

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ ÜRETİMİNDE KAPASİTE OPTİMİZASYONU



DOKTORA TEZİ

Mustafa KAFALI

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı

OCAK 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ ÜRETİMİNDE KAPASİTE OPTİMİZASYONU



DOKTORA TEZİ

**Mustafa KAFALI
(508132011)**

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Yalçın ÜNSAN

OCAK 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 508132011 numaralı Doktora Öğrencisi Mustafa KAFALI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GEMİ ÜRETİMİNDE KAPASİTE OPTİMİZASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Yalçın ÜNSAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Barış BARLAS**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail Hakkı HELVACIOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Murat ÖZKÖK
Karadeniz Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **08 Ocak 2020**
Savunma Tarihi : **23 Ocak 2020**





Aileme,



ÖNSÖZ

Öncelikle bu çalışmayı bitirmeyi nasip ettiği için Allah'a şükretmek istiyorum. Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Yalçın ÜNSAN'a doktora eğitimim boyunca verdiği destekler için minnettarım. Ayrıca tez izleme komitesinde yer alan Prof. Dr. Barış BARLAS ve Prof. Dr. Murat ÖZKÖK hocalarıma tez çalışmam hakkında verdikleri fikirler ve yardımları için müteşekkirim. Bunun yanı sıra tersanelerinde inceleme ve gözlem faaliyetlerinde bulunmama müsaade eden TERSAN tersanesi idarecilerine TÛSOS ekibine ve bilhassa planlama müdürü sayın Şükrü EREN Bey'e özellikle teşekkür etmeliyim.

Çalışmalarım boyunca manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan anneme, babama, eşime ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürler ederim.

Ocak 2020

Mustafa KAFALI
(Gemi İnşaatı Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	2
1.2 Literatür İncelemesi	4
2. PROBLEM TANIMI	17
2.1 Gemi İnşaatında Blokların Üretimi	17
2.2 Gemi İnşaatının Planlanmasında Karşılaşılan Zorluklar.....	21
2.3 Ele Alınan Problem ve Varsayımlar	23
3. KAPASİTE OPTİMİZASYONU METODOLOJİSİ	29
3.1 Optimizasyon Metotları	29
3.1.1 Tavlama benzetimi	32
3.1.2 Parçacık sürü optimizasyonu.....	34
3.2 Çözüm Modeli.....	38
3.2.1 Başlangıç iş paketi yapılandırması.....	39
3.2.2 Nihai iş paketi yapılandırması.....	42
3.2.3 Plan oluşturulması.....	46
3.2.4 Nihai plan yapılandırması	56
4. ÖRNEK VAKA UYGULAMASI	63
4.1 Veri Oluşturma.....	63
4.2 Önerilen Metodoloji İçin Bir Uygulama Çalışması	67
4.2.1 Başlangıç iş paketi yapılandırma uygulaması	67
4.2.2 Nihai iş paketi yapılandırma uygulaması	71
4.2.3 Plan oluşturma uygulaması	75
4.2.4 Nihai plan yapılandırma uygulaması	87
4.3 Elde Edilen Sonuçlar ve Tartışma.....	94
4.3.1 Durum 1'in incelenmesi.....	96
4.3.2 Durum 2'nin incelenmesi.....	100
4.3.3 Durum 3'ün incelenmesi	104
4.3.4 Durum 4'ün incelenmesi	107
4.3.5 Durum 5'in incelenmesi.....	110
4.3.6 Durum 6'nın incelenmesi.....	114
5. SONUÇLAR	119
KAYNAKLAR	129

EKLER.....	135
ÖZGEÇMİŞ.....	137



KISALTMALAR

PSO : Parçacık Sürü Optimizasyonu
TB : Tavlama Benzetimi





SEMBOLLER

a	: Hız ayar katsayısı
CT^{ideal}	: Projenin istenilen tamamlanma süresi
$CTwp$: İş paketlerinin tamamlanma süresini gösteren vektör
$ctwp_j$: j . iş paketinin tamamlanma süresi
$ctwp_j^{ideal}$: j . iş paketinin ideal tamamlanma süresi
cc	: TB'de soğutma katsayısı
c_1, c_2	: PSO'da ivme sabitleri
D	: Alt işlerin işlem süresi matrisi
$d_{y,z}$: Üçüncü aşamada kullanılan işlem süresi matrisine göre y . satır ve z . sütuna denk gelen işlem süresi
$DIF_{j,v}$: j . iş paketinin işlem süresi matrisinde v . sütunun maksimum ve minimumu arasındaki fark
Dwp_j	: j . iş paketinin işlem süresi matrisi
$dwp_{y,v}$: Bir iş paketinin işlem süresi matrisinde y . satır ve v . sütundaki işlem süresi
ΔE	: TB'de amaç fonksiyonunun komşu çözüme göre hesaplanan değeri ile mevcut değeri arasındaki fark
$f(s')$: TB'de komşu çözüme göre amaç fonksiyonu değeri
$f(s)$: TB'de mevcut çözüme göre amaç fonksiyonu değeri
f_j	: Lsw matrisinden j . iş paketine dahil edilen ilk sütunun numarası
it	: İterasyon numarası
I	: Toplam sütun sayısı
J	: Toplam iş paketi sayısı
l_j	: Lsw matrisinden j . iş paketine dahil edilen son sütunun numarası
Lsw	: Alt iş miktarını gösteren matris
$lsw_{x,i}$: i . blokun x iş merkezindeki iş yükü miktarı
Lwp	: İş paketlerinin iş merkezindeki toplam iş miktarını gösteren matris
$lwp_{x,j}$: j . iş paketinin x iş merkezindeki toplam iş yükü miktarı
Lwp_j	: j . iş paketinin iş miktarı matrisi
$lwp_{y,v}$: Bir iş paketinin iş miktarı matrisinde y . satır ve v . sütundaki iş yükü miktarı
$l_{y,z}$: Üçüncü aşamada kullanılan iş miktarı matrisine göre y . satır ve z . sütundaki iş yükü miktarı
LB	: PSO'da alt sınır vektörü
Np	: Lsw matrisinden her iş paketine dâhil edilen sütun sayılarını gösteren vektör
np_j	: Lsw matrisinden j . iş paketine dahil edilen sütun sayısı
np^{max}	: Bir iş paketine atanabilecek maksimum sütun sayısı
O^{ideal}	: PSO'da amaç fonksiyonlarının ideal değerlerini gösteren vektör

O	: PSO'da amaç fonksiyonlarının hesaplanan değerlerini gösteren vektör
p	: Fazla mesaideki performans düşüş katsayısı
PA	: TB'de kabul olasılığı
Q	: Kapasite matrisi
$qsw_{x,i}$: Kapasite matrisinin i . sütununda x iş merkezine tahsis edilen kapasite
$q_{y,z}$: Üçüncü aşamada kullanılan kapasite matrisine göre y . satır ve z . sütuna denk gelen kapasite miktarı
Qwp_j	: j . iş paketinin kapasite matrisi
$qwp_{y,v}$: Bir iş paketinin kapasite matrisinde y . satır ve v . sütundaki kapasite miktarı
QS	: PSO'da sürü
RN	: TB'de $U(0,1)$ 'e göre üretilen rastgele bir sayı
std	: Standart sapma
T	: TB'de sıcaklık parametresi
t	: Çalışma süresi
U	: Düzgün dağılıma göre rastgele reel sayı üreten fonksiyon
UB	: PSO'da üst sınır vektörü
UD	: Düzgün dağılıma göre rastgele tam sayı üreten fonksiyon
UDP	: Düzgün dağılımına göre birbirinin aynısı olmayan rastgele tamsayılar üreten fonksiyon
V	: PSO'da hız matrisi
w	: PSO'da atalet ağırlığı
WP^{ideal}	: Başlangıç iş paketi konfigürasyonu aramasında tanımlanan ideal iş paketi vektörü
wp_x^{ideal}	: Başlangıç iş paketi konfigürasyonu aramasında tanımlanan ideal iş paketi vektörünün x iş merkezindeki toplam iş yükü
$WP_{i,j}$: Başlangıç iş paketi konfigürasyonu aramasında j . iş paketine i . blok eklendikten sonra elde edilen iş paketi vektörü
$wp_{x,i,j}$: Başlangıç iş paketi konfigürasyonu aramasında j . iş paketine i . blok eklendikten sonra elde edilen iş paketi vektöründe x iş merkezindeki toplam iş yükü
WP_j^{os}	: j . iş paketinin fazla mesai süresi matrisi
WN	: Bir reel sayının tam sayı kısmını ayıran fonksiyon
$\Delta_{i,j}$: Başlangıç iş paketi konfigürasyonu aramasında j . iş paketine i . Blok eklendikten sonra elde edilen iş paketi vektörünün ideal iş paketi vektörüne benzerlik ölçüsü
ε	: Nihai iş paketi konfigürasyonu aramasında kullanılan tolerans değeri
$best$: O ana kadarki en iyi çözümü ifade eder
day	: Tam gün olarak hesaplanan işlem sürelerini ifade eder
dp	: Gün biriminde hesaplanan işlem süresinin ondalık kısmını ifade eder
fin	: Nihai plan yapılandırması aşamasında nihai değerleri ifade eder
i	: Birinci ve ikinci aşamada sütun numarası
j	: İş paketi numarası
k	: Parçacık numarası
max	: Maksimum
min	: Minimum
nei	: Komşu çözümü ifade eder

<i>new</i>	: Nihai plan yapılandırması aşamasında esas alınan kapasitelere göre hesaplanan yeni değerleri ifade eder
<i>ns</i>	: Normal mesai
<i>os</i>	: Fazla mesai
<i>res</i>	: Nihai plan yapılandırması aşamasında artık işi ifade eder
<i>sta</i>	: Başlangıç yapısını ifade eder
<i>x</i>	: Kritik iş merkezleri indisi $x \in X = \{B, C, G, K\}$
<i>wnp</i>	: Gün biriminde hesaplanan işlem süresinin tam sayı kısmını ifade eder
<i>v</i>	: İş paketi matrislerinde sütun numarası
<i>y</i>	: Satır numarası
<i>z</i>	: Sütun numarası





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Üretim kademeleri ve açıklamaları.	18
Çizelge 4.1 : Çift dip ve yan duvar bloklarının kütle verisi [kg].	63
Çizelge 4.2 : DB-P kodlu bloktaki elemanlı panellerin adetleri ve alanları.	64
Çizelge 4.3 : S-P kodlu bloktaki parçaların adetleri ve birim alanları.	65
Çizelge 4.4 : Tüm blokların her bir iş merkezinde işlenecek kg olarak iş miktarları.	67
Çizelge 4.5 : İş paketlerindeki sütunların başlangıç ve bitiş indisleri	75
Çizelge 4.6 : İş paketlerinin tamamlanma süreleri.	91
Çizelge 4.7 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin standart sapmaları.	95
Çizelge 4.8 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelere göre birinci iş paketindeki alt işler için hesaplanan işlem süreleri.	96
Çizelge 4.9 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelere göre tüm iş paketlerinin tamamlanma süreleri.	97
Çizelge 4.10 : Optimizasyondan elde edilen kapasiteler vasıtasıyla hesaplanan tam gün iş paketi tamamlanma süreleri.	98
Çizelge 4.11 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en küçüklerine göre birinci iş paketindeki alt işler için hesaplanan işlem süreleri.	100
Çizelge 4.12 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en küçüklerine göre tüm iş paketlerinin tamamlanma süreleri.	100
Çizelge 4.13 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en küçüklerine göre fazla mesai kapasitesi [ton/gün].	101
Çizelge 4.14 : 21. iş paketi içinde bulunan blokların iş merkezlerindeki iş miktarı.	102
Çizelge 4.15 : 21. iş paketi iş miktarı matrisi.	102
Çizelge 4.16 : 21. iş paketi için optimizasyon sonucunda elde edilen kapasite matrisi.	102
Çizelge 4.17 : 21. iş paketinde iş miktarlarının optimizasyondan elde edilen kapasitelere bölünmesiyle hesaplanan işlem süresi matrisi.	103
Çizelge 4.18 : 21. iş paketinde artık işlerin fazla mesai kapasiteleri ile kıyaslanmasının ardından elde edilen tam gün işlem süresi matrisi.	103
Çizelge 4.19 : 21. iş paketi için elde edilen nihai tam gün işlem süresi matrisi.	103
Çizelge 4.20 : 21. iş paketi için elde edilen nihai kapasite matrisi.	104
Çizelge 4.21 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin aritmetik ortalaması [ton/gün].	104
Çizelge 4.22 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin aritmetik ortalamalarına göre birinci iş paketindeki alt işler için hesaplanan işlem süreleri.	105
Çizelge 4.23 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin aritmetik ortalamalarına göre tüm iş paketlerinin tamamlanma süreleri.	105
Çizelge 4.24 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin aritmetik ortalamalarına göre fazla mesai kapasitesi [ton/gün].	105
Çizelge 4.25 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin aritmetik ortalamaları vasıtasıyla hesaplanan tam gün iş paketi tamamlanma süreleri [gün].	106

Çizelge 4.26 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en büyükleri [ton/gün].	107
Çizelge 4.27 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en büyüklerine göre birinci iş paketindeki alt işler için hesaplanan işlem süreleri [gün]....	108
Çizelge 4.28 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en büyüklerine göre tüm iş paketlerinin tamamlanma süreleri.	108
Çizelge 4.29 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en büyüklerine göre fazla mesai kapasitesi [ton/gün].	108
Çizelge 4.30 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en büyükleri vasıtasıyla hesaplanan tam gün iş paketi tamamlanma süreleri [gün].	109
Çizelge 4.31 : Birinci iş paketi için ortalama iş paketi kapasitelerinin belirlenmesi.	110
Çizelge 4.32 : Bütün iş paketleri için ortalama kapasiteler [ton/gün].	110
Çizelge 4.33 : Ortalama iş paketi kapasitelerine göre birinci iş paketindeki alt işler için işlem sürelerinin hesaplanması $\left(\frac{\text{İş miktarı}}{\text{Kapasite}}\right)$	112
Çizelge 4.34 : Ortalama iş paketi kapasitelerine göre birinci iş paketindeki alt işlerin işlem süreleri.	112
Çizelge 4.35 : Ortalama iş paketi kapasitelerine göre tüm iş paketlerinin tamamlanma süreleri.	112
Çizelge 4.36 : Ortalama iş paketi kapasiteleri vasıtasıyla hesaplanan tam gün iş paketi tamamlanma süreleri.	113
Çizelge 4.37 : Bütün iş paketlerinin arttırılmış ortalama iş paketi kapasiteleri [ton/gün].....	114
Çizelge 4.38 : Arttırılmış ortalama iş paketi kapasitelerine göre birinci iş paketindeki alt işler için işlem sürelerinin hesaplanması $\left(\frac{\text{İş miktarı}}{\text{Kapasite}}\right)$	116
Çizelge 4.39 : Arttırılmış ortalama iş paketi kapasitelerine göre birinci iş paketindeki alt işlerin işlem süreleri.	116
Çizelge 4.40 : Arttırılmış ortalama iş paketi kapasitelerine göre tüm iş paketlerinin tamamlanma süreleri.	116
Çizelge 4.41 : Arttırılmış ortalama iş paketi kapasiteleri vasıtasıyla hesaplanan tam gün iş paketi tamamlanma süreleri.....	117
Çizelge 5.1 : Nihai kapasitelerin standart sapmaları.....	121
Çizelge 5.2 : Fazla mesai süreleri [saat].	121
Çizelge 5.3 : Tam gün nihai işlem sürelerine göre her bir zaman diliminin standart sapması toplamı ve aritmetik ortalaması.	122
Çizelge 5.4 : İş merkezlerindeki aylak süreler.....	123
Çizelge 5.5 : Her bir durumun kapasite tahsis performansları.	123
Çizelge 5.6 : İlk ve son iş paketleri hariç nihai kapasitelerin standart sapmaları. ...	124
Çizelge 5.7 : İlk ve son iş paketleri hariç fazla mesai süreleri [saat].....	124
Çizelge 5.8 : İlk ve son iş paketleri hariç tam gün nihai işlem sürelerine göre her bir zaman diliminin standart sapması toplamı ve aritmetik ortalaması.	125
Çizelge 5.9 : İlk ve son iş paketleri hariç iş merkezlerindeki aylak süreler [gün]... ..	125
Çizelge 5.10 : İlk ve son iş paketleri hariç her durumdaki kapasite tahsis performansı.	125
Çizelge 5.11 : İlk ve son iş paketlerinin hariçte tutulması halinde kapasite tahsis oranındaki iyileşme oranı.....	126

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Emek-zaman eğrisi	1
Şekil 2.1 : (a) Montaj faaliyeti. (b) Kaynak faaliyeti.....	19
Şekil 2.2 : Bloğun oluşması için hammaddenin işlem gördüğü mahaller.	20
Şekil 2.3 : Sadeleştirilmiş malzeme akışı	21
Şekil 2.4 : İmalat stratejisine göre malzeme akışı ve örnek ara ürünler.	22
Şekil 2.5 : Belli bir işe tahsis edilen kapasitenin artırılması durumu.	26
Şekil 2.6 : İş paketi ve alt işler.....	27
Şekil 3.1 : Sezgisel algoritmalar.	31
Şekil 3.2 : Kabul olasılığı fonksiyonu.	33
Şekil 3.3 : TB’nde kabul olasılığının sıcaklıkla ilgisi.	34
Şekil 3.4 : TB algoritması akış diyagramı..	35
Şekil 3.5 : Parçacık hareketi.	37
Şekil 3.6 : PSO algoritması akış diyagramı.	38
Şekil 3.7 : Problemin ana çözüm modeli.	39
Şekil 3.8 : Başlangıç iş paketi yapılandırmasında örnek bir $\Delta_{i,j}$ değişimi.	41
Şekil 3.9 : Başlangıç iş paketi yapılandırma prosedürünün akış şeması.	42
Şekil 3.10 : Nihai iş paketi konfigürasyonu arama prosedürünün akış şeması.	45
Şekil 3.11 : Yeniden düzenlenen iş miktarı matrisinde bir bloka ait alt işler.....	47
Şekil 3.12 : Hesaplanan hız değerlerinin alt ve üst sınırlar ile tanımlanmış aralığa taşınması.	55
Şekil 3.13 : Plan oluşturulması prosedürü akış şeması.....	56
Şekil 3.14 : Nihai plan yapılandırması prosedürü akış diyagramı.....	61
Şekil 4.1 : Örnek bir en kesit.	63
Şekil 4.2 : Birinci iş paketi yapılandırmasında $\Delta_{i,j}$ değişimi.	70
Şekil 4.3 : Tavlama benzetimi algoritmasında sıcaklık değişimi.	74
Şekil 4.4 : Tavlama benzetimi algoritmasında amaç fonksiyonunun yakınsama grafığı.	75
Şekil 4.5 : PSO algoritmasında amaç fonksiyonunun yakınsama grafığı.....	87
Şekil 4.6 : Nihai planın oluşturulmasında mukayesesi yapılan altı farklı durum.....	95
Şekil 4.7 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.....	96
Şekil 4.8 : Optimizasyondan elde edilen kapasiteler vasıtasıyla hesaplanan nihai kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.....	98
Şekil 4.9 : Optimizasyondan elde edilen kapasiteler vasıtasıyla hesaplanan nihai kapasite-zaman grafığının 22-44 günleri arası.	99
Şekil 4.10 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en küçükleri vasıtasıyla hesaplanan nihai kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.....	101
Şekil 4.11 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin aritmetik ortalamaları vasıtasıyla hesaplanan nihai kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.....	106

Şekil 4.12 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en büyükleri vasıtasıyla hesaplanan nihai kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.....	109
Şekil 4.13 : Ortalama iş paketi kapasitelerine göre alt işler için belirlenen kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.	111
Şekil 4.14 : Ortalama iş paketi kapasiteleri vasıtasıyla hesaplanan nihai kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.	113
Şekil 4.15 : Arttırılmış ortalama iş paketi kapasitelerine göre alt işler için belirlenen kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.	115
Şekil 4.16 : Arttırılmış ortalama iş paketi kapasiteleri vasıtasıyla hesaplanan nihai kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.	117



GEMİ ÜRETİMİNDE KAPASİTE OPTİMİZASYONU

ÖZET

Gemi üretimi sırasında farklı disiplinlerden birçok faaliyet bir arada yürütülmektedir. Bu durum karmaşık bir üretim ortamı meydana getirdiğinden, gemi inşaatı planlaması ve idaresi zor bir sanayii dalıdır. Dolayısıyla ancak gerçekçi bir üretim planlaması ve üretim sürecinin etkin bir şekilde takibi yapılarak üretimin kontrol altında ilerlemesi sağlanabilir.

Bloklar profil, plaka ve diğer bileşenlerin bir araya getirilmesi ile oluşturulurlar. Bunlar gemi üretiminde en fazla zaman alan ve üretimi sırasında birçok güçlüklerle karşılaşılacak parçalardan biridir. Blok üretimindeki faaliyetler muhtelif iş merkezlerinde icra edilirler. Gemi yapım endüstrisinde otomasyona dayalı işlerin sınırlı kalması gemi imalatının diğer aşamalarında olduğu gibi blok üretiminde de karşılaşılacak en büyük zorluklardandır. Bu sebeple iş gücü büyük oranda insan kaynağına bağlıdır. Dolayısıyla iş gücünün planlanması gemi yapımındaki en ehemmiyetli hususlardan birisidir. Öte yandan üretim planlaması ve kontrolünde yeterince başarılı olamayan özellikle küçük ve orta ölçekli tersaneler üretim süreci boyunca büyük sıkıntılarla karşı karşıya kalmaktadırlar. Bununla birlikte imalat faaliyetlerinin emek yoğun karakteristiği sebebiyle birim performans değerleri sürekli değişiklik göstermektedir.

Tezde dört aşamalı bir hiyerarşik kapasite optimizasyonu metodolojisi önerilmiştir. İkinci ve üçüncü aşamada, stokastik araştırmaya dayanan metasezgisel algoritmalar kullanılmıştır. Bu doğrultuda öncelikle blok üretimdeki ana faaliyetler belirlenmiş ve kritik iş merkezleri tespit edilmiştir. Daha sonra bahsedilen iş merkezlerindeki faaliyetler belirli bir planlama devrinde tamamlanması gereken görevler olarak gruplandırılıp iş paketleri tesis edilmiştir. Bunlar temel alınarak metasezgisel optimizasyon algoritmaları ile kapasite ve işlem süreleri hesaplanmıştır. Bunun ardından uzman görüşleri doğrultusunda inşa edilen bir algoritma ile optimizasyondan elde edilen plan son bir işlemde geçirilmiştir. Böylece kısıtlı bilginin mevcut olduğu durumlarda olabildiğince dengelenmiş kapasite ihtiyacı miktarlarının hesaplanması ile karar vericiye yardımcı olacak bilginin üretilmesi sağlanmıştır.

Bu çalışmada geçmiş bir tersane projesi analiz edilerek üretilen veriler doğrultusunda sayısal bir örnek verilmiştir. Toplamda 92 adet blok üretileceği düşünülmüştür. Teslim süresi 21 ay ve her ayda 22 iş günü olduğu kabul edilmiştir. Normal mesai 8, fazla mesai 3 çalışma saati olduğu varsayılmıştır. Ayrıca normal mesai ile karşılaştırıldığında, fazla mesai % 35 oranında performans düşüşü olduğu kabul edilmiştir. Blokların çelik konstrüksiyon imalatının gerçekleştirildiği iş merkezlerinde gerekli olan kapasitelerin belirlenebilmesi için bir kapasite tahsis modeli geliştirilmiştir. Bunun yanı sıra muhtelif kapasite tahsis seçeneklerinin bir birleri ile kıyaslanabilmesi için kapasite tahsis performansı olarak isimlendirilen bir indeks tanımlanmıştır. Burada ele alınan altı durumdan dördünde optimizasyondan elde edilen kapasitelerin işlenmesi ile, ikisinde ise optimizasyon yapılmadan hesaplanan

ortalama kapasitelerin işlenmesi ile kapasite tahsis performansları hesaplanmıştır. Ayrıca proje planının başında ve sonundaki basamaklı yapıdan dolayı projenin iş merkezlerine tam yüklenmesini daha iyi yansıtacağı düşüncesi ile birinci ve sonuncu iş paketleri kapasite tahsis performansı hesabı dışında tutulup yine aynı altı durum incelenmiştir. Her iki halde de optimizasyondan elde edilen kapasite değerlerinin kullanıldığı durumlar bariz bir şekilde ortalama hesaptan elde edilen durumlardan daha iyi kapasite tahsis performansı değerine sahiptir. Tüm iş paketleri hesaplama dâhil edildiğinde durum 3, ilk ve son iş paketleri hariçte tutulduğunda ise durum 2 en iyi kapasite tahsis performansına sahiptir. Birinci ve ikinci halde elde edilen indeks değerleri birbirleri ile kıyaslandığında ise en fazla iyileşmenin durum 2’de gerçekleştiği görülmektedir. Bu bakımdan çözüm modelinde dördüncü aşamada durum 2 esas alınmıştır. Çalışma özellikle gelişmekte olan, üretim planlama ve kontrolünde yeterli düzeye gelemeyen tersanelerdeki kısıtlı bilgi ortamına uygun bir plan hazırlanması problemi üzerine bina edilmiştir. Neticede, böylesi bir üretim ortamındaki gemi inşası için blok üretim planını, çözüm modeli içinde tanımlanan matematiksel modeller doğrultusunda ideale en yakın bir şekilde elde etmek için planlamacıya yardımcı olacak bir sistem ortaya çıkmıştır.

CAPACITY OPTIMIZATION IN SHIP PRODUCTION

SUMMARY

The construction process of ships built in shipyards is known to be long and laborious. A shipbuilding project consists of a variety of activities that require multidisciplinary cooperation. Therefore, during ship production process many activities from different disciplines are carried out together. As this creates a complex production environment, shipbuilding is an industrial branch that is difficult to plan and manage. Therefore, only realistic production planning and effective monitoring of the production process can ensure that production proceeds under control.

One of the main stages of production activities is the production of blocks. The blocks are time consuming and difficult components to produce in the shipbuilding process. They are the structures formed by joining the cut metal sheets, profiles and other components. Additionally, during this main stage, ship's hull blocks are built gradually by combining the small parts. Block built activities are carried out at the different stations of shipyards. These work centres can mainly be explained as follows: In the preparation section, the necessary pre-activities for production such as cutting and marking are carried out. The output of this station is called a single part. In the pre-production section, the individual parts are combined to form sub-assemblies and matrix structures. In the panel production section, panels with large dimensions are produced by combining the metal sheets and profiles. The difference between pre-production and panel production is the dimensions of the parts produced in both sections. In the block production section, the parts produced in the previous sections are combined and the blocks are constructed. In line with expert opinions and observations made in the production area preparation, pre-production and block production route is defined as critical route.

The fact that automation-based works are limited in the shipbuilding industry is one of the biggest challenges encountered in block production as in other stages of shipbuilding. Since the workforce is highly dependent on human resource, the planning of the workforce is one of the most important issues in shipbuilding. On the other hand, especially small and medium-sized shipyards, which are not successful in production planning and control, face great difficulties during the production process. At the same time, due to the labour intensive characteristic of manufacturing activities, unit performance values are constantly changing. Factors such as the initiation of production with incomplete design and revisions following the amendment requests from costumers lead to the fact that the work to be performed is not fully known in advance. Because of the work amount, revisions and worker performance uncertainty factors to be experienced in the production process, resource requirement cannot be determined clearly.

Although working with subcontractors provide workforce flexibility, unforeseen capacity requirement change in the production stations negatively influence the overall workforce planning and productivity. The capacity requirement, which has previously

been determined incorrectly, should somehow be compensated throughout the production process so that it does not delay the delivery date of the ship. In this case, those working in other fields are supplied to the related project. Meanwhile, the equipment in the normal work areas must be moved to the new work area. Along with this move, adaptation to the new job will be required. In addition to all these, some problems will arise where they stop working and come from. Therefore, those who are supplied in this way will be more costly than the normal workers. Therefore moving the workforce allocated initially is not desirable.

In the most general sense, duration (d) can be expressed by $d = L/(P \times R)$. Here L denotes amount of work, P denotes average performance and R denotes amount of resource. In the preceding equation the denominator ($P \times R$) can be called as capacity (Q). Performance is defined as the work done by one resource in a unit time and capacity is defined as the work done per unit time in a station. As seen, capacity is a parameter which includes performance and resource amount. After determining how much capacity a job needs to be allocated to complete it in a given time, the required amount of resource can be determined according to the current performance value determined from the field. A certain amount of work can be completed in a shorter time by increasing the capacity allocated to it. In order to increase the capacity, at least either the performance should be improved or the amount of resource should be increased.

It can be said that three basic knowledge is required to prepare a good plan. The first is the determination of the amount of work to fulfil. This can be achieved by completing the design and analysing the product. The second is the determination of production performance in work centres and can be achieved with effective production control. The third is the determination of the capacity to be allocated to the work centres in order to complete the product in the desired lead time. This is achieved by the calculations made by the planner. The problem addressed in this thesis is the determination of the third component. In this study, a sub-work based capacity allocation and planning research with lack of information is conducted. This dissertation is focused on providing a predetermined completion time by minimizing capacity requirement change in contrast to minimizing the makespan of the project. For this purpose, a four-stage hierarchical capacity optimization methodology is proposed. In the second and third stages, metaheuristic algorithms based on stochastic exploration are used. Initially, work packages are determined within the two stages. Depending on the available information, multiple work package configurations can be produced. Therefore, it is much more time consuming to directly search for a good work package configuration. In the first stage a preliminary procedure is applied to simplify the final work package configuration search. At the second stage, the final work package configuration is searched in accordance with the assumptions specified in the problem definition by using the simulated annealing algorithm. At the third stage, the plan is constituted by calculating capacities of critical route stations by metaheuristic optimization. In this context the capacity requirement for each sub-work, and corresponding durations are searched with the particle swarm optimization algorithm. At the last stage, the results obtained from optimization are reconsidered in line with expert preferences in an attempt to bring closer the results to reality. Through this stage, final adjustments are made on the optimization results. An evaluation algorithm was constructed in the direction of expert opinions to put the optimization results into the final form.

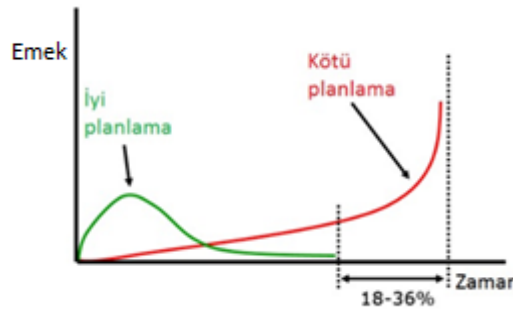
A numerical example was provided using data generated by analysing a previous project of a shipyard. There are totally 92 blocks used in calculations. The lead time is 21 months. Each month has 22 working days. It is assumed that the normal shift has 8 and over shift has 3 working hours. Compared to the normal shift, the over shift is considered to have a performance reduction of 35%. A capacity allocation model has been developed to determine the required capacities in work centres. In addition, an index called capacity allocation performance is defined so that the various capacity allocation options can be compared with each other.

In four of the six cases discussed here, capacity allocation performances are calculated by processing the capacities obtained from optimization. In the other two cases, capacity allocation performances are calculated based on the average capacities calculated without optimization. In addition, the first and the last work packages are excluded from the capacity allocation performance calculation and the same six cases are examined in order to better reflect the full load of the project to the work centres due to the stepped structure at the beginning and end of the project plan. In both states, the case where the capacity values obtained from the optimization are used, obviously have better capacity allocation performance than those obtained from the average calculation. Case 3 has the best capacity allocation performance when all work packages are included in the calculation, and case 2 when the first and last work packages are excluded. When the index values obtained in the first and second state are compared to each other, it is seen that the maximum improvement occurs in case 2. In this respect, the fourth stage of the solution model is based on case 2. The study is built on the problem of preparing a plan suitable for the limited information environment in the shipyards. As a result, a system has emerged to assist the planner achieving the block production plan in such environment to the near optimum solution in line with the mathematical models described in the model.



1. GİRİŞ

Gemi inşa sanayii endüstrinin ağır iş kollarından birisidir. Ayrıca gemilerin üretiminde pek çok proses bir arada gerçekleştirilmektedir. Planlama ve proje yönetiminin önemi bu noktadan hareketle ortaya çıkmaktadır. Esasen planlama sadece gemi üretimi için değil sanayinin tüm kolları için oldukça ehemmiyetlidir. Zira üretmekten maksat para kazanmaktır. Bir gemi inşa projesi çelik tekne üretimi, donatım, boru tesisatı ve makine montajı gibi çok disiplinli iş birliğine ihtiyaç duyan muhtelif faaliyetlerden oluşmaktadır (Li ve diğ., 2019). Bu üretim faaliyetlerinin başını çeken aşamalardan birisi ise blok imalatıdır. Bloklar, CNC tezgâhlarında kesilen parçaların kademeli olarak çeşitli kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmesiyle oluşturulurlar (Kim ve diğ., 2002). Dolayısıyla planlama yapılmadan üretimi kontrol etmek çok zor olacak, daha fazla kâr elde etmek mümkün iken daha az para kazanılacak belki de zarar edilecektir. Proje, bir gaye için, belli bir zaman ve bütçe dairesinde, istenen niteliklere göre, her biri müstakil fakat birbiriyle bağlantılı karmaşık faaliyetler bütünüdür. İyi planlanmış bir projede son ürün planlama süresi de dâhil olmak üzere kötü planlanmış veya hiç plan yapılmamış bir projeye nazaran daha erken, daha kârlı ve daha kaliteli ortaya çıkar. Şekil 1.1'den görüldüğü üzere düzgün bir planlama ilk başlarda zahmeti arttırabilir ama bu durum zaman ilerledikçe asgariye inecektir. Öte yandan planlamaya önem verilmediği durumda ise ilk başlarda hissedilmese de projenin ilerleyen safhalarında maruz kalınacak zahmet ve sıkıntı ayyuka çıkar. İyi bir proje planı yapmak belirsizliği azaltır, projenin daha iyi anlaşılmasını sağlar ve etkinliği artırır (Wysocki, 2009).



Şekil 1.1 : Emek-zaman eğrisi (Wysocki, 2009).

Proje yönetiminde karşı karşıya kalınan karmaşıklık ve belirsizlikler planlamada riskin temelini teşkil eder. Proje kaynaklarının sınırlı olması karmaşıklık boyutu ile, beklenmeyen değişikliklerin ortaya çıkması ise belirsizlik boyutu ile alakalıdır. Projede kısıtlı kaynakların fazlalığı karmaşıklığı artırırken değişiklik ihtimallerinin fazla olması da belirsizliğin çoğalmasına sebep olur (Vanhoucke, 2012). Gemi inşa projelerinde gerçekçi bir planlama yapmak inşa sürecinin sofistike yapısı nedeniyle oldukça zordur. Öte yandan üretim planlaması ve sürecin takibi yapılarak üretimin kontrol altında ilerlemesinin sağlanması başarılı bir proje gerçekleştirmenin temel gerekliliklerinden birisidir.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde genel bir giriş yapılmış daha sonra tezin amacından ve kapsamından bahsedilmiştir. Bunun ardından literatür incelemesi gelmektedir. İkinci bölümde problem tanımı yapılmıştır. Bu kapsamda öncelikle ürün ve üretim aşamaları açıklanmış ve akabinde gemi inşaatının planlanmasında karşılaşılan zorluklardan bahsedilmiştir. Daha sonra ele alınan problemin detayları ve varsayımlar verilmiştir. Üçüncü bölümde kapasite optimizasyonu metodolojisi yer almaktadır. Bu bölümde öncelikle optimizasyon metotları ile alakalı genel bilgiler verildikten sonra çözüm modelinde kullanılan optimizasyon metotlarının temelleri hakkında biraz daha detaylı açıklamalar yapılmıştır. Daha sonra tez kapsamında geliştirilen dört aşamalı hiyerarşik modelin her bir aşaması ile alakalı kısımlar gelmektedir. Dördüncü bölümde örnek vaka uygulaması yapılmıştır. Bunun için evvela veri oluşturulmuş bunun ardından da önerilen metodoloji için bir uygulama çalışması yapılmıştır. Bu kısımda çözüm modelinin her bir aşaması ile alakalı detaylı hesaplar verilmiştir. Uygulamanın peşinden elde edilen sonuçlar sunulmuş ve bunlar üzerinde gerekli açıklamalar yapılmıştır. Beşinci bölümde genel sonuçlar ve bunlara bağlı çıkarımlar verilmiştir. Ayrıca gelecek çalışma önerileri de bu son bölümde yer almaktadır.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Gemi inşa sanayiinde otomasyona dayalı işlerin sınırlı kalması gemi imalatının diğer aşamalarında olduğu gibi blok üretiminde de karşılaşılan en büyük zorluklardan birisidir. Bu durum insan faktörünün önemli olduğu gemi imalatı gibi emek yoğun sanayi kollarının üretim sürecinde muhtelif sıkıntıların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Karşılaşılan zorlukların bertaraf edilmesi ve üretimin sistemli bir şekilde

ilerlemesi açısından gemi üreticilerinin stratejik olarak verimli bir üretim sistemi kurma çabaları devam etmektedir (Song ve diğ, 2011). Planlama ve üretim için optimum karar verilmez ise gemi teslimlerinde beklenmeyen gecikmeler gibi büyük maliyetli sorunlar ortaya çıkabilir (Kim ve diğ, 2005). Özellikle üretim planlaması gemilerin zamanında teslim edilmeleri açısından büyük önem taşır. Zamanında teslim edilmiş her gemi iyi bir planlamanın ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. Zamanında teslim performansı armatörlerin göz önünde bulundurduğu en önemli etkenler arasında yer aldığından bu anlamdaki yüksek performans yeni proje anlaşmalarının önünü açacaktır (Hwang ve diğ, 2014; Kafalı ve Özkök, 2015).

Üretim planlaması ve kontrolünde yeterince başarılı olamayan özellikle küçük ve orta ölçekli tersaneler büyük sıkıntılarla karşı karşıya kalmaktadırlar. Ayrıca bunların arasından teknoloji seviyesinin düşük olduğu tersanelerdeki imalat faaliyetlerinin emek yoğun karakteristiği sebebiyle birim performans değerleri sürekli değişir. Bu durumda da ancak güncel performans tespit edilebilirse kaynak miktarı değiştirilerek kapasite ayarlanabilir. Bu sebeple üretimin dinamiklerine yanıt veren nitelikler taşıyan bir planın hazırlanması ve sürekli güncellenmesi çok önemlidir. Yapılan planlama güvenilir olmadığı ve güncellenmediği zaman ise plana sadık kalmak mümkün olmaz. Bu durumda üretim kendi halinde ilerlemesi ve planlama için harcanan emeğin heba olması kaçınılmazdır. Ayrıca böylesi bir üretim ortamında eldeki kaynaklar etkin bir şekilde kullanılamayacağından verimin düşmesi ve israfların artması önlenemez. Dolayısıyla gerçekçi bir planlama üretimden sağlanacak faydayı arttıracaktır.

Bu tezde temel olarak gemi inşaatında blokların çelik konstrüksiyon imalatının planlaması üzerinde durulmuştur. Bu bakımdan blokların üretiminin gerçekleştirildiği iş merkezlerinde gerekli olan kapasitelerin belirlenebilmesi için bir kapasite tahsis modeli geliştirilmiştir. Ayrıca muhtelif kapasite tahsis örneklerinin bir birleri ile kıyaslanabilmesi için kapasite tahsis performansı olarak isimlendirilen bir indeks tanımlanmıştır. Çalışmada, gelişmekte olan, üretim planlama ve kontrolünde yeterli düzeye gelemeyen tersanelerdeki kısıtlı bilgi ortamına uygun bir temel plan hazırlanması problemi ele alınmıştır. Nihai hedef bahsedilen üretim ortamındaki gemi inşası için blok üretim planını ideale en yakın bir şekilde nizami olarak elde etmek için planlamacıya yardımcı olacak bir sistem ortaya koymaktır.

Çalışmada temel planın oluşturulmasında öncelikle blok üretimdeki ana faaliyetler belirlenmiş daha sonra kritik iş merkezleri tespit edilip bunlar temel alınarak

metasezgisel optimizasyon algoritmaları ile kapasite ve işlem süreleri hesaplanmıştır. Bu sırada blokların iş merkezlerindeki faaliyetleri belirli bir planlama devrinde tamamlanması gereken görevler olarak gruplandırılıp iş paketleri tesis edilmiştir. Ayrıca uzman görüşleri doğrultusunda inşa edilen bir algoritma ile optimizasyon neticesinde elde edilen plan son bir düzenlemeye tabi tutulmuştur. Nihai olarak makul (feasible) bir plan oluşturmak hedeflenmiştir. Hazırlanan bu tezin, öne sürülen çözüm modelinde içerdiği metasezgisel optimizasyon algoritmalarının gemi inşa sanayiine uygulanması ile bu alanda literatüre katkı yapması ve kısıtlı bilginin mevcut olduğu durumlarda olabildiğince dengelenmiş kapasite ihtiyacı miktarlarının hesaplanabilmesi için karar vericiye yardımcı olacak bilginin üretilmesi probleminin çözümüne katkı sağlaması beklenmektedir.

1.2 Literatür İncelemesi

Uzun zamandan beri gemi inşa planlama çalışmaları alanında ele alınan problemler çoğunlukla mekânsal planlama bazında ortaya çıkmaktadır. Problemlerin matematiksel modellerini ele almak ve sonuç elde etmek için metasezgisel algoritmalar ve diğer analitik yöntemler kullanılmıştır. Ayrıca blok montajı tersanelerde ana verimlilik faktörlerinden biri olarak kabul edildiğinden, blok mekânsal çizelgeleme literatürde geniş şekilde incelenmiştir (Shang ve diğ, 2017). Bu bölümde gemi inşaatında planlamayla ilgili yapılmış makale ve doktora tezlerine yer verilecektir. Çalışmalar en yeniden en eskiye doğru sıralanmışlardır. Öncelikle makalelerden bahsedilecek olursa:

Dixit ve diğ. (2018) blok montaj alanındaki mekânsal çizelgeleme problemi için zaman ve kaynak kritiklik endekslerini içeren öncelik kurallarına dayalı bir simülasyon önerisi sunmuştur. Yazarlar çalışmalarında kullandıkları yöntemin blokları önceliklendirme için zaman ve mekan açısından kritikliklerini literatürdeki optimizasyon odaklı ve öncelik kurallarına dayalı yaklaşımlara göre daha makul bir hesaplama zamanı ve karmaşıklıkta analiz ettiğini belirtmektedirler. Jeong ve diğ. (2018) çeşitli tersanelerdeki mekânsal yerleşim planlama problemlerini sınıflandırmış ve açgözlü algoritma esaslı bir mekânsal yerleşim planlama algoritması önermiştir. Bu algoritmanın mevcut alt-sol doldurma algoritmasından daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmektedirler. Ge ve Wang (2018) eğrisel blokların mekânsal planlama problemi için değiştirilmiş bir genetik karınca kolonisi algoritması önermiştir.

Shang ve diğ. (2017), üç boyutlu kutu paketleme usulü ile mekânsal blok planlama problemini ele almıştır. Yazarlar blokların alana en iyi şekilde yerleştirilebilmesi için bir algoritma geliştirmişlerdir. Ayrıca blok inşa sırasını belirlemek için genetik algoritmayı kullanmışlardır.

Faaliyet sürelerinin belirli olarak kabul edildiği çalışmalardan farklı olarak Wang ve diğ. (2016a) kaynakların ve bundan dolayı da faaliyet sürelerinin deterministik olmadığını vurguladığı çalışmada, proje maliyetini ve teslim süresini en aza indirmeyi amaçlayan bir blok montaj çizelgeleme problemi optimizasyon metodu önermiştir. Rose ve Coenen (2016a) kompleks gemi tipleri imal eden tersanelerde kızakta blok montajı için uygulanabilir ve optimize edilmiş çizelgeler kümesi geliştiren bir metot sunmuşlardır. Çalışmada özellikle açıkdeniz yapıları (offshore) ve yolcu gemileri gibi kompleks gemiler inşa eden Avrupa tersanelerinin kızakta blok montajı faaliyetlerinin çizelgelemesi için iki amaçlı matematiksel bir model geliştirilmiştir. Buradaki amaçlar, kızakta blok montajı personeli ihtiyacını asgariye indirmek gayesiyle kaynak amacı ve kızaktaki donatım süresine bağlı donatım amacıdır. Kurulan matematiksel modelin çözümü için ayrıca metasezgisel bir usül olan genetik algoritma (non-dominated sorting generic algorithm-II: NSGA-II) temeline dayalı bir çözüm tekniği geliştirilmiştir. Rose ve Coenen (2016b) blok imalatında iş yükü değişimlerini ve dış kaynak kullanımını aynı anda asgariye indirmek için blok donatımının da tesirini ihtiva eden bir çalışma yapmışlardır. Bu makalede özellikle kompleks gemiler inşa eden Avrupa tersanelerindeki blok inşa faaliyetlerinin çizelgelemeleri için iki amaçlı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Buradaki amaçlar, dış kaynak kullanımını asgariye indirmek gayesiyle dış kaynak amacı ve kaynak ihtiyacındaki değişkenlikleri asgariye indirmek için kaynak amacıdır. Kurulan matematiksel modelin çözümü için genetik algoritma (NSGA-II) tatbik edilmiştir. Bu model sayesinde otomatik olarak blok imalat planları elde edilebilmektedir. Iwankowicz (2016) büyük ebatlı gemilerin üretimi için montaj sırası üreten ve çizge teorisine (theory of graph) dayanan bir metot geliştirmiştir. Optimum montaj sırasının belirlenmesinde genetik algoritma kullanmıştır. Ge ve diğ. (2016) çalışma alanının etkin kullanımını sağlamak için mekânsal planlama üzerinde durmuşlardır. Sunulan algoritmanın temelinde sezgisel kurallar ve genetik algoritma bulunmaktadır. Göz önüne alınan çalışma alanı şekil olarak düzensiz bir yapıya sahiptir ayrıca blokların dikdörtgen oldukları varsayılmıştır. Geliştirilen algoritmada ilk blok yerleşiminin

yapılması için not defteri kuralı (notepad rule); çalışma alanını en etkin şekilde kullanan en iyi blok sıralamasını tespit etmek için genetik algoritma kullanılmıştır. Ayrıca blokların birbirlerine ve çalışma alanı sınırlarına çarpmalarını engellemek amacıyla çatışma tespit teknolojilerinden (collision detection technology) faydalanılmıştır. Wang ve diğ. (2016b) panel blok üretim hattı optimizasyon ve çizelgelemesi üzerine araştırma yapmıştır. Panel üretim hattının gemi inşaatının en önemli kısımlarından biri olduğunun ifade edildiği çalışmada panel üretim hattının belirsizlik altında çizelgelemesi için bir model öne sürülmüştür. Bu model dinamik gerçek bir çevrede düz blokların üretildiği hatta blok siparişi geliş zamanı, faaliyet zamanı ve bloğun teslim zamanı ile alakalı birçok belirsizlik faktörünü göz önünde bulundurarak daha öncekilerden farklı olan; yuvarlanan ufuk (rolling horizon) ve yeniden çizelgeleme (rescheduling) usullerini bir araya getiren bir planlama stratejisini esas almaktadır. Problemin doğrusal olmayan tam sayılı programlama olarak bina edildiği çalışmada erken veya geç teslimatın meydana çıkardığı maliyetleri asgariye indirmeyi amaç edinen yeni bir ceza fonksiyonu da tanımlanmıştır . Afzalirad ve Rezaeian (2016) çalışmalarında bir tersanedeki kızakta blok montajı planlama probleminden yola çıkarak kaynak kısıtları, sıraya bağlı hazırlık süreleri, birbirinden farklı serbest kalma zamanları, makine uygunluğu ve iş önceliği kısıtları vasıtasıyla paralel makine planlama meselesi üzerinde durmuşlardır. İdeal çözüme ulaşabilmek için genetik algoritma ve yapay bağışıklık sistemi içeren iki yeni metasezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Nam ve diğ. (2016) gemi inşaatında simülasyonu kolaylaştırmak amacıyla yaptıkları bir diğer çalışmalarında planlama verisi için bir standart biçim ve veri dönüşümü tanıtmışlardır. Standart veri yapısı XML temelinde bina edilmiştir. Veri dönüştürücüsü sayesinde tersane özelindeki veriler standart veri biçimine dönüştürülmektedir. Orta vadeli planlama sistemlerinde kullanılan verilerinin standartlaştırılmasıyla mevcut simülasyon modellerinin verimsiz kaldığı noktalar daha etkin bir şekilde ele alınabilmektedir. Rose ve diğ. (2016) gemi inşaatında donatımın planlanması için bir matematiksel model öne sürmüş ayrıca problemin çözümü için bir sezgisel çözüm tekniği geliştirmişlerdir. Sikorra ve diğ. (2016) planlama faaliyetinin daha ilk aşamalarında iş miktarının tahmin edilmesi üzerine çalışmıştır. Yuguang ve diğ. (2016) parçacık sürüsü optimizasyonuna dayalı kademeli bir optimizasyon algoritması geliştirerek çok amaçlı bir gemi montaj hattı dengeleme problemini ele almıştır.

Vaagen ve Kaut (2015) mühendislik tasarım planlama problemini formüle etme ve çözme karmaşıklığına dikkat çekmek için bir stokastik program modeli kurmuştur. Böylece tasarım belirsizliğinin planlamayı nasıl etkilediğini göstermişlerdir. Lee ve diğ. (2015) tersanede geçmişten buyana toplanmış olan verilerin simülasyon yapabilmeye uygun hale getirilmesi üzerinde durmuşlar bunun yanı sıra bazı kriterler çerçevesinde veri kalitesi tahlili yapmışlardır. Nam ve diğ. (2015) bilgi noksanlığı sebebiyle tersane üretim planı yapılırken karşılaşılan sıkıntıları aşmak için bir nicel değerlendirme sistemi geliştirilmişlerdir. Birinci olarak IDEF0 (Integrated DEFinition for function modeling) metodu kullanılarak bilgi akışının tahliliyle üretim planı içinde 14 ana değerlendirme kalemi tespit edilmiştir. İkinci olarak belirlenen bu 14 kalem temelinde hiyerarşik yapı kurulmuş ve AHP kullanılarak kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Üçüncü olarak her bir kalemin değerlendirme formülleri ve ölçütleri tanımlanmıştır. Rose ve Coenen (2015) tarafından yazılan makalede ise gemi inşaatında donatımın planlanması için dört farklı metasezgisel metodun performansı karşılaştırılmıştır. Tüm karşılaştırılan metotlar yaklaşık %95'i bulan yüksek kaynak kullanım oranları ile tatmin edici planlamalar ortaya çıkarmışlardır. Kwon ve Lee (2015) bir tersane montaj atölyesindeki büyük blokların montajı için mekânsal planlama problemini ele almışlardır. Problem bir karma tam sayılı programlama modeli olarak formüle edilmiş ve ticari bir yazılım kullanılarak çözülmüştür. Ancak çözüm bulmanın zaman alıcı olması sebebiyle iki aşamalı bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma ile daha kıza zamanda kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir. Hu ve diğ. (2015) blok inşaatında alan planlama bağlamında bir melez sezgisel algoritma önermişlerdir. Hur ve diğ. (2015) bir tersanede faaliyetler bazında adamsaat kestirimi yapan bir sistem önermiş, sistemde çoklu lineer regresyon ile sınıflandırma ve regresyon ağacı kullanmışlardır. Dai ve diğ. (2015) bir açık deniz yapısı inşaatının mekânsal blok planlama problemi için bir genetik algoritma yaklaşımı sunmuştur. Blok üretim sürelerindeki belirsizlikler ve bunların inşa tamamlanma süresi üzerine etkilerini ele almak amacıyla işlem sürelerini üçgen bulanık sayılarla ifade etmişlerdir.

Bir diğer makalede Shin ve Bak (2014) tarafından taşıyıcı kombinasyonlarını göz önünde bulunduran bir taşıyıcı planlama modeli tanıtılmıştır. Buradaki amaç operasyonla ilgili maliyetleri azaltmak ve taşıyıcılar arasında iş yükü dengesini sağlamaktır. Mitsuyuki ve diğ. (2014) tersanede elektrik talebindeki zirveleri ortadan

kaldırmak amacıyla iş planları geliştirmek için kesikli olay simülasyonu ve genetik algoritma kullanarak bir metodoloji ortaya çıkarmışlardır. Bir satın alma planlaması modeli geliştiren Dixit ve diğ. (2014) maliyet katsayılarını bulanık olarak tayin edip belirsizlikleri göz önünde tutmuşlardır. Bu model gerçek bir tersanede satın alma planlaması için uygulanmıştır. Tao ve diğ. (2014) iş gücü atama ve mekânsal planlama problemlerinin ortaklaşa çözümü için bir yaklaşım önermişlerdir. Bao ve diğ. (2014) gelişmiş bir genetik algoritma sunarak kızakta blok montajı planlama problemi için iş önceliği, makine elverişliliği ve sınırlı alan kısıtlamalarını içeren bir çözüm üretmeye çalışmışlardır.

Caprace ve diğ. (2013) tarafından alanın ve zamanın verimli ve etkin bir şekilde planlanmasını sağlamak amacıyla bir planlama aracı tanımlanmıştır. Yazarlar burada tanıtılan mekânsal planlama aracının elle veya otomatik olarak büyük blokların inşaatı için alan tahsisinde kullanılıp, planlamacının birden çok alternatifi test ederek en iyi çözümü bulmak suretiyle tersane için daha verimli bir planlama hazırlayabileceğini belirtmişlerdir. Tokola ve diğ. (2013) makalelerinde kızakta blok montajı planlamasını çalışmış ve tamamlanma süresini asgariye indirmek için birçok kısıtların hesaba katıldığı bir matematiksel model formüle etmişlerdir. Lee ve diğ. (2013) gemi inşaatı için elverişli olan proses madenciliği teknikleriyle bloklar için kümelenme ve operasyon tahlili metodu önermişlerdir. Bu metodun çıktılarının kaynak atama ve operasyon planlama gayesiyle kullanılabileceğini söylemişlerdir.

Mekânsal planlama için iki aşamalı bir yaklaşımın sunulduğu çalışmada Zhang ve Chen (2012) birinci aşamada blok sayısını azaltmayı amaçlarken ikinci aşamada doğrusal olmayan karma tam sayılı programlama metodlarını kullanarak alan atama ve planlamayı optimize etmişlerdir. Zhuo ve diğ. (2012) tarafından bu çalışmada dinamik stokastik optimizasyon problemi için kesikli olay simülasyonu ve mekânsal optimizasyon kullanılarak yeni bir melez planlama metodu önerilmiştir. Zhang ve diğ. (2012) proje yöneticilerine tersane operasyonlarında yardımcı olması için kritik zincir temeline dayanan bir teknolojiden bahsetmişlerdir. Yazarlar bu teknolojinin özellikle proje portföylerinin planlanmasında faydalı olacağını söylemişlerdir. Mekânsal planlamanın ele alındığı bir diğer çalışmada Zheng ve diğ. (2012) öncelikle en uygun blok sırası ve mekânsal yerleşimi elde etmek için tipik blok özellikleri ve plakalar üzerine araştırmalar yapmışlardır. Daha sonra tamamlanma süresini asgariye indirmek

gayesiyle açgözlü (greedy) arama algoritmasını esas alan bir sezgisel mekânsal planlama modeli kurgulanmışlardır.

