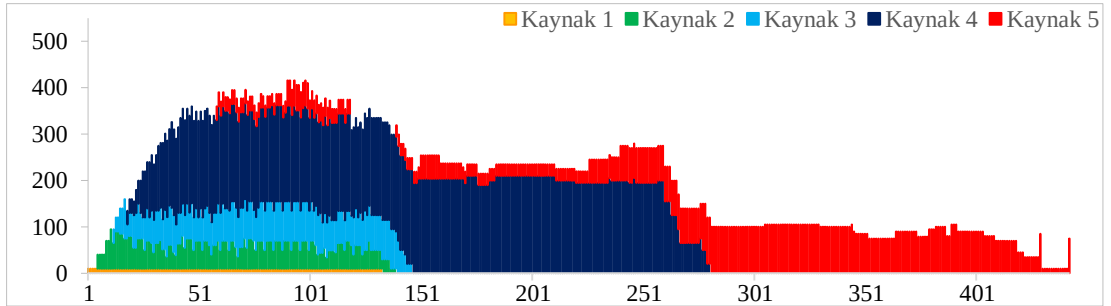
274, 299, 300, 301 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %20 oranında 5 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 3'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 530 günden başlamış 443 gün bulunmuştur, (Şekil 4.43).



Şekil 4.43: Kapasite 3 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 2 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

Tablo 3.1'de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 3 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.44'deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 416 adam/gün ile projenin 90, 91, 93 ve 98. günlerinde olmuştur.

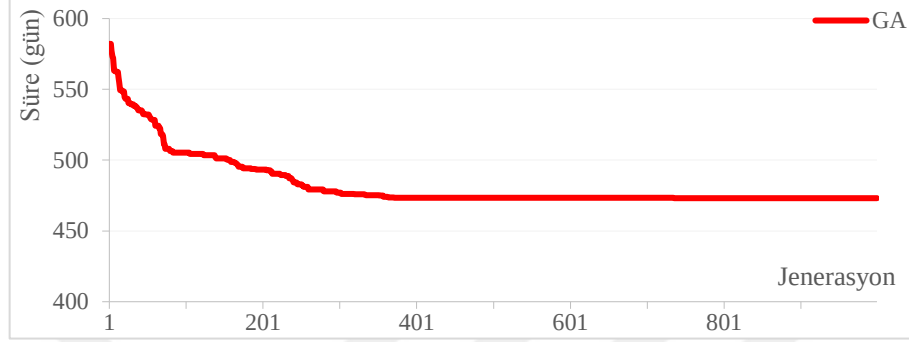


Şekil 4.44: Kapasite 3 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 2 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

4.3.2.4. Kapasite 4'e Göre Çözüm

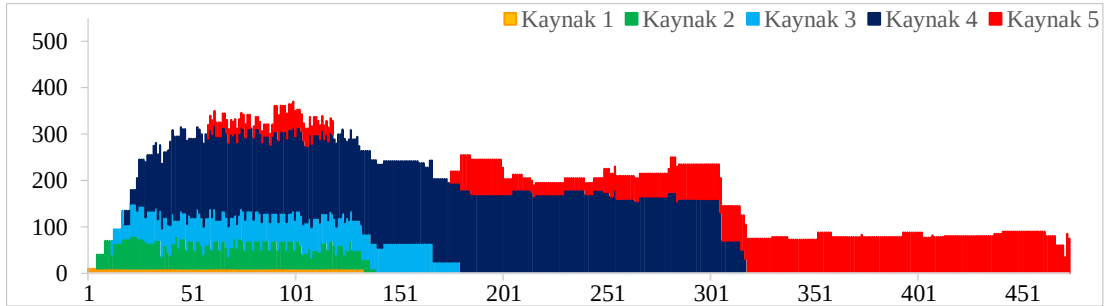
274, 299, 300, 301 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %12 oranında 3 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 4'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 582 günden başlamış 473 gün bulunmuştur, (Şekil 4.45).



Şekil 4.45: Kapasite 4 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 2 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

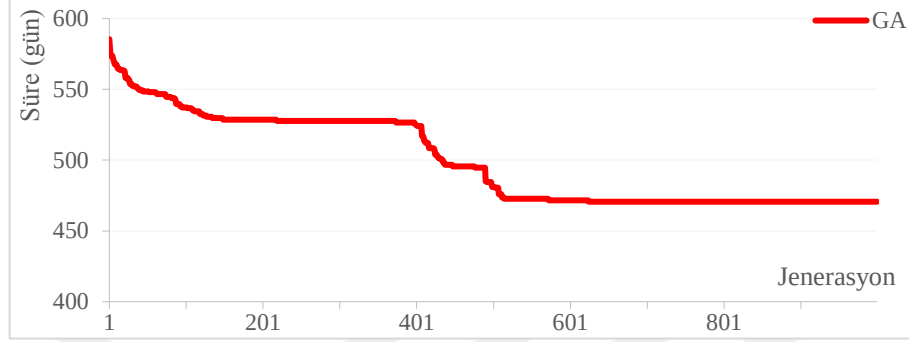
Tablo 3.1'de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 4 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.46'deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 370 adam/gün ile projenin 99. gününde olmuştur.



Şekil 4.46: Kapasite 4 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 2 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

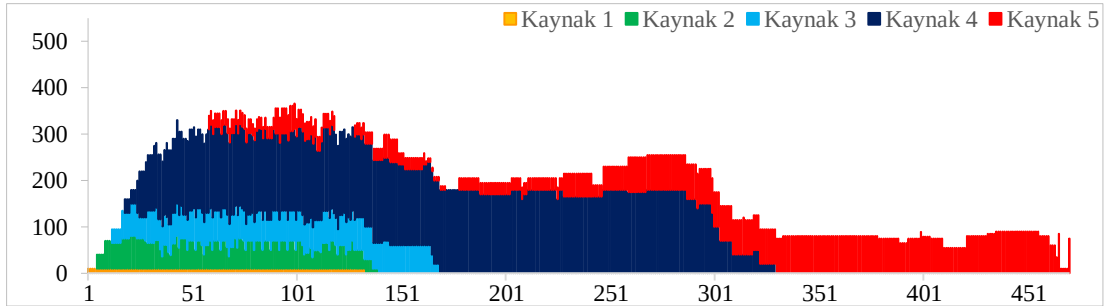
274, 299, 300, 301 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %20 oranında 5 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 4'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 586 günden başlamış 471 gün bulunmuştur, (Şekil 4.47).



Şekil 4.47: Kapasite 4 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 2 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

Tablo 3.1'de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 4 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.48'deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 366 adam/gün ile projenin 99. gününde olmuştur.



Şekil 4.48: Kapasite 4 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 2 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

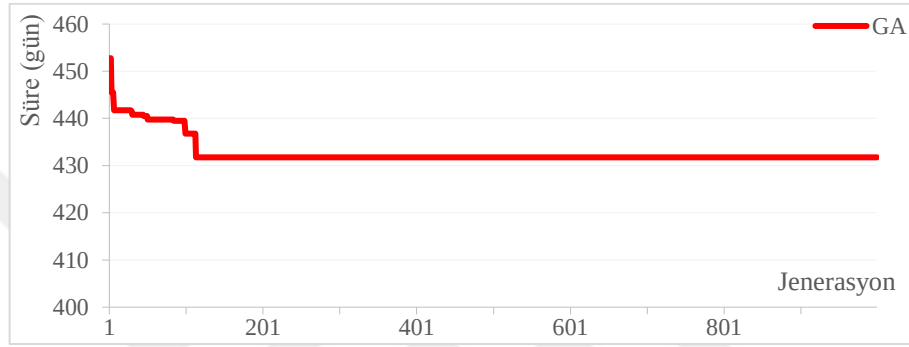
4.3.3. Grup 3 Kritik Faaliyetlere Göre Çözüm

Grup 3 Kritik Faaliyetlerinden; sadece 274, 295, 297, 299, 300 ve 301 nolu kritik faaliyetler için her bir faaliyet için önce %12 oranında 3 kişi ve sonra %20 oranında 5 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir.

4.3.3.1. Kapasite 1'e Göre Çözüm

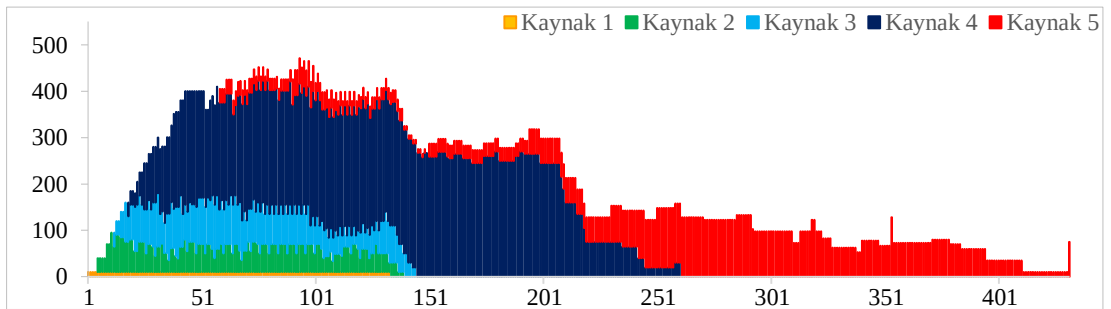
274, 295, 297, 299, 300, 301 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %12 oranında 3 kişi iş gücü arttırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 1'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 453 günden başlamış 432 gün bulunmuştur, (Şekil 4.49).



Şekil 4.49: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 3 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

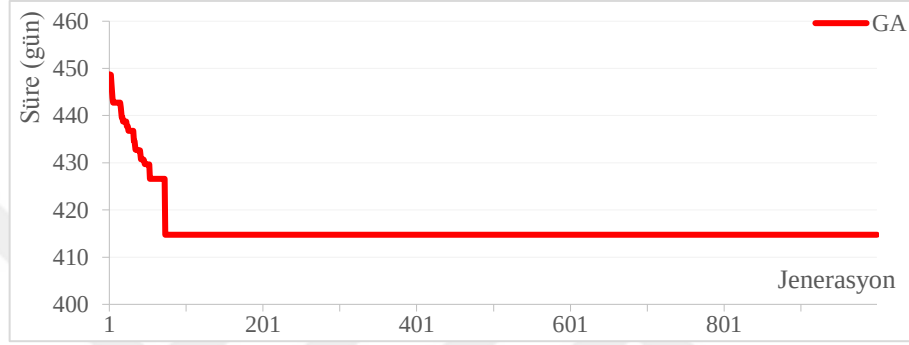
Tablo 3.1'de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 1 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.50'deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 471 adam/gün ile projenin 93. gününde olmuştur.



Şekil 4.50: Kapasite 1 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 3 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

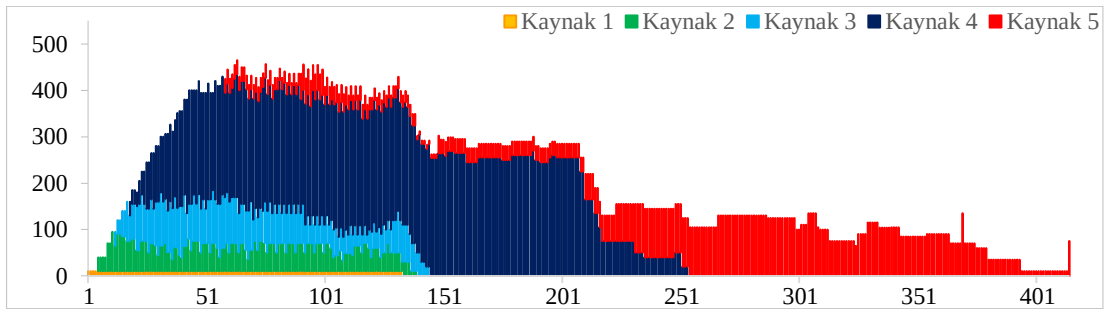
274, 299, 300, 301 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %20 oranında 5 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 1'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 449 günden başlamış 415 gün bulunmuştur, (Şekil 4.51).



Şekil 4.51: Kapasite 1 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 3 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

Tablo 3.1'de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 1 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.52'deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 465 adam/gün ile projenin 63. gününde olmuştur.

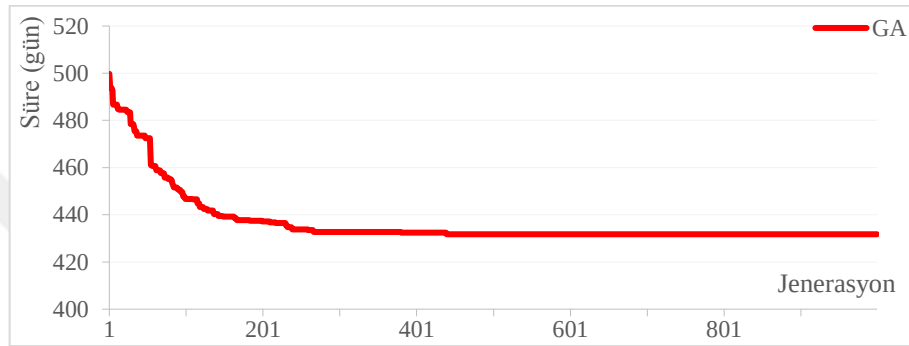


Şekil 4.52: Kapasite 1 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 3 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

4.3.3.2. Kapasite 2'e Göre Çözüm

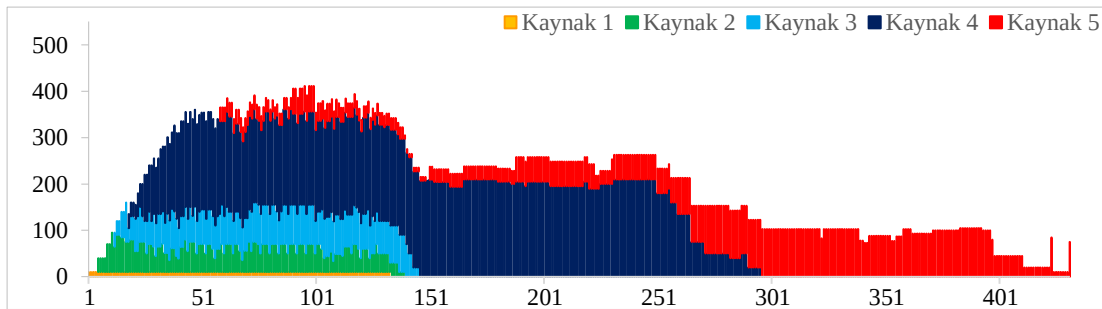
274, 295, 297, 299, 300, 301 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %12 oranında 3 kişi iş gücü arttırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 2'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 500 günden başlamış 432gün bulunmuştur, (Şekil 4.53).



Şekil 4.53: Kapasite 2 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 3 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

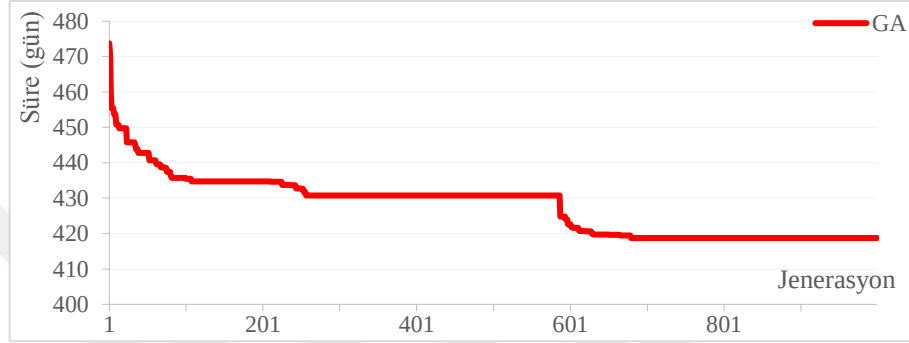
Tablo 3.1'de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 2 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.54'deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 411 adam/gün ile projenin 95, 97, 98 ve 99. günlerinde olmuştur.



Şekil 4.54: Kapasite 2 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 3 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

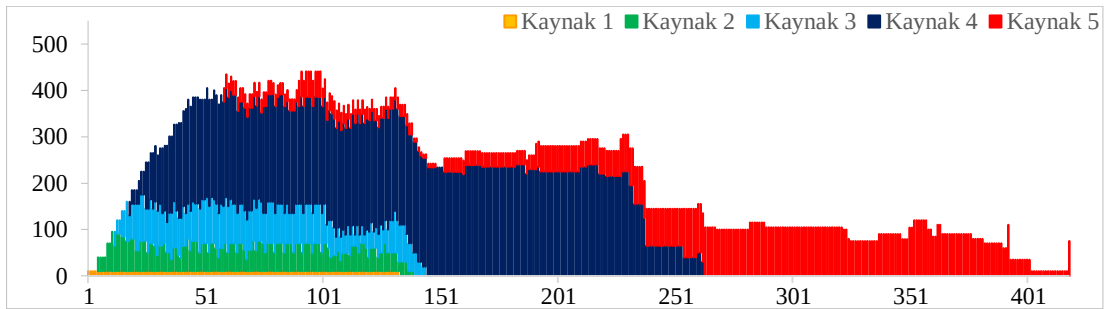
274, 299, 300, 301 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %20 oranında 5 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 2'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 474 günden başlamış 419 gün bulunmuştur, (Şekil 4.55).



Şekil 4.55: Kapasite 2 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 3 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

Tablo 3.1'de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 2 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.56'deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 441 adam/gün ile projenin 91, 93, 94, 95, 97, 98 ve 99. günlerinde olmuştur.

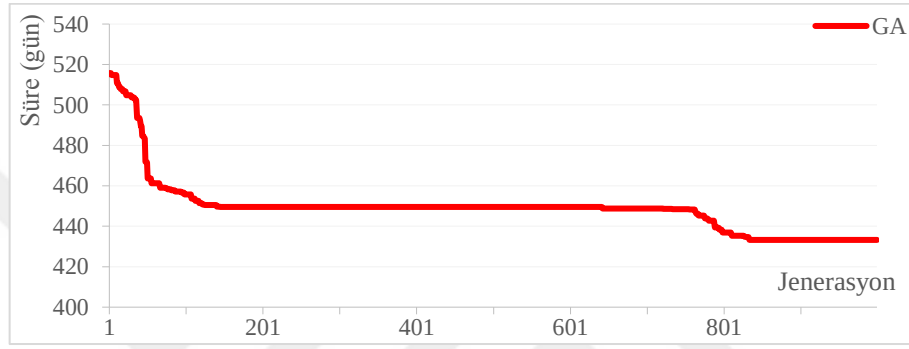


Şekil 4.56: Kapasite 2 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 3 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

4.3.3.3. Kapasite 3'e Göre Çözüm

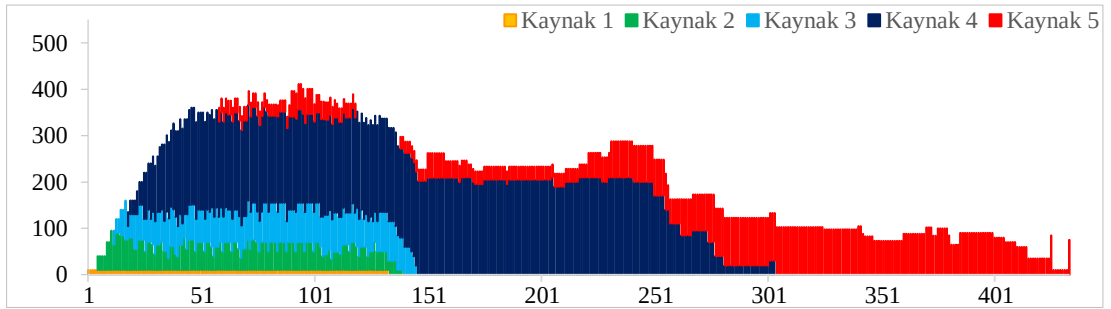
274, 295, 297, 299, 300, 301 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %12 oranında 3 kişi iş gücü arttırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 3'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 521 günden başlamış 433 gün bulunmuştur, (Şekil 4.57).



Şekil 4.57: Kapasite 3 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 3 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

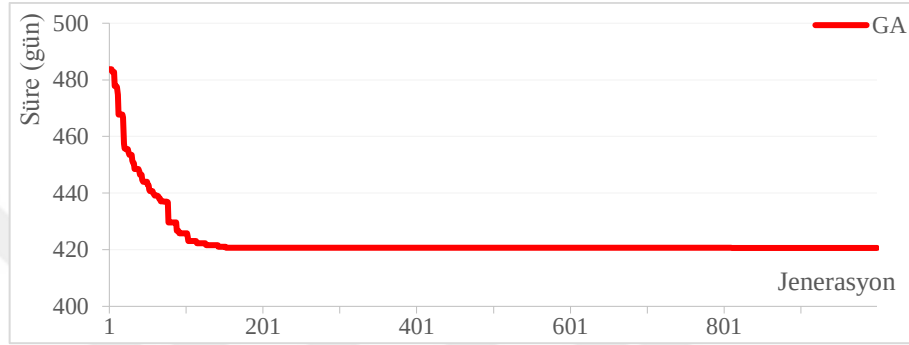
Tablo 3.1'de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 3 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.58'deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 411 adam/gün ile projenin 93 ve 94. günlerinde olmuştur.



Şekil 4.58: Kapasite 3 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 3 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

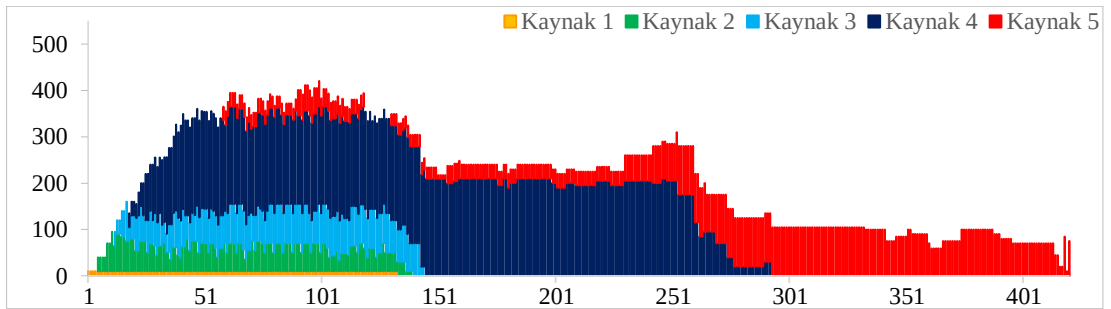
274, 299, 300, 301 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %20 oranında 5 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 3'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 484 günden başlamış 421 gün bulunmuştur, (Şekil 4.59).



