

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TERSANE YERLEŞİMİ OPTİMİZASYONU VE SİMÜLASYONU

DOKTORA TEZİ

Salim TAMER

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TERSANE YERLEŞİMİ OPTİMİZASYONU VE SİMÜLASYONU

DOKTORA TEZİ

**Salim TAMER
(508142005)**

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Barış BARLAS

TEMMUZ 2023

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

SHIPYARD LAYOUT OPTIMIZATION AND SIMULATION



PHD THESIS

**Salim TAMER
(508142005)**

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

Naval Architecture and Marine Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Barış BARLAS

JULY 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 508142005 numaralı Doktora Öğrencisi Salim TAMER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “TERSANE YERLEŞİMİ OPTİMİZASYONU VE SİMÜLASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Barış BARLAS**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Yalçın ÜNSAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Serhan GÖKÇAY
Piri Reis Üniversitesi

Prof. Dr. Hakan AKYILDIZ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail Hakkı HELVACIOĞLU
Piri Reis Üniversitesi

Teslim Tarihi : 24 Mayıs 2023
Savunma Tarihi : 31 Temmuz 2023





Aileme,



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde desteği ve rehberliği için ilk olarak değerli tez danışmanı hocam Prof. Dr. Barış BARLAS'a teşekkür ederim. "Tersane Yerleşimi Optimizasyonu" konusunda TÜBİTAK 2214/A Yurtdışı Araştırma Bursu alabilmem için beni Strathclyde Üniversitesi'ne davet eden değerli hocam Dr. Rafet Emek KURT'a şükranlarımı sunarım. Tezimi izleyen ve önerileriyle yol gösteren tez izleme jüri üyeleri olan kıymetli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Yalçın ÜNSAN ve Dr. Öğr. Üyesi Serhan GÖKÇAY'a müteşekkirim. Yalova'da bulunan özel bir tersanede planlama departmanı müdürü olarak çalışan sayın Şükrü EREN beye araştırma ve gözlem yapma fırsatı verdiği için minnettarım. Kendi yaşadığı doktora serüvenini benimle paylaşan ve zorluklarda stresimi azaltan değerli arkadaşım Dr. Öğr. Üyesi Onur USTA'a olmasaydı bu yol kuşkusuz daha çetin olurdu.

Lloyd's Register projesi kapsamında beraber çalışma fırsatı yakaladığım değerli meslektaşlarım Dr. Sefer Anıl GÜNBEYAZ ve Doğançan OKUMUŞ'a katkıları için teşekkür ederim. Gemi üretimi konusunda bilimsel çalışmalar yapan meslektaşım Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KAFALI bana verdiği bilgiler ve yorumlar için teşekkürü hak ediyor.

Annem babam ve kardeşim, her zaman yanımda oldunuz. Siz olmadan asla başaramazdım.

Son olarak, lisansüstü eğitim bursuyla yüksek lisans ve doktora eğitimimde beni destekleyen TÜRK LOYDU VAKFI'na şükranlarımı sunarım. TÜBİTAK'a 2214/A Yurtdışı Araştırma Bursu proje önerimi kabul ettiği ve bana yurtdışı yaşama ve çalışma tecrübesi sağladığı için minnettarım.

Mayıs 2023

Salim TAMER
(Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Yüksek Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xv
SEMBOLLER	xvii
ÇİZELGE LİSTESİ	xix
ŞEKİL LİSTESİ	xxi
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxvii
1. TESİS YERLEŞİMİ TANIMI, ÖNEMİ VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER	1
1.1 Tanım	1
1.2 Tarihsel Gelişimi	3
1.3 Amaç	6
1.4 Tesis Yerleşimini Etkileyen Faktörler	7
2. TERSANE YERLEŞİMİ TARİHİ VE ÖNEMİ.....	11
2.1 İdeal Tersane Yerleşimi	13
2.2 Tersane Yerleşimini Etkileyen Faktörler	16
3. LİTERATÜR TARAMASI	19
4. TESİS YERLEŞİM PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ YAKLAŞIMI	33
4.1 Problemi Tanımlanması	34
4.2 Gerekli Verilerin Toplanması	34
4.3 Problem İçin Uygun Bir Model Seçimi ve Oluşturulması	35
4.4 Model İçin Algoritma Geliştirilmesi ve Çözülmesi	36
4.5 Alternatif Çözümlerin Üretilmesi, Değerlendirilmesi ve Seçimi	37
4.6 Çözümün Uygulanması	38
4.7 Uygulama Sonrası Sürekli Gözden Geçirme	38
5. TERSANE YERLEŞİMİ OPTİMİZASYONU	39
5.1 Algoritmik Yaklaşımlar	39
5.1.1 Algoritma sınıflandırması	39
5.2 Faaliyet İlişkileri	43
5.2.1 Niceliksel akış ölçümü	44
5.2.1.1 Başlangıç-bitiş şeması	44
5.2.2 Niteliksel akış ölçümü	45
5.2.2.1 İlişki şeması	45
5.3 İlişki Şemasının Tersane Yerleşimi için Uygulanması	46
5.4 Sistematik Yerleşim Planlaması	50
5.4.1 SYP uygulaması özeti	54
5.5 Graf-Teorik Yaklaşım	55
5.5.1 Maximal düzlemsel bitişiklik grafın oluşturulması	57
5.5.2 Graf-teorik yaklaşım uygulaması özeti	61
5.6 Verimlilik Oranı ve Sonuç	61
6. TERSANE YERLEŞİMİ SİMÜLASYONU	65
6.1 Simülasyonun Tanımı	65

6.1.1 Tersane yerleşimi simülasyonunun tanımı	66
6.2 Simülasyonun Amacı.....	66
6.2.1 Tersane yerleşimi simülasyonunun amacı.....	67
6.3 Simülasyonun Faydaları	68
6.3.1 Daha az finansal risk	68
6.3.2 Tekrarlanan test	68
6.3.3 Uzun vadeli etkilerin incelenmesi	69
6.3.4 Süreç iyileştirme için iç görüş kazanılması	69
6.3.5 Beklenmedik olayların değerlendirilmesi	69
6.3.6 Standart olmayan dağılımların test edilmesi	69
6.3.7 Derinlemesine düşünme	69
6.3.8 Paydaş katılımının iyileştirilmesi	69
6.4 Simülasyonun Sınıflandırılması	70
6.4.1 Deterministik ve stokastik yaklaşım	70
6.4.1.1 Deterministik modeller:.....	70
6.4.1.2 Stokastik modeller:.....	70
6.4.2 Statik ve dinamik yaklaşım	70
6.4.2.1 Statik modeller:	71
6.4.2.2 Dinamik modeller:.....	71
6.4.3 Ayırık ve sürekli yaklaşım	71
6.4.3.1 Ayırık modeller:	72
6.4.3.2 Sürekli modeller:	72
6.5 Ayırık Olay Simülasyonu	73
7. ARENA İLE TERSANE YERLEŞİMİNİN MODELLENMESİ	75
7.1 Arena Bileşenleri	75
7.1.1 Varlıklar	75
7.1.2 Nitelikler.....	76
7.1.3 Global değişkenler.....	76
7.1.4 Kaynaklar	77
7.1.5 Kuyruklar	78
7.1.6 İstatistiksel toplayıcı.....	78
7.1.6.1 Kuyruk uzunluğu.....	78
7.1.6.2 Kaynak kullanımı	78
7.1.6.3 İşlem süreleri	78
7.1.6.4 Gecikme süresi	78
7.1.7 Olaylar.....	79
7.1.7.1 Varış olayları	79
7.1.7.2 Ayrılış olayları.....	79
7.1.7.3 Zamanlayıcı olayları.....	79
7.1.8 Simülasyon Saati	79
7.1.9 Simülasyon başlatma ve durdurma	80
7.2 Üretilen Geminin Teknik Bilgileri	81
7.3 Sıfır Transfer Süresiyle Tersane Yerleşiminin Modellenmesi	82
7.3.1 Girdiler	83
7.3.1.1 Birinci aşama (boru deposu, cnc sac kesim alanı, profil kesim alanı): parça girişlerinin tanıtılması.....	83
7.3.1.2 İkinci aşama (boru donatı atölyesi, ön imalat 1-2-3 alanları ve panel üretim hattı alanı) tekil parçaların kalıcı olarak birleştirilmesi	86
7.3.1.3 Üçüncü aşama (blok üretim alanı)	88
7.3.1.4 Dördüncü aşama (boya holü)	89

7.3.1.5 Beşinci aşama (kızak)	89
7.3.1.6 Altıncı aşama (gemi çıkışı)	89
7.4 Mevcut Tersane Yerleşiminin Modellenmesi	92
7.4.1 Doğrusal mesafe (rectilinear distance).....	92
7.4.2 Departmanların ağırlık merkezlerinin konumu	93
7.4.3 Başlangıç bitiş mesafeleri	95
7.4.4 Taşıyıcı hızlarının tanımlanması	96
7.5 İyileştirilmiş Tersane Yerleşiminin Modellenmesi	98
7.5.1 Departmanların ağırlık merkezlerinin konumu	98
7.5.2 Başlangıç bitiş mesafeleri	98
7.5.3 Taşıyıcı hızlarının tanımlanması	99
7.6 Simülasyon Sonuçları.....	100
7.6.1 Malzeme transfer oranı	100
7.6.2 Üretime giren ve çıkan varlık sayısı	104
7.6.3 Departmanların kullanım oranları	105
7.6.4 Kuyrukta ortalama ve maksimum bekleme süreleri	107
7.6.5 Kuyrukta ortalama ve maksimum bekleyen varlık sayısı	115
7.6.6 Toplam üretim sürelerinin kıyaslanması.....	123
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	125
KAYNAKLAR	131
EKLER	135
ÖZGEÇMİŞ.....	143



KISALTMALAR

3B	: Üç Boyutlu
A	: Kesinlikle Gerekli (Absolutely Necessary)
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytical Hierarchy Process)
CNC	: Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (Computer Numerical Control)
DES	: Ayırık Olay Simülasyonu (Discrete Event Simulation)
DWT	: Dedveyt Tonaj (Deadweight Tonnage)
E	: Özellikle Önemli (Especially Important)
FGPM Method)	: Bulanık Hedef Programlama Modeli (Fuzzy Goal Programming Method)
FLP	: Tesis Yerleşimi Problemi (Facility Layout Problem)
FSI	: Bulanık Benzerlik İndeksi (Fuzzy Similarity Index)
GA	: Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)
I	: Önemli (Important)
O	: Sıradan Yakınlık (Ordinary Closeness)
QAP	: Karesele Atama Problemi (Quadratic Assignment Problem) Station
REL Chart	: İlişki Şeması (Relationship Chart)
SYP	: Sistematik Yerleşim Planlama (Systematic Layout Planning)
U	: Önemsiz (Unimportant)
VLCC	: Çok Büyük Ham Petrol Gemisi (Very Large Crude Carrier)
X	: İstenmeyen (Undesirable)



SEMBOLLER

N	: Departman sayısı
f_{ij}	: Birim zamanda taşınan birim yük sayısı
c_{ij}	: Birim yük taşıma maliyeti
d_{ij}	: Departmanlar arası mesafe
x_{ij}	: Departmanlar bitişikse 1 değilse 0
r_{ij}	: Yakınlık derecesinin sayısal değeri
β	: Üstel olasılık dağılım fonksiyonu için ortalama
a	: Üçgensel olasılık dağılımı için minimum değer
b	: Üçgensel olasılık dağılımı için maksimum değer
m	: Üçgensel olasılık dağılımı için ortalama değer



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Tesis planlama ve tasarım faaliyetlerinin kronolojik listesi	5
Çizelge 3.1 : Tersane yerleşimi literatür taraması	31
Çizelge 5.1 : Tersane yerleşimi problemi için departman listesi	43
Çizelge 5.2 : İlişki tablosundaki yakınlık ilişkilerinin derecelendirmeleri	45
Çizelge 5.3 : İlişki tablosundaki yakınlık ilişkilerinin sayısal derecelendirmeleri ...	57
Çizelge 5.4 : Düğüm noktası olarak departmanların yerleşim sırası	60
Çizelge 5.5 : Verimlilik oranları	63
Çizelge 7.1 : Üretim yapılan departmanların listesi	83
Çizelge 7.2 : Tekil boru girişi	85
Çizelge 7.3 : Tekil sac girişi	85
Çizelge 7.4 : Tekil profil girişi	85
Çizelge 7.5 : Mevcut yerleşim planı için departmanların ağırlık merkezleri	95
Çizelge 7.6 : Mevcut yerleşim planı için departmanlar arası başlangıç-bitiş mesafeleri... ..	96
Çizelge 7.7 : İyileştirilmiş tersane yerleşimi için departmanların ağırlık merkezleri	98
Çizelge 7.8 : İyileştirilmiş yerleşim planı için departmanlar arası başlangıç-bitiş mesafeleri	99
Çizelge 7.9 : Mevcut yerleşim için toplam üretim süresi ve transfer süreleri	101
Çizelge 7.10 : İyileştirilmiş yerleşim için toplam üretim süresi ve transfer süresi..	102
Çizelge 7.11 : Mevcut tersane ve iyileştirme yapılmış tersaneye ait iyileştirme oranları	103
Çizelge 7.12 : Üretime giren varlık sayısı	104
Çizelge 7.13 : Üretime çıkan varlık sayısı	105
Çizelge 7.14 : Departman kaynak kullanım oranları	106
Çizelge 7.15 : Departman proseslerinin kuyrukta ortalama bekleme süreleri	107
Çizelge 7.16 : Departman proseslerinin kuyrukta maksimum bekleme süreleri	108
Çizelge 7.17 : Departman kalıcı batch modüllerinin kuyrukta ortalama bekleme süreleri	109
Çizelge 7.18 : Departman kalıcı batch modüllerinin kuyrukta maksimum bekleme süreleri	110
Çizelge 7.19 : Taşıyıcılar için kuyrukta ortalama bekleme süreleri	111
Çizelge 7.20 : Taşıyıcılar için kuyrukta maksimum bekleme süreleri	112
Çizelge 7.21 : Taşıma için geçici birleştirme batch modülü kuyrukta ortalama bekleme süreleri	113
Çizelge 7.22 : Taşıma için geçici birleştirme batch modülü kuyrukta maksimum bekleme süreleri	114
Çizelge 7.23 : Departman proseslerinin kuyrukta ortalama bekleyen varlık sayıları	115
Çizelge 7.24 : Departman proseslerinin kuyrukta maksimum bekleyen varlık sayıları	116
Çizelge 7.25 : Departman kalıcı batch modüllerinin kuyrukta ortalama bekleyen varlık sayıları	117

Çizelge 7.26 : Departman kalıcı batch modüllerinin kuyrukta maksimum bekleyen varlık sayıları	118
Çizelge 7.27 : Taşıyıcılar için kuyrukta ortalama bekleyen varlık sayıları.	119
Çizelge 7.28 : Taşıyıcılar için kuyrukta maksimum bekleyen varlık sayıları.	120
Çizelge 7.29 : Taşıma için geçici birleştirme batch modülü kuyrukta ortalama bekleyen varlık sayıları.	121
Çizelge 7.30 : Taşıma için geçici birleştirme batch modülü kuyrukta maksimum bekleyen varlık sayıları.	122
Çizelge 7.31 : Mevcut ve iyileştirilmiş tersane yerleşimleri için üretim sürelerinin kıyaslanması.....	123