Liu ve diğ. (2011a) bu çalışmada planlama ufku boyunca toplam adamsaat değişkenliğini ve eş zamanlı olarak ara ürün lojistik taleplerini asgariye indirmek amacıyla yeni bir toplam üretim planlama modeli önermişlerdir. Zheng ve diğ. (2011) bir tersaneden elde edilen gerçek istatistiksel verilere dayanarak blok nitelikleri ve farklı kısıtlar üzerinden karşılaştırmalı analiz ve matematiksel tanımlama yapmışlardır. Öne sürülen birçok sezgisel planlama stratejileri kullanılarak tamamlanma süresinin asgariye indirilmesi için mekânsal planlama modeli kurgulanmıştır. Liu ve diğ. (2011b) dinamik mekânsal planlama problemi için kesikli olay simülasyonu uygulamasıyla bir ileri zamanlama mekanizması önermiştir. Simülasyon ve mekânsal konfigürasyonun yeni bir melez planlama çerçevesinde bir araya getirildiği çalışmada gemi inşaatında dinamik mekânsal planlamanın optimize edilmesi ve blok montajının kontrolünün sağlanması hedeflenmiştir.

Chung ve diğ. (2009) kısıtlar teorisi temelinde süreç içi stok olarak blokların artmasının kök nedenlerini ve bunlara karşı çözüm önerilerini ele almışlardır. Kısıtlar teorisinin gemi inşaatına uygulama örneklerinden bir diğeri olan makalede ise Kim ve diğ. (2009) en uygun ürün portföyü için kısıtlar teorisine dayanan bir karar destek sistemi (KDS) tanıtmışlardır. Bu KDS gemi inşaatı endüstrisinin maliyet yapısıyla uyumlu bir çıktı (throughput) kestirim aracı ve bir tersanedeki havuz, rıhtım, ön imalat alanı gibi kısıtlı kaynakların idare edilebilmesi için sezgisel algoritmayı temel alan bir kaynak simülatörü sağlamaktadır. Gholami ve Zandieh (2009) tarafından yapılan çalışmada stokastik olarak makine arızalarının yaşandığı bir atölyede dinamik planlama için genetik algoritma ve simülasyon entegre edilmiştir. Ortalama gecikmeleri ve tamamlanma zamanını asgariye indirmek amaç olarak belirlenmiştir. Dinamik koşullar altında hedeflere ulaşmak amacıyla en uygun çözümü bulmak için genetik algoritma; tesadüfi durmaların benzetimi için ise simülasyon modeli uygulanmıştır. Su ve diğ. (2009) önce geleneksel gemi inşa planlamasını tahlil etmişler daha sonra kritik zincir metodu ile gemi inşa planı hazırlanması ve kontrolü için uygulama yapmışlardır.

Gemi inşaatında blok montaj atölyeleri için otomatik blok yerleştirme algoritmalarının geliştirildiği makalede Shin ve diğ. (2008) blok üretim sırası politikası için sezgisel; blok yerleştirme için ise metasezgisel metot tanıtmışlardır. Ryu ve diğ. (2008) tersane

blok montaj atölyelerinde mekânsal planlama ve işgücü dengeleme amacıyla nesne odaklı bir sistem geliştirmişler, bu sayede planlamacıların daha az çaba sarf ederek daha yüksek miktarda veriyi ve bilgiyi yönetebilmelerini sağlamışlardır.

Diğer bir makalede entegre tekne-donatım-boya (IHOP) yöntemini bir planlama tekniği olarak ele alan Kim ve Lee (2007) özellikle ön imalat ve donatım atölyeleri için iyi sonuçlara ulaşıldığını belirtmişlerdir. Finke ve diğ. (2007) tarafından yapılan çalışmada Office of Naval Research (ONR) Manufacturing Technology (ManTech) programı tarafından desteklenen ve Northrop Grumman Newport News ile geliştirilen tersane alanı planlama aracından bahsedilmiştir. Bu araç elle ya da yarı otomatik olarak alan planlama yapmaktadır. Gemi inşaatında boru donatımının planlanması üzerine yapılan bir diğer çalışmada Jingsong ve diğ. (2007) boru donatımı sürecinde verimliliğin artırılabilmesi için bir planlama sistemi önermişlerdir. Öncelikle darboğaz olan aşama seçilmiş ve en uzun işlem süresi önce (longest time processing first) algoritması uygulanarak darboğaz ve bundan önceki aşamaların planlaması inşa edilmiştir. Seo ve diğ. (2007) vaka tabanlı muhakeme (case-based reasoning) kullanarak gemi inşaatında blok montajı planlama sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistem bloku oluşturan parçalar arasındaki topolojik ilişkiyi dikkate almaktadır.

Jeong ve diğ. (2006) üretim planlamada kuyruklar, makine arızaları, makinelerin tamir süreleri gibi bir çok faktörün doğurduğu değişkenliklerle başa çıkabilmek için genetik algoritma ve simülasyon içeren melez bir yaklaşım sunmuşlardır. Genetik algoritma planlamanın optimize edilmesi için simülasyon ise tamamlanma süresinin asgariye indirilmesi için kullanılmıştır. Simülasyon modeli ayrıca dinamik üretim planlama karakteristiğiyle uyum sağlamaktadır. Yoon ve diğ. (2006) tersanenin ön montaj alanındaki yükü optimize etmek için genetik algoritmaya dayalı bir sistem geliştirmiştir. Bu sistem zaman bazlı blok montaj sırası elde etmektedir. Böylece blokların kızak montajından önce birleştirilerek daha büyük blokların inşa edildiği gemi üretim metodunu kullanan tersaneler için bu ön montaj alanındaki iş yükünün optimize edilip darboğazın önlenmesi sağlanmıştır. Yoon ve Varghese (2006), kızak montajı öncesindeki alanda blok yerleşim problemini incelemiştir. Yazarlar blokların en uygun yerleşim modelini bulmak için alt-sol sezgiseli ile bir hibrit genetik algoritma geliştirmişlerdir.

Kısıt sağlama problemi (constraints satisfaction problem) kullanılarak blok montaj süreci planlaması üzerinde durulan makalede ise Kim ve diğ. (2002) birbiriyle çatışan

birçok kısıtlara cevap veren bir planlama geliştirebilmek için bir algoritma sunmuşlardır. Park ve diğ. (2002) tarafından yazılan makalede Hyundai Paint Shop Operating System (HYPOS) adı verilen blok boya atölyesinde mekânsal planlama projesi anlatılmıştır. Bu proje ile blok teslim tarihleri, iş alanı kullanım oranı, takımların iş yüklerinin dengesi hususlarında iyileştirmeler amaçlanmıştır. Projede geliştirilen sistem Mayıs 2000'den bu yana Hyundai Heavy Industries tersanesinde başarı ile uygulanmaktadır.

Gemi inşaatında boya prosesi için mekânsal planlama probleminin ele alındığı bir diğer makalede Cho ve diğ. (2001) önerdikleri planlama algoritması içinde operasyon stratejisi algoritması, blok planlama algoritması, blok yerleşim algoritması ve blok atama algoritması olmak üzere dört farklı işlemler zincirine yer vermişlerdir. Cho ve diğ. (1999) blok imalatında kaynak faaliyetinin planlanması için bir sistem geliştirmiştir (Cho, Sun, & Oh, 1999).

Cho ve diğ. (1998) blok imalatı için bütünleşik bir proses planlama ve çizelgeleme sistemi tanımlamıştır. Bu entegre sistem blok montajı planlaması için proses planlama, darboğaz blok seçme ve proses yeniden planlama modüllerinden oluşmaktadır. Başlangıç proses planlarını oluştururken optimum montaj birimlerinin ve montaj sıralarının belirlenmesinde vaka tabanlı muhakeme teknolojisi uygulanmıştır. Darboğaz blokun seçimi için entropi tabanlı bölümlenme (entropy-based partitioning) kullanan bir sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Blokların alternatif montaj atölyelerine yeniden tahsisi için de bir planlama revizyon sezgiseli geliştirilmiştir.

Lee ve diğ. (1997) bir tersanenin iş birliği ile bir proje kapsamında çizelgeleme sistemleri arasında hiyerarşik mimarinin, blok montajı çizelgelemesinde kısıtların, tersane alanına göre çizelgelemenin, dinamik montaj hattı çizelgelemenin ve adamsaat kestirimi için yapay sinir ağlarının bir arada kullanıldığı bir entegre tersane planlama ve çizelgeleme sistemi ortaya koymuşlardır. Geliştirilen sistem söz konusu tersanede başarılı bir şekilde uygulamaya alınmıştır.

Park ve diğ. (1996) sezgisel aramaya dayalı mekânsal blok çizelgeleme problemi için bir algoritma sunmuştur. Yazarlar planlama ufkunu parçalara bölerek problemi ele almışlar ve ardından plan parçalarını birleştirmişlerdir. Tatmin edici bir planlamanın yinelemeli usulle elde edilmesini sağlayan bir mekânsal blok planlama algoritmasının geliştirildiği bu çalışmada her bir bloğun alana dağılımı ile planlaması eş zamanlı

olarak ele alınmış ve bloklara mekân tahsisi için sezgisel arama prosedürü tasarlanmıştır. Lee ve diğ. (1996) tarafından yapılan çalışmada gemi inşaatı için bir mekânsal planlama uzman sistemi geliştirmek amacıyla ilk olarak çok köşeli nesnelerin dikkörtgen plakalar içinde mekânsal yerleşimi metodolojisi şekillendirilmiştir. Akabinde bu metodolojiye zaman boyutu da eklenerek genişletilmiş ve mekânsal planlama yöntemi ortaya çıkarılmıştır. Bu yöntem Daewoo Shipbuilding tersanesinde planlama için DAS-CURVE isimli bir sisteme uygulanmıştır. Cho ve diğ. (1996) gemi inşaatında blok montajı için bir otomatik proses planlama sistemi ortaya atmışlardır. Bu sistemde blok montaj prosesinin planlanması için vaka tabanlı muhakeme; kesme, eğme ve kaynak operasyonlarının planlanması için ise kural tabanlı muhakeme (rule-based reasoning) kullanılmıştır.

Mevzuyla alakalı doktora tezlerinden bahsedilecek olursa Nduka (2015) tarafından hazırlanan tezde Bayes ağları temelinde iki metot geliştirilmiştir. Bu metotlar devam eden bir projenin programa ait bir risk faktörü tarafından etkilenmesi halinde proje tamamlanma zamanlarındaki belirsizlikleri değerlendirme ve izlemeyi sağlamaktadır. Ortaya çıkan yöntemin 18 aktiviteden müteşekkil bir gemi inşaatı projesinde vaka çalışması da yapılmıştır.

Pinha (2015) çalışmasında kaynak kısıtlı proje planlama üzerinde durmuştur. Ayrıca saatlik, günlük veya haftalık temelde kısa dönemli planlamaya odaklanmıştır. Bu çalışmadaki kısa dönemli planlama, sistemin dinamik olduğunu varsaymaktadır. Böylece kaynaklar, öncelikler ve diğer kısıtlar zamanla değişmektedir. Problem için melez bir yaklaşım öne sürülmüştür. Bu yaklaşımın temelinde kesikli olay simülasyonu ve proje idarecilerinden sağlanan tecrübî kurallar kümesi vardır. Önerilen yaklaşım en elverişli tek bir netice aramak yerine plan ve maliyet üzerine etkileriyle birlikte uygulanabilir çözümleri sıralamaktadır. Bu araştırmada ayrıca çok modlu görevler, birden çok kabiliyetli kaynaklar, çok modlu görevlerin ve birden çok kabiliyetli kaynakların kombinasyonları, çoklu görevlerin paralel olarak planlanması, dinamik kuyruklar için öncelik kuralları gibi gerçek hayatta proje planlamada karşılaşılan hususlar tartışılmıştır. Planlamada kısıtlar hesaba katılarak mevcut yöntemlere göre daha az varsayıma yer verilmiştir. STREAM olarak adlandırılan kesikli olay simülasyonu Windows platformda Visual Basic.Net'te icra edilmiştir. STREAM'de geleneksel kuyruk konsepti yerine kaynak elverişliliği, kabiliyet düzeyi ve mevcut önceliği temel alan bir konsept kullanılmaktadır.

Srinivasan (2014) tarafından yazılan tezde planlama probleminin bileşenleri olan mekân ve zaman arasındaki ilişki üzerinde durulmuştur. Eş zamanlı olarak planlanabilecek iş gruplarını belirlemek için karma tam sayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Önce sadece mekânsal kısıtlamalar göz önüne alınmış ve alanı en etkin kullanacak iş gruplarını belirlemek amacıyla kutu paketleme stratejilerinden (bin-packing strategies) faydalanılmıştır. Daha sonra liste planlama algoritması oluşturulmuştur.

Nguyen (2013) tezinde kapsamlı projelerin idaresi için karmaşıklığı azaltmak ve kolaylıkla tahlil edilmesini gerçekleştirmek için max-plus lineer sistem konsepti ile bir planlama metodu sunmuştur. Ayrıca faaliyet sürelerindeki belirsizliklerle başa çıkabilmek için kritik zincir proje yönetimi (KZPY) uygulanmıştır. Zaman tamponlarının devamlı olarak izlenmesi KZPY başarısının önemli unsurlarından olduğundan harcanan tamponların ve geçen zamanın sıklıkla takip edilmesi için de bir prosedür teklif edilmiştir.

Wei (2012) tarafından yapılan çalışmada donatım faaliyetleri arasındaki ilişkileri tanımlayan, gerçekçi montaj süreleri tahmin eden ve animasyon yoluyla bunu görüntüleyen gerçekçi ve güvenilir bir donatım planlaması verebilmek için otomatik sıra geliştirme metodu üzerinde durulmuştur. Öncelikle donatım faaliyetleri için bir entegre planlama sistemi öne sürülmüştür. Sonrasında montaj sırasının belirlenmesi için önemli olan donatım bileşenlerinin geometrik nitelikleri tahlil edilmiştir.

Diğer bir tezde Burnett (2011) tarafından kaynak kısıtlı proje planlama problemi üzerinde durulmuştur. Çalışmada efektif özelleşmiş planlama algoritması ve karar vericinin tercihlerini tam olarak yansıtan bir interaktif çok kriterli karar verme algoritması geliştirilmiştir. Ele alınan problem birden fazla projeyi göz önünde bulundurması, kısıtlı stok alanı, tekrarlı faaliyetler ve birden fazla amacı gerçekleştirmeye çalışması yönüyle alışlagelmiş kaynak kısıtlı planlama problemlerinden ayrılmaktadır. Çalışmada iş önceliklerini ve planlamada kullanılan parametre değerlerini üretmek için genetik algoritmadan faydalanılmıştır.

Finke (2010) tezinde proje planlamada alan mevzuunu incelemiştir. Çalışmada alan özel bir kaynak olarak modellenmiştir. Öne sürülen metodun işlerliğini gösterebilmek için bir yazılım da geliştirilmiştir. Tezde geliştirilen metodun proje yürütücülerinin maliyetleri ve gecikmeleri asgariye indirmesine yardım edeceği iddia edilmektedir.

Kim (2007) tarafından yapılan çalışmada simülasyon temelli planlama maksadıyla faaliyet süreleri girdi modelleme için pratik bir metot geliştirilmiştir. Ayrıca "as-built baseline" isimli yeni bir temel planlama yöntemi önerilmiştir.

Gemi inşaatında planlama ve çizelgeleme problemlerinin çözümünde sezgisel ve metasezgisel metotların yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmüştür. Tersane alanının etkin bir şekilde kullanımını temel alan planlama problemi yazarlar tarafından oldukça fazla ele alınmıştır. Öte yandan montaj sırasının planlanması da kimi yazarlar tarafından çalışılmıştır. Bazı tersanelerin planlamanın önemine binaen üniversiteler ile beraber projeler geliştirip kendi üretim sistemlerine uygun planlama araçları tasarladıkları ve bunları başarı ile devreye aldıkları görülmüştür. İyi planlanmış bir proje, planlamasına önem verilmemiş bir projeye nazaran daha başarılı olur. Planlama için ilk başlarda verilen emek ve çekilen zahmet projenin ilerleyen safhalarında meyvelerini verecektir. Bu bakımdan Türkiye tersaneleri de dünyanın en gelişmiş tersanelerinde olduğu gibi bu mevzunun üzerine eğilmeli ve üniversiteler ile beraber çalışarak bu alandaki zaafalarını gidermek suretiyle rekabet güçlerini arttırmalıdır.

Literatürdeki taramasında incelenen makalelerde ele alınan problemler genel hatlarıyla aşağıda listelenmiştir:

- Mekânsal planlama (tersane alanı kullanımı)
- Satın alma planlaması modeli
- Kaynak atama
- Proje portföylerinin planlanması
- Toplam üretim planlama
- Blok montajı planlama
- Optimum montaj sırasının belirlenmesi
- Paralel makine planlama
- Kızakta blok montajı planlama
- Tamamlanma süresinin asgariye indirilmesi
- Blok montaj atölyeleri için otomatik blok yerleştirme
- Blok boya atölyesi planlama

- Adamsaat kestirimi
- Blok montajı için otomatik proses planlama

Yukarıda bahsedilen problemlerin çözümünde başvurulan yöntemler aşağıda verilmiştir:

- Sezgisel yöntemler
- Simülasyon
- Analitik hiyerarşi prosesi
- Bulanık mantık
- Kritik zincir
- Kısıtlar teorisi
- Vaka tabanlı muhakeme (case-based reasoning)
- Kural tabanlı muhakeme (rule-based reasoning)
- Çoklu lineer regresyon ile sınıflandırma ve regresyon ağacı
- Kısıt sağlama problemi (constraints satisfaction problem)
- Yuvarlanan ufuk (rolling horizon) ve yeniden planlama (rescheduling)

Göz atılan bazı doktora tezlerinde ele alınan probemler de makalelere benzer niteliğe sahip olmakla beraber aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Mekânsal planlama
- Faaliyet süreleri modelleme
- Donatım faaliyetlerinin planlaması
- Kaynaklar, öncelikler ve diğer kısıtların zamanla değiştiği saatlik, günlük veya haftalık temelde kısa dönemli kaynak kısıtlı proje planlama
- Kapsamlı projelerin idaresinde karmaşıklığı azaltmak ve analizi kolaylaştırmak
- Birden fazla projeyi göz önünde bulunduran çok amaçlı kaynak kısıtlı proje planlama

- Devam eden bir projenin programa ait bir risk faktörü tarafından etkilenmesi halinde proje tamamlanma zamanlarındaki belirsizlikleri değerlendirme ve izleme

Benzer şekilde doktora tezlerinde kullanılan metotlar genel anlamda makalelerdeki ile türdeş olmakla birlikte kısaca aşağıda listelenmiştir.

- Sezgisel yöntemler
- Çok kriterli karar verme
- Kritik zincir proje yönetimi
- Simülasyon
- Bayes ağları (bayesian networks: değişkenlerin probabilistik bağımlılıklarını kullanan grafiksel model)
- Kutu paketleme stratejileri (bin-packing strategies: alanın etkin kullanımını araştırır)
- Max-plus lineer sistem konsepti,
- Basket done method (paralel olarak yapılabilecek işleri gruplandırmaya dayanır)

Bu çalışmada gemi bloklarının çelik konstrüksiyon kısımlarının üretimi için her bir iş merkezinde gerekli olan kapasitelerin olabildiğince dengelenmiş bir biçimde hesaplanabilmesi için hiyerarşik bir model önerilmiştir. Bu model özellikle, teklif aşaması veya elde tamamlanmamış dizayn bulunması gibi durumlarda yani elde oldukça az verinin bulunduğu sırada bu kısıtlı bilgi ile geleceğe yönelik kapasite ihtiyacı tahminleri için bir karar destek sistemidir. Modelde projenin tamamlanma süresini minimum yapmak yerine hedeflenen teslim zamanının gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Dört aşamalı hiyerarşik bir yapıda tasarlanan modelde ilk iki aşamada alt işlerin imalat yerlerinde tamamlanması gereken faaliyetleri gruplanarak iş paketleri tanımlanmıştır. Daha sonra kapasite ihtiyaçları hesaplanarak plan oluşturulmuştur. En son aşamada ise elde edilen bu plana uzman bilgisi doğrultusunda nihai halini verecek bir algoritma tasarlanmıştır. Hiyerarşik modelin ikinci ve üçüncü aşamalarında metasezgisel optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır.

2. PROBLEM TANIMI

Üretim esnasında ham madde çeşitli işlemlerden geçerek nihai ürün halini alır. Bu işlemlerin yapıldığı imalat yerlerinde ve bu imalat yerlerinin aralarında yarı mamul birikimleri olur. Süreç içi stok (work in process) olarak isimlendirilebilecek, işlem görmekte olan veya işlem görmek için ara stoklarda bekleyen bu yarı mamullerin miktarı üretim sistemlerinin performansları üzerinde önemli bir tesire sahiptir. Bu sebeple sisteme giren hammaddenin üretim akışında aşırı yığılmalara ve tıkanmalara sebep olmaması yanı sıra imalat yerlerinde boş kalmayı da önleyecek seviyede olmasını sağlayacak bir üretim kontrol sistemi gereklidir. Süreç içi stok seviyesinin çok yüksek olması aynı zamanda üretim takibini de zorlaştıran hatta imkânsız hale getiren en mühim faktörlerden birisidir. Özellikle belli bir plana sadık kalınmayan tesislerde iş merkezlerinin dolu olup olmadığına bakılmaksızın sisteme hammadde itilmekte bu da sistem içinde yığılmalara neden olmaktadır. Bununla birlikte süreç içi stok problemlerin gizlenmesine ve gecikmelere sebep olabilmektedir (Jylhä ve Suvanto, 2015). Bunun aksine modern üretim sistemlerinde problemlerin görünür hale getirilip çözüme kavuşturulması için çaba sarf edilir. Aksi durumda problemler gizli kaldıkça gecikmeler gene devam eder ve problemlerin kaynağını bulmak zorlaşır. Problemlerin görünür hale gelmesi için yapılması gerekenlerden birisi de üretim sürecinin sadeleştirilmesidir. Dengelenmiş bir üretim planının hazırlanması bu noktada önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır.

İyi bir üretim planı ancak üretilecek mamulün ve üretim faaliyetlerinin iyi anlaşılması neticesinde ortaya çıkar. Aşağıda bu tez çalışmasında ele alınan ürün ve bunun üretim süreci hakkında gerekli olan bilgi verilmiştir.



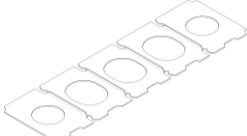
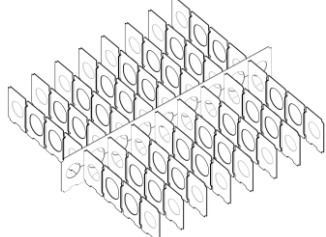
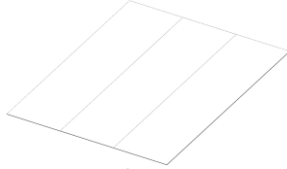
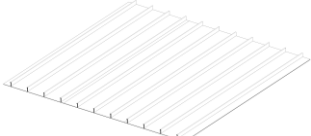
2.1 Gemi İnşaatında Blokların Üretimi

Bu kısımda teze konu olan tarzda gemi üretimi gerçekleştiren tersanelerde genellikle uygulanan üretim şekli ile alakalı bilgi vermek amaçlanmıştır. Gemi üretimi, geminin bloklara ayrılması ve bu blokların ayrı ayrı imal edilip kızakta birleştirilmesi ile

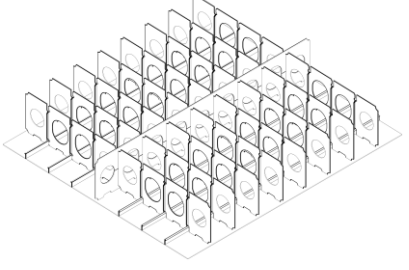


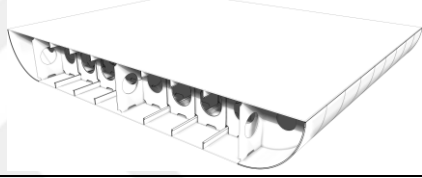
gerçekleştirilir. Bu bakımdan üretimin temel birimi bloktur. Tasarım, planlama ve üretim blok üzerinden takip edilmektedir.

Gemi bloku imalatı esnasında hammadde olan sac ve profillerin kesilmesinden blokun üretilmesine kadar geçen sürede muhtelif yarı mamuller elde edilmektedir. Bu yarı mamuller farklı parçaların birleşmesiyle basitten karmaşığa doğru ortaya çıkar. Farklı üretim stratejilerine göre değişik yarı mamuller ile karşılaşılabilir. Bu yarı mamuller üretim kademeleri olarak da isimlendirilebilirler. Kimi yazarlar üretim kademeleri üzerine bazı tanımlamalar yapmışlardır (Odabaşı, 2008). Bu tanımlamalar esas alınarak hazırlanan Çizelge 2.1’de üretim kademeleri ve açıklamaları verilmiştir.

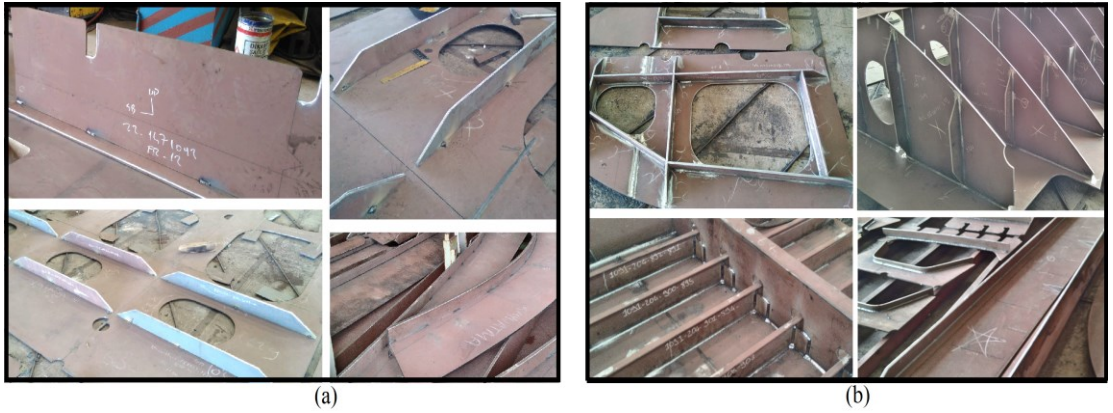
Çizelge 2.1 : Üretim kademeleri ve açıklamaları.

Üretim Kademesi	Açıklama	Şekil
A, tek profil	Hollanda profili, köşebent, vs. parçalar.	
B, tek sac	Sacın kesilmesiyle elde edilen parçalar. Sadece kenar kesimi yapılan sac levhalar, büküme gidecek levhalar, nesting kesimi nihayetinde elde edilen posta, tülani, alın laması, stifner, braket, kiremit, kapama, vs. bu gruba dâhil edilebilir.	
C, küçük grup	A ile B veya B ile B kademelerinin birleştirilmesiyle elde edilen ara mamul.	
D, alt grup	C ile C kademelerinin birleştirilmesiyle elde edilen ara mamul.	
E, düz panel	B ile B kademelerinin birleştirilmesiyle elde edilen ara mamul.	
F, elemanlı düz panel	A ile F kademelerinin birleştirilmesiyle elde edilen ara mamul.	

Çizelge 2.1 (devam) : Üretim kademeleri ve açıklamaları.

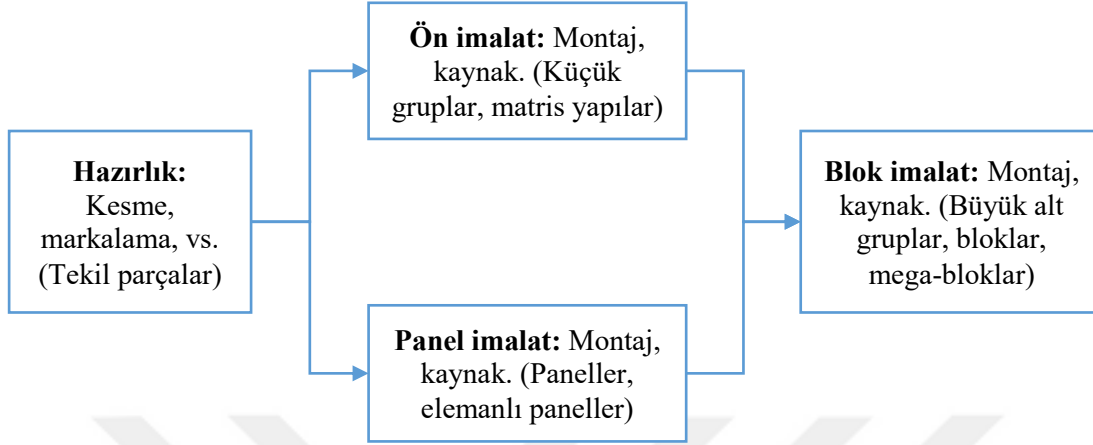
Üretim Kademesi	Açıklama	Şekil
G, büyük alt grup	C ile E, C ile F, D ile E veya D ile F kademelerinin birleştirilmesiyle elde edilen ara mamul.	
H ₁ , eğimli tek sac	B kademesindeki ara mamul büküm işlemine tabi tutulduktan sonra bu sınıfa dâhil edilir.	
H ₂ , eğimli panel	H ₁ kademesindeki parçaların birleştirilmesiyle elde edilen ara mamul.	
K, blok	G, E ile B; G, F ile B; G, H ₂ ile B kademelerinin birleştirilmesiyle elde edilen mamul.	

Blok üretiminde birleştirme işlemi iki aşamalı olarak gerçekleştirilir. Birinci aşama montaj olarak isimlendirilmektedir. Bu aşamada, üretim stratejisine göre birbirleri ile birleştirilmesi gereken parçalar konstrüksiyon resmine uygun biçimde ilgili konumlara punto kaynak usulüyle tutturulurlar. Bu ilk aşamanın amacı iki parçayı düzgün bir şekilde birleştirmek ve kaynak işleminin sebep olduğu çarpılmayı önlemektir. İkinci aşamada ise uygun kaynak yöntemiyle tam kaynak işlemi gerçekleştirilir. Montaj ve kaynak faaliyetleri örnekleri Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1 : (a) Montaj faaliyeti. (b) Kaynak faaliyeti.

Blok üretiminde icra edilen bir diğer faaliyet ise boya hazırlığı için keskin kenarların taşlanmasıdır. Boya faaliyetine kadar bir bloğun oluşması için hammaddenin işlem gördüğü mahaller ana başlıklar olarak Şekil 2.2’de verilmiştir.

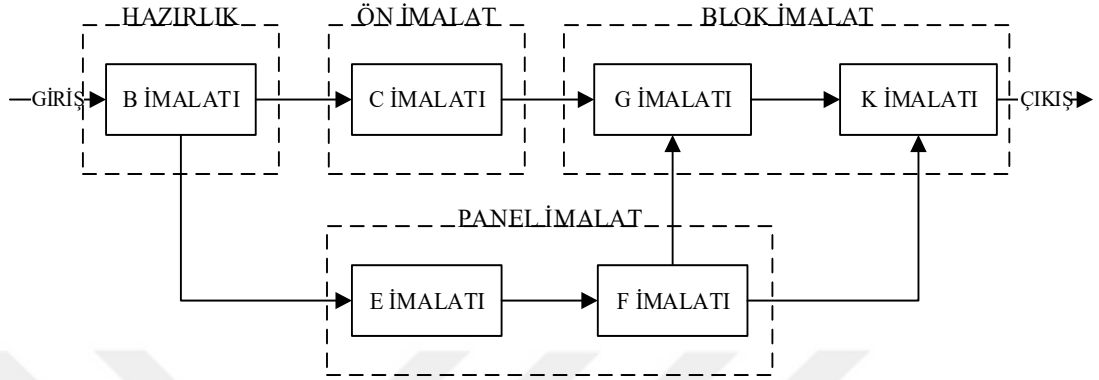


Şekil 2.2 : Bloğun oluşması için hammaddenin işlem gördüğü mahaller.

Hazırlık bölümünde kesim, markalama gibi üretim için gerekli öncül faaliyetler yerine getirilir. Bu mahallin çıktısı tekil parça olarak isimlendirilir. Ön imalat bölümünde tekil parçaların birleştirilmesiyle küçük grup olarak isimlendirilen parçalar ve matris yapılar meydana getirilir. Panel imalat bölümünde sacların ve profillerin birleştirilmesiyle büyük boyutlu elemanlı paneller üretilir. Ön imalat ile panel imalat arasındaki temel farkın her iki kısımda üretilen parçaların ebadı olduğu ifade edilebilir. Blok imalat mahallinde önceki bölümlerde üretilen parçalar birleştirilerek blok inşa edilir.

Blok üretiminde teçhiz, boru, elektrik donatım ve boya faaliyetleri gibi daha birçok işlem gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada blokların kesimden boya işlemi öncesine kadar üretiminin planlanması problemi ele alınmıştır. Bu amaçla teze konu olan tersanelerde yapılan inceleme ve gözlemlere bağlı olarak blok üretimi için basitleştirilmiş bir blok imalat stratejisi tanımlanmıştır. Şekil 2.3’te basitleştirilmiş blok imalat stratejisine göre sadeleştirilmiş malzeme akışı görülmektedir. Buna göre ham madde B imalatından sonra iki kola ayrılmakta, bir kısmı E imalatına diğer kısmı ise C imalatına girmektedir. E imalatına giren malzeme buradan F imalatına devam eder. Daha sonra C imalatından gelen yarı mamul ile F imalatından gelen yarı mamul G imalatında birleştirilir. Görüldüğü üzere F imalatından çıkan yarı mamulün bir kısmı G imalatına giderken kalan kısmı ise K imalatına ilerlemektedir. En son adımda ise F imalatından gelen bu yarı mamul ile G imalatından gelen yarı mamul birleştirilerek

nihai ürün olan blok elde edilir. Dikkat edilirse Çizelge 2.1’de verilen tüm üretim kademeleri Şekil 2.3’te yer almamıştır. Bunun sebebi ele alınan problem için malzeme akışının bu şekilde tanımlanmış olmasıdır. Öte yandan mesela ön imalata D imalatı da dâhil edilebilir.



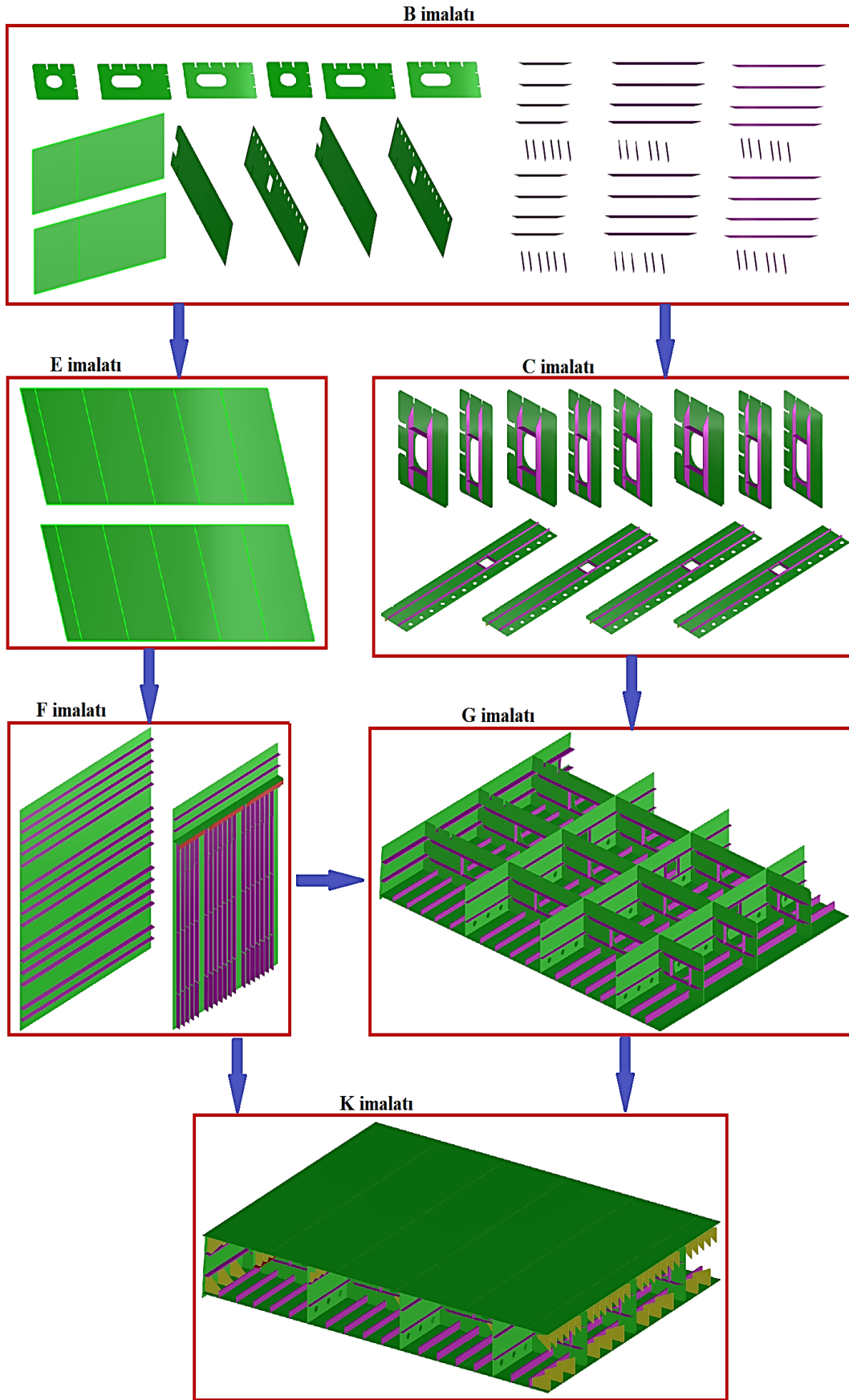
Şekil 2.3 : Sadeleştirilmiş malzeme akışı.

Şekil 2.4’te yukarıda bahsedilen imalat stratejisine göre malzemenin imalat sahasındaki akışı ve bu sırada ortaya çıkan bazı ara ürünlerin örnekleri görülmektedir.

2.2 Gemi İnşaatının Planlanmasında Karşılaşılan Zorluklar

Özellikle planlama ve kontrol faaliyetlerinde zayıf olan küçük ve orta ölçekli tersaneler üretimin takibinde büyük zorluklar yaşamaktadırlar. Piyasa koşulları sebebiyle ve rekabetçi ortamda avantaj sağlayabilmek için müşteri odaklı ve siparişe göre üretimin yapıldığı tesislerde üretim sırasında birçok mühendislik değişiklik talepleri ortaya çıkmaktadır. Bu talepler iş merkezlerindeki kapasite ihtiyacının değişmesine sebep olduklarından, üretimin ahengini bozmakta ve üretim maliyetinin artmasına sebep olmaktadır. Bu tarz gemi imalatının en önemli problemlerinden birisi de genellikle her siparişin farklı gemiler olması ve bu sebeple inşa edilen blokların da birbirinden farklı olmasıdır.

Özel olarak Türkiye gemi inşa sanayiinde planlama hususunda şunlar söylenebilir: Ülkemizde gemi inşa sanayii planlamada birçok problem yaşamaktadır. Özellikle tersanelerde planlama hususunda metod bilgisinin eksik olduğu görülmektedir. Ayrıca planlama vasıtaları yaygın olarak kullanılmamakta ancak bu mevzuda yeni yeni gelişmeler olmaktadır.



Şekil 2.4 : İmalat stratejisine göre malzeme akışı ve örnek ara ürünler.

Öte yandan gemi inşaatının karmaşık bir üretim kolu olması, mühendislik değişiklik taleplerinin çok fazla olması ve öngörülebilirliğin zorluğu planlamayı ve kontrolünü güçleştirmektedir. Hâlbuki değişiklik taleplerine hızlı ve etkin bir biçimde uyum sağlanması gereklidir. Öte yandan üretim sistemindeki darboğazın belirlenmesi hayati bir önemi haizdir. Çünkü üretim sisteminin hızı darboğazın kapasitesine doğrudan bağlıdır. Proje planının canlı tutulması için planın şartlara göre güncellenmesi gerekmektedir ancak bu hususta büyük eksiklikler görülmektedir. Bu eksiklikleri tamamlamak için planlanan durum ile gerçekleşen durum mukayesesi devamlı olarak yapılmalıdır. Aksi halde üretim körü körüne ilerleyecektir. İş merkezleri için iş tanımları yapılmalı ve olabildiğince üretim standartları geliştirilmelidir. Planlama ve kontrol için detaylandırmanın ne ölçüde yapılması gerektiği tespit edilmelidir. Çünkü harcanan zaman ne kadar detaya inilmesine değer sorusunun cevabı oldukça önemlidir. Çok fazla detay, planlama ve izlemeyi de bazen zorlaştırmaktadır.

Tüm bunların yanı sıra proje planını hazırlayan uzman kendisini güvene almak için faaliyet sürelerini olması gerekenden fazla almaktadır. Yine bu plana göre bütçe belirlenirken de güvende olmak amacıyla bütçe bir miktar bol tayin edilmektedir. Bolluklar bu şekilde silsile halinde artmaktadır. Bu bakımdan üzerinde çalışılması gereken diğer bir husus da bahsi geçen fazlalıkların nasıl alınması gerektiğidir. Sistem kapasitesinin sistem kısıtlarının kapasitesi tarafından sınırlandırılması sebebiyle sistem kısıtlarının tespit edilmesi oldukça önemlidir (Taylan, 2016; Köse, 2016).

2.3 Ele Alınan Problem ve Varsayımlar

Gemi imalatının zorlu yapısının yanı sıra farklı ve birbirleriyle etkileşimli faaliyetleri içermesi iyi bir planlamayı ve etkin bir üretim kontrolünü mecburi kılar. Öte yandan, sektörün günümüzdeki durumu tersaneleri farklı uzmanlık alanları gerektiren değişik projelere teklif vermeye itmektedir. Bu zorluklarla ek olarak pazar payını korumak isteyen üreticiler, müşteri odaklı yönetim sistemini benimserken rekabetçi piyasa ortamı, gemi imalatçıları yüksek üretkenlik elde etmeye zorlamaktadır. Öte yandan zayıf planlama ve yetersiz üretim kontrolü, gelişmekte olan ve düşük teknoloji seviyesindeki tersaneleri en çok zorlayan hususların başında gelmektedirler. Dolayısıyla üretken gemi inşaatının temel gereksinimlerinden birinin verimli planlama ve üretim kontrolü olduğu ifade edilebilir (Park ve diğ, 1996). Bu meselenin çözümü için tersaneler çeşitli proje yönetim usulleri ve bilgisayar programları

kullanılmaktadırlar. Buna rağmen bazı tersaneler planlama ve yapılan planla uyumlu bir imalat gerçekleştirmede zorlanmaktadırlar.

Planlama gemi üretiminde proaktif bir yapıya sahip olmalıdır. Gerçek yaşam koşullarına göre hazırlanmamış bir planın üretimi yönlendirmesi beklenemez. Üretimin sistemli olarak devam etmesi için ilerlemenin devamlı ölçülmesi gerekir. Bu sayede güncel performans belirlenerek önceden hesaplanan kapasite kullanılarak gerekli iş gören sayısı tespit edilebilir. İmalatın ilerlemesinin sürekli olarak izlenebilmesi için üretim ortamında ihtiyacı karşılayacak seviyede bir ölçüm sistemi bulunmalıdır. Bu ölçüm sisteminin kapsamı ve şekli mamule ve üretim stratejisine göre tespit edilmelidir. Ayrıca birim imalat için performans değerlerinin bilinmesi, iş analizlerinin yapılabilmesi için de zorunludur. Birim imalat performans değerleri zaman içinde değişebilir. Dolayısıyla ortaya çıkan bu yeni performans değerleri imalatın başlangıcında yapılmış olan temel planda sapmaya neden olur. Bu durum sapma miktarına bağlı olarak proje teslim zamanının üzerinde olumsuz bir tesire sebep olacaktır. Bahsedilen problemin aşılabilmesi için mevcut performans değerlerinin belli periyotlarla yeniden tespit edilip planlamaya yansıtılması suretiyle yeni durum ortaya konulmalı ve sorunun aşılması için sapma miktarına göre gerekli tedbirler devreye sokulmalıdır.

Üretim standartlarının tanımlanmadığı tersanelerde üretim stratejisi ustalar tarafından imalat sırasında anlık olarak belirlenmekte ve sürekli farklı şekillerde üretim gerçekleştirilmektedir. Bu sebeple bloktan daha küçük bir üretim kontrol birimine inilememekte dolayısıyla çoğu zaman blok bazında genel ilerleme takibi yapılmaktadır. Alt yapının müsait olduğu tesislerde blok için tanımlanmış aktiviteler bazında üretim ilerlemesinin ele alınmaya çalışıldığı da görülmektedir. Ayrıca çoğu zaman tamamlanmamış bir tasarım ile projenin üretimine başlandığından dizayn, planlama, satın alma ve imalatın eş zamanlı olarak ilerlediği durumlarla karşılaşmaktadır. Yani elde nihayete ermiş ve üzerinde anlaşılmış bir temel tasarım olsa da çoğu zaman işçilik resimleri ve diğer detay resimler üretimle eş zamanlı olarak çizilmektedir. Dolayısıyla mevcut durumdaki belirsizlik kaynakları ve değişiklikler üretim süreci boyunca planlamanın sıklıkla güncellenmesini gerektirir.

Üretim süresi (d), iş miktarı (L), performans (P) ve iş gören sayısı (R) arasında denklem 2.1'deki bağıntı kurulabilir:

$$d = \frac{L}{R \times P} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1'deki L üretilecek ürünle alakalıdır. Bu değer ancak tam bir tasarım bulunuyorsa kesin olarak belirlenebilir. Ancak geçmiş tecrübeler vasıtasıyla gemi tipine bağlı olarak iş miktarı hakkında bazı tahminler yapılabilir. P değeri üretim ortamında yapılacak ölçümler ile belirlenebilir ve blok üretimindeki faaliyetlerinin emek yoğun olmasında dolayı üretim performansı sürekli değişir. Performans ile iş gören sayısının çarpımı kapasite (Q) olarak tanımlanabilir (denklem 2.2). Güncel performans belirlenmişse ilgili işe tahsis edilen kaynak miktarı değiştirilerek kapasite ayarlanabilir.

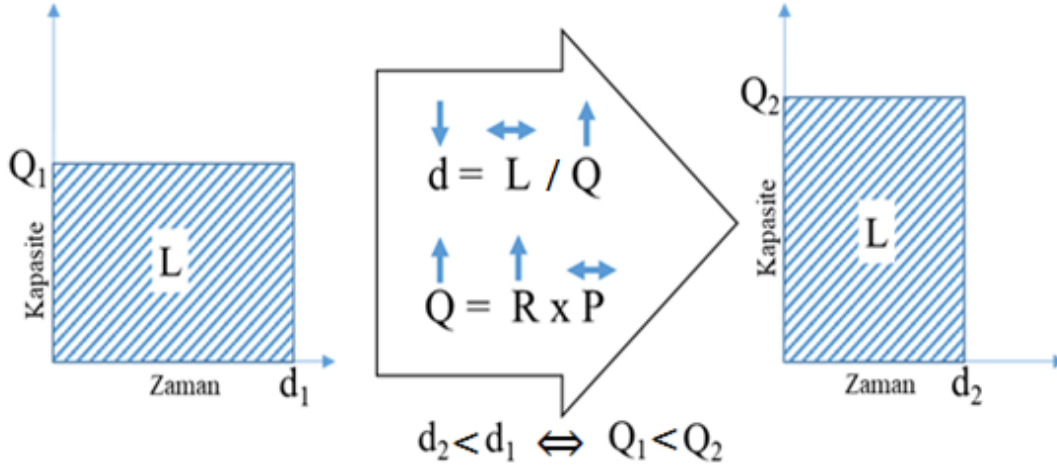
$$Q = R \times P \quad (2.2)$$

Buradan denklem 2.1, denklem 2.3 haline dönüşür.

$$d = \frac{L}{Q} \quad (2.3)$$

Performans birim zamanda birim iş gören ile yapılan iş miktarıdır. Örneğin günlük performans denildiğinde bir iş görenin bir günde; saatlik performans denildiğinde ise bir iş görenin bir saatte yaptığı iş miktarı ifade edilmektedir. İş miktarı kilogram olarak ifade edilirse günlük performansın birimi $\left[\frac{\text{kg}}{A \times \text{Gün}}\right]$; saatlik performansın birimi $\left[\frac{\text{kg}}{A \times \text{Saat}}\right]$ olur. Performans iş gören esaslı veya bir iş merkezi için tüm iş görenlerin ortalaması alınarak iş merkezi esaslı olarak tanımlanabilir.

Kapasite ise birim zamanda yapılan iş miktarıdır. Dikkat edilirse burada iş gören veya performans terimlerinden bahsedilmemektedir. Kapasite hem performansı hem de iş gören sayısını kendi içinde barındıran bir parametre olarak tanımlanmıştır. Bir işin belli bir zamanda tamamlanabilmesi için ona ne kadarlık bir kapasitenin tahsis edilmesi gerektiği bulunduktan sonra sahadan belirlenen güncel performans değerine göre gerekli işgören sayısı belirlenebilir. Kapasite de günlük $\left[\frac{\text{kg}}{\text{Gün}}\right]$ veya saatlik $\left[\frac{\text{kg}}{\text{Saat}}\right]$ olarak tanımlanabilir. Belli miktardaki bir iş ona tahsis edilen kapasite arttırılarak daha kısa zamanda tamamlanabilir. Kapasitenin artması için ise en azından ya performans iyileştirilmeli ya da o işte çalışanların sayısı arttırılmalıdır. Performansın sabit olduğu kabul edilirse iş gören sayısı çoğaltılarak kapasite arttırılabilir (Şekil 2.5).



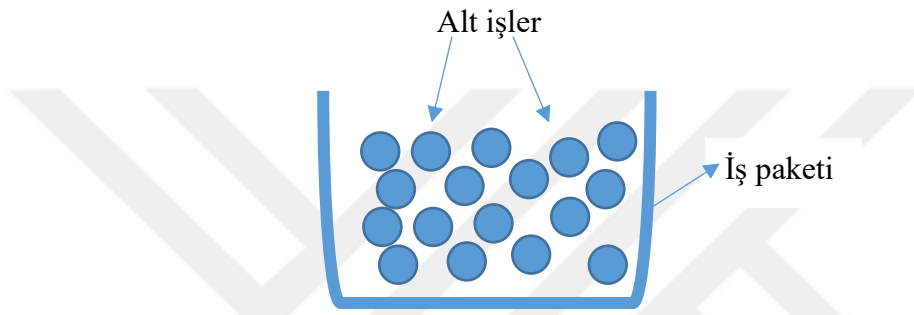
Şekil 2.5 : Belli bir işe tahsis edilen kapasitenin arttırılması durumu.

Gerçek hayatta gemi inşaatındaki emek yoğun üretim ortamı nedeniyle, performans sürekli değişmektedir. Yine de güncel performans tespit edilebilirse, iş gören sayısı değiştirilerek kapasite ayarlanabilir. Her ne kadar taşeronlarla çalışmak iş gücü esnekliği sağlasa da, kapasite ihtiyacındaki öngörülemezlikler, devam etmekte olan diğer projeleri olumsuz yönde etkiler. Üretim süresince blokların temel aktiviteleri için gerekli kapasitelerin tespit edilmesi ve buna göre iş gücü (workforce) planı yapılması ise bu kaotik ortam ile başa çıkabilmenin önkoşullarındandır.

İyi bir plan hazırlamak için üç temel bilginin gerektiği söylenebilir. Bunlardan birincisi yapılacak iş miktarının belirlenmesidir ve tasarımın tamamlanıp ürünün analiz edilmesi ile elde edilebilir. İkincisi iş merkezlerindeki üretim performansının belirlenmesidir ve etkin bir üretim kontrolü ile elde edilebilir. Üçüncüsü ise ürünün istenen temin süresinde tamamlanabilmesi için iş merkezlerine tahsis edilmesi gereken kapasitenin belirlenmesidir ve planlamacı tarafından yapılan hesaplarla elde edilir. İşte bu tezde ele alınan problem bahsedilen üçüncü bileşenin belirlenmesidir. Bu bağlamda gemi inşaatında önemli yer tutan ve geminin çelik teknesini oluşturan blokların imalatı ele alınarak tersaneler için bir planlama usulü üzerinde durulmuştur. Bu usul gelişmekte olan, üretim planlama ve kontrolünde yeterli seviyede başarılı olamayan tersanelerin içinde bulunduğu bilgi noksanlığı ortamında bir temel plan hazırlanması problemi üzerine bina edilmiştir.

Temel planın hazırlanabilmesi için üretilecek blokun işlem göreceği iş merkezine göre tahlil edilmesi gerekir. Böylece blokların her bir iş merkezinde tamamlanması gereken iş miktarları belirlenir. Bu zamana kadar yapılan inceleme ve gözlemler neticesinde imalat yerlerinde tek bir faaliyet varmış gibi düşünülmesi gerektiği kanaatine

varılmıştır. Ayrıca blokların iş merkezlerinde tamamlanması gereken iş yükleri birer alt iş olarak düşünülmüştür. Alt işler gruplandırılarak bir planlama devrinde tamamlanacak şekilde iş paketleri tanımlanmıştır (Şekil 2.6). İş paketleri bazlı bir temel plan oluşturmanın bu tarz tersaneler için hedef belirlemesi açısından daha uygun olacağı düşünülmüştür. Ayrıca günlük veya haftalık bazda plan kontrol ve güncellemesi gerçekçi olmayacağından uygulanabilirlik açısından bu tip tersanelerde yaygın olan haliyle planlama devrinin aylık bazda düşünülmesi uygun görülmüştür. Kısaca iş paketleri ve alt işler esas alınarak kapasite ve işlem sürelerini hesaplamak ve elde edilen verilerle makul bir plan oluşturmak hedeflenmiştir.



Şekil 2.6 : İş paketi ve alt işler.

Yukarıda bahsedilen hususlar doğrultusunda bu tez çalışmasında ele alınan problemi çözmek için önerilen çözüm modeli aşağıdaki varsayımlar altında oluşturulmuştur:

1. Problem, tek bir projenin planlanmasıdır.
2. Ana planlama birimi olan blokların iş merkezlerinde tamamlanması gereken iş yükleri modelde alt iş olarak isimlendirilmiştir.
3. Bu çalışma, boyaya kadar olan blok çelik yapı üretim faaliyetlerini içermektedir.
4. Her blok önceden belirlenmiş bir sırayla üretilir.
5. B-C-G-K rotası kritik rota olarak belirlenmiştir.
6. Üretim sahasında yapılan gözlemler ve uzman görüşleri çerçevesinde E ve F faaliyetlerinin diğerlerine göre daha basit, tekdüze ve daha mekanize olduğu görülmüştür. Ayrıca, bu faaliyetlerin icra edildiği iş merkezlerinin kapasiteleri üretim hızına daha kolay uyarlabilir bir yapıya sahiptir. Bu bakımdan üretim akışında bir darboğaza neden olmadıkları ve kritik rotanın hızına her zaman uyabildikleri varsayılmıştır.