Şekil 4.59: Kapasite 3 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 3 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

Tablo 3.1'de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 3 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.60'deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 420 adam/gün ile projenin 99. gününde olmuştur.

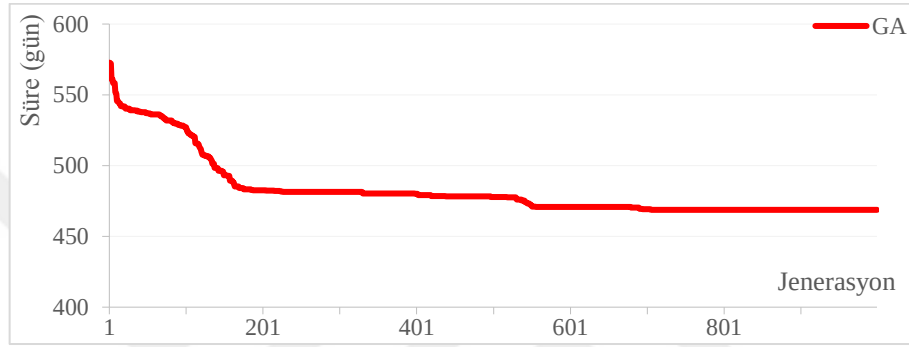


Şekil 4.60: Kapasite 3 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 3 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

4.3.3.4. Kapasite 4'e Göre Çözüm

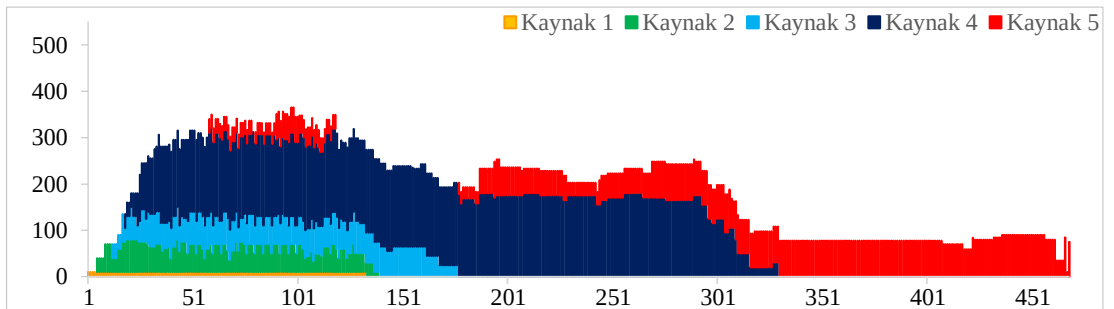
274, 295, 297, 299, 300, 301 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %12 oranında 3 kişi iş gücü arttırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 4'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 563 günden başlamış 469 gün bulunmuştur, (Şekil 4.61).



Şekil 4.61: Kapasite 4 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 3 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

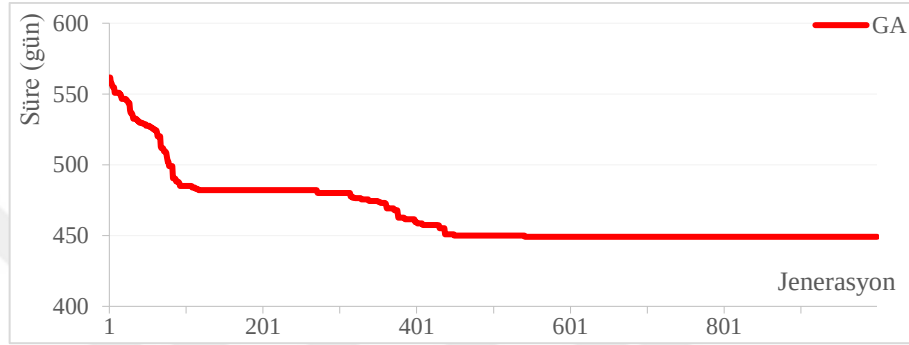
Tablo 3.1'de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 4 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.62'deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 365 adam/gün ile projenin 97 ve 98. günlerinde olmuştur.



Şekil 4.62: Kapasite 4 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 3 kritik faaliyetlerinde 3 kişi kaynak yükleme).

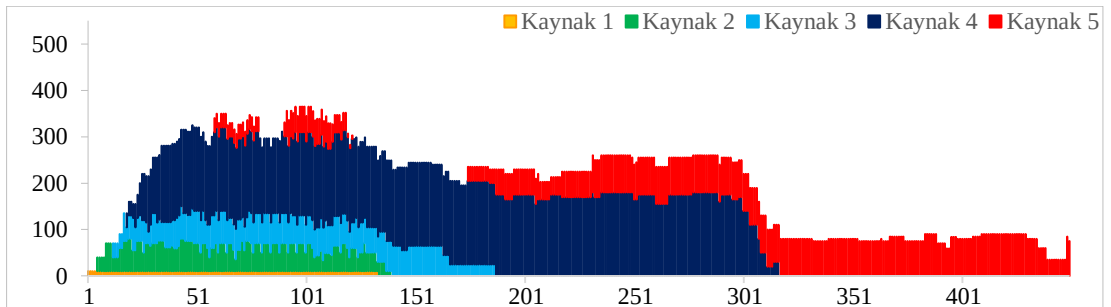
274, 299, 300, 301 nolu kritik faaliyetlerde her bir faaliyet için önce %20 oranında 5 kişi iş gücü artırılarak çözüm üretilmiştir. Buna göre:

Tersanenin Kapasite 4'e göre Genetik Algoritma ile yapılan çözüm sonucunun en iyi yerel değeri 1000 jenerasyon ile oluşturulmuş ve 1. Jenerasyon 562 günden başlamış 449 gün bulunmuştur, (Şekil 4.63).



Şekil 4.63: Kapasite 4 kısıtı için GA en iyi yerel değeri (grup 3 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

Tablo 3.1'de verilen iş istasyonlarındaki kaynakların dağılımı dikkate alındığında, tersanenin kapasite 4 kısıtına göre Genetik Algoritma ile proje süresi boyunca kullanmış olduğu kaynak dağılımı diyagramı Şekil 4.64 Şekil 4.2'deki gibidir. Proje boyunca en fazla kaynak kullanımı 365 adam/gün ile projenin 95, 97, 98, 99, 101 ve 102. günlerinde olmuştur.



Şekil 4.64: Kapasite 4 kısıtı için GA kaynak grafiği (grup 3 kritik faaliyetlerinde 5 kişi kaynak yükleme).

4.4. KKPÇP ÇÖZÜM SÜRELERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRMESİ

Bulanık süre ortamında genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgelemesi metodunun uygulandığı gemi blok inşa projesinden elde edilen çözümlerde, projelerin farklı kapasitelerine göre olan çözüm kümesi Tablo 4.1’de verilmiştir.

Çözüm kümesinde oluşan proje tamamlama süreleri sonuçlar üzerine değerlendirildiğinde:

Projenin normal tamamlanma süresini, kaynak kısıtı olmaksızın tamamlanma süresi 462 gündür.

Senaryo A: Normal Proje Programlama; bu çözüm kümesindeki çözümlerin, tersanenin 1, 2 ve 3 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin aynı değerde, 462 gün olduğu ve tersanenin kapasitesinin kademeli azalmasına rağmen proje tamamlanma süresinde bir artış olmamıştır. Ancak tersanenin 4 nolu kapasitesine göre olan çözümde proje tamamlanma süresinde 20 günlük bir artış olarak 482 gün olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 4.1: Çözüm sürelerinin karşılaştırılması.

		1	2	3	4
		Kapasite	Kapasite	Kapasite	Kapasite
		645 kişi/gün	570 kişi/gün	495 kişi/gün	420 kişi/gün
A	Senaryo A: Normal Proje Programlama	462 gün	462 gün	462 gün	482 gün
B	Senaryo B: WS 04 (Ön Panel Üretim) ve WS 05 (Panel Üretim) istasyonlarına %20 işgücü artırma	461 gün	461 gün	461 gün	473 gün
C	Senaryo C: 295 ve 297 numaralı kritik faaliyetlerde 3 kişi (%12) artırma	445 gün	445 gün	445 gün	456 gün
D	Senaryo D: 274, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 3 kişi (%12) artırma	445 gün	448 gün	449 gün	473 gün
E	Senaryo E: 274, 295, 297, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 3 kişi (%12) artırma	432 gün	432 gün	433 gün	469 gün
F	Senaryo F: 295 ve 297 numaralı kritik faaliyetlerde 5 kişi (%20) artırma	436 gün	436 gün	436 gün	456 gün
G	Senaryo G: 274, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 5 kişi (%20) artırma	441 gün	441 gün	443 gün	471 gün
H	Senaryo H: 274, 295, 297, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 5 kişi (%20) artırma	415 gün	419 gün	421 gün	449 gün

Senaryo B: WS 04 (Ön Panel Üretim) ve WS 05 (Panel Üretim) istasyonlarına %20 işgücü artırma; bu çözüm kümesindeki çözümlerin, tersanenin 1, 2 ve 3 nolu kapasitesinde proje

tamamlanma süresinin aynı değerde, 461 gün olduğu ve tersanenin kapasitesinin kademeli azalmasına rağmen proje tamamlanma süresinde bir artış olmamış ve kaynak artırımı yapılmasına rağmen projenin süresindeki kısalma 1 gün olmuştur. Ancak tersanenin 4 nolu kapasitesine göre olan çözümde proje tamamlanma süresinde 11 günlük bir artış olarak 473 gün olarak gerçekleşmiştir.

Senaryo C: 295 ve 297 numaralı kritik faaliyetlerde 3 kişi (%12) arttırma; bu çözüm kümesindeki çözümlerin, tersanenin 1, 2 ve 3 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin aynı değerde, 445 gün olduğu ve tersanenin kapasitesinin azalmasına rağmen proje tamamlanma süresinde bir artış olmamıştır. Bu faaliyetlerdeki kaynak miktarının arttırılması sonucunda projenin tamamlanma süresi, 17 gün kısalmıştır. Ancak tersanenin 4 nolu kapasitesine göre olan çözümde proje tamamlanma süresinde 6 gün azalarak 456 gün olarak gerçekleşmiştir.

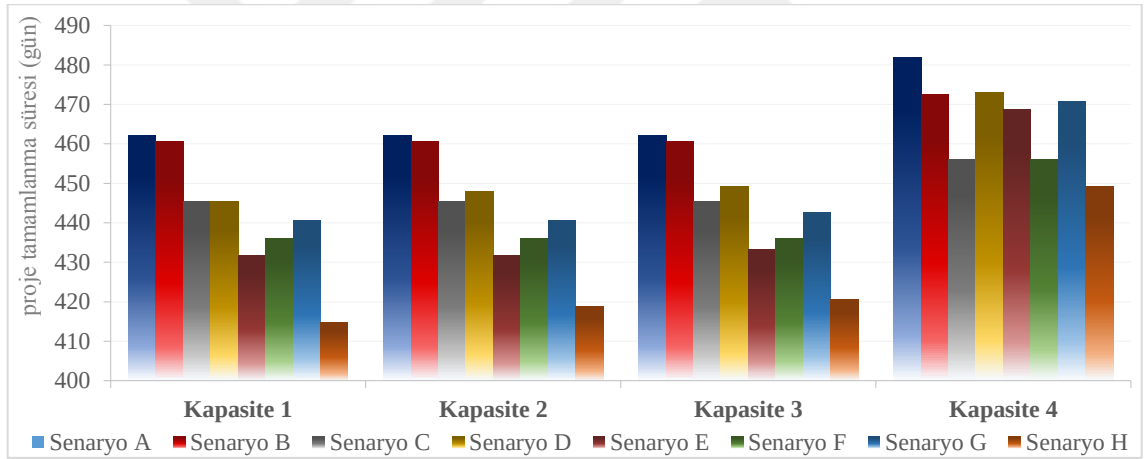
Senaryo D: 274, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 3 kişi (%12) arttırma; bu çözüm kümesindeki çözümlerin; tersanenin 1 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin 17 gün azalarak 445 gün olduğu, tersanenin 2 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin 14 gün azalarak 448 gün olduğu, tersanenin 3 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin 13 gün azalarak 449 gün olduğu ve ancak, tersanenin 4 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin 11 gün artarak 473 gün olarak gerçekleşmiştir.

Senaryo E: 274, 295, 297, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 3 kişi (%12) arttırma; bu çözüm kümesindeki çözümlerin; tersanenin 1 ve 2 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin 30 gün azalarak 432 gün olduğu, tersanenin 3 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin 29 gün azalarak 433 gün olduğu ve ancak, tersanenin 4 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin 7 gün artarak 469 gün olarak gerçekleşmiştir.

Senaryo F: 295 ve 297 numaralı kritik faaliyetlerde 5 kişi (%15) arttırma; bu çözüm kümesindeki çözümlerin; tersanenin 1, 2 ve 3 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin 26 gün azalarak 436 gün ve ancak, tersanenin 4 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin 6 gün azalarak 456 gün olarak gerçekleşmiştir.

Senaryo G: 274, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 5 kişi (%15) arttırma; bu çözüm kümesindeki çözümlerin; tersanenin 1 ve 2 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin 21 gün azalarak 441 gün olduğu, tersanenin 3 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin 19 gün azalarak 443 gün olduğu ve ancak, tersanenin 4 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin 9 gün artarak 471 gün olarak gerçekleşmiştir.

Senaryo H: 274, 295, 297, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 5 kişi (%15) arttırma; bu çözüm kümesindeki çözümlerin; tersanenin 1 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin 47 gün azalarak 415 gün olduğu, tersanenin 2 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin 43 gün azalarak 419 gün olduğu, tersanenin 3 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin 41 gün azalarak 421 gün olduğu ve ancak, tersanenin 4 nolu kapasitesinde proje tamamlanma süresinin 13 gün azalarak 449 gün olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.65: Proje tamamlanma sürelerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.65’de Tersanenin 1, 2 ve 3 numaralı kapasitelerindeki proje tamamlanma süreleri, normal şartlardaki sınırsız kaynak ile proje tamamlanma süresine eşit olup, kaynak işgücü artırımını ile yapılan çözümlerin oluşturduğu kümelerdeki gemi blok üretim proje tamamlanma süreleri süreyi aşmadan daha düşük sürede çözümler sunmuştur. Ancak, kaynak işgücü artırımının yapıldığı fakat her koşulda gemi blok üretim proje tamamlanma süresinin azalmamış olan tersanenin kapasitesi 4’tür. Dolayısıyla, tersanenin belirli oranlarda kademeli olarak azaltılarak elde edilen 4 farklı kapasiteden daha fazla kapasite sayısı arttırılması durumunda ise kaynak yetersizliğinden dolayı projelerin tamamlanma sürelerinde daha çok artış yaşanacaktı.

4.5. KKPÇP ÇÖZÜMÜNDE TERSANENİN OPTİMUM KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmada farklı tersane kapasitelerine göre, normal ve kaynak yüklemeler ile elde edilen çözümler sonucunda bir çözüm kümesi elde edilmiştir.

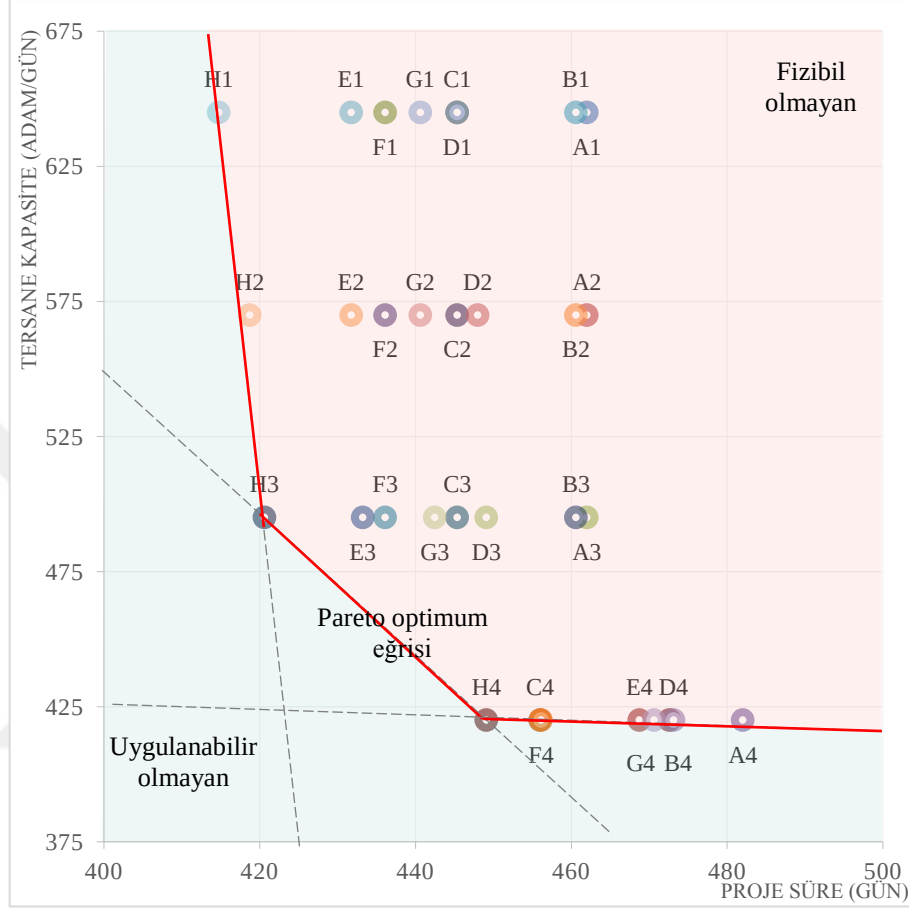
Uygulamada kullanılan tersanenin 4 farklı kapasite durumu dikkate alınarak çözümü gerçekleştirilmiştir. Kapasite 1’de üretim yapan tersane, belirli oranlarda tersanenin işgücü kaynak kapasite miktarı kademeli olarak azaltılarak 4 farklı işgücü kapasite oluşturulmuştur. Her bir farklı kapasite için ayrı ayrı genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi çözülmüştür ve sonuçlar Pareto optimumu temelinde irdelenerek sonuçlar yorumlanmıştır.

Ekonomist Vilfredo Pareto (1848–1923) tarafından geliştirilen Pareto optimumu; bir x durumunun, yalnızca bir x durumuna hiç kimsenin y 'yi tercih edemeyeceği ve en azından x değerinin kesinlikle tercih edilmesi durumunda, yalnızca bir duruma varıldığı takdirde, x durumunun Pareto verimsiz (veya en uygun olmayan) olduğu söylenir. Pareto optimumu kavramı, daha verimli veya daha güvenilir bir seçeneği tercih etmesini veya birinin durumunu nispeten iyileştirdiğini varsayar. Pareto optimumu, eğer bir çözüm seçeneğinin artırılması veya daha iyi duruma getirilmesi için bir başka çözümün durumunda azalma olmadan yapılamıyorsa bu durum Pareto optimumu olarak adlandırılır, (Chinchuluun ve diğ., 2008).

Çalışmada, elde edilen çözümlerden oluşan çözüm kümesinde optimal bir çözüm sunabilmek için Pareto optimumu ile değerlendirilebilir. Dolayısıyla, araştırma ile elde edilen çözümlerin değerleri, Pareto optimumu eğrisini ayrıca Pareto sınırını göstermektedir. Bu Pareto değerleri, Tersanenin kapasiteleri kısıtı ile bulanık süre ortamında genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgelemesi sonucu elde edilen proje tamamlanma sürelerinin oluşturmuş olduğu çözümlerdir. Bu çözüm noktaları, proje tamamlanma süreleri ve tersanenin sahip olduğu kapasitesi çerçevesinde geliştirilmiştir. Çok amaçlı bu çözüm kümesi *trade off* bakışıyla değerlendirilmelidir.

Şekil 4.66’da tersane kapasitesi ve proje tamamlanma sürelerinden oluşan 32 adet farklı durumun değerlendirilmesinde Pareto optimal konveks çözüm kümesi elde edilmektedir. Buna

göre bu konveks Pareto çizgisinin üzerinde olmayıp içeride kalan bölgedeki çözümler optimal çözüm olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.66: Pareto optimum eğrisi ve kapasite-süre çözüm kümesi.

Pareto optimum eğrisinde bulunan çözümler ise H1, H3, H4 ve F4 ile ifade edilen çözümlerdir. Dolayısıyla optimum çözüm bu sınırda aranmalıdır. Bu çözümler incelendiğinde:

Senaryo H1 (274, 295, 297, 299, 300, 301 kritik faaliyetlerde 5 kişi arttırma), tersanenin 1 nolu 645 adam/gün kapasitesinde projenin tamamlanma süresi 415 gün olmaktadır. Pareto optimum konveks eğrisinde yer alan en kısa süreye ve en çok kapasite arzına sahip olan çözümdür.

Senaryo H3 (274, 295, 297, 299, 300, 301 kritik faaliyetlerde 5 kişi arttırma), tersanenin 3 nolu 495 adam/gün kapasitesinde projenin tamamlanma süresi 421 gün olmaktadır. Pareto optimum konveks eğrisinde yer alan optimum çözümlerden biridir.

Senaryo H4 (274, 295, 297, 299, 300, 301 kritik faaliyetlerde 5 kişi arttırma), tersanenin 4 nolu 420 adam/gün kapasitesinde projenin tamamlanma süresi 449 gün olmaktadır. Pareto optimum konveks eğrisinde yer alan optimum çözümlerden biridir.

Senaryo F4 (295, 297 kritik faaliyetlerde 5 kişi arttırma), tersanenin 4 nolu 420 adam/gün kapasitesinde projenin tamamlanma süresi 456 gün olmaktadır. Pareto optimum konveks eğrisinde yer alan en uzun süreye ve en az kapasite arzına sahip olan çözümdür.

Ayrıca H3 ve H4 arasındaki mukayese ise, H3'te proje tamamlanma süresi 421 gün ve tersane kapasitesi 495 adam/gün iken, H4'te ise proje tamamlanma süresi 449 gün ve tersane kapasitesi 420 adam/gün değerindedir.

Ayrıca, bu konveks Pareto çizgisinin üzerinde olmayıp içeride kalan bölgedeki çözümler optimal çözüm olmamasına rağmen bu çözümlerin bir tercih olup olmaması tersanenin değerlendirmesinde olacaktır.