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Tesis yerleşimi sürekli geliştirilmesi algoritması	3
Şekil 2.1 : Geleneksel nehir kıyısı tersanelerinin yerleşim planı.....	11
Şekil 2.2 : Modern ve büyük bir tersaneye ait yerleşim planı.	13
Şekil 2.3 : Gemi inşaatı iş süreçleri.	14
Şekil 2.4 : Küçük modern bir tersane için ideal tersane yerleşim planı.	15
Şekil 3.1 : Faaliyet ilişki diyagramının bir tersane için uygulanması..	20
Şekil 3.2 : Gemi İnşaatı süreçleri ve ilgili kapasite ve kaynakalar.	21
Şekil 3.3 : Mevcut ve önerilen tersane yerleşimlerinin 3B modelleri..	22
Şekil 3.4 :Tersane yerleşimi planı uygulayıcısı talepleri.....	23
Şekil 3.5 : Optimizasyon ve nihai tersane yerleşimi	24
Şekil 3.6 : Bir gemi üretimi tesisin gelecekteki yerleşim planı..	25
Şekil 3.7 : Hizalanmış ve hizalanmamış tersane yerleşimleri..	26
Şekil 3.8 : İdel tersane yerleşim planı.....	27
Şekil 3.9 : Yerleşim planı ve optimizasyon için geliştirilen kromozom.....	28
Şekil 3.10 : Optimum kromozom sıralaması ve yerleşim planı.....	29
Şekil 3.11 : Optimizasyon sonrası Gökkuşuğu Modeli ile tersane yerleşimi..	30
Şekil 4.1 : Mühendislik dizayn problemi yaklaşımında kullanılan çözüm yöntemi	33
Şekil 5.1 : Örnek bir başlangıç-bitiş şeması..	44
Şekil 5.2 : İlişki tablosu..	50
Şekil 5.3 : Sistematik Yerleşim Planlama prosedürü algoritması.....	51
Şekil 5.4 : İlişki diyagramının tersane yerleşimi için geliştirilmesi..	52
Şekil 5.5 : Alan ilişki diyagramının tersane yerleşimi için geliştirilmesi.....	53
Şekil 5.6 : Düzlemsel bitişliklik grafi..	55
Şekil 5.7 : Sayısal değerlere çevrilmiş ilişki şeması.....	59
Şekil 5.8 : Maksimal düzlemsel bitişlikli grafi.....	61
Şekil 5.9 : Mevcut tersane yerleşimi..	63
Şekil 5.10 : İyileştirilmiş tersane yerleşimi..	64
Şekil 6.1 : Ayrık olay simülasyonun sınıflandırması..	73
Şekil 7.1 : FREEZER STERN TRAWLER (w/ FACTORY) tipi geminin blok resmi.....	81
Şekil 7.2 : Tersane yerleşimi simülasyonunun akış planı.....	82
Şekil 7.3 : Üstel olasılık dağılım fonksiyonu..	84
Şekil 7.4 : Tekil parçaların üstel dağılıma göre sisteme girişi.....	84
Şekil 7.5 : Üçgensel olasılık dağılımı fonksiyonu..	87
Şekil 7.6 : Üçgensel (1,2,3) olasılıksal dağılım fonksiyonu..	88
Şekil 7.7 : Üçgensel (15,20,25) olasılıksal dağılım fonksiyonu..	88
Şekil 7.8 : Üçgensel (10,15,20) olasılıksal dağılım fonksiyonu	89
Şekil 7.9 : Arena arayüzünün gösterimi.	90
Şekil 7.10 : Sıfır transfer hızıyla kurulan Arena tersane yerleşimi modeli	91
Şekil 7.11 : Departmanlar arası doğrusal mesafe..	92

Şekil 7.12 : İki departman arasında tanımlanan doğrusal mesafe ve Öklid mesafesinin gösterimi..	93
Şekil 7.13 : Koordinat ekseninin konumu..	94
Şekil 7.14 : Mevcut tersane yerleşimi için kurulan Arena simülasyon modeli..	97
Şekil 7.15 : Katma değer zaman	100
Şekil 7.16 : Mevcut yerleşim için malzeme transfer oranını..	101
Şekil 7.17 : İyileştirilmiş yerleşim için malzeme transfer oranını gösterimi.....	102
Şekil 7.18 : Taşıyıcı hızlarına karşılık iyileştirme oranları.....	103
Şekil 7.19 : Departmanlara ait yüzde cinsinden kaynak kullanım oranları	106
Şekil A.1 : Mevcut tersane yerleşim planı(%48,91).....	136
Şekil A.2 : Alternatif-1 yerleşim planı (SLP-3, %73,91).....	136
Şekil A.3 : Alternatif -2 yerleşim planı (Graf-teorik Yaklaşım-3, %71,37).....	137
Şekil A.4 : Alternatif -3 yerleşim planı (SYP-4, %70,28).....	137
Şekil A.5 : Alternatif -4 yerleşim planı (Graf-teorik Yaklaşım-4, %69,20).....	138
Şekil A.6 : Alternatif -5 yerleşim planı (Graf-teorik Yaklaşım-5, %67,75).....	138
Şekil A.7 : Alternatif -6 yerleşim planı (SYP-5, %66,30).....	139
Şekil A.8 : Alternatif -7 yerleşim planı (SYP-2, %65,21).....	139
Şekil A.9 : Alternatif-8 yerleşim planı (SYP-6, %63,76).....	140
Şekil A.10 : Alternatif-9 yerleşim planı (Graf -teorik Yaklaşım-1, %61,96).....	140
Şekil A.11 : Alternatif-10 yerleşim planı (Graf -teorik Yaklaşım-2, %60,14).....	141
Şekil A.12 : Alternatif-11 yerleşim planı (SYP-7, %60,14).....	141
Şekil A.13 : Alternatif-12 yerleşim planı (SYP-1, %56,88).....	142

TERSANE YERLEŞİMİ OPTİMİZASYONU VE SİMÜLASYONU

ÖZET

Bu çalışmanın temel amacı, tersane yerleşimi optimizasyonu modeli geliştirmek ve Türkiye’de bulunan tersanelere bu modeli uygulayıp, tersanelerimizi daha verimli hale getirmektir. Bu amaç için Sistematik Yerleşim Planlama ve Graf-teorik Yaklaşım modeli ilk defa gemi inşaatı problemine uygulanmış, ayrıca bu uygulamanın Arena simülasyonu ile karşılaştırmasını yapılmıştır. Ek olarak, Türkiye’nin önde gelen bir tersanesinde gerçek olay uygulanması gerçekleştirilmiştir. Yalova’da bulunan ve yıllık 50.000 ton çelik işleme kapasitesine sahip bir tersanenin üretim verimliliği artırılmış, yerleşim planı iyileştirilmiş ve iyileştirilen yerleşim planının üretim sürelerine olan etkisi derinlemesine incelenmiştir. Tesis yerleşimi problemi, bir tersane için uyarlanmış, analiz edilmiş ve kapsamlı bir literatür taramasıyla birlikte sonuçlarıyla sunulmuştur.

Tesis yerleşimi problemi, bir üretim sistemi için departmanların fiziksel konumlarının belirlenmesini ifade eder. Herhangi bir imalat endüstrisi, tesis departmanlarının nereye yerleştirileceği ve bu tesislerin verimli bir şekilde tasarlanması gibi önemli ve temel stratejik konularla karşı karşıya kalabilir. Tesis yerleşimi tanımı, sistem genelinde iş akışına odaklanarak departmanların fiziksel bir konumlandırılması olarak yapılmakta ve en yüksek operasyonel verimliliği en düşük maliyetle elde etmek için tasarlamaktır. Tesis yerleşimi problemi için en önemli hedef malzeme taşıma maliyetinin minimize edilmesidir, ancak niceliksel ve niteliksel hedefler de uygulanabilir. Azaltılmış malzeme hareketi, sadece malzeme taşıma maliyetlerini en aza indirmekle kalmaz, aynı zamanda süreç içi envanter seviyelerini ve üretim sürelerini azaltır, daha az hasarlı ürün üretimine olanak sağlar, malzeme kontrolünü ve programlamayı basitleştirir ve genel sistemsel tıkanıklığı azaltır. Bu nedenle, malzeme taşıma maliyetini en aza indirirken, diğer hedefler de aynı anda gerçekleştirilebilir.

Tesis yerleşimi problemi; üretim departmanlarının göreceli ilişkilerine göre yerleştirilmesiyle ilgilenir ve tesis yerleşimi tasarımı, iş akışını düzene sokmayı ve üretkenliği artırmayı amaçlar. Tesis yerleşimi, ürünün her parçasının/bileşenin, tesis boyunca önceden belirlenmiş bir yol izlemesini, çeşitli parçaların yollarını koordine etmesini ve böylece imalat işlemlerinin en ekonomik şekilde gerçekleştirilmesini sağlamayı amaçlar. Tesis yerleşimi problemi konusundaki araştırmalar göstermiştir ki, imalatta toplam işletme giderlerinin %20 ila %50’si malzeme taşıma maliyetlerine ayrılmak ve işletme yerleşim planlaması yapılarak bu maliyetlerin yıllık %10 ila %30 oranında azaltılabileceği ifade edilmektedir. Bir etkili tesis yerleşim tasarımı, iş hacmini ve genel üretkenliği artırırken, zayıf bir yerleşim tasarımı daha uzun çalışma süreleri ve aşırı üretim hazırlık süresi ile sonuçlanabilir. Yapılan araştırmalar, yanlış bir yerleşim ve konum tasarımı uygulanması durumunda sistem verimliliğinin %35’ten fazlasının kaybedilebileceğini göstermektedir. Tesis yerleşimine karar verirken; hareket akışı, malzeme taşıma, çıktı ihtiyaçları, alan kullanımı, nakliye, iletişim ve destek kolaylığı, çalışanların moraline ve iş tatminine etkisi, promosyon değeri,

güvenlik ve gelecekteki genişleme ve değişim kolay gibi faktörler kullanılabilir. Modern bir tersane için ideal yerleşim üretim akışı esasına dayanır. İdeal bir tersane yerleşimi için başlangıç planlaması ya da yeniden planlama yaparken bazı unsurlara dikkat edilmelidir. Bu unsurlar; inşa edilecek geminin boyutu ve gemi tipi, yılda üretilmesi gereken gemi sayısı, gemilerin yapısal bloklara ve donanım modüllerine (ara ürünler) ayrılması, ara ürünler için gerekli malzeme taşıma ekipmanları, kurulacak parça üretim ve montaj işlemleri, yapılacak donanım ve motor montajı miktarı, istenilen kontrol hizmetleri, gerekli yönetim tesisleridir. Buna ek olarak; gerekli alan, yeterli alan, otomasyon ve mekanizasyon miktarı, malzeme taşıma, kullanılan inşaat yöntemleri gibi faktörler tersane yerleşimini etkiler.

Tersane yerleşimi optimizasyonu yapılırken, belirli bir mühendislik yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yaklaşıma göre ilk önce problem tanımlanmıştır. Tersane planlama departmanı ile yapılan görüşmelerde, tersane içi ara ürün akımının düzenli olmadığından ve ara ürünleri taşımak için taşıma birimleri olan vinç, kamyon ve traktörlerle gereksiz yol kat ettiğinden bahsedilmiştir. Problem tanımlı yapıldıktan sonra gerekli verileri toplamak için tersaneye farklı dönemlerde iki hafta süresince gözlem ve kayıtlarda bulunmak üzere ziyaretler gerçekleştirilmiştir. İlk ve temel veri, mevcut tersane yerleşim planıdır. Taslak olarak elde edilen, tersane yerleşimi planı üzerinde işaretlemeler yapılmıştır. Mühendislik yaklaşımının bir sonraki adımı problem için model oluşturulmasıdır. Model oluşturma matematiksel yaklaşımı içerir. Matematiksel yaklaşım geliştirilmesinden önce, tersane yerleşim problemi üzerine düşünülmüştür ve ön çalışma ile potansiyel çözümler tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tersane yerleşim probleminde en optimum çözüme ulaşmak zordur. Bu nedenle bir algoritma seçilmiştir. Seçilen algoritma Graf-teorik Yaklaşım'dır. Buna ek olarak bir yerleşim planlama yöntemi olan Sistematik Yerleşim Planlama'dan faydalanılmıştır. İzlenen çözüm yönteminde sonraki süreç alternatif çözümlerin üretilip değerlendirilmesidir. Graf-teorik Yaklaşım ve Sistematik Yerleşim Planlama yöntemleriyle üretilen alternatif tersane yerleşimleri AutoCAD programı yardımıyla görselleştirilmiştir. Alternatif tersane yerleşim planları ilgili bilimsel literatürde yaygın olarak bilinen ve hesaplaması göreceli olarak kolay olan Verimlilik Oranı amaç fonksiyonuna göre sıralanmıştır. Mühendislik yaklaşımında en son aşama çözümün uygulanması ve uygulama sonrası sürekli gözden geçirmedir.

Tersane yerleşim optimizasyonu, tesis yerleşimi problemi bağlamında modellenmiştir. Bu kapsamda algoritmalar temel olarak iki amaç fonksiyonuna göre sınıflandırılır. Birinci amaç fonksiyonu uzaklık tabanlı yöntem olarak isimlendirilir. Uzaklık tabanlı fonksiyonda malzeme akışlarının toplamı en aza indirmek amaçlanır. Uzaklık tabanlı tesis yerleşimi probleminde departmanlar arası malzeme akışlarının sayısal değerleri bilinmelidir. Ancak böylelikle niceliksel bir ölçüm yapmak mümkündür. Tesis yerleşimi problemini bir tersane için çözdüğümüz göz önüne alınırsa departmanlar arası malzeme akış yükünü sayısal olarak tahmin etmek çok mümkün değildir. Bu durumda amaç fonksiyonu olarak bitişiklik tabanlı yöntem kullanılmıştır. Bitişiklik tabanlı tesis yerleşimi probleminde, girdi olarak ilişki şeması kullanılır. Öznel olarak yakınlık dereceleri atanır. Harf sel değerler olarak belirlenen yakınlık dereceleri bir ilişki şemasında özetlenir. Bitişiklik tabanlı tesis yerleşimi probleminde departmanlar arası ilişki puanını en yükseğe getirmek temel amaçtır. Tesis yerleşimi problemini çözdüğümüz tersane için ilişki şeması gemi inşaatı planlama departmanı müdürünün görüşü dikkate alınarak doldurulmuştur. İlk olarak tersanenin üretim ve onarım faaliyetlerinin görüldüğü 21 adet ana departman listelenmiştir. Daha sonra malzeme

Mevcut yerleşim planı ve iyileştirilen yerleşim planı ayrık olay simülasyonunda toplam üretim süresini görmek için hazırlanmıştır. Tersane yerleşim simülasyonu, bir tersanenin yerleşiminin davranışını ve performansını incelemek ve geliştirilecek alanları belirlemek için kullanılan bir tekniktir. Simülasyon, malzemelerin ve ekipmanın tersane içindeki akışını optimize etmek, döngü süresini azaltmak, kaynak kullanımını iyileştirmek, kapasiteyi analiz etmek ve alternatif senaryoları test etmek amaçlamıştır. Tersane yerleşimi simülasyonu ile darboğazları ve verimsizlikleri tespit ederek akışı ve üretkenliği artırmak için değişiklikler yapmak için kullanılmıştır. Ayrıca ara ürünlerin farklı tersane alanları arasındaki seyahat mesafesini en aza indirerek döngü süresini azaltılabilecek alanları tespit etmeye çalışılmıştır. Buna ek olarak simülasyon, işgücü, ekipman ve malzeme gibi kaynakların kullanımını değerlendirmeye ve verimliliği artırmak ve maliyetleri azaltmak için kullanılabilecek alanları tespit etmeyi sağlar. Genel olarak, tersane yerleşimi simülasyonu, tersane yerleşimini optimize etmeye ve gemi inşa sürecinin verimliliğini ve üretkenliğini artırmaya yardımcı olur. Bu teknik, tek bir geminin üretim kayıtları baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Bir geminin üretiminde malzeme transfer süresinin, toplam üretim süresine oranının %21,20 ile %31,74 arasında olduğu hesaplanmıştır. Simülasyon programı ile farklı taşıyıcı hızları senaryoları test edilmiştir. Taşıyıcı hızlarını değiştirmeden iyileştirilmiş tersane yerleşimiyle birlikte toplam üretim süresinde %2,55 ile %4,42 arasında hızlanma görülmüştür. 5,5 km/saat hızı için iyileştirme oranı %3,49 iken eğer tersane için transfer ortalama hızı 7,5km/saate çıkarılması durumunda toplam üretim süresinde %11,6'ya kadar iyileştirilebilmektedir.



SHIPYARD LAYOUT OPTIMIZATION AND SIMULATION

SUMMARY

The main purpose of this study is to improve the layout in order to increase the production efficiency of a shipyard in Yalova with an annual steel processing capacity of 50,000 tons and to examine the effect of the improved layout on the production times. The facility layout problem is modeled for a shipyard, analyzed and presented with its results along with a comprehensive literature review.

The facility layout problem refers to determining the physical locations of departments for a production system. Any manufacturing industry may face important and fundamental strategic issues such as where to place facilities departments and how to efficiently design those facilities. The facility layout definition is made as a physical location of departments with a focus on system-wide workflow and is designed to achieve the highest operational efficiency at the lowest cost. The most important goal for the facility layout problem is minimizing the material handling cost, but quantitative and qualitative goals can also be applied. Reduced material movement not only minimizes material handling costs, but also reduces in-process inventory levels and production times, enables less damaged product production, simplifies material control and scheduling, and reduces overall systemic congestion. Therefore, other goals can be achieved simultaneously while minimizing the material handling cost.

If one examines the historical development of the facility layout problem, facilities layout planning and location have been applied to the positioning of the Egyptian pyramids to ideas as early as 4000 BC, although it has been formally studied as a discipline since the mid-1950s. The fact that the Roman Empire chose the locations of temples, arenas and other buildings between 100 BC - AD 100 can also be considered as a facility layout problem. It can be formally regarded as the first time the facility layout problem began to enter the scientific literature with the development of the quadratic assignment problem in 1954. Systematic Layout Planning, another facility layout problem solution technique, was introduced to the literature in the 1950s and is widely used even today.