7. Probleme konu olan tarzdaki tersanelerde fiili ilerleme taşeronların hak ediş ödemelerini yapmak için her ay gözden geçirilmektedir. Bu duruma göre, aylık üretim ilerlemesi, hedef koymak ve gerçekleştirmeye çalışılmak için uygundur.
8. Alt işler bir ayda tamamlanacak görevler olarak gruplandırılarak iş paketleri oluşturulur. Yani, herhangi bir iş paketi bir ay içinde tamamlanması gereken iş miktarını içerir.
9. İş merkezlerindeki tüm faaliyetler bir bütün olarak kabul edilir. İmalat yerlerindeki faaliyetlerin detaylı olarak incelenmesi farklı bir optimizasyon problemidir ve bunların optimize edildiği varsayılarak çözüm modeli geliştirilmiştir.
10. İş merkezi kapasitelerinin sadece iş gören kaynağına bağlı olduğu düşünülmüştür. Bu bakımdan makine, alan, vs. faktörler değerlendirme dışı tutulmuştur.
11. Problemin başında elde sadece of LSW ve CT^{ideal} bilgisi vardır.
12. Bir blok önceki iş merkezindeki tüm faaliyetinin tamamlanmasından sonra peşindeki iş merkezinde işlem görmeye başlar. Bu nedenle, işlem süresi matrisi, denklem 2.4'te görüldüğü gibi basamaklı bir yapıdadır.

$$D = \begin{bmatrix} dsw_{B,1} & \dots & \dots & \dots & \dots & dsw_{B,I} & NaN & NaN & NaN \\ NaN & dsw_{C,1} & \dots & \dots & \dots & \dots & dsw_{C,I} & NaN & NaN \\ NaN & NaN & dsw_{G,1} & \dots & \dots & \dots & \dots & dsw_{G,I} & NaN \\ NaN & NaN & NaN & dsw_{K,1} & \dots & \dots & \dots & \dots & dsw_{K,I} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

3. KAPASİTE OPTİMİZASYONU METODOLOJİSİ

3.1 Optimizasyon Metotları

Küresel rekabetle başa çıkabilmek için üretim maliyetlerini düşürmek ihtiyacı, ürün ve sistemlerin ekonomik ve verimli bir şekilde tasarlanıp üretilmesi için optimizasyon yöntemlerini geliştirmeyi zorunlu kılmıştır (Rao , 2009). Optimizasyon en iyi çözümü hesaplama işlemidir. Buradaki en iyi çözüm sözünün karşılığı bazen mutlak manada yani global en iyi çözüm olurken bazen de mevcut koşullar atında ulaşılabilen makul çözüm olmaktadır. Bahsedilen koşulların en önemlilerinden birisi çözüme ulaşmanın zaman, para, vs. açısından maliyetidir. Bir diğer koşul elde edilen çözümün performansı yani asıl problemin optimum çözümü yerine kullanılabilirliğidir.

Optimizasyon problemi bir meselede istenmeyen sonuçların asgariye indirilmesi veya istenen sonuçların en yukarı çıkarılmasını sağlamak için vakanın karakteristik özelliklerini temsil eden denklem ya da denklemler bütünüdür. Örneğin zaman, maliyet ve riskin en aza indirilmesi; kar, kalite ve verimin en üst düzeye çıkarılması istenir (Talbi, 2009). Genel anlamda söylenecek olursa bu denklemlerin kimi minimize ya da maksimize edilmek istenen amacı, kimi de bu amacın gerçekleşmesi için gerekli olan kaynakların sınırlarını veya karşılanması gereken talep miktarını ifade ederler. Ulaşılmak istenen maksadı gösteren denklemler amaç fonksiyonu olarak diğerleri de kısıtlar olarak isimlendirilirler. Bunun yanı sıra denklem sistemindeki değişkenlere karar değişkenleri denilmektedir. Değişkenler, kısıtlar ve amaç fonksiyonundan oluşan bu yapıya matematiksel model denilir. Matematiksel model kurulurken problem matematiksel ilişkilerle ifade edilmekte yani problem matematik diline çevrilmektedir. Model bir usul vasıtasıyla çözümlenerek karar değişkenlerinin değerleri hesaplanır. Bu değerler kısıtları sağladığı gibi amaç fonksiyonu değerini de optimum yapar (Taha, 2003).

Denklem sisteminin yapısı ve karar değişkenlerinin özelliklerine bağlı olarak birçok farklı türde optimizasyon problemi bulunmaktadır. Bu problemlerin tümünün çözümünde kullanılacak bir optimizasyon tekniği bulunmadığından problemlerin

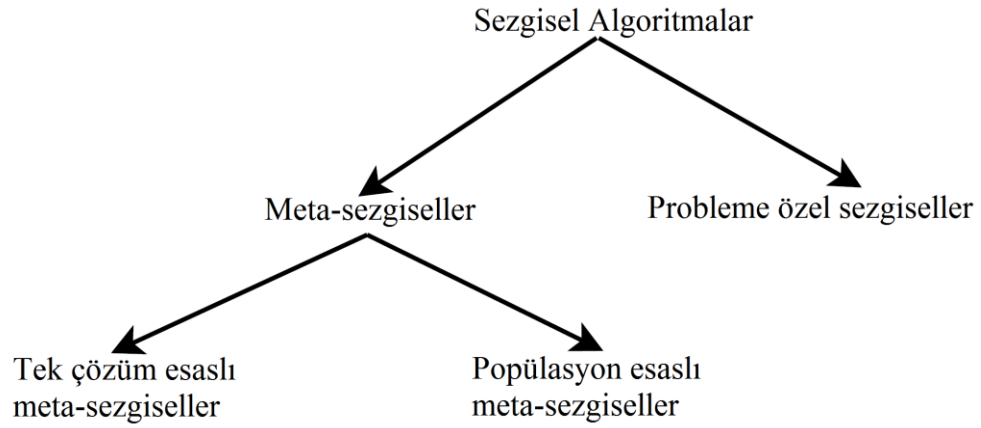
niteliklerine göre farklı türde optimizasyon teknikleri geliştirilmiştir. Matematiksel modellerdeki karar değişkenleri tamsayı veya reel sayı; amaç fonksiyonu ve kısıtlar ise doğrusal veya doğrusal olmayan yapıda olabilirler. Muhtelif tipteki modellerin çözümü için kullanılan teknikler doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama, dinamik programlama, hedef programlama ve ağ programlama olarak sayılabilirler (Taha, 2003).

Bilim, mühendislik, ekonomi ve işletme alanlarındaki optimizasyon problemlerinin kesin çözümlerine çoğu zaman makul bir sürede ulaşılamaz (Talbi, 2009). Bazen modeller analitik yolla bir çözüme ulaşabilmek için çok fazla karmaşık ilişkiler içeriyor olabilir. Ayrıca model yani optimizasyon problemi kesin çözümün bulunabileceği bir yapıda olmayabilir. Matematiksel model kesin çözümün hesaplanabileceği bir yapıda tanımlansa bile bu sırada yapılan basitleştirmeler ve kabuller sezgisel yaklaşımlarla elde edilebilecek yaklaşık optimal çözümden daha büyük hatalara sebep olabilir. Bu durumda sezgisel yöntemlerle iyi bir sonuca ulaşılmaya çalışılır (Taha, 2003; Karaboğa, 2017). Sezgisel metotlar yaklaşık, modern, ileri, stokastik veya yapay zeka optimizasyon algoritmaları olarak da isimlendirilmektedir (Talbi, 2009; Rao, 2009; Poe, 2017; Rao ve Savsani, 2012; Yang, 2010; Karaboğa, 2017). Bu yaklaşımlar, karmaşık mühendislik optimizasyon problemlerini çözmek için son yıllarda ortaya çıkan güçlü ve tanınmış yöntemler haline gelmişlerdir (Rao, 2009).

Gerçek hayat problemlerinin karmaşıklığı ve büyüklüğü, mümkün olan her çözümü araştırmayı imkânsız kılar. Bu gibi durumlarda kısa sürede iyi ve uygulanabilir çözümlere ulaşılmaya çalışılır. Sezgisel algoritmalar karmaşık problemler için makul bir sürede uygun ve kabul edilebilir (yaklaşık optimum) çözümler üretebilirler. Ancak en iyi çözümün bulunabileceğinin bir garantisi yoktur. Hatta bir algoritmanın işe yarayıp yaramayacağı ve eğer işe yararsa bunun neden olduğu sarih olarak ortaya konulamaz (Yang, 2010). Bu sebeple bu algoritmalar kullanılırken tecrübe ve deneme önemlidir. Sezgisel algoritmalar Şekil 3.1’de gösterildiği biçimde sınıflandırılabilirler.

Sezgisel ve metasezgisel kavramları üzerinde mutabık kalınan bir tanım bulunmamakta ve bazı yazarlar her iki kavramı da birbirinin yerine kullanmaktadırlar. Sezgisel kelimesinin orijinali olan heuristic, “bulmak” veya “deneme yanılma yoluyla keşfetmek” manalarına gelmektedir. Meta kelimesi ise üst seviye anlamındadır. Dolayısıyla metasezgisel algoritmalara sezgisellerin daha gelişmiş hali denilebilir. Öte

yandan metasezgisel algoritmaların rastgele ve yerel aramayı beraber barındırdığı söylenebilir (Yang, 2010). Ayrıca sezgisel algoritmaların probleme bağımlı olduğu, belirli bir problem için tasarlanıp ve uygulanabildiği ifade edilmektedir. Ayrıca bunlar bir problem için iyi performans sergilerken farklı problemlerde aynı başarıyı ortaya koyamayabilirler. Bu sebeple farklı problemlerin çözümünde verimli bir şekilde kullanılacak daha genel yöntemler geliştirilmektedir (Karaboğa, 2017; Talbi, 2009).



Şekil 3.1 : Sezgisel algoritmalar (Talbi, 2009).

Metasezgiseller, neredeyse tüm optimizasyon problemlerini çözmek için uygulanabilecek genel amaçlı algoritmalarıdır. Bunlar son yıllarda giderek daha fazla popülerlik kazanmıştır. Özellikle büyük ve karmaşık problemlerdeki uygulamaları metasezgisellerin kabiliyetlerini ispat etmektedir (Talbi, 2009). Bu algoritmaların çoğu doğadan ilham alınarak ve doğal sistemlerin davranışlarına dayanılarak geliştirilmişlerdir. Metasezgisel algoritmalar birçok şekilde sınıflandırılabilir. Bunlardan birisi popülasyon esaslı ve tek çözüm esaslı olarak sınıflandırmadır (Yang, 2010). Popülasyon temelli olanlara genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu; tek çözüm temelli olanlara ise tavlama benzetimi ve tabu arama örnek olarak verilebilir.

Optimizasyonda çözümle alakalı olarak üç farklı kavram kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi uygun (fizibil) çözüm; ikincisi optimum ya da kesin (mutlak, global) optimum çözüm; üçüncüsü ise iyi ya da yaklaşık optimum çözüm ifadeleridir. Kısıtları sağlayan tüm çözümler uygun çözüm olarak isimlendirilir. Kesin optimum çözüm uygun çözümler içinde en iyi amaç fonksiyon değerini veren çözümdür. Yaklaşık optimum çözüm ise kesin optimum olduğu garanti olmayan ancak hesaplama sırasında o ana kadarki en iyi amaç fonksiyonu değerini veren çözümdür.

Bu çalışmada tavlama benzetimi ve parçacık sürü optimizasyonu esaslı bir çözüm modeli geliştirildiğinden bu bölümde bu algoritmaların temelleri hakkında bazı bilgilerin verilmesi uygun görülmüştür. Algoritmaların problem çözümüne uyarlanmış detaylı halinden çözüm modeli bölümünde bahsedilmiştir.

3.1.1 Tavlama benzetimi

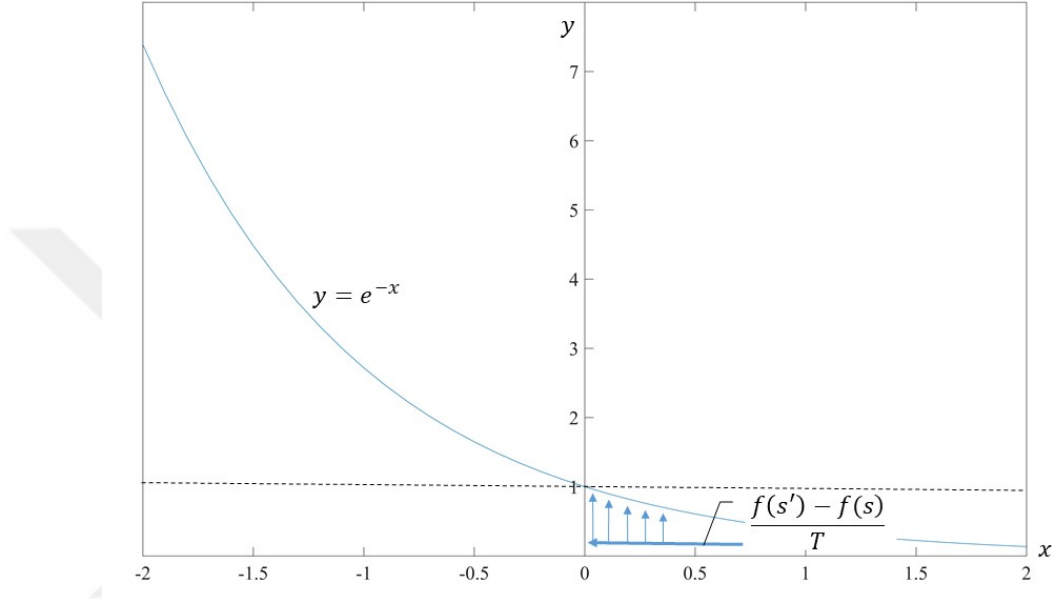
Tavlama benzetimi (TB) algoritmasının optimizasyon problemlerine uygulaması ilk olarak Kirkpatrick ve diğ. (1983) ile Černý'nin (1985) çalışmalarında görülmüştür. TB algoritması temelde kombinatorial optimizasyon problemlerini çözümünde kullanılırken, sonradan sürekli optimizasyon problemlerinin çözümü için de uygulanmıştır (Talbi, 2009). Bu algoritma bir olasılıksal arama tekniğidir ve metal işlemedeki tavlama işleminden ilham alınarak geliştirilmiştir. Diğer metasezgisellerde olduğu gibi TB algoritmasında da lokal optimumdan kurtulmak için bir sezgisel mekanizma tanımlanmıştır. Bu sezgisel mekanizma amaç fonksiyonunu sadece iyileştiren değişiklikleri kabul etmekle kalmayıp aynı zamanda iyileştirmeyen bazı değişiklikleri de kabul eden bir rastgele aramaya dayanmaktadır. (Yang, 2010). TB, arama sürecinde elde edilen herhangi bir bilgiyi arama sırasında kullanmadığı için hafızasız bir algoritmadır. Ancak en iyi çözüm her zaman saklanır. Arama süresince her iterasyonda rastgele bir komşu çözüm üretilir. Amaç fonksiyonunu iyileştiren komşu çözümler hemen kabul edilirler. İyileştirmeyen komşu çözümler ise kötüleşme miktarı ve algoritmanın o anki sıcaklık değerine bağlı olarak hesaplanan bir kabul olasılığına göre kabul veya reddedilir. ΔE amaç fonksiyonunun komşu çözüme göre hesaplanan değeri ile mevcut değeri arasındaki farkı göstermek üzere kabul olasılığı denklem 3.1'le hesaplanır (Talbi, 2009) .

$$P(\Delta E, T) = e^{-\frac{f(s')-f(s)}{T}} \quad (3.1)$$

Kabul olasılığı değeri, $R(0,1)$ olacak şekilde rastgele üretilen bir sayı ile kıyaslanır. $P(\Delta E, T) > R(0,1)$ olduğu durumda iyileştirmeyen bu komşu çözüm kabul edilir (Poe, 2017).

Minimizasyon probleminde $\frac{f(s')-f(s)}{T} < 0$, yani komşunun daha iyi olması durumunda kabul olasılığı fonksiyonu değeri 1'den büyük çıkar ve bu yeni çözüm hemen kabul edilir. Eğer $\frac{f(s')-f(s)}{T} > 0$ ise bu durumda kesir değeri sifıra yaklaştıkça kabul

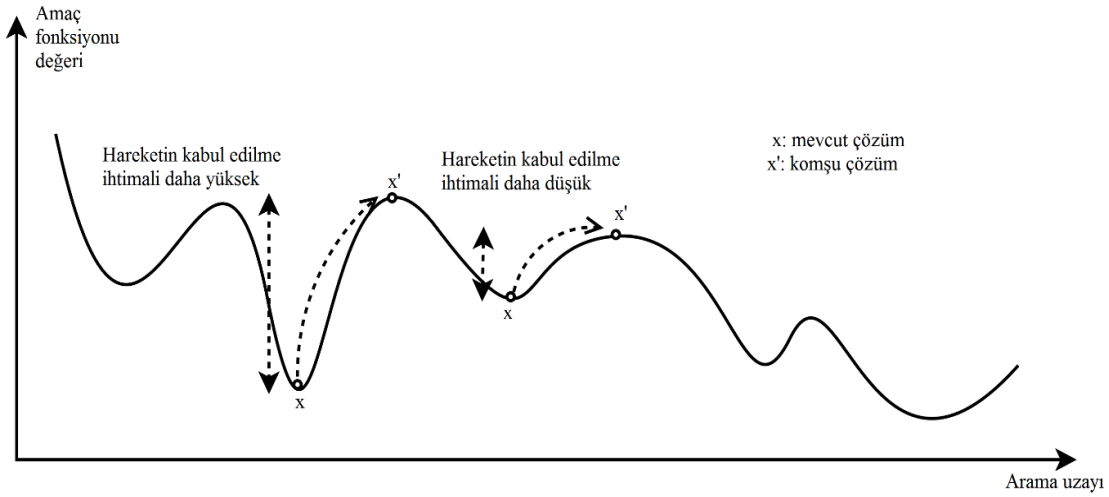
olasılığını veren fonksiyon 1'e yaklaşır. Bu da kabul olasılığının arttığını gösterir. Komşu çok kötü ise kesir değeri sıfırdan uzaklaşacağından kabul olasılığı düşüktür. Kabul olasılığı fonksiyonunda bir de sıcaklık parametresi bulunmaktadır. Bu da kesrin sonucunu ters orantılı olarak etkiler. Sıcaklık yüksek ise kesir sıfıra yaklaşır ve kabul olasılığı artar. Kabul olasılığı fonksiyonu üzerinde yapılan bu açıklamalar Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Kabul olasılığı fonksiyonu.

TB algoritmasında amaç fonksiyonu değerinin kötüleşmesine sebep olan komşu çözümlerin ara sıra kabul edilmesi lokal optimuma takılıp kalmaktan kurtulmayı sağlar. Sabit bir sıcaklık değerinde daha az kötü olan çözümlerin kabul edilme ihtimalleri yüksektir. Öte yandan daha yüksek sıcaklıklarda yani aramanın başlarında kötü çözümlerin kabul edilme olasılığı daha fazladır (Şekil 3.3). Mevcut çözümden daha iyi olan komşu çözümler ise daha önceden de belirtildiği gibi hemen kabul edilir (Talbi, 2009). Ayrıca bir sıcaklık değerinde birden fazla iterasyon da yapılabilir.

TB algoritmasında diğer mühim hususlardan birisi de sıcaklığın nasıl azaltılacağıdır. Sıcaklığın o anki değerinin iyileştirmeyen çözümlerin kabulü üzerinde bir tesiri olduğundan ilk sıcaklık ve soğutma çizelgesi tanımlanırken dikkatli olunmalıdır (Yang, 2010). TB algoritması akış diyagramı olarak Şekil 3.4'teki gibi gösterilebilir.



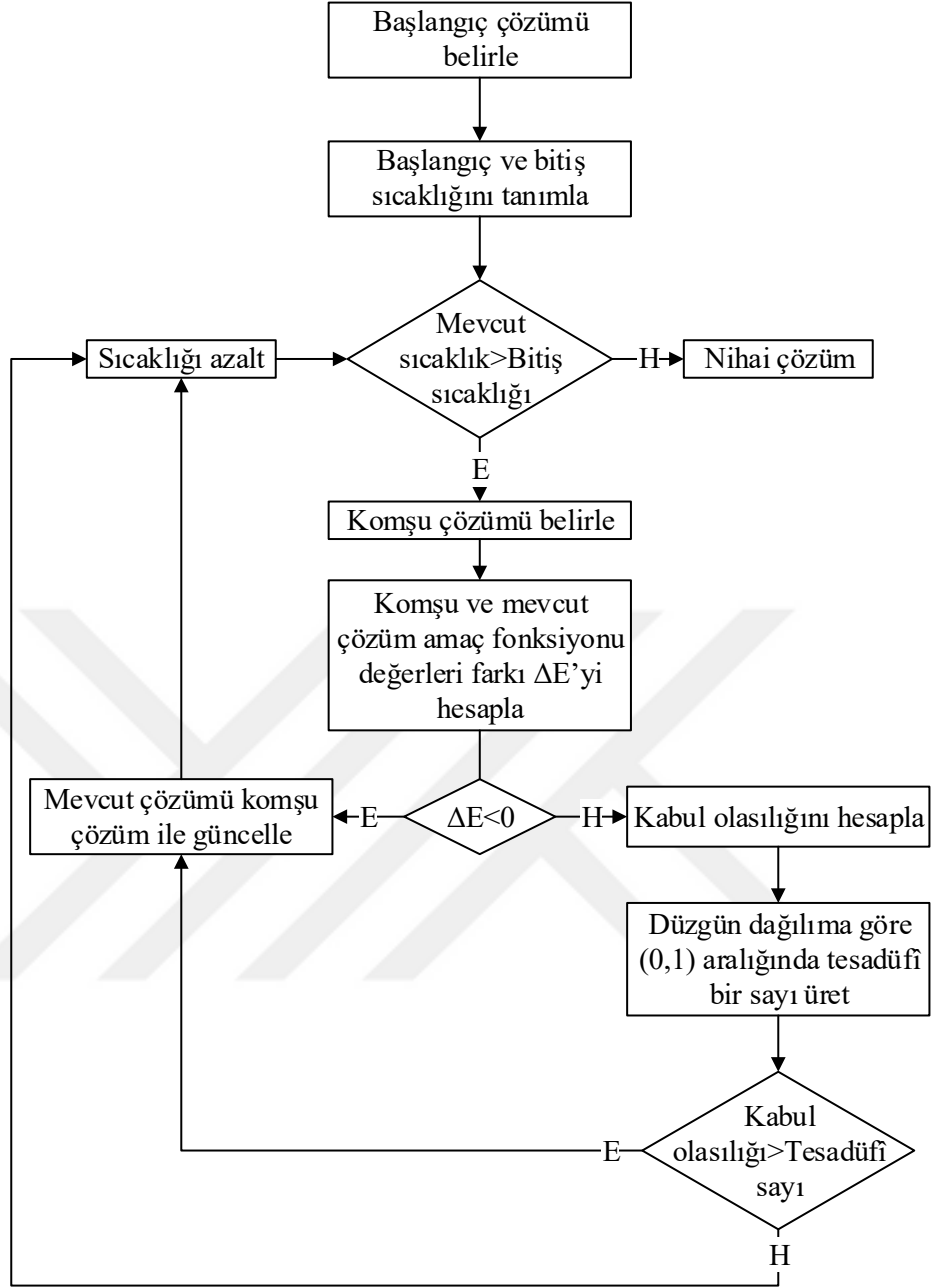
Şekil 3.3 : TB'nde kabul olasılığının sıcaklıkla ilgisi (Talbi, 2009).

3.1.2 Parçacık sürü optimizasyonu

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO), sürü davranışlarından esinlenilerek Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından geliştirilmiş popülasyon temelli bir metasezgisel algoritmadır. PSO ortaya çıkmasının ardından performansının geliştirilmesi için bazı iyileştirmelere uğramıştır. Öte yandan, temelde sürekli optimizasyon problemleri için tasarlanmış olan yöntemin kesikli problemlere uygulaması üzerine çalışmalar da gerçekleştirilmiştir (Karaboğa, 2017; Talbi, 2009).

Parçacık kelimesi sürü içindeki elemanları ifade eder ve her bir parçacık muhtemel bir çözümdür. Parçacıkların oluşturduğu yapı popülasyon olarak da isimlendirilmektedir. Parçacıklar amaç fonksiyonu uzayında arama yapan birer ajandırlar. Bu arama sırasında parçacıkların hareket güzergâhları yarı stokastik bir tarzda belirlenir. Bu bakımdan hareket stokastik ve deterministik tesir oluşturan bileşenlerden teşekkül etmektedir. Arama sırasında o ana kadar elde edilen bilgiyi yansıtan parametreler deterministik bileşeni ifade ederken, algoritma içindeki tesadüfi parametreler stokastik bileşeni temsil eder (Yang, 2010).

Parçacıklar arama uzayı içinde kendi ve diğer parçacıkların tecrübelerine göre hesaplanan pozisyonlara hareket halindedirler (Karaboğa, 2017). Bu bakımdan sürüdeki her parçacık hem kendi zekâsını hem de sürünün zekâsını kullanarak davranır (Rao, 2009). Böylelikle bir parçacığın başarısı diğer parçacıkları da etkileyeceğinden optimizasyon sırasında parçacıklar arası işbirliğinin avantajından faydalanılmış olur (Talbi, 2009).



Şekil 3.4 : TB algoritması akış diyagramı (Gülsün ve diğ., 2008).

Parçacıkların iki temel niteliği haiz olduğu söylenebilir. Bunlardan biri parçacığın konumu, diğeri de parçacığın hızıdır (Rao, 2009). İterasyonlar boyunca parçacığın konumu o anda hesaplanan parçacık hızına göre güncellenir (denklem 3.2). Dolayısıyla hız vektörü optimizasyon işlemi yönlendirir (Karaboğa, 2017).

$$x_i(t + 1) = x_i(t) + v_i(t + 1) \quad (3.2)$$

Burada i: parçacık no; t: iterasyon no göstermektedir. Hız vektörü ise denklem 3.3'e göre hesaplanır (Rao ve Savsani, 2012).

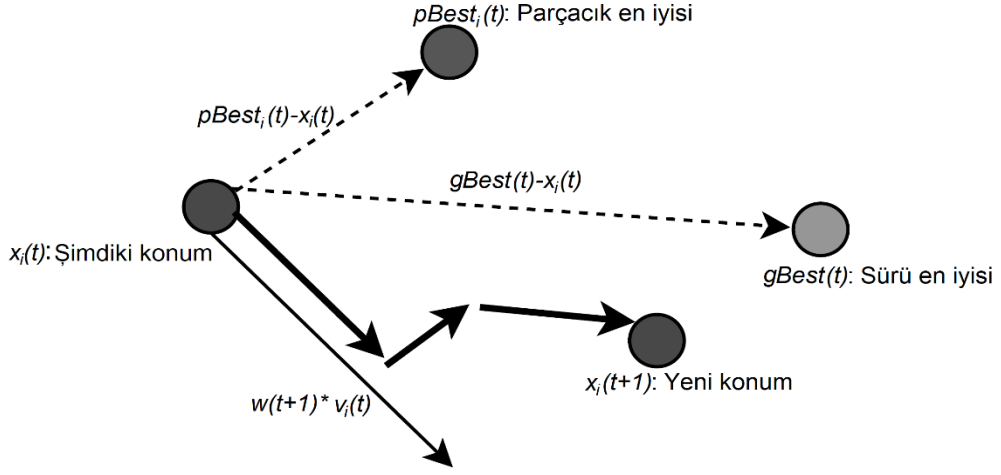
$$v_i(t + 1) = w(t + 1) * v_i(t) + c_1 R_1 (pBest_i(t) - x_i(t)) + c_2 R_2 (gBest(t) - x_i(t)) \quad (3.3)$$

Her parçacığın iterasyonlar boyunca elde ettiği en iyi değer $pBest$ ile gösterilmiştir. Sürü içinde o ana kadarki en iyi çözüm (yani global en iyi) ise $gBest$ olarak ifade edilmiştir. Dikkat edilirse parçacığın yeni hız değeri hesaplanırken önceki iterasyondaki hızı, $pBest$ ve $gBest$ değerleri hesaba katılmaktadır. Bu parametreler hız vektörünün deterministik bileşenleridir. Ayrıca önceki hız değeri w ile çarpılmıştır. Bu parametre ise atalet faktörü olarak isimlendirilmektedir. PSO algoritmasının orijinal halinde bulunmayan bu parametre sonraki çalışmalarda bir iyileştirme olarak hız vektörü hesabına eklenmiştir. w 'nun belli bir değer alması veya iterasyonlar boyunca değişmesi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Rao ve Savsani, 2012). Shi ve Eberhart doğrusal olarak azalarak değişmesi durumunda performansın artacağını belirtmişlerdir (denklem 3.4) (Shi ve Eberhart, 1998).

$$w(t) = w^{max} - t * \frac{(w^{max} - w^{min})}{t^{max}} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'te $w(t)$, t . iterasyondaki atalet değerini; w^{max} , en büyük atalet değerini; w^{min} , en küçük atalet değerini; t^{max} azami iterasyon sayısını gösterir. $w^{max} = 0,9$ ve $w^{min} = 0,4$ olarak alınabileceği, büyük w değerinin global aramayı küçük değerlerin ise yerel aramayı sağladığı belirtilmiştir (Rao, 2009; Talbi, 2009).

Denklem 3.3'teki R_1 ve R_2 düzgün dağılıma göre $[0,1]$ aralığında üretilmiş sayılardır. Bu sayılar daha önceden bahsedilen stokastik özelliği sağlamaktadır (Karaboğa, 2017). c_1 ve c_2 ise sırasıyla $pBest$ ve $gBest$ değerlerinin tesirini hız vektörüne taşıyan parametrelerdir. Bunlara öğrenme parametreleri veya hızlanma sabitleri de denmektedir ve yaklaşık olarak $c_1 = c_2 = 2$ alınabilir (Yang, 2010; Rao, 2009; Talbi, 2009). Denklem 3.3'te bu parametrelerin bulunduğu ikinci ve üçüncü ifadeler mevcut konumdan $pBest$ ve $gBest$ 'e doğru hareket meylini işaret ederler. İvme sabitlerinin değeri aramanın gerginliğini belirler. Bu değerler küçük olursa arama şimdiye kadar elde edilmiş en iyi çözümlerin tesirinden daha az etkilenirken, büyük değerler en iyi çözümlere doğru ani hareketlere sebep olur (Dong ve diğ, 2005). Bu şekilde elde edilen hız vektörü parçacığın gideceği doğrultuyu ve hareket miktarını belirtir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : Parçacık hareketi (Talbi, 2009).

Parçacıkların başlangıç konumları düzgün dağılıma göre rastgele belirlenebilir. Başlangıç hız değerleri ise sıfır olarak alınabilir (Yang, 2010). Bir parçacık şimdiye kadar bulduğu en iyi konumdan daha iyi bir konuma geldiğinde mevcut $pBest_i$ bu yeni konum ile güncellenir. Benzer şekilde tüm parçacıkların içinde şimdiye kadarki $gBest$ 'den daha iyi bir amaç fonksiyonu değeri veren konuma gelen var ise $gBest$ de bu yeni konum ile güncellenir (denklem 3.5-3.6) (Talbi, 2009).

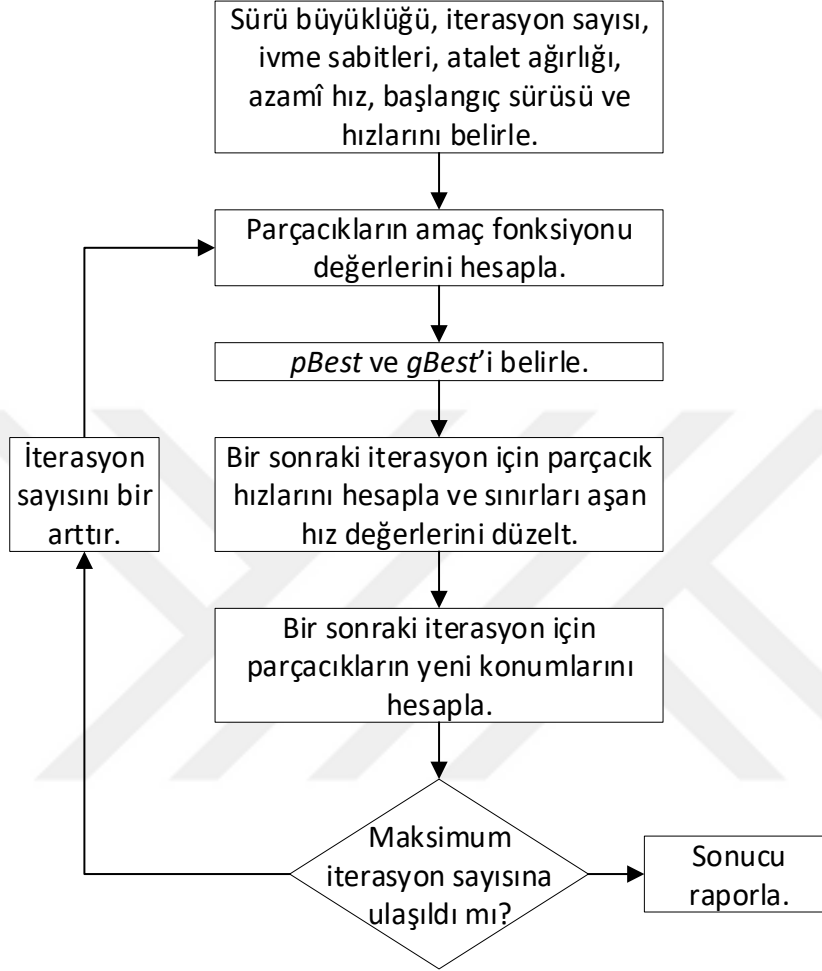
$$\text{Eğer } f(x_i) < f(pBest_i) \Rightarrow pBest_i = x_i \quad (3.5)$$

$$\text{Eğer } f(x_i) < f(gBest) \Rightarrow gBest = x_i \quad (3.6)$$

Parçacıkların hızları herhangi bir değer alabilir ancak çoğu zaman belli bir aralıkta sınırlandırılır (Yang, 2010). Bu sayede hız formülündeki stokastik parametrelerden dolayı arama sırasında oluşabilecek bozulma kısıtlanmış olur. Azamî hız değeri v^{max} kullanıcı tarafından probleme göre belirlenir (Rao ve Savsani, 2012). $v^{min} = -v^{max}$ olmak üzere hız değerinin $[v^{min}, v^{max}]$ arasında değer alması sağlanır. Bu sınırın dışında hesaplanan hızlar ilgili sınır değerleri ile değiştirilir (Talbi, 2009). v^{max} değeri arama performansı için oldukça önemlidir. Büyük değerler global aramayı ortaya koyarken, küçük değerler yerel arama etkisi sağlar. Çok küçük değerler global optimum bulunmasını zorlaştırır (Karaboğa, 2017).

Sürüdeki parçacık sayısına sürü büyüklüğü denir. Yapılan çalışmalar PSO algoritmasının performansının sürü büyüklüğüne çok aşırı bağlı olmadığını ortaya koymaktadır (Karaboğa, 2017). Ayrıca sürü boyutu çok yüksek alınırsa iterasyonlar boyunca amaç fonksiyonu her parçacık için tekrar tekrar hesaplanacağından

optimizasyon işlemi çok uzun sürer. Öte yandan çok küçük sürü boyutu da optimum çözümü bulmayı zorlaştırır (Rao, 2009). PSO algoritması akış diyagramı olarak Şekil 3.6'daki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.6 : PSO algoritması akış diyagramı.

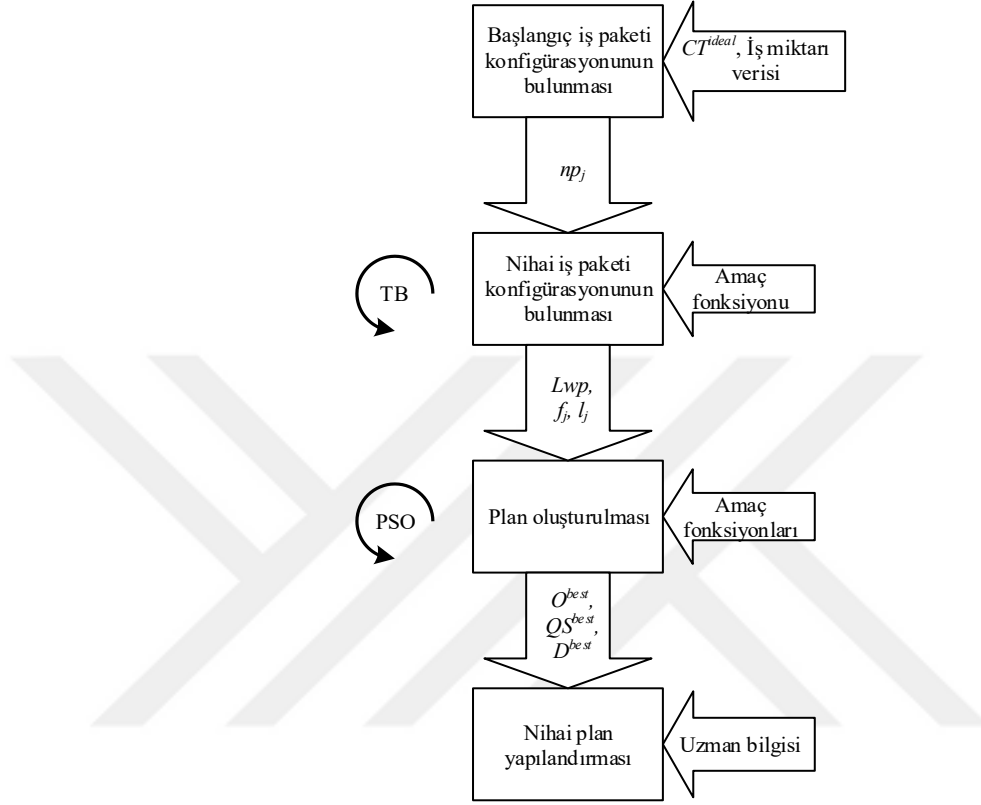
3.2 Çözüm Modeli

Çözüm modeli dört aşamalı hiyerarşik bir yapıdan oluşmaktadır. Bunlar:

1. Başlangıç iş paketi yapılandırması
2. Nihai iş paketi yapılandırması
3. Plan oluşturulması
4. Nihai plan yapılandırması

Başlangıç iş paketi yapılandırma aşaması, nihai iş paketi yapılandırma aramasını basitleştirmek için kullanılmıştır. Nihai iş paketi konfigürasyonunu bulmak için, TB optimizasyon algoritması uygulanmıştır. Planı oluşturmak için PSO algoritması

kullanılmıştır. Son aşamada, uzman bilgisiyle sonuçların değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Birinci ve dördüncü aşama deterministik temele dayanırken ikinci ve üçüncü aşamalarda stokastik faktörler de bulunmaktadır. Problem çözümü modeli Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7 : Problemin ana çözüm modeli.

3.2.1 Başlangıç iş paketi yapılandırması

Problem tanımında belirtilen eldeki bilgi ile çok sayıda iş paketi konfigürasyonu oluşturulabilir. Dolayısıyla iyi bir iş paketi konfigürasyonunun doğrudan aranması zordur ve fazla zaman alır. Bu bakımdan, nihai iş paketi yapılandırma aşamasından önce, aramayı basitleştirmek için bir başlangıç iş paketi yapılandırma aşaması uygulanmıştır.

Problemi daha kolay ele almak için alt iş miktarı, kapasite ve süre verileri matris formuna dönüştürülmüştür. Kritik rotadaki iş merkezlerine göre iş miktarı verileri, denklem 3.7 ile gösterilmiştir.

$$LSW = \begin{bmatrix} lsw_{B,1} & \cdots & lsw_{B,I} \\ lsw_{C,1} & \cdots & lsw_{C,I} \\ lsw_{G,1} & \cdots & lsw_{G,I} \\ lsw_{K,1} & \cdots & lsw_{K,I} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Burada, satırlar kritik rotadaki iş merkezlerini, sütunlar ise blokları belirtirler. Bu aşamada temel olarak üç adım vardır.

Adım 1: Denklem 3.8 ile gösterilen bir ideal iş paketi vektörü, WP^{ideal} , tanımlanır.

$$WP^{ideal} = [wp_B^{ideal} \quad wp_C^{ideal} \quad wp_G^{ideal} \quad wp_K^{ideal}]^T \quad (3.8)$$

WP^{ideal} 'in elemanları denklem 3.9 ile hesaplanır. Bu elemanlar ideal iş paketinin kritik rotadaki iş merkezlerinde işlenecek toplam iş miktarlarını temsil eder.

$$wp_x^{ideal} = \frac{1}{CT^{ideal}} \sum_{i=1}^I lsw_{x,i} \quad (3.9)$$

Denklem 3.9'da x kritik rotadaki iş merkezleri indisidir ve $x \in X = \{B, C, G, K\}$ olarak gösterilebilir. I toplam blok sayısıdır, i ise blok indisidir. CT^{ideal} istenen temin süresidir ve ay birimindedir.

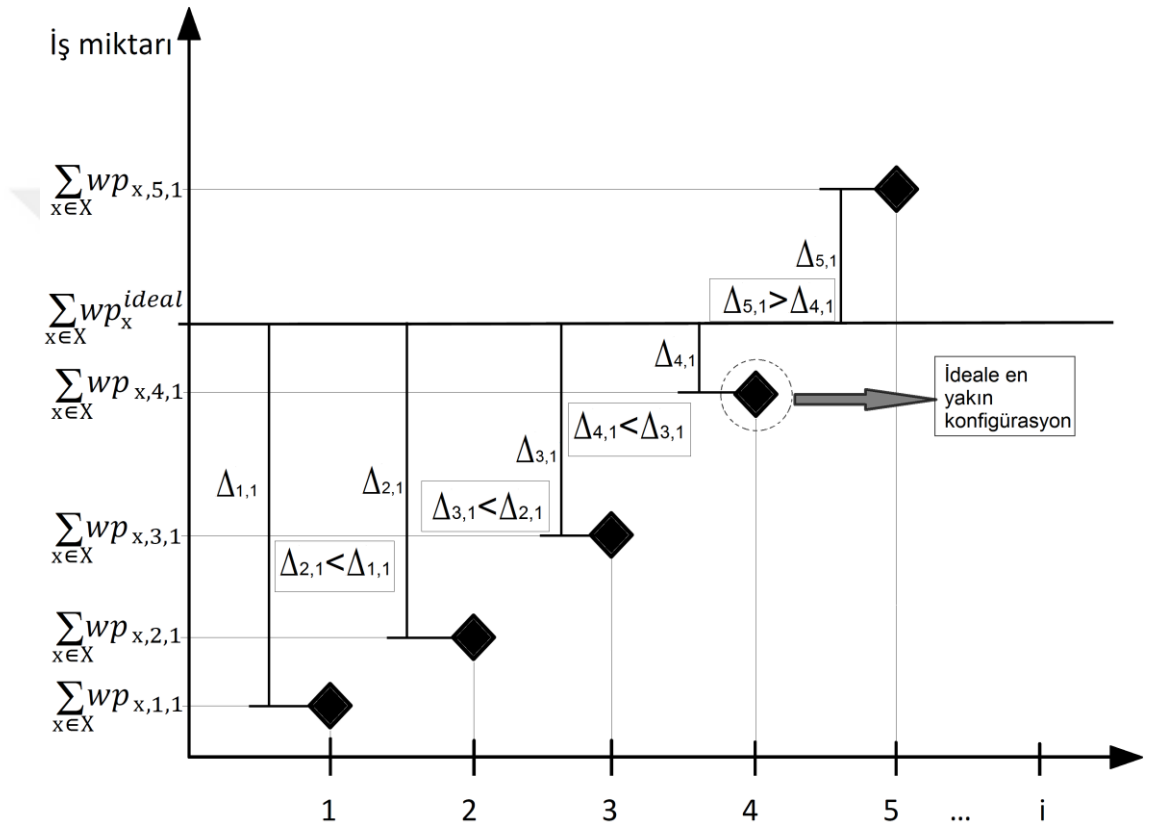
Adım 2: Birinci iş paketinden itibaren bloklar iş paketlerine birer birer eklenerek iş paketleri düzenlenmeye başlanır. Bu aşamada iş paketleri WP^{ideal} esas alınarak oluşturmaktadır. Bir iş paketine eklenen ilk blok hariç yeni eklenen her bir bloktan sonra elde edilen iş paketi ($WP_{i,j}$), WP^{ideal} ile kıyaslanır. İdeal iş paketine yakınlık $\Delta_{i,j}$ ile ölçülür. $\Delta_{i,j}$ bir benzerlik ölçüsü olarak tanımlanmıştır ve i . blok eklendikten sonra ideale yakınlık derecesini gösterir, j ise iş paketi indisidir (denklem 3.10).

$$\Delta_{i,j} = \sum_{x \in X} |wp_x^{ideal} - wp_{x,i,j}| \quad (3.10)$$

Her iterasyonda, ortaya çıkan iş paketinin iş merkezlerindeki toplam iş miktarı denklem 3.11 ile hesaplanır.

$$wp_{x,i,j} = \sum_{i=f_j}^{l_j} lsw_{x,i} \quad (3.11)$$

Yukarıdaki denklemde j iş paketi indisidir. f_j ve l_j ise sırasıyla j . iş paketindeki ilk ve son blokların yani Lsw matrisindeki sütunların numaralarını gösterirler. İş paketleri yapılandırılırken bir iş paketine dâhil edilen ilk blok için benzerlik ölçüsü kontrolü yapılmaz (Şekil 3.9) . Bloklar mevcut iş paketine eklendikçe başlarda $\Delta_{i,j}$ azalır. $\Delta_{i,j}$ öncekinden daha büyük olduğu ilk anda bu durum önceki konfigürasyonun ideal iş paketi konfigürasyonuna en yakın olduğu anlamına gelir ve böylece mevcut iş paketi yapılandırılmış olur (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : Başlangıç iş paketi yapılandırmasında örnek bir $\Delta_{i,j}$ değişimi.

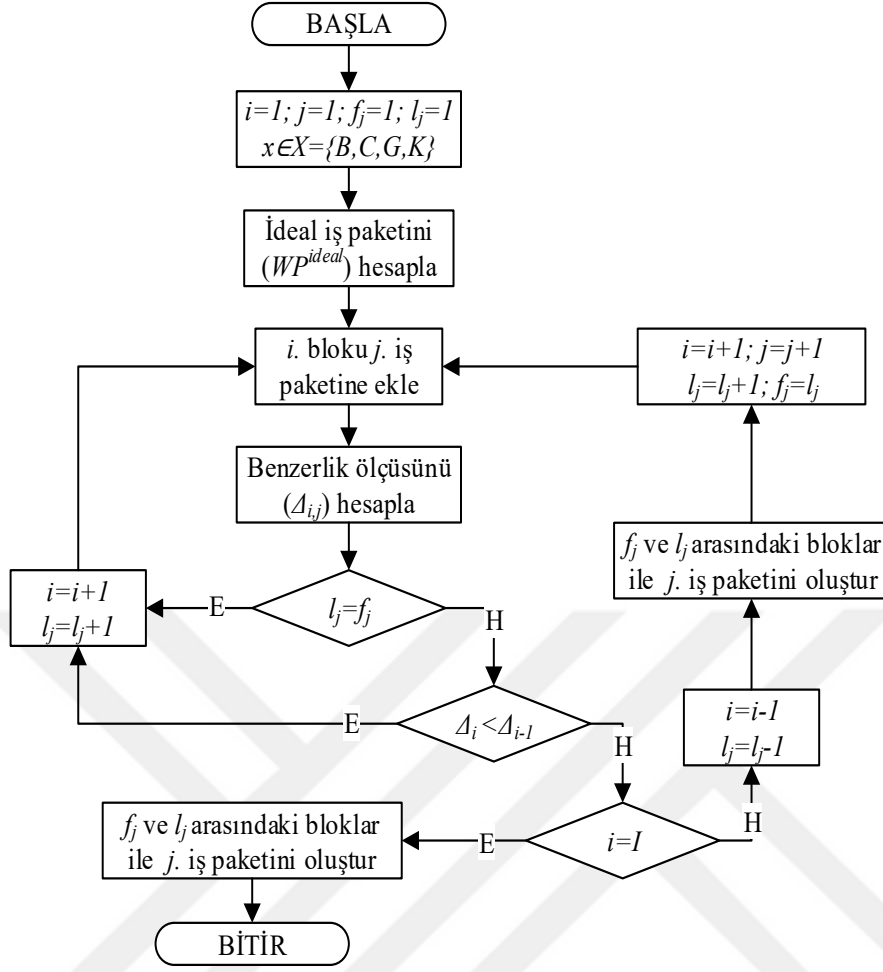
Adım 3: Her iş paketindeki blokların sayısı denklem 3.12 ile belirlenir.

$$np_j = l_j - f_j + 1 \quad (3.12)$$

Netice olarak np_j değerlerini içeren Np vektörü, denklem 3.13'deki gibi oluşturulur. Burada J toplam iş paketi sayısıdır.

$$Np = [np_1 \quad \dots \quad np_J] \quad (3.13)$$

Şekil 3.9 bu prosedürün akış diyagramını göstermektedir. Burada son alt iş her hâlükârda son iş paketine dâhil edilmektedir.



Şekil 3.9 : Başlangıç iş paketi yapılandırma prosedürünün akış şeması.

3.2.2 Nihai iş paketi yapılandırması

Bu aşamada, nihai iş paketi konfigürasyonu tavlama benzetimi (TB) algoritması kullanılarak aranır. İş paketleri bir ayda tamamlanması planlanan iş miktarını içerdiklerinden toplam iş paketi sayısı CT^{ideal} 'e eşit olmalıdır. Problem tanımında anlatılan varsayımlarda, bir blokun, önceki iş merkezindeki tüm işleminin tamamlanmasının ardından sonraki iş merkezindeki işleminin başladığı belirtilmiştir. Buna göre, Lsw matrisi, denklem 3.14 ile gösterildiği şekilde gibi yeniden düzenlenir. Matrisinin baş ve son taraflarındaki NaN ifadeleri o hücrede bir değer olmadığını gösterir ve hesaplamaya herhangi bir etkisi olmaz. Buradaki $lsw_{x,i}$ ifadeleri alt işleri temsil etmektedir.

$$Lsw = \begin{bmatrix} lsw_{B,1} & \dots & \dots & \dots & \dots & lsw_{B,I} & NaN & NaN & NaN \\ NaN & lsw_{C,1} & \dots & \dots & \dots & \dots & lsw_{C,I} & NaN & NaN \\ NaN & NaN & lsw_{G,1} & \dots & \dots & \dots & \dots & lsw_{G,I} & NaN \\ NaN & NaN & NaN & lsw_{K,1} & \dots & \dots & \dots & \dots & lsw_{K,I} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Bu aşamada temel olarak dört adım vardır.

Adım 1: Başlangıç çözümü üretilir ve bunun amaç fonksiyonu değeri hesaplanır. TB arama algoritmasının matematik modelini oluşturmak için birinci aşamada olduğu gibi, elemanları her iş paketine dâhil edilen sütun sayısını gösteren $Np = [np_1 \ \cdots \ np_J]$ şeklinde bir satır vektörü tanımlanır. Np vektöründen yola çıkarak her bir iş paketinin iş merkezlerindeki toplam iş miktarını içeren Lwp matrisi, aşağıdaki gibi oluşturulmuştur (denklem 3.15). Lwp matrisindeki her bir eleman birinci aşamadakine benzer şekilde denklem 3.16 ile hesaplanır.

$$Lwp = \begin{bmatrix} lwp_{B,1} & \cdots & lwp_{B,J} \\ lwp_{C,1} & \cdots & lwp_{C,J} \\ lwp_{G,1} & \cdots & lwp_{G,J} \\ lwp_{K,1} & \cdots & lwp_{K,J} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

$$lwp_{x,j} = \sum_{i=f_j}^{l_j} lsw_{x,i} \quad (3.16)$$

Burada $f_1 = 1$; $l_j = f_j + np_j - 1$ ve $f_{j+1} = l_j + 1$ 'dir. Lwp matrisi, elemanları $lwp_x = [lwp_{x,1} \ \cdots \ lwp_{x,J}]$ şeklinde birer satır vektörü olan $Lwp = [lwp_B \ lwp_C \ lwp_G \ lwp_K]^T$ biçiminde bir sütun vektör olarak yazılabilir. Bu düzenlemelerden sonra amaç fonksiyonu (*obj*) ve kısıtlar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (denklem 3.17).

$$\min obj(Lwp) = std(lwp_B) + std(lwp_C) + std(lwp_G) + std(lwp_K)$$

ş.k.g.

$$Np = [np_1 \ \cdots \ np_J]$$

$$np_j = UD(1, np^{max}) \quad (3.17)$$

$$np^{max} = \max(Np) + \varepsilon$$

$$\sum_{j=1}^J np_j = I + 3$$

Denklem 3.17'deki ε probleme özgü bir tolerans değeridir ve deneysel olarak belirlenmesi gerekir. *std* standart sapmayı sembolize eder. np^{max} , bir iş paketine

atanabilecek maksimum sütun sayısıdır ve hesaplanırken başlangıç iş paketi yapılandırma aşamasında belirlenen Np vektörü elemanlarının en büyük değeri kullanılmalıdır. UD , düzgün dağılıma göre tam sayılar üreten bir fonksiyondur.

Adım 2: Bir önceki iterasyonda kullanılan Np vektörünün iki elemanı değiştirilerek komşu çözüm üretilir ve bunun amaç fonksiyon değeri hesaplanır. Değiştirilecek sayıların indislerini belirlemek için, $UDP(1, J)$ 'ye göre iki tam sayı üretilir. Burada UDP , düzgün dağılımına göre birbirinin aynısı olmayan tamsayılar üreten bir fonksiyondur. Daha sonra, toplamı değiştirilecek sayıların toplamına eşit olacak şekilde $UD(1, np^{max})$ 'e göre başka iki tam sayı üretilir. Son olarak, önceki sayılar yeni üretilen sayılar ile değiştirilir ve Np vektörünün yeni hali Np^{nei} 'ye göre Lwp^{nei} belirlenir.

Adım 3: Komşu ve önceki çözümün amaç fonksiyonu değeri karşılaştırılır ve en iyi değerler tespit edilir. Eğer komşu çözüm öncekinden daha iyiyse, komşu çözüm doğrudan yeni en iyi çözüm olarak kaydedilir ve aramaya komşu çözümden devam edilir. Aksi durumda ise komşu çözüm doğrudan reddedilmeyip $PA = e^{\frac{-\Delta E}{T}}$ vasıtasıyla bir kabul olasılığı hesaplanır. Burada T o andaki sıcaklık değeridir. ΔE , komşu çözüm ile önceki çözümün amaç fonksiyon değerleri arasındaki farktır ($\Delta E = obj(Lwp^{nei}) - obj(Lwp)$). PA değeri, $U(0,1)$ 'e göre üretilen rastgele bir sayı olan RN ile kıyaslanır. U düzgün dağılıma göre reel sayı üreten bir fonksiyondur. PA , RN 'den büyükse komşu çözüm kabul edilir, değilse kabul edilmez. Lwp ve $obj(Lwp)$ 'nin iterasyonlar boyunca elde edilen en iyi değerleri sırayla Lwp^{best} ve $obj(Lwp^{best})$ olarak hafızada tutulur.