Tablo 4.2'de, tersanenin farklı kapasitelere göre proje tamamlanma süreleri, bu sürelerin projenin normal koşullarda tamamlanması halindeki süre farkları, her bir çözümdeki tersane kapasitesi ile bunların ilgili çözümdeki tersanenin günlük kaynak arz miktarları bulunmaktadır. Ayrıca, bu tersanedeki kapasitelere göre oluşan çözümlerin işçilik ücret değerleri bulunmaktadır.

Projenin gecikmesi ile oluşan ek maliyet artarken, erken tamamlanması durumunda maliyette kazanımlar olacaktır. Tersane kapasitesinden ayrılan kaynak miktarı azaldıkça bu kazanç bir noktaya kadar artacaktır. Tersanenin senaryo A4, B4, D4, E4 ve G4 çözümlerinde değer kazanımı olmamakta kayıp olmaktadır. Ayrıca, senaryo A1, A2 ve A3 çözümlerinde kazanım veya kayıp olmamaktadır. Diğer çözümlerde kazanımlar olmaktadır. En büyük değer kaybı tersanenin 4 numaralı kapasitesinde senaryo A4'de olmaktadır. En büyük değer kazancı ise tersanenin 1 numaralı kapasitesinde senaryo H1'de olmaktadır

Tablo 4.2: Çözüm değerleri analizi.

Senaryo Çözüm	Proje tamamlanma Süresi	Tersane kapasite (Adam/Gün)	Tersane kapasite (Adam.Gün)	Kaynak kısıtı olmadan tersane kapasite (Adam.Gün)	Kaynak kısıtı olmadan proje pün Fark	Tersane kapasite fark (Adam.Gün)	Kazanılan değer (USD)
A1	462	645	297.990	297.990	0	0	0
A2	462	570	263.340	263.340	0	0	0
A3	462	495	228.690	228.690	0	0	0
A4	482	420	202.440	194.040	20	8.400	-560.000
B1	461	645	297.103	297.990	-1	-887	59.125
B2	461	570	262.556	263.340	-1	-784	52.250
B3	461	495	228.009	228.690	-1	-681	45.375
B4	473	420	198.503	194.040	11	4.463	-297.500
C1	445	645	287.267	297.990	-17	-10.723	714.875
C2	445	570	253.864	263.340	-17	-9.476	631.750
C3	445	495	220.461	228.690	-17	-8.229	548.625
C4	456	420	191.520	194.040	-6	-2.520	168.000
D1	445	645	287.267	297.990	-17	-10.723	714.875
D2	448	570	255.360	263.340	-14	-7.980	532.000
D3	449	495	222.317	228.690	-13	-6.373	424.875
D4	473	420	198.713	194.040	11	4.673	-311.500
E1	432	645	278.479	297.990	-30	-19.511	1.300.750
E2	432	570	246.098	263.340	-30	-17.243	1.149.500
E3	433	495	214.459	228.690	-29	-14.231	948.750
E4	469	420	196.875	194.040	7	2.835	-189.000
F1	436	645	281.301	297.990	-26	-16.689	1.112.625
F2	436	570	248.591	263.340	-26	-14.749	983.250
F3	436	495	215.882	228.690	-26	-12.808	853.875
F4	456	420	191.573	194.040	-6	-2.468	164.500
G1	441	645	284.203	297.990	-21	-13.787	919.125
G2	441	570	251.156	263.340	-21	-12.184	812.250
G3	443	495	219.038	228.690	-20	-9.653	643.500
G4	471	420	197.663	194.040	9	3.623	-241.500
H1	415	645	267.514	297.990	-47	-30.476	2.031.750
H2	419	570	238.688	263.340	-43	-24.653	1.643.500
H3	421	495	208.209	228.690	-41	-20.481	1.365.375
H4	449	420	188.633	194.040	-13	-5.408	360.500

Tersanede ücret = 30 TRY/Saat, 1 USD = 3,60 TRY

4.6. KKPÇP AÇISINDAN DEĞERLENDİRMESİ

Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi kapsamında, bu çalışma tersanede ki projelerin blok inşası yapılan gemilerin tersane açısından daha düşük veya optimal kapasite ortamında çözümler sunmaktadır. Kaynakların fazla olduğu durumlarda işletmeler açısından sorun olmamasına karşın rekabet ortamında veya kaynak kısıtının az olduğu durumlarda bu durum

daha çok önem arz etmektedir. KKPC problemleri minimum maliyet, minimum süre ve maliyet-zaman optimizasyonu üzerine amaç fonksiyonları bulunmaktadır.

Tersanenin tüm kapasitesinde WS 02 (kesim) iş istasyonunda akış süresi (*flow time*) değerleri aynı olmaktadır. Bunun nedeni de, bu istasyon tam kapasite ile çalışmakta ve bu istasyonda atıl işgücü kaynağı bulunmamaktadır. Ayrıca bu istasyonda en az süren işlem (*shortest processing time*) değerine sahiptir. Diğer üretim iş istasyonlarından, WS 09 (kızak) üretim iş istasyonunun kapasitenin azalmasına paralel olarak sahip olunan en yüksek akış süresi (*flow time*) değerine sahip istasyondur. Buna mukabil tersanenin kapasitesinin azaldığı durumda ise yine en yüksek değere sahip olmakta aynı zamanda bu üretim iş istasyonunda tersanenin 4 nolu kapasitesinde iş akışı kesikli durumda olmaktadır. Her iki geminin blok inşa süreleri ve iş istasyonlarındaki durumu dikkate alındığında blok inşası yapılan B gemisinin akış süresi (*flow time*) değeri A gemisinden daha uzun bir süre olmaktadır.

Çözüm kümesinde yer alan çözümlerin proje projenin blok inşa süresine (*makespan*) göre değerlendirildiğinde; her iki projenin normal koşullarda tamamlanma süresinin 462 gün olduğu, bu süreden fazla sürede olan çözümlerde süreler uzamakta projenin blok inşa süresi (*makespan*) olarak sonuçları normalden daha uzun süreli olmaktadır. En uzun 482 gün ve en kısa 415 gün arasında projenin tamamlanma süreleri değişmektedir. Buna göre tersanedeki kapasitenin azalmasıyla projenin süresi uzun olmaktadır. Tersanenin 1, 2 ve 3 numaralı kapasiteleri için normal sürede ya da daha kısa sürede projelerin tamamlanması gerçekleşirken, tersanenin 4 numaralı kapasitesine göre projenin tamamlanma süresi yani blok inşa süresi (*makespan*) uzamaktadır. Bu durum diğer çözüm alternatifleri içinde de aynı durum söz konusu olmuştur.

Projenin tamamlanma süresi normal tamamlanma süresinden uzun olduğunda bu çözüm kümesindeki çözümler geç kalma (*lateness*) 0'dan büyük olmakta ve gecikme (*tardiness*) oluşmaktadır. Kaynak kısıtının azalması ile bu gecikme (*tardiness*) miktarında artış gözükmemektedir. Çözüm kümesinde oluşan en büyük gecikme (*tardiness*) miktarı tersanenin kapasite 4 numaralı ve normal çözümle elde edilmiş olan çözümdür. Tersanenin 4 numaralı kapasitesine göre diğer çözüm durumları için bu gecikme (*tardiness*) değeri daha düşük olmaktadır. Buna mukabil, tersanenin 1, 2 ve 3 numaralı kapasitelerinde ise gecikme (*tardiness*) oluşmamakta bunun yetine çözüm kümesinde projenin tamamlanması normal tamamlanma

süresinden önce olduğundan dolayı geç kalma (*lateness*) 0'dan küçük olmakta ve proje erken olma (*earliness*) durumu gözlenmektedir. Çözüm kümesindeki projelerin tamamlanma süreleri 415 güne kadar azaldığından dolayı en küçük değere sahip erken olma (*earliness*) durumu H1 ile oluşan çözüm kümesidir. Tersanenin 4 numaralı kapasitesinde C4, F4 ve H4 ile ve tersanenin diğer kapasitelerinde yapılan çözümlerde erken olma (*earliness*) durumu oluşmaktadır.

Çözüm kümesinde yer alan tüm çözümlerde projenin teslim tarihi (*due date*) değerleri için bitirme tarihi (*completion time*) minimize olması amaçlanmıştır. Bu tersanenin 1, 2 ve 3 nolu kapasitelerinde bitirme tarihi (*completion time*) projenin tamamlanma süresinden daha önce oluşmaktadır. Ancak tersanenin 4 numaralı kapasitesinde bu bitirme tarihi (*completion time*), projenin tamamlanma süresinden daha geç bir gecikme (*tardiness*) değer ile projenin tamamlanması gerçekleşmektedir.

Blok inşa sürecinde geciken projelerin özellikle tersanenin 4 numaralı kapasitesinde, B projesinin teslim tarihi (*due date*) zamanında projenin tesliminin gecikmesinin önüne geçmek için kritik oran (*critical ratio*) ile değerlendirme yapılarak tercih edilen ya da erkenden tamamlanması gereken projenin tamamlanması öne alınabilir. Ancak bu çalışmada B projesinin tamamlanma süresi A projesinden daha geç olmakta ve böyle bir teslim önceliğinin olması bu çalışma için ihmal edilmiştir.

Blok inşası yapılan gemi projelerin ilk gelen ilk hizmeti alır (*first come first served*) göre üretim yapıldığında üretimdeki kaynak dağılım grafiği erken başlamaya göre dağılacak ve kaynaklar tersanenin kapasitesine göre erken başlamaya göre bir yığılım gösterecektir. Geleneksel yöntemlerin kaynak dağılım önerisi genel olarak bu şekilde işlemektedir ve projenin bütününe dikkate almamaktadır. Fakat Genetik Algoritma ile yapılan çözümlerde kaynak dağılımı daha farklı olarak çizelgelemenin bütünü değerlendirilerek farklı olmakta ve daha optimal sonuçlar üretmektedir.

Projelerde tanımlanan kaynaklar yenilebilir ve yenilemez olarak iki farklı kategoride sınıflandırılır. Bu çalışmadaki kullanılan kaynakların yenilebilir kaynak olarak dikkate alınmıştır. Bu kaynaklar kendi içinde kullanılan iş İstasyonlarına göre sınıflandırılmış ve tersanede bu işgücü kaynağı her bir iş istasyonu için tek tip olarak seçilmiştir.

Proje parametreleri; faaliyet süresi, faaliyet kaynakları, faaliyet öncülleri, kaynak kısıtları çerçevesinde gerçekleşen çözümlerde kaynak kısıtlarında ve faaliyet kaynaklarında değişiklik söz olmuştur. Tersanenin 1, 2 ve 3 nolu kapasitelerindeki çözümlerinde oluşan kaynak grafiği projenin normal sürede tamamlanması değeri olan blok inşa süresi (*makespan*) benzer değerdedir. Ancak, tersanenin 4 nolu kapasitesinde, tersanenin sağlamış olduğu işgücü arzının azalmasıyla beraber bu kaynak dağılım grafiği değişmekte ve projenin blok inşa süresi (*makespan*) değerinde artış görülmektedir. Dolayısıyla oluşan kaynak dağılım grafiği projenin bitirme tarihi (*completion time*) süresine doğru bir yayılım göstermektedir.

Verimlilik temelinde bakıldığında kullanılan işgücü kaynağın verimli kullanılması tersanelerin rekabetini arttıracak bir unsur olacaktır. Fazladan kaynak tahsisin tersane açısından diğer işlerin önceliğini ve üretimini etkileyeceğinden dolayı kısıtlı kaynak kullanarak üretimi gerçekleştirmek, tersanenin işgücündeki farklı durumlar için risk değerlendirme konusunda proaktif olarak değerlendirme imkanı sunmaktadır.

4.7. GENETİK ALGORİTMA AÇISINDAN DEĞERLENDİRMESİ

Üretim planlama ve yönetim prosesinde, çizelgeleme operasyonları, önemli kritik faaliyetlerden biridir. En iyi çizelgelemeyi bulmak, proje ortamına, performans kriterlerine ve proses kısıtlarına bağlı olarak çok kolay veya zor olabilir. Kaynak kısıtlı proje çizelgelemesinin farklı metotlarla çözülebilmekte ve bunlardan biri de genetik algoritmalar. KKPC problemi “*NP (Non-Polynomial) - Hard in the Strong Sense*” sınıfında yer alan problemlerdir. Sezgisel yaklaşımların, amaç fonksiyonunun optimum çözümler sunmasını garanti etmez iken meta-sezgisel (Genetik Algoritmalar vb.) yöntemlerin daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri kombinasyonlu çözümler sunmasından dolayı, meta sezgisel yöntemlerden biri olan genetik algoritmaların üretmiş olduğu çözümlerin daha kısa sürede ve uygun çözümler sunan yöntemlerin biridir.

Genetik algoritmaların temel nitelikleri olan genetik operatörler bu projenin çözüm kümesini oluşturmak için çaprazlama (*crossover*) ve mutasyon (*mutation*) ve seçim (*selection*) ile oluşturulmaktadır. Projede kullanılan mutasyon oranı %0-%100 arasında farklı değerlerde dikkate alınmış ve en iyi çözüm süresini veren mutasyon oranı %50-%70 arasında alınmıştır. Seçim operatörü ile ilgili olarak, en iyi yerel değeri olan proje tamamlanma süresinde ise %10-

20 arasındaki seçim oranları olmuştur. Projenin ilgili çözümde, global çözüm kümesini ifade eden popülasyon oranı 100-200 arasında seçilmiştir, popülasyon değeri arttıkça problemi oluşturan çözüm kümesi de kombinasyonel olarak büyümekte ve aynı zamanda problemin çözüm süresi de uzamaktadır. Yine genetik algoritmanın durdurmasını da gösteren nesil (*generation*) sayısı projenin süresini ve yerelde bulunacak olan en iyi çözümü de etkilemektedir. Bu proje için tercih edilen nesil sayısı 1.000-2.000 arasında seçilmiş en iyi çözümler 1.000 nesil ile gerçekleşmiştir.

Genetik algoritmalar tek bir çözüm kümesi üzerinden çözüm aramaya çalışarak içinde pek çok çözümü içeren bir popülasyonla çözüm aramaktadır. Mutasyona uğramış seçilen yeni nesillerle bu problem amaçları değişmemekte ve her bir nesilde daha iyi çözüm kümelerinin olması son nesilde en iyi sonuca ulaşmaktadır.

Geleneksel yöntemlerde uygulanan kaynak kısıtlı proje çizelgeleme metodu ilk gelen ilk hizmeti alır (*first come first served*) göre projenin faaliyetleri çizelgelenmekte ve ilgili faaliyetin projenin ilerleyen aşamalarındaki kaynak gereksiniminin nasıl kullanılmasını dikkate almamaktadır. Hâlbuki genetik algoritma ile yapılan kaynak kısıtlı proje çizelgelemede, projenin çizelgelemesini oluşturmak için ilk olarak kritik faaliyetler oluşturulmakta ve geriye kalan faaliyetler rastsal, öncelik kuralına uygun ve her bir faaliyetin çizelgelenmesi koşulları çerçevesinde projenin bütününe dikkate alarak bir çizelgeleme seçilen çözümler kadar popülasyonu oluşturmakta, daha sonra belirlenen nesil sayısına ulaşana kadar en iyi çözüm değerleri genetik operatör kullanılarak aranmaktadır.

En basit yapıdaki bir proje dahi olsa genetik algoritmaların çözümü için bilgisayar gerekmektedir. Ayrıca algoritmanın dizaynı kullanılan yöntemler, kodlama ve oluşturma, popülasyon oluşturma, genetik operatörler olan çaprazlama yöntemi, mutasyon yöntemi, seçim yöntemi ve uygunluk fonksiyonu bunun yanında genetik parametreler popülasyon büyüklüğü, jenerasyon sayısı, mutasyon oranı ve proje faaliyet sayısı vb. genetik algoritmanın çözüm süresini etkilemektedir.

Projenin faaliyetlerine kaynak yüklenmesi ve bulanık mantık süreli faaliyetlerin kullanılması genetik algoritmanın işlevselliği açısından bir engel taşımadığı görülmüştür.

4.8. BULANIK SÜRELER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bulanık kümelerin kesin kümelere göre en önemli farkları, üyelik fonksiyonlarının kümeye aitlik derecelerinin her bir üyesinde farklı bir ağırlıkta olmasıdır. Dolayısıyla, bulanık sürelerin en önemli özelliği öngörülemeyen ve belirsizlik ortamlarında geniş kümede çözüm sunması karar vericiler için deterministik ortamlardaki karar verme süreçlerinden daha esnek bir imkan ve çözüm kümesi sunmaktadır.

Proje ve Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemindeki faaliyetlerin sürelerinin atanmasındaki bulanık süreli yaklaşımın, deterministik süreli yaklaşımlara göre daha fazla esneklik sunmakta olup faaliyetlerde olası risklerin değerlendirilmesi konusunda daha geniş bir bakış açısı ve olası sürelerdeki dalgalanmalara karşı daha fazla olanak sunmaktadır. Projelerin ilk olarak hayata geçeceği durumlarda kullanılacak olan faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin ve kullanılacak olan kaynakların kesin deterministik olarak bilinmesinin zorlukları değerlendirildiğinde, bu durum daha belirsizlik içeren bir ortam olarak sergilenmektedir. Aynı durum tersanelerde gemilerin inşa için de geçerlidir. Her ne kadar gemiler benzer özelliklere ve aynı üretim kademelerine sahip olmasına karşın, gemilerin kendine ait özelliklerinden ötürü ve ikiz gemiler olarak çok nadir üretilmekte olduğundan dolayı farklı üretim süreçlerine sahip olmakta bu da projelerin özgünlüğünü ve bilinmezliğini arttırmaktadır. Bulanık mantık metoduyla yaklaşım, projelerdeki bu belirsizliğin giderilmesi konusunda ve üstesinden gelinmesine olanak sunmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan (a, b, c, d) yamuk bulanık sürelerinin proje faaliyetlerinde, a en iyimser süreyi, b olası süreyi, c daha olası süreyi ve d en kötümser olası süreyi ifade etmektedir. Dolayısıyla deterministik faaliyet sürelerine göre daha geniş bir faaliyet süreleri içeren küme imkanı sunmaktadır. Burada kullanılan yamuk bulanık faaliyet süreleriyle Genetik Algoritma ile Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi çözümünde bir katkı olarak sunulmuştur.

4.9. KAYNAK ARTIRIMI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmada iki farklı gemi blok inşa projesinin tek bir proje olarak planlanması çerçevesinde çizelgelemesi yapılmıştır. Her iki projede faaliyetlerde kaynak yükleme, artırımı yapılarak projenin sonuçları ve etkilerinin gözlenip değerlendirilmesi amaçlanmıştır. İki farklı yolla kaynak yükleme, artırımı yapılmıştır.

Projelerde kaynak yüklemesi, WS 04 (Ön Panel Üretim) ve WS 05 (Panel Üretim) iş istasyonlarında %20 oranında işgücü kaynak yüklenmesi, artırımı yapılarak uygulanmış ve proje programlanarak çözülmüştür. WS 02 (Kesim) iş istasyonunda CNC tezgâhları olduğundan dolayı iş gücü kaynak artırımı yapılamamakta ve makineler tam kapasite ile çalışmaktadır. WS 04 (Ön Panel Üretim) ve WS 05 (Panel Üretim) iş istasyonlarında kaynak yüklemenin, kesimlerin tamamlanının tekil parçaların birleştirilmesi ve ön panellerin oluşturulmasında olan ve daha geniş bir mekânda daha dağınık olarak veya başka bir yere taşınarak iş yapılabilen bir istasyonda iş yüklenenin daha kolaylıkla yapılacağı gerekçesiyle bu iş istasyonunda uygulanmıştır.

Kaynak yüklemesi sonuçları, proje süresinin kısılması umulanın aksine sadece 1 gün olmuştur. Bunun en temel nedeni gemi blok inşa akışında bu iş istasyonlarındaki faaliyetlerin kritik faaliyetler kapsamında olmadığı, dolayısıyla kaynak yüklemenin sadece 1 gün kadar etkisinin olduğudur. Tersanenin 4 farklı kapasitesinden, 3 tanesinde aynı sonuç çıkmıştır, yalnız tersanenin 4 nolu kapasitesine göre kaynak artırımı sonucu 9 gün daha fazla süre kısılması yaşanmıştır ancak normal projenin tamamlanma süresinden geç bir süredir.

Proje süresinin kısılması için genel olarak projeyi oluşturan kritik faaliyetlerde, kaynak yüklemesi yapılabilecek olan faaliyetlerde müdahale yapılarak gerçekleştirilirken, üretim prosesindeki üretim istasyonlarındaki kaynak yüklemesinin yeterli bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Projenin kritik faaliyetlerinde uygulanan kaynak yüklemesinin ise projenin toplam süresine etki ettiği görülmektedir.

Projenin 295 ve 297 nolu kritik faaliyetlerinde yapılan 3 işgücü kaynak yüklemesi ile proje süresinde, tersanenin 1, 2 ve 3 nolu kapasitelerde 17 gün kısalmıştır. 4 nolu kapasitede proje süresinin kısılması 6 gün olmuştur ancak normal projenin tamamlanma süresinden geç bir süredir. Eğer bu kritik faaliyetlerde 5 işgücü kaynak yüklemesi ile proje süresinde, tersanenin 1, 2 ve 3 nolu kapasitelerde 17 gün kısalmıştır. 4 nolu kapasitede proje süresinin kısılması 6 gün olmuştur ancak normal projenin tamamlanma süresinden geç bir süredir.

Projenin 274, 299, 300 ve 301 nolu kritik faaliyetlerinde yapılan 3 işgücü kaynak yüklemesi ile proje süresinde, tersanenin 1, 2 ve 3 nolu kapasitelerde 17, 14 ve 13 gün arasında kısalmıştır. 4 nolu kapasitede proje süresinin kısalması 6 gün olmuştur ancak normal projenin tamamlanma süresinden geç bir süredir. Eğer bu kritik faaliyetlerde 5 işgücü kaynak yüklemesi ile proje süresinde, tersanenin 1, 2 ve 3 nolu kapasitelerde 21, 21 ve 19 gün arasında kısalmıştır. 4 nolu kapasitede proje süresinin kısalması 11 gün olmuştur ancak normal projenin tamamlanma süresinden geç bir süredir.