Facility layout problem; deals with the placement of production departments according to their relative relationships, and plant layout design aims to streamline workflow and increase productivity. The plant layout aims to ensure that each part/component of the product follows a predetermined path throughout the plant, coordinating the paths of the various parts so that the manufacturing operations are carried out in the most economical way. The facility layout problem is important because researches have emphasized that 20% to 50% of the total operating costs in manufacturing are allocated to material handling costs, and they stated that these costs can be reduced by 10% to 30% annually by making facility layout planning. An effective facility layout design increases throughput and overall productivity, while a poor layout design can result in longer run times and excessive production lead time. Studies show that more than 35% of system efficiency can be lost if an incorrect layout and location design is applied.

When deciding on the facility layout; factors such as movement flow, material handling, output needs, space utilization, ease of transportation, communication and support, impact on employee morale and job satisfaction, promotional value, security, and ease of future expansion and modification can be considered.

The shipyard layout has developed in parallel with the increase in ship size in the historical process. In the early days of history, ships were built using wood materials, and it was possible to build ships anywhere near the sea, river, and trees. Later, steel material came to the fore. After the 1960s, the size of the ships began to increase rapidly and the small shipyards began to be insufficient. For this reason, the size of the cranes increased, the number of small slipways decreased. As a result of all this rapid change, the shipyards established in Japan in the 1960s were specially planned for the construction of larger ships, and many shipyards were subsequently established in Eastern Europe, South Korea, China and Vietnam. Modern shipbuilding practices and manufacturing methods have evolved, but basic technology and core equipment have remained the same over the past 50 years.

The ideal layout for a modern shipyard is based on the production flow. For an ideal shipyard layout, some elements should be considered when planning or re-planning. These elements are; the size and type of the ship to be built, the number of ships to be reached per year, the separation of ships into structural blocks and hardware modules (interim products), the material handling equipment required for interim products, the production and assembly processes of the parts to be installed, the amount of hardware and engine assembly to be performed, the required control services are necessary management facilities. In addition; factors such as required space, sufficient space, amount of automation and mechanization, material handling, construction methods used affect the shipyard layout.

While optimizing the shipyard layout, a certain engineering approach has been applied. According to this approach, the problem is first defined. In the interviews made with the shipyard planning department, it was mentioned that the interim product flow in the shipyard is not regular and it takes unnecessary distances with the cranes, trucks and tractors, which are the transport units to transport the intermediate products. After the problem was defined, visits were made to the shipyard for two weeks in different period of time to collect the necessary data and to make observations and records. The first and basic data is the current shipyard layout. Markings were made on the shipyard layout plan obtained as a draft. The next step of the engineering approach is to create a model for the problem. Model building involves the mathematical approach. Before the mathematical approach was developed, the shipyard layout problem was considered and potential solutions were tried to be estimated by preliminary work. It is difficult to reach the optimum solution for the shipyard layout problem. Therefore, an algorithm was chosen. The chosen algorithm is the Graph-theoretic approach. In addition, Systematic Layout Planning, which is a layout planning method, was used. The next process in the solution method followed is the production and evaluation of alternative solutions. Alternative shipyard layouts produced by Graph-theoretical approach and Systematic Layout Planning methods were visualized with the help of AutoCAD program. Alternative shipyard layouts are ranked according to the Efficiency Rate objective function, which is widely known in the relevant scientific literature and is relatively easy to calculate. The last step in the engineering approach is the implementation of the solution and the continuous review after the implementation. However, this last stage is not within the scope of the thesis.

Shipyard layout optimization is modeled in the context of the facility layout problem. In this context, algorithms are basically classified according to two objective functions. The first objective function is called the distance-based method. In the distance-based function, it is aimed to minimize the sum of material flows. In the distance-based facility layout problem, the quantitative values of the material flow between departments should be known. However, it is only possible to make a quantitative measurement in this way. Considering that solution of the facility layout problem for a shipyard, it is not very possible to estimate the material flow load between departments numerically. In this case, the adjacency-based method was used as the objective function. In the adjacency-based facility layout problem, the relationship chart is used as an input. Degrees of closeness are assigned subjectively. The degrees of closeness determined as letter values are summarized in a relationship chart. The main objective is to maximize the interdepartmental relationship score in the adjacency-based facility layout problem. The relationship chart for the shipyard where we solved the facility layout problem was filled in with the opinion of the shipbuilding planning department manager. First of all, 21 main departments where the production and repair activities of the shipyard are seen are listed. Then, letter values were entered into the relations between departments one by one, with a total of 13 different parameters such as material flow, security, personal communication need, use of common equipment, use of common records, shared personnel sharing, audit or control. The specified numerical order should be followed when entering the letter relations between departments. Otherwise, confusion is likely to occur in subsequent calculations. Once the relationship diagram was filled, alternative layout plans were generated to be proposed. A total of 12 alternative layout plans have been developed. 7 alternative layout plans were generated using the Systematic Layout Planning procedure. In the Systematic Layout Planning procedure, a relationship diagram was drawn by using the letter values in the relationship chart in order of importance. A space relationship diagram including the areas of the departments was generated. At the last stage of the Systematic Layout Planning procedure, 7 different alternative layout plans were generated, which are similar to the space relationship diagram. The remaining 5 of the 12 alternative layouts were developed using the Graph-theoretic approach. The Graph-theoretic approach is a heuristic algorithm. In order to place the departments in the Graph-theoretic approach, the letter values defined in the interdepartmental relationship diagram are converted to numerical values. The generation of the maximal planar adjacency graph is the key point of this heuristic. In the maximal planar adjacency graph, departments are considered as nodes. First, the first 4 nodes are placed in order of degree and the initial tetrahedron is formed. Then, other nodes are located in order of degree and a maximal planar adjacency graph is obtained. 5 different alternative layouts, which are similar to the maximal planar adjacency graph, were generated. 12 different shipyard layouts comprising 21 departments are listed and presented according to Efficiency Rate. The efficiency rate of the current layout plan increased from 48.91% to 73.91%. It can be said that the realization rate of the 13 parameters used to fill the relationship table increased from 48.91% to 73.91% with the implementation of the new improved layout plan.,

The current layout and the improved layout are prepared to see the total production process time in the discrete event simulation. Shipyard layout simulation is a technique used to study the behavior and performance of a shipyard's layout and identify areas for improvement. The simulation aimed to optimize the flow of materials and equipment within the shipyard, reduce cycle time, improve resource utilization,

analyze capacity and test alternative scenarios. A shipyard layout simulation has been used to identify bottlenecks and inefficiencies and make changes to increase flow and productivity. In addition, it has been tried to identify areas where the cycle time can be reduced by minimizing the travel distance between different shipyard areas of interim products. As well as, the simulation allows to evaluate the use of resources such as labor, equipment and materials and to identify areas that can be used to increase efficiency and reduce costs. Overall, shipyard layout simulation helps optimize shipyard layout and increase the efficiency and productivity of the shipbuilding process. This technique is accomplished based on the production records of a single ship.

The ship production was to evaluated in 6 stages. As well as, 3 different versions of Arena models were used. The first is the model entered with zero transfer time without the use of transport or transfer modules. The second is the current shipyard layout model. The third is the improved shipyard layout model. This working draft makes possible to comparisons. The results indicates that the accurate and consistent data entry is very important for the Arena Simulation models. Besides, results show that the material transfer rate has a share of 21.20% and 31.74% in the total production process time in shipbuilding. While the total production process time is 2732 hours in the current layout, the total production process times are between 1768 hours and 2419 hours with the improved layout. The improvement rate in the total production process time is between 3.49% and 11.6%. The accuracy of the model is tested with the number of entities which take part in total production. The departments with the highest utilization rate are Block Production Area, Paint Workshop and Preassembly-1 areas, and the departments with the lowest utilization rate are Piping Workshop, Preassembly-3 and Panel Production Area. The average waiting times in the queue, the maximum waiting times in the queue and the average number of entities waiting in the queue and the maximum number of entities waiting in the queue are presented for all modules used in the shipyard layout simulation. With no change in transfer speed, overall production process time was reduced by 2.55% to 4.42% with the improved layout. While the improvement percentage for the 5.5 km/h speed is 3.49%, if the transfer average speed for the shipyard is increased to 7.5 km/h, the total process time can be improved up to 11.6%.

1. TESİS YERLEŞİMİ TANIMI, ÖNEMİ VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER

1.1 Tanım

Bir üretim sisteminin departmanlarının fiziksel organizasyonunun belirlenmesi, tesis yerleşim problemi (Facility Layout Problem-FLP) olarak tanımlanır. Tesis departmanlarının nereye yerleştirileceği ve bu tesislerin verimli tasarımı, herhangi bir imalat endüstrisinin karşı karşıya olduğu önemli ve temel stratejik konulardır. Bir başka tanım ise; tesis yerleşimi, genel işletme maliyetlerini en aza indirecek şekilde alanın tahsisini ve aynı zamanda, ekipmanın düzenlenmesidir. Dixit ve diğ. (2020), tesis yerleşimini, en düşük maliyetle en yüksek operasyonel verimliliği elde etmek için sistem genelinde iş akışına odaklanarak departmanların fiziksel bir düzenlemesi olarak tanımlamaktadır. Tesis yerleşimi, hammaddenin alınmasından bitmiş ürün sevkiyatına kadar en hızlı şekilde, en düşük maliyetle ürünün işlenmesinde minimum nakliye ile, kurulmuş veya kurulması tasarlanan, bir tesisin makine ve teçhizatını belirlemek ve düzenlemek için bir alan planıdır. Tesis yerleşimi, bir ürün ünitesinin en etkin şekilde, mümkün olan en kısa mesafeden ve mümkün olan en kısa sürede işlenmesine izin vermek için doğru ekipmanı doğru yere yerleştirmektir.

Üretim ve hizmet sistemlerini verimli bir şekilde işletmek için şirketler, yalnızca optimum planlama ve işletme politikaları ile çalıştırılmamalı, aynı zamanda iyi tasarlanmış bir tesis yerleşim düzenine sahip olmalıdır (Pillai ve diğ., 2011). FLP için matematiksel modellerde kullanılan en yaygın amaç, nicel bir faktör olan malzeme taşıma maliyetini en aza indirmektir. Tesis güvenliği, gelecekteki tasarım değişiklikleri için yerleşim düzeninin esnekliği, gürültü ve estetik gibi niteliksel faktörler de dikkate alınabilir (Francis ve White, 1974).

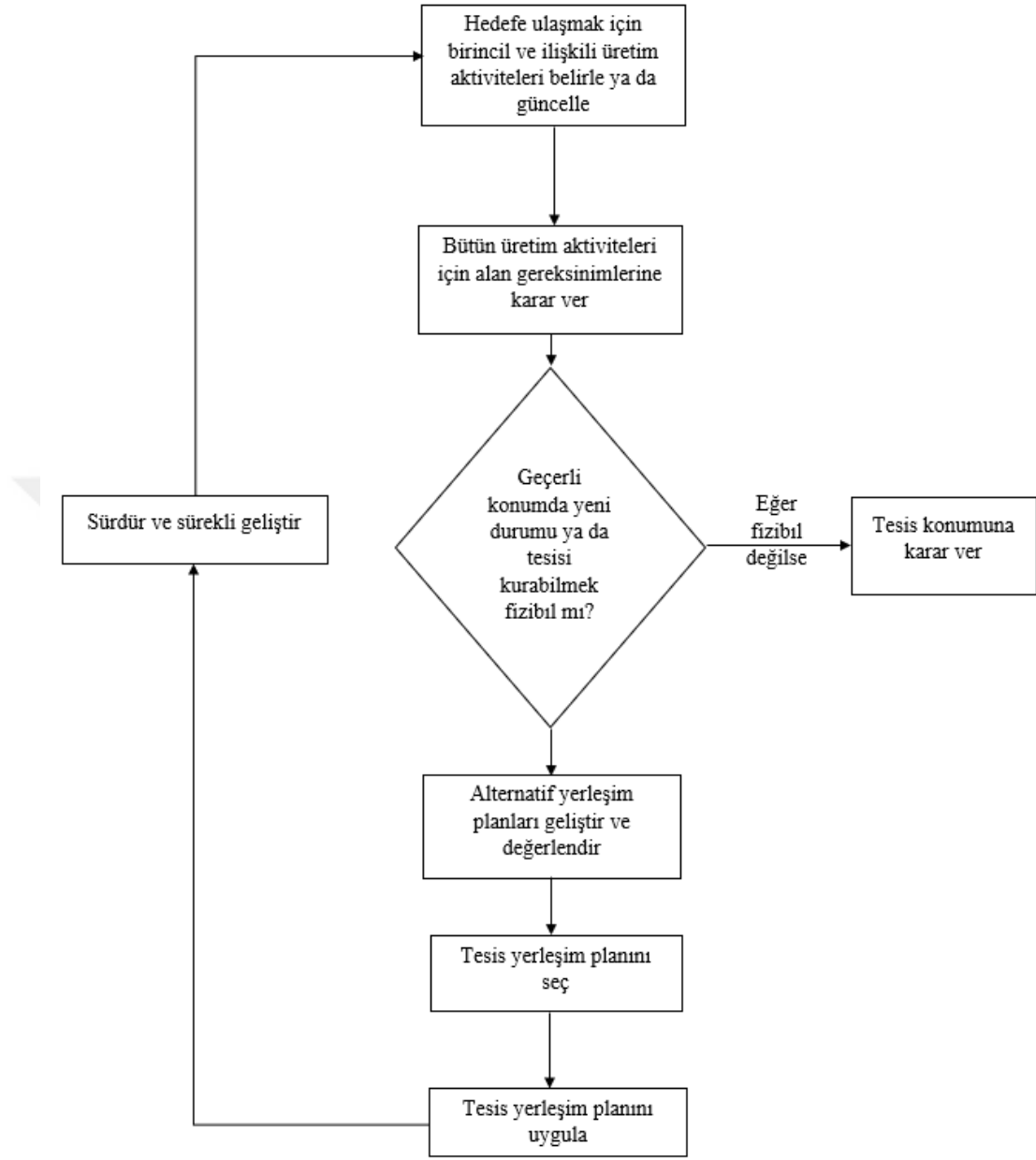
FLP, çeşitli problemlerde ortaya çıkan yaygın olarak çalışılmış bir optimizasyon problemidir örnek verecek olursak; baskılı devre kartı tasarımı, hastanelerin, okulların ve havaalanlarının yerleşim tasarımı, pano kablolama sorunları, daktilolar, depolar, hidrolik türbin tasarımı; vesaire gibi. Bu tezde ise genel olarak odak noktası, 'n' lokasyonda 'n' bölünmez tesisin en verimli yerleşimini bulmakla ilgilenen endüstriyel

(retim) tesislerin tesis yerleşim planı tanımlanmıştır. Malzeme taşımanın en aza indirilmesi maliyet en çok düşünülen hedeftir ancak Mecklenburgh (1985) ve Francis ve diğ. (1992), FLP için niceliksel olduğu kadar niteliksel hedeflerin de geçerli olabileceğini belirtmektedir.

Azaltılmış malzeme hareketi, süreç içi çalışma seviyelerini ve üretim sürelerini düşürür, daha az hasarlı ürün, basitleştirilmış malzeme kontrolü ve programlama ve daha az genel sistemsel tıkanıklık sağlar(Askin ve Standridge, 1993), (Fu ve Kaku, 1997) . Dolayısıyla, malzeme taşıma maliyetini en aza indirirken, diğeri hedeflere aynı anda ulaşılır. FLP'nin asıl çıktısı, her bölümün bağıl konumunu belirten bir blok yerleşimidir. Bir bölümün ayrıntılı yerleşimi, daha sonra koridor yapısı ve akış hattı ve makine yerleşimi problemlerini içerebilecek girdi/çıktı noktası konumları belirtilerek elde edilebilir.

Bir işletmenin etkili ve verimli bir üretim birimine sahip olması için, tesis yerleşimine özel dikkat gösterilmesi önemlidir. Tesis yerleşimi, istenilen üretim sonuçlarını elde etmek için imalatın farklı yönlerinin uygun bir şekilde düzenlenmesidir. Tesis yerleşimi mevcut alanı, son ürünü, kullanıcıların ve tesisin güvenliğini ve operasyonların rahatlığını göz önünde bulundurur. Etkin bir tesis yerleşimi, minimum maliyetle düzgün ve sabit bir üretim, ekipman ve insan gücü sağladığından emin olur. Tesis yerleşimi, tesiste ekonomik faaliyet için alanın fiziksel olarak tahsis edilmesiyle ilgilenir.