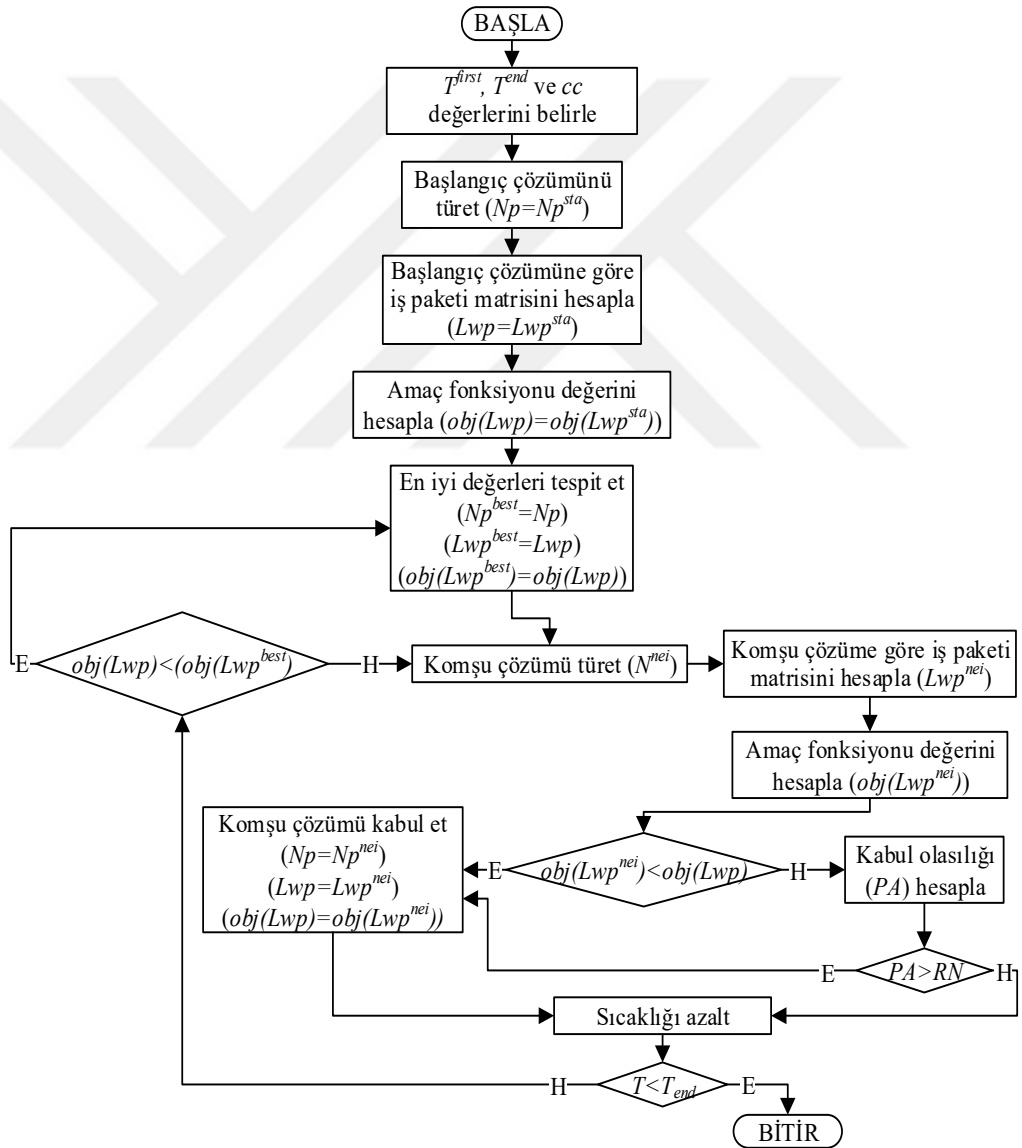
Adım 4: Bir sonraki iterasyondan önce sıcaklık soğutma çizelgesine göre düşürülür. TB algoritması başlangıcında ilk sıcaklık (T^{first}), son sıcaklık (T^{end}) ve sıcaklık azaltma çizelgesi belirlenmektedir. Burada sıcaklık cc ile gösterilen bir soğutma katsayısına göre ilk sıcaklıktan son sıcaklığa kadar doğrusal olarak azaltılmıştır. Ayrıca başlangıç sıcaklığından daha düşük bir değere iki kez ara ısıtma yapılmış ve bu çevrim iki kez tekrar edilmiştir. Bu bakımdan it itersayon numarasını göstermek üzere bir sonraki iterasyondan önce sıcaklık değeri $T(it + 1) = T(it) * cc$ şeklinde yeniden belirlenir. Arama işlemi sıcaklık T^{end} değerinin altına inene kadar devam eder. İterasyonların sonucunda, o ana kadarki en iyi çözümü veren, Np^{best} vektörü ve en iyi iş paketi matrisi Lwp^{best} tespit edilir. Ayrıca her iş paketinin içine dâhil edilen

sütunların başlangıç ve bitiş indisleri hesaplanır. Buna göre, ilk iş paketi için $f_1^{best} = 1$ ve $l_1^{best} = np_1^{best}$ dir. Diğer iş paketleri için başlangıç ve bitiş indisleri sırasıyla denklemler 3.18-3.19 ile hesaplanır.

$$f_j^{best} = l_{j-1}^{best} + 1, \quad j = 2, 3, \dots, J \quad (3.18)$$

$$l_j^{best} = l_{j-1}^{best} + np_j^{best}, \quad j = 2, 3, \dots, J \quad (3.19)$$

Şekil 3.10, nihai iş paketi konfigürasyonu arama prosedürünün akış diyagramını göstermektedir.



Şekil 3.10 : Nihai iş paketi konfigürasyonu arama prosedürünün akış şeması.

3.2.3 Plan oluşturulması

Bu aşamada, nihai iş paketi konfigürasyonu bağlamında, her bir alt iş için kapasite gereksinimi ve işlem süreleri PSO algoritması ile aranır. Bu aşamada beş adet amaç fonksiyonu tanımlanmış ve bu çok amaçlı optimizasyon problemi, uzman tercih bilgisi kullanılmadan tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürülerek çözülmüştür. Bunun için amaç fonksiyonlarının ideal değerlerinden oluşan bir vektör tanımlanır (O^{ideal}). Benzer şekilde amaç fonksiyonlarının iterasyonlar boyunca hesaplanan değerleri de bir vektörde toplanır (O). Daha sonra, iki vektör arasındaki Öklid mesafesi kullanılarak tek bir amaç değeri hesaplanıp iterasyonlar boyunca bu amaç değeri minimize edilir. Optimizasyon problemindeki değişkenler iş merkezlerinin kapasiteleridir. Her bir alt iş için ayrı ayrı kapasite değişkeni tanımlanmıştır. Buna göre kapasite matrisi genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir (denklem 3.20):

$$Q = \begin{bmatrix} qsw_{B,1} & qsw_{B,2} & \cdots & qsw_{B,I} \\ qsw_{C,1} & qsw_{C,2} & \cdots & qsw_{C,I} \\ qsw_{G,1} & qsw_{G,2} & \cdots & qsw_{G,I} \\ qsw_{K,1} & qsw_{K,2} & \cdots & qsw_{K,I} \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Burada $qsw_{x,i}$ x iş merkezine i . blok için tahsis edilen kapasiteyi gösterir. Kapasite matrisinin her bir satırı iş merkezlerinin kapasitelerini gösterir. Problem tanımında yapılan kabule göre bir blok öncül iş merkezindeki işleminin tümünün tamamlanmasının ardından sonraki iş merkezinde işlem göreceğinden yani bir bloğun ardıl işlemi önceki işlemin tamamen bitmesi ile başlayacağından blokların ardıl iş merkezlerindeki işlemleri birbirini takip edecek şekilde ve alt alta satırlarda gösterilmelidir. Anlaşılacağı üzere iş merkezlerinde aynı anda yalnızca bir bloğun operasyonu icra edilmekte, o bloğun ilgili iş merkezindeki işlemi bitince bir sonraki iş merkezindeki işlemine başlanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, bir bloğun ilgili iş merkezindeki tüm işlemini tamamladıktan sonra peşindeki bloğun o iş merkezindeki operasyonuna başlanır. Yukarıda anlatılanlar neticesinde kapasite matrisi iş miktarı matrisine (Lsw) benzer şekilde, denklem 3.21'te görüldüğü gibi yeniden tertip edilmiştir.

$$Q = \begin{bmatrix} qsw_{B,1} & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & qsw_{B,I} & NaN & NaN & NaN \\ NaN & qsw_{C,1} & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & qsw_{C,I} & NaN & NaN \\ NaN & NaN & qsw_{G,1} & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & qsw_{G,I} & NaN \\ NaN & NaN & NaN & qsw_{K,1} & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & qsw_{K,I} \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

Hesaplama sırasında karışıklık olmaması için $lsw_{B,1} = l_{1,1} \dots lsw_{K,I} = l_{4,(I+3)}$, $qsw_{B,1} = q_{1,1} \dots qsw_{K,I} = q_{4,(I+3)}$ ve $dsw_{B,1} = d_{1,1} \dots dsw_{K,I} = d_{4,(I+3)}$ olacak şekilde iş miktarı, kapasite ve işlem süresi matrisleri denklemler 3.22-3.24'de görüldüğü şekilde yeniden tanımlanmıştır.

$$LSW = \begin{bmatrix} l_{1,1} & \dots & l_{1,(I+3)} \\ l_{2,1} & \dots & l_{2,(I+3)} \\ l_{3,1} & \dots & l_{3,(I+3)} \\ l_{4,1} & \dots & l_{4,(I+3)} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

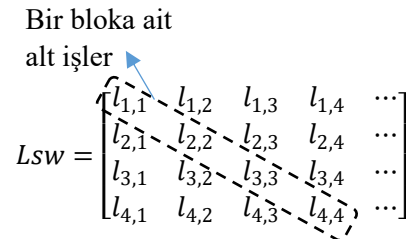
$$Q = \begin{bmatrix} q_{1,1} & \dots & q_{1,(I+3)} \\ q_{2,1} & \dots & q_{2,(I+3)} \\ q_{3,1} & \dots & q_{3,(I+3)} \\ q_{4,1} & \dots & q_{4,(I+3)} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

$$D = \begin{bmatrix} d_{1,1} & \dots & d_{1,(I+3)} \\ d_{2,1} & \dots & d_{2,(I+3)} \\ d_{3,1} & \dots & d_{3,(I+3)} \\ d_{4,1} & \dots & d_{4,(I+3)} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Yukarıdaki matrislerde ve bu çalışmanın geri kalanında, satır indisleri 1→B; 2→C; 3→G ve 4→K olacak şekilde iş merkezlerini göstermektedir. Metasezgisel aramada amaç fonksiyonları bağlamında optimize edilen değişkenler iş merkezlerinin kapasiteleri olan $q_{y,z}$ 'dir. D matrisinin elemanları denklem 3.25 ile hesaplanır.

$$d_{y,z} = l_{y,z}/q_{y,z} \quad (3.25)$$

Yukarıdaki denklemde y iş merkezlerini temsil eden satır indisi, z ise sütun indisidir. Artık her sütun doğrudan bir bloku temsil etmemektedir (Şekil 3.11). Bu aşamada temel olarak dört adım vardır.



Şekil 3.11 : Yeniden düzenlenen iş miktarı matrisinde bir bloka ait alt işler.

Adım 1: Amaç fonksiyonları tanımlanır. Daha önce bahsedildiği gibi bu aşamada beş adet amaç fonksiyonu vardır. İlk amaç fonksiyonu denklem 3.26 ile verilmiştir.

$$o_1 = \sum_{z=1}^{I+3} std(d_z^k) \quad (3.26)$$

Burada d_z^k , k . parçacık için belirlenen D^k matrisinin sütunlarını, std ise standart sapmayı temsil etmektedir. D^k matrisi, $D^k = [d_1^k \ \cdots \ d_{(I+3)}^k]$ şeklinde satır vektörü olarak gösterilebilir. Bu durumda D^k 'nin her bir elemanı $d_z^k = [d_{1,z}^k \ \cdots \ d_{4,z}^k]^T$ şeklinde bir sütun vektörüdür. İş süresi matrisi D^k 'nin her sütunu bir “*zaman dilimi*” olarak isimlendirilmiştir. Problem tanımındaki varsayımlara göre ideal durumda bir zaman diliminde iş merkezlerindeki işlem süreleri eşit olmalıdır.

İkinci amaç fonksiyonu denklem 3.27 ile verilmiştir.

$$o_2 = std(CTwp^k) \quad (3.27)$$

Burada $CTwp^k$, k . parçacık için iş paketi tamamlanma sürelerinden oluşan $CTwp^k = [ctwp_1^k \ \cdots \ ctwp_j^k]$ şeklinde bir vektördür. $ctwp_j^k$ yani j . iş paketinin tamamlanma süresi ise k . parçacık için hesaplanan ve denklem 3.28’de verilmiş olan iş paketi işlem süresi matrisinin (Dwp_j^k) her bir sütununun maksimum değerlerinin toplanmasıyla elde edilir. Buna göre, $CTwp^k$ 'nin her bir elemanı denklem 3.29 ile hesaplanır.

$$Dwp_j^k = \begin{bmatrix} dwp_{1,1}^k & \cdots & dwp_{1,np_j}^k \\ dwp_{2,1}^k & \cdots & dwp_{2,np_j}^k \\ dwp_{3,1}^k & \cdots & dwp_{3,np_j}^k \\ dwp_{4,1}^k & \cdots & dwp_{4,np_j}^k \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

$$ctwp_j^k = \sum_{v=1}^{np_j} \max(dwp_v^k) \quad (3.29)$$

Denklem 3.28’de np_j j . iş paketindeki sütun sayısıdır. Bu değerler ikinci aşamada tespit edilen Np^{best} vektörünün elemanlarıdır. Ayrıca $dwp_{y,1}^k = d_{y,f_j}^k$ ve $dwp_{y,np_j}^k = d_{y,l_j}^k$ ’dir. Bununla birlikte Dwp_j^k matrisi $Dwp_j^k = [dwp_1^k \ \cdots \ dwp_{n_j}^k]$ şeklinde satır vektörü olarak gösterilebilir. Bu durumda Dwp_j^k 'nin her bir elemanı $dwp_v^k = [dwp_{1,v}^k \ \cdots \ dwp_{4,v}^k]^T$ ile ifade edilen bir sütun vektörü olur. İş paketi matrislerinde sütun indisi v ile gösterilmiştir ve $v = 1,2, \dots, np_j$ ’dir. İş paketleri birer ayda

tamamlanması gerektiğinden ideal durumda iş paketlerinin tamamlanma süresi birbirine eşit olmalıdır.

Üçüncü amaç fonksiyonu denklem 3.30'da görülmektedir.

$$o_3 = \max(q_{1,z}^k - \min(q_1^k)) + \max(q_{2,z}^k - \min(q_2^k)) \\ + \max(q_{3,z}^k - \min(q_3^k)) + \max(q_{4,z}^k - \min(q_4^k)) \quad (3.30)$$

Problem çözümündeki hedeflerden birisi de iş merkezlerindeki kapasite gereksinimlerinin zaman içinde mümkün olduğu kadar az değişmesidir. Denklem 3.30 kapasite gereksinimindeki değişikliğin azalmasını sağlamak için tanımlanmıştır. k . parçacığın kapasite matrisi Q^k sütun vektörü olarak yazılırsa, her bir elemanı bir satır vektörü olacaktır. Bu durumda $Q^k = [q_1^k \ \dots \ d_4^k]^T$ ve $q_y^k = [q_{y,1}^k \ \dots \ q_{y,(I+3)}^k]$ olur. Denklem 3.30'a göre kapasite matrisinin her satırının minimum değeri diğer satır elemanlarından çıkarılır ve elde edilen farkların her satır için maksimumları tespit edilip bunların toplamaları hesaplanır.

Dördüncü amaç fonksiyonu, bir satır vektörü olarak yapılandırılmıştır ve iş paketlerinin ideal tamamlanma süreleri ($ctwp_j^{ideal}$) ile parçacıklar için hesaplanmış tamamlanma süreleri ($ctwp_j^k$) arasındaki mutlak farklardan oluşmaktadır (denklem 3.31). $ctwp_j^{ideal}$ varsayımlar doğrultusunda bir aylık süreye eşittir.

$$o_4 = [|ctwp_1^k - ctwp_1^{ideal}| \ \dots \ |ctwp_j^k - ctwp_j^{ideal}|] \quad (3.31)$$

Beşinci amaç fonksiyonu denklem 3.32 ile verilmiştir.

$$o_5 = \left| \sum_{z=1}^{I+3} \max(d_z^k) - CT^{ideal} \right| \quad (3.32)$$

Bu fonksiyon, ideal ile parçacıklar için hesaplanan toplam tamamlama süreleri arasındaki mutlak farkı hesaplar. Bir parçacık için tamamlanma süresi, işlem süresi matrisindeki her bir sütunun maksimum değerlerinin toplanmasıyla hesaplanır. Ütopya durumunda ideal ve hesaplanan toplam tamamlanma süreleri birbirine eşit olmalıdır.

Daha önce amaç fonksiyonlarının ideal değerlerinden oluşan bir vektör tanımlanacağından bahsedilmişti. Amaç fonksiyonların ütopya değerlerinden oluşan

ideal vektörün (O^{ideal}) elemanlarının tümü sıfırdır. Buna göre O^{ideal} denklem 3.33'teki gibi tanımlanır.

$$O^{ideal} = [0 \ 0 \ \dots \ 0]_{(1 \times (J+4))} \quad (3.33)$$

o_4 vektörünün J adet elemanı olduğundan ve toplamda beş amaç fonksiyonu bulunduğundan O^{ideal} vektörü $J + 4$ adet sıfırdan oluşur. Amaç fonksiyonlarının hesaplanmış değerlerini içeren O vektörü de O^{ideal} ile aynı sayıda elemana sahiptir. Uzman tercih bilgisine başvurmadan, ideal ve hesaplanmış vektörler arasındaki Öklid mesafesini esas alan global kriter metodu kullanılarak tek bir amaç fonksiyonu olan OBJ tanımlanmıştır (denklem 3.34) (Miettinen, 1998).

$$OBJ(Q^k(it)) = \sqrt{\sum (O(Q^k(it)) - O^{ideal})^2} \quad (3.34)$$

Denklem 3.34'te, $O(Q^k(it))$, k . parçacık için it . iterasyonda hesaplanan amaç değerlerini içeren vektördür.

Adım 2: Algoritmanın başlangıç değerleri belirlenir ve başlangıç sürüsü oluşturulur. PSO algoritmasında aramaya bir başlangıç sürüsü ile başlanmaktadır. Bu sürü imalat yerlerine atanan kapasite değerlerine sahip parçacıklardan oluşmaktadır. Arama alanını sınırlandırmak için üst ve alt sınır vektörleri belirtilmelidir. İterasyonlar boyunca bu aralıkta arama yapılır. Üst ve alt sınır vektörleri sırasıyla $UB = [ub_1 \ ub_2 \ ub_3 \ ub_4]^T$ ve $LB = [lb_1 \ lb_2 \ lb_3 \ lb_4]^T$ şeklinde tanımlanmıştır. Dolayısıyla karar değişkenleri $lb_y \leq q_{y,z}^k \leq ub_y$ aralığında $q_{y,z}^k = U(lb_y, ub_y)$ denklemine göre üretilir. Burada U , düzgün dağılıma göre reel sayılar üreten bir fonksiyondur. Genel parçacık yapısı (Q^k) denklem 3.35 ile gösterilmiştir. Buna göre sürü (QS) denklem 3.36 ile ifade edilebilir.

$$Q^k = \begin{bmatrix} q_{1,1}^k & \dots & q_{1,(I+3)}^k \\ q_{2,1}^k & \dots & q_{2,(I+3)}^k \\ q_{3,1}^k & \dots & q_{3,(I+3)}^k \\ q_{4,1}^k & \dots & q_{4,(I+3)}^k \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

$$QS = \begin{bmatrix} Q^1 \\ Q^2 \\ \vdots \\ Q^{k^{max}} \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

Başlangıç parçacıkları ve başlangıç sürüsünün yapısı denklem 3.37-3.38 ile verilmiştir. Buna ek olarak iterasyon başlangıcında parçacık en iyisi ($Q^{k,best,sta}$) ve sürü en iyisi ($QS^{best,sta}$) ile bunların amaç fonksiyon değerleri $OBJ(Q^{k,best,sta})$ ve $OBJ(QS^{best,sta})$ tanımlanmalıdır. $OBJ(Q^{k,best,sta})$ ve $OBJ(QS^{best,sta})$ değerleri $+\infty$ alınabilir. İlk iterasyonda bulunacak değerler bundan daha küçük olacağından gerçek amaç fonksiyonu değerleri bunların yerini alır. Bunun yanı sıra $Q^{k,best,sta}$ ve $QS^{best,sta}$ sıfırlardan oluşan 4 satır ve $(I + 3)$ sütunlu birer matris olarak alınabilir (denklem 3.39-3.42).

$$Q^{k,sta} = \begin{bmatrix} q_{1,1}^{k,sta} & \dots & q_{1,(I+3)}^{k,sta} \\ q_{2,1}^{k,sta} & \dots & q_{2,(I+3)}^{k,sta} \\ q_{3,1}^{k,sta} & \dots & q_{3,(I+3)}^{k,sta} \\ q_{4,1}^{k,sta} & \dots & q_{4,(I+3)}^{k,sta} \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

$$QS^{sta} = \begin{bmatrix} Q^{1,sta} \\ Q^{2,sta} \\ \vdots \\ Q^{k^{max},sta} \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

$$Q^{k,best,sta} = \begin{bmatrix} q_{1,1}^{k,best,sta} & \dots & q_{1,(I+3)}^{k,best,sta} \\ q_{2,1}^{k,best,sta} & \dots & q_{2,(I+3)}^{k,best,sta} \\ q_{3,1}^{k,best,sta} & \dots & q_{3,(I+3)}^{k,best,sta} \\ q_{4,1}^{k,best,sta} & \dots & q_{4,(I+3)}^{k,best,sta} \end{bmatrix} \quad (3.39)$$

$$q_{y,z}^{k,best,sta} = 0 \quad (3.40)$$

$$QS^{best,sta} = \begin{bmatrix} qs_{1,1}^{best,sta} & \dots & qs_{1,(I+3)}^{best,sta} \\ qs_{2,1}^{best,sta} & \dots & qs_{2,(I+3)}^{best,sta} \\ qs_{3,1}^{best,sta} & \dots & qs_{3,(I+3)}^{best,sta} \\ qs_{4,1}^{best,sta} & \dots & qs_{4,(I+3)}^{best,sta} \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

$$qS_{y,z}^{best,sta} = 0 \quad (3.42)$$

Benzer şekilde $V^{k,sta}$ k . parçacığın başlangıç hız matrisini göstermek üzere aşağıdaki gibi tanımlanabilir (denklem 3.43-3.44).

$$V^{k,sta} = \begin{bmatrix} v_{1,1}^{k,sta} & \dots & v_{1,(I+3)}^{k,sta} \\ v_{2,1}^{k,sta} & \dots & v_{2,(I+3)}^{k,sta} \\ v_{3,1}^{k,sta} & \dots & v_{3,(I+3)}^{k,sta} \\ v_{4,1}^{k,sta} & \dots & v_{4,(I+3)}^{k,sta} \end{bmatrix} \quad (3.43)$$

$$v_{y,z}^{k,sta} = 0 \quad (3.44)$$

Adım 3: Üç etken tesirinde komşu çözümler üretilir. Bu etkenlerden ilki parçacığın kendi ataleti, ikincisi her parçacığın münferiden iterasyonlar boyunca sahip olduğu en iyi hali, üçüncüsü de tüm sürünün iterasyonlar boyunca sahip olduğu en iyi parçacıktır. Bu üç etken kullanılarak parçacıkların hız matrisleri denklem 3.45 ile hesaplanır.

$$V^k(it + 1) = w(it) * V^k(it) + c_1 * R_1 * (Q^{k,best} - Q^k(it)) + c_2 * R_2 * (QS^{best} - Q^k(it)) \quad (3.45)$$

Yukarıdaki denklemde w atalet ağırlığıdır ve parçacığın momentumunu kontrol eder. Bu sayede parçacığın geçmiş hız bilgisi komşu çözüme gitmede bir etkiye sahip olur. w değeri 0 olursa parçacık geçmiş hız etkisinden kurtulur (Karaboğa, 2017). Burada w değeri bir üst değerden başlatılıp (w^{max}) bir alt değere doğru (w^{min}) iterasyonlar boyunca doğrusal olarak azaltılmıştır (denklem 3.46). Bu sayede aramanın başlarında global aramaya sonlarına doğru ise lokal aramaya katkı yapılması amaçlanmıştır.

$$w(it) = w^{max} - it * \frac{w^{max} - w^{min}}{it^{max}} \quad (3.46)$$

c_1 , parçacıkların münferiden iterasyonlar boyunca sahip olduğu en iyi halin yani ilgili parçacığın en iyi amaç fonksiyonu değerini veren konfigürasyonunun etkisini; c_2 , tüm sürünün iterasyonlar boyunca sahip olduğu en iyi parçacığın yani sürü içinde en iyi amaç fonksiyonu değerini veren parçacığın etkisini hıza yansıtan ivme sabitleridir. Bu ivme sabitlerinden c_1 atalet ağırlığındaki gibi maksimum bir değerden minimum değere doğru doğrusal olarak düşürülmüştür. R_1 ve R_2 ise $[0,1]$ aralığında düzgün

dağılıma göre üretilmiş rastgele sayılardan oluşan 4 satır ve $(I + 3)$ sütunlu birer matristir. $Q^{k,best}$ k . parçacığın en iyi amaç fonksiyonu değerini veren konfigürasyonudur. QS^{best} sürü içinde en iyi amaç fonksiyonu değerini veren parçacığın konfigürasyonudur. Denklem 3.45'e göre hesaplanan ve k . parçacığa ait hız değerlerini içeren hız matrisinin yapısı (V^k) denklem 3.47'de gösterilmiştir:

$$V^k = \begin{bmatrix} v_{1,1}^k & \cdots & v_{1,(I+3)}^k \\ v_{2,1}^k & \cdots & v_{2,(I+3)}^k \\ v_{3,1}^k & \cdots & v_{3,(I+3)}^k \\ v_{4,1}^k & \cdots & v_{4,(I+3)}^k \end{bmatrix} \quad (3.47)$$

İterasyonlar boyunca parçacıkların global arama yeteneğini ayarlayabilmek için hız değerlerinin alabileceği değerleri sınırlandıran V^{max} , V^{min} , V^{maxmin} , V^{minmax} matrisleri tanımlanarak hız değerlerine kısıtlama getirilmiştir. V^{max} ve V^{maxmin} sırasıyla pozitif hız değerlerinin üst ve alt sınırını; V^{min} ve V^{minmax} ise sırasıyla negatif hız değerlerinin alt ve üst sınırını temsil etmektedir (Şekil 3.12). V^{max} ve V^{min} değerlerinin büyük olması global arama etkisini arttırırken ıraksamaya da sebep olabilir. Eğer değerler küçük seçilirse lokal arama etkisi arttırılmış olur ancak bu durumda da global en iyiye ulaşmak zorlaşacaktır (Karaboğa, 2017). V^{max} ve V^{min} matrislerinin yapısı aşağıdaki gibi gösterilebilir (denklem 3.48-3.49). V^{maxmin} ve V^{minmax} matrislerinin yapısı da bunlar gibidir.

$$V^{max} = \begin{bmatrix} v_{1,1}^{max} & \cdots & v_{1,(I+3)}^{max} \\ v_{2,1}^{max} & \cdots & v_{2,(I+3)}^{max} \\ v_{3,1}^{max} & \cdots & v_{3,(I+3)}^{max} \\ v_{4,1}^{max} & \cdots & v_{4,(I+3)}^{max} \end{bmatrix} \quad (3.48)$$

$$V^{min} = \begin{bmatrix} v_{1,1}^{min} & \cdots & v_{1,(I+3)}^{min} \\ v_{2,1}^{min} & \cdots & v_{2,(I+3)}^{min} \\ v_{3,1}^{min} & \cdots & v_{3,(I+3)}^{min} \\ v_{4,1}^{min} & \cdots & v_{4,(I+3)}^{min} \end{bmatrix} \quad (3.49)$$

Bu çalışmada V^{max} ve V^{min} matrislerinin elemanları, iterasyonlar boyunca a_1^{max} 'tan a_1^{min} 'e doğru denklem 3.50'te gösterildiği şekilde lineer bir şekilde azalan a_1 katsayısı

ile; V^{maxmin} ve V^{minmax} matrislerinin elemanları ise a_2^{max} , tan a_2^{min} 'e doğru denklem 3.51'de gösterildiği şekilde lineer bir şekilde azalan a_2 katsayısı ile kontrol edilmiştir.

$$a_1(it) = a_1^{max} - it * \frac{a_1^{max} - a_1^{min}}{it^m} \quad (3.50)$$

$$a_2(it) = a_2^{max} - it * \frac{a_2^{max} - a_2^{min}}{it^{max}} \quad (3.51)$$

Denklem 3.50-3.51 ve ile hesaplanan değerler kullanılarak $v_{y,z}^{max}$, $v_{y,z}^{min}$, $v_{y,z}^{maxmin}$ ve $v_{y,z}^{minmax}$ iterasyonlar boyunca denklem 3.52-3.53-3.54-3.55 ile hesaplanırlar.

$$v_{y,z}^{max}(it) = a_1(it) * (ub_y - lb_y) \quad (3.52)$$

$$v_{y,z}^{min}(it) = -v_{y,z}^{max}(it) \quad (3.53)$$

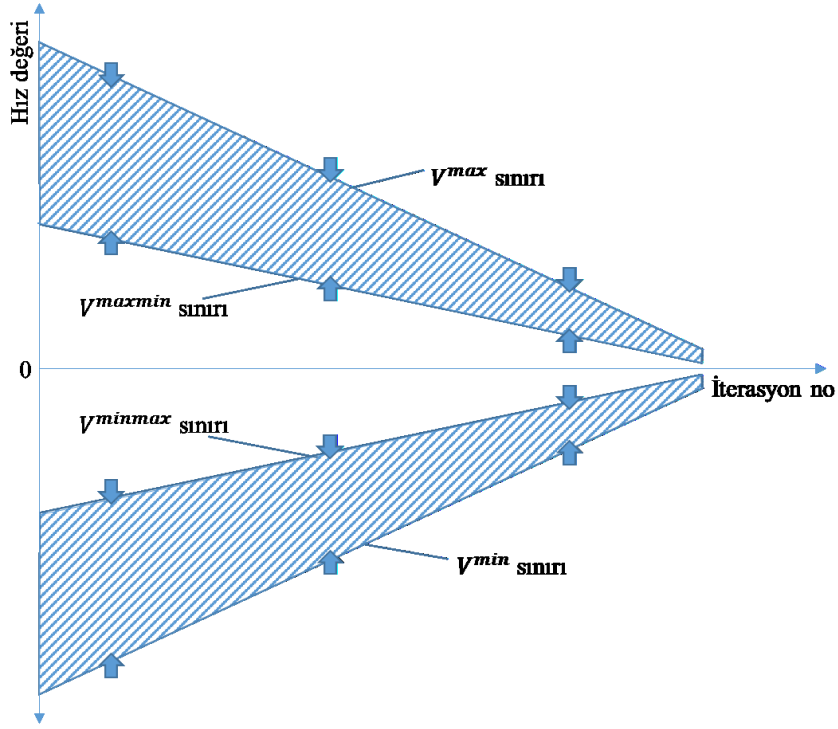
$$v_{y,z}^{maxmin}(it) = a_2(it) * v_{y,z}^{max}(it) \quad (3.54)$$

$$v_{y,z}^{minmax}(it) = -v_{y,z}^{maxmin}(it) \quad (3.55)$$

Hesaplanan hız matrislerinin elemanları içinde bahsedilen bu sınırları aşanlar alt ve üst bandı arasında rasgele bir değer alır (denklem 3.56). Aşağıdaki denklemde R_3 , R_4 , R_5 ve R_6 [0,1] aralığında düzgün dağılıma göre üretilmiş rastgele sayılardır. Burada bahsedilen işlem Şekil 3.12'de gösterilmiştir.

$$v_{y,z}^k = \begin{cases} v_{y,z}^{max} - (v_{y,z}^{max} - v_{y,z}^{maxmin}) \times R_3, & v_{y,z}^k > v_{y,z}^{max} \\ v_{y,z}^{min} - (v_{y,z}^{min} - v_{y,z}^{minmax}) \times R_4, & v_{y,z}^k < v_{y,z}^{min} \\ v_{y,z}^{maxmin} + (v_{y,z}^{max} - v_{y,z}^{maxmin}) \times R_5, & 0 \leq v_{y,z}^k \leq v_{y,z}^{maxmin} \\ v_{y,z}^{minmax} + (v_{y,z}^{min} - v_{y,z}^{minmax}) \times R_6, & v_{y,z}^{minmax} \leq v_{y,z}^k < 0 \end{cases} \quad (3.56)$$

Diğer durumlarda hesaplanmış değer alınır.



Şekil 3.12 : Hesaplanan hız değerlerinin alt ve üst sınırlar ile tanımlanmış aralığa taşınması.

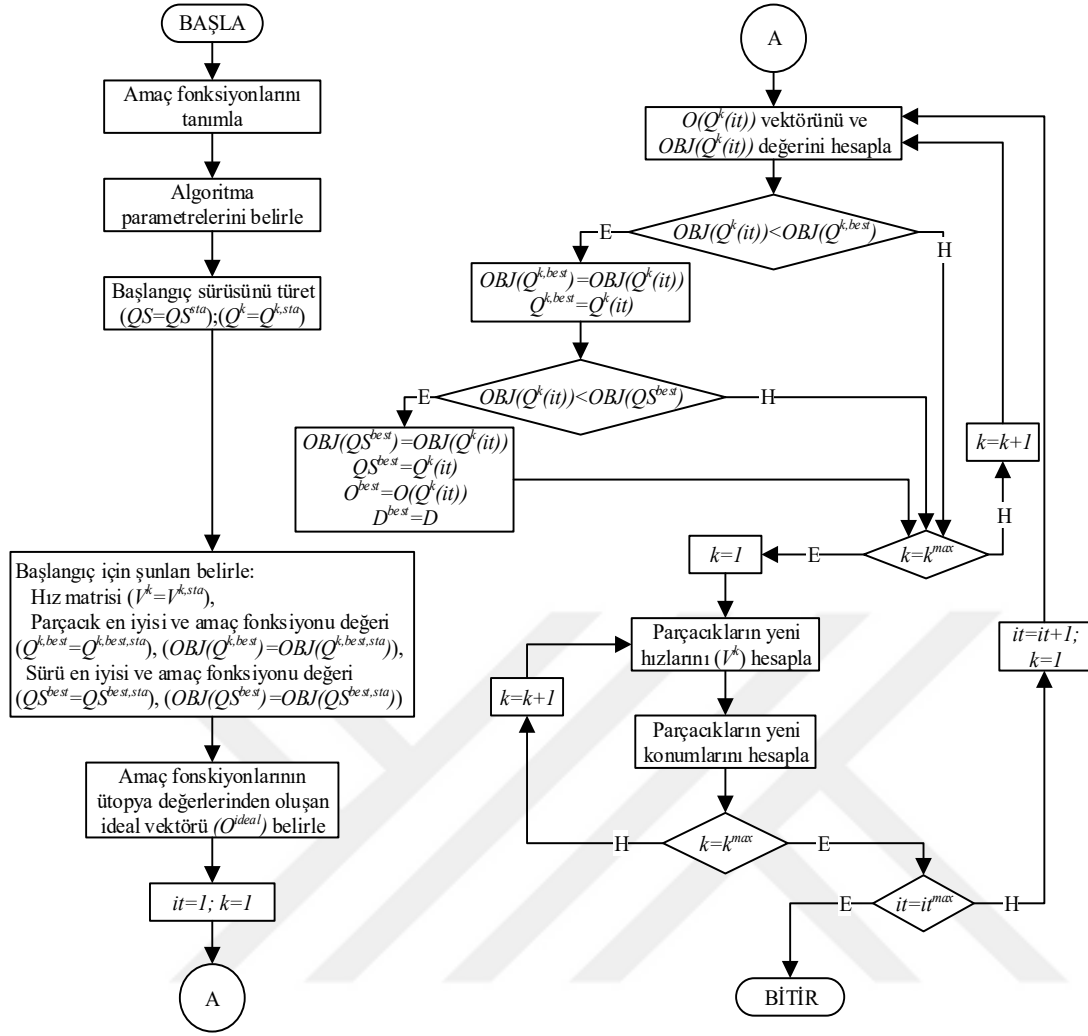
Hız matrisi belirlendikten sonra her parçacığın yeni pozisyonu yani komşu çözümler bulunur (denklem 3.57).

$$Q^k(it + 1) = Q^k(it) + V^k(it + 1) \quad (3.57)$$

Adım 4: İterasyonlar boyunca elde edilen değerler karşılaştırılarak en iyi çözümler güncellenir. Her iterasyonda parçacıkların amaç fonksiyon değerleri hesaplanır $Q^{k,best}$ ile QS^{best} parçacıkları hafızada tutulmaktadır (denklem 3.58-3.59). Şekil 3.13 plan oluşturulması prosedürünün akış diyagramını göstermektedir.

$$Q^{k,best} = \begin{bmatrix} q_{1,1}^{k,best} & \dots & q_{1,(I+3)}^{k,best} \\ q_{2,1}^{k,best} & \dots & q_{2,(I+3)}^{k,best} \\ q_{3,1}^{k,best} & \dots & q_{3,(I+3)}^{k,best} \\ q_{4,1}^{k,best} & \dots & q_{4,(I+3)}^{k,best} \end{bmatrix} \quad (3.58)$$

$$QS^{best} = \begin{bmatrix} q_{1,1}^{best} & \dots & q_{1,(I+3)}^{best} \\ q_{2,1}^{best} & \dots & q_{2,(I+3)}^{best} \\ q_{3,1}^{best} & \dots & q_{3,(I+3)}^{best} \\ q_{4,1}^{best} & \dots & q_{4,(I+3)}^{best} \end{bmatrix} \quad (3.59)$$



Şekil 3.13 : Plan oluşturulması prosedürü akış şeması.

3.2.4 Nihai plan yapılandırması

Çözüm modeli aşamalarının sonuncusu uzman bilgisi doğrultusunda optimizasyondan elde edilen sonuçlara son halinin verilmesidir. Kapasite doğrudan iş gören kaynağına bağlı olarak kabul edildiğinden, kapasite gereksiniminde iş gören sayısını etkileyecek bir değişiklik istenmez. Bu tezde gün içindeki normal çalışma süresi normal mesai; normal mesaiye ek olarak aynı günün farklı zaman diliminde yapılan tam çalışma süresi ekstra mesai; normal mesaiden sonra bir müddet daha yapılan çalışma ise fazla mesai olarak isimlendirilmiştir. Normal mesai kapasitesi yetersiz olduğunda, ekstra mesai yapılabilir. Ancak ekstra mesai için vardiyalı çalışmak üzere yeni işçiler gerekir. Çeşitli sebeplerle ekstra mesainin mümkün olmadığı durumlarda yasaların izin verdiği ölçüde fazla mesai uygulanır. Çözüm modelinin bu aşamasında optimizasyondan elde edilen plana son hâlinin verilmesi için uzman bilgisi temelinde aşağıdaki ilkeler kabul edilmiştir:

1. Plan oluşturulması aşamasında her iş merkezi için hesaplanan minimum kapasite, bu aşamada iş merkezi kapasitesi olarak kabul edilir. Bundan başka hesaplanan kapasite değerlerinin aritmetik ortalaması ve maksimumları alınması durumlarında elde edilen sonuçlar ve tartışma bölümünde incelenmiştir. Ayrıca kapasitelerin hiyerarşik modelin üçüncü aşamasındaki optimizasyon yerine ortalama iş paketi kapasitelerine ve arttırılmış ortalama iş paketi kapasitelerine göre belirlendiği durumlara da yine elde edilen sonuçlar ve tartışma bölümünde yer verilmiştir. Böylece toplamda altı farklı kapasite belirleme durumu kıyaslanmıştır.
2. İhtiyaç halinde ekstra vardiya değil, fazla mesai uygulanabilmektedir.
3. Fazla mesaideki iş gören sayısı normal mesaiye eşittir ancak, normal mesaiye kıyasla bir miktar performans azalması vardır.
4. Alt işlerin işlem süreleri gün biriminde ele alınır ve ondalık değerler tam sayıya dönüştürülür.
5. İşlem sürelerinin ondalık kısımlarından yola çıkılarak hesaplanan artık iş miktarı fazla mesai ile tamamlanamazsa, artık işin süresi fazladan bir gün olarak kabul edilir.
6. İş paketi tamamlanma süreleri, ideal iş paketi tamamlanma süresine ($ctwp_j^{ideal}$) eşitlenmelidir.
7. Her alt iş için sadece bir gün fazla mesai yapılabilir, bu yeterli olmadığı takdirde iş gören sayısının değiştirilmesi tercih edilir.

Beşinci maddede geçen “*artık iş*” ifadesi iş miktarının normal mesai kapasitesine bölümünden elde edilen sayının ondalık kısmına tekabül eden iş miktarıdır. Artık işin nasıl hesaplandığı ilerleyen kısımlarda anlatılacaktır. Dördüncü aşamada temel olarak iki adım vardır:

Adım 1: Yeni işlem sürelerinin hesaplanması. j . iş paketinin iş miktarı matrisi Lsw matrisinden $lwp_{y,1} = l_{y,f_j}$ ve $lwp_{y,np_j} = l_{y,l_j}$ olacak şekilde ayrıştırılarak denklem 3.60’teki gibi ifade edilebilir.

$$Lwp_j = \begin{bmatrix} lwp_{1,1} & \cdots & lwp_{1,(np_j)} \\ lwp_{2,1} & \cdots & lwp_{2,(np_j)} \\ lwp_{3,1} & \cdots & lwp_{3,(np_j)} \\ lwp_{4,1} & \cdots & lwp_{4,(np_j)} \end{bmatrix} \quad (3.60)$$

Üçüncü aşamada optimizasyon yoluyla hesaplanan kapasitelerin her bir iş merkezi için en küçükleri seçilerek ilgili iş merkezinin normal mesai kapasitesi olarak tanımlanırlar. Buna göre Lwp_j matrisine benzer şekilde j . iş paketi için normal mesai kapasite matrisi, $Qwp_j^{new,ns}$, aşağıdaki gibi oluşturulur (denklem 3.61).

$$Qwp_j^{new,ns} = \begin{bmatrix} qwp_{1,1}^{new,ns} & \dots & qwp_{1,n_j}^{new,ns} \\ qwp_{2,1}^{new,ns} & \dots & qwp_{2,n_j}^{new,ns} \\ qwp_{3,1}^{new,ns} & \dots & qwp_{3,n_j}^{new,ns} \\ qwp_{4,1}^{new,ns} & \dots & qwp_{4,n_j}^{new,ns} \end{bmatrix} \quad (3.61)$$

Denklem 3.61'deki her bir elaman için yukarıda bahsedildiği gibi $qwp_{y,v}^{new,ns} = \min(q_{y,z}^{best})$ eşitliği kullanılır. Buna göre $Qwp_j^{new,ns}$ matrisinin satır elemanları birbirine eşit olur. j . iş paketi için fazla mesai kapasiteleri ise denklem 3.62 ile hesaplanır. Bu doğrultuda elde edilen iş paketi fazla mesai kapasite matrisi denklem 3.63'de görülmektedir.

$$qwp_{y,v}^{new,os} = t^{os} \times (qwp_{y,v}^{new,ns} / t^{ns}) \times p \quad (3.62)$$

$$Qwp_j^{new,os} = \begin{bmatrix} qwp_{1,1}^{new,os} & \dots & qwp_{1,np_j}^{new,os} \\ qwp_{2,1}^{new,os} & \dots & qwp_{2,np_j}^{new,os} \\ qwp_{3,1}^{new,os} & \dots & qwp_{3,np_j}^{new,os} \\ qwp_{4,1}^{new,os} & \dots & qwp_{4,np_j}^{new,os} \end{bmatrix} \quad (3.63)$$

Denklem 3.62'de t^{ns} normal mesaideki; t^{os} ise fazla mesaideki çalışma saat miktarlarını simgelemektedir. p fazla mesaideki performansın normal mesaideki performansa oranını temsil etmektedir. Burada normal mesai kapasitesi normal mesai süresine bölünerek birim süre başına kapasite belirlenip bu değer toplam fazla mesai süresi ve p oranı ile çarpılmaktadır. Üçüncü aşamada iş merkezleri için hesaplanan minimum kapasiteler esas alınarak yapılandırılan yeni kapasite matrislerine göre, her bir alt işin yeni işlem süreleri denklem 3.64 ile hesaplanır. j . iş paketinin yeni iş paketi işlem süresi matrisi denklem 3.65 ile gösterilmiştir.

$$dwp_{y,v}^{new} = lwp_{y,v} / qwp_{y,v}^{new,ns} \quad (3.64)$$

$$Dwp_j^{new} = \begin{bmatrix} dwp_{1,1}^{new} & \dots & dwp_{1,np_j}^{new} \\ dwp_{2,1}^{new} & \dots & dwp_{2,np_j}^{new} \\ dwp_{3,1}^{new} & \dots & dwp_{3,np_j}^{new} \\ dwp_{4,1}^{new} & \dots & dwp_{4,np_j}^{new} \end{bmatrix} \quad (3.65)$$

Yeni işlem sürelerinin ondalık bölümü ile artık iş miktarları hesaplanır. j . iş paketinin artık iş matrisi denklem 3.66 ile gösterilmiştir.

$$Lwp_j^{res} = \begin{bmatrix} lwp_{1,1}^{res} & \dots & lwp_{1,(np_j)}^{res} \\ lwp_{2,1}^{res} & \dots & lwp_{2,(np_j)}^{res} \\ lwp_{3,1}^{res} & \dots & lwp_{3,(np_j)}^{res} \\ lwp_{4,1}^{res} & \dots & lwp_{4,(np_j)}^{res} \end{bmatrix} \quad (3.66)$$

Buradaki her eleman denklem 3.67 ile hesaplanır.

$$lwp_{y,v}^{res} = dwp_{y,v}^{new,dp} \times qwp_{y,v}^{new,ns} \quad (3.67)$$

Eğer bir alt işin artık iş miktarı ilgili iş merkezinin fazla mesai kapasitesinden az ise yani $lwp_{y,v}^{res} \leq qwp_{y,v}^{new,os}$ eşitsizliği doğruysa artık iş fazla mesai ile tamamlanabilir ve ilgili alt işin işlem süresi yeni işlem süresinin tam sayı kısmına eşittir. Buradan hareketle $dwp_{y,v}^{new,wnp} = WN(dwp_{y,v}^{new})$ yazılabilir. WN bir sayının tam sayı kısmını ayıran bir fonksiyondur. O halde $dwp_{y,v}^{day} = dwp_{y,v}^{new,wnp}$ olur. Yukarıda belirtilen eşitsizliğin geçerli olmadığı durumlarda artık işin süresi fazladan tam bir gün olarak kabul edilir. Bu durumda ilgili alt işin o iş merkezindeki süresi yeni işlem süresinin tam sayı kısmının bir fazlası olacaktır. Bu şartlar altında $dwp_{y,v}^{day} = dwp_{y,v}^{new,wnp} + 1$ olur. Anlatılanlara göre hesaplanan işlem sürelerinden oluşan j . iş paketi işlem süresi matrisi (Dwp_j^{day}) denklem 3.68'de görülmektedir. Dwp_j^{day} matrisinin elemanları gün birimindedir.

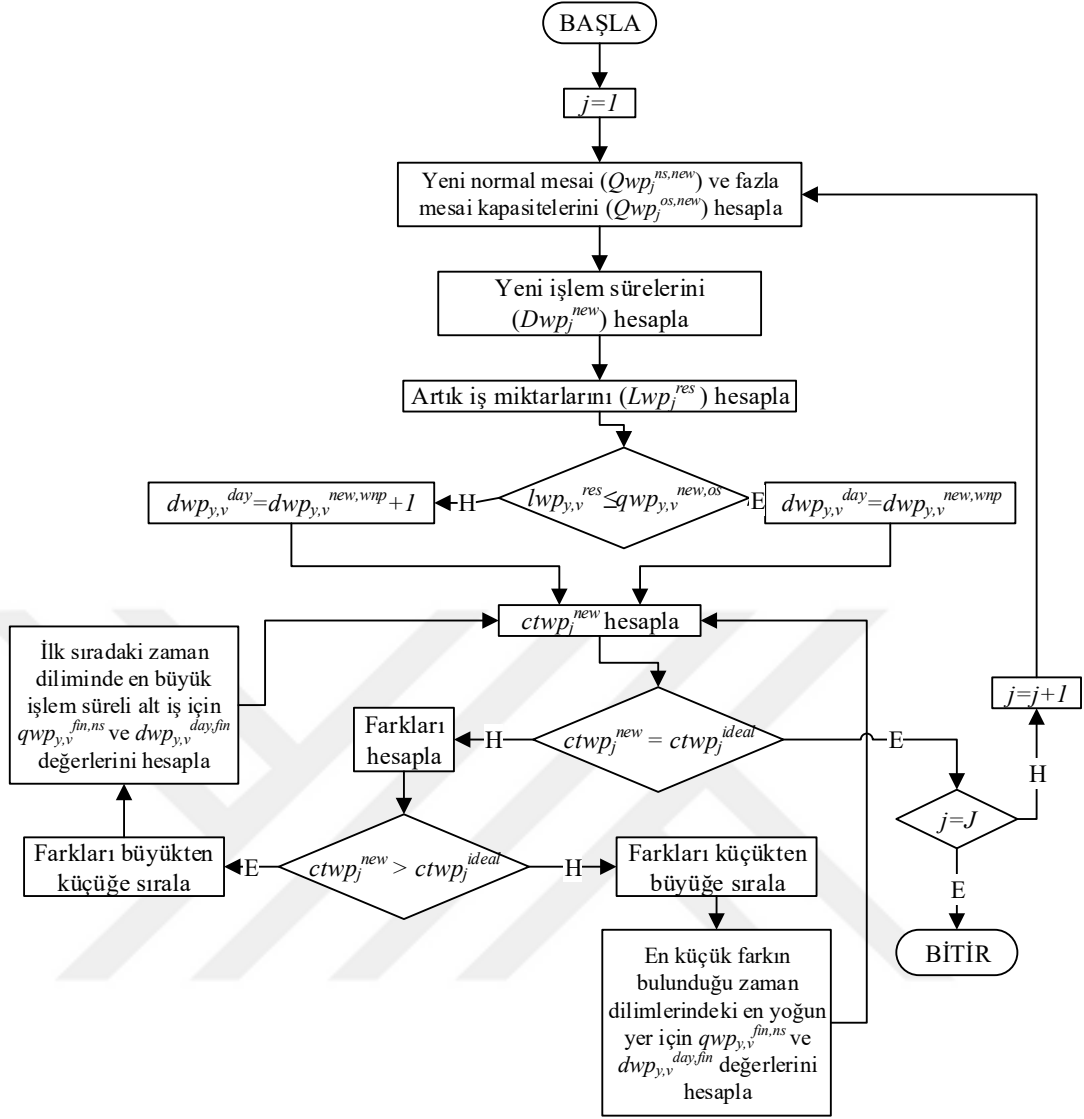
$$Dwp_j^{day} = \begin{bmatrix} dwp_{1,1}^{day} & \dots & dwp_{1,n_j}^{day} \\ dwp_{2,1}^{day} & \dots & dwp_{2,n_j}^{day} \\ dwp_{3,1}^{day} & \dots & dwp_{3,n_j}^{day} \\ dwp_{4,1}^{day} & \dots & dwp_{4,n_j}^{day} \end{bmatrix} \quad (3.68)$$

Adım 2: Tespit edilen iş paketi yeni tamamlanma sürelerinin ($ctwp_j^{new}$) ideal iş paketi tamamlanma süresine eşitlenmesi. Dwp_j^{day} matrisi satır vektör olarak yazılarak $Dwp_j^{day} = [dwp_1^{day} \ \dots \ dwp_{np_j}^{day}]$ elde edilir. Burada elemanlar, dwp_v^{day} , birer sütun vektörüdür. Bu sebeple iş paketi yeni tamamlanma süresi $ctwp_j^{new} = \sum_{v=1}^{np_j} \max(dwp_v^{day})$ şeklinde hesaplanabilir. Eğer hesaplanan değer ideal süreden fazla ise yani $ctwp_j^{new} > ctwp_j^{ideal}$ eşitsizliği doğruysa iş paketinin tamamlanma süresinin azaltılması gerekir. Bu amaçla öncelikle Dwp_j^{day} matrisinin her zaman dilimindeki yani her sütunundaki minimum ve maksimum değerler arasındaki farklar $DIF_{j,v} = \max(dwp_{y,v}^{day}) - \min(dwp_{y,v}^{day}) \ \forall j, v, y$ eşitliği ile hesaplanır ve büyükten küçüğe doğru sıralanır. Daha sonra $DIF_{j,v}$ değerinin en büyük olduğu zaman dilimindeki en yüksek işlem süresinden başlanarak iş paketi tamamlanma süresi $ctwp_j^{ideal}$ değerine eşit oluncaya kadar işlem süresi birer birer azaltılır. Sürenin bu şekilde düşürülmesi için normal mesai kapasitesinin artırılması gerekmektedir. Bu bölümün başında verilen bilgilere göre her alt iş için sadece bir gün fazla mesai yapılabileceğinden, kapasite artımı ancak iş gören miktarının artırılması ile gerçekleştirilebilir. Bu durumda, nihai normal mesai kapasitesi ($q_{y,v}^{fin,ns}$) ve gün birimindeki nihai işlem süreleri ($dwp_{y,v}^{fin,day}$) denklemler 3.69-3.70 ile hesaplanır.

$$qwp_{y,v}^{fin,ns} = lwp_{y,v} / \left((t^{ns} + p \times t^{os}) + (dwp_{y,v}^{day} - 2) \times t^{ns} \right) \times t^{ns} \quad (3.69)$$

$$dwp_{y,v}^{fin,day} = dwp_{y,v}^{day} - 1 \quad (3.70)$$

Denklem 3.69'da t^{ns} ve t^{os} sırasıyla saat biriminde normal ve fazla mesai çalışma süreleridir. Denklem 3.69 ve 3.70'daki hesaplamalar $ctwp_j^{ideal}$ değerine ulaşıncaya kadar işlem süresinin birer gün azaltılması ile tekrar edilir. Her seferinde $DIF_{j,v}$ değerleri yeniden bulunup işlem süresinin düşürüleceği iş merkezi yeniden tespit edilir. Denklem 3.69'daki $(t^{ns} + p \times t^{os})$ ifadesi son günkü toplam çalışma süresi ile alakalıdır. $(dwp_{y,v}^{day} - 2) \times t^{ns}$ kısmında 2 sayısının çıkarılmasındaki amaç ise son günün diğer ifade ile temsil edilmesi ve toplam sürenin bir gün azaltılmak istenmesidir. Kesrin t^{ns} ile çarpılması ise saat birimini güne çevirmek içindir.



Şekil 3.14 : Nihai plan yapılandırması prosedürü akış diyagramı.