Projenin 274, 295, 297, 299, 300 ve 301 nolu kritik faaliyetlerinde yapılan 3 işgücü kaynak yüklemesi ile proje süresinde, tersanenin 1, 2 ve 3 nolu kapasitelerde 30, 30 ve 29 gün arasında kısalmıştır. 4 nolu kapasitede proje süresinin kısalması 13 gün olmuştur ancak normal projenin tamamlanma süresinden geç bir süredir. Eğer bu kritik faaliyetlerde 5 işgücü kaynak yüklemesi ile proje süresinde, tersanenin 1, 2 ve 3 nolu kapasitelerde 47, 43 ve 41 gün arasında kısalmıştır. 4 nolu kapasitede proje süresinin kısalması 33 gün olmuştur ve normal projenin tamamlanma süresinden 13 gün erken bir süredir.

Dolayısıyla, projenin kritik faaliyetlerinde iş yüklenmesinin yapılabileceği olan faaliyetlerde meydana gelen kaynak yüklemelerinin projenin süresinin tersanenin tüm kapasitesinde proje süresinin kısalmasına olanak sağlamıştır. Buna mukabil, kritik olmayan faaliyetlerde yapılan kaynak artırımının projenin tamamlanma süresinde bir etkisi olmadığı görülmüştür.

4.10. PSPLIB AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Genetik algoritma ile KKPÇP çözümü için pek çok algoritmalar geliştirilmiştir. Bunların mukayesesi algoritmanın başarısını da göstermektedir. Bu amaçla geliştirilen algoritmaların karşılaştırılabilmesi için problem kütüphaneleri kurulmuştur. Oluşturulan kütüphaneden problemlerin çözümlerin bulunmaktadır ve böylece bu sonuçlarla karşılaştırma yapılarak algoritmanın başarısı bir ölçüde ölçülmektedir. Yapılan istatistiksel analizler ile sonuçlar karşılaştırılarak kütüphanedeki sonuçtan ne kadar saptığı ölçülerek algoritmalar derecelendirilmektedir. Bazı problemlerde iyi sonuç veren algoritmalar diğer problemlerde de iyi sonuç veremeyebilir.

Kolish ve Sprecher (1996) tarafından kurulan PSPLib (<http://www.om-db.wi.tum.de/psplib/>), tek ve çok modlu kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin çözüm algoritmaların sonuçlarının kıyaslanabilecek problemlerin olduğu bir kütüphanedir. Bu kütüphanedeki problem ProGen ile oluşturulmuştur. PSPLib proje çizelgeleme için pek çok araştırmacı için iyi bir kaynak sunmaktadır. Kütüphaneden çözümlerin indirilebileceği gibi çözümlerde yüklenmektedir. Bu problem gruplar;

j30 grubu problemler; bu grupta 32 faaliyetli 480 problem bulunmakta ve bu problemler deterministik yöntemler ile çözülebildiğinden optimum sonuçlar bilinmektedir.

j60 grubu problemler; bu grupta 62 faaliyetli 200 problem bulunmakta ve bu problemler deterministik yöntemler ile çözülememektedir çözülebilmeleri dahilinde de çözümlerdeki sapmalar fazla olmaktadır.

j120 grubu problemler; bu grupta 122 faaliyetli 480 problem bulunmakta ve bu problemler deterministik yöntemler ile çözülebildiğinden optimum sonuçlar bilinmektedir.

Bu çalışmada da kullanılan ve başarılı sonuçlar üreten, Sanıç (2014) tarafından geliştirilen algoritmanın en iyi örneklerden biriyle olan karşılaştırılması Tablo 4.3'deki gibidir.

Tablo 4.3: PSPLib sezgisel yöntemlerin performansının karşılaştırılması.

Karşılaştırma Kümesi	Araştırmacı	Sezgisel Yöntem	Çizelgeleme Yöntemi	Üst sınırda Ortalama Sapma (1000 Nesil)
j30	Sanıç,(2014)	GA Random Key	Seri	0,33
	Tormos ve Lova, (2003)	Pişmanlığa dayalı örnekleme çok geçişli	Seri/Paralel	0,23
j60	Sanıç,(2014)	GA Random Key	Seri	0,93
	Tormos ve Lova, (2003)	Pişmanlığa dayalı örnekleme çok geçişli	Seri/Paralel	0,50
j120	Sanıç,(2014)	GA Random Key	Seri	4,74
	Tormos ve Lova, (2003)	Pişmanlığa dayalı örnekleme çok geçişli	Seri/Paralel	0,23

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bir işletme olarak tersaneler doğası gereği birden fazla gemiyi bir proje olarak aynı anda inşa etmektedirler. Gemi üretimi sürecinde kısıtlı olan kaynakların çok fazla kullanımı, faaliyet sayısının çok fazla olduğu hatta alt projelerin olduğu süreçlerde, Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeme Probleminde karşı karşıya kalınan bu tarz çözümü zor olan polinomsal zor problemlerdir.

Bu tarz çözümü zor ve karmaşık olan problemlerin optimal yöntemlerle çözmenin zorluğu aynı zamanda faaliyet sayısının ve kaynak çeşidinin artması bu problemlerin çözümünü de daha da zorlaştırmaktadır. Bu noktada sezgisel yöntemler çözümler sunmakta fakat meta sezgisel yöntemler daha etkin çözümler sunmaktadır. Kaynak kısıtlı proje çizelgelemesinde kullanılan meta sezgisel yöntemlerden biri de Genetik Algoritmalarıdır. Genetik Algoritmaların özelliği olan yeni toplumların en iyi çözümlerin bulunması, zor ve karmaşık olan problemlerin çözülmesinde, alternatiflerin çözümünü yapmadan çözüm bulması Genetik Algoritmaların önemini arttırmaktadır.

Geleneksel yöntemlerde uygulanan kaynak kısıtlı proje çizelgeleme metodu ilk gelen ilk işleme tabi olur (*first come first served*) göre projenin faaliyetleri çizelgelenmekte ve ilgili faaliyetin projenin ilerleyen aşamalarındaki kaynak gereksinimini kullanılmasını dikkate almamaktadır. Hâlbuki genetik algoritma ile yapılan kaynak kısıtlı proje çizelgelemelerinde, projenin çizelgelemelerini oluşturmak için ilk olarak kritik faaliyetler oluşturulmakta ve geriye kalan faaliyetler rastsal, öncelik kuralına uygun ve her bir faaliyetin çizelgelenmesi koşulları çerçevesinde projenin bütününe dikkate alarak bir çizelgeleme için seçilen çözümler kadar popülasyonu oluşturmakta, daha sonra belirlenen nesil sayısına ulaşana kadar en iyi çözüm değerleri genetik operatör kullanılarak aranmaktadır. Bu yönüyle genetik algoritmalar ile verimli çizelgeler oluşturabilmekte ve kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerine etkin bir alternatif sunmaktadır.

Tersanenin kapasiteleri kısıtı ile bulanık süre ortamında genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgelemesi sonucu elde edilen proje tamamlanma sürelerinin oluşturduğu çözüm kümesi Pareto optimumuna göre değerlendirilmiştir. Tersane kapasitesi ve proje tamamlanma sürelerinden oluşan 32 adet farklı durumun değerlendirilmesinde Pareto optimal konveks

çözüm kümesi elde edilmektedir. Buna göre bu konveks Pareto çizgisinin üzerinde olmayıp içeride kalan bölgedeki çözümler optimal çözüm olmadığı görülmektedir. Pareto çizgisi üzerinde olan çözümlerde ise; senaryo H1'de tersane kapasitesi 645 adam/gün ve projenin tamamlanma süresi 415 gün, senaryo H3'de tersane kapasitesi 495 adam/gün ve projenin tamamlanma süresi 421 gün, senaryo H4'de tersane kapasitesi 420 adam/gün ve projenin tamamlanma süresi 449 gün, senaryo F4'de tersane kapasitesi 420 adam/gün ve projenin tamamlanma süresi 456 gün olmaktadır.

Projede, *Ön Panel Üretim* ve *Panel Üretim* istasyonlarında %20 oranında işgücü kaynak yüklemesi yapılarak projenin daha kısa sürede sağlanması açısından yapılan değerlendirmede, projenin tamamlanma süresi 1 gün kısalmıştır. Projenin tamamlanma süresinde kısalma yapılabilmesi için esas olarak kritik faaliyetlerde yapılan kaynak artırımları ile daha başarılı sonuçlar olacağı ve bu bağlamda:

- 295 ve 297 numaralı kritik faaliyetlerde 3 kişi artırma yapılarak tersanenin 495 adam/gün kapasitesi ile projenin tamamlanma süresi 445 günde, eğer 5 kişi artırma yapıldığında 436 günde tamamlanmıştır.
- 274, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 3 kişi artırma yapılarak tersanenin 495 adam/gün kapasitesi ile projenin tamamlanma süresi 449 günde, eğer 5 kişi artırma yapıldığında 443 günde tamamlanmıştır.
- 274, 295, 297, 299, 300 ve 301 numaralı kritik faaliyetlerde 3 kişi artırma yapılarak tersanenin 495 adam/gün kapasitesi ile projenin tamamlanma süresi 433 günde, eğer 5 kişi artırma yapıldığında 421 günde tamamlanmıştır.

Üretim planlama amaçlı olarak yapılan bulanık süre ortamında genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme metodu ile tersanenin gemi inşa projesindeki farklı senaryolara göre oluşturulan çözüm kümesinin Pareto optimum çözümü ile değerlendirilerek optimal tersane kapasiteleri belirlenmiştir. Dolayısıyla bir işletme olarak tersane, bu optimal sonuçları dikkate alarak gemi inşa projesindeki tersane işgücü kaynak kapasitesi-proje tamamlanma süresine göre gemi inşanın gerçekleşmesi, tersanenin hem mali hem de işgücü tahsisi ve planlaması konusunda daha verimli olmasını sağlayacaktır. Ayrıca, bu yöntem sadece Marmara bölgesi için değil bunun yanında Türkiye'de faaliyet gösteren tersaneler için tavsiye edilebilecek olan metotlardan biri olarak dikkate alınabilir.

Tersanenin kapasitesinin azaltılması durumunda proje tamamlanması açısından bir sorun olmadığı ancak projenin normal sürede tesliminden daha geç bir sürede teslimi yapılmakta olduğu, dolayısıyla böyle durumlarda bir gecikme (*tardiness*) durumu oluşmaktadır. Ancak projenin çözümünden oluşan kümedeki projenin tamamlanma sürelerinin çoğunluğunda, tamamlanma süresi (*makespan*) kısaltmakta ve erken tamamlanma (*earliness*) durumu oluşmaktadır.

Gemiler nitelik, büyüklük, özellikler ve tür olarak farklılıklar gösterdiğinden dolayı çoğu gemi inşa projesi ilk ürün gibi belirsizlik içeren bir proje olacaktır. Bu noktada bulanık kümelerin proje faaliyetleri ve iş gücü kaynakları üzerinde uygulanması, projelerde karşılaşılabilecek olan risklerini de asgari düzeye indirilerek yönetebilmesini sağlayacaktır. Çalışmada yamuk bulanık sayılar kullanılmış ve ağırlık merkezi (*centroid*) yöntemiyle deterministik süreye çevrilmiştir.

Türkiye’de üretim gerçekleştiren tersanelerin %80’i Marmara Bölgesinde faaliyet göstermektedir, ayrıca üretimi yapılan gemilere adet olarak bakıldığında Marmara Bölgesinde üretimi yapılan gemilerin oranı daha yüksektir. Dolayısıyla bu durum aynı zamanda Türkiye’nin gemi inşa sanayisinin bu bölgedeki tersanelerde gerçekleştiği ve bununla birlikte Türkiye gemi inşa sanayisini temsil ettiği söylenebilir. Gemi inşa sanayisinde Marmara bölgesini içeren bu çalışma aynı zamanda Türkiye’deki tersaneleri de kapsayacak şekilde genişletilebileceğidir.

Tüm bunların yanında gemi inşa sanayisini politika ve stratejik olarak değerlendirildiğinde; uzun dönem projeksiyonunda dünya ekonomisi ve mal dolaşımına bağlı olarak tüm segmentlerdeki gemilere olan talebi artacaktır. Fakat yakın dönemde Offshore platformları ve bunların yardımcı gemileri ile LNG/LPG gemilerine yeni gemiye olan talebi arttıracaktır. IMO düzenlemeleri sonucu LNG yakıtlı gemilerin yaygınlaşması ile yeni nesil gemilerin daha verimli ve çevreci olmasından dolayı yeni gemilerin inşasında talep oluşmasını sağlayacaktır. Dünya’da teknoloji ve rekabetin gelişimiyle beraber 5. nesil tersanelerin sayısının artacağı, gemi inşanın yine lider ülkelerin öncülüğünde devam edeceği, robot ve otomasyon teknolojisi ile Çin, gelecek dönemde *made in China* kavramını gemi inşada da uygulayacağı ve üretim girdileri de dikkate alındığında Çin’in gelecek 20-30 yıl etkin olacaktır.

Türkiye'nin gemi inşa sanayisinin; hangi pazara hitap edeceği, hangi sınıf bir tersane altyapısına doğru evrileceği, mevcut yapı korunarak butik bir yapıda mı devam edeceği ya da birleşerek daha verimli bir duruma mı dönüşeceğinin gemi inşa sanayisinin amacının ve stratejisinin belirlenmesi gerekmektedir. Türkiye'deki tersanelerde kapasite kullanım oranının düşüklüğü, tersane kapasite arz fazlasını ya da yeterli gemi inşa talebi alamadığını göstermektedir. Türk gemi inşa sektörünün gelişimi için, lider ülkelerdeki destekler gibi devlet politikaları, devlet teşvikleri, sübvansiyonları, Ar-Ge faaliyetlerinin desteklenmesi ve finansal destekler sağlanmalıdır. Türkiye'deki tersanelerin küçük ve orta ölçekte olması, kapasitelerinin küçük kalmasına, finans yetersizliği, alt yapı, teknoloji, Ar-Ge, büyük ölçekli gemi üretememek, aynı pazarda rekabet ve verimlilik vb. gibi yetersizlik ortaya çıkmaktadır. Tersanelerin birleşmesi, tersanelerin daha rekabetçi bir yapıya dönüşmesini sağlayacaktır.

Türkiye'deki üretim faktörleri açısından bakıldığında, emek ve girişimcilik konusunda sıkıntı olmadığı fakat teknoloji, sermaye ve tesis yatırım için problem olduğu gözükmemektedir. Sürdürülebilir gemi inşa sanayisi için; teknolojik yeterlilik, üretim kabiliyeti, verimlilik ve rekabet edebilirlik, yerlilik oranının artması, piramit şeklinde tepeden tabana yayılarak yan sanayinin geliştirilmesi sağlayarak gemi üretiminde rekabetçi mamul ve yarı mamul girdisinin sağlanması ve ihracat odaklı olmalıdır. Bunun yanında, gemi inşa sanayisindeki lider ülkelerin kişi başına milli gelirlerin 35 bin dolar civarı olduğu görülmekte, bu durum Türkiye'deki gemi inşa sanayisindeki iş gücünün rekabet edebilir limiti ve fırsatı olarak değerlendirilebilir.

Gelecek dönemde yapılacak olan çalışmalar için öneriler:

- Birden fazla projenin birleştirilmiş olarak ortak amaç fonksiyonu yerine, tek tek projelerin amaçları olan proje maliyet ve proje süresinin minimizasyonu olarak çözümler için araştırma alanları olabilir.
- Çoklu projeleri içeren çözümlerde, istenilen projenin daha erken veya geç teslimi tercihi yapılarak çözümler sunulabilir.
- Geminin teslimine kadar olan süreçteki tüm faaliyet ve maliyetleri içeren bir projenin Genetik Algoritma ile KKPÇP yaklaşımıyla projenin maliyetinin/süresinin minimum ya da maliyet-süre açısından optimum olmasını amaçlayan çözümler için imkan sunmaktadır.

- Tersanenin kapasitesinde kısıt faktörü olan tersanenin kıyak faktörü değişmez olduğu durumda daha 3 ve fazla projenin ile bu yeni durumdaki çözüm sonuçlarının alternatiflerinin ne olacağı projenin amaçlarının minimum süre ve/veya minimum maliyet olarak çözüm yapılabilir
- Proje sürelerinin bulanık olarak dikkate alınması ile proje faaliyet sürelerinin iyimser, olası ve kötümser bulanık hesaplamaya göre de bir çözüm imkanı sunulabilir.
- Kaynakların bulanık olarak belirlenmesi ve buna göre hem süre hem de kaynakların ve/veya sadece bulanık ortamda projenin amaçlarının minimum süre ve/veya minimum maliyet olarak çözüm yapılabilir.
- Gemi blokla inşa sırasını sırasıyla başlatılarak veya daha fazla gemi bloklarının inşasının aynı anda başlatılması durumundaki çözümler için de çalışma olanağı sunmaktadır.
- Bu çalışmada kullanılan genetik operatörlerin daha farklı özellikleri, kodlama, mutasyon, seçim ve çaprazlama olan genetik işlemler ile Genetik Algoritmanın diğer özellikleri ikame olarak kullanılarak farklı çözümler olabilir.
- Bu çalışmada KKPÇP Genetik Algoritma ile çözüm irdelenmiştir. Fakat pek çok alternatif yöntemler olduğundan dolayı yine bu problem aynı tersane özellikleri ile çözüm için çalışma yapılabilir.

Tersanelere üretim yönetimi ve verimlilik olarak yaklaşılması gereken bütüncül bir yaklaşım olması daha etkin ve verimli bir sonuç alınacaktır. Aksi takdirde bu tamamlayıcı unsurların önemsiz görülüp dikkate alınmadığı gemi inşa ve tersane yönetimi modellerinde tersaneler her zaman verimlilik konusunda yetersiz kalarak küresel düzeyde bir işletme olma durumundan uzak kalacaklardır. Bununla beraber, küresel rekabetin arttığı günümüzde tersanelerin bu rekabeti layıkıyla yerine getirebilmesi için, verimlilik temelinde yapılan çalışmaların biri de üretim, planlama ve kontrol ile ilgili çalışmalardır. Tersanelerde geleneksel yöntemlerin yanında Genetik Algoritma yöntemiyle Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme yaklaşımı ile gemi inşaada üretim planlama ve kontrol amaçlı uygulanması tersaneler açısından alternatif olarak rekabetçi bir avantaj sağlayarak, Türkiye'deki tersanelerde uygulanması açısından tavsiye edilerek ve işletme olarak tersanelerin yaşam ömürlerinin artmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abbasi, B., Shadrokh, S. and Arkat, J., 2006, Bi-objective resource-constrained project scheduling with robustness and makespan criteria, *Applied Mathematics and Computation*, 180:146–152.
- Abdolshah, M., 2014, *A review of resource-constrained project scheduling problems (RCPSP) approaches and solutions*, International Transaction Journal of Engineering, Management & Applied Sciences & Technologies. Vol. 4.
- Adhau, S., Mittal, M.L. and Mittal, A., 2012, A multi-agent system for distributed multi-project scheduling: An auction-based negotiation approach, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25:1738–1751.
- Adhau, S., Mittal, M.L. and Mittal, A., 2013, A multi-agent system for decentralized multi-project scheduling with resource transfer, *International Journal of Production Economics*, 146:646-661.
- Afshar-Nadjafi, B., Rahimi, A. and Karimi, H., 2013, A genetic algorithm for mode identity and the resource constrained project scheduling problem, *Scientia Iranica E*, 20 (3), 824–831.
- Ağayev, S., 2007, *Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) Sisteminin Seçimi, Kurulumu ve ERP Kullanıcı Firmaların Sistemden Beklentilerinin Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- Akan, E., 2006, *Proje Yönetiminin Gemi İnşaat Sanayisinde Üretim Maliyetlerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Alkaner, S., 1998, *Simulation Modeling And Analyses of Ship Production: A Case Study*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Akıncı, E., 2008, *Bir Tersanenin Üretim Planlamasının Hazırlanması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Alcaraz, J. and Maroto, C., 2001, A robust genetic algorithm for resource allocation in project scheduling, *Annals of Operations Research*, 102(1-4) 83-109.
- Allahviranloo, T. and Saneifard, R., 2012, Defuzzification method for ranking fuzzy numbers based on center of gravity, *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 9(6), 57-67.
- Altan, H., Çeltikçi, A.C. ve Eynehan, M.E., 2010, *Türkiye Sanayisine Sektörel Bakış: Gemi İnşaat Sanayii*, TÜSİAD Sektör Raporu, İstanbul.
- Atlı, Ö., 2012, *Bulanık çok modlu kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin çözümü için matematiksel bir model*, Doktora Tezi, Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü.