Tesis yerleşimi ve dizaynı, hem üretim sürecinin etkinliğini en üst düzeye çıkarmak hem de çalışanların ihtiyaçlarını karşılamak açısından bir işletmenin genel faaliyetlerinin önemli bir bileşenidir. Tesis yerleşimi, mevcut veya endüstriyel tesislerin planlarında en etkili fiziksel düzenlemedir; bir fabrikada insan, malzeme, makine ve yöntemlerin en yüksek koordinasyonunu ve verimliliğini sağlamak için makineler, işleme ekipmanı ve servis bölümlerinin düzenlenmesidir. Yerleşim sorunları, her tür organizasyon / kuruluş için geçerlidir. Tesis yerleşiminin yeterliliği, sonraki işlemlerin verimliliğini etkiler. Verimli operasyonlar için önemli bir ön koşuldur ve aynı zamanda birçok farklı problemle ortaklıklara sahiptir. Tesisin yeri belirlendikten sonra, işletmenin yönetiminden önceki önemli sorun, tesis için uygun yerleşimi planlamaktır. şekil 1.1 'de tesis yerleşimi sürekli geliştirilmesi algoritması sunulmuştur.



Şekil 1.1 : Tesis yerleşimi sürekli geliştirilmesi algoritması (Tompkins, 2010, s.7).

1.2 Tarihsel Gelişimi

Tesisler, insanların bir ürün veya hizmet sağlamak için malzemeyi faydalı hale getirdiği, makine ve diğer kaynakları kullandığı binalar olarak tanımlanabilir. Çeşitli etkenler (iç ve dış) nedeniyle bir tesisin uygun şekilde yönetilmesi önemlidir, böylece belirtilen amaç çeşitli hedeflerin karşılanması için gerçekleştirilir. Bu faktörlerin

örnekleri arasında, bir ürünün üretilmesi veya nispeten daha düşük maliyet, daha yüksek kalitede bir hizmet sağlanması ve en az miktarda doğal kaynak kullanılması yer alır. Tesisleri yönetmek için yani birbiriyle çelişen hedeflere ulaşılabilmesi için, bu tür sistemlerde karşılaşılan temel problemlerin anlaşılması önemlidir.

Tesis yerleşimi probleminin tarihsel gelişimini incelenirse, tesislerin yerleşimi planlaması ve konumu, 1950'lerin ortalarından beri resmi olarak bir disiplin olarak incelenmesine rağmen, M.Ö. 4000 kadar eski fıkirlere, Mısır piramitlerinin konumlandırması için uygulanmıştır. M.Ö. 100 - M.S. 100 yılları arasında Roma İmparatorluğu'nun tapınaklar, arenalar ve diğer binaların konumlarını seçmesi de tesis yerleşim problemi olarak kabul edilebilir. Resmi olarak ilk defa 1954'te Kareli Atama Probleminin geliştirilmesi ile tesis yerleşim probleminin bilimsel literatüre girmeye başlaması olarak kabul edilebilir. Bir başka tesis yerleşimi problemi çözüm tekniği olan Sistematik Yerleşim Planlama ise 1950'lerde literatüre kazandırılmış ve bugün bile yaygın olarak kullanılmaktadır. Tesis yerleşimi problemine tarihten örnek verilirse, Mısırlılar astrolojik hesaplamalara dayanarak piramitleri dikmek için bir yer seçmek zorundaydılar. Romalılar Kolezyum'u inşa ettiğinde, bir planın bir şekli ve ayrıntılı bir taslak çizimi geliştirilmelidir. Sanayi devrimi ile, özel üretimden seri üretime geçişi oldu. Ford tarafından uygulanan montaj hattı konsepti ve Gilbreth tarafından yapılan iş bölümü konsepti, fabrikalarda seri üretim tekniklerinin kabul edilmesine yol açtı. 1950'lerde Yöneylem Araştırmasının bir alan olarak ortaya çıkması, tesis tasarım ve planlaması için analitik modellerin geliştirilmesine yol açmıştır. Aslında, Koopmans ve Beckman (1957) tarafından Kareli Atama Problemi (KAP) makro düzeyde konum problemlerini (örneğin büyük bir coğrafi bölgedeki depoların konumu) ve mikro düzeydeki yer problemlerini (örneğin fabrikada tesis yerleşimi), bu modellerin çözümünde ve fabrika tesis yerleşimi problemi için yazılım geliştirmede önemli çabalar olmuştur. 1950'lerin sonlarında ortaya çıkan Sistematik Yerleşim Planlama (SYP) tekniği, bugün bile danışmanlar tarafından kullanılan bir tekniktir (Heragu, 2016).

Çizelge 1.1. : Tesis Planlama ve Tasarım Faaliyetlerinin Kronolojik Listesi (Heragu, 2016)

Tarih	Olay
M.Ö. 4000	Mısırlılar, astrolojik hesaplarına göre piramitler için uygun yerler bulma konusunda uzmanlık geliştirdiler.
M.Ö. 100- M.S. 100	Romalılar tapınaklar, arenalar ve diğer binaların inşası için tam teşekküllü yöntemler geliştirdi. Kamu ve konut binalarının ayrıntılı planlanması yapıldı.
1700-1900	Sanayi devrimi dönemi
1910	Hugo Diemer tarafından yayınlanan ilk endüstri mühendisliği ders kitabı Fabrika Organizasyonu ve Yönetimi
1913	Henry Ford tarafından tanıtılan ilk hareketli otomotiv montaj hattı
1954	Koopmans ve Beckman tarafından getirilen mikro ve makro seviye konum problemleri için kareli atama problemi.
1955 - 1995	Kareli atama problemi (KAP) için optimal ve sezgisel algoritmalar.
1959	Muther tarafından sunulan sistematik yerleşim planlama yaklaşımı.
1963	Armor ve Buffa tarafından sunulan bilgisayarlı nispi dağılımı ile tesis yerleşim tekniği (CRAFT)
1980'lerin başı	Esnek üretim sistemi konsepti tanıtıldı ve ilgi alanı hücresel üretim teknikleri kullanılarak orta çeşitlilikte üretim için orta hacim üzerinden tesis çapında esnekliğe ulaşmaya doğru kaymaktadır.
1985'ten günümüze	Tesis tasarımı problemleri için modern yazılımlar
1990'lardan günümüze	Dinamik tesis yerleşimi, güvenilir yerleşim düzenleri ve toplu özelleştirme tekniklerini desteklemek için tanıtılan yeniden yapılandırılabilir tesis yerleşimi gibi yeni tesis yerleşimi kavramları üzerine araştırma.

1.3 Amaç

Tesis yerleşimi, üretim departmanlarının göreceli ilişkilerine göre yerleştirilmesiyle ilgilenir ve tesis yerleşimi tasarımı, iş akışını düzene sokmayı ve üretkenliği artırmayı amaçlar (Muther ve Hales, 2015). Tesis yerleşimi modeli, hammadde, ekipman, insan gücü ve nihai ürün arasında güvenli ve rahat bir ortamda minimum maliyetle ideal bir ilişki kurabilmelidir. Tesis yerleşimi, ürünün her parçasının/bileşenin, tesis boyunca takip etmesini, çeşitli parçaların yollarını koordine etmesini, böylece imalat işlemlerinin en ekonomik şekilde gerçekleştirilmesini amaçlar. Optimumdan ziyade iyi bir tesis yerleşimi, paydaşlar, yönetim çalışanları ve tüketiciler başta olmak üzere tüm ilgililere maksimum memnuniyet sağlayan bir yerleşim düzenidir. Tesis yerleşiminin temel amacı, bir sistem üzerinden düzgün bir iş, malzeme ve bilgi akışı sağlamaktır. Tesisin temel anlamı, bir işletmenin faaliyetlerinin gerçekleştiği alandır. Bu alanın yerleşimi ve dizaynı, sistem üzerinden iş, malzeme ve bilgi akışı ile işin nasıl yapıldığını büyük ölçüde etkiler. İyi tesis yerleşimi ve tasarımının anahtarı, insanların (personel ve müşteriler), malzemelerin (ham, bitmiş ve işlenen) ve makinelerin ihtiyaçlarını tek ve iyi işleyen bir sistem oluşturacak şekilde entegre etmektir. Tesisin tasarlanmasındaki amaçlardan en önemlileri; darboğazlardan kaçınmak, makine müdahalesini en aza indirmek, çalışanların güvenliğini sağlamak ve tesis esnekliğini göz önünde bulundurarak, minimum miktarda malzeme elleçleme ve taşıma sağlamaktır.

Etkin ve etkili bir tesis yerleşimi aşağıdaki hedefleri kapsayabilir:

- Ekipmanı yerleştirmek ve malların hareketini kolaylaştırmak ve güvenli ve rahat bir çalışma ortamı oluşturmak için optimum alan sağlamak,
- Üretimde siparişi tek bir hedefe doğru tanıtmak,
- İşçilerin, hammadde ve ekipmanın hareketlerini azaltmak,
- Birimin yanı sıra işçilerin güvenliğini arttırmak,
- Yeni ürün hattını veya teknolojinin yükseltilmesini sağlamak için yerleşimde genişleme veya değişikliği kolaylaştırmak,
- Kuruluşun üretim kapasitesini arttırmak,
- İlgili herkese genel memnuniyet sağlamalıdır,
- Bir işlemten diğerine malzeme taşıma ve iç nakliye en aza indirgenir ve verimli bir şekilde kontrol edilir,

- Üretim darboğazları ve tıkanıklık noktalarının ortadan kaldırılması, böylece girdi ham maddeleri ve yarı mamul parçaların bir iş istasyonundan diğerine hızlı hareket etmeleri sağlanır,
- İş hacmi yüksek çalışma sağlamalıdır,
- Mekânı en etkili şekilde kullanmalı,
- İşçinin rahatlığını sağlamalı, iş tatmini ve güvenliği onlar için teşvik etmelidir,
- Gereksiz sermaye yatırımlarından kaçınılmalı,
- Emeğin etkili kullanımını sağlar,
- Daha az üretkenlik ve daha düşük maliyetle ürün maliyetinin düşmesine yol açmalıdır,
- Kolay denetim sağlamalıdır,
- Tesisin gelecekteki genişlemesi için yer sağlamalıdır,
- İş istasyonları için uygun aydınlatma ve havalandırma sağlanmalıdır.

1.4 Tesis Yerleşimini Etkileyen Faktörler

- Hareket akışı: Tesis dizaynı, sorunsuz proses akışının öneminin bir yansımasıdır. Fabrika tesisleri yerleşimi durumunda, ideal olarak, plan tesise giren ham maddeler bir ucunda ve bitmiş ürün diğer tarafta ortaya çıkmalıdır. Akışın düz bir çizgi olması gerekmez. Paralel akışlar, U-şekilli desenler, hatta bitmiş ürün ile gönderilen, nakliye ve alma yuvalarına geri dönen bir zik-zak yerleşim tipi olabilir. Bununla birlikte, seçilen desende geri izlemenin önüne geçilmesi gerekir. Parçalar ve materyaller genel akışa karşı ya da karşı karşıya geldiğinde, personel ve evraklar karışır, parçalar kaybolur ve koordinasyonun kazanılması karmaşıklaşır.
- Malzeme taşıma: Küçük işletme sahipleri, tesis yerleşiminin, malzemeleri (ürünler, ekipman, konteynerler, vb.) düzenli, verimli ve tercihen basit bir şekilde ele almayı mümkün kıldığından emin olmalıdırlar.
- Çıktı ihtiyaçları: Tesis, işletmenin üretim ihtiyaçlarını karşılamasına yardımcı olacak şekilde düzenlenmelidir.
- Alan kullanımı: Tesis tasarımının bu yönü, trafik şeritlerinin, envanter depolama ambarlarının veya odaların mümkün olduğunca fazla dikey alan kullanmasını sağlamak şeklinde düzenlenmelidir.

- Nakliye: Küçük işletme sahipleri operasyonların bu yönü için geniş yer bırakmalıdır. Alan kendini doldurmaya eğilimliyken, alım ve nakliye nadiren işin etkili bir şekilde yapılması için yeterli alan kazanır.
- İletişim ve destek kolaylığı: İşletmenin çeşitli alanlarında iletişimin ve satıcılar ve müşterilerle etkileşimlerin kolay ve etkili bir şekilde yapılabilmesi için tesisler düzenlenmelidir. Benzer şekilde, destek alanları çalışma alanlarına hizmet etmelerine yardımcı olacak alanlarda yerleştirilmelidir.
- Çalışanların moraline ve iş tatminine etkisi: Bir çok araştırma çalışan moralinin verimlilik üzerinde büyük bir etkisi olduğunu gösterir. Açık renkli duvarların, pencerelerin ve alanın sağlanması gibi tesis yerleşimi dizaynının bazı yollarla moralleri artırdığı gerçektir. Diğer yollar daha az belirgindir ve doğrudan üretim süreciyle ilişkili değildir. Bazı örneklerde tesis tasarımında bir kafeterya ya da bir spor salonu bulunmaktadır. Yine de, takas edilecek özellikler vardır. Yani, bir kafeteryaya bağlı moraldeki artış, artan verimliliğin bina maliyetini ve kafeteryayı istihdam etmeyi kapsadığı ölçüde, verimliliği artırmaktadır.
- Promosyon değeri: Eğer iş genellikle müşterileri, satıcıları, yatırımcıları vb. şeklinde ziyaretçileri alırsa, küçük işletme sahibi, tesis düzeninin şirketin itibarını daha da fazla yakan çekici bir yer olmasını sağlamak isteyebilir. Bir tesisin çekiciliğini etkileyebilecek tasarım faktörleri, sadece üretim alanının tasarımını değil, aynı zamanda bakım/temizlik görevlerini yerine getirmenin kolaylığını da içerir.
- İş Sağlığı ve Güvenliği : Tesis yerleşimi, işletmenin İş Sağlığı ve Güvenliği İdaresi kurallarına ve diğer yasal kısıtlamalara uygun olarak etkin bir şekilde faaliyet göstermesini sağlamalıdır.
- Gelecekteki genişleme veya değişim kolaylığı : Tesisler, değişen üretim ihtiyaçlarını karşılamak için kolayca genişletilebilecek veya ayarlanabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Bir tesisin yeniden tasarlanması, büyük ve pahalı bir girişim olsa da, her zaman bir yeniden tasarımın gerekli olması ihtimali vardır. Bu nedenle, herhangi bir tasarım esnek olmalıdır. Esnek üretim sistemleri, çoğu zaman çeşitli ürünlerin orta hacimli üretimine sahip yüksek derecede otomatikleştirilmiş tesislerdir. Hedefleri, farklı ürünler üretmek için değişim veya kurulum sürelerini en aza indirirken, montaj hattına (tek ürünlü) üretim

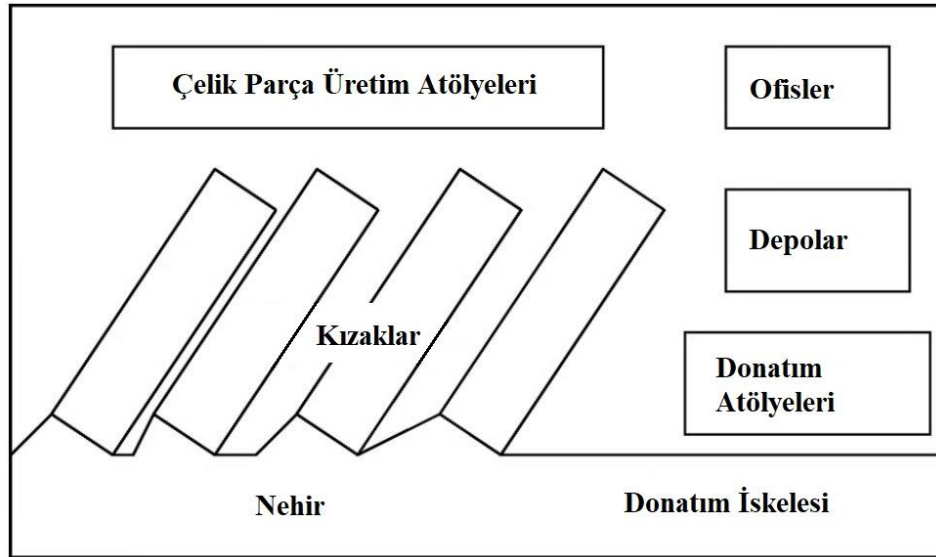
oranlarına yakın bir şekilde ulaşmaktır. Mümkün olan en iyi yerleşimi elde etme olasılığı aşağıdaki faktörlere göre doğru orantılıdır:

- **Ürünün Ağırlığı, Hacmi veya Hareketliliği:** Nihai ürün, yüksek maliyetli malzeme taşıma ekipmanı veya büyük miktarda işçilik içeren çok ağır veya zor işleniyorsa, mümkün olan en az ürünün hareket ettirilmesi önemlidir. kazan, türbinler, lokomotif endüstrileri ve gemi inşaat şirketleri vb.
- **Nihai Ürünün Karmaşıklığı:** Eğer ürün çok sayıda bileşen ve parçadan oluşuyorsa, yani bu parçaların atölyeden atölyeye veya makineden makineye veya bir montaj noktasından diğerine hareket ettirilmesi için çok sayıda kişi kullanılabilir. Örnek: otomobil endüstrisi.
- **İşleme Süresine İlişkin Süreç Uzunluğu:** Malzeme taşıma süresi, toplam üretim süresinin kayda değer bir oranını temsil ederse, ürünün taşıma süresindeki herhangi bir azalma, endüstriyel ünitenin yüksek verimlilikte iyileştirilmesine neden olabilir.
- **Sürecin Seri Üretime Yönelimi:** Seri üretim sistemlerini benimsemek için sanayide otomatik makineler kullanılması ile üretim hacminde artış olacaktır. Yüksek üretim çıktısı göz önüne alındığında, yerleşim iyi olmadıkça çıktının taşınmasında daha büyük el emeği yüzdesi devreye girecektir.