Tamamlanma süresi $ctwp_j^{ideal}$, den az olan iş paketlerinin ise işlem süreleri artırılır. Bu amaçla yukarıdaki duruma benzer şekilde her bir zaman dilimindeki en büyük ile en küçük işlem süreleri arasındaki farklar hesaplanır ve bu kez küçükten büyüğe doğru sıralanırlar. Daha sonra farkın en küçük olduğu zaman diliminden başlanarak boş süresi en az olan en büyük değerler, iş paketinin tamamlanma süresi $ctwp_j^{ideal}$ değerine eşit oluncaya kadar birer birer artırılır. Burada da yine $DIF_{j,v}$ değerleri her iterasyonda yeniden hesaplandığından işlem süresi arttırılacak olan iş merkezi yeniden belirlenir. Süreyi arttırmak için normal mesai kapasitesi düşürülmelidir. Bunun için tespit edilen kısımlarda iş gören sayısının azaltılması gerekir. Bu durumda, nihai kapasite ve işlem süreleri denklem 3.71-3.72 ile hesaplanır.

$$qwp_{y,v}^{fin,ns} = lwp_{y,v} / (dwp_{y,v}^{day} + 1) \quad (3.71)$$

$$dwp_{y,v}^{fin,day} = dwp_{y,v}^{day} + 1 \quad (3.72)$$

Şekil 3.14 nihai plan yapılandırması prosedürünün akış diyagramını göstermektedir.

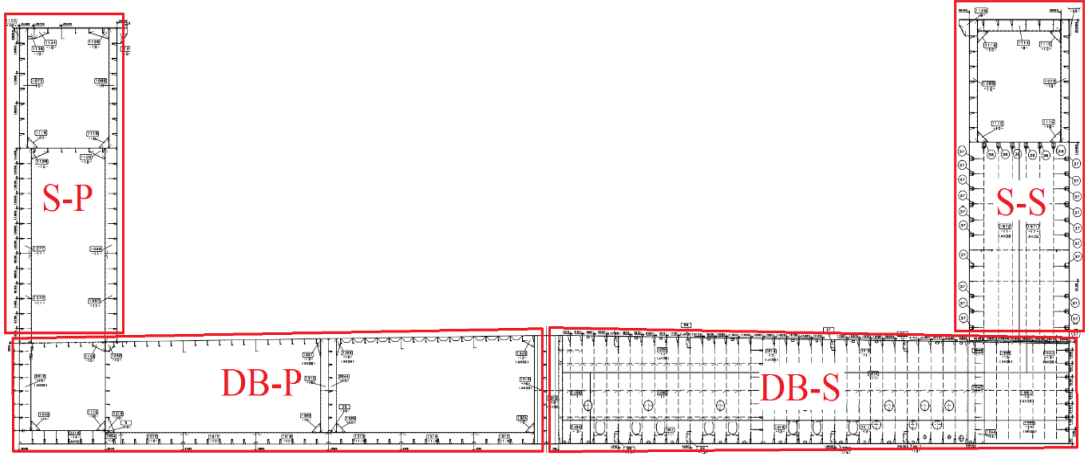


4. ÖRNEK VAKA UYGULAMASI

Bu bölümde bir önceki bölümde detaylı bir şekilde açıklanan çözüm modelinin bir probleme uygulaması yapılmıştır. Bu doğrultuda öncelikle problemin temelini oluşturan verinin nasıl oluşturulduğu anlatılmıştır. Ardından model üzerindeki adımlar takip edilerek her alt iş için amaç fonksiyonları doğrultusunda olabildiğince dengelenmiş kapasite gereksinimleri hesaplanmıştır. Daha sonra detaylı bir biçimde uygulama sonuçları irdelenmiştir.

4.1 Veri Oluşturma

Uygulama verisini oluşturmak için bir tersaneden 2 adet çift dip, iki adet de yan duvar olmak üzere 4 adet blok için Çizelge 4.1’de verilen bilgiler alınmıştır. Bu dört blok bir adet dilimi oluşturmaktadır. Bahsedilen dilim ve onu oluşturan bloklar Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1 : Örnek bir en kesit.

Çizelge 4.1 : Çift dip ve yan duvar bloklarının kütle verisi [kg].

Blok adı	Blok	Panel hattı	Ön imalat
DB-P	202425	110735	91690
DB-S	175415	105928	69487
S-P	84318	67051	17267
S-S	85461	67096	18365

İş merkezlerindeki iş miktarlarını hesaplamak için şöyle bir yaklaşım uygulanmıştır: Çizelge 4.1’de görülen blok ağırlığı bloktaki tüm çelik yapının ağırlığını içermektedir. Dolayısıyla B imalatı için iş miktarı doğrudan blok ağırlığına eşit alınmıştır. Bunun yanı sıra ön imalat verisi de doğrudan C imalatındaki iş miktarına karşılık gelmektedir. Panel hattında panellerin ve elemanlı panellerin imalatı yapıldığından buradaki kütle ($lsw_E + lsw_F$) toplamına eşittir. K imalatında cidarlardan birisi ve muhtelif diğer parçalar bloğa eklenmektedir. Öte yandan burada aşağıdaki eşitliklerin geçerli olduğu söylenebilir:

$$lsw_G + lsw_K = lsw_B = \text{Blok ağırlığı}$$

$$lsw_F = \text{Profil ağırlığı}$$

$$lsw_E + lsw_F + lsw_C = lsw_B = \text{Blok ağırlığı}$$

$$lsw_E + lsw_F = \text{Panel hattı kütlesi}$$

$$lsw_C = \text{Ön imalat kütlesi}$$

$$lsw_K = \text{Cidarlardan birisi + muhtelif küçük parçalar}$$

Bu açıklamalar doğrultusunda önce blokların konstrüksiyon resimleri incelenerek toplam elemanlı panel alanı bulunmuş daha sonra cidarlardan birisinin alanı tüm elemanlı panel alanına oranlanarak lsw_K miktarının bulunmasında kullanılmıştır. Bu sırada kütle alan ile doğru orantılı olduğu varsayılmıştır. Buna göre DB-P kodlu blok incelendiğinde Çizelge 4.2’de verilen bilgi elde edilmiştir.

Çizelge 4.2 : DB-P kodlu bloktaki elemanlı panellerin adetleri ve alanları.

En [m]	Boy [m]	Alan [m ²]	Adet	Toplam alan [m ²]
5,5	29	159,5	4	638
5,5	10,5	57,75	3	173,25
10,5	29	304,5	1	304,5
10,5	24,5	257,25	1	257,25

Bütün alan = $638 + 173,25 + 304,5 + 257,25 = 1373$ olarak hesaplanır. 257,25 m²’lik cidarın K imalatında bloka eklendiği varsayılımsın. Toplam panel hattı kütlesi kullanılarak aşağıdaki doğru orantı kurulabilir:

$$\frac{257,25}{1373} = \frac{x}{110735}$$

Buradan,

$$x \cong 20750$$

olarak hesaplanır. Bazı muhtelif parçaların da K iş merkezinde bloka eklendiği düşünülüp bu miktar %10 arttırılırsa DB-P blokunun K iş merkezindeki iş miktarı $20750 * 1,1 = 22825 \text{ kg}$ şeklinde elde edilir. $lsw_G = \text{Blok kütlesi} - lsw_K$ olduğundan, G iş merkezindeki iş miktarı $202425 - 22825 = 179600 \text{ kg}$ bulunur. Elemanlı panellerin kütlesinin %20'sini profillerin oluşturduğu varsayılarak F iş merkezindeki iş miktarı $110735 * 0,2 = 22147 \text{ kg}$; E iş merkezindeki iş miktarı ise $110735 * 0,8 = 88588 \text{ kg}$ olarak hesaplanır. Blok kütlesinin tamamı kesilip hazırlık işlemi yapılacağından B iş merkezindeki iş miktarı 202425 kg ; C iş merkezindeki iş miktarı ise ön imalat kütlesine eşit ve 91690 kg 'dır.

DB-S bloku için de yukarıdaki orantı kullanılarak benzer şekilde

$$\frac{257,25}{1373} = \frac{x}{105928}$$

Buradan,

$$x \cong 19850$$

olarak hesaplanır. Bazı muhtelif parçaların da K iş merkezinde bloka eklendiği düşünülüp bu miktar %10 arttırılırsa DB-S blokunun K iş merkezindeki iş miktarı $19850 * 1,1 = 21835 \text{ kg}$ şeklinde elde edilir. $lsw_G = \text{Blok kütlesi} - lsw_K$ olduğundan, G iş merkezindeki iş miktarı $175415 - 21835 = 153580 \text{ kg}$ bulunur. Elemanlı panellerin kütlesinin %20'sini profillerin oluşturduğu varsayılarak E iş merkezindeki iş miktarı $105928 * 0,8 = 84742 \sim 84700 \text{ kg}$ olarak alınabilir. F iş merkezindeki iş miktarı $105928 - 84700 = 21228 \text{ kg}$ bulunur. Blok kütlesinin tamamı kesilip hazırlık işlemi yapılacağından B iş merkezindeki iş miktarı 175415 kg ; C iş merkezindeki iş miktarı ise ön imalat kütlesine eşit ve 69487 kg 'dır.

Çift dip bloklarında uygulanan yaklaşım yan duvar bloklarına da tatbik edilecek olursa öncelikle blokların konstrüksiyon resimleri incelenip toplam elemanlı panel alanı bulunur. Daha sonra cidarlardan birisinin alanı tüm elemanlı panel alanına oranlanıp K iş merkezindeki iş miktarının hesabına geçilir. Buna göre S-P kodlu blok incelendiğinde Çizelge 4.3'te verilen bilgi elde edilmiştir.

Çizelge 4.3 : S-P kodlu bloktaki parçaların adetleri ve birim alanları.

En [m]	Boy [m]	Alan [m ²]	Adet	Toplam alan [m ²]
6,2	7,1	44,02	1	44,02
10,5	15	157,5	2	315
5	10,5	52,5	2	105

Bütün alan = 44,02 + 315 + 105 = 464,02 olarak hesaplanır. 157,5 m²'lik cidarın K imalatında bloka eklendiği varsayılınsın. Toplam panel hattı kütlesi kullanılarak aşağıdaki doğru orantı kurulabilir:

$$\frac{157,5}{464,02} = \frac{x}{67051}$$

Buradan,

$$x \cong 22755$$

olarak hesaplanır. Yan duvar blokları cidar paneli sacları çift diptekilerden bir miktar ince olduğu için hesaplanan x değeri %20 azaltılarak K iş merkezindeki iş miktarı 22755 * 0,8 \cong 18200 kg şeklinde elde edilebilir. $lsw_G = \text{Blok kütlesi} - lsw_K$ olduğundan, G iş merkezindeki iş miktarı 84318 – 18200 = 66118 kg bulunur. Elemanlı panellerin kütesinin %20'sini profillerin oluşturduğu varsayılarak E iş merkezindeki iş miktarı 67051 * 0,8 \cong 53641 kg olarak alınabilir. F iş merkezindeki iş miktarı 67051 – 53641 = 13410 kg bulunur. Blok kütesinin tamamı kesilip hazırlık işlemi yapılacağından B iş merkezindeki iş miktarı 84318 kg; C iş merkezindeki iş miktarı ise ön imalat kütesine eşit ve 17267 kg'dır.

S-S bloku için de yukarıdaki orantı kullanılarak benzer şekilde

$$\frac{157,5}{464,02} = \frac{x}{67096}$$

Buradan,

$$x \cong 22770$$

x değeri %20 azaltılarak K iş merkezindeki iş miktarı 22770 * 0,8 \cong 18220 kg şeklinde elde edilir. $lsw_G = \text{Blok kütlesi} - lsw_K$ olduğundan, G iş merkezindeki iş miktarı 85461 – 18220 = 67241 kg bulunur. Elemanlı panellerin kütesinin %20'sini profillerin oluşturduğu varsayılarak E iş merkezindeki iş miktarı 67096 * 0,8 \cong 53677 kg olarak alınabilir. F iş merkezindeki iş miktarı 67240 – 53677 = 13419 kg bulunur. Blok kütesinin tamamı kesilip hazırlık işlemi yapılacağından B iş merkezindeki iş miktarı 85461 kg; C iş merkezindeki iş miktarı ise ön imalat kütesine eşit ve 18365 kg'dır.

Yukarıdaki hesaplar sonucunda elde edilen değerler aşağıdaki Çizelge 4.4'te özetlenmiştir.

Çizelge 4.4 : Tüm blokların her bir iş merkezinde işlenecek kg olarak iş miktarları.

	B	C	G	K	E	F
S-P	84318	17267	66118	18200	53641	13410
S-S	85461	18365	67241	18220	53677	13419
DB-P	202425	91690	179600	22825	88588	22147
DB-S	175415	69487	153580	21835	84700	21228

Yukarıdaki değerler bir dilimi oluşturan 2 yan duvar ve iki çift dip blokuna aittir. Çalışmada toplamda 23 adet dilim üretileceği varsayılarak toplamda 92 blok olduğu düşünülmüştür. Bu sebeple her dilim için (0,7, 1,3) arasında düzgün dağılıma göre rastgele bir katsayı üretilip ilgili dilimin katsayısı yukarıdaki değerlerle çarpılarak tüm blokların iş miktarı verileri hesaplanmıştır. Bu değerler çözüm modeli bölümünde bahsedilen alt iş miktarlarına karşılık gelmektedir. Tüm alt işlere ait iş miktarları ekte Çizelge A.1’de verilmiştir.

4.2 Önerilen Metodoloji İçin Bir Uygulama Çalışması

Tezin bu kısmında çözüm modeli bölümünde ayrıntıları verilen algoritmalar için detaylı bir şekilde uygulama yapılmıştır. Bölüm 3.2.4’te belirtilen birinci ilkede anlatıldığı üzere dördüncü aşamada optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en küçükleri temel alınarak hesaplama detayları verilmiştir. Diğer beş farklı versiyon tartışma ve sonuçlar bölümünde incelenmiştir.

4.2.1 Başlangıç iş paketi yapılandırma uygulaması

Ele alınan problem senaryosunda 92 adet bloğun 21 ayda tamamlanması hedeflenmiştir. Buna göre $I = 92$ ve $CT^{ideal} = 21$ ay’dır. Blokların her iş merkezinde tamamlanması gereken işleri daha önce de açıklandığı üzere alt iş olarak isimlendirilmiştir. Alt işlerin miktarlarının belirlenmesi ile alakalı açıklamalar veri oluşturma bölümünde yapılmıştır.

Plan yapılandırması kritik rota üzerindeki iş merkezleri için yapılacağından Lsw matrisi sadece bu iş merkezlerini içermektedir. Buna göre Lsw matrisinin bir bölümü aşağıdaki gösterilmiştir. Lsw matrisinin tamamı ekte Çizelge A.2’de verilmiştir. Burada birinci satır B, ikinci satır C, üçüncü satır G, dördüncü satır da K iş merkezine ait veriyi içermektedir. Sütunlar ise bir bloka ait işleri göstermektedir. Matristeki değerler kilogram birimindedir.

$$Lsw = \begin{bmatrix} 84318 & 85461 & \dots & 249873 & 216532 \\ 17267 & 18365 & \dots & 113182 & 85775 \\ 66118 & 67241 & \dots & 221698 & 189579 \\ 18200 & 18220 & \dots & 28175 & 26953 \end{bmatrix}$$

Örneğin Lsw matrisinde $lsw_{B,1} = 84318 \text{ kg}$; $lsw_{C,1} = 17267 \text{ kg}$; $lsw_{G,92} = 189579 \text{ kg}$; $lsw_{K,92} = 26953 \text{ kg}$ 'dır. Buradan ideal iş paketinin iş miktarları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$wp_B^{ideal} = \frac{1}{21} \sum_{i=1}^{92} lsw_{B,i} = 619197 \text{ [kg]}$$

$$wp_C^{ideal} = \frac{1}{21} \sum_{i=1}^{92} lsw_{C,i} = 222534 \text{ [kg]}$$

$$wp_G^{ideal} = \frac{1}{21} \sum_{i=1}^{92} lsw_{G,i} = 527520 \text{ [kg]}$$

$$wp_K^{ideal} = \frac{1}{21} \sum_{i=1}^{92} lsw_{K,i} = 91678 \text{ [kg]}$$

Buna göre WP^{ideal} vektörü şöyle belirlenir:

$$WP^{ideal} = [619197 \quad 222534 \quad 527520 \quad 91678]^T$$

Bundan sonra WP^{ideal} temel alınarak iş paketleri yapılandırılır. Bu sırada çözüm modelinde detayları anlatıldığı ve akış şemasında gösterildiği biçimde iteratif bir işlem yapılmaktadır. Örneğin birinci iş paketi oluşturulurken önce ilk blok bu iş paketine dâhil edilir. Bu durumda birinci iş paketi sadece birinci bloktan oluşmaktadır ve aşağıdaki gibidir:

$$WP_{1,1} = [84318 \quad 17267 \quad 66118 \quad 18200]^T$$

Anlaşılaacağı üzere burada $wp_{B,1,1} = 84318$; $wp_{C,1,1} = 17267$; $wp_{G,1,1} = 66118$; $wp_{K,1,1} = 18200$ 'dür. $WP_{1,1}$, birinci iş paketine 1 numaralı blok eklendikten sonra elde edilen iş paketini göstermektedir. Her iterasyonda iş paketine blok eklendikçe ortaya çıkan yeni iş paketinin ideal iş paketine benzerliği $\Delta_{i,j}$ ile kontrol edilir. Çözüm modelinde anlatıldığı üzere iş paketine eklenen blok iş için benzerlik kontrolü yapılmaz ancak, bir sonraki iterasyonda gerekli olacağı için $\Delta_{i,j}$ hesaplanmalıdır. Aşağıda $\Delta_{1,1}$ 'in hesabı yapılmıştır.

$$\begin{aligned}\Delta_{1,1} &= \sum_{x \in X} |wp_x^{ideal} - wp_{x,1,1}| \\ \Rightarrow \Delta_{1,1} &= |wp_B^{ideal} - wp_{B,1,1}| + |wp_C^{ideal} - wp_{C,1,1}| + |wp_G^{ideal} - wp_{G,1,1}| \\ &\quad + |wp_K^{ideal} - wp_{K,1,1}| \\ \Rightarrow \Delta_{1,1} &= |619197 - 84318| + |222534 - 17267| + |527520 - 66118| \\ &\quad + |91678 - 18200| \\ \Rightarrow \Delta_{1,1} &= 1275025\end{aligned}$$

Sıradaki blok iş paketine eklenerek iterasyona devam edilir. İkinci blokun eklenmesiyle elde edilen iş paketi aşağıda görülmektedir.

$$\begin{aligned}WP_{2,1} &= [(84318 + 85461) \quad (17267 + 18365) \quad (66118 + 67241) \quad (18200 + 18220)]^T \\ \Rightarrow WP_{2,1} &= [169779 \quad 35632 \quad 133359 \quad 36420]^T\end{aligned}$$

Daha sonra, ikinci blokun birinci iş paketine eklenmesiyle elde edilen iş paketinin ideal iş paketine benzerliğinin ölçüsü olan $\Delta_{2,1}$ hesaplanmalıdır:

$$\begin{aligned}\Delta_{2,1} &= \sum_{x \in X} |wp_x^{ideal} - wp_{x,2,1}| \\ \Rightarrow \Delta_{2,1} &= |wp_B^{ideal} - wp_{B,2,1}| + |wp_C^{ideal} - wp_{C,2,1}| + |wp_G^{ideal} - wp_{G,2,1}| \\ &\quad + |wp_K^{ideal} - wp_{K,2,1}| \\ \Rightarrow \Delta_{2,1} &= |619197 - 169779| + |222534 - 35632| + |527520 - 133359| \\ &\quad + |91678 - 36420| \\ \Rightarrow \Delta_{2,1} &= 1085738\end{aligned}$$

Bir sonraki adımda $\Delta_{1,1}$ ile $\Delta_{2,1}$ 'in kıyaslanır. $\Delta_{2,1} < \Delta_{1,1}$ olduğundan sıradaki blokun mevcut iş paketine dâhil edilmesiyle işleme devam edilir:

$$\begin{aligned}WP_{3,1} &= [372204 \quad 127322 \quad 312959 \quad 59245]^T \\ \Rightarrow \Delta_{3,1} &= |619197 - 372204| + |222534 - 127322| + |527520 - 312959| \\ &\quad + |91678 - 59245| \\ \Rightarrow \Delta_{3,1} &= 589198\end{aligned}$$

$\Delta_{3,1} < \Delta_{2,1}$ olduğundan yine sıradaki blokun mevcut iş paketine dâhil edilmesiyle işleme devam edilir:

$$WP_{4,1} = [547619 \quad 196809 \quad 466539 \quad 81080]^T$$

$$\begin{aligned}\Rightarrow \Delta_{4,1} &= |619197 - 547619| + |222534 - 196809| + |527520 - 466539| \\ &\quad + |91678 - 81080| \\ \Rightarrow \Delta_{4,1} &= 168881\end{aligned}$$

$\Delta_{4,1} < \Delta_{3,1}$ olduğundan yine sıradaki blokun mevcut iş paketine dâhil edilmesiyle işleme devam edilir:

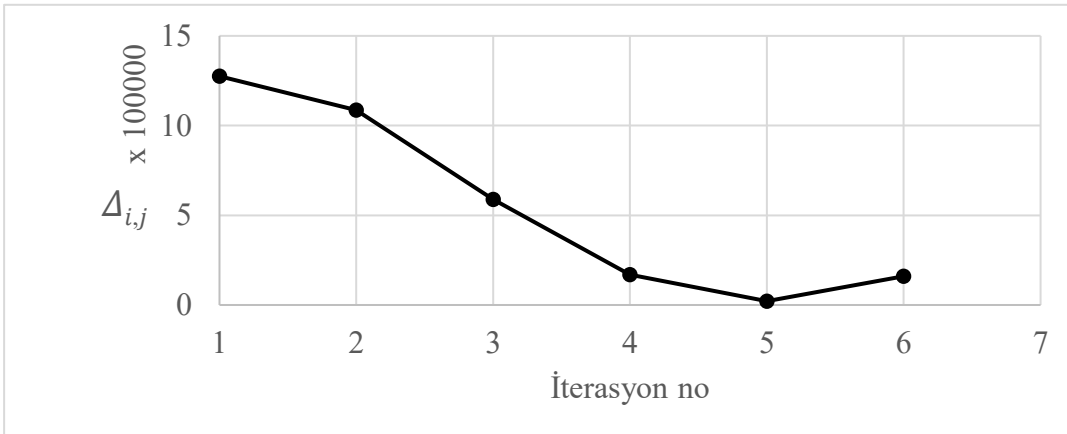
$$\begin{aligned}WP_{5,1} &= [621759 \quad 211992 \quad 524676 \quad 97083]^T \\ \Rightarrow \Delta_{5,1} &= |619197 - 621759| + |222534 - 211992| + |527520 - 524676| \\ &\quad + |91678 - 97083| \\ \Rightarrow \Delta_{5,1} &= 21352\end{aligned}$$

$\Delta_{5,1} < \Delta_{4,1}$ olduğundan yine sıradaki blokun mevcut iş paketine dâhil edilmesiyle işleme devam edilir:

$$\begin{aligned}WP_{6,1} &= [696904 \quad 228140 \quad 583800 \quad 113104]^T \\ \Rightarrow \Delta_{6,1} &= |619197 - 696904| + |222534 - 228140| + |527520 - 583800| \\ &\quad + |91678 - 113104| \\ \Rightarrow \Delta_{6,1} &= 161020\end{aligned}$$

$\Delta_{6,1} > \Delta_{5,1}$ olduğundan $f_1 = 1$ ve $l_1 = 5$ olarak tespit edilip birinci iş paketi yapılandırılır. Daha sonra birinci iş paketindeki blok sayısı şöyle belirlenir. Şekil 4.2'de örnek hesaptaki $\Delta_{i,j}$ değişimi görülmektedir.

$$\begin{aligned}np_j &= l_j - f_j + 1 \\ \Rightarrow np_1 &= l_1 - f_1 + 1 \\ \Rightarrow np_1 &= 5\end{aligned}$$



Şekil 4.2 : Birinci iş paketi yapılandırmasında $\Delta_{i,j}$ değişimi.

Örnek olarak verilen birinci iş paketi yapılandırmasında olduğu gibi devam edilerek başlangıç iş paketi yapılandırması tamamlanır. Nihai olarak her iş paketindeki blok sayısını gösteren Np vektörü aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$Np = [5 \ 5 \ 4 \ 5 \ 5 \ 4 \ 6 \ 4 \ 4 \ 4 \ 4 \ 4 \ 4 \ 4 \ 5 \ 4 \ 4 \ 4 \ 4 \ 4 \ 5]$$

4.2.2 Nihai iş paketi yapılandırma uygulaması

Bu aşamada TB algoritması kullanılarak bölüm 2.3 verilen 12. kabule uygun formda bir iş paketi konfigürasyonu araması yapılmıştır. Problem tanımında belirtilen varsayımlar doğrultusunda algoritmada kullanmaya uygun hale getirmek için Lsw matrisi aşağıdaki gibi yeniden düzenlenmiştir.

Lsw

$$= \begin{bmatrix} 84318 & 85461 & \dots & \dots & 249873 & 216532 & NaN & NaN & NaN \\ NaN & 17267 & 18365 & \dots & \dots & 113182 & 85775 & NaN & NaN \\ NaN & NaN & 66118 & 67241 & \dots & \dots & 221698 & 189579 & NaN \\ NaN & NaN & NaN & 18200 & 18220 & \dots & \dots & 28175 & 26953 \end{bmatrix}$$

TB algoritması ile yapılan aramadaki asıl hedef Lsw matrisinin yeni formundaki sütunları gruplayarak nihai iş paketleri konfigürasyonunu elde etmektir. Dikkat edilirse kombinatoriyal bir optimizasyon işlemi söz konusudur.

TB algoritmasında öncelikle T^{first} , T^{end} ve cc parametreleri belirlenmelidir. Yapılan çeşitli denemeler neticesinde $T^{first} = 1000000$; $T^{end} = 50$; $cc = 0,999$ olarak belirlenmesinin bu problem için iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra işleme bir başlangıç çözümü ile başlanmaktadır. Buradaki amaç en uygun Np vektörünü yani yeniden düzenlenmiş Lsw matrisinde her iş paketine dâhil edilen sütun sayılarını belirlemektir. Dolayısıyla çözümler Np vektörleridir.

Burada başlangıç çözümü olan Np^{sta} 'yı ve optimizasyon sırasında üretilecek diğer komşu çözümleri üretmek için birinci aşamada elde edilen Np vektörünün en büyük elemanı esas alınmıştır. Buna göre $np^{max} = \max(Np) + \varepsilon$ olmak üzere Np vektörünün elemanları $np_j = UD(1, np^{max})$ olacak şekilde üretilir. Buradaki ε arama sırasında üretilecek rastgele sayıların üst sınırını belirlemekte kullanılan bir tolerans değeridir. Muhtelif koşullar neticesinde bu problem için $\varepsilon = 2$ alınması uygun bulunmuştur. Dolayısıyla $np^{max} = 6 + 2 = 8$ olarak hesaplanır. Buradan $np_j = UD(1,8)$ 'e göre rastgele tam sayılar üretilerek ilk çözüm belirlenir. Buna göre örneğin Np^{sta} şu şekilde belirlenebilir:

$$Np^{sta} = [2 \ 4 \ 6 \ 3 \ 6 \ 4 \ 6 \ 6 \ 4 \ 1 \ 3 \ 4 \ 3 \ 2 \ 7 \ 4 \ 8 \ 4 \ 7 \ 4 \ 7]$$

Np^{sta} 'dan hareketle Lwp^{sta} matrisi aşağıdaki gibi oluşturulur. Lwp^{sta} matrisinin tamamı ekte Çizelge A.3'te verilmiştir.

$$Lwp^{sta} = \begin{bmatrix} 169779 & 527125 & \dots & 574975 & 675980 \\ 17267 & 194725 & \dots & 210023 & 315899 \\ 0 & 466539 & \dots & 506063 & 925719 \\ 0 & 59245 & \dots & 88191 & 166106 \end{bmatrix}$$

Örneğin Lwp^{sta} matrisinin birinci sütunundaki değerler şöyle hesaplanmıştır. Np^{sta} vektörünün ilk elemanı 2'dir ve Lsw matrisinin ilk iki sütununun birinci iş paketine dahil edileceği anlaşılmaktadır. Buna göre $np_1 = 2$ olduğundan $f_1 = 1$; $l_1 = 1 + 2 - 1 = 2$ olarak hesaplanır. Buradan

$$lwp_{B,1} = \sum_{i=1}^2 lsw_{B,i} = 84318 + 85461 = 169779$$

$$lwp_{C,1} = \sum_{i=1}^2 lsw_{C,i} = 0 + 17267 = 17267$$

$$lwp_{G,1} = \sum_{i=1}^2 lsw_{G,i} = 0 + 0 = 0$$

$$lwp_{K,1} = \sum_{i=1}^2 lsw_{K,i} = 0 + 0 = 0$$

Lwp^{sta} matrisi $Lwp = [lwp_B \ lwp_C \ lwp_G \ lwp_K]^T$ olacak şekilde tanımlanırsa burada:

$$lwp_B = [169779 \ 527125 \ \dots \ 574975 \ 675980]$$

$$lwp_C = [17267 \ 194725 \ \dots \ 210023 \ 315899]$$

$$lwp_G = [0 \ 466539 \ \dots \ 506063 \ 925719]$$

$$lwp_K = [0 \ 59245 \ \dots \ 88191 \ 166106]$$

olur. $std(lwp_x) = \sqrt{\frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J (lwp_{x,j} - \mu_{lwp_x})^2} = \sqrt{\frac{1}{20} \sum_{j=1}^{21} (lwp_{x,j} - \mu_{lwp_x})^2}$ ve

$\mu_{lwp_x} = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J (lwp_{x,j})$ olmak üzere amaç fonksiyonu şu şekilde yazılabilir:

$$obj(Lwp^{sta}) = std(lwp_B) + std(lwp_C) + std(lwp_G) + std(lwp_K)$$

Amaç fonksiyonunun her bir parçası $std(lwp_B) = 319314$; $std(lwp_C) = 122653$; $std(lwp_G) = 249550$; $std(lwp_K) = 44725$ olarak hesaplanır. Buradan başlangıç

çözüm için amaç fonksiyonu değeri $obj(Lwp^{sta}) = 319314 + 122653 + 249550 + 44725 = 736242$ olarak hesaplanır. Şimdilik en iyi değerler $Np^{best} = Np^{sta}$; $Lwp^{best} = Lwp^{sta}$ ve $obj(Lwp^{best}) = obj(Lwp^{sta}) = 736242$ olarak tespit edilir.

Bir sonraki adımda komşu çözüm üretilir. Yapılan muhtelif denemeler neticesinde komşu çözümlerin Np vektöründeki rastgele iki eleman değiştirilerek belirlenmesinin daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Değiştirilecek sayıların indisleri $UDP(1,21)$ vesilesi üretilen iki tamsayı ile belirlenir. Örneğin Np vektöründeki 6. ve 3. sıradaki elemanların değiştirileceğini varsayalım. $np_6 = 4$ ve $np_3 = 6$ olduğundan ve Np vektörünün elemanları toplamı Lsw matrisindeki sütun sayısına eşit olması gerektiğinden bu eşitliği muhafaza edebilmek için toplamları $np_6 + np_3 = 10$ olacak şekilde $UD(1,8)$ 'e göre rastgele iki tam sayı üretilerek np_6 ve np_3 elemanları bu yeni sayılar ile değiştirilir. Burada üst sınırın 8 olması ilk çözümün üretilmesi ile aynı sebepten kaynaklanmaktadır ve algoritma boyunca üretilen tüm komşu çözümler için 8 olarak alınmıştır. Yeni sayıların $np_6 = 3$ ve $np_3 = 7$ olarak üretildiği varsayılsa komşu çözüm $Np^{nei} = [2 \ 4 \ 7 \ 3 \ 6 \ 3 \ 6 \ 6 \ 4 \ 1 \ 3 \ 4 \ 3 \ 2 \ 7 \ 4 \ 8 \ 4 \ 7 \ 4 \ 7]$ olarak belirlenir ve buna göre Lwp^{nei} hesaplanabilir. Lwp^{nei} matrisinin bir bölümü aşağıda tamamı ise ekte Çizelge A.4'te verilmiştir.

Lwp^{nei}

$$= \begin{bmatrix} 169779 & 527125 & 1032230 & 355373 & 774970 & 379815 & \dots & 574975 & 675980 \\ 17267 & 194725 & 386198 & 97662 & 299326 & 133339 & \dots & 210023 & 315899 \\ 0 & 466539 & 773304 & 280469 & 808374 & 232422 & \dots & 506063 & 925719 \\ 0 & 59245 & 135381 & 65773 & 118432 & 52920 & \dots & 88191 & 166106 \end{bmatrix}$$

Lwp^{nei} 'nin amaç fonksiyonu değeri hesaplanırsa $obj(Lwp^{nei}) = 764436$ olarak hesaplanır.

Üçüncü adımda komşu ve önceki çözümün amaç fonksiyonu değeri kıyaslanır. $obj(Lwp^{nei}) > obj(Lwp^{sta})$ olduğundan yeni çözüm doğrudan kabul edilmez ve bir kabul olasılığı hesaplanır. Hesaplanan amaç fonksiyonu değerleri ve şu andaki sıcaklık değeri vasıtasıyla kabul olasılığı aşağıdaki gibi belirlenir:

$$PA = e^{\frac{-(764436-736242)}{1000000}} = 0,9722$$

Akabinde PA değeri $RN = U(0,1)$ olan bir tesadüfî sayı ile karşılaştırılır. $RN = 0,8147$ olarak üretildiğini varsayalım bu durumda $PA > RN$ olduğundan komşu

çözümün konumundan devam edilir ancak $obj(Lwp^{nei}) > obj(Lwp^{sta})$ olduğundan Np^{best} , Lwp^{best} ve $obj(Lwp^{best})$ değerleri güncellenmez.

Dördüncü adımda sıcaklık soğutma çizelgesine göre azaltılır. Yukarıda $T^{first} = 1000000$; $T^{end} = 50$; $cc = 0,999$ olarak belirlendiğinden bahsedilmiştir. Bunun yanı sıra sıcaklık 60'ın altına düşünce $T^{first} = 750000$ olacak şekilde iki kez ara ısıtma işlemi yapılmış ve tüm bu soğutma çizelgesi iki kere tekrar ettirilmiştir. Algoritmanın bu adımında bir sonraki iterasyonun sıcaklığı $T(it + 1) = T(it) * cc \Rightarrow T(2) = T(1) * 0,999 = 1000000 * 0,999 = 999000$ olarak hesaplanır.

Bu algorithmada toplam 57424 iterasyon yapılmış ve Np^{best} , Lwp^{best} ve $obj(Lwp^{best})$ aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Lwp^{best} matrisinin tamamı ekte Çizelge A.5'te verilmiştir. Lwp^{best} matrisindeki değerler kg cinsindedir.

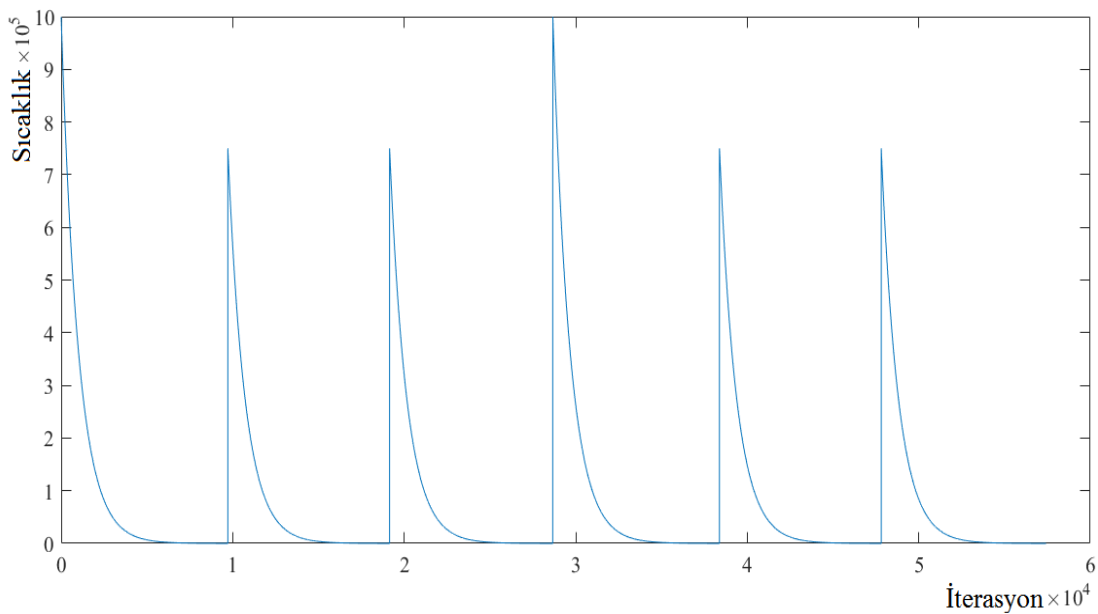
$$Np^{best} = [6 \ 5 \ 5 \ 4 \ 5 \ 4 \ 5 \ 4 \ 4 \ 4 \ 4 \ 5 \ 4 \ 5 \ 5 \ 4 \ 4 \ 4 \ 4 \ 5 \ 5]$$

$$Lwp^{best}$$

$$= \begin{bmatrix} 696904 & 764046 & 623557 & 648883 & 505902 & 608829 & \dots & 696020 & 466405 \\ 211992 & 199207 & 284653 & 204166 & 228499 & 231563 & \dots & 227955 & 221627 \\ 466539 & 486929 & 566844 & 413583 & 627213 & 482282 & \dots & 658573 & 575895 \\ 59245 & 93128 & 108026 & 69797 & 101555 & 76018 & \dots & 111269 & 123011 \end{bmatrix}$$

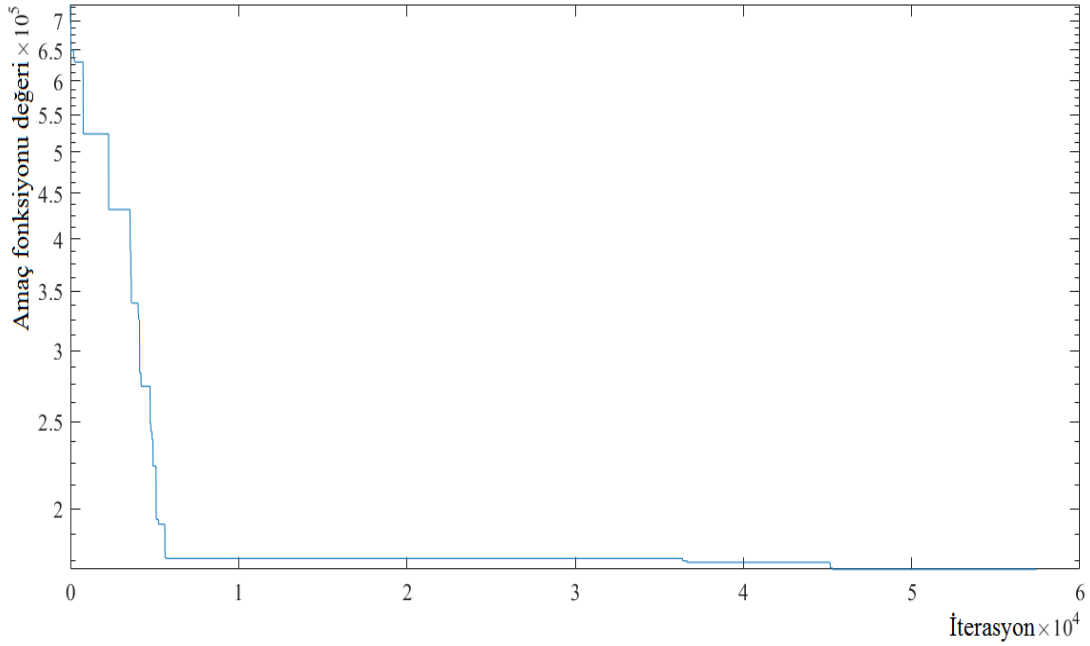
$$obj(Lwp^{best}) = 171192$$

Şekil 4.3'te hesaplama boyunca sıcaklık değişimi verilmiştir. Burada iki ara ısıtma ve iki tam tekrar yapıldığı açıkça görülmektedir.



Şekil 4.3 : Tavlama benzetimi algoritmasında sıcaklık değişimi.

Şekil 4.4'te amaç fonksiyonunun yakınsaması verilmiştir. Bu şekilde dikey eksen logaritmik ölçekte gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : Tavlama benzetimi algoritmasında amaç fonksiyonunun yakınsama grafiği.

Np^{best} 'e göre her iş paketine dâhil edilen sütunların başlangıç ve bitiş indisleri bulunabilir. Örneğin $f_1^{best} = 1$, $l_1^{best} = 6$; $f_2^{best} = l_{2-1}^{best} + 1 = 6 + 1 = 7$, $l_2^{best} = l_{2-1}^{best} + np_2^{best} = 6 + 5 = 11$ olarak hesaplanır. Hesaplanan tüm değerler Çizelge 4.5'te verilmiştir:

Çizelge 4.5 : İş paketlerindeki sütunların başlangıç ve bitiş indisleri.

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
f_j	1	7	12	17	21	26	30	35	39	43	47	51	56	60	65	70	74	78	82	86	91
l_j	6	11	16	20	25	29	34	38	42	46	50	55	59	64	69	73	77	81	85	90	95

4.2.3 Plan oluşturma uygulaması

Bu aşamada, her bir alt iş için kritik rotadaki iş merkezlerinin kapasite ihtiyacı ve işlem süreleri belirlenmiştir. Bu aşamada hesaplamalar PSO algoritması ile yapılmıştır. Toplamda beş adet amaç fonksiyonu tanımlanmış ve problem çok amaçlı optimizasyon olarak ele alınmıştır. Amaç fonksiyonları çözüm modeli bölümünde detaylı olarak açıklanmıştır. Optimizasyon neticesinde her bir alt iş için ayrı bir kapasite değeri tespit edilmiştir. PSO'ya başlamak için bir başlangıç sürüsü üretilir. Bu sürü kapasite değerlerini gösteren parçacıklardan oluşur. Kapasite değerleri

tanımlanan bir aralıkta düzgün dağılıma göre rastgele üretilmiştir. Yapılan muhtelif koşum tecrübeleri neticesinde:

$$UB = \frac{1,9}{1000} * [\max(lwp_B) \quad \max(lwp_C) \quad \max(lwp_G) \quad \max(lwp_K)]^T$$

$$= [1451,687 \quad 540,841 \quad 1251,289 \quad 233,721]^T$$

ve

$$LB = \frac{1}{1000} [\min(lwp_B) \quad \min(lwp_C) \quad \min(lwp_G) \quad \min(lwp_K)]^T$$

$$= [466,405 \quad 169,977 \quad 413,583 \quad 59,245]^T$$

olarak tanımlanmasının iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. PSO'da kütle birimi kg'dan tona çevrilerek arama yapılmıştır. Ayrıca toplamda 30 adet parçacık ile 50000 iterasyon gerçekleştirilmiştir. Buna göre başlangıç parçacıkları aşağıdaki gibi üretilir:

$$Q^k = Q^{k,sta} = \begin{bmatrix} q_{1,1}^{k,sta} & \dots & q_{1,95}^{k,sta} \\ q_{2,1}^{k,sta} & \dots & q_{2,95}^{k,sta} \\ q_{3,1}^{k,sta} & \dots & q_{3,95}^{k,sta} \\ q_{4,1}^{k,sta} & \dots & q_{4,95}^{k,sta} \end{bmatrix}, k = 1, \dots, 30$$

Örneğin birinci parçacık şu şekilde üretilebilir. Buradaki her bir elemanın birimi [ton/ay]'dır. $Q^{1,sta}$ matrisinin tamamı ekte Çizelge A.6'da verilmiştir.

$$Q^1 = Q^{1,sta}$$

$$= \begin{bmatrix} 1159,266 & 1243,599 & 474,945 & \dots & 515,895 & 882,782 & 608,604 \\ 293,296 & 273,028 & 529,557 & \dots & 261,308 & 493,782 & 330,522 \\ 661,598 & 777,231 & 905,762 & \dots & 663,941 & 1234,793 & 1003,463 \\ 129,147 & 125,011 & 117,170 & \dots & 113,282 & 89,096 & 205,998 \end{bmatrix}$$

Başlangıç sürüsü de şu şekildedir:

$$QS = QS^{sta} = \begin{bmatrix} Q^{1,sta} \\ Q^{2,sta} \\ \vdots \\ Q^{30,sta} \end{bmatrix}$$

Başlangıç sürüsü üretildikten sonra diğer başlangıç değerleri belirlenir. Çözüm modelinde anlatılanlar doğrultusunda bunlar aşağıdaki gibi tespit edilmişlerdir:

$$Q^{k,best} = Q^{k,best,sta} = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{4 \times 95}, k = 1, \dots, 30$$

$$QS^{best} = QS^{best,sta} = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{4 \times 95}$$

$$OBJ(Q^{k,best}) = OBJ(Q^{k,best,sta}) = \infty, k = 1, \dots, 30$$

$$OBJ(QS^{best}) = OBJ(QS^{best,sta}) = \infty$$

Parçacıkların hız değerleri başlangıçta aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$V^k = V^{k,sta} = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{4 \times 95}, k = 1, \dots, 30$$

Bu tespitlerin ardından ilk sürünün parçacıkları için amaç fonksiyonu değerleri hesaplanır. Bundan önce amaç fonksiyonlarının ütopya değerlerinden oluşan ideal vektör şu şekilde belirlenmiştir:

$$O^{ideal} = [0 \ 0]$$

Toplamda 5 amaç fonksiyonu olmasına rağmen dördüncü amaç fonksiyonu için çözüm bir vektör olarak tanımlandığından ve bu vektör iş paketleri sayısınca yani 21 adet elemandan oluştuğundan O^{ideal} 25 elemanlı bir satır vektördür.

Yukarıda başlangıç sürüsünün bir bölümü verilen birinci parçacığı için aşağıda örnek olarak amaç fonksiyonu değerleri hesaplanmıştır:

Birinci amaç fonksiyonu hesabı:

$$o_1 = \sum_{z=1}^{95} std(d_z^k), k = 1, \dots, 30$$

Bu amaç fonksiyonunu hesaplanması için öncelikle işlem sürelerini gösteren D matrisi aşağıdaki gibi belirlenir:

$$D = \begin{bmatrix} \frac{l_{1,1}}{q_{1,1}} & \dots & \frac{l_{1,95}}{q_{1,95}} \\ \frac{l_{2,1}}{q_{2,1}} & \dots & \frac{l_{2,95}}{q_{2,95}} \\ \frac{l_{3,1}}{q_{3,1}} & \dots & \frac{l_{3,95}}{q_{3,95}} \\ \frac{l_{4,1}}{q_{4,1}} & \dots & \frac{l_{4,95}}{q_{4,95}} \end{bmatrix}$$

Buradan başlangıç sürüsünün birinci parçacığı için D^1 matrisi şöyle elde edilir:

$$D^1$$

$$= 176$$

$$* \begin{bmatrix} \frac{84,318}{1159,266} & \frac{85,461}{1243,599} & \frac{202,425}{474,945} & \dots & \frac{NaN}{515,895} & \frac{NaN}{882,782} & \frac{NaN}{608,604} \\ \frac{NaN}{293,296} & \frac{17,267}{273,028} & \frac{18,365}{529,557} & \dots & \frac{85,775}{261,308} & \frac{NaN}{493,782} & \frac{NaN}{330,522} \\ \frac{NaN}{661,598} & \frac{NaN}{777,231} & \frac{66,118}{905,762} & \dots & \frac{221,698}{663,941} & \frac{189,579}{1234,793} & \frac{NaN}{1003,463} \\ \frac{NaN}{129,147} & \frac{NaN}{125,011} & \frac{NaN}{117,170} & \dots & \frac{22,491}{113,282} & \frac{28,175}{89,096} & \frac{26,953}{205,998} \end{bmatrix}$$

Yukarıdaki eşitlikte görülen 176 ifadesi bir aydaki toplam çalışma saatini göstermektedir. Burada normal mesai olarak bir ayda 22 gün, bir günde de 8 saat çalışma yapıldığı varsayılmıştır. Dolayısıyla D matrisindeki değerler saat cinsindedir. NaN ifadeleri ise orada bir değer olmadığını gösterir. Bu sebeple NaN bulunan kesirlerin bu amaç fonksiyonu hesabına bir etkisi olmaz. Buradan D^1 matrisi aşağıdaki gibi hesaplanır. D^1 matrisinin tamamı ekte Çizelge A.7'de verilmiştir.

$$D^1 = \begin{bmatrix} 12,80 & 12,09 & 75,01 & \dots & - & - & - \\ - & 11,13 & 6,10 & \dots & 57,77 & - & - \\ - & - & 12,85 & \dots & 58,77 & 27,02 & - \\ - & - & - & \dots & 34,94 & 55,66 & 23,03 \end{bmatrix} \text{ [saat]}$$

Birinci amaç fonksiyonunda görülen d_z^k yani birinci parçacık için d_z^1 , D^1 matrisinin sütunlarını ifade etmektedir. Buradan örneğin:

$$d_1^1 = \begin{bmatrix} 12,80 \\ - \\ - \\ - \end{bmatrix}; d_2^1 = \begin{bmatrix} 12,09 \\ 11,13 \\ - \\ - \end{bmatrix}; d_3^1 = \begin{bmatrix} 75,01 \\ 6,10 \\ 12,85 \\ - \end{bmatrix}; \dots; d_{93}^1 = \begin{bmatrix} - \\ 57,77 \\ 58,77 \\ 34,94 \end{bmatrix}; d_{94}^1 = \begin{bmatrix} - \\ - \\ 27,02 \\ 55,66 \end{bmatrix};$$

$$d_{95}^1 = \begin{bmatrix} - \\ - \\ - \\ 23,03 \end{bmatrix}$$

olarak belirlenir. Dolayısıyla amaç fonksiyonun terimleri $std(d_1^1) = 0$; $std(d_2^1) = 0,682$; $std(d_3^1) = 37,988$; ... ; $std(d_{93}^1) = 13,477$; $std(d_{94}^1) = 20,248$; $std(d_{95}^1) = 0$ şeklinde hesaplanır. Buradan $o_1 = \sum_{z=1}^{95} std(d_z^1) = 1534,71$ olarak bulunur.

İkinci amaç fonksiyonu hesabı:

$$o_2 = std(CTwp^k), k = 1, \dots, 30$$

Burada ise iş paketlerinin tamamlanma süreleri üzerinden bir fonksiyon tanımlanmıştır. $CTwp^1$ birinci parçacığa göre iş paketleri tamamlanma sürelerini gösteren vektör olmak üzere, 21 adet iş paketi olduğundan $CTwp^1 = [ctwp_1^1 \dots ctwp_{21}^1]$ şeklindedir. $CTwp^k$ vektörünü tespit edebilmek için Dwp_j^k matrisin hesaplanması gereklidir. $np_1 = 6$ olduğundan birinci parçacıktaki birinci iş paketi için bu matris aşağıdaki gibidir:

$$Dwp_1^1 = \begin{bmatrix} 12,80 & 12,09 & 75,01 & 43,28 & 23,37 & 10,67 \\ - & 11,13 & 6,10 & 60,09 & 38,25 & 9,92 \\ - & - & 12,85 & 11,69 & 56,17 & 23,32 \\ - & - & - & 17,11 & 20,84 & 25,80 \end{bmatrix} \text{ [saat]}$$

Buradan $ctwp_1^1 = \sum_{v=1}^6 \max(dwv_1^1) = 12,80 + 12,09 + 75,01 + 60,09 + 56,17 + 25,80 = 241,96$ [saat] olarak bulunur. Diğer iş paketlerinin tamamlanma süreleri de benzer şekilde hesaplanarak $CTwp^1$ vektörü aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$CTwp^1 = [241,97 \ 236,13 \ 275,48 \ 180,45 \ 196,58 \ 220,42 \ 194,32 \ 258,25 \ 208,64 \ 222,41 \ 182,00 \ 204,13 \ 217,66 \ 203,40 \ 172,13 \ 205,81 \ 260,38 \ 198,78 \ 221,91 \ 221,03 \ 269,02]$$

Buradan da $o_2 = std(CTwp^1) = 29,25$ olarak bulunur.

Üçüncü amaç fonksiyonu hesabı:

$$o_3 = \max(q_{1,z}^k - \min(q_1^k)) + \max(q_{2,z}^k - \min(q_2^k)) + \max(q_{3,z}^k - \min(q_3^k)) + \max(q_{4,z}^k - \min(q_4^k)), k = 1, \dots, 30$$

Bu fonksiyonda Q^k matrisinin satırları üzerinden işlem yapılmaktadır. Birinci parçacık için Q^1 matrisi yukarıda verilmişti. Bu matristen:

$$q_1^1 = [1159,266 \ 1243,599 \ 474,945 \ \dots \ 515,895 \ 882,782 \ 608,604] \text{ [ton/ay]}$$

$$q_2^1 = [293,296 \ 273,028 \ 529,557 \ \dots \ 261,308 \ 493,782 \ 330,522] \text{ [ton/ay]}$$

$$q_3^1 = [661,598 \ 777,231 \ 905,762 \ \dots \ 663,941 \ 1234,793 \ 1003,463] \text{ [ton/ay]}$$

$$q_4^1 = [129,147 \ 125,011 \ 117,17 \ \dots \ 113,282 \ 89,096 \ 205,998] \text{ [ton/ay]}$$

vektörleri tespit edilir. Buradan $\min(q_1^1) = 466,701$; $\min(q_2^1) = 176,574$; $\min(q_3^1) = 442,746$; $\min(q_4^1) = 60,964$ olarak belirlenir.

Ayrıca:

$$q_{1,1}^1 - \min(q_1^1) = 1159,266 - 466,701 = 692,565$$

$$q_{1,2}^1 - \min(q_1^1) = 1243,599 - 466,701 = 776,898$$

$$q_{1,3}^1 - \min(q_1^1) = 474,945 - 466,701 = 8,244$$

...

şeklinde tüm farklar hesaplanır ve bunların en büyükleri toplanır. Dolayısıyla üçüncü amaç fonksiyonu $o_3 = 983,410 + 355,052 + 792,048 + 168,897 = 2299,407$ olarak bulunur. İş miktarı matrisinde baş ve sonda NaN ile gösterilen hücreler bulunmaktaydı. Bu hücreler herhangi bir alt işe karşılık gelmediğinden hesaplamalarda dikkate alınmazlar. Ancak Q^k matrisi rastgele oluşturulurken bu hücreler için de değerler üretilmektedir. Diğer amaç fonksiyonları hesapları işlem süresi üzerinden yapıldığından bu hücreler doğrudan hesapların dışında tutulabilmektedir. Sadece üçüncü amaç fonksiyonunda her satırın standart sapması hesaplanırken bu hücreler için atanmış değerler de hesaba dâhil edilmektedir. Dolayısıyla bu hücrelerin hesaplamalara etkisi ihmal edilmiştir.

Dördüncü amaç fonksiyonu hesabı:

$$o_4 = [|ctwp_1^k - ctwp_1^{ideal}| \quad \dots \quad |ctwp_{21}^k - ctwp_{21}^{ideal}|], k = 1, \dots, 30$$

İkinci amaç fonksiyonunda $ctwp_j^k$ değerlerinin nasıl hesaplanacağı açıklanmıştı. Burada ise her bir iş paketinin tamamlanma süresi ile iş paketi ideal tamamlanma süresi arasındaki mutlak farklar bir satır vektör olarak tanımlanmıştır. Örneğin $ctwp_1^1 = 241,96$ saat olarak hesaplanmıştı. Ayrıca bir iş paketinin bir ayda tamamlanması gerektiği belirtilmiş ve bir aylık çalışma süresinin de $22 \left[\frac{gün}{ay} \right] * 8 \left[\frac{saat}{gün} \right] = 176 \left[\frac{saat}{ay} \right]$ olduğu ifade edilmişti. Dolayısıyla başlangıç sürüsünün birinci parçasığı için o_4 vektörünün ilk elemanı $|ctwp_1^1 - ctwp_1^{ideal}| = |241,96 - 176| = 65,96$ olarak belirlenir. Benzer şekilde tüm iş paketleri için bu mutlak farklar aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$|ctwp_2^1 - ctwp_2^{ideal}| = |236,13 - 176| = 60,13$$

$$|ctwp_3^1 - ctwp_3^{ideal}| = |275,48 - 176| = 99,48$$

...