- Aydoğan, E. ve Asal, Ö., 2009, *Malzeme ihtiyaç planlaması ve üretim kaynakları planlamasının KOBİ'ler üzerindeki etkilerinin araştırılması*, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (22), 34–42.
- Ayvaz, E. ve Duman, E., 2012, *KOBİ İşbirliği ve Kümelenme Projesi*, Trabzon Gemi İnşaa Sektör Stratejisi Çalıştay Kitapçığı, Trabzon.
- Aziz, R.F., 2013, Optimizing strategy software for repetitive construction projects within multi-mode resources, *Alexandria Engineering Journal*, 52:373–385.
- Back, M.G., Lee, D.K., Shin, J.G. and Woo, J.H., 2016, A study for production simulation model generation system based on data model at a shipyard, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 8:496e510.
- Beşikçi, U., Bilge, U. and Ulusoy, G., 2012, *Multi-mode resource constrained multi-project scheduling and resource portfolio problem*, Department of Industrial Engineering, Boğaziçi University, İstanbul.
- Bhaskar, T., PAL, M.N. and Pal, A.K., 2011, A heuristic method for RCPSP with fuzzy activity times, *European Journal of Operational Research* 208:57–66.
- BIMCO Baltic and International Maritime Council, 2016, *Lowest Level of Newbuilding Contracts In 20 Years*, https://www.bimco.org/reports/market_analysis/2016/0912_lowest_level_of_newbuilding.aspx [Ziyaret Tarihi: 15 Eylül 2016].
- Blazewicz, J., Lenstra, J.K. and Rinnooy Kan, A.H.G. 1983, *Scheduling subject to resource constraints: Classification and complexity*, Discrete Applied Mathematics, 5, 11-22.
- Boctor, F., 1996, A new and efficient heuristic for scheduling projects with resource restrictions and multiple execution modes, *European Journal of Operational Research*, 90:349-361.
- Brazier, M.K. and Perry, C.J., 1991, An Approach to the Construction and Usage of Simulation Modeling in the Shipbuilding Industry, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, Winter Simulation Conference Proceedings.
- Brucker, P. and Knust, S., 2000, A linear programming and constraint propagation-based lower bound for the RCPSP, *European Journal of Operational Research*, 127:355-362.
- CANSI China Association of the National Shipbuilding Industry, 2016, *深化改革 创新引领 不断推进船舶工业行业发展*, <http://www.cansi.org.cn/index.php/news/detail/id/3054.html> [Ziyaret Tarihi: 13 Eylül 2016].
- Cengiz, M., 2007, Türkiye'deki Mevcut Koşulların Bulanık Analitik Ağ Süreciyle Değerlendirilerek Uygun Tersane Yeri Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

- Cha, J.H. and Roh, M.I., 2010, Combined discrete event and discrete time simulation framework and its application to the block erection process in shipbuilding, *Advances in Engineering Software*, 41:656–665.
- Chang, C.K., Jiang, H.Y., Di, Y. Zhu, D. and Ge, Y., 2008, Time-line based model for software project scheduling with genetic algorithms, *Information and Software Technology*, 50:1142–1154.
- Cheng, C.H., 1998, A new approach for ranking fuzzy numbers by distance method, *Fuzzy Sets and Systems*, 95, 307-317.
- Cheng, M.Y., Tran, D.H. and Wu, Y.W., 2014, Using a fuzzy clustering chaotic-based differential evolution with serial method to solve resource-constrained project scheduling problems, *Automation in Construction*, 37: 88–97.
- Chinchuluun, A., Pardalos, P.M., Migdalas, A. and Pitsoulis, L., 2008, *Pareto Optimality, Game Theory and Equilibria: 17 (Springer Optimization and Its Applications)*, Springer, ISBN: 978-0387772462.
- Cho, K.K. and Chung, D.S., 1996, An Automatic process-planning system for block assembly in shipbuilding, *Annals of the CIRP*. 45/7/1996.
- Chodari, M.A, 1997, *Developement of A Generic Model for Manufacturing Management Systems*, Doktora Tezi, University of Sheffield.
- Clarksons, 2015, *The Platou Report 2015*, Clarkson, http://securities.clarksons.com/~media/Files/PlatouReport14/ThePlatouReport2015_web_FINAL.pdf [Ziyaret Tarihi: 10 Temmuz 2016].
- Clarksons, 2016, *New Shipbuilding Index*, Clarkson Shipping Intelligence Network, <https://sin.clarksons.net/MarketsAtAGlance#/Overview> [Ziyaret Tarihi: 30 Eylül 2016].
- Coelho J. and Tavares. L., 2003, *Comparative analysis of meta-heuristics for the resource constrained project scheduling problem*, Technical report, Department of Civil Engineering, Instituto Superior Tecnico, Portugal.
- Coley, D.A., 1999, *An introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers*, A Bradford Book The MIT Press, London, ISBN: 981-02-3602-6.
- Çebi, F. and Otay, İ., 2015, A fuzzy multi-objective model for solving project network problem with bonus and incremental penalty cost, *Computers and Industrial Engineering*, 82:143–150.
- Daniel, L. and Strodel, K., 2015, Imbalances in the Shipbuilding Industry: Magnitude, Causes and Potential Policy Implications, *Supply and Demand in the Shipbuilding Industry*, 9 November 2015 Paris, OECD, 1-48.

- Dayanç, M., 2011, *Proje Bazlı Endüstrilerde ERP Paketi Seçiminde BSC Destekli ANP Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Demirdöğen, O. ve Güzel, D., 2009, *Üretim planlama ve iş yükleme metotları*, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 23 (4), 43–67 <http://e-dergi.atauni.edu.tr/index.php/IIBD/article/viewFile/2867/2763> [Ziyaret Tarihi: 18 Ağustos 2016].
- Dempster, M.A.H., Lenstra, J.K. and Kan, A.H.Ş.R., 1982, *Deterministic and Stochastic Scheduling*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- Devikamalam, J., and Jane H., 2013, Resource scheduling of construction projects using genetic algorithm, *International Journal of Advanced Engineering Technology*, Vol. III/IV 113-119.
- Dijk, R., Gademann, N., Schouten, G. and Schutten, M., 2002, *Multi-Project Planning in Shipbuilding*, <http://alexandria.tue.nl/repository/books/587366.pdf> [Ziyaret Tarihi: 13 Mart 2016].
- Doğan, Ü., 2009, *Üretim Planlama ve Kontrol*, Dokuz Eylül Üniversitesi, http://kisi.deu.edu.tr/uzeyme.dogan/dosyalar/uretim_planlama_2009.pdf [Ziyaret Tarihi: 6 Ağustos 2016].
- Dong, F., Deglise-Hawkinson, J.R., Van Oyen M.P. and Singer, D.J., 2016, Dynamic control of a closed two-stage queueing network for outfitting process in shipbuilding, *Computers & Operations Research*, 72:1–11.
- Duncan, W.R., 1996, *A Guide to The Project Management Body of Knowledge*, Project Management Institute Publications, Newtown Squire, 188-0410-125.
- DPT, 2006, *DPT IX. Kalkınma Planı Gemi İnşa Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, Devlet Planlama Teşkilatı, İstanbul.
- DSME, 2013, *Explore DSME. DSME-Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering Co. Ltd*, <http://www.dsme.co.kr/epub/publicize/exploreDSME.do> [Ziyaret Tarihi: 16 Mart 2016].
- Dünya Gazetesi, 2014, *Gemi yapım projelerine yatırım teşviki*, <http://www.dunya.com/ekonomi/gemi-yapim-projelerine-yatirim-tesviki-haberi-277360> [Ziyaret Tarihi: 13 Nisan 2016].
- DTO Deniz Ticaret Odası, 2016, *2015 Deniz Sektörü Raporu*, http://www.denizticaretodasi.org.tr/Shared%20Documents/sektorraporu/2015_sektor_tr.pdf [Ziyaret Tarihi: 14 Temmuz 2016].
- Dülgerler, M., 2007, *Kurumsal Kaynak Planlaması ve Web Servisleri ile Bir ERP Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi.

- Ebadi, M.J., Suleiman, M., Ismail, F.B., Ahmadian, A., Shahryaei, M.R.B. and Salashour, S., 2013,, *A New Distance Measure for Trapezoidal Fuzzy Numbers*, Hindawi Publishing Corporation, Mathematical Problems in Engineering, Vol.2013.
- Eraslan, E., 2009, *Üretim Yönetimi Sistemleri*, Başkent Üniversitesi, Ankara, <http://www.baskent.edu.tr/~eraslan/PMS.doc> [Ziyaret Tarihi: 5 Ağustos 2016].
- Erdal, M., 2007, *Kısıtlı Kaynak Koşullarında Yapı Projelerinin Genetik Algoritma İle Programlanması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Eyres, D.J. and Bruce, G.J., 2012, *Ship Construction*, Butterworth-Heinemann and Elsevier, Oxford, 7th ed., 978-0-08-097239-8.
- Formentini, M. and Romano, P., 2011, Using value analysis to support knowledge transfer in the multi-project setting, *International. Journal of Production Economics*, 131:545–560.
- Franco, E.D., Zurita, F.L.Z. and Delgadillo, G.M., 2007, *A genetic algorithm for the resource constrained project scheduling problem (RCPSP)*, *Investigación & Desarrollo*, No. 7, Vol. 1: 39-50.
- Garcia, M.S. and Lamata, M.T., 2007, A modification of the index of Liou and Wang for ranking fuzzy number, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 15(4), 411-424.
- GISBİR, 2015, *2014 Sektör Raporu*, Türkiye Gemi İnşa Sanayicileri Birliği, <http://www.gisbir.org/content/uploads/kurumsal/dosya/GISBIRSektorRaporu2014.pdf> [Ziyaret Tarihi: 25 Haziran 2016].
- Goldberg, D.A., 1989, *Genetic Algorithms in search optimization and machine learning*, Addison-Wesley Publishing, New York, ISBN: 0–201–15767–5.
- Goncalves, J.F., Mendes, J.J.M. and Resende, M.G.C., 2008, A genetic algorithm for the resource constrained multi-project scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 189:1171–1190.
- Gordon, S., 2011, *Shipbuilding Market Overview*. In *Cargotec Capital Markets Day. 17 November 2011*, Helsinki: Clarkson Research Services Limited (CRSL), 1–37, <http://www.clarksons.net/archive/research/freestuff/cargotecpresentationnovember17th2011.pdf> [Ziyaret Tarihi: 25 Eylül 2016].
- Günay, D., 2002, *Gemi İnşaa Sanayi Sektör Araştırması*, Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş. Araştırma Müdürlüğü, http://www.kalkinma.com.tr/data/file/raporlar/esa/sa/2002-sa/sa-02-03-07_gemi_insa_sektoru.pdf [Ziyaret Tarihi: 14 Mart 2016].
- Hapke, M. and Slowinski, R., 1996, Fuzzy priority heuristics for project scheduling, *Fuzzy Sets and Systems*, 83:291–299.

- Hapout, R.L. and Hapout, S.E., 2004, *Practical Genetic Algorithms*, 2nd, ed., A Wiley-Interscience publication, New Jersey, ISBN 0-471-45565-2.
- Hartmann, S., 1998, A competitive genetic algorithm for resource-constrained project scheduling, *Naval Research Logistics (NRL)*, 45(7) 733-750.
- Hartmann, S. and Kolisch R., 1999, Heuristic Algorithms For Solving The Resource-Constrained Project Scheduling Problem; Classification and Computational Analysis, *International Series in Operations Research & Management Science*, 14:147-178.
- Hartmann, S. and Kolisch. R., 2000, Experimental evaluation of state-of-the-art heuristics for the resource-constrained project scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 127:394-407.
- Hartmann, S., 2001, Project scheduling with multiple modes: a genetic algorithm, *Annals of Operations Research*, 102(1-4), 111-135.
- Hartmann, S., 2002, A self-adapting genetic algorithm for project scheduling under resource constraints, *Naval Research Logistics (NRL)*, 49(5) 433-448.
- Hazneci, C., 2009, Türkiye’de Yat ve Küçük Tekne İmalatı Yapacak Yeni Tersane Alanlarının Yatırım Uygunluğu ve Yer Seçimi Açılarından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Hiekata, K., Yamato, H. and Tsujimoto, S., 2010, Ontology based knowledge extraction for shipyard fabrication workshop reports, *Expert Systems with Applications*, 37:7380–7386.
- Hindi, K.S., Yang, H. and Fleszar, K., 2002, An evolutionary algorithm for resource-constrained project scheduling, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6:512–518.
- Holland, J.H., 1975, *Adaptation in natural and artificial systems*, The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan.
- Homberger, J., 2007, A multi-agent system for the decentralized resource-constrained multi-project scheduling problem, *International Transactions in Operational Research*, 14(6), 565-589.
- Huang, W., Oh, S.K and Pedrycz, W., 2013, A fuzzy time-dependent project scheduling problem, *Information Sciences*, 246:100–114.
- Hwang, I.H., Kim, Y., Lee, D.G. and Shin, J.G., 2014, Automation of block assignment planning using a diagram based scenario modeling method, *International Journal of Naval Architect Ocean Engineering*, 6:162-174.
- Ibrahim, A.M., 2005, *Fuzzy Logic for Embedded Systems Applications*, Elsevier, New York, ISBN 0-7506-7699-X.

- Ikei, DG Employment, Social Affairs and Equal Opportunities, Eurofound, 2011, *Comprehensive sectoral analysis of emerging competences and economic activities in the European Union: Building and Repairing of Ships and Boats sector Final Report (Version 2)*.
- ITC International Trade Center, 2016, *List of exporters for the selected product Product: 89 Ships, boats and floating structures*, http://www.trademap.org/country_selproduct_ts.aspx [Ziyaret Tarihi: 10 Mayıs 2017].
- Jinsong, B., Dianliang, W. and Aimin, X., 2013, *Scheduling ship hull assembly using lagrangian relaxation method*, 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control, International Federation of Automatic Control, 19-21 June, 2013, Saint Petersburg, Russia.
- Joo, C.M and Kim, B.S., 2014, Block transportation scheduling under delivery restriction in shipyard using meta-heuristic algorithms, *Expert Systems with Applications*, 41:2851–2858.
- Kaiafa, S. and Chassiakos, A.P., 2015, *A genetic algorithm for optimal resource-driven project scheduling*, Creative Construction Conference 2015 (CCC2015), Procedia Engineering, 123:260 – 267.
- Kalkınma Bakanlığı, 2013, *Sonuncu Kalkınma Planı*, <http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/Kalkinma%20Planlar/Attachments/12/Onuncu%20Kalk%C4%B1nma%20Plan%C4%B1.pdf> [Ziyaret Tarihi: 13 Nisan 2016].
- Khanzadi, M., Soufipour, R. and Rostami, M., 2011, A new improved genetic algorithm approach and a competitive heuristic method for large-scale multiple resource-constrained project-scheduling problems, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 2(4) 737-748.
- Kim, H., Kang, J. and Park, S., 2002, Scheduling of shipyard block assembly process using constraint satisfaction problem, *Asia Pacific Management Review*, 7(1), 119-138.
- Kim, K. W., Gen, M. and Yamazaki, G., 2003, Hybrid genetic algorithm with fuzzy logic for resource-constrained project scheduling, *Applied Soft Computing*, 2(3) 174-188.
- Kim, J.L., 2013, Genetic algorithm stopping criteria for optimization of construction resource scheduling problems, *Construction Management and Economics*, 31(1) 3-19.
- KOSHIPA The Korea Shipbuilders' Association, 2016, *Shipbuilding Korea 2015*, http://www.koshipa.or.kr/lang_eng/stati/stati_01.jsp [Ziyaret Tarihi: 10 Mayıs 2016].
- Knyazeva, M., Bozhenyuka, A. and Rozenberg, I., 2015, Resource-constrained project scheduling approach under fuzzy conditions, *Procedia Computer Science*, 77:56 – 64.
- Koçak, A., 2007, *Malzeme Yönetiminde MRP ve Kanban Sistemlerinin Bütünleştirilmesi ve Melez Sistem Yapısının Geliştirilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi.

- Kolisch, R., 1995, *Project scheduling under resource constraints*, Springer, Berlin, ISBN: 978-3-642-50296-5.
- Kolisch, R. and Spracher A., 1996, PSPLIB - A project scheduling problem library, *European Journal of Operational Research*, 96:205-216.
- Kuchta, D., 2001, Use of fuzzy numbers in project risk (criticality) assessment, *International Journal of Project Management*, 19:305-310.
- Kwon, B. and Lee, G.M., 2015, Spatial scheduling for large assembly blocks in shipbuilding, *Computers & Industrial Engineering*, 89:203–212.
- Lazim, A. and Azman, F.N., 2015, *Circumcenter of Centroid in Ranking Fuzzy Number: A Case of Generalized Trapezoidal Fuzzy Numbers*, Fuzzy Sets and Systems, 2015 IEEE International Conference.
- Le, H., Q., 2008, *Resource-constrained multi-project scheduling with resource moving time for construction projects in Vietnam*, First International Conference on Construction In Developing Countries (ICCIDC-I), Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice, August 4-5, Karachi, Pakistan.
- Lee, J.K., Lee, K.J., Park, H.K., Hong, J.S. and Lee, J.S., 1997, Developing scheduling systems for Daewoo Shipbuilding: DAS project, *European Journal of Operational Research*, 97:380-395.
- Lee, K.H., 2005, *First Course on Fuzzy Theory and Applications*, Springer, Berlin, ISBN 3-540-22988-4.
- Leu, S.S., Chen, A.T. and Yang, C.H., 2001, A GA-based fuzzy optimal model for construction time-cost trade off, *International Journal of Project Management*, 19:47-58.
- Liang, T.F., 2010, Applying fuzzy goal programming to project management decisions with multiple goals in uncertain environments, *Expert Systems with Applications*, 37:8499–8507.
- Liou, T.S. and Wang, M.J., 1992, Ranking fuzzy numbers with integral value, *Fuzzy Sets and Systems* 50, 247-255.
- Liua, Y., Menga, M. and Wangb, D.P., 2012, *Research on the digital workshop layout based on steel material processing workshop*, 2012 International Workshop on Information and Electronics Engineering (IWIEE), Procedia Engineering, 29:1521 – 1527.
- Long, L.D. and Ohsato, A., 2007, Solving the resource-constrained project scheduling problem by genetic algorithm, *Global Supply Chain Management. 日本経営工学会論文誌*, 57(6) 520-529.

- Long, L.D. and Ohsato, A., 2012, Fuzzy critical chain method for project scheduling under resource constraints and uncertainty, *International Journal of Project Management*, 26:688–698.
- Madan, M and Madan, R., 2013, GA Solver-a solution to resource constrained project scheduling by genetic algorithm, (*IJACSA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 4, No. 2.
- Magalhaes-Mendes, J., 2008, *Project scheduling using a competitive genetic algorithm*, In Proceedings of the 8th conference on Simulation, modelling and optimization (pp.39-42), World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS).
- Magalhaes-Mendes, J., 2011, A two-level genetic algorithm for the multi-mode resource-constrained project scheduling problem, *International Journal of Systems Applications, Engineering & Development*, Issue 3, Vol.5.
- Masmoudi, M., Hans, E., Leus, R. and Ha, A., 2012, *Stochastic and fuzzy workload plans in project tactical planning under uncertainty*, Proceedings of the 14th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Bucharest, Romania, May 23-25.
- Masmoudi, M., and Hait, A., 2013, Project scheduling under uncertainty using fuzzy modelling and solving techniques, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26:135–149.
- Mei, Y., Ye, J. and Zeng, Z., 2016, Entropy-weighted ANP fuzzy comprehensive evaluation of interim product production schemes in one-of-a-kind production, *Computers & Industrial Engineering*, 100:144–152.
- Mickeviciene, R., 2011, *The Economic Geography of Globalization: Chapter of Global Shipbuilding Competition: Trends and Challenges for Europe*, <https://www.intechopen.com/books/the-economic-geography-of-globalization/global-shipbuilding-competition-trends-and-challenges-for-europe>, [Ziyaret Tarihi: 13 Nisan 2016].
- Min, K.S., 2008, Automation and control systems technology in Korean shipbuilding industry: the state of the art and the future perspectives, *Proceedings of the 17th World Congress*, The International Federation of Automatic Control Seoul, Korea, July 6-11.
- Mitchell, M., 1999, *An introduction to Genetic Algorithms*, 5th, ed., A Bradford Book The MIT Press, London, ISBN: 0–262–13316–4.
- Montoya-Torres, J.R., Gutierrez-Franco, E., and Pirachica N-Mayorga, C.P., 2009, Project scheduling with limited resources using a genetic algorithm, *International Journal of Project Management*, 28:619–628.
- Mori, M. and Tseng C.C., 1997. *A genetic algorithm for multi-mode resource constrained Project scheduling problem*, Elsevier European Journal of Operational Research, 100:134–141.

- Odabaşı, Y., 2002, *Tersaneler ve Gemi Üretimi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, <http://web.itu.edu.tr/~gundemir/files/week11.pdf> [Ziyaret Tarihi: 13 Mart 2016].
- OECD, 2011, *The Shipbuilding Industry in Turkey*, OECD Council Working Party on Shipbuilding (WP6), <http://www.oecd.org/turkey/48641944.pdf> [Ziyaret Tarihi: 13 Nisan 2016].
- OECD, 2015, *Peer Review of the Korean Shipbuilding Industry*, OECD Council Working Party on Shipbuilding (WP6), <http://www.oecd.org/sti/ind/peerreviewofthekoreanshipbuildingindustryandrelatedgovernmentspolicies.htm> [Ziyaret Tarihi: 13 Nisan 2016].
- Özdamar, L., and Ulusoy, G., 1996, An iterative local constraint based analysis for solving the resource constrained project scheduling problem, *Journal of Operations Management*, 17:193-208.
- Özkök, M., 2012, The effects of machine breakdown on hull structure production process, *Scientia Iranica Transactions E: Industrial Engineering*, 20 (3), 900–908.
- Özkök M. and Helvacıoğlu, İ.H., 2013, *Determination of the Effects of the Pre-Outfitting and Pre-Piping Assembly Operations on Shipyard Productivity*, Polish Maritime Research, vol.20, no.1(77), pp.59-69.
- Özyiğit, İ., 2006, *Gemi İnşaatında Planlama ve Üretim Kademeleri*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Palencia, A.E.R. and Delgadillo, G.E.M., 2012, A computer application for a bus body assembly line using Genetic Algorithms, *International Journal Production Economics*, 140:431–438.
- Park, C. and Seo, J., 2010, Comparing heuristic algorithms of the planar storage location assignment problem, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46:171–185.
- Park, J., Lee, D. and Zhu, J., 2014, An integrated approach for ship block manufacturing process performance evaluation: Case from a Korean shipbuilding company, *International Journal of Production Economics*, 156:214–222.
- PMBOK, 2013, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, PMBOK Guide Fifth Edition, PMI.
- Ponz-Tienda, J.L., Yepes, V., Pellicer, E., and Moreno-Flores, J., 2012, The Resource Leveling Problem with multiple resources using an adaptive genetic algorithm, *Automation in Construction*, 29:161–172.
- Ranjbar, M.R. and Kianfar, F., 2007, Solving the discrete time/resource trade-off problem in project scheduling with genetic algorithms, *Applied Mathematics and Computation*, 191:451–456.