2. TERSANE YERLEŞİMİ TARİHİ VE ÖNEMİ

Çelik gemilerin ortaya çıkmasına kadar, ana inşaat malzemeleri olarak ağaçlara ihtiyaç vardı denize veya nehire ve ağaçlara yakın hemen hemen her yerde bir gemi inşa edilebilirdi. Demir ve daha sonra çeliğin gemi inşaatında kullanılmaya başlamasıyla gemi inşasının başta kömür ve demir cevheri olmak üzere hammaddelerin bulunduğu alanlara taşınmasıyla sonuçlandı. Bunlar aynı zamanda temel metal işleme becerilerinin, işgücünün temeli olarak bulunacağı veya bazı durumlarda bölgeye bir işgücünün taşındığı alanlardı. Tersaneler genellikle nehir kıyılarında veya korumalı limanlarda bulunmaktaydı, temel yerleşimleri değişmezdi. Şekil 2.1 'de, 1960 yıllarına kadar kullanılan nehir kıyısında kurulmuş bir tersanenin tipik yerleşim planı gösterilmektedir (Eyres ve Bruce, 2012,ss. 119).



Şekil 2.1 : Geleneksel nehir kıyısı tersanelerinin yerleşim planı.

Parça parça gemilerin inşa edildiği kızaklar küçük ve basit atölyelerle desteklenmiştir. Nispeten küçük bir başlangıç yatırımı gerektiren bu eski tip tersanelerde ve gemi inşaatı, açık kapalı alanlara ve işgücünün artan azalan oranıyla çeşitlilik gösterebilirdi.

Tersanelerdeki en büyük değişiklik, 1950'den sonra ticari gemi boyutlarındaki hızlı artışlardan kaynaklanmaktadır. O zamanlar tipik bir kargo gemisi 10.000 DWT altındaydı ve 20.000 DWT'luk bir tanker büyük olarak kabul ediliyordu. 1958'de,

100.000 DWT üzerindeki ilk tanker üretildi ve 1966'da 200.000 DWT üzerindeki ilk tanker inşa edildi. 1970'e gelindiğinde 250.000 DWT'luk ve daha büyük gemiler inşa ediliyordu. Bu yeni gemilerin önemli bir yönü, çelik ağırlığının tipik olarak 3000 tondan 30.000 tona, yaklaşık on kat artmasıydı. Artık en büyük gemilerin boyu 300 metreyi aşıyordu. Bu nedenle, mevcut çoğu tersanenin kızakları için çok büyüktüler ve genellikle mevcut olan küçük vinçlerin kaldırma kapasiteleri, uzun zaman alan inşaat süreleri anlamına geliyordu (Bruce, 2020 ss.55).

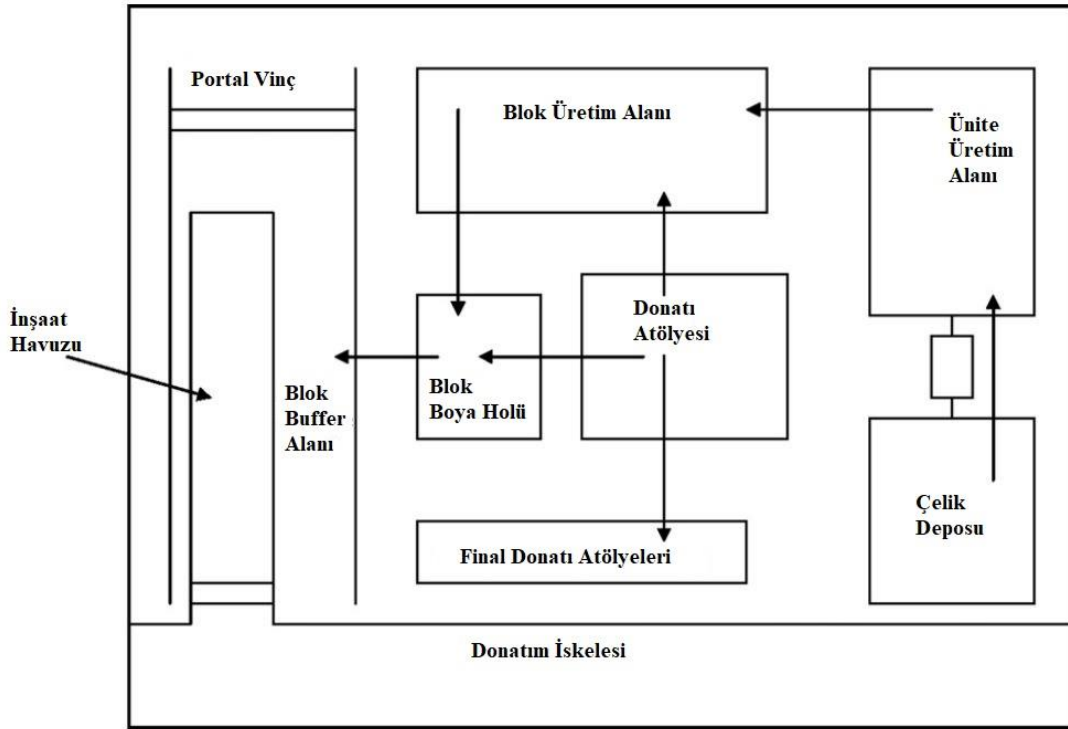
Gemi boyutu arttıkça, bunun doğal bir sonucu olarak, mevcut tersanelerin kızak sayısı azalmaya başlamış ve kızakların boyları artmış, ek olarak vinçlerin kaldırma kapasiteleri yükselmiştir. Bu şekilde, gemiler daha kısa sürede inşa edilmeye başlanmış ve böylece inşaat süreleri kabul edilebilir zaman aralığında kalmıştır. Çok az sayıda Avrupa tersanesi, VLCC'leri inşa edebilmek için kızak boyutlarını ve vinçlerin kapasitelerini artırdı. Bununla birlikte, 1960'lar, başta Asya olmak üzere Avrupa'da da yeni, büyük gemiler için özel olarak tasarlanmış önemli sayıda yeni tersanenin ortaya çıkışına tanık oldu. Büyük boyutlarda ki gemilerin inşası için ilk tersaneler 1960'ların ortalarında Japonya'da kuruldu ve daha sonra Doğu Avrupa ve daha yakın zamanda Güney Kore, Çin ve günümüzde Vietnam da dahil olmak üzere inşa edilen birçok tersane, daha büyük gemilerin inşası için özel olarak planlanmaktadır. Modern gemi inşa uygulamaları ve üretim yöntemleri gelişmesine rağmen, temel teknoloji ve ana ekipman son yarım asırdır aynı parametrelere bağlıdır.

Genellikle nehir kıyılarına dayanan bir dizi geleneksel gemi yapımcısı, daha büyük gemiler inşa edebilecekleri ve/veya yeni teknoloji ve üretim yöntemlerinden yararlanabilecekleri yeni tersaneler de kurdular. Genel olarak, daha küçük gemi yapımcıları, daha küçük ve orta ölçekli gemiler inşa etmeye devam ederken, yeni teknolojiyi kullanmak ve üretimi geliştirmek için tesislerini yapılandırabildiler. Çoğu durumda tersaneler, inşa edilebilecek geminin büyüklüğü ve tipine göre sınırlandırılmıştır. Birçok küçük tersane, kuru, sıcak (veya soğuk) bir ortam sağlayan tamamen kapalı alanlarda inşaatı benimsemiştir. Kapalı ortamda gemi inşaatı, özellikle Kuzey Avrupa'da birçok askeri gemi ve ayrıca yolcu gemileri dahil olmak üzere bazı büyük gemileri kapsayacak şekilde genişletildi. Tersanelerin rutinden farklı olduğu bu tür büyük gemilerin ilk günlerinde olduğu gibi, geminin karmaşıklığı ve maliyeti,

kapalı tesislere yapılan büyük sermaye harcamalarını haklı çıkarabilir (Eyres ve Bruce, 2012, ss.119)

2.1 İdeal Tersane Yerleşimi

Modern bir tersane için ideal bir yerleşim planı, Şekil 2.2 'de görülmektedir. İdeal yerleşim planı üretim akışı esasını temel almaktadır. Tersane sıfırdan inşa edilmiştir ve mevcut tersanelerde olduğu gibi artık nehir kıyısını takip etmek zorunda değildir. Bu, bir yerleşim alanındaki konumları veya fiziksel nehir kıyısı eğimi ile nehirden geriye doğru uzanan eski sahalardaki tipik kısıtlamaları ortadan kaldırmakta, böylece değiştirilmiş üretim akış hatları ortaya çıkmaktadır.



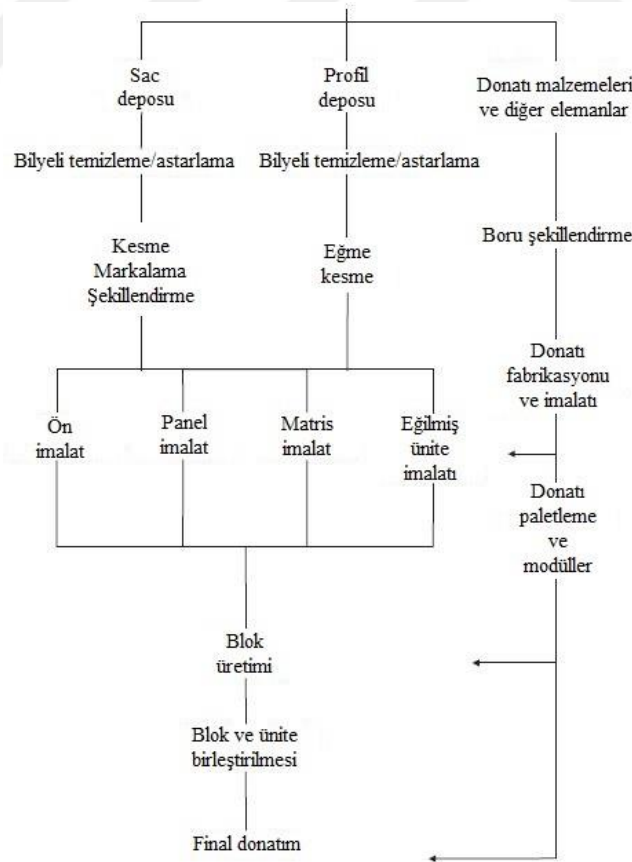
Şekil 2.2 : Modern ve büyük bir tersaneye ait yerleşim planı (Eyres ve Bruce, 2012).

Tersane yerleşimi geliştirme sırası aşağıda özetlenmiştir. Belirli yerlerin ve koşulların, ideal olmayabilen ancak işe yarayan önemli ölçüde farklı düzenlemeler gerektirebileceğine dikkat edilmelidir. Yeni bir tersanenin planlanması veya mevcut bir tersanenin yeniden planlanması, aşağıdaki konularda alınacak kararları içermektedir:

- İnşa edilecek geminin boyutu ve gemi tipi,

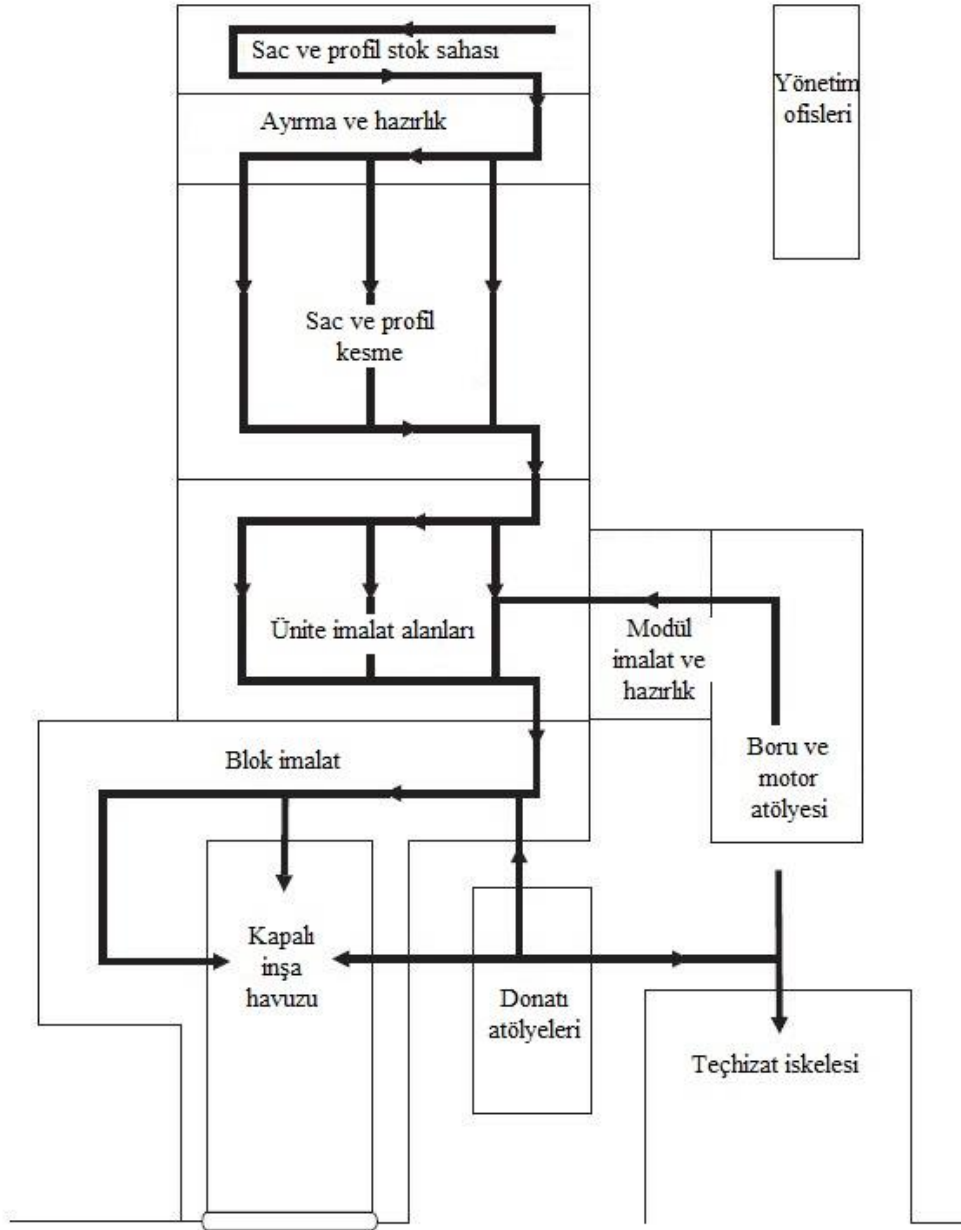
- Yılda inşa edilecek gemi sayısı,
- Gemilerin yapısal bloklara ve donanım modüllerine ayrılması,
- Ara ürünler için gerekli uygun malzeme taşıma ekipmanları,
- Kurulacak parça üretim ve montaj işlemleri,
- Yapılacak donanım ve motor montajı miktarı,
- İstenilen kontrol hizmetleri,
- Gerekli yönetim tesisleri.

Tersanelerde genellikle, neredeyse inşaatı bitmek üzere olan geminin denize indirildikten sonra bağlandığı ve bitirme işinin gerçekleştirilebileceği bir donatma havuzu veya rıhtım bulunur. Tespit edilen tesislerin bir kısmı tersanede olmayabilir ve bunun yerine bir alt yüklenici (taşeron) kullanılabilir. Kullanılacak alt yüklenicilerin seçimi, mevcut olan alternatiflerin ekonomikliğine bağlı olacaktır. Tersanenin asıl yerleşim planını değerlendirmeden önce, Şekil 2.3 'te gösterildiği gibi, bir geminin inşasında yer alan iş süreçlerinin ilişkisinin de göz önünde bulundurulması gerekir (Eyres ve Bruce, 2012, ss.119 -122).