Dolayısıyla:

$o_4 = [65,97 \ 60,13 \ 99,48 \ 4,45 \ 20,58 \ 44,42 \ 18,32 \ 82,25 \ 32,64 \ 46,41$
 $6,00 \ 28,13 \ 41,66 \ 27,40 \ 3,87 \ 29,81 \ 84,38 \ 22,78 \ 45,91 \ 45,03 \ 93,02]$
olarak tespit edilir.

Beşinci amaç fonksiyonu hesabı:

$$o_5 = \left| \sum_{z=1}^{95} \max(d_z^k) - CT^{ideal} \right|, k = 1, \dots, 30$$

Bu amaç fonksiyonunda tüm zaman dilimlerinin toplamı yani projenin hesaplanan tamamlanma süresi ile ideal toplam tamamlanma süresi arasındaki mutlak fark kullanılmıştır. Fonksiyondaki d_z^k vektörlerinin nasıl belirleneceği o_1 fonksiyonu anlatılırken açıklanmıştı. Burada bu sütun vektörlerin maksimum değerleri yani zaman dilimi uzunlukları kullanılmıştır. Yani:

$$d_1^1 = \begin{bmatrix} 12,80 \\ - \\ - \\ - \end{bmatrix} \Rightarrow \max(d_1^1) = 12,80; d_2^1 = \begin{bmatrix} 12,09 \\ 11,13 \\ - \\ - \end{bmatrix} \Rightarrow \max(d_2^1) = 12,09;$$

$$d_3^1 = \begin{bmatrix} 75,01 \\ 6,10 \\ 12,85 \\ - \end{bmatrix} \Rightarrow \max(d_3^1) = 75,01; \dots d_{93}^1 = \begin{bmatrix} - \\ 57,77 \\ 58,77 \\ 34,94 \end{bmatrix} \Rightarrow \max(d_4^1) = 58,77;$$

$$d_{94}^1 = \begin{bmatrix} - \\ - \\ 27,02 \\ 55,66 \end{bmatrix} \Rightarrow \max(d_{94}^1) = 55,66; d_{95}^1 = \begin{bmatrix} - \\ - \\ - \\ 23,03 \end{bmatrix} \Rightarrow \max(d_{95}^1) = 23,03$$

Dikkat edilirse buradaki süre değerleri de saat birimindedir. Toplam ideal tamamlanma süresi ise $176 \left[\frac{saat}{ay} \right] * 21[ay] = 3696[saat]$ olarak hesaplanır. Buradan $o_5 = |(12,80 + 12,09 + 75,01 + \dots + 58,77 + 55,66 + 23,03) - 3696| = |4590,90 - 3696| = 894,90$ olarak bulunur.

Yukarıda yapılan hesaplamalar neticesinde birinci iterasyonda birinci parçacık için $O(Q^k(it))$ vektörü aşağıdaki gibi belirlenir:

$$O(Q^1(1)) = [o_1 \ o_2 \ o_3 \ o_4 \ o_5]$$

$$= [1534,71 \ 29,25 \ 2299,41 \ 65,97 \ 60,13 \ 99,48 \ 4,45 \ 20,58 \ 44,42 \ 18,32 \ 82,25 \ 32,64$$

$$46,41 \ 6,00 \ 28,13 \ 41,66 \ 27,40 \ 3,87 \ 29,81 \ 84,38 \ 22,78 \ 45,91 \ 45,03 \ 93,02 \ 894,90]$$

Bundan sonra $O(Q^1(1))$ ve O^{ideal} vektörleri kullanılarak birinci parçacığın ilk iterasyondaki amaç fonksiyonu değeri hesaplanabilir.

Buna göre:

$$OBJ(Q^1(1)) = \sqrt{\sum (O(Q^1(1)) - O^{ideal})^2}$$

$$OBJ(Q^1(1))$$

$$= \sqrt{(1534,71 - 0)^2 + (29,25 - 0)^2 + (2299,41 - 0)^2 + \dots + (894,90 - 0)^2}$$

$$= 2915,40$$

şeklinde hesaplanır.

Başlangıç değerleri olarak $OBJ(Q^{1,best}) = \infty$ ve $OBJ(QS^{best}) = \infty$ alındığından yukarıda bulunan $OBJ(Q^1(1))$ şimdilik doğrudan parçacık ve sürü en iyisi olarak atanır. Dolayısıyla aramanın bu anında $OBJ(Q^{1,best}) = 2915,40$ ve $OBJ(QS^{best}) = 2915,40$; olarak değiştirilir. Aynı şekilde $Q^{1,best} = Q^1(1)$; $QS^{best} = Q^1(1)$; $O^{best} = O(Q^1(1))$ olur.

Daha sonra algoritma gereği birinci iterasyon için yukarıda örneği verilen şekilde bütün parçacıkların amaç fonksiyonları hesaplanır. Birinci iterasyonda her parçacık için $OBJ(Q^{k,best})$ hesaplanan yeni değerleri alırken $OBJ(QS^{best})$ ve QS^{best} için ise bunların arasından en iyisi atanır.

Örneğin belirtilen aralıkta rastgele üretilen ikinci parçacık için $OBJ(Q^2(1)) = 2781,00$ bulunmuştur. Bu durumda $OBJ(Q^{2,best}) = 2781,00$ ve $Q^{2,best} = Q^2(1)$ olur. Ayrıca $OBJ(Q^2(1)) < OBJ(QS^{best})$ olduğundan $OBJ(QS^{best}) = 2781,00$; $QS^{best} = Q^2(1)$; $O^{best} = O(Q^2(1))$ olarak güncellenir. Üçüncü parçacık için ise $OBJ(Q^3(1)) = 2981,01$ bulunmuştur. Bu durumda $OBJ(Q^{3,best}) = 2981,01$ ve $Q^{3,best} = Q^3(1)$ olur. Ancak $OBJ(Q^3(1)) > OBJ(QS^{best})$ olduğundan $OBJ(QS^{best}) = 2781,00$; $QS^{best} = Q^2(1)$; $O^{best} = O(Q^2(1))$ olarak kalır.

Tüm parçacıklar için birinci iterasyon tamamlandıktan sonra parçacıkların yeni konumları yani komşu çözümler hesaplanır. Aşağıda birinci parçacığın yeni konumunun hesabı örnek olarak anlatılmıştır. Öncelikle parçacıkların hız matrisleri hesaplanmalıdır:

$$V^k(it + 1) = w(it) * V^k(it) + c_1 * R_1 * (Q^{k,best} - Q^k(it)) + c_2 * R_2 * (QS^{best} - Q^k(it)), \quad \forall k, \quad it = 1, \dots, it^{max}$$

Hız denklemindeki w ve c_1 iterasyonlar boyunca azalarak değişmektedir. Bu çalışmada $w^{max} = 0,8; w^{min} = 0,2; c_1^{max} = 2; c_1^{min} = 1; c_2 = 2$ alınmıştır. Dolayısıyla $it = 1$ için w ve c_1 aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$w(1) = 0,8 - 1 * \frac{0,8 - 0,2}{50000} = 0,799988$$

$$c_1(1) = 2 - 1 * \frac{2 - 1}{50000} = 1,99998$$

$V^k(1)$, başlangıç hızına denk gelmektedir ve daha önceden bahsedildiği gibi sıfırlardan oluşan bir matristir. R_1 ve R_2 rastgele olarak aşağıdaki gibi üretilmiş olsun. R_1 ve R_2 matrislerinin tamamı ekte Çizelge A.8 ve Çizelge A.9'da verilmiştir.

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0,036 & 0,648 & 0,744 & \dots & 0,370 & 0,421 & 0,880 \\ 0,654 & 0,555 & 0,454 & \dots & 0,690 & 0,417 & 0,171 \\ 0,802 & 0,525 & 0,626 & \dots & 0,554 & 0,837 & 0,826 \\ 0,864 & 0,908 & 0,346 & \dots & 0,152 & 0,100 & 0,879 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0,603 & 0,867 & 0,903 & \dots & 0,443 & 0,380 & 0,194 \\ 0,815 & 0,969 & 0,281 & \dots & 0,390 & 0,339 & 0,583 \\ 0,093 & 0,978 & 0,440 & \dots & 0,769 & 0,582 & 0,819 \\ 0,416 & 0,091 & 0,691 & \dots & 0,768 & 0,234 & 0,264 \end{bmatrix}$$

Henüz birinci parçacığın ilk iterasyonu tamamlandığından $Q^{1,best} = Q^1(1)$ 'dir. O andaki QS^{best} ise aşağıdaki gibi belirlenmiştir. O andaki QS^{best} matrisinin tamamı ekte Çizelge A.10'da verilmiştir.

$$QS^{best} = \begin{bmatrix} 561,877 & 1319,833 & 627,486 & \dots & 1068,458 & 1059,727 & 1172,635 \\ 382,389 & 388,700 & 421,854 & \dots & 395,510 & 233,385 & 327,845 \\ 892,150 & 693,591 & 620,033 & \dots & 1188,137 & 861,677 & 768,374 \\ 114,438 & 87,968 & 157,156 & \dots & 204,457 & 181,670 & 108,111 \end{bmatrix}$$

Bu bilgiler doğrultusunda parçacıkların ikinci iterasyondaki yeni konumlarını, yani komşu çözümleri, bulmak için kullanılacak hız matrisi şöyle hesaplanır:

$$V^1(2) = w(1) * V^1(1) + c_1 * R_1 * (Q^{1,best} - Q^1(1)) + c_2 * R_2 * (QS^{best} - Q^1(1))$$

$$= 0,799988 * \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{4 \times 95} + 1,99998$$

$$* \begin{bmatrix} 0,036 & 0,648 & 0,744 & \dots & 0,370 & 0,421 & 0,880 \\ 0,654 & 0,555 & 0,454 & \dots & 0,690 & 0,417 & 0,171 \\ 0,802 & 0,525 & 0,626 & \dots & 0,554 & 0,837 & 0,826 \\ 0,864 & 0,908 & 0,346 & \dots & 0,152 & 0,100 & 0,879 \end{bmatrix} * 0 + 2$$

$$* \begin{bmatrix} 0,603 & 0,867 & 0,903 & \dots & 0,443 & 0,380 & 0,194 \\ 0,815 & 0,969 & 0,281 & \dots & 0,390 & 0,339 & 0,583 \\ 0,093 & 0,978 & 0,440 & \dots & 0,769 & 0,582 & 0,819 \\ 0,416 & 0,091 & 0,691 & \dots & 0,768 & 0,234 & 0,264 \end{bmatrix}$$

$$* \begin{pmatrix} \begin{bmatrix} 561,877 & 1319,833 & 627,486 & \dots & 1068,458 & 1059,727 & 1172,635 \\ 382,389 & 388,700 & 421,854 & \dots & 395,510 & 233,385 & 327,845 \\ 892,150 & 693,591 & 620,033 & \dots & 1188,137 & 861,677 & 768,374 \\ 114,438 & 87,968 & 157,156 & \dots & 204,457 & 181,670 & 108,111 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 1159,266 & 1243,599 & 474,945 & \dots & 515,895 & 882,782 & 608,604 \\ 293,296 & 273,028 & 529,557 & \dots & 261,308 & 493,782 & 330,522 \\ 661,598 & 777,231 & 905,762 & \dots & 663,941 & 1234,793 & 1003,463 \\ 129,147 & 125,011 & 117,170 & \dots & 113,282 & 89,096 & 205,998 \end{bmatrix} \end{pmatrix}$$

$$- \begin{bmatrix} 1159,266 & 1243,599 & 474,945 & \dots & 515,895 & 882,782 & 608,604 \\ 293,296 & 273,028 & 529,557 & \dots & 261,308 & 493,782 & 330,522 \\ 661,598 & 777,231 & 905,762 & \dots & 663,941 & 1234,793 & 1003,463 \\ 129,147 & 125,011 & 117,170 & \dots & 113,282 & 89,096 & 205,998 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -719,895 & 132,229 & 275,533 & \dots & 489,804 & 134,493 & 219,019 \\ 145,218 & 224,230 & -60,459 & \dots & 104,657 & -176,657 & -3,123 \\ 43,036 & -163,555 & -251,531 & \dots & 806,408 & -434,547 & -384,867 \\ -12,245 & -6,713 & 55,226 & \dots & 139,956 & 43,385 & -51,668 \end{bmatrix}$$

Yukarıdaki işlemde matrisler eleman elemana çarpılmışlardır. Hesaplanan $V^1(2)$ matrisinin tamamı ekte Çizelge A.11'de verilmiştir. Hız matrisinin elemanları iterasyonlar boyunca değişen bir aralıkla sınırlandırılmıştır. $UB = [1451,687 \ 540,841 \ 1251,289 \ 233,721]^T$ ve $LB = [466,405 \ 169,977 \ 413,583 \ 59,245]^T$ olduğundan $ub_1 = 1451,687$; $ub_2 = 540,841$; $ub_3 = 1251,289$; $ub_4 = 233,721$; $lb_1 = 466,405$; $lb_2 = 169,977$; $lb_3 = 413,583$; $lb_4 = 59,245$ olarak tespit edilir. Maksimum ve minimum hız değerlerinin iterasyonlar boyunca değişmesini sağlayan a_1 ve a_2 katsayıları için $a_1^{max} = 10^{-1}$, $a_1^{min} = 10^{-2}$, $a_2^{max} = 10^{-4}$, $a_2^{min} = 10^{-5}$ alınmıştır. Buradan:

$$a_1(1) = 0,1 - 1 * \frac{0,1 - 0,01}{50000} = 0,0999982$$

$$a_2(1) = 0,0001 - 1 * \frac{0,0001 - 0,00001}{50000} = 0,0999982 \times 10^{-3}$$

olarak bulunur. Buna göre birinci iterasyon için hızı sınırlandıran aralık aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$v_{1,z}^{max}(1) = a_1(1) * (ub_1 - lb_1) = 0,0999982 * (1451,687 - 466,405) \\ = 98,5265$$

$$v_{2,z}^{max}(1) = a_1(1) * (ub_2 - lb_2) = 0,0999982 * (540,841 - 169,977) = 37,0857$$

$$v_{3,z}^{max}(1) = a_1(1) * (ub_3 - lb_3) = 83,7691$$

$$v_{4,z}^{max}(1) = a_1(1) * (ub_4 - lb_4) = 17,4473$$

$$v_{1,z}^{min}(1) = -v_{1,z}^{max}(1) = -98,5265$$

$$v_{2,z}^{min}(1) = -v_{2,z}^{max}(1) = -37,0857$$

$$v_{3,z}^{min}(1) = -v_{3,z}^{max}(1) = -83,7691$$

$$v_{4,z}^{min}(1) = -v_{4,z}^{max}(1) = -17,4473$$

$$v_{1,z}^{maxmin}(1) = a_2(1) * v_{1,z}^{max}(1) = 0,0999982 * 10^{-3} * 98,5265 = 0,0099$$

$$v_{2,z}^{maxmin}(1) = a_2(1) * v_{2,z}^{max}(1) = 0,0999982 * 10^{-3} * 37,0857 = 0,0037$$

$$v_{3,z}^{maxmin}(1) = a_2(1) * v_{3,z}^{max}(1) = 0,0084$$

$$v_{4,z}^{maxmin}(1) = a_2(1) * v_{4,z}^{max}(1) = 0,0017$$

$$v_{1,z}^{minmax}(1) = -v_{1,z}^{maxmin}(1) = -0,0099$$

$$v_{2,z}^{minmax}(1) = -v_{2,z}^{maxmin}(1) = -0,0037$$

$$v_{3,z}^{minmax}(1) = -v_{3,z}^{maxmin}(1) = -0,0084$$

$$v_{4,z}^{minmax}(1) = -v_{4,z}^{maxmin}(1) = -0,0017$$

Dolayısıyla V^{max} , V^{min} , V^{maxmin} ve V^{minmax} matrisleri aşağıdaki gibi belirlenir:

$$V^{max} = \begin{bmatrix} 98,5265 & \dots & 98,5265 \\ 37,0857 & \dots & 37,0857 \\ 83,7691 & \dots & 83,7691 \\ 17,4473 & \dots & 17,4473 \end{bmatrix}_{4 \times 95} ; V^{min} = \begin{bmatrix} -98,5265 & \dots & -98,5265 \\ -37,0857 & \dots & -37,0857 \\ -83,7691 & \dots & -83,7691 \\ -17,4473 & \dots & -17,4473 \end{bmatrix}_{4 \times 95}$$

$$V^{maxmin} = \begin{bmatrix} 0,0099 & \dots & 0,0099 \\ 0,0037 & \dots & 0,0037 \\ 0,0084 & \dots & 0,0084 \\ 0,0017 & \dots & 0,0017 \end{bmatrix}_{4 \times 95} ; V^{minmax} =$$

$$\begin{bmatrix} -0,0099 & \dots & -0,0099 \\ -0,0037 & \dots & -0,0037 \\ -0,0084 & \dots & -0,0084 \\ -0,0017 & \dots & -0,0017 \end{bmatrix}_{4 \times 95}$$

Daha önce hesaplanan $V^1(2)$ matrisinde V^{max} , V^{min} , V^{maxmin} ve V^{minmax} 'ı ihlal eden değerler tespit edilip bu sınırları aşanlar alt ve üst bandı arasında rasgele bir değer ile güncellenir. Örneğin hız matrisinin ilk sütunu

$[-719,895 \ 145,218 \ 43,036 \ -12,245]^T$ şeklindedir. Buradaki değerlerden $-719,895$ ve $145,218$ tanımlanmış sınırları aşmaktadır. Bu sebeple bunların yeni değerleri şöyle hesaplanır: $-719,895$, $v_{y,z}^k < v_{y,z}^{min}$ şartına uyduğundan bunun yeni değeri $v_{1,1}^{min} - (v_{1,1}^{min} - v_{1,1}^{minmax}) \times R_4 = -98,5265 - (-98,5265 - (-0,0099)) \times 0,6544 = -34,056$ olarak hesaplanır. $145,218$ ise $v_{y,z}^k > v_{y,z}^{max}$ şartına uyduğundan bunun yeni değeri $v_{2,1}^{max} - (v_{2,1}^{max} - v_{2,1}^{maxmin}) \times R_3 = 37,0857 - (37,0857 - 0,0037) \times 0,5327 = 17,331$ olarak bulunur. Buna göre yeniden düzenlenmiş $V^1(2)$ matrisinin bir bölümü aşağıda görülmektedir. Bu matrisin tamamı ekte Çizelge A.12'de verilmiştir.

$$V^1(2) = \begin{bmatrix} -34,056 & 46,044 & 46,044 & \dots & 46,044 & 46,044 & 46,044 \\ 17,331 & 17,331 & -12,819 & \dots & 17,331 & -12,819 & -3,123 \\ 43,036 & -28,955 & -28,955 & \dots & 39,148 & -28,955 & -28,955 \\ -12,245 & -6,713 & 8,154 & \dots & 8,154 & 8,154 & -6,031 \end{bmatrix}$$

Daha sonra parçacıkların yeni konumları hesaplanır. Örneğin birinci parçacığın yeni konumu şöyle hesaplanır:

$$\begin{aligned} Q^1(2) &= Q^1(1) + V^1(2) \\ &= \begin{bmatrix} 1159,266 & 1243,599 & 474,945 & \dots & 515,895 & 882,782 & 608,604 \\ 293,296 & 273,028 & 529,557 & \dots & 261,308 & 493,782 & 330,522 \\ 661,598 & 777,231 & 905,762 & \dots & 663,941 & 1234,793 & 1003,463 \\ 129,147 & 125,011 & 117,170 & \dots & 113,282 & 89,096 & 205,998 \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} -34,056 & 46,044 & 46,044 & \dots & 46,044 & 46,044 & 46,044 \\ 17,331 & 17,331 & -12,819 & \dots & 17,331 & -12,819 & -3,123 \\ 43,036 & -28,955 & -28,955 & \dots & 39,148 & -28,955 & -28,955 \\ -12,245 & -6,713 & 8,154 & \dots & 8,154 & 8,154 & -6,031 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1125,210 & 1289,644 & 520,989 & \dots & 561,939 & 928,826 & 654,648 \\ 310,627 & 290,359 & 516,738 & \dots & 278,639 & 480,964 & 327,399 \\ 704,634 & 748,276 & 876,806 & \dots & 703,089 & 1205,838 & 974,507 \\ 116,902 & 118,298 & 125,324 & \dots & 121,436 & 97,250 & 199,967 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Birinci parçacığın yeni konumuna ilişkin tüm değerler ekte Çizelge A.13'te verilmiştir.

Yukarıda anlatılanlar doğrultusunda iterasyonlar boyunca tüm parçacıklar için amaç değerleri hesaplanıp parçacık ve sürü için en iyi değerler hafızada tutularak maksimum iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar durulur. Bu çalışmada 30 parçacıkla 50000 iterasyon yapılmıştır. Koşum sonucunda elde edilen değerler aşağıda görülmektedir. QS^{best} matrisinin tamamı ekte Çizelge A.14'te verilmiştir.

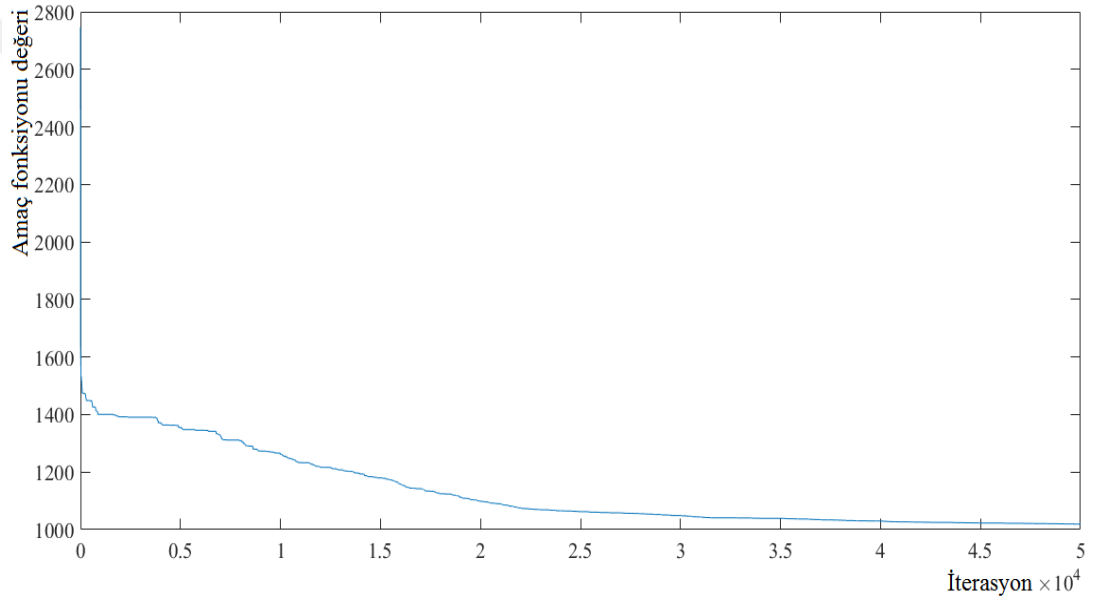
$$QS^{best} = \begin{bmatrix} 1009,105 & 1021,919 & 1024,800 & \dots & - & - & - \\ - & 323,267 & 323,711 & \dots & 376,042 & - & - \\ - & - & 850,583 & \dots & 869,806 & 848,913 & - \\ - & - & - & \dots & 114,571 & 126,210 & 114,684 \end{bmatrix} \text{ [ton/ay]}$$

$$OBJ(QS^{best}) = 1019,021$$

$$O^{best}$$

$$= [955,17 \ 17,34 \ 207,10 \ 4,84 \ 11,80 \ 4,34 \ 35,53 \ 13,13 \ 23,69 \ 31,83 \ 2,61 \ 42,18 \ 15,08 \ 10,14 \ 17,87 \ 19,11 \ 1,38 \ 25,98 \ 13,68 \ 25,70 \ 9,03 \ 17,12 \ 5,71 \ 39,82 \ 270,84]$$

Koşum sırasında elde edilen en iyi parçacıklara göre hesaplanan amaç fonksiyonu değişimini gösteren yakınsama grafiği ise Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : PSO algoritmasında amaç fonksiyonunun yakınsama grafiği.

4.2.4 Nihai plan yapılandırma uygulaması

Bu aşamada optimizasyondan elde edilen sonuçlara uzman bilgisi ile son hali verilmiştir. Bu bölümde normal mesai 8 saat çalışma olarak kabul edilmiştir. Ayrıca günde en fazla 3 saat fazla mesai yapıldığı ve ekstra mesai yapılmadığı düşünülmüştür. Bunun yanı sıra fazla mesai performansının normal mesaiye göre %35 daha az olduğu kabul edilmiştir. İş paketi tamamlanma süreleri, ideal iş paketi tamamlanma süresine eşitlenmesi gerektiğinden burada iş paketi esaslı hesaplamalar yapılmıştır.

Bu aşamanın ilk adımında öncelikle her iş paketinin iş merkezleri bazında sahip olduğu iş miktarını ifade eden Lwp_j matrisleri tespit edilmiştir. Örneğin nihai iş paketleri yapılandırmasında elde edildiği üzere 1. iş paketi için $np_1 = 6$ olduğundan bu matris

aşağıdaki gibidir. Tüm iş paketlerine ilişkin Lwp_j matrisleri ekte Çizelge A.15'te verilmiştir.

$$Lwp_1 = \begin{bmatrix} lwp_{1,1} & \dots & lwp_{1,6} \\ lwp_{2,1} & \dots & lwp_{2,6} \\ lwp_{3,1} & \dots & lwp_{3,6} \\ lwp_{4,1} & \dots & lwp_{4,6} \end{bmatrix}$$

$$lwp_{1,1} = l_{1,1} = 84,318; lwp_{1,6} = l_{1,6} = 75,145; lwp_{4,6} = l_{4,6} = 22,825; \dots$$

Buradan,

$$Lwp_1 = \begin{bmatrix} 84,318 & 85,461 & 202,425 & 175,415 & 74,14 & 75,145 \\ NaN & 17,267 & 18,365 & 91,69 & 69,487 & 15,183 \\ NaN & NaN & 66,118 & 67,241 & 179,6 & 153,58 \\ NaN & NaN & NaN & 18,2 & 18,22 & 22,825 \end{bmatrix} \text{ [ton]}$$

olarak elde edilir.

Çözüm modelinde anlatıldığı üzere burada her iş merkezinin normal mesai kapasitesi olarak PSO algoritmasından elde edilen minimum kapasiteler seçilmiştir. Yukarıdakine benzer şekilde iş paketlerinin kapasite matrisleri de tespit edilir. Birinci iş paketi için bu matris şu şekildedir:

$$Qwp_1^{new,ns} = \begin{bmatrix} 45,826 & 45,826 & 45,826 & 45,826 & 45,826 & 45,826 \\ NaN & 14,685 & 14,685 & 14,685 & 14,685 & 14,685 \\ NaN & NaN & 38,553 & 38,553 & 38,553 & 38,553 \\ NaN & NaN & NaN & 5,208 & 5,208 & 5,208 \end{bmatrix} \text{ [ton/gün]}$$

Bir önceki aşamada hesaplanan kapasite değerleri [ton/ay] birimindedir. Buradaki değerler ise [ton/gün] biriminde hesaplanmıştır. Bu amaçla PSO neticesinde elde edilen QS^{best} matrisindeki her satırın minimum değeri belirlenip bir aydaki çalışma gün sayısı olarak kabul edilen 22'ye bölünmüştür:

$$qwp_{1,v}^{new,ns} = \frac{1008,176}{22} = 45,826; \quad qwp_{2,v}^{new,ns} = \frac{323,078}{22} = 14,685;$$

$$qwp_{3,v}^{new,ns} = \frac{848,157}{22} = 38,553; \quad qwp_{4,v}^{new,ns} = \frac{114,571}{22} = 5,208$$

Kapasite matrisleri tüm iş paketleri için aynı değerlerden oluşmaktadır. Matrislerin tek farkı iş paketlerinin sahip olduğu sütun sayısıdır. Yani ikinci iş paketi için bu matris şu şekildedir:

$$Qwp_2^{new,ns} = \begin{bmatrix} 45,826 & 45,826 & 45,826 & 45,826 & 45,826 \\ 14,685 & 14,685 & 14,685 & 14,685 & 14,685 \\ 38,553 & 38,553 & 38,553 & 38,553 & 38,553 \\ 5,208 & 5,208 & 5,208 & 5,208 & 5,208 \end{bmatrix} \text{ [ton/gün]}$$

Normal mesai kapasitesinden yola çıkarak imalat yerlerinin fazla mesai kapasiteleri de hesaplanır:

$$qwp_{1,v}^{new,os} = 3 \times (45,826/8) \times 0,65 = 11,170; \quad qwp_{2,v}^{new,os} = 3 \times (14,685/8) \times 0,65 = 3,580; \quad qwp_{3,v}^{new,os} = 3 \times (38,553/8) \times 0,65 = 9,397; \quad qwp_{4,v}^{new,os} = 3 \times (5,208/8) \times 0,65 = 1,269$$

Normal mesai kapasite matrisine benzer şekilde fazla mesai kapasite matrisleri belirlenir. Birinci iş paketi için bu matris şu şekildedir:

$$Qwp_1^{new,os} = \begin{bmatrix} 11,17 & 11,17 & 11,17 & 11,17 & 11,17 & 11,17 \\ - & 3,58 & 3,58 & 3,58 & 3,58 & 3,58 \\ - & - & 9,397 & 9,397 & 9,397 & 9,397 \\ - & - & - & 1,269 & 1,269 & 1,269 \end{bmatrix} \text{ [ton/gün]}$$

Fazla mesai kapasite matrisleri de tüm iş paketleri için aynı değerlerden oluşmaktadır. Yine matrislerin tek farkı iş paketlerinin sahip olduğu sütun sayısıdır. Yani ikinci iş paketi için bu matris şu şekildedir:

$$Qwp_2^{new,os} = \begin{bmatrix} 11,17 & 11,17 & 11,17 & 11,17 & 11,17 \\ 3,58 & 3,58 & 3,58 & 3,58 & 3,58 \\ 9,397 & 9,397 & 9,397 & 9,397 & 9,397 \\ 1,269 & 1,269 & 1,269 & 1,269 & 1,269 \end{bmatrix} \text{ [ton/gün]}$$

Belirlenen yeni normal mesai kapasiteleri ile yeni işlem süresi matrisleri hesaplanır. Kapasitelerin biriminden dolayı yeni işlem süreleri gün birimindedir. Örneğin birinci iş paketi için bu matris aşağıdaki gibidir. Tüm iş paketlerine ait yeni işlem süresi matrisleri ekte Çizelge A.16'da verilmiştir.

$$Dwp_1^{new} = \begin{bmatrix} 1,840 & 1,865 & 4,417 & 3,828 & 1,618 & 1,640 \\ NaN & 1,176 & 1,251 & 6,244 & 4,732 & 1,034 \\ NaN & NaN & 1,715 & 1,744 & 4,659 & 3,984 \\ NaN & NaN & NaN & 3,495 & 3,499 & 4,383 \end{bmatrix} \text{ [gün]}$$

$$dwp_{1,1}^{new} = lwp_{1,1}/qwp_{1,1}^{new,ns} = \frac{84,318}{45,826} = 1,840 \text{ [gün]}$$

Yeni işlem sürelerinin ondalık kısımları artık iş miktarlarının hesaplanmasında kullanılır. Artık işler son günde normal mesaide tamamlanamayıp fazlalık olarak kalan işlerdir. Dolayısıyla birinci iş paketi için artık iş miktarı matrisi şu şekildedir. Tüm iş paketlerine ait artık iş matrisleri ekte Çizelge A.17'de verilmiştir.

$$Lwp_1^{res} = \begin{bmatrix} 38,492 & 39,635 & 19,120 & 37,936 & 28,314 & 29,319 \\ NaN & 2,582 & 3,680 & 3,578 & 10,746 & 0,498 \\ NaN & NaN & 27,565 & 28,688 & 25,390 & 37,922 \\ NaN & NaN & NaN & 2,577 & 2,597 & 1,994 \end{bmatrix} [\text{ton}]$$

$$lwp_{1,1}^{res} = dwp_{1,1}^{new,dp} \times qwp_{1,1}^{new,ns} = 0,84 * 45,826 = 38,492$$

$dwp_{y,v}^{new,dp}$ değerleri Dwp_j^{new} matrisi elemanlarının virgülden sonraki kısımlarını ifade etmektedir. Örneğin $dwp_{1,1}^{new,dp} = 0,840$; $dwp_{1,2}^{new,dp} = 0,865$; $dwp_{1,3}^{new,dp} = 0,417$ 'dir. Artık iş miktarları da hesaplandıktan sonra bunların bir günlük fazla mesai ile tamamlanıp tamamlanamayacağı kontrol edilir. Bu amaçla artık işler ile fazla mesai kapasiteleri kıyaslanır. $lwp_{y,v}^{res} \leq qwp_{y,v}^{new,os}$ eşitsizliğinin geçerli olduğu durumlarda ilgili alt işin işlem süresi yeni işlem süresinin tam sayı kısmına eşit olarak tespit edilir. Bahsedilen eşitsizliğin geçerli olmadığı durumlarda ise artık işin işlem süresi ekstradan tam bir gün olarak kabul edilir. Dolayısıyla ilgili alt işin işlem süresi yeni işlem süresinin tam sayı kısmının bir fazlası olur. Bu prensipler doğrultusunda birinci iş paketi için tam gün olarak hesaplanan iş paketi işlem süresi matrisi aşağıdaki gibidir. Tüm iş paketlerine ait tam gün olarak hesaplanan işlem süresi matrisleri ekte Çizelge A.18'de verilmiştir.

$$Dwp_1^{day} = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 5 & 4 & 2 & 2 \\ NaN & 1 & 2 & 6 & 5 & 1 \\ NaN & NaN & 2 & 2 & 5 & 4 \\ NaN & NaN & NaN & 4 & 4 & 5 \end{bmatrix} [\text{gün}]$$

Bu aşamanın ikinci adımında Dwp_j^{day} matrislerine göre yeniden hesaplanan iş paketi tamamlanma süreleri ($ctwp_j^{new}$) ideal iş paketi tamamlanma sürelerine eşitlenmiştir. $ctwp_j^{new}$ değerleri Dwp_j^{day} matrislerinin her sütunundaki en büyük değerlerin toplanmasıyla hesaplanmaktadır. Birinci iş paketi işlem süresi matrisi:

$Dwp_1^{day} = [dwp_1^{day} \quad dwp_2^{day} \quad dwp_3^{day} \quad dwp_4^{day} \quad dwp_5^{day} \quad dwp_6^{day}]$ olarak yazılırsa:

$$dwp_1^{day} = \begin{bmatrix} 2 \\ NaN \\ NaN \\ NaN \end{bmatrix}; \quad dwp_2^{day} = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ NaN \\ NaN \end{bmatrix}; \quad dwp_3^{day} = \begin{bmatrix} 5 \\ 2 \\ 2 \\ NaN \end{bmatrix}; \quad dwp_4^{day} = \begin{bmatrix} 4 \\ 6 \\ 2 \\ 4 \end{bmatrix};$$

$$dwp_5^{day} = \begin{bmatrix} 2 \\ 5 \\ 5 \\ 4 \end{bmatrix}; \quad dwp_6^{day} = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 4 \\ 5 \end{bmatrix}$$

olur ve birinci iş paketinin tamamlanma süresi $ctwp_1^{new} = \sum_{v=1}^6 \max(dwp_v^{day}) = 2 + 2 + 5 + 6 + 5 + 5 = 25$ [gün] şeklinde hesaplanır. Benzer şekilde hesaplanan iş paketi tamamlanma süreleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : İş paketlerinin tamamlanma süreleri [gün].

İş paketi no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tamamlanma süresi [gün]	25	23	28	21	25	23	23	26	20	23	24
İş paketi no	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Tamamlanma süresi [gün]	24	23	28	22	24	23	25	23	27	31	

Bu sürelerin ideal süreye eşitlenmesi için çözüm modelinde anlatıldığı üzere kapasiteler üzerinde değişiklik yapılması gerekir. Tamamlanma süresi ideal süreden büyük ve küçük olan iş paketlerinde farklı prosedürler ile kapasite değiştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Örneğin birinci iş paketinin tamamlanma süresi 25 gün olarak hesaplanmıştır ve ideal değer olan 22 günden büyüktür. O halde tamamlanma süresinin azaltılması gerekecektir. Bunu gerçekleştirmek için öncelikle neredeki kapasitenin değiştirilmesi gerektiği tespit edilmelidir. Bu amaçla Dwp_1^{day} matrisinin her zaman dilimindeki yani her sütunundaki minimum ve maksimum değerler arasındaki farklar $DIF_{1,v} = \max(dwp_{y,v}^{day}) - \min(dwp_{y,v}^{day}) \quad \forall v, y$ eşitliği ile hesaplanır ve büyükten küçüğe doğru sıralanır. Önce farklar hesaplanırsa: $DIF_{1,1} = 2 - 2 = 0$; $DIF_{1,2} = 2 - 1 = 1$; $DIF_{1,3} = 5 - 2 = 3$; $DIF_{1,4} = 6 - 2 = 4$; $DIF_{1,5} = 5 - 2 = 3$; $DIF_{1,6} = 5 - 1 = 4$ olarak elde edilirler. Bunlar büyükten küçüğe doğru sıralandıklarında ise sütun numaraları bazında 6, 4, 5, 3, 2, 1 sıralaması elde edilir. Daha sonra farkın en büyük olduğu zaman dilimindeki en yüksek işlem süresi bir gün azaltılır. Burada hem 6 hem de 4. sütunlarda en büyük ve eşit farkların olduğu görülmektedir. Bunlardan herhangi birisinde bu azaltma işlemi yapılabilir. Değiştirilecek kapasitenin indisi (4,6) olarak tespit edilsin. Sürenin kısılması için kapasite değerinin artması gerekmektedir. Olması gereken yeni kapasite son gün 3 saat fazla mesainin katkısı da dâhil edilerek:

$$qwp_{4,6}^{fin,ns} = lwp_{4,6} / \left((8 + 0,65 \times 3) + (dwp_{4,6}^{day} - 2) \times 8 \right) \times 8 = 22,825 / \left((8 + 0,65 \times 3) + (5 - 2) \times 8 \right) \times 8 = 5,379 \text{ [ton/gün]}$$

olarak hesaplanır. Böylece ilgili işlem süresi 1 gün azaltılarak 4 gün ve iş paketinin tamamlanma süresi 24 gün olarak güncellenir. Yeni durumda birinci iş paketi için kapasite ve işlem süresi matrisleri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$Qwp_1^{fin,ns} = \begin{bmatrix} 45,826 & 45,826 & 45,826 & 45,826 & 45,826 & 45,826 \\ NaN & 14,685 & 14,685 & 14,685 & 14,685 & 14,685 \\ NaN & NaN & 38,553 & 38,553 & 38,553 & 38,553 \\ NaN & NaN & NaN & 5,208 & 5,208 & \mathbf{5,379} \end{bmatrix}$$

$$Dwp_1^{fin,day} = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 5 & 4 & 2 & 2 \\ NaN & 1 & 2 & 6 & 5 & 1 \\ NaN & NaN & 2 & 2 & 5 & 4 \\ NaN & NaN & NaN & 4 & 4 & \mathbf{4} \end{bmatrix} \text{ [gün]}$$

Henüz ideal süreye henüz erişilemediği için bu prosedür tekrar eder. Bunun için daha önce olduğu gibi $DIF_{1,v}$ değerleri hesaplanır. Yeni durumda $DIF_{1,1} = 2 - 2 = 0$; $DIF_{1,2} = 2 - 1 = 1$; $DIF_{1,3} = 5 - 2 = 3$; $DIF_{1,4} = 6 - 2 = 4$; $DIF_{1,5} = 5 - 2 = 3$; $DIF_{1,6} = 4 - 1 = 3$ olarak hesaplanır. Bunlar büyükten küçüğe doğru sıralandıklarında ise sütun numaraları bazında 4, 6, 5, 3, 2, 1 sıralaması elde edilir. Buradan değiştirilecek kapasitenin indisi (2,4) olarak bulunur. Olması gereken yeni kapasite son gündeki 3 saat fazla mesainin katkısı da dâhil edilerek:

$$qwp_{2,4}^{fin,ns} = lwp_{2,4} / \left((8 + 0,65 \times 3) + (dwp_{2,4}^{day} - 2) \times 8 \right) \times 8 =$$

$$91,690 / \left((8 + 0,65 \times 3) + (6 - 2) \times 8 \right) \times 8 = 17,486 \text{ [ton/gün]}$$

olarak hesaplanır. Böylece ilgili işlem süresi 1 gün azaltılarak 5 gün ve iş paketinin tamamlanma süresi 23 gün olarak güncellenir. Yeni durumda birinci iş paketi için kapasite ve işlem süresi matrisleri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$Qwp_1^{fin,ns} = \begin{bmatrix} 45,826 & 45,826 & 45,826 & 45,826 & 45,826 & 45,826 \\ NaN & 14,685 & 14,685 & \mathbf{17,486} & 14,685 & 14,685 \\ NaN & NaN & 38,553 & 38,553 & 38,553 & 38,553 \\ NaN & NaN & NaN & 5,208 & 5,208 & \mathbf{5,379} \end{bmatrix}$$

$$Dwp_1^{fin,day} = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 5 & 4 & 2 & 2 \\ NaN & 1 & 2 & \mathbf{5} & 5 & 1 \\ NaN & NaN & 2 & 2 & 5 & 4 \\ NaN & NaN & NaN & 4 & 4 & \mathbf{4} \end{bmatrix} \text{ [gün]}$$

Yukarıda anlatılan işlemler burada örnek hesabı verilen birinci iş paketi ve tamamlanma süresi ideal süre olan 22 günden büyük olan tüm iş paketlerinde devam ettirilerek bunların tamamlanma süreleri iş paketi ideal tamamlanma süresine eşitlenir.

Çizelge 4.6'da verilen tamamlanma süreleri incelenirse 4. iş paketi için 21; 9. iş paketi için 20 gün olarak hesaplanmış olduğu görülmektedir. Çözüm modelinde açıklandığı üzere bunların işlem sürelerinin de ideal süreye eşitlenmesi gerekir. Bunun için yukarıdakinden biraz farklı bir yol izlenmektedir. Örneğin dördüncü iş paketini ele

alırsak, öncelikle neredeki kapasitenin değiştirilmesi gerektiği tespit edilmelidir.

Dwp_4^{day} matrisi aşağıda verilmiştir:

$$Dwp_4^{day} = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 5 & 5 \\ 4 & 2 & 2 & 8 \\ 4 & 3 & 2 & 2 \\ 3 & 4 & 3 & 4 \end{bmatrix} \text{ [gün]}$$

Dwp_4^{day} matrisinin her zaman dilimindeki yani her sütunundaki minimum ve maksimum değerler arasındaki farklar $DIF_{4,v} = \max(dwp_{y,v}^{day}) - \min(dwp_{y,v}^{day}) \forall v, y$ eşitliği ile hesaplanır ve küçükten büyüğe doğru sıralanır. Önce farklar hesaplanırsa: $DIF_{4,1} = 4 - 2 = 2$; $DIF_{4,2} = 4 - 2 = 2$; $DIF_{4,3} = 5 - 2 = 3$; $DIF_{4,4} = 8 - 2 = 6$ olarak elde edilirler. Bunlar küçükten büyüğe doğru sıralandıklarında ise sütun numaraları bazında 1, 2, 3, 4 sıralaması elde edilir. Daha sonra farkın en küçük olduğu zaman dilimindeki en yoğun veya boş süresi en az olan en büyük değer bir gün artırılır. Farkın en az olduğu yerin seçilmesinin sebebi zaten farkın büyük olduğu zaman dilimlerini, istenen durum olan zaman dilimindeki tüm sürelerin birbirine eşit olması şeklinden daha da fazla uzaklaştırmamaktır. Burada bir nevi kötünün iyisi tercih edilmektedir. Boş süre ise artık işin fazla mesai ile tamamlanamayıp ekstradan bir günün işlem süresine eklendiği yerlerde ortaya çıkar. Süre artımı yaparken yoğunluğu veya boş süreyi gözetmenin sebebi ise maksimum ve minimum değerler arasındaki farkın eşit olduğu sütunların veya bir sütunda birden fazla maksimum değer var olma ihtimalidir. Böylece en azından artık iş sebebiyle fazla mesai yapılması gerektiği belirlenen yani yoğun yerde işlem süresine bir gün daha eklenmiş ve fazla mesai iptal edilmiş veya bu şartlarda bir yer yoksa boş süresi en az olan yere bir gün eklenmiş olur.

Burada hem 1 hem de 2. sütunlarda en küçük ve eşit farkların olduğu görülmektedir.

Ayrıca boş süreleri bulmak için $Dwp_4^{day} - Dwp_4^{new}$ farkı hesaplanırsa:

$$\begin{aligned} Dwp_4^{day} - Dwp_4^{new} &= \begin{bmatrix} 2 & 2 & 5 & 5 \\ 4 & 2 & 2 & 8 \\ 4 & 3 & 2 & 2 \\ 3 & 4 & 3 & 4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 2,180 & 2,210 & 5,234 & 4,536 \\ 3,629 & 1,393 & 1,482 & 7,398 \\ 3,573 & 3,056 & 2,032 & 2,067 \\ 2,684 & 3,362 & 3,216 & 4,141 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -0,180 & -0,210 & -0,234 & 0,464 \\ 0,371 & 0,607 & 0,518 & 0,602 \\ 0,427 & -0,056 & -0,032 & -0,067 \\ 0,316 & 0,638 & -0,216 & -0,141 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Yukarıdaki işlem sonucunda elde edilen matristeki negatif değerler orada fazla mesai olduğunu işaret eder ve yukarıda yoğun çalışmanın olduğu yerler ile buraları kastedilmiştir. Pozitif değerler ise artık işlerin fazla mesai kapasitesi ile tamamlanamayacak olması sebebiyle işlem süresine bir gün eklenmesi sonucunda boş sürelerin ortaya çıktığı yerlerdir. 1. ve 2. sütunlar göz önüne alındığında hem ilgili sütunun en büyük değerine sahip hem de en yoğun veya boş süresi en az olan yerin indisi (2,1) olarak tespit edilir. Öyleyse burada kapasite işlem süresi bir gün arttırılacak şekilde yeniden hesaplanacaktır. Sürenin uzaması için kapasite değerinin azalması gerekmektedir. Olması gereken yeni kapasite $qwp_{2,1}^{in,ns} = lwp_{2,1} / (dwp_{4,6}^{day} + 1) = 53,300 / (4 + 1) = 10,660$ [ton/gün] olarak hesaplanır. Böylece ilgili işlem süresi 1 gün arttırılarak 5 gün ve iş paketinin tamamlanma süresi 22 gün olarak güncellenir. Yeni durumda dördüncü iş paketi için kapasite ve işlem süreleri matrisleri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$Qwp_4^{in,ns} = \begin{bmatrix} 45,826 & 45,826 & 45,826 & 45,826 \\ \mathbf{10,660} & 14,685 & 14,685 & 14,685 \\ 38,553 & 38,553 & 38,553 & 38,553 \\ 5,208 & 5,208 & 5,208 & 5,208 \end{bmatrix}$$

$$Dwp_4^{in,day} = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 5 & 5 \\ \mathbf{5} & 2 & 2 & 8 \\ 4 & 3 & 2 & 2 \\ 3 & 4 & 3 & 4 \end{bmatrix} \text{ [gün]}$$

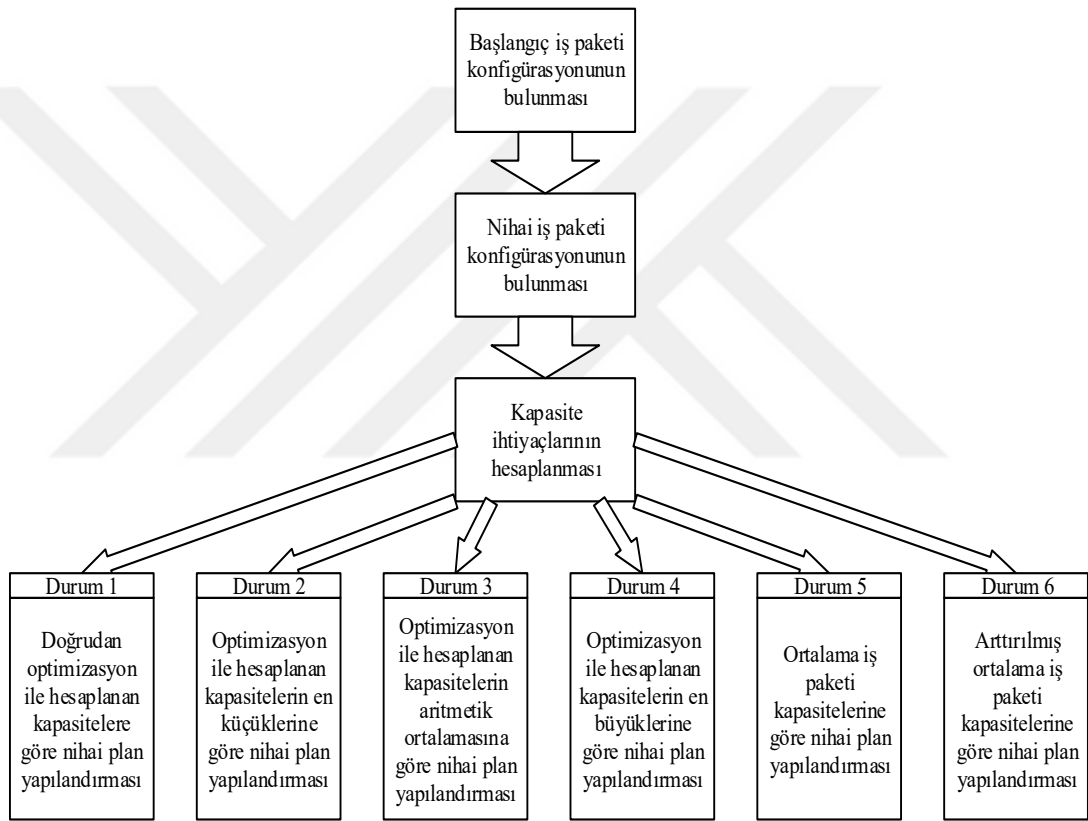
Bu hesaplar neticesinde tüm iş paketleri için elde edilen nihai kapasite ve tam gün olarak işlem süresi matrisleri ekte Çizelge A.19 ve Çizelge A.20’de verilmiştir. Ayrıca fazla mesai süreleri de ekte Çizelge A.21’de verilmiştir.

4.3 Elde Edilen Sonuçlar ve Tartışma

Bölüm 4.2’de, iş paketlerinin tespit edilmesinden sonra kapasite ihtiyaçları çok amaçlı optimizasyon yöntemiyle elde edilmiş ve çözüm modelinde belirtildiği üzere hiyerarşik modelin son aşamasında her bir iş merkezi için tespit edilen en düşük kapasite esas alınarak işlem yapılmıştı. Bu bölümde ise Şekil 4.6’da belirtildiği üzere kapasite ihtiyaçlarının hesaplanmasının ardından altı farklı durum için nihai plan yapılandırması ile elde edilen sonuçlar incelenecektir.

Optimizasyondan elde edilen tüm alt işlere ait kapasite matrisi ekte Çizelge A.14’te verilmişti. Bu değerlerin 22’ye bölünerek [ton/gün] birimine çevrilmesi ile zaman

dilimleri boyunca kapasitelerin değişimi Şekil 4.7’de görülmektedir. Grafikteki dikey çizgiler iş paketlerinin sınırlarını belirtmektedir. Görüldüğü üzere her bir alt iş için farklı kapasite ihtiyacı değeri ortaya çıktığından hem bir iş paketi içinde hem de tüm zaman dilimleri boyunca kapasite sabit değildir. Özellikle C ve K imalat yerlerinde bu varyans daha fazla göze batmaktadır. Bununla birlikte değişkenliğin bir ölçüsü olmak üzere kapasite değerlerinin standart sapmaları hesaplandığında Çizelge 4.7’deki değerler bulunmuştur. Optimizasyondaki amaçlardan birisi de kapasite değişiminin minimum olmasını sağlamak üzere kurgulandığından standart sapma değerleri oldukça düşüktür.

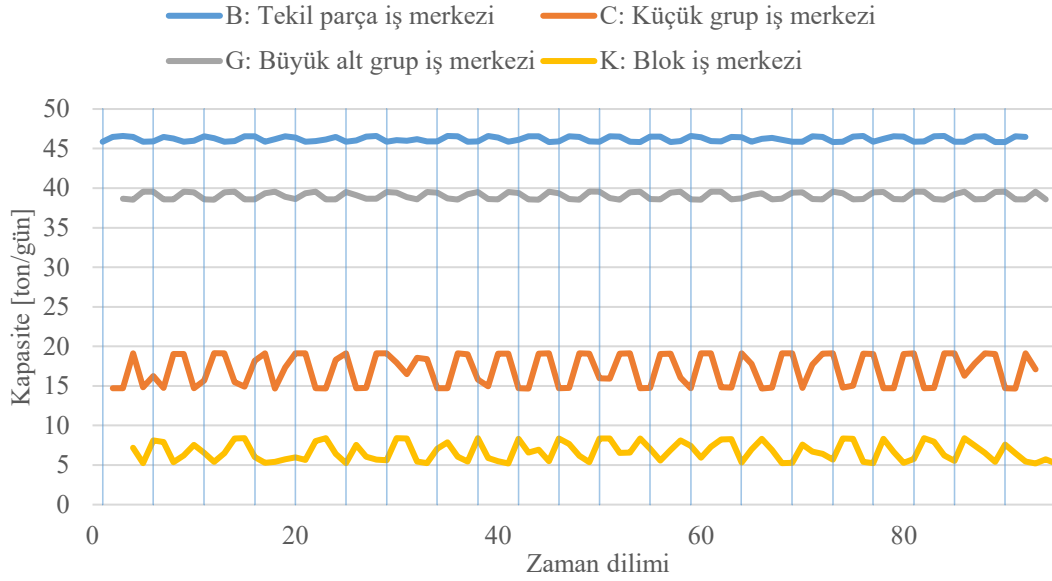


Şekil 4.6 : Nihai planın oluşturulmasında mukayesesi yapılan altı farklı durum.

Çizelge 4.7 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin standart sapmaları.

İş merkezi	Standart sapma	Toplam
B	0,305	
C	1,991	2,369
G	0,438	
K	1,167	

İlerleyen alt bölümlerde Şekil 4.6’da belirtilen durumlarda ortaya çıkan sonuçlar verilmiştir.



Şekil 4.7 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.