- Reyck, B. and Herroelen, W., 1998, A branch-and-bound procedure for the resource-constrained project scheduling problem with generalized precedence relations, *European Journal of Operational Research*, 111:152-174.
- Reyck, B. and Herroelen, W., 1998, A branch-and-bound procedure for the resource-constrained project scheduling problem with generalized precedence relations, *European Journal of Operational Research*, 111:152-174.
- Rezvani, S., 2013, Ranking generalized trapezoidal fuzzy numbers with euclidean distance by the incentre of centroids, *Mathematica Aeterna*, 3(2), 03-114.
- Ross, T.J., 2010, Fuzzy Logic with Engineering Applications, *A John Wiley and Sons, Ltd. Publication*, New York, 978-0-470-74376-8.
- Runkler, T., 1997, Selection of appropriate defuzzification methods using application specific properties, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 5(1), 72-79.
- Sadjadi, S.F., Pourmoayed, R. and Aryanezhad, M.B., 2012, A robust critical path in an environment with hybrid uncertainty, *Applied Soft Computing*, 12:1087–1100.
- Sağlam, S., 2008, *ERP Sistemleri ve Üretim Planlama Kontrol Faaliyetleri İlişkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- SAJ The Shipbuilders' Association of Japan, 2016, *Shipbuilding Statistics*, http://www.sajn.or.jp/e/statistics/shipbuilding_statistics_mar2016e.pdf [Ziyaret Tarihi: 10 Mayıs 2016].
- Saneifard, R. and Saneifard, R., 2011, A method for defuzzification based on centroid point, *Turkish Journal of Fuzzy Systems*, 2(1), 36-44.
- Sawant, V.C., 2016, Genetic algorithm for resource constrained project scheduling, *International Journal of Science and Research (IJSR)*, Volume 5 Issue 6.
- Schirmer, A., 1998, Case-based reasoning and improved adaptive search for project scheduling, *Naval Research Logistics*. 47:201-222.
- Satıç, U., 2014, *Çok kaynak kısıtlı projelerin sezgisel yöntemlerle çizelgelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- SGK Sosyal Güvenlik Kurumu, 2016, *İstatistik yıllıkları*, http://www.sgk.gov.tr/wps/wcm/connect/sgk+internet/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari/ [Ziyaret Tarihi: 9 Eylül 2016].
- Shadrokh, S. and Kianfar, F., 2007, A genetic algorithm for resource investment Project scheduling problem, tardiness permitted with penalty, *European Journal of Operational Research*, 181:86-101.

- Shi-Man,X., Jian-Wei, C., and Zhao-Yan, X., 2012, *The study of Genetic Algorithm by Hierarchical Coded for the MMRCPPSP*, 2012 International Conference on Applied Physics and Industrial Engineering, Physics Procedia 24:2200-2206.
- Siemens, 2016, *SAPP – Simulation aided production planning at Flensburger*, http://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/Images/12496_tcm841-4927.pdf, [Ziyaret Tarihi: 30 Mayıs 2016].
- Soong, Y.J., Woo, J.H. and Shin., J.G., 2011, Research on systematization and advancement of shipbuilding production management for flexible and agile response for high value offshore platform, *International Journal of Naval Architect Ocean Engineering*, 3:181~192.
- Sprecher, A., Kolisch, R. and Drexl, A., 1995, Semi-active, active, and non-delay schedules for the resource-constrained project scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 80:94-102.
- Sprecher, A. and Drexl, A., 1998, Multi-mode resource-constrained project scheduling by a simple, general and powerful sequencing algorithm, *European Journal of Operational Research*, 107:431-450.
- Stopford, M., 2014, World shipbuilding, http://www.smm-hamburg.com/fileadmin/smm/2016/pdf/pm/sm16_pressemappe_en.pdf, SMM Press Conference 8th Sept 2014, Hamburg, [Ziyaret Tarihi: 10 Mayıs 2016].
- Şişmanyazıcı, H., 2011, *Deniz Nakliye Şirketlerinde Fonksiyonel Organizasyon Yapısı ve Gemiye Laid Up Yapma Kararı*, Denizhaber.com, http://www.denizhaber.com/index.php?sayfa=yazar&id=40&yazi_id=100655 [Ziyaret Tarihi: 9 Haziran 2016].
- TBMM Meclis Araştırma Komisyonu, 2008, *Gemi İnşa Sanayisindeki İş Güvenliği ve Çalışma Şartları Sorunlarının Araştırılarak Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi Amacıyla Kurulan Meclis Araştırması Komisyonu Raporu*, Türkiye Büyük Millet Meclisi, <http://www.tbmm.gov.tr/sirasayi/donem23/yil01/ss295.pdf> [Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2016].
- T.C. Ekonomi Bakanlığı, 2012, *Gemi İnşa Sektörü Raporu*, T.C. Ekonomi Bakanlığı İhracat Genel Müdürlüğü Otomotiv, Makina, Elektrik ve Elektronik Ürünler Daire Başkanlığı.
- T.C. Ekonomi Bakanlığı, 2017, *Genel Teşvik Uygulamasında Sağlanan Destekler*, <http://www.ekonomi.gov.tr>, [Ziyaret Tarihi: 13 Haziran 2016].
- T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2017, *Gemi İnşa Sanayi İstatistikleri*, Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü, https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/istatistik_diger.aspx [Ziyaret Tarihi: 4 Mayıs 2017].

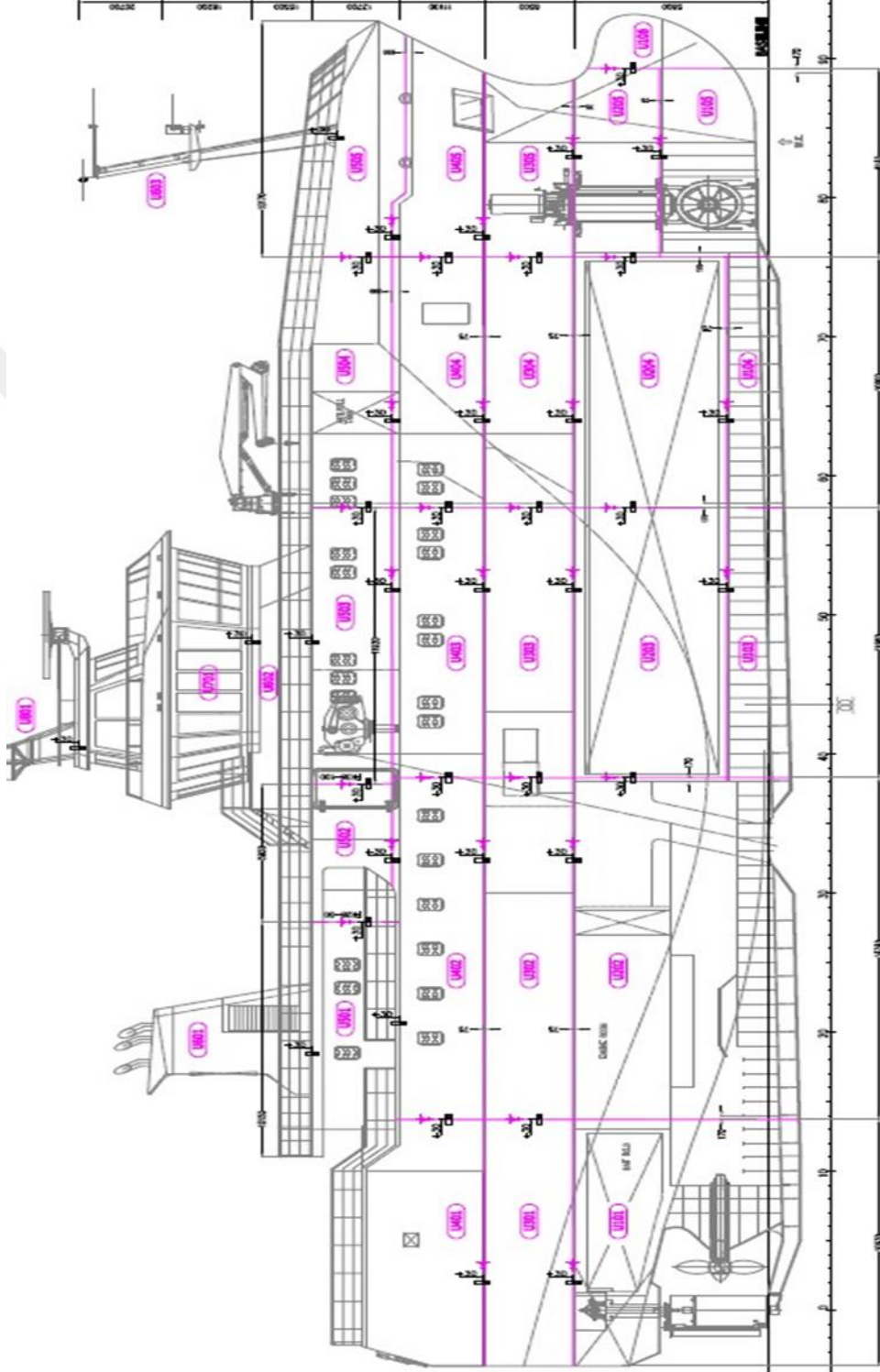
- Thorani, Y.L.P., Rao, P.P.B. and Shankar, N.R., 2012, Ordering Generalized Trapezoidal Fuzzy Numbers, *International Journal of Contemporary Mathematical Sciences*, 7(12), 555-573.
- Tokala, H., 2015, *Online optimization models in short-term production planning*, Aalto University publication series, School of Engineering, Doctoral Dissertations.
- Toklu, Y.C., 2002, Application of genetic algorithms to construction scheduling with or without resource constraints, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 29:421–429.
- Trautmann, N. and Gnagi, M., 2015, *On an application of Microsoft Excel's evolutionary solver to the resource-constrained project scheduling problem RCPSP*, Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), IEEE International Conference on 6-9 Dec. Singapore, 2015..
- Tasan, S.O. and Gen, M., 2013, An integrated selection and scheduling for disjunctive network problems, *Computers & Industrial Engineering*, 65:65–76.
- Trading Economics, 2016, *GDP per capita*, <http://www.tradingeconomics.com/country-list/gdp-per-capita> [Ziyaret Tarihi: 13 Ağustos 2016].
- Tseng, L.Y. and Chen, S.C., 2006, A hybrid metaheuristic for the resource-constrained project scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 175(2) 707-721.
- Tseng, L.Y. and Chen, S.C., 2009, Two-phase genetic local search algorithm for the multimode resource-constrained project scheduling problem, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 13(4) 848-857.
- TÜİK, 2017, *Fasillara Göre İthalat İhracat İstatistikleri (1996-2016 Nisan)*, Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı, <https://biruni.tuik.gov.tr/disticaretapp/disticaret.zul?param1=22¶m2=4&sitcrev=0&isicrev=0&sayac=5802> [Ziyaret Tarihi: 10 Mayıs 2017].
- Türk Loydu Vakfı, 2007, *Türkiye Tersaneleri Master Planı Sonuç Raporu*, http://www.ubak.gov.tr/blsm_wıys/kygm/tr/doc/20140819_165146_70138_1_64.pdf [Ziyaret Tarihi: 14 Mart 2016].
- Türköz, F., 2001, *Doğrusal Programlama Metodu İle Üretim Planlaması*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi,
- Uehara, K. and Hirota, K., 1998, Parallel and multistage fuzzy inference based on families of α -level sets, *Information Sciences*, 106, 159–195.
- UNCTAD United Nations Conference on Trade and Development, 2016, *Review of Maritime Transport 2015*, http://unctad.org/en/publicationslibrary/rmt2015_en.pdf [Ziyaret Tarihi: 9 Nisan 2016].

- Ulusoy, G., 2002, *Proje planlamada kaynak kısıtlı çizelgeleme*, Yöneylem Araştırması, ODTÜ Basım, Ankara, 89-127.
- Ulusoy, G. and Özdamar, L., 1996, A framework for an interactive project scheduling system under limited resources, *European Journal of Operational Research*, 90:362-375.
- University of Aalto, 2016, *Shipyard Engineering*, https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/126146/mod_folder/content/0/L1_2%2520-%2520Shipyard%2520productivity.pdf%3Fforcedownload%3D1+%&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr [Ziyaret Tarihi: 9 Nisan 2016].
- Valls, V., Ballestin, F. and Quintanilla, M.S., 2004, Justification and RCPSP: A technique that pays, *European Journal of Operational Research*, 165:375–386.
- Valls, V., Ballestin, F. and Quintanilla, S., 2008, A hybrid genetic algorithm for the resource-constrained project scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 185(2) 495-508.
- Van Peteghem, V. and Vanhoucke, M., 2008, *A genetic algorithm for the multi-mode resource-constrained project scheduling problem*, Ghent University, Faculty of Economics and Business Administration.
- Van Peteghem, V. and Vanhoucke, M., 2010, A genetic algorithm for the preemptive and non-preemptive multi-mode resource-constrained project scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 201(2) 409-418.
- Wang, J., 2004, A fuzzy robust scheduling approach for product development projects, *European Journal of Operational Research*, 152:180–194.
- Wang, Y. M., Yanga, J.B., Xua, D.L and Chin, K.S., 2006, On the centroids of fuzzy numbers, *Fuzzy Sets and Systems*, 157:919 – 926.
- Wang, Y.M., 2009, Centroid defuzzification and the maximizing set and minimizing set ranking based on alpha level sets, *Computers & Industrial Engineering*, 57(1), 228-236.
- Wang, W.J. and Luoh, L., 2000, Simple computation for the defuzzifications of center of sum and center of gravity, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 9, 53–59.
- Wang, C., Mao, P., Mao, Y. and Shin, J.G., 2016, Research on scheduling and optimization under uncertain conditions in panel block production line in shipbuilding, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 8:398e408.
- Won, D.H., 2010, *A Study of Korean Shipbuilders' Strategy for Sustainable Growth*, Yüksek Lisans Tezi, Massachusetts Institute of Technology, <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/59147/659537907.pdf> [Ziyaret Tarihi: 6 Haziran 2016]

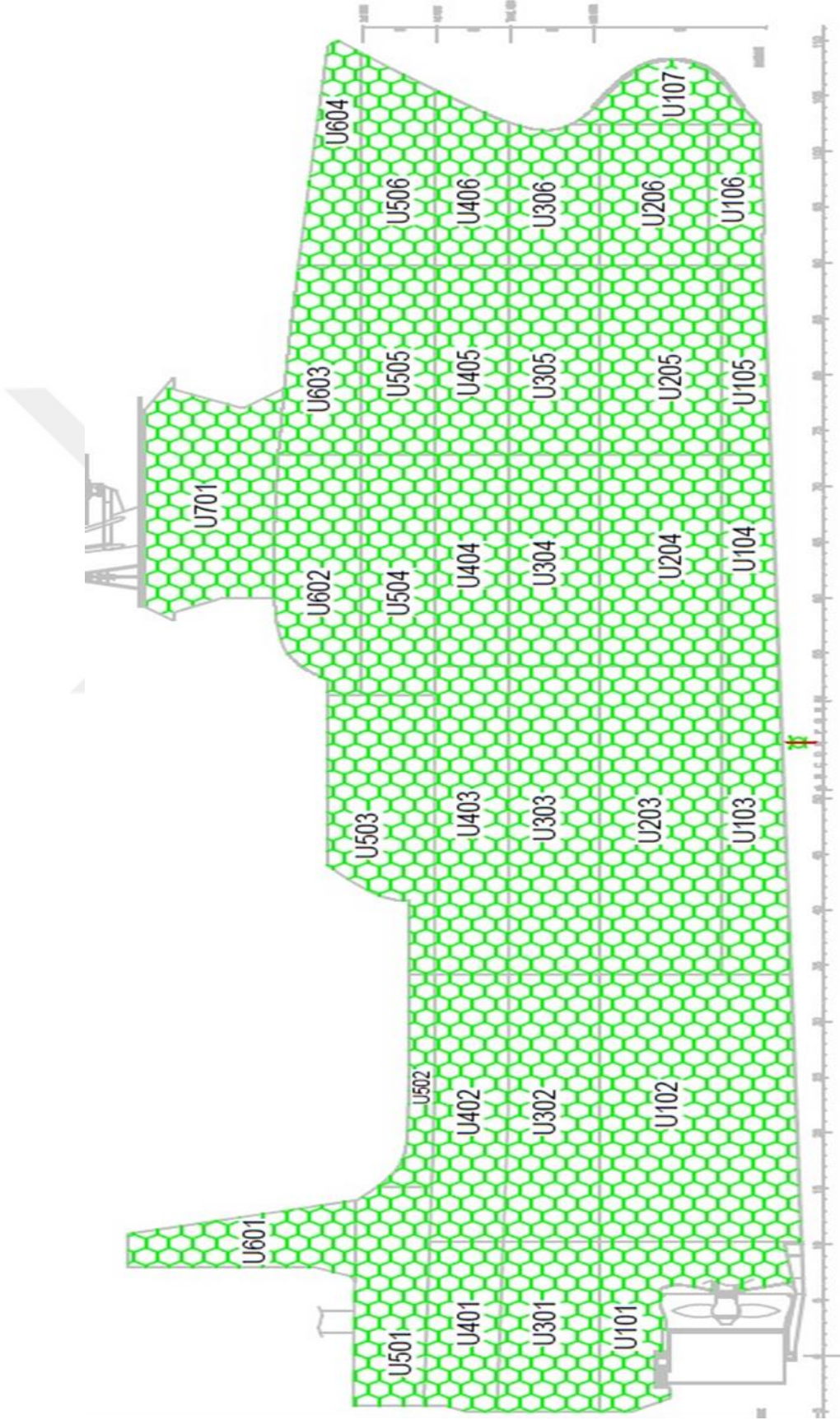
- World Bank, 2016, *World GDP and GDP growth*, <http://data.worldbank.org/indicator/ny.gdp.mktp.cd> [Ziyaret Tarihi: 13 Ağustos 2016].
- Yakhchali, S.H and Ghodsypour, S.H., 2010a, On the latest starting times and criticality of activities in a network with imprecise durations, *Applied Mathematical Modelling*, 34:2044–2058.
- Yakhchali, S.H and Ghodsypour, S.H., 2010b, Computing latest starting times of activities in interval-valued networks with minimal time lags, *European Journal of Operational Research*, 200:874–880.
- Yakhchali, S.H., 2014, A path enumeration approach for the analysis of critical activities in fuzzy networks, *Information Sciences*, 204:23–35.
- Yue, W., Wang, C. and Zhang, Q., 2008, Research on the Shipbuilding Logistics System under Modern Shipbuilding, *2008 ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control and Management*.
- Yu-Guang, Z., Xue Kai, X. and Yong, Z., 2011, Modeling and analysis of panel hull block assembly system through timed colored Petri net, *Marine Structures*, 24:570–580.
- Yuguang, Z., Kai, X. and Dongyan, S., 2013, Assembly unit partitioning for hull structure in shipbuilding, *Computer-Aided Design*, 45: 1630–1638.
- Yuguang, Z., Bo, A. and Yong Z., 2016, A PSO algorithm for multi-objective hull assembly line balancing using the stratified optimization strategy, *Computers & Industrial Engineering*, 98:53–62.
- Zadeh, L. A., 1965, Fuzzy sets, *Information and Control*, 8(3), 338-353.
- Zammori, F.A, Braglia, M. and Frosolini, M., 2009, A fuzzy multi-criteria approach for critical path definition, *International Journal of Project Management*, 27:278–291.
- Zare, H.K., Ghomi, H. and Karimi, B., 2006, Developing a heuristic algorithm for order production planning using network models under uncertainty conditions, *Applied Mathematics and Computation*, 182:1208–1218.
- Zareei, A., Zaerpour, F., Bagherpour, F., Noora, A.A. and Vencheh, A.H., 2011, A new approach for solving fuzzy critical path problem using analysis of events, *Expert Systems with Applications*, 38:87–93.
- Zhang, H., Xu, H and Peng, W., 2008, *A Genetic Algorithm for Solving RCPSP*, 2008 International Symposium on Computer Science and Computational Technology.
- Zieliński, P., 2004, On computing the latest starting times and floats of activities in a network with imprecise durations, *Fuzzy Sets and Systems*, 150:53–76.

EKLER

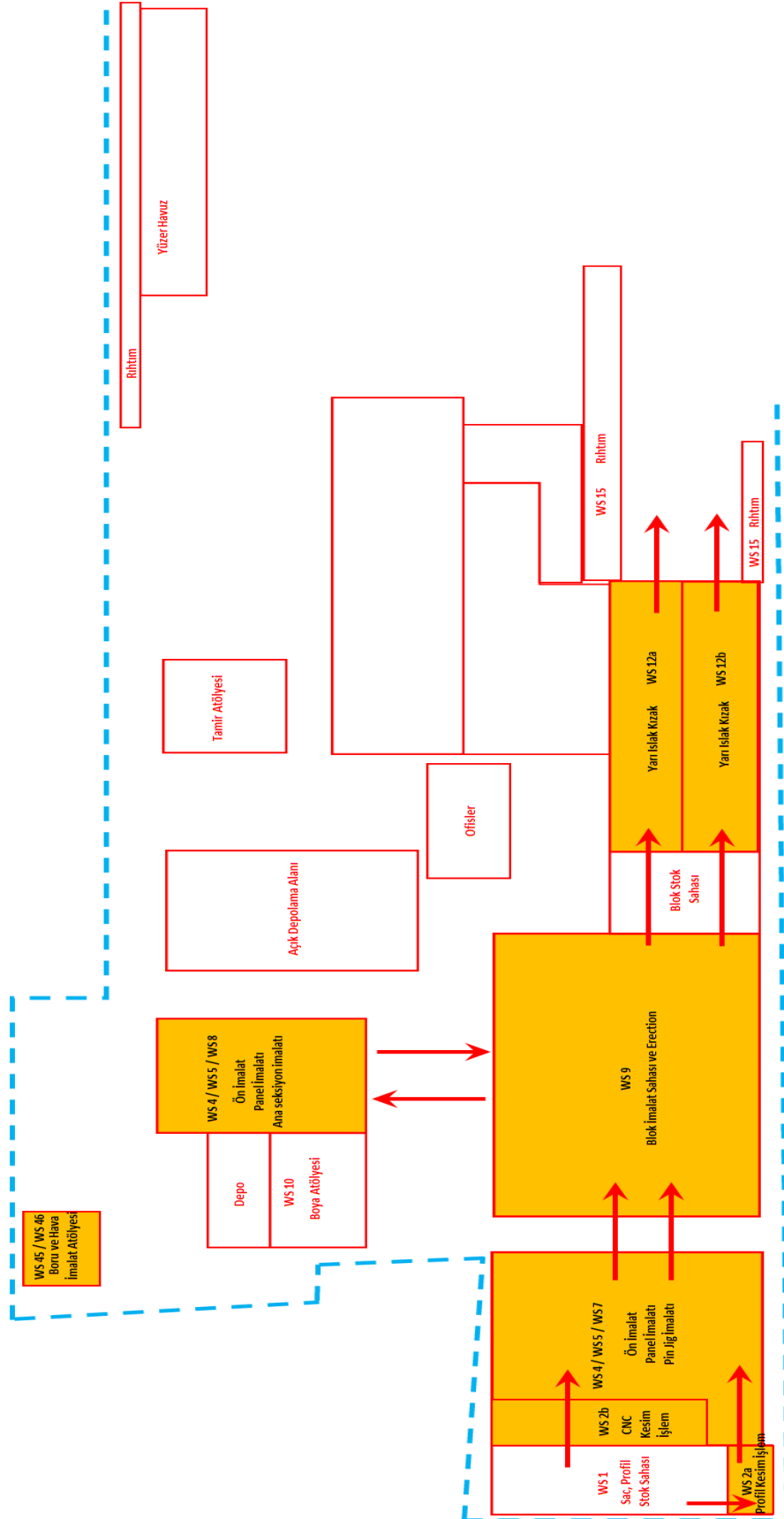
EK 1. A-gemi için blok inşa planı.