Şekil 2.3 : Gemi inşaatı iş süreçleri.

Şekil 2.4 'te yeni inşa edilecek bir tersanenin idealize edilmiş yerleşim planı gösterilmiştir. Bu yerleşim planı, oldukça yüksek bir iş hacmine sahip sınırlı sayıdaki standart gemi tipinde uzmanlaşmış küçük bir tersane için uygun olabilir. Bu tersane için bir kapalı havuz veya rıhtımı yeterlidir.



Şekil 2.4 : Küçük modern bir tersane için ideal tersane yerleşim planı.

2.2 Tersane Yerleşimini Etkileyen Faktörler

Tesis yerleşim problemi, küçük şirketlerden en büyük imalat sanayilerine kadar her tür kuruluşta ortaktır. Her şirketin amacı, tesislerinden maksimum fayda sağlamaktır. Yerleşim planının yeterliliği tesisin verimliliğini doğrudan etkiler.

a) Yılda inşa edilecek gemi sayısı ve tiplerinin çeşitliliği

İdeal olarak inşa edilecek gemi, bir tip veya yaklaşık olarak benzer tip ve boyutta iki tip olmalıdır. Bir tip söz konusu olduğunda, bu, tasarım ve üretim sürecinin, seri üretimin ve yüksek çıktı verimliliğinde bir rasyonalizasyona veya standardizasyona yol açabilir. Çeşitli tipler için dünya taleplerindeki dalgalanmalar nedeniyle, bu ideal durum pratikte çoğu zaman karşılanmamaktadır. Muhtemel istisnalar, donanma gemileri veya küçük çelik gemiler gibi tekneler üreten tersanelerdir.

Genel olarak, inşa edilecek gemilerin tipi, temel tersane yerleşiminde büyük rol oynar. Çünkü büyüklükleri ve çeşitli iş içerikleri bakımından, örneğin yolcu ve askeri gemilerde donatım işlerinin oranı veya büyük bir tankerlerde çelik işçiliği oranı farklılık göstermektedir.

b) Gerekli alan

Genel alan, inşaat sürecinin çeşitli aşamaları için gerekli alan tarafından belirlenir. Bu tür alanlar, içinde önerilen malzeme akışını barındırabilecek bir boyutta olmalıdır. Çeşitli alanların boyutu, üretim sürecinde eşit bir iş yükü olacak şekilde olmalıdır. Pratikte iş yükü eşit değildir ve süreçteki bir sonraki aşamaya geçmeden önce malzemelerin depolanabileceği tampon (buffer) alanların dahil edilmesi normaldir. Çeşitli aşamalar için gereken alan miktarı, tersanenin inşaat programı dikkate alınarak tahmin edilebilir.

c) Yeterli alan

Uygulamada, özellikle mevcut tersanelerde, yukarıda bahsedilen ideal büyüklükteki alanları tahsis etmek çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu durumda (dikkatli üretim planlaması, bazı alanların olası yeniden tahsisi ve temel inşaat tekniklerindeki değişiklikler yoluyla) çeşitli atölyelerden malzeme akışını iyileştirmek gerekir.

d) Mekanizasyonun miktarı

Gerçek mekanizasyon ve otomasyon miktarı, mevcut sermaye harcamasına, bölgenin/ülkenin ücret düzeyine ve işgücünün mevcudiyetine bağlı olacaktır; örneğin, işgücü ucuz ve bolsa, yüksek maliyetli makine kullanmak yerine işlemleri manuel olarak yapmak avantajlı olabilir. Alternatif olarak, işgücü sıkıntısı varsa veya işçilik maliyetleri yüksekse, bunun yerine makineye yatırım yapmak tercih edilebilir.

e) Malzeme taşıma

Malzeme akışının hızı, yönü ve verimliliği, kullanılan transfer türüne bağlı olacaktır. İdeal olarak, malzemenin taşınması minimumda tutulmalıdır. Verimli bir akış süreci için, doğru malzemenin doğru yere doğru zamanda en az çaba ve maliyetle taşınması gerekir.

f) Kullanılan inşaat yöntemleri

Yukarıdaki maddelerle doğrudan ilgili olan, kullanılan inşaat yöntemleridir. Dizayn ve inşa yöntemi, kullanılacak üretim tesisleri için en uygun olanı tercih edilmelidir. Örneğin, gemilerin boyutu ve yerleşimi, malzeme taşıma vb. kullanılan ön imalat miktarı, düz panel atölyelerinin kullanılıp kullanılmadığı, kapalı ortamda yapılacak işin miktarını gösterecek olan mevsimsel faktörler bunun seçiminde etkilidir (Shenoi, 2010).



3. LİTERATÜR TARAMASI

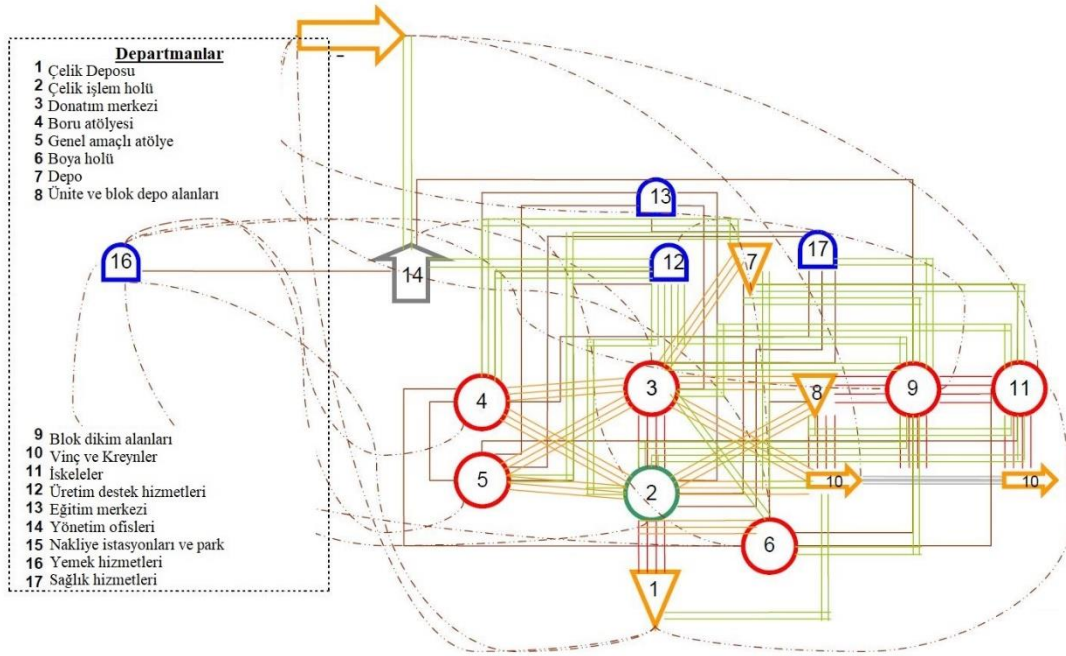
Chabane (2004), 1000 ve 5000 DWT kapasiteli küçük tersaneler için Muther'in SYP tekniğine bağlı olarak hem gemi inşa hem de gemi tamir sahaları tasarımını aynı tesiste birleştirdi. Muhtemel bir çözümün, katma değeri yüksek gemilerden oluşan uygun bir ürün karması ile uygun onarım faaliyetleri arasındaki bir kombinasyonda olabileceğini vurguladı. Dalgalanan talep dönemlerinde performanslarını ele almak için iki faaliyeti tek bir tersanede birleştirmenin mümkün olup olmadığı sorusuna cevap aradı. Bu ancak bazı tesis ve kaynakların dengeli bir şekilde paylaşılmasıyla gerçekleştirilebileceğini söyledi. Böyle bir çözümün uygulanabilirliği, tersanenin bazı kaynakları paylaşma ve iki ayrı departmandaki işleri ve görevleri benzerliklerini belirleyerek ve bunlardan yararlanarak birleştirme yeteneğine bağlı olacaktır. Bu nedenle, ilgili tesislerin yerleşimi metodik olarak tasarlanmalı ve uygulanmalı ve özel koşullara göre değişmemelidir. Chabane (2004), dalgalanan talep dönemlerinde tersane performanslarını ele almak için bu benzerlikler ve karşılıklı bağımlılıklardan nasıl yararlanılabileceğini araştırmayı amaçladı. Çalışma, benzer özelliklere sahip tersanelerin hâlihazırda uyguladığı uygulamaları dikkate alarak ve Grup Teknoloji konseptlerini temel alan iş organizasyonlarını vurgulayarak, iki endüstriyel faaliyet tarafından uygulanan iş süreçlerinin kapsamlı bir analizine dayanmaktadır. Yerleşim tasarımı daha sonra Muther'in sistematik prosedürü aracılığıyla sırasıyla üç adımda gerçekleştirildi ve optimize edildi:

- bir üretim departmanlarının yerleşimi,
- bir onarım departmanlarının yerleşimi,
- hem üretim hem de onarım departmanlarını birleştiren karma bir düzen,

Sonuncusu, ilk iki duruma ilişkin sonuçların bir kombinasyonu üzerine geliştirildi.

Çalışmanın amacı doğrultusunda, sırasıyla üç durum ele alınmıştır: bir gemi inşaatı departmanları yerleşimi, bir gemi onarım departmanları yerleşimi ve hem inşaat hem de onarım faaliyetlerini yürütmek için tasarlanmış karma bir yerleşim planı. Her iki

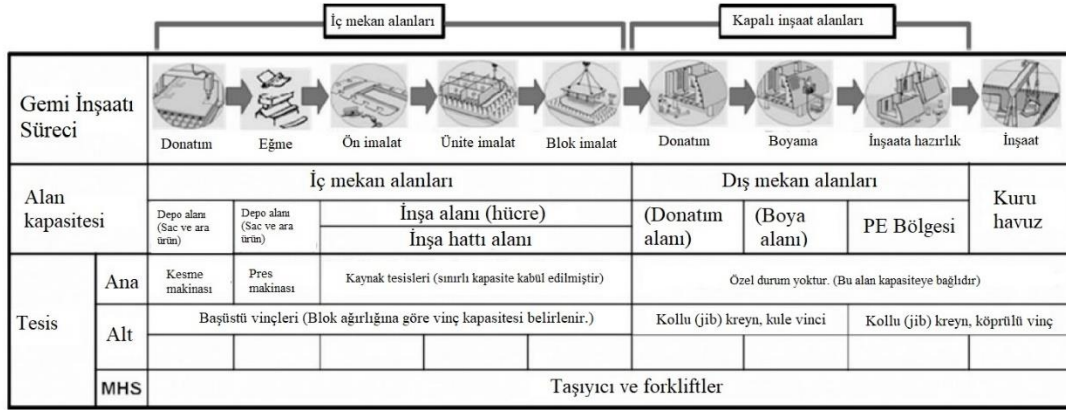
durumda da Muther tarafından önerilen Sistematik Yerleşim Planlama yöntemi uygulandı. Sistematik Yerleşim Planlama yöntemi, malzeme tedarikinden başlayarak işletmenin tüm üretim süreçlerini derinlemesine düşünen ve mevcut ortamı dikkate alan bir prosedürden oluşmaktadır. Geliştirilen teknik, bir projenin erken bir aşamasında olduğu gibi, mevcut verilerin ne yeterince ayrıntılı ne de ayrıntılı olmadığı durumları ele alabildiği için sağlam ve verimli olduğunu ortaya konulmuştur. Bu çözüm sayesinde, malzeme ve personel akışları önemli olsa da tek başına yerleşim düzenini etkilemezler. Bu nedenle, malzeme ve personel akış hacimleriyle ilgilenmeyen diğer destekleyici hizmetler dikkate alınabilir. Chabane (2004), hesaplamalarını 17 departmandan oluşan küçük bir tersane için yapmıştır. Şekil 3.1’de geliştirdikleri faaliyet ilişki diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.1 : Faaliyet ilişki diyagramının bir tersane için uygulanması (Chabane, 2004).

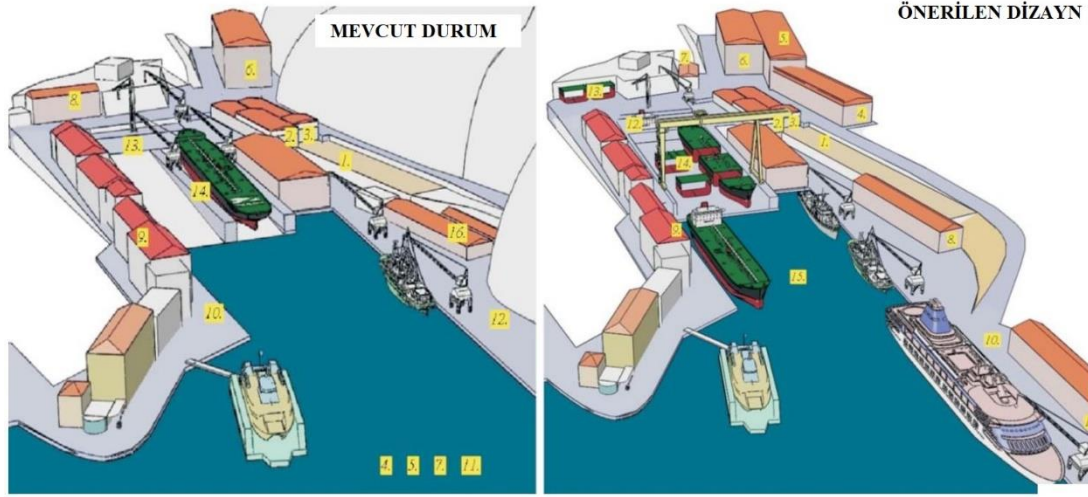
Shin ve diğ.(2009) tersane yerleşim tasarımı sorununa çözüm bulmak için simülasyon tabanlı tersane yerleşim tasarım şemasını geliştirmiştir. Tersane yerleşim tasarım şeması, sistem mühendisliği yaklaşımı varsayımı üzerine oluşturuldu. Disiplinli sistem mühendisliği tekniği, tersane yerleşimi tasarım çerçevesi geliştirmenin planlama aşamasında ISO/IEC 15288 tarafından yapılan yönlendirmelere uyuldu. Bu şema, yerleşim tasarımı prosedürünün paydaşını memnun edebilecek, yeterli ve verimli bir tersane yerleşim planının gerçekleştirilmesini önermektedir. Ek olarak, tavsiye edilen tersane yerleşim planının doğrulanması için bir bilgisayar simülasyonu uygulanması

yoluyla bir teknik sundular. Bu çerçevenin yardımcı olabileceği düşünülmektedir. Sunulan çerçevenin sadece mevcut tersanelerin üretkenlik iyileştirmesi değil aynı zamanda yeni yapılacak tersanelerin tasarımları için de geçerli olduğunu vurguladılar. Şekil 3.2’de gemi inşaatı süreç ve kapasite ve kaynaklarını özetlemişlerdir.



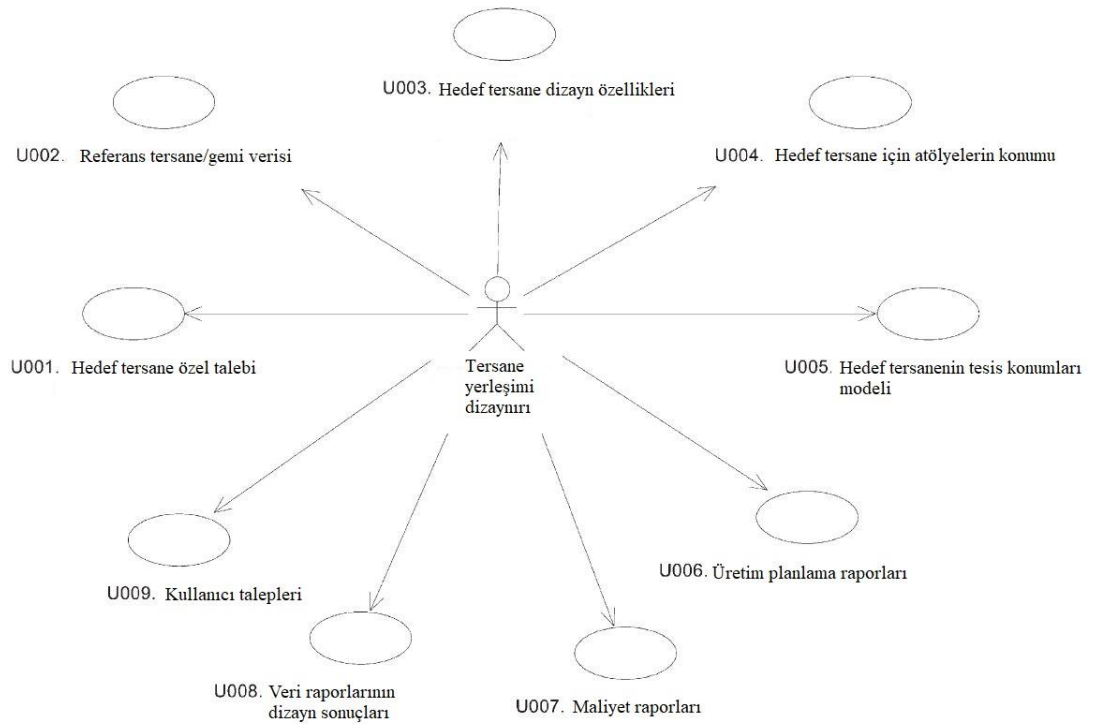
Şekil 3.2 : Gemi inşaatı süreçleri ve ilgili kapasite ve kaynaklar (Shin ve diğ., 2009).