4.3.1 Durum 1'in incelenmesi

Bu bölümde doğrudan optimizasyon sonucunda elde edilen kapasite ihtiyacı değerleri esas alındığında ortaya çıkan sonuçlar incelenmiştir. Her iş merkezinde zaman dilimleri boyunca tespit edilen kapasite değerleri [ton/ay] biriminde ekte Çizelge A.14'te verilmiştir. Bu kapasite değerlerine göre hesaplanan alt iş işlem süreleri ekte Çizelge A.22 verilmiştir. Birinci iş paketindeki alt işlerin işlem süreleri ve her sütunun en büyük değeri alınarak hesaplanan iş paketi tamamlanma süresi Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelere göre birinci iş paketindeki alt işler için hesaplanan işlem süreleri [gün].

		Zaman dilimi no						Toplam
		1	2	3	4	5	6	
İş merkezi	B	1,838	1,840	4,346	3,774	1,617	1,637	15,052
	C	NaN	1,175	1,248	4,800	4,689	0,935	12,847
	G	NaN	NaN	1,710	1,744	4,541	3,882	11,877
	K	NaN	NaN	NaN	2,534	3,467	2,815	8,816
Sütun maks.		1,838	1,840	4,346	4,800	4,689	3,882	21,395

Buna göre birinci iş paketi tamamlanma süresi 21,395 gün olarak belirlenmiştir. Benzer işlem tüm iş paketlerine yapılacak olursa tüm iş paketlerinin tamamlanma süreleri Çizelge 4.9'da görüldüğü gibi elde edilir.

Çizelge 4.9 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelere göre tüm iş paketlerinin tamamlanma süreleri [gün].

İş paketi no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tamamlanma süresi [gün]	21,395	20,525	22,542	17,558	20,359	19,038	18,021	21,674	16,728	20,115	20,732
İş paketi no	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Tamamlanma süresi [gün]	19,766	19,611	21,828	18,752	20,291	18,788	20,871	19,860	22,713	26,978	

Çizelge 4.9'daki işlem süreleri toplamı 428,145 gün etmektedir. İş paketi işlem sürelerinin 22 gün projenin tamamlanma süresinin 462 gün olması gerektiğinden yukarıda hesaplanan kapasiteler hiyerarşik modelin son aşamasındaki işleme tabi tutularak işlem sürelerinin istenen değere gelmesi sağlanır. Buna göre önce işlem sürelerinin tam sayı gün şekline getirilebilmesi için normal mesai kapasitelerinden yola çıkarak fazla mesai kapasiteleri hesaplanır. Daha sonra artık işlerin fazla mesai ile tamamlanıp tamamlanamadığı kontrol edilerek işlem sürelerinin tam gün olarak değerleri tespit edilir.

Fazla mesainin 3 saatlik çalışma ve fazla mesaideki performansın normal mesainin %65'i olduğu daha önceki kabullerde belirtilmişti. Bu doğrultuda optimizasyondan elde edilen normal mesai kapasiteleri esas alınarak, fazla mesai kapasiteleri ekte Çizelge A.23'te verildiği şekilde hesaplanmıştır.

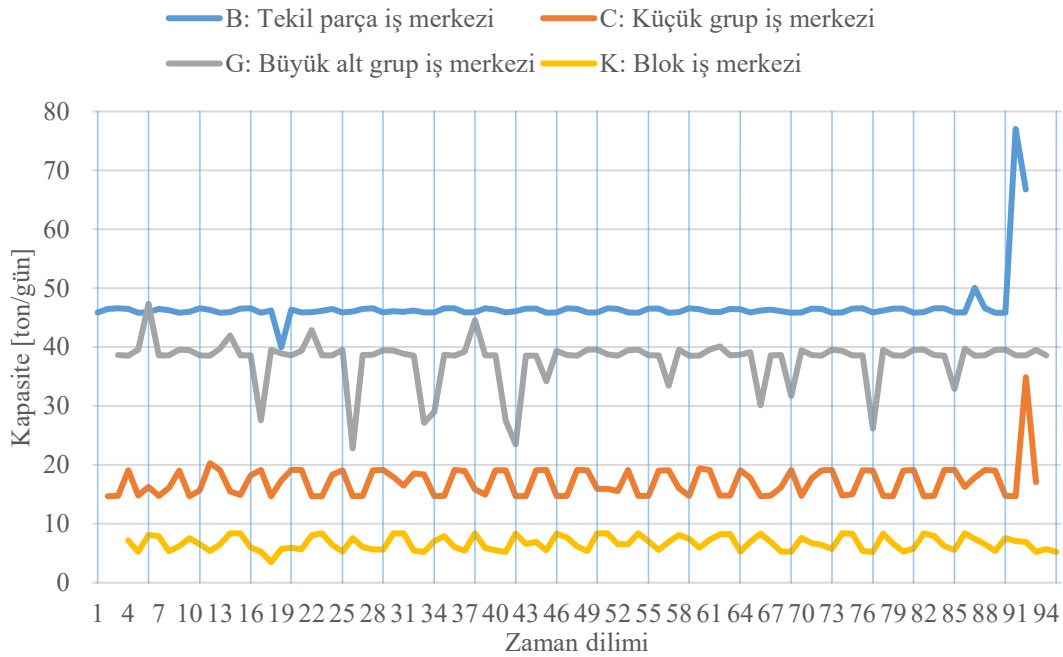
Artık iş miktarlarının, işlem süresinin ondalık kısmı ile normal mesai kapasitesinin çarpılması ile hesaplandığı daha önceden belirtilmişti. Tüm iş paketlerinin bu şekilde hesaplanan artık iş matrisleri ekte Çizelge A.24'te verilmiştir. Fazla mesai kapasiteleri ile artık iş miktarları kıyaslanıp artık iş miktarının fazla mesai kapasitesinden az olduğu yerlerde önceden hesaplanan işlem süresinin tam kısmı yeni işlem süresi olarak belirlenir.

Bu şartın sağlanmadığı yerlerde ise işlem süresi önceden hesaplanan işlem süresinin tam kısmının bir gün fazlası olur. Bu işlemin ardından iş paketlerinin tam gün olarak belirlenen yeni işlem süresi matrisleri de ekte Çizelge A.25'te verilmiştir. Her iş paketinin işlem süresi matrisinin sütun vektörlerindeki en büyük değerlerin toplanmasıyla hesaplanan iş paketi toplam tamamlanma süreleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10 : Optimizasyondan elde edilen kapasiteler vasıtasıyla hesaplanan tam gün iş paketi tamamlanma süreleri [gün].

İş paketi no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tamamlanma süresi [gün]	23	21	25	18	23	20	20	23	18	21	22
İş paketi no	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Tamamlanma süresi [gün]	21	21	24	19	22	20	22	21	24	28	

Yukarıdaki çizelgede verilen iş paketi tamamlanma süreleri toplamı 456 gündür. Bu sonuç değerlendirilecek olursa, bazı iş paketleri istenenden daha erken bitmesine rağmen halen hem iş paketleri için istenen 22 günlük süre hem de toplam tamamlanma süresi olan $21 \times 22 = 462$ gün sağlanamamıştır. Bu bakımdan çözüm modelinin son aşamasında detayları açıklandığı şekilde işlem süreleri 22 güne eşit olana kadar kapasiteler ihtiyaca göre artırılır veya azaltılır. Bu işlem sonucunda elde edilen yeni normal mesai kapasite değerleri ekte Çizelge A.26’da verilmiştir. Kapasite değişimleri ise Şekil 4.8’de görülmektedir.

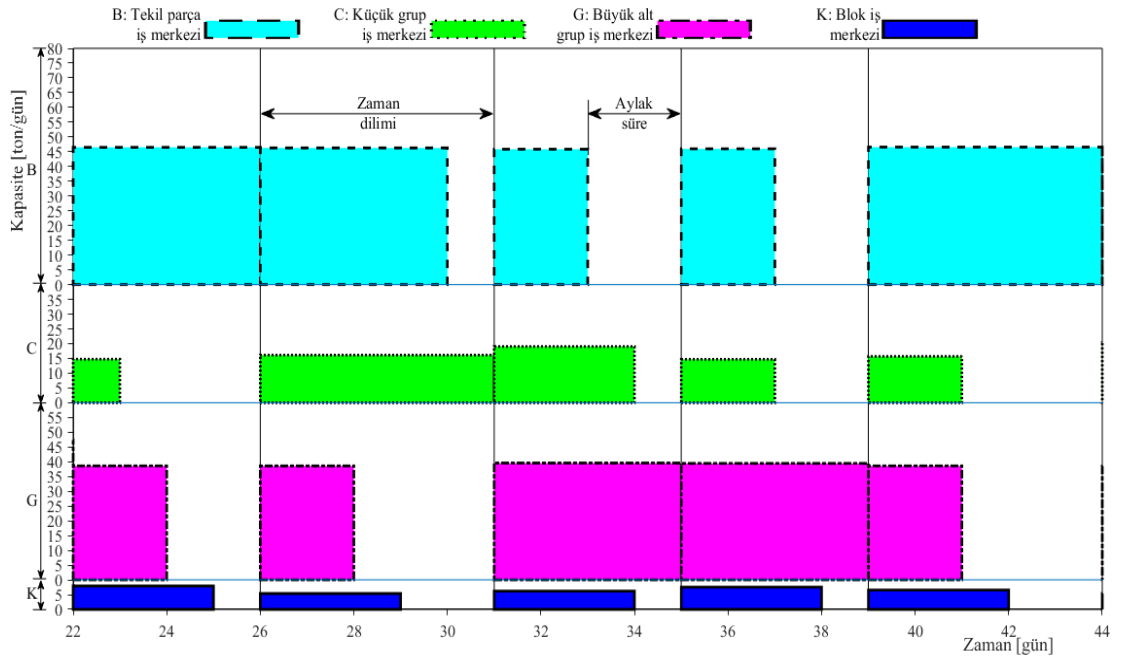


Şekil 4.8 : Optimizasyondan elde edilen kapasiteler vasıtasıyla hesaplanan nihai kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.

Şekilden görüldüğü üzere optimizasyon sonucunda olduğu gibi her zaman diliminde farklı kapasite ihtiyacı değeri ortaya çıkmıştır. Bu durumda zaman dilimleri boyunca iş merkezlerinde değişik miktarlarda kaynağa ihtiyaç duyulacaktır. İmalat yerlerindeki kapasitenin zaman içinde en az değişmesi tercih edileceğinden bu yolla elde edilen kapasite tahsisi hesabının iyi bir netice ortaya koyduğunu söylemek zordur. Detaylı

olarak incelenecek olursa ilk duruma nazaran değişim miktarının en fazla G iş merkezinde ortaya çıktığı söylenebilir. Buradaki ani değişimler iş paketi süresinin 22 güne eşitlenmesi sırasında yapılan değişikliklerden kaynaklanmaktadır ve genellikle kapasitenin azaltılması yönünde ortaya çıkmıştır. B ve C iş merkezlerindeki kapasite değişimi genel anlamda ilk duruma benzer bir yapı ortaya koymuştur. Ancak son iş paketi içerisinde bu iş merkezleri için G’dekine benzer sebeple pik değerler ortaya çıkmıştır. Bu zirve değerlerle alakalı detaylı açıklama durum 2’nin incelemesi bölümünde yapılmıştır. En son elde edilen kapasite değerlerine göre hesaplanan işlem sürelerinin tamamı ekte Çizelge A.27’de, fazla mesai süreleri ise ekte Çizelge A.28’de verilmiştir.

Hem kapasiteleri hem zaman dilimlerini hem de işlem sürelerini bir arada gösteren grafik ise ekte Şekil B.1’de verilmiştir. Şekil 4.9’da Şekil B.1’in bir bölümü verilmiştir. Buna göre yapılan varsayımlar doğrultusunda bir zaman dilimi boyunca kapasite sabittir. Buradaki taralı alanlar alt işin ilgili iş merkezinde tamamlanması gereken iş yükü miktarlarını vermektedir. Taralı alanların genişlikleri alt işin ilgili iş merkezindeki işlem süresine eşittir. Grafikteki düşey çizgiler arasındaki mesafeler ilgili zaman dilimindeki en uzun işlem süresine göre belirlenen zaman dilimi uzunluğudur. Bir taralı alanın genişliği ile düzey çizgiler arasındaki genişlik farkı aylak süredir.



Şekil 4.9 : Optimizasyondan elde edilen kapasiteler vasıtasıyla hesaplanan nihai kapasite-zaman grafiğinin 22-44 günleri arası.

4.3.2 Durum 2'nin incelenmesi

Bu bölümde optimizasyondan elde edilen minimum kapasite değerlerinin esas alınması durumu incelenmiştir. Çözüm modelinde son aşamada optimizasyondan elde edilen en küçük kapasiteler esas alınarak hesaplar yapıldığından bu bölümle alakalı analizlerin bir kısmı önerilen metodoloji için bir uygulama çalışmasının gerçekleştirildiği bölüm 4.2'de verilmiştir. Her iş merkezi için elde edilen en düşük kapasite değerine göre hesaplanan alt iş işlem süreleri bölüm 4.2.4'te hesaplanmış ve ekte Çizelge A.16'da verilmiştir. Buna göre birinci iş paketindeki işlem süreleri ve iş paketi tamamlanma süresi Çizelge 4.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en küçüklerine göre birinci iş paketindeki alt işler için hesaplanan işlem süreleri [gün].

		Zaman dilimi no						
		1	2	3	4	5	6	Toplam
İş merkezi	B	1,840	1,865	4,417	3,828	1,618	1,640	15,208
	C		1,176	1,251	6,244	4,732	1,034	14,437
	G			1,715	1,744	4,659	3,984	12,102
	K				3,495	3,499	4,383	11,377
Sütun maks.		1,840	1,865	4,417	6,244	4,732	4,383	23,481

Buna göre iş paketi tamamlanma süresi 23,481 gün olarak belirlenmiştir. Benzer işlem tüm iş paketlerine yapılacak olursa tüm iş paketlerinin tamamlanma süreleri Çizelge 4.12'de görüldüğü gibi elde edilir:

Çizelge 4.12 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en küçüklerine göre tüm iş paketlerinin tamamlanma süreleri [gün].

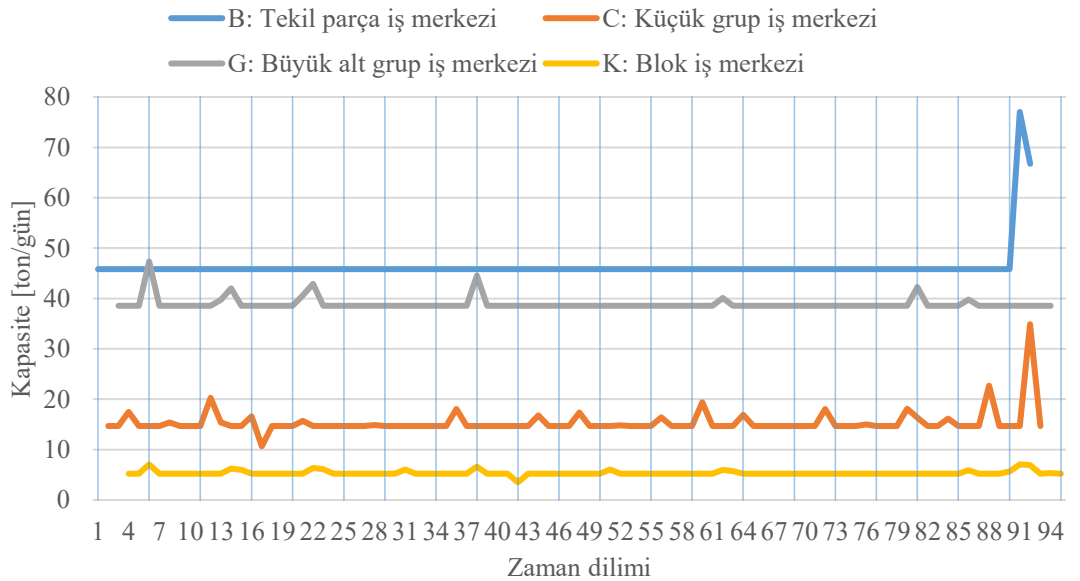
İş paketi no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tamamlanma süresi [gün]	23,481	22,822	27,471	19,624	23,919	21,366	21,696	24,348	19,265	22,597	23,343
İş paketi no	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Tamamlanma süresi [gün]	22,897	22,040	26,573	20,725	22,814	21,751	23,456	22,635	25,578	29,586	

Çizelge 4.12'deki işlem süreleri toplamı 487,987 gün etmektedir. İş paketi işlem sürelerinin 22'ser gün, projenin tamamlanma süresinin ise 462 gün olması gerektiğinden yukarıda hesaplanan kapasiteler hiyerarşik modelin son aşamasındaki işleme tabi tutularak işlem sürelerinin istenen değere gelmesi sağlanır. Bu doğrultuda normal mesai kapasitelerinin minimumları esas alınarak, fazla mesai kapasiteleri Çizelge 4.13'te verildiği şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.13 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en küçüklerine göre fazla mesai kapasitesi [ton/gün].

İş merkezi	Kapasite
B	11,17
C	3,58
G	9,397
K	1,269

Bu değerler zaman dilimleri boyunca aynıdır. Daha sonra artık iş miktarları belirlenir. İşlem sürelerinin ondalık kısımlarından hesaplanan artık iş matrisleri ekte Çizelge A.17’de verilmiştir. Fazla mesai kapasiteleri ile artık iş miktarları kıyaslandıktan sonra tüm iş paketlerine ait tam gün olarak belirlenen işlem süresi matrisleri ekte Çizelge A.18’de verilmiştir. İş paketlerinin tamamlanma sürelerinin her iş paketinin işlem süresi matrisinin sütun vektörlerindeki en büyük değerlerin toplanmasıyla hesaplandığı daha önce belirtilmişti. Bu şekilde elde edilen iş paketi tamamlanma süreleri Çizelge 4.6’da verilmiştir. Buna göre iş paketi tamamlanma süreleri toplamı 511 gündür. Bu sonuç değerlendirilecek olursa halen hem iş paketleri için istenen 22 günlük süre hem de toplam tamamlanma süresi olan 462 gün sağlanamamıştır. Bu bakımdan işlem süreleri 22 güne eşit olana kadar kapasiteler ihtiyaca göre artırılmış veya azaltılmıştır. Bu işlemin ardından elde edilen nihai kapasite değerleri ekte Çizelge A.19’da verilmiştir. En son elde edilen kapasite ihtiyacı değerlerinin zaman dilimleri boyunca değişimleri ise Şekil 4.10’da görülmektedir.



Şekil 4.10 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en küçükleri vasıtasıyla hesaplanan nihai kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.

Şekilden kapasite miktarlarında değişiklik gereken zaman dilimi sayısının durum 1'e göre oldukça azaldığı görülmektedir. Bu sayede sadece bazı zamanlarda iş gören sayısının değişmesi gerekliliği ortaya çıkar. Özellikle son iş paketi hariç düşünüldüğünde kapasite değişikliği kıstası açısından tatmin edici bir görünüm elde edildiği söylenebilir. B iş merkezinde sadece son iki zaman diliminde farklı değerler hesaplanmıştır. Diğer kısımlarda kapasite ihtiyacı sabittir. Öbür iş merkezlerinde de değişiklik oldukça azalmıştır. Öte yandan B ve C iş merkezlerinde son iş paketi içinde yüksek değerler ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi, problem tanımını bölümünde belirtildiği üzere ardıl işlemin öncül işlemin tamamen bitmesi ile başlaması varsayımı ve ardışık olarak tamamlanması gereken blokların iş yüklerinin çok farklı olmasıdır. Daha detaylı olarak açıklanacak olursa son iş paketine dâhil olan bloklar Çizelge 4.14'te verilmiştir. Bloklar arasında varsayılan ilişki bağları sebebiyle son iş paketi Çizelge 4.15'te gösterilen hale gelmektedir. Optimizasyon sonucunda 21. iş paketi için Çizelge 4.16'da verilen kapasite matrisi elde edilmiştir:

Çizelge 4.14 : 21. iş paketi içinde bulunan blokların iş merkezlerindeki iş miktarı [ton].

		Blok no				
		88	89	90	91	92
İş merkezi	B	184,178	104,082	105,493	249,873	216,532
	C	729,580	21,314	22,670	113,182	85,775
	G	161,252	81,616	83,002	221,698	189,579
	K	22,926	22,466	22,491	28,175	26,953

Çizelge 4.15 : 21. iş paketi iş miktarı matrisi [ton].

		Zaman dilimi no				
		91	92	93	94	95
İş merkezi	B	249,873	216,532	NaN	NaN	NaN
	C	22,670	113,182	85,775	NaN	NaN
	G	81,616	83,002	221,698	189,579	NaN
	K	22,926	22,466	22,491	28,175	26,953

Çizelge 4.16 : 21. iş paketi için optimizasyon sonucunda elde edilen kapasite matrisi [ton/gün].

		Zaman dilimi no				
		91	92	93	94	95
İş merkezi	B	46,539	46,458	NaN	NaN	NaN
	C	14,688	19,125	17,093	NaN	NaN
	G	38,595	38,576	39,537	38,587	NaN
	K	6,512	5,447	5,208	5,737	5,213

Bulunan kapasite değerlerine göre işlem süreleri ilk etapta Çizelge 4.17’de verildiği gibi hesaplanmıştır. Artık işler ile fazla mesai kapasitelerinin kıyaslanmasıyla tam gün olarak işlem süreleri Çizelge 4.18’deki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 4.17 : 21. iş paketinde iş miktarlarının optimizasyondan elde edilen kapasitelere bölünmesiyle hesaplanan işlem süresi matrisi [gün].

		Zaman dilimi no					
		91	92	93	94	95	Toplam
iş merkezi	B	5,453	4,725	NaN	NaN	NaN	10,178
	C	1,544	7,707	5,841	NaN	NaN	15,092
	G	2,117	2,153	5,751	4,917	NaN	14,938
	K	4,402	4,314	4,319	5,410	5,176	23,621
Sütun maks.		5,453	7,707	5,841	5,410	5,176	29,586

Çizelge 4.18 : 21. iş paketinde artık işlerin fazla mesai kapasiteleri ile kıyaslanmasının ardından elde edilen tam gün işlem süresi matrisi [gün].

		Zaman dilimi no					
		91	92	93	94	95	Toplam
iş merkezi	B	6	5	NaN	NaN	NaN	11
	C	2	8	6	NaN	NaN	16
	G	2	2	6	5	NaN	15
	K	5	5	5	6	5	26
Sütun maks.		6	8	6	6	5	31

Burada görüldüğü üzere iş paketi toplam tamamlanma süresi 31 gündür. Bu değer 22 güne eşitlenmesi için çözüm modelinin son aşamasında tanımlanan prosedür uygulandığında elde edilen nihai işlem süresi ve kapasite değerleri ise Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.19 : 21. iş paketi için elde edilen nihai tam gün işlem süresi matrisi [gün].

		Zaman dilimi no					
		91	92	93	94	95	Toplam
iş merkezi	B	3	3	NaN	NaN	NaN	6
	C	2	3	6	NaN	NaN	11
	G	2	2	6	5	NaN	15
	K	3	3	5	5	5	21
Sütun maks.		3	3	6	5	5	22

Çizelge 4.20 : 21. iş paketi için elde edilen nihai kapasite matrisi [ton/gün].

		Zaman dilimi no				
		91	92	93	94	95
İş merkezi	B	77,032	66,754	NaN	NaN	NaN
	C	14,685	34,892	14,685	NaN	NaN
	G	38,553	38,553	38,553	38,553	NaN
	K	7,068	6,926	5,208	5,373	5,208

Tam gün biriminde işlem sürelerinin gösterildiği çizelgelerde iş paketi toplam tamamlanma süresinin istenen değere getirilmesi için işlem süresinin azaltıldığı hücreler kıyaslamalı olarak aynı renkte gösterilmiştir. B iş merkezindeki pik değer ortaya çıktığı 91 ve 92. sütunlarda işlem süresinin sırasıyla 6 günden 3 güne ve 5 günden 3 güne düşürüldüğü görülmektedir. Yine aynı şekilde C iş merkezinde pik değer ortaya çıktığı 92. sütunda işlem süresi 8 günden 3 güne düşürülmüştür. Bu azaltmalar ilgili yerlerde kapasite gereksinimlerinde ani artışa sebep olmuşlardır. Bu artışların olduğu hücreler Çizelge 4.20’de vurgulanmıştır.

Son duruma göre hesaplanan işlem sürelerinin tamamı ekte Çizelge A.20’de, fazla mesai süreleri ise Çizelge A.21’de verilmiştir. Hem kapasiteleri hem zaman dilimlerini hem de işlem sürelerini bir arada gösteren grafik ise ekte Şekil B.2’de verilmiştir.

4.3.3 Durum 3’ün incelenmesi

Bu bölümde optimizasyondan elde edilen kapasite değerlerinin aritmetik ortalamasının esas alınması durumu incelenmiştir. Her iş merkezinde zaman dilimleri boyunca tespit edilen kapasite değerlerinin ortalaması Çizelge 4.21’de verilmiştir. Bunlar zaman dilimleri boyunca aynıdır.

Çizelge 4.21 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin aritmetik ortalaması [ton/gün].

İş merkezi	Kapasite
B	46,198
C	17,057
G	39,030
K	6,697

Ortalama kapasite değerine göre hesaplanan işlem süreleri ekte Çizelge A.29’da verilmiştir. Bunlardan birinci iş paketindeki alt işlerin işlem süreleri Çizelge 4.22’deki gibidir:

Çizelge 4.22 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin aritmetik ortalamalarına göre birinci iş paketindeki alt işler için hesaplanan işlem süreleri [gün].

		Zaman dilimi no						
		1	2	3	4	5	6	Toplam
İş merkezi	B	1,825	1,850	4,382	3,797	1,605	1,627	15,085
	C		1,012	1,077	5,376	4,074	0,890	12,428
	G			1,694	1,723	4,602	3,935	11,953
	K				2,718	2,721	3,408	8,846
Sütun maks.		1,825	1,850	4,382	5,376	4,602	3,935	21,969

Buna göre iş paketi tamamlanma süresi 21,969 gün olarak belirlenmiştir. Benzer işlem tüm iş paketlerine yapılacak olursa tüm iş paketlerinin tamamlanma süreleri Çizelge 4.23'te görüldüğü gibi elde edilir.

Çizelge 4.23 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin aritmetik ortalamalarına göre tüm iş paketlerinin tamamlanma süreleri [gün].

İş paketi no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tamamlanma süresi [gün]	21,969	21,169	24,046	18,109	21,388	19,817	18,979	22,523	16,799	20,904	21,594
İş paketi no	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Tamamlanma süresi [gün]	20,531	20,387	23,255	19,360	21,146	19,490	21,724	20,628	23,531	26,606	

Çizelge 4.23'teki işlem süreleri toplamı 443,953 gün etmektedir. İş paketi işlem sürelerinin 22'şer gün projenin tamamlanma süresinin de 462 gün olması gerekmektedir. Bu amaçla yukarıda hesaplanan kapasiteler hiyerarşik modelin son aşamasındaki işleme tabi tutulur. Bu doğrultuda normal mesai kapasitelerinden yola çıkarak fazla mesai kapasiteleri Çizelge 4.24'te verildiği şekilde hesaplanır:

Çizelge 4.24 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin aritmetik ortalamalarına göre fazla mesai kapasitesi [ton/gün].

İş merkezi	Kapasite
B	11,261
C	4,158
G	9,513
K	1,632

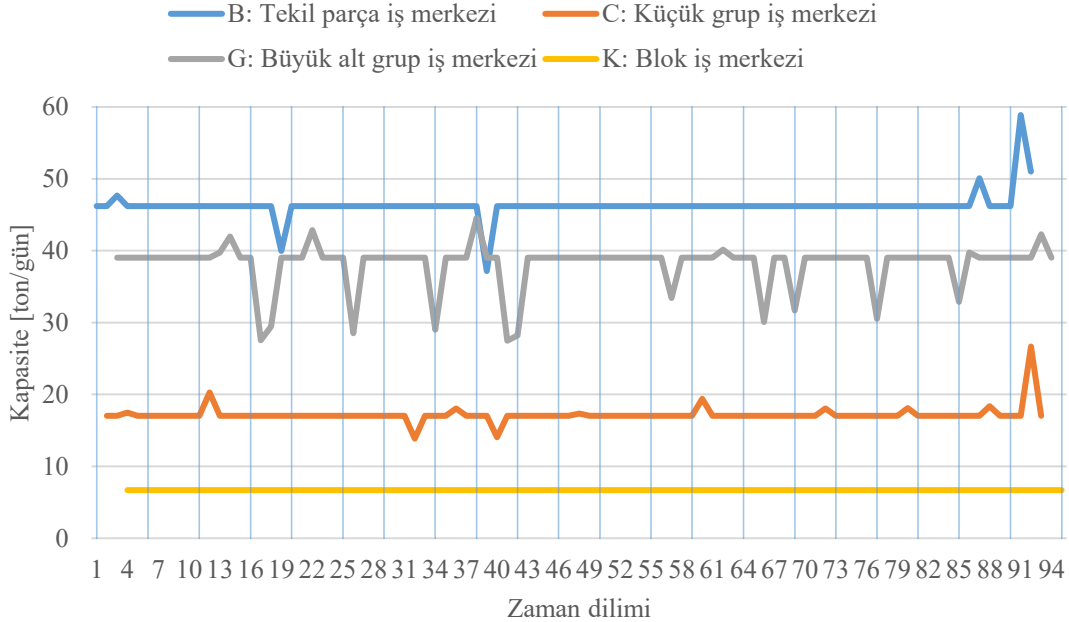
Bu değerler de zaman dilimleri boyunca aynıdır. Daha sonra artık iş miktarları belirlenir. Tüm iş paketlerine ait artık iş matrisleri ekte Çizelge A.30'da verilmiştir. Fazla mesai kapasiteleri ile artık iş miktarları kıyaslandıktan sonra tüm iş paketlerinin tam gün olarak belirlenen işlem süresi matrisleri de ekte Çizelge A.31'de verilmiştir.

İş paketlerinin tamamlanma süreleri her iş paketinin işlem süresi matrisinin sütun vektörlerindeki en büyük değerlerin toplanmasıyla hesaplanır. Bu şekilde elde edilen iş paketi tamamlanma süreleri Çizelge 4.25'te verilmiştir:

Çizelge 4.25 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin aritmetik ortalamaları vasıtasıyla hesaplanan tam gün iş paketi tamamlanma süreleri [gün].

İş paketi no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tamamlanma süresi [gün]	24	22	25	19	23	21	20	24	17	22	23
İş paketi no	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Tamamlanma süresi [gün]	22	21	24	20	23	21	23	21	25	28	

Buna göre iş paketi tamamlanma süreleri toplamı 468 gündür. Bu sonuç değerlendirilecek olursa halen hem iş paketleri için istenen 22 günlük süre hem de toplam tamamlanma süresi olan 462 gün sağlanamamıştır. Bu bakımdan çözüm modelinin son aşamasında detayları açıklandığı şekilde işlem süreleri 22 güne eşit olana kadar kapasiteler ihtiyaca göre artırılır veya azaltılır. Bu işlem sonucunda elde edilen yeni kapasite değerleri ekte Çizelge A.32'de verilmiştir. Kapasite ihtiyacı değerlerinin zaman dilimleri boyunca değişimleri ise Şekil 4.11'de görülmektedir. Hem kapasiteleri hem zaman dilimlerini hem de işlem sürelerini bir arada gösteren grafik ise ekte Şekil B.3'te verilmiştir.



Şekil 4.11 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin aritmetik ortalamaları vasıtasıyla hesaplanan nihai kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.

Şekilden görüldüğü üzere, kapasite miktarlarında değişiklik gereken zaman dilimi sayısının yine durum 1'e göre azaldığı ve sadece bazı zamanlarda iş gören sayısının değişmesi gerektiği söylenebilir. Öte yandan G iş merkezinde durum 2'ye kıyasla değişikliğin arttığı görülmektedir. G iş merkezi hariç elde edilen kapasite tahsisi hesabının kapasite değişikliği kıstası açısından fena olmayan bir görünüm sergilediği söylenebilir. Detaylı olarak incelenecek olursa K iş merkezinde kapasite ihtiyacında hiç değişiklik ortaya çıkmamıştır. B ve C'de son iş paketinde düşük seviyeli pik değerler görülmüştür. En fazla değişikliğin G'de ortaya çıktığı diğer iki iş merkezinde ise kısmi değişiklik ihtiyacı doğduğu söylenebilir. G iş merkezindeki değişiklikler genellikle kapasitenin azaltılması yönünde ortaya çıkmıştır. Grafikte B, C ve G iş merkezlerindeki kapasite değişimleri, iş paketi süresinin 22 güne eşitlenmesi sırasında yapılan değişikliklerden kaynaklanmaktadır. En son elde edilen kapasite değerlerine göre hesaplanan nihai işlem sürelerinin tamamı ekte Çizelge A.33'de fazla mesai süreleri ise Çizelge A.34'te verilmiştir.

4.3.4 Durum 4'ün incelenmesi

Bu bölümde optimizasyondan elde edilen en büyük kapasite değerlerinin esas alınması durumu incelenmiştir. Her iş merkezinde zaman dilimleri boyunca tespit edilen kapasite değerlerinin en büyükleri Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.26 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en büyükleri [ton/gün].

İş merkezi	Kapasite
B	46,588
C	19,139
G	39,567
K	8,392

En büyük kapasite değerine göre hesaplanan işlem süreleri ekte Çizelge A.35'te verilmiştir. Bunlardan birinci iş paketindeki alt işlerin işlem süreleri Çizelge 4.27'deki gibidir. Buna göre iş paketi tamamlanma süresi 21,202 gün olarak belirlenmiştir. Benzer işlem tüm iş paketleri için yapılacak olursa iş paketlerinin tamamlanma süreleri Çizelge 4.28'de görüldüğü gibi elde edilir.

Çizelge 4.28'deki işlem süreleri toplamı 423,733 gün etmektedir. İş paketi işlem sürelerinin 22 gün projenin tamamlanma süresinin 462 gün olması gerekmektedir. Bu amaçla yukarıda hesaplanan kapasiteler hiyerarşik modelin son aşamasındaki işleme

tabi tutulur. Bu doğrultuda normal mesai kapasitelerinden yola çıkarak fazla mesai kapasiteleri Çizelge 4.29’da verildiği şekilde hesaplanır.

Çizelge 4.27 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en büyüklerine göre birinci iş paketindeki alt işler için hesaplanan işlem süreleri [gün].

		Zaman dilimi no						
		1	2	3	4	5	6	Toplam
İş merkezi	B	1,810	1,834	4,345	3,765	1,591	1,613	14,959
	C		0,902	0,960	4,791	3,631	0,793	11,077
	G			1,671	1,699	4,539	3,882	11,791
	K				2,169	2,171	2,720	7,059
Sütun maks.		1,810	1,834	4,345	4,791	4,539	3,882	21,201

Çizelge 4.28 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en büyüklerine göre tüm iş paketlerinin tamamlanma süreleri [gün].

İş paketi no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tamamlanma süresi [gün]	21,201	20,478	22,335	17,284	20,134	18,972	17,833	21,616	16,122	20,061	20,723
İş paketi no	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Tamamlanma süresi [gün]	19,731	19,564	21,810	18,665	20,257	18,727	20,826	19,811	22,698	24,883	

Çizelge 4.29 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en büyüklerine göre fazla mesai kapasitesi [ton/gün].

İş merkezi	Kapasite
B	11,356
C	4,665
G	9,644
K	2,046

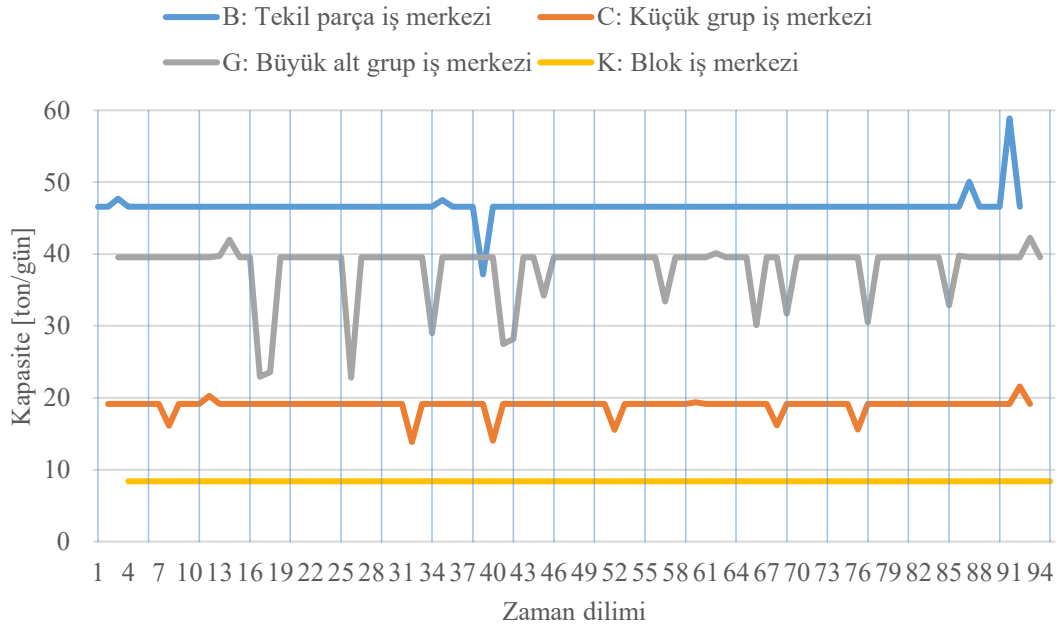
Bu değerler zaman dilimleri boyunca aynıdır. Daha sonra artık iş miktarları belirlenir. Tüm iş paketlerine ait artık iş matrisleri ekte Çizelge A.36’da verilmiştir. Fazla mesai kapasiteleri ile artık iş miktarları kıyaslandıktan sonra tüm iş paketlerine ait tam gün olarak belirlenen işlem süresi matrisleri de ekte Çizelge A.37’de verilmiştir.

İş paketlerinin tamamlanma süreleri her iş paketinin işlem süresi matrisinin sütun vektörlerindeki en büyük değerlerin toplanmasıyla hesaplanır. Bu şekilde elde edilen iş paketi tamamlanma süreleri Çizelge 4.30’da verilmiştir:

Çizelge 4.30 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en büyükleri vasıtasıyla hesaplanan tam gün iş paketi tamamlanma süreleri [gün].

İş paketi no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tamamlanma süresi [gün]	23	21	25	18	22	20	20	23	17	21	22
İş paketi no	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Tamamlanma süresi [gün]	21	21	24	19	22	20	22	21	24	26	

Buna göre iş paketi tamamlanma süreleri toplamı 452 gündür. Bu sonuç değerlendirilecek olursa bazı iş paketleri istenenden daha erken bitmekte olmasına rağmen halen iş paketleri için istenen 22 günlük süre ve toplam tamamlanma süresi olan 462 gün sağlanamamıştır. Bu bakımdan çözüm modelinin son aşamasında detayları açıklandığı şekilde işlem süreleri 22 güne eşit olana kadar kapasiteler ihtiyaca göre artırılır veya azaltılır. Bu işlem sonucunda elde edilen yeni kapasite değerleri ekte Çizelge A.38’de verilmiştir. Kapasite ihtiyacı değerlerinin zaman dilimleri boyunca değişimleri ise Şekil 4.12’de görülmektedir. Hem kapasiteleri hem zaman dilimlerini hem de işlem sürelerini bir arada gösteren grafik ise ekte Şekil B.4’te verilmiştir.



Şekil 4.12 : Optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en büyükleri vasıtasıyla hesaplanan nihai kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.

Şekil incelendiğinde burada yine kapasite miktarlarında değişiklik gereken zaman dilimi sayısının durum 1’e göre azaldığı ve böylece sadece bazı zamanlarda iş gören sayısının değişmesi gerektiği ortaya çıkar. Durum 2’de en son iş paketinde ortaya çıkan pikler burada oldukça düşük seviyededir. Genel anlamda durum 3’e benzer bir

grafik görünümü vardır ancak G'deki değişiklik bir miktar daha artmıştır. Burada da K iş merkezinde kapasite ihtiyacında hiç değişiklik ortaya çıkmamıştır. Yine en fazla değişikliğin G'de ortaya çıktığı diğer iki iş merkezinde ise kısmi değişiklik ihtiyacı doğduğu görülmektedir. G iş merkezindeki değişiklikler genellikle kapasitenin azaltılması yönündedir. En son elde edilen kapasite değerlerine göre hesaplanan işlem sürelerinin tamamı ekte Çizelge A.39'da fazla mesai süreleri ise Çizelge A.40'da verilmiştir.

4.3.5 Durum 5'in incelenmesi

Önceki dört durumda optimizasyondan elde edilen kapasitelerin farklı versiyonları ele alınmıştır. Bu bölümde iş paketleri tespit edildikten sonra kapasitelerin belirlenmesi için daha temel bir yol takip edilerek ortalama kapasiteler hesaplanmış ve bu değerlerin esas alınması durumu incelenmiştir. Bu doğrultuda, öncelikle her bir iş paketinin 22 günde bitmesi hedeflendiğinden iş paketlerinin toplam iş miktarı 22 güne bölünerek iş paketi için ortalama günlük kapasite belirlenebilir (Çizelge 4.31).

Çizelge 4.31 : Birinci iş paketi için ortalama iş paketi kapasitelerinin belirlenmesi.

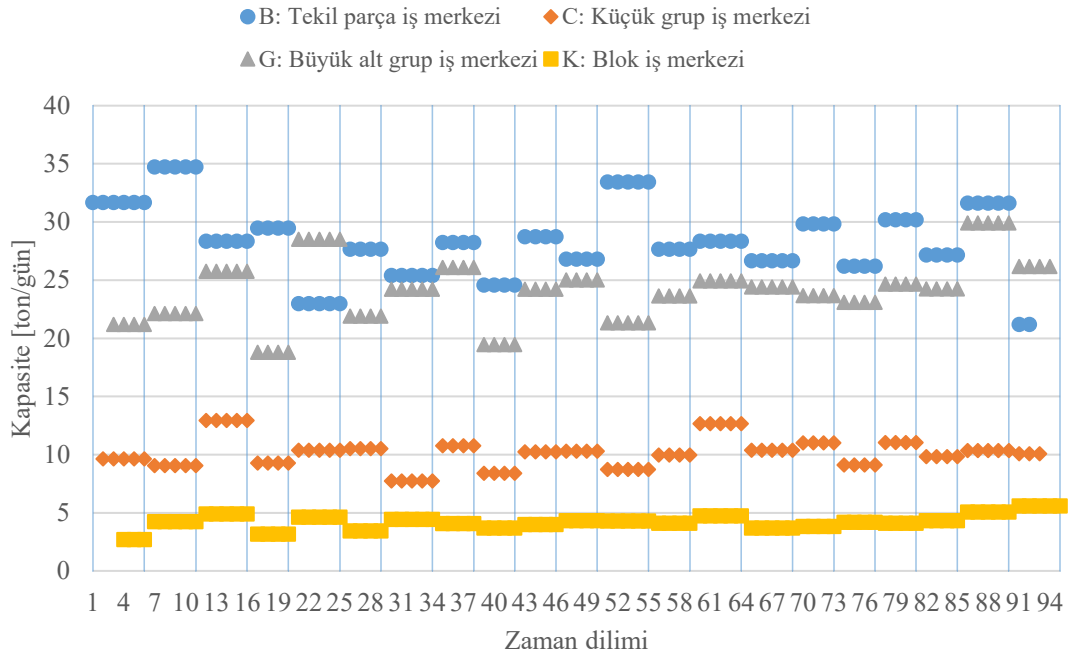
	Zaman dilimi no						Toplam	Toplam/22	
	1	2	3	4	5	6	[ton]	[ton/gün]	
İş merkezi	B	84,318	85,461	202,425	175,415	74,14	75,145	696,904	31,677
	C		17,267	18,365	91,69	69,487	15,183	211,992	9,636
	G			66,118	67,241	179,6	153,58	466,539	21,206
	K				18,2	18,22	22,825	59,245	2,693

Benzer şekilde tüm iş paketleri için hesaplanan ortalama kapasiteler Çizelge 4.32'de verilmiştir:

Çizelge 4.32 : Bütün iş paketleri için ortalama kapasiteler [ton/gün].

	İş paketi no											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
İş merkezi	B	31,677	34,729	28,344	29,495	22,996	27,674	25,415	28,232	24,589	28,734	26,814
	C	9,636	9,055	12,939	9,280	10,386	10,526	7,726	10,769	8,391	10,252	10,298
	G	21,206	22,133	25,766	18,799	28,510	21,922	24,238	26,109	19,473	24,232	25,032
	K	2,693	4,233	4,910	3,173	4,616	3,455	4,423	4,066	3,695	3,989	4,313
	İş paketi no											
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
İş merkezi	B	33,441	27,660	28,351	26,680	29,831	26,208	30,185	27,160	31,637	21,200	
	C	8,725	9,973	12,660	10,369	11,011	9,125	11,034	9,828	10,362	10,074	
	G	21,329	23,648	24,934	24,421	23,669	23,103	24,666	24,239	29,935	26,177	
	K	4,295	4,114	4,735	3,701	3,829	4,187	4,112	4,323	5,058	5,591	

Her bir alt işe tahsis edilmesi gereken kapasiteler bu aşamada doğrudan bilinemeyeceğinden her bir iş paketi için belirlenen kapasitenin iş paketi içinde sabit kabul edilmesi vasıtasıyla tüm alt işlere ait kapasiteler belirlenir. Yukarıdaki çizelge doğrultusunda tüm alt işlere ait kapasite matrisi ekte Çizelge A.41’de verilmiştir. Bu kabul doğrultusunda her bir zaman dilimine göre kapasitelerin değişimi Şekil 4.13’te görülmektedir. Grafikteki dikey çizgiler iş paketlerinin sınırlarını belirtmektedir. Görüldüğü üzere bir iş paketi içinde zaman dilimleri boyunca kapasite sabittir.



Şekil 4.13 : Ortalama iş paketi kapasitelerine göre alt işler için belirlenen kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.

Alt işlerin süreleri, iş miktarının kapasite değerine bölünmesiyle hesaplanır. Birinci iş paketindeki alt işlerin süreleri hesabı Çizelge 4.33’te elde edilen değerler ise Çizelge 4.34’te gösterilmiştir.

Tüm alt işlere ait işlem süresi matrisi ekte Çizelge A.42’de verilmiştir. İşlem sürelerinin hesaplanmasının ardından iş paketindeki her sütunun en büyük değerleri toplanarak ilgili iş paketinin tamamlanma süresi hesaplanır. Birinci iş paketi için bu prosedür yukarıdaki Çizelge 4.34’te gösterilmiştir. Görüldüğü üzere her satırın ayrı ayrı işlem süreleri toplamı 22 gün olsa da iş paketi tamamlanma süresi 38,210 gün olarak belirlenmiştir. Benzer işlem tüm iş paketlerine uygulandığında elde edilen tamamlanma süreleri Çizelge 4.35’te görüldüğü gibi elde edilir.

Çizelge 4.33 : Ortalama iş paketi kapasitelerine göre birinci iş paketindeki alt işler için işlem sürelerinin hesaplanması $\left(\frac{\text{İş miktarı}}{\text{Kapasite}}\right)$.

		Zaman dilimi no					
		1	2	3	4	5	6
İş merkezi	B	85,461 31,677	202,425 31,677	175,415 31,677	74,14 31,677	75,145 31,677	85,461 31,677
	C		17,267 9,636	18,365 9,636	91,69 9,636	69,487 9,636	15,183 9,636
	G			66,118 21,206	67,241 21,206	179,6 21,206	153,58 21,206
	K				18,2 2,693	18,22 2,693	22,825 2,693

Çizelge 4.34 : Ortalama iş paketi kapasitelerine göre birinci iş paketindeki alt işlerin işlem süreleri [gün].

		Zaman dilimi no						Toplam
		1	2	3	4	5	6	
İş merkezi	B	2,662	2,698	6,390	5,538	2,340	2,372	22
	C		1,792	1,906	9,515	7,211	1,576	22
	G			3,118	3,171	8,469	7,242	22
	K				6,758	6,766	8,476	22
	Sütun maks.	2,662	2,698	6,390	9,515	8,469	8,476	38,210

Çizelge 4.35 : Ortalama iş paketi kapasitelerine göre tüm iş paketlerinin tamamlanma süreleri [gün].

İş paketi no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tamamlanma süresi [gün]	38,210	34,060	34,137	33,434	32,373	33,698	34,025	35,022	33,305	33,981	35,132
İş paketi no	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Tamamlanma süresi [gün]	34,904	34,103	34,121	31,678	33,667	34,240	33,852	34,393	34,073	43,599	

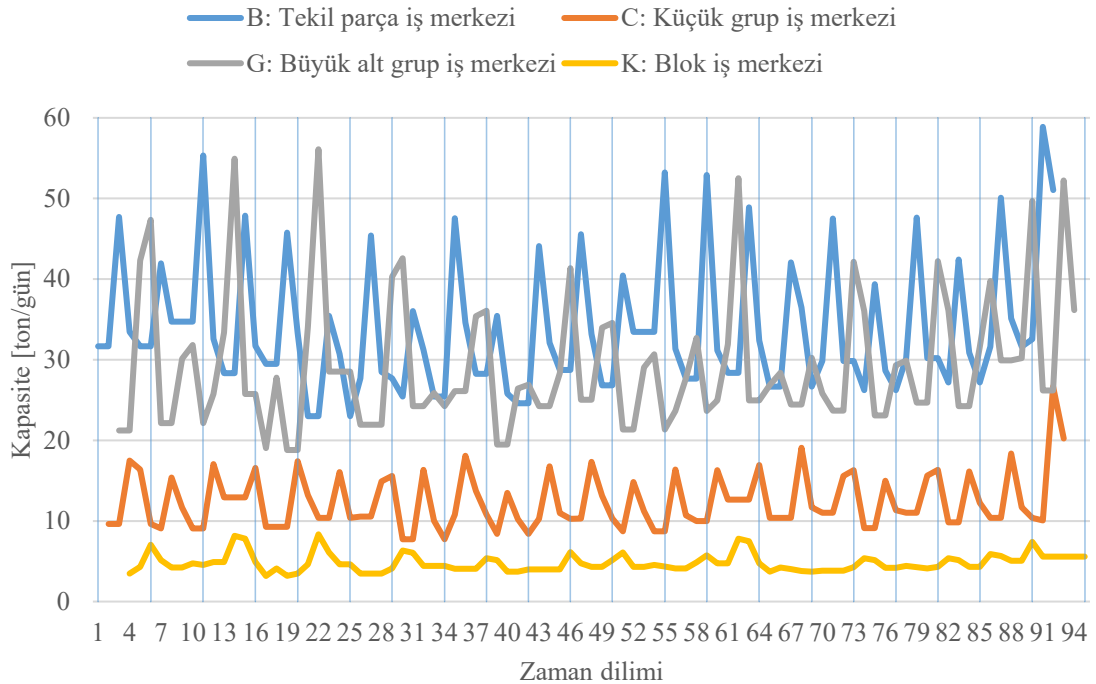
Buradaki işlem süreleri toplamı 726,009 gün etmektedir. İş paketi işlem sürelerinin 22 gün projenin tamamlanma süresinin 462 gün olması gerektiğinden yukarıda hesaplanan kapasiteler hiyerarşik modelin son aşamasındaki işleme tabi tutularak işlem sürelerinin istenen değere gelmesi sağlanır. Bu doğrultuda hesaplanan fazla mesai kapasiteleri ekte Çizelge A.43'te verilmiştir. İşlem sürelerinin ondalık kısımları ile normal mesai kapasiteleri çarpılarak hesaplanan artık iş miktarları matrisi ise ekte Çizelge A.44'te verilmiştir. Fazla mesai kapasiteleri ile artık iş miktarları kıyaslanmasının ardından belirlenen tam gün işlem süreleri ekte Çizelge A.45'te

verilmiştir. En son hesaplanan işlem sürelerine göre iş paketlerinin tamamlanma süreleri Çizelge 4.36’da verilmiştir.

Çizelge 4.36 : Ortalama iş paketi kapasiteleri vasıtasıyla hesaplanan tam gün iş paketi tamamlanma süreleri [gün].

İş paketi no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tamamlanma süresi [gün]	41	34	35	35	34	35	35	36	34	34	36
İş paketi no	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Tamamlanma süresi [gün]	35	36	35	33	36	35	36	35	36	44	

Çizelge 4.36’da verilen iş paketi tamamlanma süreleri toplamı 750 gündür. Bu sonuç değerlendirilecek olursa halen hem iş paketleri için istenen 22’şer günlük süre hem de toplam tamamlanma süresi olan 462 gün sağlanamamıştır. Bu bakımdan çözüm modelinin son aşamasında detayları açıklandığı şekilde işlem süreleri 22 güne eşit olana kadar kapasiteler artırılmalıdır. Bu işlem sonucunda elde edilen nihai kapasite değerleri ekte Çizelge A.46’da verilmiştir. Kapasite değişimleri ise Şekil 4.14’te görülmektedir. Hem kapasiteleri hem zaman dilimlerini hem de işlem sürelerini bir arada gösteren grafik ise ekte Şekil B.5’te verilmiştir.



Şekil 4.14 : Ortalama iş paketi kapasiteleri vasıtasıyla hesaplanan nihai kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.

Şekilden kapasite miktarlarındaki varyasyonun oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Hatta öyle ki sadece kapasite ihtiyacı dikkate alınırsa doğrudan optimizasyondan

hesaplanan kapasite değerlerinden daha kötü bir görünüm ortaya çıkmıştır. Bu durum çok sık olarak iş gören sayısının değişmesi gerektiğini gösterir. Hâlbuki imalat yerlerindeki kapasitenin zaman içinde en az değişmesi istenmektedir. Öte yandan K iş merkezindeki değişim miktarı burada tamamlanması gereken iş miktarının az olmasında dolayı diğerlerine kıyasla daha düşüktür. En son elde edilen kapasite değerlerine göre hesaplanan nihai işlem sürelerinin tamamı ekte Çizelge A.47’de fazla mesai süreleri ise Çizelge A.48’de verilmiştir.