EK 2. B-gemi için blok inşa planı.



EK 3. Tersane uygulamasında tersane planı ve tersane üretim iş istasyonları şeması.



EK 4. A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, öncüller ve işgücü değerleri.

No	İş İstasyonu	Faaliyetler	Öncüller	İş Gücü (Adam.Gün)	
				Normal	Hızlandırılmış
1	WS 02	Başlangıç		0	0
2	WS 02	A U202 Kesim	1	10	10
3	WS 02	B U102 Kesim	2	10	10
4	WS 02	A U101 Kesim	3;2	10	10
5	WS 02	B U101 Kesim	4;3	10	10
6	WS 02	A U103 Kesim	5;4;2	10	10
7	WS 02	A U104 Kesim	6	10	10
8	WS 02	B U103 Kesim	7;5	10	10
9	WS 02	A U105 Kesim	8;7	10	10
10	WS 02	B U104 Kesim	9;8	10	10
11	WS 02	A U106 Kesim	10;9	10	10
12	WS 02	B U105 Kesim	11;10	10	10
13	WS 02	B U106 Kesim	12	10	10
14	WS 02	A U203 Kesim	13;7;2	10	10
15	WS 02	B U107 Kesim	14;13	10	10
16	WS 02	A U204 Kesim	15;14;7	10	10
17	WS 02	B U203 Kesim	16;3;8;11	10	10
18	WS 02	A U205 Kesim	17;12;16	10	10
19	WS 02	B U204 Kesim	18;7;17	10	10
20	WS 02	A U301 Kesim	19;4;11	10	10
21	WS 02	B U205 Kesim	20;12;19	10	10
22	WS 02	A U302 Kesim	21;20;2	10	10
23	WS 02	B U206 Kesim	22;13;21	10	10
24	WS 02	A U303 Kesim	23;14;22	10	10
25	WS 02	B U301 Kesim	24;15;5	10	10
26	WS 02	A U304 Kesim	25;16;24	10	10
27	WS 02	B U302 Kesim	26;3;25	10	10
28	WS 02	A U305 Kesim	26;18;27	10	10
29	WS 02	B U303 Kesim	28;17	10	10
30	WS 02	A U401 Kesim	29;20;28	10	10
31	WS 02	B U304 Kesim	30;29;19	10	10
32	WS 02	A U402 Kesim	31;22;30	10	10
33	WS 02	B U305 Kesim	32;21;31	10	10
34	WS 02	A U403 Kesim	33;24;32	10	10
35	WS 02	B U306 Kesim	34;33;23	10	10
36	WS 02	A U404 Kesim	35;34;26	10	10
37	WS 02	B U401 Kesim	36;25;35	10	10
38	WS 02	A U405 Kesim	37;28;36	10	10
39	WS 02	B U402 Kesim	38;37	10	10
40	WS 02	A U501 Kesim	39;32;38	10	10
41	WS 02	B U403 Kesim	40;29;39	10	10
42	WS 02	A U502 Kesim	41;32;40	10	10
43	WS 02	B U404 Kesim	42;31;41	10	10
44	WS 02	A U503 Kesim	43;34;42	10	10
45	WS 02	B U405 Kesim	44;43;33	10	10
46	WS 02	A U504 Kesim	45;36;44	10	10
47	WS 02	B U406 Kesim	46;35;45	10	10
48	WS 02	A U505 Kesim	47;46;38	10	10

EK 4 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, öncüller ve işgücü değerleri.

No	İş İstasyonu	Faaliyetler	Öncüller	İş Gücü (Adam.Gün)	
				Normal	Hızlandırılmış
49	WS 02	B U501 Kesim	48;37;39;47	10	10
50	WS 02	A U601 Kesim	49;40	10	10
51	WS 02	B U502 Kesim	50;39;49	10	10
52	WS 02	A U602 Kesim	51;42;44	10	10
53	WS 02	B U503 Kesim	52;51;41	10	10
54	WS 02	A U603 Kesim	53;48	10	10
55	WS 02	B U504 Kesim	54;43;53	10	10
56	WS 02	A U701 Kesim	55;52	10	10
57	WS 02	B U505 Kesim	56;45;55	10	10
58	WS 02	A U801 Kesim	57;56	10	10
59	WS 02	B U506 Kesim	58;47;57	10	10
60	WS 02	B U601 Kesim	59;49	10	10
61	WS 02	B U602 Kesim	60;53;55	10	10
62	WS 02	B U603 Kesim	61;57	10	10
63	WS 02	B U604 Kesim	62;59	10	10
64	WS 02	B U701 Kesim	63;61;62	10	10
65	WS 02	B U801 Kesim	64	10	10
66	WS 04	A U101 Prefabrikasyon	4	25	30
67	WS 04	B U101 Prefabrikasyon	5	25	30
68	WS 04	A U103 Prefabrikasyon	6	20	24
69	WS 04	B U102 Prefabrikasyon	3	30	36
70	WS 04	A U104 Prefabrikasyon	7	20	24
71	WS 04	B U103 Prefabrikasyon	8	25	30
72	WS 04	A U105 Prefabrikasyon	9	20	24
73	WS 04	B U104 Prefabrikasyon	10	20	24
74	WS 04	A U106 Prefabrikasyon	11	20	24
75	WS 04	B U105 Prefabrikasyon	12	20	24
76	WS 04	A U202 Prefabrikasyon	2	30	36
77	WS 04	B U106 Prefabrikasyon	13	15	18
78	WS 04	A U203 Prefabrikasyon	14	20	24
79	WS 04	B U107 Prefabrikasyon	15	6	7
80	WS 04	A U204 Prefabrikasyon	16	20	24
81	WS 04	B U203 Prefabrikasyon	17	25	30
82	WS 04	A U205 Prefabrikasyon	18	4	5
83	WS 04	B U204 Prefabrikasyon	19	25	30
84	WS 04	A U301 Prefabrikasyon	20	20	24
85	WS 04	B U205 Prefabrikasyon	21	20	24
86	WS 04	A U302 Prefabrikasyon	22	20	24
87	WS 04	B U206 Prefabrikasyon	23	20	24
88	WS 04	A U303 Prefabrikasyon	24	20	24
89	WS 04	B U301 Prefabrikasyon	25	20	24
90	WS 04	A U304 Prefabrikasyon	26	10	12
91	WS 04	B U302 Prefabrikasyon	27	20	24
92	WS 04	A U305 Prefabrikasyon	28	20	24
93	WS 04	B U303 Prefabrikasyon	29	20	24
94	WS 04	A U401 Prefabrikasyon	30	20	24
95	WS 04	B U304 Prefabrikasyon	31	20	24
96	WS 04	A U402 Prefabrikasyon	32	6	7

EK 4 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, öncüller ve işgücü değerleri.

No	İş İstasyonu	Faaliyetler	Öncüller	İş Gücü (Adam.Gün)	
				Normal	Hızlandırılmış
97	WS 04	B U305 Prefabrikasyon	33	20	24
98	WS 04	A U403 Prefabrikasyon	34	25	30
99	WS 04	B U306 Prefabrikasyon	35	20	24
100	WS 04	A U404 Prefabrikasyon	36	20	24
101	WS 04	B U401 Prefabrikasyon	37	20	24
102	WS 04	A U405 Prefabrikasyon	38	20	24
103	WS 04	B U402 Prefabrikasyon	39	20	24
104	WS 04	A U501 Prefabrikasyon	40	20	24
105	WS 04	B U403 Prefabrikasyon	41	20	24
106	WS 04	A U502 Prefabrikasyon	42	20	24
107	WS 04	B U404 Prefabrikasyon	43	20	24
108	WS 04	A U503 Prefabrikasyon	44	20	24
109	WS 04	B U405 Prefabrikasyon	45	20	24
110	WS 04	A U504 Prefabrikasyon	46	20	24
111	WS 04	B U406 Prefabrikasyon	47	20	24
112	WS 04	A U505 Prefabrikasyon	48	20	24
113	WS 04	B U501 Prefabrikasyon	49	20	24
114	WS 04	A U601 Prefabrikasyon	50	10	12
115	WS 04	B U502 Prefabrikasyon	51	4	5
116	WS 04	A U602 Prefabrikasyon	52	20	24
117	WS 04	B U503 Prefabrikasyon	53	15	18
118	WS 04	A U603 Prefabrikasyon	54	20	24
119	WS 04	B U504 Prefabrikasyon	55	20	24
120	WS 04	A U701 Prefabrikasyon	56	20	24
121	WS 04	B U505 Prefabrikasyon	57	20	24
122	WS 04	A U801 Prefabrikasyon	58	10	12
123	WS 04	B U506 Prefabrikasyon	59	20	24
124	WS 04	B U601 Prefabrikasyon	60	10	12
125	WS 04	B U602 Prefabrikasyon	61	20	24
126	WS 04	B U603 Prefabrikasyon	62	20	24
127	WS 04	B U604 Prefabrikasyon	63	20	24
128	WS 04	B U701 Prefabrikasyon	64	20	24
129	WS 04	B U801 Prefabrikasyon	65	10	12
130	WS 05	A U101 Panel Üretimi	66	25	30
131	WS 05	B U101 Panel Üretimi	67	25	30
132	WS 05	A U103 Panel Üretimi	68	20	24
133	WS 05	B U102 Panel Üretimi	69	30	36
134	WS 05	A U104 Panel Üretimi	70	20	24
135	WS 05	B U103 Panel Üretimi	71	25	30
136	WS 05	A U105 Panel Üretimi	72	20	24
137	WS 05	B U104 Panel Üretimi	73	20	24
138	WS 05	A U106 Panel Üretimi	74	20	24
139	WS 05	B U105 Panel Üretimi	75	20	24
140	WS 05	A U202 Panel Üretimi	76	30	36
141	WS 05	B U106 Panel Üretimi	77	15	18
142	WS 05	A U203 Panel Üretimi	78	20	24
143	WS 05	B U107 Panel Üretimi	79	6	7
144	WS 05	A U204 Panel Üretimi	80	20	24

EK 4 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, öncüller ve işgücü değerleri.

No	İş İstasyonu	Faaliyetler	Öncüller	İş Gücü (Adam.Gün)	
				Normal	Hızlandırılmış
145	WS 05	B U203 Panel Üretimi	81	25	30
146	WS 05	A U205 Panel Üretimi	82	4	5
147	WS 05	B U204 Panel Üretimi	83	25	30
148	WS 05	A U301 Panel Üretimi	84	20	24
149	WS 05	B U205 Panel Üretimi	85	20	24
150	WS 05	A U302 Panel Üretimi	86	20	24
151	WS 05	B U206 Panel Üretimi	87	20	24
152	WS 05	A U303 Panel Üretimi	88	20	24
153	WS 05	B U301 Panel Üretimi	89	20	24
154	WS 05	A U304 Panel Üretimi	90	10	12
155	WS 05	B U302 Panel Üretimi	91	20	24
156	WS 05	A U305 Panel Üretimi	92	20	24
157	WS 05	B U303 Panel Üretimi	93	20	24
158	WS 05	A U401 Panel Üretimi	94	20	24
159	WS 05	B U304 Panel Üretimi	95	20	24
160	WS 05	A U402 Panel Üretimi	96	6	7
161	WS 05	B U305 Panel Üretimi	97	20	24
162	WS 05	A U403 Panel Üretimi	98	25	30
163	WS 05	B U306 Panel Üretimi	99	20	24
164	WS 05	A U404 Panel Üretimi	100	20	24
165	WS 05	B U401 Panel Üretimi	101	20	24
166	WS 05	A U405 Panel Üretimi	102	20	24
167	WS 05	B U402 Panel Üretimi	103	20	24
168	WS 05	A U501 Panel Üretimi	104	20	24
169	WS 05	B U403 Panel Üretimi	105	20	24
170	WS 05	A U502 Panel Üretimi	106	20	24
171	WS 05	B U404 Panel Üretimi	107	20	24
172	WS 05	A U503 Panel Üretimi	108	20	24
173	WS 05	B U405 Panel Üretimi	109	20	24
174	WS 05	A U504 Panel Üretimi	110	20	24
175	WS 05	B U406 Panel Üretimi	111	20	24
176	WS 05	A U505 Panel Üretimi	112	20	24
177	WS 05	B U501 Panel Üretimi	113	20	24
178	WS 05	A U601 Panel Üretimi	114	10	12
179	WS 05	B U502 Panel Üretimi	115	4	5
180	WS 05	A U602 Panel Üretimi	116	20	24
181	WS 05	B U503 Panel Üretimi	117	15	18
182	WS 05	A U603 Panel Üretimi	118	20	24
183	WS 05	B U504 Panel Üretimi	119	20	24
184	WS 05	A U701 Panel Üretimi	120	20	24
185	WS 05	B U505 Panel Üretimi	121	20	24
186	WS 05	A U801 Panel Üretimi	122	10	12
187	WS 05	B U506 Panel Üretimi	123	20	24
188	WS 05	B U601 Panel Üretimi	124	10	12
189	WS 05	B U602 Panel Üretimi	125	20	24
190	WS 05	B U603 Panel Üretimi	126	20	24
191	WS 05	B U604 Panel Üretimi	127	20	24
192	WS 05	B U701 Panel Üretimi	128	20	24

EK 4 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, öncüller ve işgücü değerleri.

No	İş İstasyonu	Faaliyetler	Öncüller	İş Gücü (Adam.Gün)	
				Normal	Hızlandırılmış
193	WS 05	B U801 Panel Üretimi	129	10	12
194	WS 12	B U102 Blok Kurulması	198	30	30
195	WS 05	A U101 Blok Üretimi	66;130	25	30
196	WS 05	B U101 Blok Üretimi	67;131	25	30
197	WS 09	A U103 Blok Üretimi	68;132	20	20
198	WS 09	B U102 Blok Üretimi	69;133	30	30
199	WS 09	A U104 Blok Üretimi	70;134	20	20
200	WS 09	B U103 Blok Üretimi	71;135	25	25
201	WS 09	A U105 Blok Üretimi	72;136	20	20
202	WS 09	B U104 Blok Üretimi	73;137	20	20
203	WS 09	A U106 Blok Üretimi	74;138	20	20
204	WS 09	B U105 Blok Üretimi	75;139	20	20
205	WS 09	A U202 Blok Üretimi	76;140	30	30
206	WS 09	B U106 Blok Üretimi	77;141	15	15
207	WS 09	A U203 Blok Üretimi	78;142	20	20
208	WS 09	B U107 Blok Üretimi	79;143	6	6
209	WS 09	A U204 Blok Üretimi	80;144	20	20
210	WS 09	B U203 Blok Üretimi	81;145	25	25
211	WS 09	A U205 Blok Üretimi	82;146	4	4
212	WS 09	B U204 Blok Üretimi	83;147	25	25
213	WS 09	A U301 Blok Üretimi	84;148	20	20
214	WS 09	B U205 Blok Üretimi	85;149	20	20
215	WS 09	A U302 Blok Üretimi	86;150	20	20
216	WS 09	B U206 Blok Üretimi	87;151	20	20
217	WS 09	A U303 Blok Üretimi	88;152;215	20	20
218	WS 09	B U301 Blok Üretimi	89;153	20	20
219	WS 09	A U304 Blok Üretimi	90;154	10	10
220	WS 09	B U302 Blok Üretimi	91;155	20	20
221	WS 09	A U305 Blok Üretimi	92;156	20	20
222	WS 09	B U303 Blok Üretimi	93;157	20	20
223	WS 09	A U401 Blok Üretimi	94;158	20	20
224	WS 09	B U304 Blok Üretimi	95;159	20	20
225	WS 09	A U402 Blok Üretimi	96;160	6	6
226	WS 09	B U305 Blok Üretimi	97;161	20	20
227	WS 09	A U403 Blok Üretimi	98;162	25	25
228	WS 09	B U306 Blok Üretimi	99;163	20	20
229	WS 09	A U404 Blok Üretimi	100;164	20	20
230	WS 09	B U401 Blok Üretimi	101;165	20	20
231	WS 09	A U405 Blok Üretimi	102;166	20	20
232	WS 09	B U402 Blok Üretimi	103;167	20	20
233	WS 09	A U501 Blok Üretimi	104;168	20	20
234	WS 09	B U403 Blok Üretimi	105;169	20	20
235	WS 09	A U502 Blok Üretimi	106;170	20	20
236	WS 09	B U404 Blok Üretimi	107;171	20	20
237	WS 09	A U503 Blok Üretimi	108;172	20	20
238	WS 09	B U405 Blok Üretimi	109;173	20	20
239	WS 09	A U504 Blok Üretimi	110;174	20	20
240	WS 09	B U406 Blok Üretimi	111;175	20	20

EK 4 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, öncüller ve işgücü değerleri.

No	İş İstasyonu	Faaliyetler	Öncüller	İş Gücü (Adam.Gün)	
				Normal	Hızlandırılmış
241	WS 09	A U505 Blok Üretimi	112;176	20	20
242	WS 09	B U501 Blok Üretimi	113;177	20	20
243	WS 09	A U601 Blok Üretimi	114;178	10	10
244	WS 09	B U502 Blok Üretimi	115;179	4	4
245	WS 09	A U602 Blok Üretimi	116;180	20	20
246	WS 09	B U503 Blok Üretimi	117;181	15	15
247	WS 09	A U603 Blok Üretimi	118;182	20	20
248	WS 09	B U504 Blok Üretimi	119;183	20	20
249	WS 09	A U701 Blok Üretimi	120;184	20	20
250	WS 09	B U505 Blok Üretimi	121;185	20	20
251	WS 09	A U801 Blok Üretimi	122;186	10	10
252	WS 09	B U506 Blok Üretimi	123;187	20	20
253	WS 09	B U601 Blok Üretimi	124;188	10	10
254	WS 09	B U602 Blok Üretimi	125;189	20	20
255	WS 09	B U603 Blok Üretimi	126;190	20	20
256	WS 09	B U604 Blok Üretimi	127;191	20	20
257	WS 09	B U701 Blok Üretimi	128;192	20	20
258	WS 09	B U801 Blok Üretimi	129;193	10	10
259	WS 09	A B23 Modül Üretimi	197;207	30	30
260	WS 09	B B23 Modül Üretimi	200;210	30	30
261	WS 09	A B24 Modül Üretimi	199;209	30	30
262	WS 09	B B24 Modül Üretimi	202;212	30	30
263	WS 09	A B25 Modül Üretimi	201;203;211;221	30	30
264	WS 09	B B25 Modül Üretimi	204;214	30	30
265	WS 09	A B31 Modül Üretimi	213;223	30	30
266	WS 09	B B26 Modül Üretimi	206;216	30	30
267	WS 09	A B32 Modül Üretimi	225;215	30	30
268	WS 09	B B31 Modül Üretimi	218;230	30	30
269	WS 09	A B33 Modül Üretimi	217;227	30	30
270	WS 09	B B32 Modül Üretimi	220;232	30	30
271	WS 09	A B34 Modül Üretimi	219;229	30	30
272	WS 09	B B33 Modül Üretimi	222;234	30	30
273	WS 09	A B35 Modül Üretimi	231;241	30	30
274	WS 09	B B23 Modül Kurulumu	260;194	25	28/30
275	WS 09	B B34 Modül Üretimi	224;236	30	30
276	WS 09	A B53 Modül Üretimi	245;249	30	30
277	WS 09	B B35 Modül Üretimi	226;238	30	30
278	WS 09	B B36 Modül Üretimi	228;240	30	30
279	WS 09	B B51 Modül Üretimi	248;254	30	30
280	WS 09	B B52 Modül Üretimi	250;255	30	30
281	WS 09	B B53 Modül Üretimi	252;256	30	30
282	WS 09	B B71 Modül Üretimi	257;258	30	30
283	WS 12	A U202 Blok Kurulması	205	30	30
284	WS 12	A U101 Blok Kurulması	283;195	25	25
285	WS 09	A B23 Modül Kurulumu	259;283	25	25
286	WS 09	A B24 Modül Kurulumu	261;285	25	25
287	WS 12	A B32 Modül Kurulumu	283;285;267	25	25
288	WS 09	B B24 Modül Kurulumu	262;274	25	25

EK 4 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, öncüller ve işgücü değerleri.

No	İş İstasyonu	Faaliyetler	Öncüller	İş Gücü (Adam.Gün)	
				Normal	Hızlandırılmış
289	WS 12	B B25 Modül Kurulumu	288;264	25	25
290	WS 12	A B33 Modül Kurulumu	287;269;285	25	25
291	WS 12	B U101 Blok Kurulması	196;194	25	25
292	WS 12	A B34 Modül Kurulumu	271;290;286	25	25
293	WS 12	B B26 Modül Kurulumu	266;289	25	25
294	WS 12	A B25 Modül Kurulumu	263;286;292	25	25
295	WS 12	B B32 Modül Kurulumu	194;274;270	25	28/30
296	WS 12	B B31 Modül Kurulumu	268;291;295	25	25
297	WS 12	B B33 Modül Kurulumu	272;274;295	25	28/30
298	WS 12	A B35 Modül Kurulumu	239;273;294;292	25	25
299	WS 12	B B34 Modül Kurulumu	288;297;275	25	28/30
300	WS 12	B B35 Modül Kurulumu	277;289;299	25	28/30
301	WS 12	B B36 Modül Kurulumu	300;293;278	25	28/30
302	WS 12	A B31 Modül Kurulumu	265;292;284	25	25
303	WS 12	A U603 Blok Kurulması	247;298	5	5
304	WS 12	A U501 Blok Kurulması	233;287;302	20	20
305	WS 12	A U502 Blok Kurulması	235;287;304	20	20
306	WS 12	B B51 Modül Kurulumu	279;297;299	25	25
307	WS 12	A U503 Blok Kurulması	237;305;290	20	20
308	WS 12	B B52 Modül Kurulumu	306;300;280	25	25
309	WS 12	A U504 Blok Kurulması	239;307;292	20	20
310	WS 12	B B53 Modül Kurulumu	281;308;301	25	25
311	WS 12	A U601 Blok Kurulması	243;304	10	10
312	WS 12	B B71 Modül Kurulumu	306;308;282	25	25
313	WS 12	A B53 Modül Kurulumu	276;305;307	25	25
314	WS 12	B Şaft Kaynağı	291;194	8	8
315	WS 12	A U801 Blok Kurulması	251;313	10	10
316	WS 12	A Şaft Kaynağı	284;283	8	8
317	WS 12	B U107 Blok Kurulması	208;301;293	10	10
318	WS 12	B U503 Blok Kurulması	297;246;306	15	15
319	WS 12	B U502 Blok Kurulması	244;295;318	4	4
320	WS 12	B U501 Modül Kurulumu	242;296;295;319	20	20
321	WS 12	A Boyama	316;315;309;311;303	10	10
322	WS 12	B U601 Blok Kurulması	253;320	10	10
323	WS 12	B Boyama	314;317	10	10
324	WS 12	A Denize İndirme	321	75	75
325	WS 12	B Denize İndirme	310;312;322;323	75	75
326	WS 12	Bitiş	324;325	0	0

EK 5. A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, bulanık süreler ve durulaştırma.