Matulja ve diğ. (2009) tersane üretim alanlarının en uygun yerleşimini oluşturmak için yenilikçi bir prosedür geliştirdi. Tanıtılan prosedür dört aşamalıdır. Üretim alanlarının yakınlık ilişkilerini temel alan ilk aşama; geçerli uzmanların bir anketine dayanmaktadır. Bundan sonra ikinci aşama, tersane içindeki tüm potansiyel üretim yerleşimi alternatiflerinin oluşturulmasını ve tahmin edilmesini önermektedir. Belirlenen yakınlık ilişkilerine dayalı Sistematik Yerleşim Planlaması (SYP) yaklaşımı kullanılmıştır. Beş adet en iyi rekabetçi kriterler sırasıyla; (1) SYP puanı, (2) yatırım maliyeti, (3) sökülmesi gereken departman sayısı, (4) üretim sürecine engel oranı, (5) tersane arazisi dışı alan ihtiyacı, oluşturulduktan sonra, üçüncü aşamada, tüm kriterleri en iyi şekilde sağlayan değişkeni seçmek için Analitik Hiyerarşi Sürecini (AHS) kullanarak hiyerarşik modelleme ile incelediler. Dördüncü ve son aşamada, seçilen üretim alanlarının yerleşim düzeninin kararlılığını analiz etmek için bir hassasiyet analizi yapılmıştır. Tanıtılan metodoloji, gerçek bir tersane yerleşim optimizasyonunun çizimi üzerinde doğrulanmıştır. Özetle, Matulja ve diğ. (2009) yaptıkları çalışmada, 15 adet departmandan oluşan tersane yerleşimi problemi incelenmiş ve SYP ile 20 adet alternatif yerleşim planı sunmuş ve bu alternatiflerden en iyisi Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılarak seçmiştir Şekil 3.3’te üç boyutu çizimle yapılan düzenlemeli göstermişlerdir..



Şekil 3.3 : Mevcut ve önerilen tersane yerleşimlerinin 3B modelleri (Matulja ve diğ., 2009).

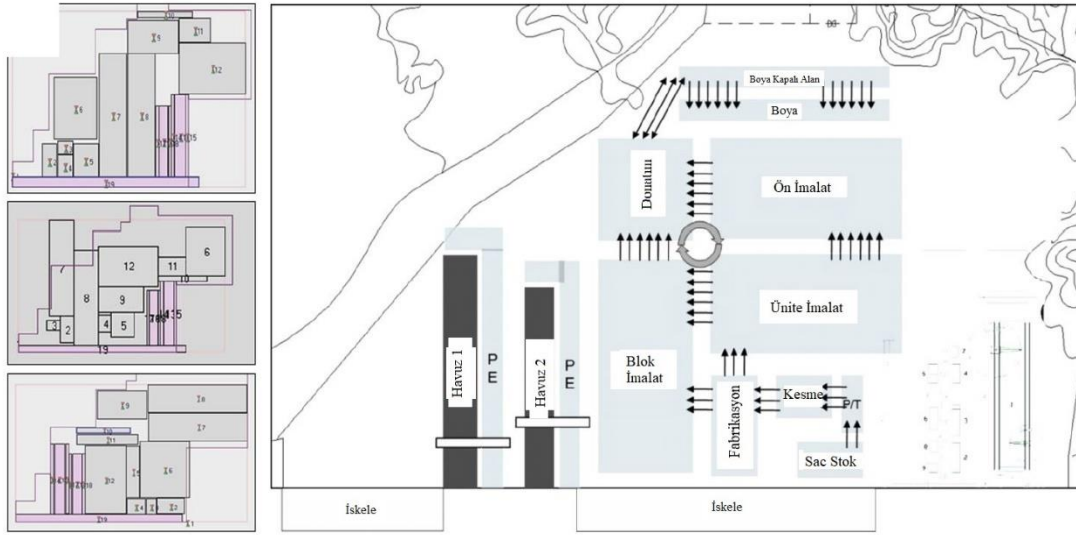
Song ve diğ. (2010) tersane dizaynı üzerine bir araştırma yaptı ve gemi imalatının üretkenliği ile sıkı bir şekilde ilişkilendirilen makine yerleşimi problemi, gemilerin seri üretiminin üretim planlamasında çok önemli bir argüman olduğunu tespit etti. Pek çok durumda tersane dizaynı, düzensiz ve kötü organize edilmiş süreçlerden oluşan, şirket mühendislerinin bilgisine bağlıdır. Bu nedenle, finansal israf ve buna karşılık gelen bir dizayn sürecinde etkilenen deneme yanılma kaçınılmazdır. Song ve diğ. (2010), gemi inşa sahası dizayn sürecini ayarlamak için kapsamlı temel özelliklerin bir kontrol listesi ile sınıflandırmıştır. Birincil yapı olarak tüm ilgili süreçleri ve dizayn mekanizmalarını birleştiren yazılımı geliştirmek için uygulanmasıdır. Bu prosedürde, adımlara göre hem kullanıcı talebi hem de yerleşim dizayn verileri organize edilir ve önerilen yerleşim dizaynı şablonu formunda oluşturulur. Ayrıca simülasyon, ana gemi inşa süreci planlamasına ve tersaneyi oluşturan çalışma aşaması tesislerine ait verilerin düzenlenmesine bağlı olarak gerçekleştirilir. Ek olarak, dizayn öğeleri, optimum süreç planlama ve tersane yerleşimi etkilerini gösteren bir ayarlama ve makine listesiyle doğrulandı ve optimize edildi. Song ve diğ. (2010) çalışması, simülasyona dayalı tersane yerleşimi dizaynı metodolojisine bağlı olarak, ilk mimari süreçler ile nesne yönelimli geliştirme metodolojisi ve sistem mühendisliği metotlarına dayanmaktadır. Şekil 3.4'te tersane yerleşimi planı uygulayıcısının dikkat etmesi gereken parametreleri sunmuşlardır.



Şekil 3.4 : Tersane yerleşimi planı uygulayıcısı talepleri (Song ve diğ. 2010).

Song ve Woo (2013) Güney Amerika, Venezüella'da yakın zamanda planlanan bir tersanenin hedefi için bir tersaneden gerçek ana verileri işleyerek uygun birleşik bir teknikle başlangıç yerleşim planını inceledi. Bu çalışmanın yerleşim dizayn tekniği, hedeflenen gemiden belirli ürün girdilerinin ve gerçek gemi inşa operasyon verilerinin ihtiyaç duyulan alan değerlendirmesi için benimsenmesiyle geçmiş analizden uyarlanmıştır. Başlangıç tersane yerleşim tasarımı aşaması için, planlanan geminin mutlak ürün verilerine ve gerçek gemi inşa operasyon verilerine bağlı olarak birleşik bir tersane yerleşim tasarımı tekniği geliştirilmiştir. Ayrıca, Venezuela'da yeni planlanan proje için vaka çalışması yapılmıştır. Song ve Woo (2013) araştırmaları, gerekli alan değerlendirmesi için hedef gemiden elde edilen gerçek ürün verileri ve gerçek gemi inşa operasyon verilerinin kullanılması nedeniyle önceki çalışmalardan farklıdır. Ayrıca, tanıtılan yöntemin sonucu, bir pazarlama ürünü olarak tam olarak uygulanabilecek karlı bir finansal değere sahiptir. Finansal saha taleplerinin yetersizliği bu çalışmada, gerçek imalat verileri ve gerçek işletme süresi üzerinden bulunan tersane yerleşim tasarımı yöntemi ile makul bir hesaplama yöntemi önerilmiştir. Uygun bir mühendislik uygulaması ile birlikte alıcıdan gelen finansal talepler de belirtildi. Son olarak, başlangıç aşaması için Venezuela'daki gerçek yeşil alan projesine ilişkin örnek olay incelemesi yapıldı. Bu araştırma, sistematik yerleşim

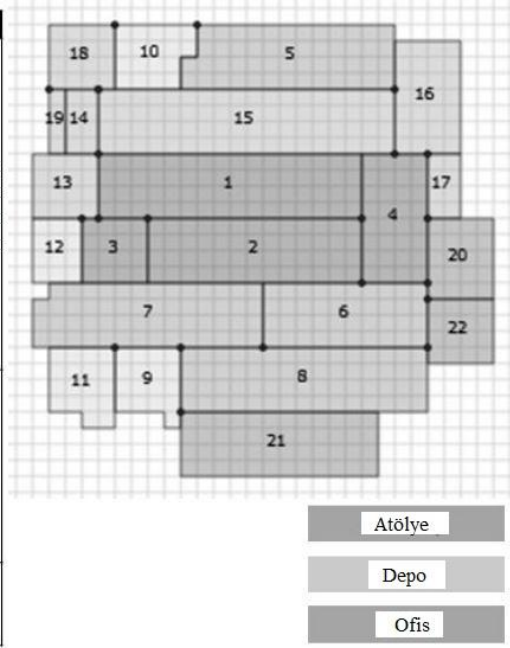
dizaynı çerçevesi ile ilgili önceki araştırmaların uzantısıdır (Shin ve diğ., 2009; Song ve diğ., 2010). Bir önceki inceleme, tersane yerleşim dizaynı sisteminin oluşturulması üzerine ele alınmıştır ve bu çalışmanın asıl amacı, sistem olarak üzerinde çalışılabilecek temel bir konuyu eklemektir. Song ve Woo (2013) ticari yazılım olan VIP Planopt ile, gerçek gemi inşa verileri ve gerçek operasyon süresi ile birlikte 19 departmanlı tersane yerleşiminin başlangıç aşaması için gerçekleştirdi. Şekil 3.5'te Song ve Woo (2013), yaptıkları çalışma görselleştirilmiştir.



Şekil 3.5 : Optimizasyon ve nihai tersane yerleşimi (Song ve Woo 2013).

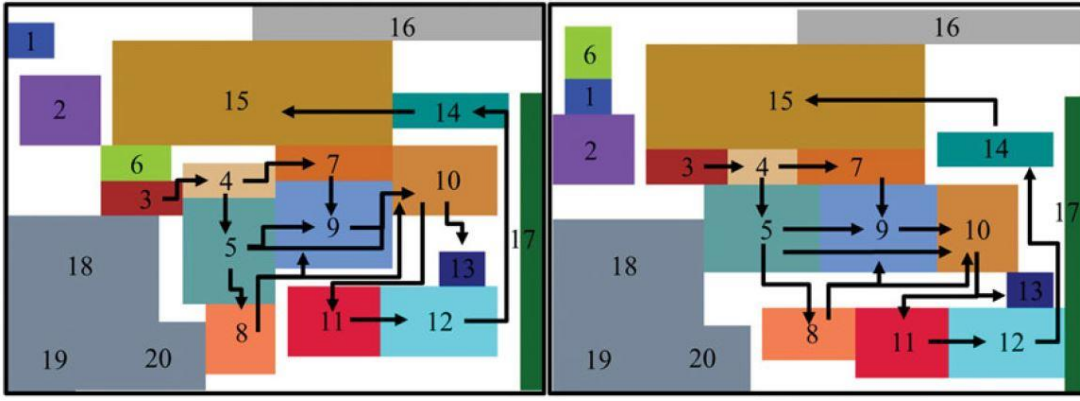
Lee ve diğ. (2013), bir üretim tesisinin, üretim sisteminin verimli olmasını sağlamak için çalışılan fabrika yerleşim dizaynı ile tesislerin, atölyelerin ve depolama alanlarının yerleşim ve malzeme akış planlarını inceledi. Bir yerleşim modülünün boyutunu ve şeklini tasarlamak için ve modüller için bir konum tahsisi algoritması için bir teknik sundular. Teknik, akıllı bir internet uygulaması tabanlı platform kullanılarak gerçekleştirildi. Lee ve diğ. (2013) sundukları yerleşim dizaynı yöntemi, gezi gemisi üretim sürecine temellendirilmiştir; bu yöntem, modern bir üretim tesisinin yerleşimini dizayn etmek için veya mevcut bir üretim tesisini ve üretim sistemini modernize etmek için kullanılabilir. Mevcut yerleşim tekniklerinin aksine, önerilen teknik için hedef ürünler, üretim mekanizması ve insan kaynakları stratejisi gibi girdiler kolaydır. Lee ve diğ. (2013), 22 departmanlı tesis için sezgisel yöntemle yerleşim optimizasyonunu yaptılar. Lee ve diğ. (2013), optimize ettikleri 22 departman Şekil 3.6'da listelenmiştir.

İndeks	Proses ismi	Alan (m ²)	Kategori
1	Tekne kalıp atölyesi	65,0	Otomatik
2	Güverte kalıp atölyesi	52,0	Otomatik
3	Yapı kalıp atölyesi	15,0	Otomatik
4	CNC atölyesi	32,0	Otomatik
5	Güverte atölyesi	75,0	Yarı-otomatik
6	Toz geçirmez alan	60,0	Yarı-otomatik
7	Boya holü	84,0	Yarı-otomatik
8	Donatım atölyesi	91,0	Yarı-otomatik
9	Dış montaj atölyesi	60,0	Manuel
10	İç montaj atölyesi	64,0	Manuel
11	Montaj atölyesi	64,0	Manuel
12		44,0	Manuel
13	FRP malzeme deposu	48,0	Depo
14	Malzeme deposu	20,0	Depo
15	Kalıp deposu	259,0	Depo
16	Ürün deposu	96,0	Depo
17	Atık deposu	18,0	Depo
18	Tedarik deposu	48,0	Depo
19	Alet deposu	10,5	Depo
20	Kafeterya	62,4	Yaşam alanı
21	Ofis	170,0	Yaşam alanı
22	Tuvalet	50,0	Yaşam alanı



Şekil 3.6 : Bir gemi üretimi tesisin gelecekteki yerleşim planı (Lee ve diğ., 2013).

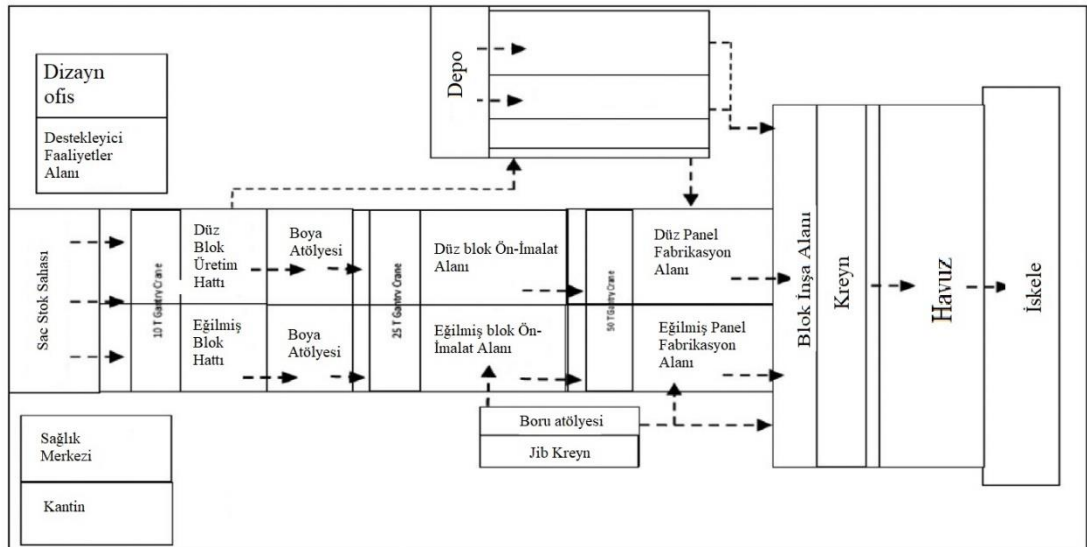
Choi ve diğ. (2017), gemi inşası sırasında departmanlık bitişiklik ve hizalama koşullarına ilişkin olarak malzeme taşıma maliyetlerini en aza indirmek için bir tersane yerleşimini optimize eden bir çalışma yapmıştır. Hizalama, tersane yerleşim optimizasyonunda önemli bir faktördür çünkü hizalanmış departmanların kaynakları paylaşarak sürekli bir üretim hattında olmasına izin vererek malzeme taşıma maliyetlerini potansiyel olarak azaltır. Choi ve diğ. (2017)'nın, optimizasyon süreci iki aşamadan oluşur: topolojik ve geometrik optimizasyonlar. İlk olarak, departmanların optimal topolojisi genetik bir algoritma kullanılarak belirlenir. İkincisi, departmanların kademeli olarak büyümesine ve alan, şekil, bitişiklik ve hizalamada verilen gereksinimleri karşılayan kendi geometrilerine sahip olmasına izin vermek için stokastik bir büyüme algoritması kullanılır. Tersane yerleşim optimizasyonu hizalama kısıtlamalarının dikkate alınmasının tersane yerleşim dizaynı üzerindeki etkisinin sunulduğu, tersane yerleşim tasarımında iki aşamalı algoritmayı göstermek için 20 departmandan oluşan bir tersane için vaka çalışması yapılmıştır. Choi ve diğ.(2017), düzenledikleri tersane yerleşimi Şekil 3.7'de görülebilir.