4.3.6 Durum 6’nın incelenmesi

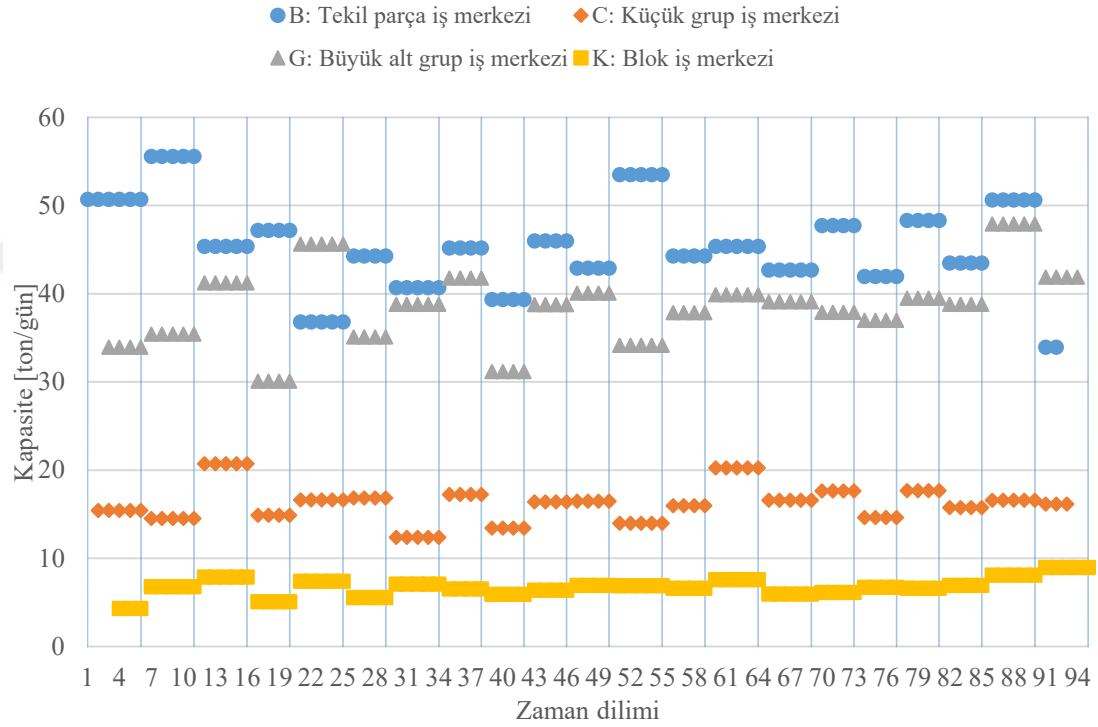
Durum 5’te her iş paketi için hesaplanan ortalama kapasitelerin doğrudan alt iş kapasitesi olarak alınması hali incelenmişti. Bu bölümde ise daha en başta ideal iş paketi tamamlanma süresine yaklaşmak için ortalama kapasitelerin bir katsayı ile çarpılarak arttırılmasıyla ortaya çıkan kapasite değerlerinin esas alınması durumu incelenmiştir. Bunun için Çizelge 4.35’e bakılacak olursa iş paketi tamamlanma sürelerinin 31-44 gün arasında değiştiği görülmektedir. Bunların aritmetik ortalaması alındığında yaklaşık 34,6 elde edilir. Bu değer ortalama iş paketleri için istenen tamamlanma süresi olan 22’ye bölünürse $\frac{34,6}{22} = 1,6$ bulunur. Buradan yukarıda hesaplanan kapasitelerin %60 oranında arttırılması gerektiği sonucu çıkarılabilir. Bu doğrultuda tüm iş paketleri için hesaplanan ve Çizelge 4.32’de verilen ortalama kapasiteler 1,6 ile çarpılırsa yeni kapasiteler Çizelge 4.37’deki gibi belirlenir.

Çizelge 4.37 : Bütün iş paketlerinin arttırılmış ortalama iş paketi kapasiteleri [ton/gün].

		İş paketi no										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
İş merkezi	B	50,684	55,567	45,350	47,191	36,793	44,278	40,664	45,171	39,343	45,975	42,902
	C	15,418	14,488	20,702	14,848	16,618	16,841	12,362	17,230	13,425	16,403	16,477
	G	33,930	35,413	41,225	30,079	45,615	35,075	38,781	41,775	31,157	38,771	40,051
	K	4,309	6,773	7,856	5,076	7,386	5,529	7,078	6,505	5,912	6,382	6,901
		İş paketi no										
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
İş merkezi	B	53,505	44,256	45,361	42,688	47,729	41,933	48,296	43,457	50,620	33,920	
	C	13,960	15,957	20,256	16,590	17,618	14,600	17,654	15,725	16,579	16,118	
	G	34,127	37,836	39,894	39,074	37,871	36,965	39,466	38,782	47,896	41,883	
	K	6,873	6,582	7,576	5,921	6,126	6,700	6,580	6,916	8,092	8,946	

Durum 5’te olduğu gibi burada da her bir alt işe tahsis edilmesi gereken kapasiteler bu aşamada doğrudan bilinemeyeceğinden her bir iş paketi için belirlenen kapasitenin iş

paketi içinde sabit kabul edilmesi vasıtasıyla tüm alt işlere ait kapasiteler tespit edilir. Yukarıdaki çizelge doğrultusunda tüm alt işlere ait kapasite matrisi ekte Çizelge A.49’da verilmiştir. Bu kabul doğrultusunda her bir zaman dilimine göre kapasitelerin değişimi Şekil 4.15’te görülmektedir. Grafikteki dikey çizgiler iş paketlerinin sınırlarını belirtmektedir. Görüldüğü üzere bir iş paketi içinde zaman dilimleri boyunca kapasite sabittir.



Şekil 4.15 : Arttırılmış ortalama iş paketi kapasitelerine göre alt işler için belirlenen kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.

Durum 5’in incelenmesinde takip edilen işlem adımlarının benzeri ile yeni kapasite değerlerine göre işlem süreleri hesaplanır. Buna göre birinci iş paketi için bu hesaplama Çizelge 4.38’de elde edilen değerler ise Çizelge 4.39’da görülmektedir.

Tüm alt işlere ait işlem süresi matrisi ekte Çizelge A.50’de verilmiştir. Her sütunun en büyük değeri alınıp iş paketinin tamamlanma süresi hesaplanır. Birinci iş paketi için bu prosedür Çizelge 4.39’da gösterilmiştir. Bu kez birinci iş paketi için her satırın ayrı ayrı işlem süreleri toplamı 13,750 gün; iş paketi tamamlanma süresi ise 23,881 gün olarak belirlenmiştir. Benzer işlem tüm iş paketlerine yapılacak olursa tüm iş paketlerinin tamamlanma süreleri Çizelge 4.40’ta görüldüğü gibi elde edilir.

Çizelge 4.38 : Arttırılmış ortalama iş paketi kapasitelerine göre birinci iş paketindeki alt işler için işlem sürelerinin hesaplanması $\left(\frac{\text{İş miktarı}}{\text{Kapasite}}\right)$.

		Zaman dilimi no					
		1	2	3	4	5	6
İş merkezi	B	84,318	85,461	202,425	175,415	74,14	75,145
		50,684	50,684	50,684	50,684	50,684	50,684
	C		17,267	18,365	91,69	69,487	15,183
			15,418	15,418	15,418	15,418	15,418
	G			66,118	67,241	179,6	153,58
				33,930	33,930	33,930	33,930
	K				18,2	18,22	22,825
					4,309	4,309	4,309

Çizelge 4.39 : Arttırılmış ortalama iş paketi kapasitelerine göre birinci iş paketindeki alt işlerin işlem süreleri [gün].

		Zaman dilimi no						Toplam
		1	2	3	4	5	6	
İş merkezi	B	1,664	1,686	3,994	3,461	1,463	1,483	13,750
	C		1,120	1,191	5,947	4,507	0,985	13,750
	G			1,949	1,982	5,293	4,526	13,750
	K				4,224	4,229	5,297	13,750
Sütun maks.		1,664	1,686	3,994	5,947	5,293	5,297	23,881

Çizelge 4.40 : Arttırılmış ortalama iş paketi kapasitelerine göre tüm iş paketlerinin tamamlanma süreleri [gün].

İş paketi no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tamamlanma süresi [gün]	23,881	21,288	21,336	20,896	20,233	21,061	21,266	21,889	20,816	21,238	21,957
İş paketi no	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Tamamlanma süresi [gün]	21,815	21,314	21,326	19,799	21,042	21,400	21,158	21,496	21,296	27,249	

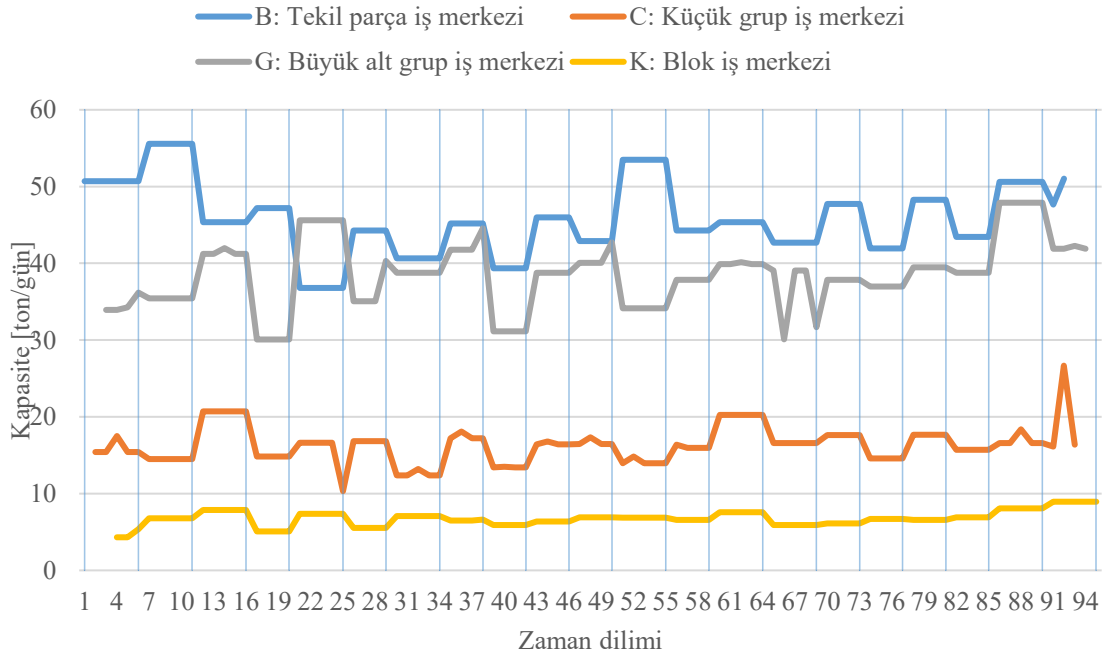
Dikkat edilirse işlem süreleri 22 güne oldukça yaklaşmıştır. İşlem süreleri toplamı ise 453,756 gün etmektedir. Bu değer de hedef değer olan 462 güne oldukça yakındır. Burada yine hiyerarşik modelin son aşamasındaki işlem gerçekleştirilerek işlem sürelerinin istenen değere gelmesi sağlanmalıdır. Bu doğrultuda hesaplanan fazla mesai kapasitelerinin tamamı ekte Çizelge A.51’de verilmiştir. Artık iş miktarları matrisi ise ekte Çizelge A.52’de verilmiştir. Fazla mesai kapasiteleri ile artık iş miktarları kıyaslanmasının ardından belirlenen tam gün işlem süreleri ekte Çizelge

A.53'te verilmiştir. En son hesaplanan işlem sürelerine göre iş paketlerinin tamamlanma süreleri Çizelge 4.41'de verilmiştir:

Çizelge 4.41 : Arttırılmış ortalama iş paketi kapasiteleri vasıtasıyla hesaplanan tam gün iş paketi tamamlanma süreleri [gün].

İş paketi no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tamamlanma süresi [gün]	26	22	23	22	20	23	23	24	23	23	24
İş paketi no	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Tamamlanma süresi [gün]	23	23	23	20	22	22	22	22	23	29	

Yukarıda verilen iş paketi tamamlanma süreleri toplamı 482 gündür. Bu sonuç değerlendirilecek olursa halen hem iş paketleri için istenen 22 günlük süre hem de toplam tamamlanma süresi olan 462 gün sağlanamamıştır. Bu bakımdan çözüm modelinin son aşamasında detayları açıklandığı şekilde işlem süreleri 22 güne eşit olana kadar kapasiteler gerekli olan yerlerde artırılmalı veya azaltılmalıdır. Bu işlem sonucunda elde edilen nihai kapasite değerleri ekte Çizelge A.54'te verilmiştir. Kapasite değişimleri ise Şekil 4.16'da görülmektedir. Hem kapasiteleri hem zaman dilimlerini hem de işlem sürelerini bir arada gösteren grafik ise ekte Şekil B.6'da verilmiştir.



Şekil 4.16 : Arttırılmış ortalama iş paketi kapasiteleri vasıtasıyla hesaplanan nihai kapasitelerin zaman dilimleri boyunca değişimi.

Şekilden kapasite miktarlarındaki varyasyonun durum 5'e göre göre az ama yine de yüksek olduğu görülmektedir. K iş merkezindeki değişim miktarı burada da en düşük

seviyededir. B ve G iş merkezlerindeki değişiklik ise durum 5 hariç diğerlerinden daha fazladır. Bu durum yine sıklıkla kaynak miktarının değişmesi gerektiğini gösterir ve iş merkezlerinde kapasitenin zaman içinde en az değişmesi istemi ile çatışan bir sonuç ortaya çıkmıştır. En son elde edilen kapasite değerlerine göre hesaplanan işlem sürelerinin tamamı ekte Çizelge A.55'te fazla mesai süreleri ise Çizelge A.56'da verilmiştir.



5. SONUÇLAR

Gemilerin üretiminde pek çok faaliyet bir arada gerçekleştirilmektedir. Gemi projelerinin idaresinde karşılaşılan karmaşıklık ve belirsizlikler planlamada çeşitli zorluklara sebep olmaktadır. Özellikle yeni gemi projelerinin teklif aşamasında elde oldukça kısıtlı bilgi mevcuttur. Bununla birlikte, proje tipi bir üretim şekli olan gemi inşasında çoğu zaman teklif hazırlanıp üretime başlandığında bile elde tam anlamıyla tamamlanmış bir tasarım olmayabilir. Bu gibi durumlarda bu yeni teklifin üretim istasyonlarına getireceği iş yükünün doğru ve kesin bir şekilde tespit edilmesi oldukça güçtür. Öte yandan kapasite ihtiyaçlarının belirlenmesi ise projenin istenilen tarihte teslim edilip edilemeyeceğinin belirlenmesi için mecburidir.

Üretimin dinamiklerine uygun bir planın hazırlanması oldukça önemlidir. Yapılan planlama üretimin ihtiyaçlarını karşılamazsa bu plana uyulması mümkün olmayacaktır. Bu durumda üretim kendi halinde ilerler. Bu olumsuzluklar ayrıca verimi düşürür ve israfları artırır. Bu faktörler, zamanında teslim performansı ve maliyetler üzerinde olumsuz bir tesire sahiptir. Ayrıca, genellikle her siparişin farklı tipte veya ebatta bir gemi olması sebebiyle inşa edilen bloklar da birbirinden farklıdır. Bunun yanı sıra emek yoğun bir üretim faaliyeti olması sebebiyle gemi üretimde performans iş gücü kaynağı insan olduğu için çok fazla değişkenlik göstermektedir. Bahsedilen etkenler kapasite ihtiyacının sürekli değişmesine sebep olmaktadır.

Yukarıda bahsedilen sebeplerle gemi projelerinin planlanmasında planlamacıya yardımcı olacak bir araca ve muhtelif planların birbiri ile kıyaslanıp hangisinin daha uygun olduğunun belirlenebilmesi için bir ölçüte ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tezde gemi bloklarının boya öncesine kadarki çelik konstrüksiyon imalatında kritik iş merkezi olarak belirlenen yerlerde kapasite ihtiyaçlarının en uygun biçimde belirlenebilmesi için dört aşamalı hiyerarşik bir çözüm modeli önerilmiştir. Bu model özellikle tamamlanmamış tasarımdan dolayı kısıtlı bilgi ortamında istenen teslim süresini gerçekleştirmeyi ana hedef olarak bir temel plan hazırlanması sağlayan bir karar destek sistemidir. Ayrıca önerilen model ile üretimin başlamasının ardından temel plandan sapma olması durumunda geri kalan işlerin istenen teslim zamanında bitirilebilmesi

için iş merkezlerinin ihtiyaç duyduğu yeni kapasite değerleri hesaplanabilir. Dolayısıyla geliştirilen model her planlama devrinin sonunda yapılan kontroller ile elde edilen mevcut durum bilgisi doğrultusunda tekrar koşturulup, proje sürecindeki belirsizliklerden doğan aksamaların etkisini azaltacak şekilde yeni uygun bir plan hesaplanması için dinamik bir planlama aracı olarak kullanılabilir.

Tezde blokların iş merkezlerinde tamamlanması gereken iş yükleri birer alt iş olarak tanımlanıp bunlar gruplandırılarak bir planlama devrinde tamamlanacak şekilde iş paketleri oluşturulmuştur. Model içinde dört aşama bulunmaktadır. İkinci ve üçüncü aşamalarda stokastik aramaya dayalı metasezgisel algoritmalar kullanılmıştır. Çözüm modelinde alt işlerin iş merkezlerinde ardışık olarak yani önceki iş merkezindeki tüm faaliyetinin tamamlanmasından sonra peşindeki iş merkezinde işlem görmeye başlaması (finish-to-start) kabulünden dolayı işlem süresi dengesi ve kapasite değişikliğini azaltmak olmak üzere birbiri ile çelişen iki temel gaye bulunmaktadır. Her iki faktör açısından da uygun bir çözüm bulabilmek için altı farklı durum incelenerek birbirleri ile mukayeseleri yapılmıştır. Hangi planın daha uygun olduğunun belirlenebilmesi için kapasite tahsis performansı olarak isimlendirilen bir ölçüt tanımlanmıştır. Diğerlerine nazaran daha iyi sonuç verdiği düşünüldüğünden kapasite optimizasyonu metodolojisi bölümünde verilen çözüm modelinde optimizasyondan elde edilen en küçük kapasitelerin kullanıldığı durum 2 esas alınmıştır.

Kapasite tahsis performansı nihai kapasitelerin standart sapmaları, fazla mesai süreleri, zaman dilimlerindeki işlem sürelerinin standart sapmasının aritmetik ortalaması ve toplam aylak sürelerin çarpılması ile hesaplanmaktadır. Tüm bu bahsedilen faktörler birer maliyet kriteridir. Dolayısıyla kapasite tahsis performansının daha düşük olması istenmektedir.

İlerleyen kısımlarda optimizasyondan elde edilen kapasitelerin esas alınması ve ortalama hesaplama bulunan kapasitelerin esas alınması durumlarında kapasite tahsis performansları hesaplanmıştır. Ayrıca ilk ve son iş paketlerinin kapasite tahsis performansı hesabının dışında tutulması ve tüm iş paketlerinin hesaplara dâhil edilmesi ile belirlenen değerler birbirleri ile kıyaslanmıştır. Buna göre kapasitedeki varyasyonun ölçüsü olarak iş merkezlerinde zaman dilimleri boyunca belirlenen kapasitelerin standart sapması hesaplanarak Çizelge 5.1'deki değerler elde edilmiştir. Çizelgedeki toplam değerler iş merkezlerindeki standart sapma değerlerinin kareleri

toplamının karekökü alınarak bulunmuştur. Bu kıstasa göre kapasite ihtiyacında en az değişiklik durum 3'te yani nihai planın optimizasyon ile hesaplanan kapasitelerin aritmetik ortalamasına göre oluşturulmasıyla ortaya çıkmıştır. Öte yandan en fazla değişiklik ise durum 5'te yani nihai planın ortalama iş paketi kapasitelerine göre oluşturulmasıyla ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.1 : Nihai kapasitelerin standart sapmaları.

		Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6
İş merkezi	B	3,915	3,876	1,868	1,659	8,275	4,665
	C	2,712	2,488	1,192	1,045	3,433	2,371
	G	3,924	1,301	3,219	3,895	8,366	4,388
	K	1,200	0,461	0,000	0,000	1,107	0,962
Toplam		6,287	4,809	3,908	4,361	12,308	6,896

Fazla mesai değerlerinin iş merkezi bazında genel toplamları ise Çizelge 5.2'de verilmiştir. Buna göre toplamda en az fazla mesai süresi durum 1'de yani nihai planın doğrudan optimizasyon ile hesaplanan kapasitelere göre oluşturulmasıyla elde edildiği görülmektedir. En çok fazla mesai süresi ise durum 5'te yani nihai planın ortalama iş paketi kapasitelerine göre oluşturulmasında ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara göre çözüm modelinin dördüncü aşamasında iş paketi tamamlanma süresi 22 güne eşitlenmeden önce düşük kapasite değerleri esas alındığında fazla mesai süresinin daha çok, yüksek kapasite değerleri esas alındığında ise daha az olduğu görülmektedir. Bu yargı sezgisel olarak da mantıklıdır. Normal mesaide daha fazla kapasitenin tahsis edilmesi daha az fazla mesai gerektirecektir. Bu bakımdan normal mesai kapasitesi ile fazla mesai kapasitesi arasında ters orantı olduğu söylenebilir.

Çizelge 5.2 : Fazla mesai süreleri [saat].

		Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6
İş merkezi	B	45,1	43,7	48,3	57,7	137,6	53,1
	C	35,8	87,1	72,7	48,5	152,1	71,7
	G	38,0	57,2	36,4	27,1	166,4	45,0
	K	46,9	85,9	43,7	40,8	146,3	36,8
Toplam		165,7	274,0	201,1	174,0	602,4	206,5

En son elde edilen tam gün işlem sürelerinin zaman dilimleri boyunca değişimi ekte Şekil B.7'de verilmiştir. Buna göre durum 1'de işlem sürelerinin genellikle 1-6 gün arasında değiştiği söylenebilir. G iş merkezinde sadece bir zaman diliminde 7 gün değeri ortaya çıkmıştır. Durum 2'de genellikle 2-5 gün arasında değiştiği ancak bazı

yerlerde 1 güne kadar düştüğü ve 6 güne kadar çıktığı görülmektedir. Ayrıca C iş merkezinde bir kere 8 bir kere de 7 gün değerleri ortaya çıkmıştır. Durum 3'te genellikle 1-6 gün arasında hesaplanmıştır. Ayrıca C iş merkezinde iki kere 7 gün değeri ortaya çıkmıştır. Durum 4'te 1 gün ile 6 gün arasında değiştiği görülmektedir. Durum 5'teki işlem süreleri ise 1 gün ile 7 gün arasında hesaplanmıştır. Durum 6'da 1 gün ile 7 gün arasında değiştiği görülmektedir. C iş merkezinde bir zaman diliminde 8 gün değeri ortaya çıkmıştır.

İdeal durumda bir sütundaki yani her zaman dilimi içindeki işlem sürelerinin birbirine eşit olması istenmektedir. Bahsedilen ideal duruma yakınlığın bir ölçüsü olarak her durumda işlem süresi matrisinin sütunlarının standart sapması hesaplanarak bunların toplamı ve aritmetik ortalaması Çizelge 5.3'te verilmiştir. Buradaki toplam standart sapma her bir standart sapma değerinin kareleri toplamının karekökü alınarak hesaplanmıştır. Aritmetik ortalama hesaplanırken ise ilk ve son sütunlarda tek değer bulunduğundan bunlar hariç tutulmuştur.

Çizelge 5.3 : Tam gün nihai işlem sürelerine göre her bir zaman diliminin standart sapması toplamı ve aritmetik ortalaması.

	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6
Standart sapmaların toplamı	11,653	12,494	12,633	12,935	9,525	12,423
Standart sapmaların ortalaması	1,161	1,237	1,272	1,311	0,942	1,255

Çizelgede verilen değerlere göre işlem süresi bakımından en iyi sonuç durum 5'te ortaya çıkmıştır. Onun ardından ise durum 1 gelmektedir. Burada göze çarpan sonuca göre dördüncü aşamanın başında yüksek kapasite değeri esas alınırsa işlem sürelerindeki düzensizlik artmaktadır. Bu bakımdan kapasite miktarı ile işlem süresi düzensizliği arasında doğru orantı olduğu söylenebilir. Yani dördüncü aşamada hesabın başında esas alınan kapasite değerleri yüksek ise iş paketi tamamlanma süresi eşitleme işleminin ardından elde edilen nihai işlem süreleri ideal durumdan daha uzaktır. Öte yandan bu genellemenin aksine bir sonuç durum 1 ile durum 2 arasında görülmektedir. Durum 2'de her iş merkezi için durum 1'de esas alınan kapasitelerin en küçükleri esas alınmasına rağmen durum 1 durum 2'den daha iyi görünmektedir. Bunun sebebi ise durum 1'de doğrudan optimizasyondan elde edilen kapasite değerlerinin kullanılmasıdır. Çünkü optimizasyondaki amaç fonksiyonlarından birisi işlem sürelerinin düzensizliğini azaltma yönünde çalışmaktadır ve optimizasyon

sonunda her bir zaman dilimi için farklı ama işlem süresi düzensizliğini azaltacak kapasite değerleri elde edilmiştir. Esasen optimizasyon neticesinde hem kapasite hem de işlem süresi düzensizliklerini oldukça düşüren bir sonuç elde edilmiştir. Ancak stokastik arama temeline dayanan algorithmadan elde edilen bu sonuç daha sonra dördüncü aşama ile deterministik olarak uzman tercihlerine yaklaştırılmıştır.

Aylak süreler incelendiğinde en iyi sonuç durum 5’te ortaya çıkmıştır (Çizelge 5.4). Bunun ardından durum 2 gelmektedir. Aylak süreler dördüncü aşamada düşük kapasitelerin esas alındığı durumlarda daha azdır. Dikkat edilirse genel anlamda hesaplamada esas alınan en düşük kapasiteler durum 5’tedir. Hesaplamada esas alınan kapasite arttıkça aylak süre de artmıştır. Bu bakımdan kapasite ile ayak süre arasında doğru orantı olduğu sonucu çıkmaktadır. Yani normal mesai kapasitesi yüksek tanımlanırsa aylak süre miktarı da daha fazla olacaktır.

Çizelge 5.4 : İş merkezlerindeki aylak süreler [gün].

		Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6
İş merkezi	B	144	141	144	151	64	144
	C	168	136	168	191	104	148
	G	137	153	141	138	85	148
	K	141	80	148	203	42	144
	Toplam	590	510	601	683	295	584

Yukarıda belirlenen, kapasite standart sapmaları, fazla mesai süreleri, zaman dilimlerindeki işlem sürelerinin standart sapmasının aritmetik ortalaması ve aylak sürelerin tümünün çarpılmasıyla kapasite tahsis performansı indeksi elde edilir. Çizelge 5.5’te her durum için bu indeks değeri görülmektedir.

Çizelge 5.5 : Her bir durumun kapasite tahsis performansları.

Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6
713592	831276	600798	679452	2060371	1043696

İlk dört durumda optimizasyondan elde edilen, son iki durumda ise doğrudan ortalama kapasite hesaplama ile elde edilen kapasite değerleri esas alınmıştır. Optimizasyondan elde edilen kapasite değerlerinin kullanıldığı durumlar bariz bir şekilde ortalama hesaptan elde edilen durumlardan daha iyi kapasite tahsis performansı değerine sahiptir. Bunların içinden en iyisi ise optimizasyondan elde edilen kapasitelerin aritmetik ortalamasının esas alındığı durum 3’tür.

Bilindiği üzere proje planının başında ve sonundaki basamaklı yapıdan dolayı bir düzensizlik söz konusudur. Planlanan projenin iş merkezlerine tam yüklenmesi durumunu daha iyi yansıtacağı düşüncesi ile birinci ve sonuncu iş paketlerinin kapasite tahsis performansı hesabı dışında tutulduğu durum aşağıda incelenmiştir. Buna göre iş merkezlerinde zaman dilimleri boyunca belirlenen kapasitelerin standart sapması Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6 : İlk ve son iş paketleri hariç nihai kapasitelerin standart sapmaları.

		Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6
İş merkezi	B	0,853	0,000	1,261	1,099	7,824	4,649
	C	1,990	1,456	0,690	1,052	2,977	2,196
	G	3,957	0,995	3,326	4,031	7,870	4,442
	K	1,208	0,362	0,000	0,000	1,104	0,750
	Toplam	4,67	1,8	3,623	4,309	11,543	6,836

Bu kıstasa göre kapasite ihtiyacında en az değişiklik durum 2’de yani nihai planın optimizasyon ile hesaplanan en küçük kapasitelere göre oluşturulmasında ortaya çıkmıştır. Öte yandan en fazla değişiklik ise durum 5’te yani nihai planın ortalama iş paketi kapasitelerine göre oluşturulmasında ortaya çıkmıştır.

Fazla mesai değerlerinin iş merkezi bazında genel toplamları Çizelge 5.7’de verilmiştir. Buna göre toplamda en az fazla mesai süresi durum 1’de yani nihai planın doğrudan optimizasyon ile hesaplanan kapasitelere göre oluşturulmasıyla elde edildiği görülmektedir. En çok fazla mesai süresi ise durum 5’te yani nihai planın ortalama iş paketi kapasitelerine göre oluşturulmasında ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara göre de çözüm modelinin dördüncü aşamasında düşük kapasite değerleri esas alındığında fazla mesai süresinin daha çok, yüksek kapasite değerleri esas alındığında ise daha az olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.7 : İlk ve son iş paketleri hariç fazla mesai süreleri [saat].

		Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6
İş merkezi	B	39,1	37,7	39,3	51,7	125,6	47,1
	C	30,4	78,5	64,4	43,2	140,1	58,8
	G	31,7	50,9	30,7	22,2	147,3	36,0
	K	38,8	71,8	40,8	34,0	135,1	26,2
	Toplam	140	238,9	175,2	151	548,1	168,1

Her durumda işlem süresi matrisinin sütunlarının standart sapması hesaplanarak bunların toplamı ve aritmetik ortalaması Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8 : İlk ve son iş paketleri hariç tam gün nihai işlem sürelerine göre her bir zaman diliminin standart sapması toplamı ve aritmetik ortalaması.

	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6
Standart sapmaların toplamı	11,377	12,240	12,303	12,522	9,394	12,003
Standart sapmaların ortalaması	1,208	1,293	1,312	1,340	0,996	1,278

Çizelgedeki değerlere göre işlem süresi bakımından en iyi sonuç durum 5’te ortaya çıkmıştır. Onun ardından ise durum 1 gelmektedir. Çözüm modelinin dördüncü aşamasında yüksek kapasite değerinin esas alınması durumunda genel anlamda işlem sürelerindeki düzensizliğin arttığı bu sonuçlarda da görülmektedir.

İş merkezi bazında her durum için aylak süreler Çizelge 5.9’da verildiği biçimde elde edilmiştir. Bu değerler ilgili projeye atanan kaynakların diğer projelere tahsis edilebileceği süreleri yansıtmaktadır.

Çizelge 5.9 : İlk ve son iş paketleri hariç iş merkezlerindeki aylak süreler [gün].

		Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6
İş merkezi	B	139	136	138	145	63	138
	C	160	129	158	180	99	138
	G	129	145	132	128	80	138
	K	137	77	142	190	42	135
	Toplam	565	487	570	643	284	549

Aylak süreler göre en iyi sonuç durum 5’te ortaya çıkmıştır. Bunun ardından durum 2 gelmektedir. Dördüncü aşamada düşük kapasitelerin esas alındığı durumlarda aylak sürelerin daha az olduğu bu sonuçlarda da görülmektedir.

İlk ve son iş paketinin hariç tutulduğu durumdaki kapasite tahsis performansı değerleri Çizelge 5.10’da görülmektedir.

Çizelge 5.10 : İlk ve son iş paketleri hariç her durumdaki kapasite tahsis performansı.

Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6
446300	270736	474549	560793	1789690	806513

Burada yine optimizasyondan elde edilen kapasitelerin esas alındığı durumların doğrudan ortalama kapasite hesaplama ile elde edilen kapasite değerlerinin esas alındığı durumlara nazaran daha iyi değerler verdiği görülmektedir. Bu kez en iyi

kapasite tahsis performansı durum 2’de yani optimizasyondan elde edilen kapasitelerin en küçüklerinin esas alınmasıyla elde edilmiştir.

Tüm iş paketlerin hesaplamaya dâhil edildiği hal ile ilk ve son iş paketlerinin hariçte tutulduğu halde elde edilen indeks değerleri birbirleri ile kıyaslandığında ise en fazla iyileşmenin durum 2’de gerçekleştiği görülmektedir (Çizelge 5.11). Bu bakımdan çözüm modelinde dördüncü aşamada durum 2 esas alınmıştır.

Çizelge 5.11 : İlk ve son iş paketlerinin hariçte tutulması halinde kapasite tahsis oranındaki iyileşme oranı.

Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6
%37	%67	%21	%17	%13	%23

Bu tezde geliştirilen çözüm modeli, gemi projelerinde ürün ile alakalı bilginin kısıtlı olduğu durumda istenen temin süresine göre iş merkezlerinde gereken kapasite ihtiyaçlarını uygun bir şekilde belirlemektedir. Ayrıca kapasite tahsis performansı indeksi farklı planların birbiri ile kıyaslanarak hangisinin daha uygun olduğu ile alakalı sayısal bir karşılaştırma değeri ortaya koymaktadır. Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.10 göz önünde bulundurulduğunda, modelden elde edilen kapasite miktarlarının işlenmesi ile hesaplanan planlar, bu aracı kullanmadan doğrudan belirlenen ortalama kapasitelerin işlenmesi ile hesaplanan planlardan daha iyi kapasite tahsis performansına sahiptir. İş merkezlerinin tam yüklenmesini yansıttığı için Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.11’de görülen değerler doğrultusunda durum 2’nin gerçek hayata daha uygun bir plan ortaya koyduğu söylenebilir. Bu çalışmada bir tersanede tamamlanmış bir projenin bir dilimindeki blokların kütleleri temel alınarak düzgün dağılıma göre üretilen veri üzerinden kapasite optimizasyonu metodolojisi bölümünde geliştirilen çözüm modeli için bir uygulama yapılmış ve sonuçları verilmiştir. Gelecek çalışmalarda farklı alt iş matrisi örüntülerinin sonuçları irdelenmelidir. Birbiri ardınca tamamlanması gereken blokların iş miktarlarının birbirinden çok farklı olması homojen yapıda bir iş paketi konfigürasyonu elde etmeyi zorlaştırmaktadır. Ayrıca bu durum kapasite ihtiyacındaki değişkenliği arttırmaktadır. Bununla birlikte gemi tipine bağlı olarak ya da üretim stratejisine bağlı olarak farklı blok inşa sıralarının kapasite tahsis performansı üzerindeki etkileri incelenebilir. Böylece sadece blok inşa sırası değiştirilerek daha kolay planlanabilir ve yönetilebilir bir proje süreci elde edilebilir.

Dikkat edileceği üzere ardışık olarak gelen blokların iş merkezlerindeki iş yüklerinin birbirinden çok farklı olması ve öncül işlerin tamamen bitirilmesi ile diğer işlere geçilmesi kuralı iş merkezlerinde aylak sürelerin doğmasına sebep olmaktadır. Her ne kadar bu aylak sürelerde ilgili projeye tahsis edilmiş olan kaynaklar diğer projeler için kullanılabilirse de ana hedef bir kaynak bir projeye atandığında mümkün olduğunca o projede çalışmaya devam etmesidir. Bu sebeple blokların konstrüksiyon yapıları dikkate alınarak bölünebilirliği ve bunun kapasite tahsis performansı üzerine etkileri araştırılmalıdır. Bu noktada detaylandırmanın ne ölçüde yapılması gerektiği büyük önem kazanmaktadır. Çünkü fazla detay hem gereksiz emek sarf edilmesine hem de yönetilemez bir proje süreci ortaya çıkmasına sebep olabilir.

Faaliyetler arasındaki ilişki bağlarının etkisi incelenmesi gereken bir diğer husus olarak ortaya çıkmaktadır. Çalışmada öncül işin bütünüyle tamamlanması ile ardıl işin başlaması ilişkisi üzerinde durulmuştur. Bu kuralın katı bir şekilde uygulanması da aylak sürelerin ve kapasite varyasyonlarının artmasına sebep olmaktadır. Bahsedilen ilişki kuralının bir miktar esnetilmesi hem aylak sürelerin hem de kapasite varyasyonlarının azalmasını sağlayabilir. Bundan dolayı söz konusu ilişki kuralının esnetilmesi ile alakalı bir çalışma yapıp bu yeni durumun da kapasite tahsis performansı üzerine etkisi izlenmelidir. Bununla birlikte öncül işin başlamasıyla ardıl işin de başlaması ilişkisi ele alınmalıdır. Ayrıca bu ilişki bağı kuralı üzerinde de bazı esnekliklere müsaade edilmesi durumu incelemelidir.

Bu tezde boya faaliyetine kadarki blok imalatı süreci ele alınmıştır. Boru, teçhiz, makine montajı, boya gibi faaliyetler değerlendirme dışı tutulmuştur. Bir sonraki çalışmada bu faaliyetleri de içeren bir proje sürecinin planlama çalışması yapıp farklı durumlar için kapasite tahsis performansları belirlenebilir.

Problem tanımı bölümünde verilen varsayımlar içinde anlatıldığı üzere her bir iş merkezinde tek bir faaliyet varmış gibi düşünülmüş ve iş merkezi içinde alt faaliyetlerin kendi içinde optimize edildiği varsayılmıştır. Bu çalışmada ortaya atılan çözüm modeli iş merkezlerinin kendi iç faaliyetlerinin planlaması için de uygulanabilir ve aynı şekilde farklı durumların kapasite tahsis performansları incelenip hem kolay planlanabilir hem de kolay yönetilebilir bir üretim stratejisi geliştirilebilir.

Öte yandan bu çalışmada tek bir projenin planlanması problemi ele alınmıştır. Birden çok projenin söz konusu olduğu durumda iş merkezlerinde daha fazla kapasiteye

gereksinim duyulacaktır. Bu durumda farklı projelerin farklı bloklarının iş merkezine getireceği yükler dengeli bir şekilde ayarlanabilirse hem kapasite değişimi hem de aylak süreler azaltılabilir. Bu doğrultuda burada önerilen çözüm modeli birden çok proje için kapasite ihtiyaçlarını hesaplayacak şekilde güncellenerek kapasite değerleri hesaplanmalı, daha sonra farklı durumların kapasite tahsis performansı indeksleri izlenerek en uygun plan seçilmelidir.



KAYNAKLAR

- Afzalirad, M., & Rezaeian, J.** (2016). Resource-constrained unrelated parallel machine scheduling problem with sequence dependent setup times, precedence constraints and machine eligibility restrictions. *Computers & Industrial Engineering*, 98, 40-52.
- Bao, J., Wang, Q., & Xu, A.** (2014). A Steerable GA Method for Block Erection of Shipbuilding in Virtual Environment. *International Conference on Cooperative Design, Visualization and Engineering*, (s. 286-293).
- Burnett, G.** (2011). *Multiple objective assembly scheduling with spatial resources and recurring tasks*. (Doktora tezi). The Pennsylvania State University, The Graduate School,: Pennsylvania, USA.
- Caprace, J.-D., Petcu, C., Velarde, M., & Rigo, P.** (2013). Optimization of shipyard space allocation and scheduling using a heuristic algorithm. *Journal of Marine Science and Technology*, 18(3), 404-417.
- Černý, V.** (1985). Thermodynamical approach to the traveling Salesman problem: an efficient simulation algorithm. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 45(1), 41-51.
- Cho, K., Chung, K., Park, C., Park, J., & Kim, H.** (2001). A Spatial Scheduling System for Block Painting Process in Shipbuilding. *CIRP Annals*, 50(1), 339-342.
- Cho, K., Lee, S.-H., & Chung, D.** (1996). An Automatic Process-Planning System for Block Assembly in Shipbuilding. *CIRP Annals*, 45(1), 41-44.
- Cho, K., Oh, J., Ryu, K., & Choi, H.** (1998). An Integrated Process Planning and Scheduling System for Block Assembly in Shipbuilding. *CIRP Annals*, 47(1), 419-422.
- Cho, K.-K., Sun, J.-G., & Oh, J.-S.** (1999). An automated welding operation planning system for block assembly in shipbuilding. *International Journal of Production Economics*, 60(1), 203-209.
- Chung, K., Choi, W., Hong, S., Ha, S., Kim, J., & Kim, D.** (2009). Reducing the level of the waiting blocks in the shipbuilding industry by using the theory of constraints. *POMS 20th Annual Conference, May 1-4*. Orlando, FL, USA.
- Dai, L., Hu, H., & Chen, F.** (2015). A GA-based heuristic approach for offshore structure construction spatial scheduling under uncertainty. *Ships and Offshore Structures*, 10(6), 660-668.
- Da-wei, L.** (2009). Research on shipbuilding planning based on critical chain. *Modern Manufacturing Engineering*.
- Dixit, V., Srivastava, R., & Chaudhuri, A.** (2014). Procurement scheduling for complex projects with fuzzy activity durations and lead times. *Computers & Industrial Engineering*, 76(10), 401-414.
- Dixit, V., Verma, P., Raj, P., & Sharma, M.** (2018). Resource and time criticality based block spatial scheduling in a shipyard under uncertainty. *International Journal of Production Research*, 56(22), 6993-7007.

- Dong, Y., Tang, J., Xu, B., & Wang, D.** (2005). An application of swarm optimization to nonlinear programming. *Computers & Mathematics With Applications*, 49(11), 1655-1668.
- Finke, D.** (2010). *Resource and space constrained project scheduling*. (Doktora tezi). The Pennsylvania State University, The Graduate School,: Pennsylvania, USA.
- Finke, D., Ligetti, C., Traband, M., & Roy, A.** (2007). Shipyard space allocation and scheduling. *Journal of ship production*, 23(4), 197-201.
- Ge, Y., & Wang, A.** (2018). Spatial scheduling strategy for irregular curved blocks based on the modified genetic ant colony algorithm (MGACA) in shipbuilding. *International Journal of Production Research*, 56(9), 3099-3115.
- Ge, Y., Wang, A., & Cheng, J.** (2016). A spatial scheduling strategy for irregular workplace in shipbuilding. *2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, (s. 12-16).
- Gholami, M., & Zandieh, M.** (2009). Integrating simulation and genetic algorithm to schedule a dynamic flexible job shop. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20(4), 481-498.
- Gülsün, B., Tuzkaya, G., & Bildik, E.** (2008). Tersine lojistikte ağ tasarımı: bir tavlama benzetimi yaklaşımı. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 26(1), 68-80.
- Hu, S., Liu, T., Wang, S., Kao, Y., & Sun, X.** (2015). A Hybrid Heuristic Algorithm for Ship Block Construction Space Scheduling Problem. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2015, 1-6.
- Hur, M., Lee, S.-k., Kim, B., Cho, S., Lee, D., & Lee, D.** (2015). A study on the man-hour prediction system for shipbuilding. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 26(6), 1267-1279.
- Hwang, I., Kim, Y., Lee, D., & Shin, J.** (2014). Automation of block assignment planning using a diagram-based scenario modeling method. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 6(1), 162-174. <https://academic.microsoft.com/paper/1863154669> adresinden alındı
- Iwankowicz, R.** (2016). An efficient evolutionary method of assembly sequence planning for shipbuilding industry. *Assembly Automation*, 36(1), 60-71.
- Jeong, S., Lim, S., & Kim, K.** (2006). Hybrid approach to production scheduling using genetic algorithm and simulation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28, 129-136.
- Jeong, Y.-K., Ju, S., Shen, H., Lee, D., Shin, J., & Ryu, C.** (2018). An analysis of shipyard spatial arrangement planning problems and a spatial arrangement algorithm considering free space and unplaced block. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95, 4307-4325.
- Jingsong, B., Xiaofeng, H., & Ye, J.** (2007). A Heuristic Method to Schedule Pipe-Processing Flowshop in a Shipyard. *Journal of ship production*, 23(4), 210-214.
- Jylhä, T., & Suvanto, M.** (2015). Impacts of poor quality of information in the facility management field. *Facilities*, 33, 302-319.
- Kafalı, M., & Özkök, M.** (2015). Evaluation of shipyard selection criteria for shipowners using a fuzzy technique. *Journal of Marine Engineering and Technology*, 14(3), 146-158.
- Karaboğa, D.** (2017). *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

- Kennedy, J., & Eberhart, R.** (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, 4, s. 1942-1948.
- Kim, H., Kang, J., & Park, S.** (2002). Scheduling of Shipyard Block Assembly Process Using Constraint Satisfaction Problem. *Asia-Pacific Management Review*, 7(1), 119-137.
- Kim, H., Lee, S.-S., Park, J., & Lee, J.-G.** (2005). A model for a simulation-based shipbuilding system in a shipyard manufacturing process. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 18(6), 427-441.
- Kim, I., Han, S., & Kwon, M.** (2009). Decision Supporting Methodology and System Based on Theory of Constraints for Optimal Product Portfolio Strategy in Shipbuilding Industry. *Journal of The Society of Naval Architects of Korea*, 46(3), 362-371.
- Kim, J.** (2007). *An investigation of activity duration input modeling by duration variance ratio for simulation-based construction scheduling*. (Doktora tezi). Rutgers, The State University of New Jersey, Graduate School-New Brunswick, New Jersey, New Brunswick, USA.
- Kim, Y.-S., & Lee, D.-H.** (2007). A Study on the Construction of Detail Integrated Scheduling System of Ship Building Process. *Journal of The Society of Naval Architects of Korea*, 44(1), 48-54.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C., & Vecchi, M.** (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598), 671-680.
- Köse, T.** (2016). Kişisel görüşme. 10 Mayıs, Ada Tersanesi, İstanbul.
- Kwon, B., & Lee, G.** (2015). Spatial scheduling for large assembly blocks in shipbuilding. *Computers & Industrial Engineering*, 89, 203-212.
- Lee, D., Park, J., Pulshashi, I., & Bae, H.** (2013). Clustering and Operation Analysis for Assembly Blocks Using Process Mining in Shipbuilding Industry. *Asia-Pacific Conference on Business Process Management*, (s. 67-80).
- Lee, J., Lee, K., Park, H., Hong, J., & Lee, J.** (1997). Developing scheduling systems for Daewoo Shipbuilding: DAS project. *European Journal of Operational Research*, 97(2), 380-395.
- Lee, K., Lee, J., & Choi, S.** (1996). A spatial scheduling system and its application to shipbuilding: DAS-CURVE. *Expert Systems With Applications*, 10, 311-324.
- Lee, P., Lee, J.-H., Nam, J.-H., & Choi, Y.-R.** (2015). A Study of Data Qualification for Shipyard Manufacturing Scheduling Simulation. *The Twenty-fifth International Ocean and Polar Engineering Conference*.
- Li, J., Sun, M., Han, D., Wang, J., Mao, X., & Wu, X.** (2019). A knowledge discovery and reuse method for time estimation in ship block manufacturing planning using DEA. *Advanced Engineering Informatics*, 39, 25-40.
- Liu, Z., Chua, D., & Yeoh, K.-W.** (2011a). Aggregate production planning for shipbuilding with variation-inventory trade-offs. *International Journal of Production Research*, 49(20), 6249-6272.
- Liu, Z., Chua, D. K., & Keng, H. W.** (2011b). A Simulation Model for Spatial Scheduling of Dynamic Block Assembly in Shipbuilding. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 1(1), 3-12.
- Miettinen, K.** (1998). *Nonlinear Multiobjective Optimization*. Springer US.
- Mitsuyuki, T., Hiekata, K., & Yamato, H.** (2014). Design of production strategy considering the cutting peak demand of electricity in the shipbuilding industry. *Journal of Marine Science and Technology*, 19(4), 425-437.

- Nam, J.-H., Lee, J., & Woo, J.** (2016). Construction of standardised data structure for simulation of mid-term scheduling of shipbuilding process. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 29(4), 424-437.
- Nam, S., Back, M., Lee, S., Hwang, I., & Shin, J.** (2015). Development of Production Plan Assessment System for Productivity Improvement Using AHP Method. *The Twenty-fifth International Ocean and Polar Engineering Conference*.
- Nduka, I.** (2015). *Modeling project schedule uncertainty due to a programmatic risk factor using bayesian networks*. (Doktora tezi). The George Washington University, The School of Engineering and Applied Science: Washington, USA.
- Nguyen, T.** (2013). *A Framework for Inter-Project Critical Chain management Based on Max-Plus Linear Representation*. (Doktora tezi). Nagaoka University of Technology: Nagaoka, Niigata, Japan.
- Odabaşı, Y.** (2008). *Methods of Ship Production, Lecture notes, İstanbul Technical University*.
- Park, C., Chung, K.-H., Park, J.-C., Cho, K.-K., Baek, T.-H., & Son, E.-I.** (2002). A spatial scheduling application at the block paint shop in shipbuilding: the HYPOS project. *Production Planning & Control*, 13(4), 342-354.
- Park, K., Lee, K., Park, S., & Kim, S.** (1996). Modeling and solving the spatial block scheduling problem in a shipbuilding company. *Computers & Industrial Engineering*, 30(3), 357-364.
- Pinha, D. d.** (2015). *Short-Term Resource Allocation and Management*. (Doktora tezi). West Virginia University, Statler College of Engineering and Mineral Resources: Morgantown, West Virginia, USA.
- Poe, W.** (2017). Modeling, control, and optimization of natural gas processing plants.
- Rao, R., & Savsani, V.** (2012). *Mechanical Design Optimization Using Advanced Optimization Techniques*.
- Rao, S.** (2009). *Engineering Optimization: Theory and Practice, Fourth Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Rose, C., & Coenen, J.** (2015). Comparing four metaheuristics for solving a constraint satisfaction problem for ship outfitting scheduling. *International Journal of Production Research*, 53(19), 5782-5796.
- Rose, C., & Coenen, J.** (2016a). Automatic generation of a section erection planning for European shipyards building complex ships. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(4), 483-501.
- Rose, C., & Coenen, J.** (2016b). Automatic generation of a section building planning for constructing complex ships in European shipyards. *International Journal of Production Research*, 54(22), 6848-6859.
- Rose, C., Coenen, J., & Hopman, H.** (2016). Definition of Ship Outfitting Scheduling as a Resource Availability Cost Problem and Development of a Heuristic Solution Technique. *Journal of ship production and design*, 32(3), 154-165.
- Ryu, C., Shin, J., Kwon, O., & Lee, J.** (2008). Development of integrated and interactive spatial planning system of assembly blocks in shipbuilding. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(8), 911-922.
- Seo, Y., Sheen, D., & Kim, T.** (2007). Block assembly planning in shipbuilding using case-based reasoning. *Expert Systems With Applications*, 32(1), 245-253.

- Shang, Z., Gu, J., Ding, W., & Duodu, E.** (2017). Spatial Scheduling Optimization Algorithm for Block Assembly in Shipbuilding. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017(2017), 1-10.
- Shi, Y., & Eberhart, R.** (1998). A modified particle swarm optimizer. *1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings. IEEE World Congress on Computational Intelligence (Cat. No.98TH8360)*, (s. 69-73).
- Shin, J., Kwon, O., & Ryu, C.** (2008). Heuristic and metaheuristic spatial planning of assembly blocks with process schedules in an assembly shop using differential evolution. *Production Planning & Control*, 19(6), 605-615.
- Shin, J.-Y., & Bak, N.-H.** (2014). Transporter Scheduling with Transporter Combination in. *Journal of Navigation and Port Research*, 38(3), 299-305.
- Sikorra, J., Friedewald, A., & Lödding, H.** (2016). Early estimation of work contents for planning the one-of-a-kind production by the example of shipbuilding. *MATEC Web of Conferences*, 77, 1025.
- Song, Y.-J., Woo, J.-H., & 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 Architecture and Ocean Engineering*, 3(3), 181-192.
- Srinivasan, S.** (2014). *Spatial scheduling algorithms for production planning problems*. (Doktora tezi). Virginia Commonwealth University, Master of Science in Applied Mathematics: Richmond, Virginia, USA.
- Su, X., Yang, Y.-y., & Li, D.-w.** (2009). Research on shipbuilding planning based on critical chain. *Modern Manufacturing Engineering*, 2, 29-31.
- Taha, H. A.** (2003). *Yöneylem araştırması*. (Ş. A. Baray, & Ş. Esnaf, Çev.) İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Talbi, E.-G.** (2009). *Metaheuristics: From Design to Implementation*. John Wiley & Sons.
- Tao, N.-R., Jiang, Z.-H., & Zhen, L.** (2014). Spatial scheduling and workforce assignment problem in block assembly shop of shipbuilding. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 31(1).
- Taylan, M.** (2016). Kişisel görüşme. 20 Mayıs, Çelik Tekne Tersanesi, İstanbul.
- Tokola, H., Niemi, E., & Remes, H.** (2013). Block erection sequencing in shipbuilding with general lifting and joining times. *Journal of ship production and design*, 29(2), 49-56.
- Vaagen, H., & Kaut, M.** (2015). A Mockup Stochastic Program to Study the Impact of Design Uncertainty on ETO Shipbuilding Planning. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, (s. 167-174).
- Vanhoucke, M.** (2012). *Project Management with Dynamic Scheduling*. Springer Berlin Heidelberg.
- Wang, L., Nie, L., & Zhan, D.** (2016a). A tabu search method for block erection scheduling in shipbuilding with activity resource elasticity. *Journal of Computer Applications in Technology*, 54(3), 220-228.
- Wang, C., Mao, P., Mao, Y., & Shin, J.** (2016b). Research on scheduling and optimization under uncertain conditions in panel block production line in shipbuilding. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 8(4), 398-408.
- Wei, Y.** (2012). *Automatic Generation of Assembly Sequence for the Planning of Outfitting Processes in Shipbuilding*. (Doktora tezi). Delft University of Tehnology: Delft, Netherlands.

- Wysocki, R.** (2009). *Effective Project Management: Traditional, Agile, Extreme*. John Wiley & Sons.
- Yang, X.-S.** (2010). *Engineering Optimization: An Introduction with Metaheuristic Applications*.
- Yoon, D., & Varghese, R.** (2006). Study of genetic algorithm for optimal ship erection block arrangement in pre-erection area of a shipyard. *Ships and Offshore Structures, 1*(4), 301-307.
- Yoon, D., Varghese, R., & Yang, J.** (2006). Genetic algorithm based technique for erection sequence generator in shipbuilding. *Ships and Offshore Structures, 1*(4), 289-299.
- Yuguang, Z., Bo, A., & Yong, Z.** (2016). A PSO algorithm for multi-objective hull assembly line balancing using the stratified optimization strategy. *Computers & Industrial Engineering, 98*, 53-62.
- Zhang, A., Ma, B., Loke, D., Kumar, S., & Chan, Y.** (2012). Multi-project planning and optimisation for shipyard operations. *2012 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, (s. 1085-1089).
- Zhang, Z., & Chen, J.** (2012). Solving the spatial scheduling problem: a two-stage approach. *International Journal of Production Research, 50*(10), 2732-2743.
- Zheng, J., Jiang, Z., & Chen, Q.** (2012). Block spatial scheduling modelling and application in shipbuilding. *International Journal of Production Research, 50*(10), 2744-2756.
- Zheng, J., Jiang, Z., Chen, Q., & Liu, Q.** (2011). Spatial scheduling algorithm minimising makespan at block assembly shop in shipbuilding. *International Journal of Production Research, 49*(8), 2351-2371.
- Zhuo, L., Huat, D., & Wee, K.** (2012). Scheduling dynamic block assembly in shipbuilding through hybrid simulation and spatial optimisation. *International Journal of Production Research, 50*(20), 5986-6004.

EKLER

EK A: Çizelgeler (CD-ROM'da)

EK B: Şekiller (CD-ROM'da)





ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Mustafa KAFALI
Doğum Tarihi ve Yeri : 27/06/1986-MUĞLA
E-posta : mustafakafali@outlook.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2008, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2014, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı, Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2008-2011 yılları arasında özel bir tersanede proje mühendisi olarak çalıştı.
- 2011-2012 yılları arasında KTÜ Sürmene Abdullah Kanca Meslek Yüksekokulu'nda öğretim görevlisi olarak çalıştı.
- 2012-2014 yılları arasında KTÜ Deniz Bilimleri Fakültesinde araştırma görevlisi olarak çalıştı.
- 2014-2020 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Kafalı, M., Aydın, N., Genç, Y., Çelebi, U.B.** 2019. A two-stage stochastic model for workforce capacity requirement in shipbuilding. *Journal Of Marine Engineering & Technology*.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/20464177.2019.1704977>

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Kafalı, M., Ünsan, Y., Özkök, M.** 2018. A Production Planning and Control Methodology Proposal for Shipyards. *Journal of ETA Maritime Science*, 6(1), 47-59.
- **Kafalı, M., Ünsan, Y., Helvacıoğlu, İ.H.** (2017). A novel project scheduling model for shipbuilding. Paper presented at the Maritime Transportation and Harvesting of Sea Resources, 749-756.