No	Faaliyetler	Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Normal Proje)		Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Hızlandırılmış Proje)	
		Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Saat) (a, b, c, d)	Centroid Durulaştırma $\tilde{X}_o(\tilde{A})$	Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Saat) (a, b, c, d)	Centroid Durulaştırma $\tilde{X}_o(\tilde{A})$
1	Başlangıç	(0, 0, 0, 0)	0	(0, 0, 0, 0)	0
2	A U202 Kesim	(24, 32, 32, 40)	32	(24, 32, 32, 40)	32
3	B U102 Kesim	(24, 32, 32, 40)	32	(24, 32, 32, 40)	32
4	A U101 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
5	B U101 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
6	A U103 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
7	A U104 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
8	B U103 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
9	A U105 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
10	B U104 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
11	A U106 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
12	B U105 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
13	B U106 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
14	A U203 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
15	B U107 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
16	A U204 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
17	B U203 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
18	A U205 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
19	B U204 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
20	A U301 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
21	B U205 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
22	A U302 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
23	B U206 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
24	A U303 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
25	B U301 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
26	A U304 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
27	B U302 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
28	A U305 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
29	B U303 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
30	A U401 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
31	B U304 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
32	A U402 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
33	B U305 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
34	A U403 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
35	B U306 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
36	A U404 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
37	B U401 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
38	A U405 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
39	B U402 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
40	A U501 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
41	B U403 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
42	A U502 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
43	B U404 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
44	A U503 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
45	B U405 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16

EK 5 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, bulanık süreler ve durulaştırma.

No	Faaliyetler	Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Normal Proje)		Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Hızlandırılmış Proje)	
		Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Saat) (a, b, c, d)	Centroid Durulaştırma $\tilde{X}_o(\tilde{A})$	Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Saat) (a, b, c, d)	Centroid Durulaştırma $\tilde{X}_o(\tilde{A})$
46	A U504 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
47	B U406 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
48	A U505 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
49	B U501 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
50	A U601 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
51	B U502 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
52	A U602 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
53	B U503 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
54	A U603 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
55	B U504 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
56	A U701 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
57	B U505 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
58	A U801 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
59	B U506 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
60	B U601 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
61	B U602 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
62	B U603 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
63	B U604 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
64	B U701 Kesim	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
65	B U801 Kesim	(18, 24, 24, 30)	24	(18, 24, 24, 30)	24
66	A U101 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
67	B U101 Prefabrikasyon	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
68	A U103 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
69	B U102 Prefabrikasyon	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
70	A U104 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
71	B U103 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
72	A U105 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
73	B U104 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
74	A U106 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
75	B U105 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
76	A U202 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
77	B U106 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
78	A U203 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
79	B U107 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(34, 48, 48, 62)	48
80	A U204 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
81	B U203 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
82	A U205 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(19, 26, 26, 33)	26
83	B U204 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
84	A U301 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
85	B U205 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
86	A U302 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
87	B U206 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
88	A U303 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
89	B U301 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
90	A U304 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27

EK 5 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, bulanık süreler ve durulaştırma.

No	Faaliyetler	Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Normal Proje)		Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Hızlandırılmış Proje)	
		Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Saat) (a, b, c, d)	Centroid Durulaştırma $\tilde{X}_o(\tilde{A})$	Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Saat) (a, b, c, d)	Centroid Durulaştırma $\tilde{X}_o(\tilde{A})$
91	B U302 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
92	A U305 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
93	B U303 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
94	A U401 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
95	B U304 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
96	A U402 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(21, 27, 27, 33)	27
97	B U305 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
98	A U403 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
99	B U306 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
100	A U404 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
101	B U401 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
102	A U405 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
103	B U402 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
104	A U501 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
105	B U403 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
106	A U502 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
107	B U404 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
108	A U503 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
109	B U405 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
110	A U504 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
111	B U406 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
112	A U505 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
113	B U501 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
114	A U601 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
115	B U502 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(32, 45, 45, 58)	45
116	A U602 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
117	B U503 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
118	A U603 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
119	B U504 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
120	A U701 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
121	B U505 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
122	A U801 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
123	B U506 Prefabrikasyon	(40, 56, 56, 72)	56	(33, 48, 48, 60)	47
124	B U601 Prefabrikasyon	(12, 16, 16, 20)	16	(10, 13, 13, 16)	13
125	B U602 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
126	B U603 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
127	B U604 Prefabrikasyon	(24, 32, 32, 40)	32	(20, 27, 27, 34)	27
128	B U701 Prefabrikasyon	(36, 48, 48, 60)	48	(30, 40, 40, 50)	40
129	B U801 Prefabrikasyon	(36, 48, 48, 60)	48	(30, 40, 40, 50)	40
130	A U101 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
131	B U101 Panel Üretimi	(60, 80, 80, 100)	80	(50, 67, 67, 84)	67
132	A U103 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
133	B U102 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
134	A U104 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
135	B U103 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53

EK 5 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, bulanık süreler ve durulaştırma.

No	Faaliyetler	Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Normal Proje)		Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Hızlandırılmış Proje)	
		Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Saat) (a, b, c, d)	Centroid Durulaştırma $\tilde{X}_o(\tilde{A})$	Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Saat) (a, b, c, d)	Centroid Durulaştırma $\tilde{X}_o(\tilde{A})$
136	A U105 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
137	B U104 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
138	A U106 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
139	B U105 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
140	A U202 Panel Üretimi	(36, 48, 48, 60)	48	(30, 40, 40, 50)	40
141	B U106 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
142	A U203 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
143	B U107 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(41, 55, 55, 69)	55
144	A U204 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
145	B U203 Panel Üretimi	(60, 80, 80, 100)	80	(50, 67, 67, 84)	67
146	A U205 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(14, 19, 19, 24)	19
147	B U204 Panel Üretimi	(60, 80, 80, 100)	80	(50, 67, 67, 84)	67
148	A U301 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
149	B U205 Panel Üretimi	(60, 80, 80, 100)	80	(50, 67, 67, 84)	67
150	A U302 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
151	B U206 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
152	A U303 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
153	B U301 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
154	A U304 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
155	B U302 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
156	A U305 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
157	B U303 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
158	A U401 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
159	B U304 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
160	A U402 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 21, 21, 27)	21
161	B U305 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
162	A U403 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
163	B U306 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
164	A U404 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
165	B U401 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
166	A U405 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
167	B U402 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
168	A U501 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
169	B U403 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
170	A U502 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
171	B U404 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
172	A U503 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
173	B U405 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
174	A U504 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
175	B U406 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
176	A U505 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
177	B U501 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
178	A U601 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
179	B U502 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(38, 51, 51, 64)	51
180	A U602 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20

EK 5 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, bulanık süreler ve durulaştırma.

No	Faaliyetler	Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Normal Proje)		Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Hızlandırılmış Proje)	
		Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Saat) (a, b, c, d)	Centroid Durulaştırma $\tilde{X}_o(\tilde{A})$	Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Saat) (a, b, c, d)	Centroid Durulaştırma $\tilde{X}_o(\tilde{A})$
181	B U503 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
182	A U603 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
183	B U504 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
184	A U701 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
185	B U505 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
186	A U801 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
187	B U506 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
188	B U601 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
189	B U602 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
190	B U603 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
191	B U604 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
192	B U701 Panel Üretimi	(48, 64, 64, 80)	64	(40, 53, 53, 66)	53
193	B U801 Panel Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(15, 20, 20, 25)	20
194	B U102 Blok Kurulması	(196, 230, 230, 270)	232	(196, 230, 230, 270)	232
195	A U101 Blok Üretimi	(255, 320, 320, 385)	320	(213, 267, 267, 321)	267
196	B U101 Blok Üretimi	(400, 480, 480, 560)	480	(333, 400, 400, 467)	400
197	A U103 Blok Üretimi	(190, 240, 240, 290)	240	(190, 240, 240, 290)	240
198	B U102 Blok Üretimi	(440, 520, 520, 600)	520	(440, 520, 520, 600)	520
199	A U104 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
200	B U103 Blok Üretimi	(190, 240, 240, 290)	240	(190, 240, 240, 290)	240
201	A U105 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
202	B U104 Blok Üretimi	(190, 240, 240, 290)	240	(190, 240, 240, 290)	240
203	A U106 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
204	B U105 Blok Üretimi	(210, 280, 280, 350)	280	(210, 280, 280, 350)	280
205	A U202 Blok Üretimi	(255, 320, 320, 385)	320	(255, 320, 320, 385)	320
206	B U106 Blok Üretimi	(190, 240, 240, 290)	240	(190, 240, 240, 290)	240
207	A U203 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
208	B U107 Blok Üretimi	(210, 280, 280, 350)	280	(210, 280, 280, 350)	280
209	A U204 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
210	B U203 Blok Üretimi	(190, 240, 240, 290)	240	(190, 240, 240, 290)	240
211	A U205 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
212	B U204 Blok Üretimi	(210, 280, 280, 350)	280	(210, 280, 280, 350)	280
213	A U301 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
214	B U205 Blok Üretimi	(210, 280, 280, 350)	280	(210, 280, 280, 350)	280
215	A U302 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
216	B U206 Blok Üretimi	(190, 240, 240, 290)	240	(190, 240, 240, 290)	240
217	A U303 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
218	B U301 Blok Üretimi	(210, 280, 280, 350)	280	(210, 280, 280, 350)	280
219	A U304 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
220	B U302 Blok Üretimi	(210, 280, 280, 350)	280	(210, 280, 280, 350)	280
221	A U305 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
222	B U303 Blok Üretimi	(210, 280, 280, 350)	280	(210, 280, 280, 350)	280
223	A U401 Blok Üretimi	(190, 240, 240, 290)	240	(190, 240, 240, 290)	240
224	B U304 Blok Üretimi	(190, 240, 240, 290)	240	(190, 240, 240, 290)	240
225	A U402 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168

EK 5 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, bulanık süreler ve durulaştırma.

No	Faaliyetler	Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Normal Proje)		Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Hızlandırılmış Proje)	
		Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Saat) (a, b, c, d)	Centroid Durulaştırma $\tilde{X}_o(\tilde{A})$	Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Saat) (a, b, c, d)	Centroid Durulaştırma $\tilde{X}_o(\tilde{A})$
226	B U305 Blok Üretimi	(210, 280, 280, 350)	280	(210, 280, 280, 350)	280
227	A U403 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
228	B U306 Blok Üretimi	(190, 240, 240, 290)	240	(190, 240, 240, 290)	240
229	A U404 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
230	B U401 Blok Üretimi	(210, 280, 280, 350)	280	(210, 280, 280, 350)	280
231	A U405 Blok Üretimi	(190, 240, 240, 290)	240	(190, 240, 240, 290)	240
232	B U402 Blok Üretimi	(210, 280, 280, 350)	280	(210, 280, 280, 350)	280
233	A U501 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
234	B U403 Blok Üretimi	(190, 240, 240, 290)	240	(190, 240, 240, 290)	240
235	A U502 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
236	B U404 Blok Üretimi	(190, 240, 240, 290)	240	(190, 240, 240, 290)	240
237	A U503 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
238	B U405 Blok Üretimi	(210, 280, 280, 350)	280	(210, 280, 280, 350)	280
239	A U504 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
240	B U406 Blok Üretimi	(210, 280, 280, 350)	280	(210, 280, 280, 350)	280
241	A U505 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
242	B U501 Blok Üretimi	(880, 1000, 1000, 1120)	1.000	(880, 1000, 1000, 1120)	1.000
243	A U601 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
244	B U502 Blok Üretimi	(210, 280, 280, 350)	280	(210, 280, 280, 350)	280
245	A U602 Blok Üretimi	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
246	B U503 Blok Üretimi	(255, 320, 320, 385)	320	(255, 320, 320, 385)	320
247	A U603 Blok Üretimi	(40, 56, 56, 72)	56	(40, 56, 56, 72)	56
248	B U504 Blok Üretimi	(210, 280, 280, 350)	280	(210, 280, 280, 350)	280
249	A U701 Blok Üretimi	(190, 240, 240, 290)	240	(190, 240, 240, 290)	240
250	B U505 Blok Üretimi	(255, 320, 320, 385)	320	(255, 320, 320, 385)	320
251	A U801 Blok Üretimi	(40, 56, 56, 72)	56	(40, 56, 56, 72)	56
252	B U506 Blok Üretimi	(255, 320, 320, 385)	320	(255, 320, 320, 385)	320
253	B U601 Blok Üretimi	(120, 160, 160, 200)	160	(120, 160, 160, 200)	160
254	B U602 Blok Üretimi	(210, 280, 280, 350)	280	(210, 280, 280, 350)	280
255	B U603 Blok Üretimi	(255, 320, 320, 385)	320	(255, 320, 320, 385)	320
256	B U604 Blok Üretimi	(280, 360, 360, 440)	360	(280, 360, 360, 440)	360
257	B U701 Blok Üretimi	(700, 800, 800, 900)	800	(700, 800, 800, 900)	800
258	B U801 Blok Üretimi	(640, 720, 720, 800)	720	(640, 720, 720, 800)	720
259	A B23 Modül Üretimi	(90, 120, 120, 150)	120	(90, 120, 120, 150)	120
260	B B23 Modül Üretimi	(60, 80, 80, 100)	80	(60, 80, 80, 100)	80
261	A B24 Modül Üretimi	(90, 120, 120, 150)	120	(90, 120, 120, 150)	120
262	B B24 Modül Üretimi	(60, 80, 80, 100)	80	(60, 80, 80, 100)	80
263	A B25 Modül Üretimi	(190, 240, 240, 290)	240	(190, 240, 240, 290)	240
264	B B25 Modül Üretimi	(60, 80, 80, 100)	80	(60, 80, 80, 100)	80
265	A B31 Modül Üretimi	(90, 120, 120, 150)	120	(90, 120, 120, 150)	120
266	B B26 Modül Üretimi	(60, 80, 80, 100)	80	(60, 80, 80, 100)	80
267	A B32 Modül Üretimi	(90, 120, 120, 150)	120	(90, 120, 120, 150)	120
268	B B31 Modül Üretimi	(60, 80, 80, 100)	80	(60, 80, 80, 100)	80
269	A B33 Modül Üretimi	(90, 120, 120, 150)	120	(90, 120, 120, 150)	120
270	B B32 Modül Üretimi	(60, 80, 80, 100)	80	(60, 80, 80, 100)	80

EK 5 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, bulanık süreler ve durulaştırma.

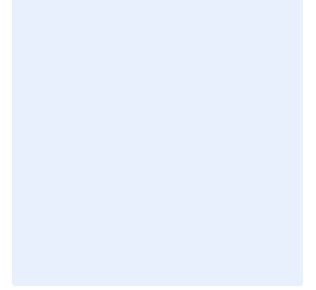
No	Faaliyetler	Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Normal Proje)		Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Hızlandırılmış Proje)	
		Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Saat) (a, b, c, d)	Centroid Durulaştırma $\tilde{X}_o(\tilde{A})$	Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Saat) (a, b, c, d)	Centroid Durulaştırma $\tilde{X}_o(\tilde{A})$
271	A B34 Modül Üretimi	(90, 120, 120, 150)	120	(90, 120, 120, 150)	120
272	B B33 Modül Üretimi	(60, 80, 80, 100)	80	(60, 80, 80, 100)	80
273	A B35 Modül Üretimi	(90, 120, 120, 150)	120	(90, 120, 120, 150)	120
274	B B23 Modül Kurulumu	(210, 280, 280, 350)	280	(185, 250, 250, 315) (175, 234, 234, 290)	250 233
275	B B34 Modül Üretimi	(60, 80, 80, 100)	80	(60, 80, 80, 100)	80
276	A B53 Modül Üretimi	(40, 56, 56, 72)	56	(40, 56, 56, 72)	56
277	B B35 Modül Üretimi	(60, 80, 80, 100)	80	(60, 80, 80, 100)	80
278	B B36 Modül Üretimi	(60, 80, 80, 100)	80	(60, 80, 80, 100)	80
279	B B51 Modül Üretimi	(60, 80, 80, 100)	80	(60, 80, 80, 100)	80
280	B B52 Modül Üretimi	(60, 80, 80, 100)	80	(60, 80, 80, 100)	80
281	B B53 Modül Üretimi	(60, 80, 80, 100)	80	(60, 80, 80, 100)	80
282	B B71 Modül Üretimi	(18, 24, 24, 30)	24	(18, 24, 24, 30)	24
283	A U202 Blok Kurulması	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
284	A U101 Blok Kurulması	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
285	A B23 Modül Kurulumu	(12, 16, 16, 20)	16	(12, 16, 16, 20)	16
286	A B24 Modül Kurulumu	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
287	A B32 Modül Kurulumu	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
288	B B24 Modül Kurulumu	(200, 272, 272, 320)	264	(200, 272, 272, 320)	264
289	B B25 Modül Kurulumu	(210, 276, 276, 330)	272	(210, 276, 276, 330)	272
290	A B33 Modül Kurulumu	(84, 112, 112, 140)	112	(84, 112, 112, 140)	112
291	B U101 Blok Kurulması	(120, 160, 160, 200)	160	(120, 160, 160, 200)	160
292	A B34 Modül Kurulumu	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
293	B B26 Modül Kurulumu	(210, 276, 276, 330)	272	(210, 276, 276, 330)	272
294	A B25 Modül Kurulumu	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
295	B B32 Modül Kurulumu	(640, 720, 720, 800)	720	(571, 643, 643, 715) (533, 600, 600, 667)	643 600
296	B B31 Modül Kurulumu	(640, 720, 720, 800)	720	(640, 720, 720, 800)	720
297	B B33 Modül Kurulumu	(440, 520, 520, 600)	520	(393, 464, 464, 535) (367, 432, 432, 500)	464 433
298	A B35 Modül Kurulumu	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
299	B B34 Modül Kurulumu	(200, 272, 272, 320)	264	(179, 243, 243, 286) (167, 227, 227, 266)	236 220
300	B B35 Modül Kurulumu	(160, 200, 200, 240)	200	(143, 179, 179, 215) (134, 167, 167, 200)	179 167
301	B B36 Modül Kurulumu	(210, 280, 280, 350)	280	(185, 250, 250, 315) (175, 234, 234, 290)	250 233
302	A B31 Modül Kurulumu	(136, 168, 168, 200)	168	(136, 168, 168, 200)	168
303	A U603 Blok Kurulması	(7, 8, 8, 9)	8	(7, 8, 8, 9)	8
304	A U501 Blok Kurulması	(84, 112, 112, 140)	112	(84, 112, 112, 140)	112
305	A U502 Blok Kurulması	(84, 112, 112, 140)	112	(84, 112, 112, 140)	112
306	B B51 Modül Kurulumu	(120, 160, 160, 200)	160	(120, 160, 160, 200)	160
307	A U503 Blok Kurulması	(84, 112, 112, 140)	112	(84, 112, 112, 140)	112
308	B B52 Modül Kurulumu	(160, 200, 200, 240)	200	(160, 200, 200, 240)	200
309	A U504 Blok Kurulması	(84, 112, 112, 140)	112	(84, 112, 112, 140)	112
310	B B53 Modül Kurulumu	(255, 320, 320, 385)	320	(255, 320, 320, 385)	320

EK 5 (devam). A ve B gemilerinin blok inşa faaliyetler, bulanık süreler ve durulaştırma.

No	Faaliyetler	Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Normal Proje)		Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Hızlandırılmış Proje)	
		Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Saat) (a, b, c, d)	Centroid Durulaştırma $\tilde{X}_o(\tilde{A})$	Bulanık Yamuk Faaliyet Süreleri (Saat) (a, b, c, d)	Centroid Durulaştırma $\tilde{X}_o(\tilde{A})$
311	A U601 Blok Kurulması	(40, 56, 56, 72)	56	(40, 56, 56, 72)	56
312	B B71 Modül Kurulumu	(190, 240, 240, 290)	240	(190, 240, 240, 290)	240
313	A B53 Modül Kurulumu	(60, 80, 80, 100)	80	(60, 80, 80, 100)	80
314	B Şaft Kaynağı	(60, 80, 80, 100)	80	(60, 80, 80, 100)	80
315	A U801 Blok Kurulması	(60, 80, 80, 100)	32	(60, 80, 80, 100)	32
316	A Şaft Kaynağı	(320, 400, 400, 480)	80	(320, 400, 400, 480)	80
317	B U107 Blok Kurulması	(60, 80, 80, 100)	400	(60, 80, 80, 100)	400
318	B U503 Blok Kurulması	(30, 40, 40, 50)	80	(30, 40, 40, 50)	80
319	B U502 Blok Kurulması	(160, 200, 200, 240)	40	(160, 200, 200, 240)	40
320	B U501 Modül Kurulumu	(180, 204, 204, 240)	200	(180, 204, 204, 240)	200
321	A Boyama	(30, 40, 40, 50)	208	(30, 40, 40, 50)	208
322	B U601 Blok Kurulması	(60, 80, 80, 100)	40	(60, 80, 80, 100)	40
323	B Boyama	(7, 8, 8, 9)	80	(7, 8, 8, 9)	80
324	A Denize İndirme	(7, 8, 8, 9)	8	(7, 8, 8, 9)	8
325	B Denize İndirme	(0, 0, 0, 0)	8	(0, 0, 0, 0)	8
326	Bitiş	(60, 80, 80, 100)	0	(60, 80, 80, 100)	0

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Ercan AKAN
Doğum Yeri	Rize
Doğum Tarihi	1976
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	+90 532 395 9780
E-Posta Adresi	ercanakan@gmail.com
Web Adresi	-



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2002

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı
Mezuniyet Tarihi	2006

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Programı
Mezuniyet Tarihi	2017