Şekil 3.7 : Hizalanmış ve hizalanmamış tersane yerleşimleri (Choi ve diğ., 2017).

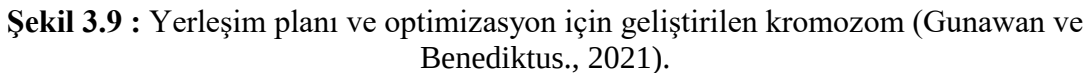
Shablykova (2020) çalışmasını tam olarak tersane faaliyetleri için yerleşim ve malzeme akış planının incelenmesi hedefiyle sundu. Bu çalışma projesine olan ihtiyaç sebebi, tersane arazisinin küçülmesi ve örnek tersanenin boyutlarının güncellenmesi ile bir bakıma iç-lojistik kapasitesini artacak olması ve planlanan projelerin gemi inşa prosedürünü yeterince kolaylaştırmak için olan yeni bir yerleşim planı üretmektir. Merkez tesislerindeki gelişmelerin ana üretim sürecini değiştirmede düşünülüyorsa, projenin gelişimi depo alanlarının tahsisinin optimizasyonuna bağlıydı. Çalışma, ilişkili işlem ve ölçülebilir analiz konumlu olarak yürütülmüş ve üç veri toplama periyodunda gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, mevcut vaka incelemeleri sırasında ilk veri seti toplandı ve lojistik süreçlerin güçsüz ve güçlü yönleri incelendi; ortak düzen ve malzeme akışı iletimi gibi. Teorik çerçeve uygulanabilir statüye dönük olarak oluşturulduğundan, mevcut vaka incelemesi, ek yerleşim planlama amaçları için planlanan üretim statüsünün toplanmasını sağladı. Bu çalışmanın teorik bileşeni, gemi inşasının son derece kısıtlı ve organize ortamında uygulanması mümkün olan ağır sanayideki benzer uygulamaların yanı sıra tersane yerleşim planlaması ve malzeme akışı optimizasyonunun mevcut uygulamalarını sorgulamaktadır. Yerleşim planı, metasezgisel tersane tesisi yerleşim planlama prosedürleriyle birlikte Sistematik Yerleşim Planlama (SYP) yöntemini benimseyerek geliştirildi. Malzeme akışı optimizasyonu, tersane malzeme dağıtım optimizasyon yöntemiyle birlikte “akıllı su damlası” algoritması ile uyumlu olarak elde edilir. Her iki optimizasyon tekniği de Python programlama kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar, vaka çalışması yapılan şirketinin lojistik iş gücü için çalıştırma talimatlarının bir parçası olarak incelenmek üzere kapsamlı bir modele genişletilmiştir.

Dixit ve diğ. (2020), bir tersanenin yerleşiminin, üretim performansına önemli ölçüde katkıda bulunduğunu ve deneyime dayalı uygulayıcılar, niteliksel faktörleri göz önünde bulundurarak uygulanabilir alternatif yerleşim planları sağlayabileceklerini vurguladı. Ancak, tersane yerleşimi bağlamındaki hiçbir çalışma, deneyimli uygulayıcıların değerli öznel bilgilerinden yararlanmamıştır. Dixit ve diğ. (2020), bu çalışma boşluğunu gidermek için Bulanık Benzerlik İndeksi (Fuzzy Similarity Index - FSI) ve Bulanık Hedef Programlama Modelini (Fuzzy Goal Programming Model - FGPM) kullanan iki aşamalı bir yaklaşım önerir. İlk aşama, uygulayıcılardan alternatif yerleşimleri ve ilişki şemalarını (REL Chart) ortaya çıkarır. İlişki şemalarının (REL Chart) bulanık yakınlık derecelendirmeleri, gemi inşa süreci akışının, atölyeler arası malzeme akışının, mesafenin, birim mesafe başına maliyetin, malzeme taşıma ekipmanının paylaşımının öznel değerlendirmesiyle atanır. Daha sonra, ideal yerleşim düzenine göre her bir alternatif yerleşim planının FSI değeri değerlendirilir. Ancak, en yüksek FSI'ye sahip alternatif yerleşimi uygulamak, pratik kısıtlamalar nedeniyle mümkün olmayabilir. Bu nedenle, ikinci aşamada FGPM, optimum yerleşim seçimi sağlamak için saha faktörleri, zararlı gaz emisyonu, çevre ve güvenlik ile ilgili pratik kısıtlamaları içeren formülle ifade edilir. Dixit ve diğ. (2020) 16 departmandan oluşan tersane için 5 adet alternatif yerleşim üretmiş ve hesaplamalarda bulunmuştur. Dixit ve diğ. (2020), Şekil 3.8'de ideal tersane yerleşimi planını tanımlamışlardır.



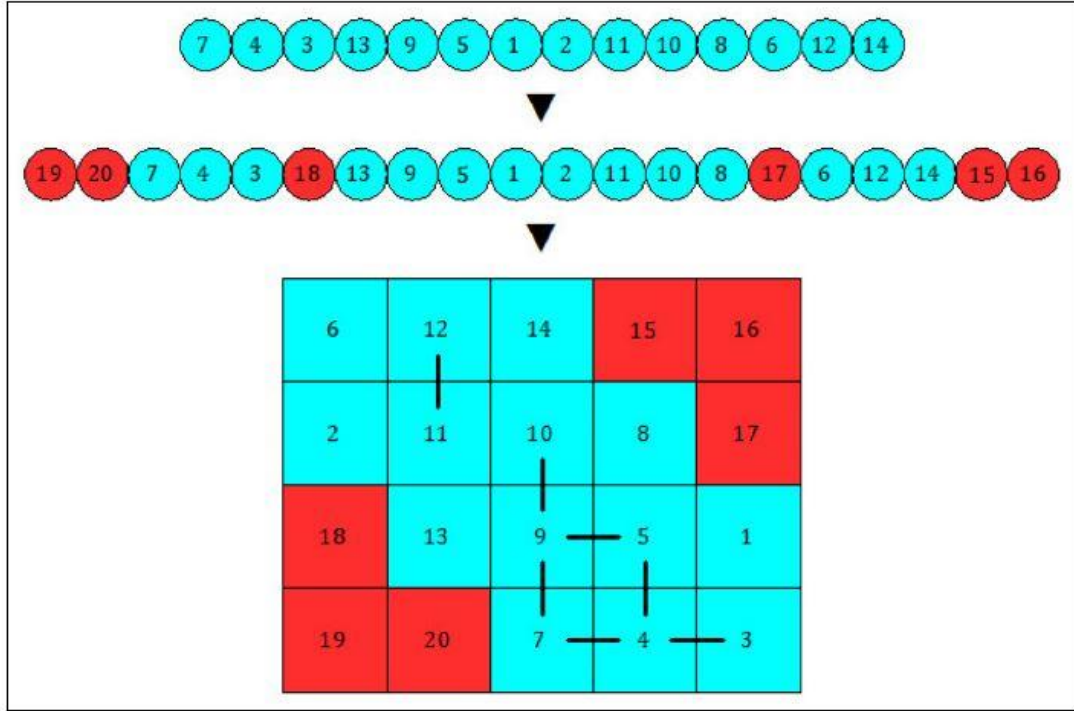
Şekil 3.8 : İdel tersane yerleşim planı (Dixit ve diğ., 2020).

Gunawan ve Benediktus (2021), programlama algoritmaları yardımıyla tersane tasarımının belirlenmesinde yeni bir yöntem göstermeyi amaçladı. Çalışma



28

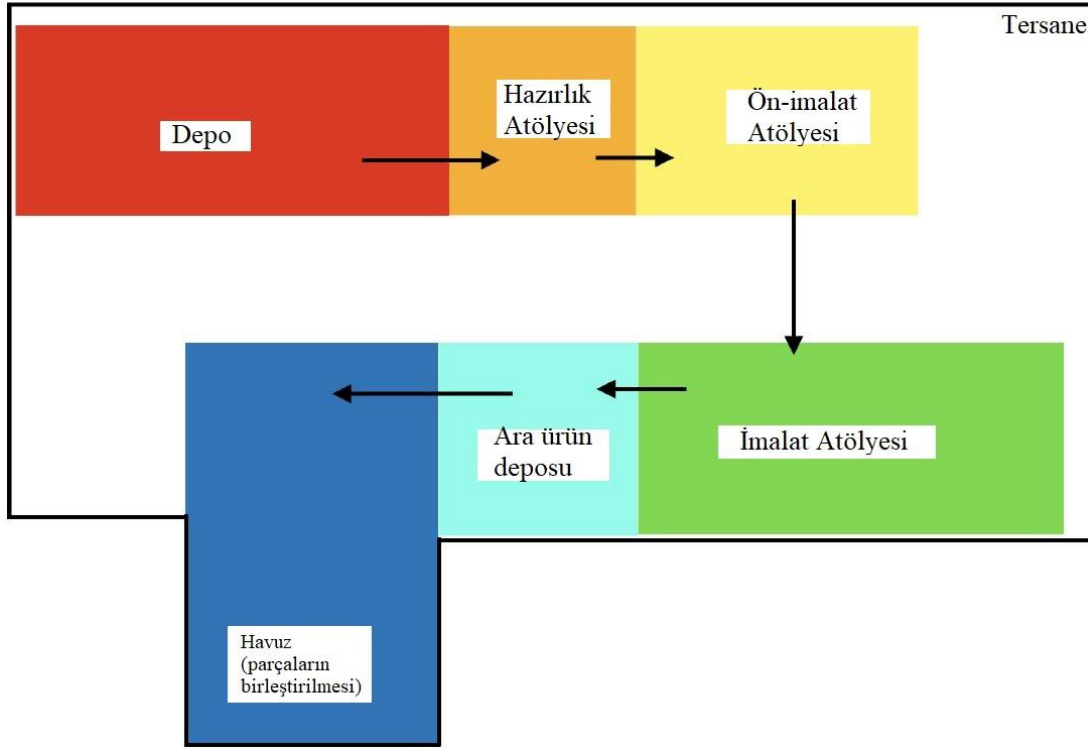
karşılaştırılmıştır. Elitist GA yaklaşımının klasik GA yaklaşımına göre daha üstün performansa sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışma, tersanenin topolojik yerleşimi için GA performansı üzerine literatürdeki en kapsamlı ve pratik çalışmadır. Turk ve diğ. (2022), hesaplamalarını 17 departman içeren bir tersane için yapmıştır. Şekil 3.10'da GA'da kullanılan kromozom sıralaması görülebilir.



Şekil 3.10 : Optimum kromozom sıralaması ve yerleşim planı (Turk ve diğ., 2022).

Jongbloed ve diğ. (2023) bir tersane yerleşim planının verimliliğini, inşa süreçlerinin ve çalışan hareketlerinin haritalanması yoluyla analiz etmek için genel bir yöntem olmadığını belirttiler. Bu nedenle, tersane yerleşimlerinin haritalandırılması için Entegre Yöntem geliştirdiler. Bu, literatürde bulunan endüstriyel prosesleri analiz etmenin ve optimize etmenin birçok yolunu uygulayarak yapılabileceğini söylediler. Geliştirilen Entegre Yöntemin kullanımı, farklı yalın (lean) atıkların analizi ile başlamaktadır. Ardından, çalışanlarla iletişim ve Değer Akışı haritalaması yoluyla tersanenin inşa süreçlerini iyi anlamak önemlidir. Daha sonra, bulunan süreçler Gökkuşığı Modelleri kullanılarak bir harita üzerinde görselleştirildi. Son olarak, bu Gökkuşığı Modelleri, GPS takibinden elde edilen verilerle doğrulandı. Bu yöntem kombinasyonunu tek bir Entegre Yöntem olarak kullanmak, farklı tersane süreçlerinin nasıl işlediğine, nerede gerçekleştiğine ve hangi darboğazların mevcut olduğuna dair

iyi bir resim elde etmeye yardımcı olabilir. Şekil 3.11’de optimizasyon sonrası Gökkuşığı Modeli ile tersane yerleşimi sunulmuştur.



Şekil 3.11 : Optimizasyon sonrası Gökkuşığı Modeli ile tersane yerleşimi (Jongbloed ve diğ., 2023).

Tamer ve diğ. (2023), birçok araştırmacı tesis yerleşim problemlerini incelediğini ancak literatürde tersane yerleşim planını ve optimizasyonun kapsamının nispeten dar olduğunu vurguladılar. Bu nedenle, çalışmalarında, üretim verimliliğini artırmak ve malzeme akışını düzenlemek için yıllık 50.000 ton çelik işleme kapasitesine sahip orta ölçekli bir tersanenin plan geliştirmesine odaklanarak bu boşluğu gidermeyi amaçladılar. İlk olarak, alternatif yerleşimleri elde edebilmek için ilişki şeması (REL Chart), tersane planlama mühendisleriyle birlikte oluşturuldu. Daha sonra ikinci aşamada, tersane uygulayıcılarının fikir birliği ile doldurulan ilişki şeması kullanılarak SYP ve Graf-teorik Yaklaşım yöntemleri kullanılarak alternatif yerleşim planları elde edildi. Son aşamada ise bu alternatif yerleşimler verimlilik oranı amaç fonksiyonuna göre sınıflandırılarak en yüksek puan alan yerleşim planını sundular. Tamer ve diğ. (2023), hesaplamalarını 21 departman içeren 12 farklı alternatif tersane yerleşim planı için yaptılar.

Çizelge 3.1 : Tersane yerleşimi literatür taraması

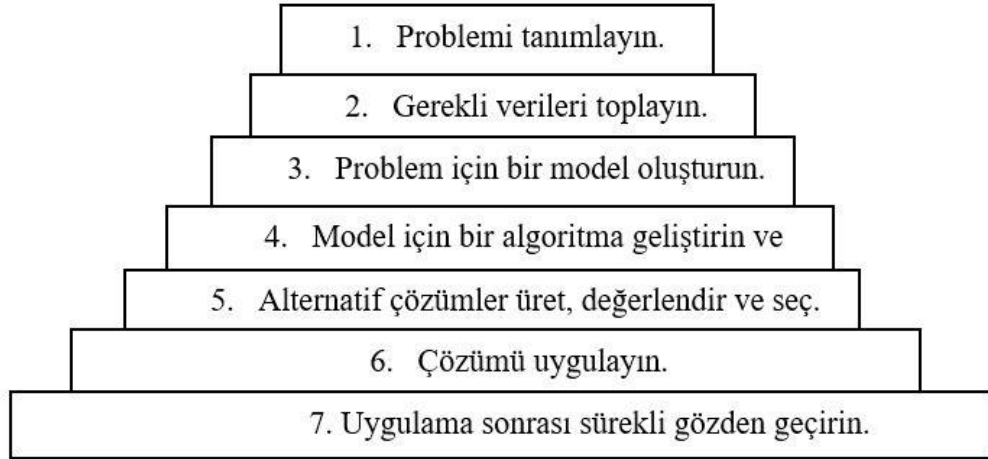
Yazar	Çalışmanın başlığı	Kullanılan yöntem
Chabane, (2004)	Design of a small shipyard facility layout optimized for production and repair	Sistematik Yerleşim Planlama (SYP)
Shin ve diğ. (2009)	A concept and framework for a shipyard layout design based on simulation	SYP ve Simülasyon
Matulja ve diğ. (2009)	Methodology for shipyard production areas optimal layout design.	SYP ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)
Song ve diğ. (2010)	System development and applications of a shipyard layout design framework	Simülasyon
Song ve Woo, (2013)	New shipyard layout design for the preliminary phase & case study for the green field project	Ticari VIP Plantopt yazılımı
Lee ve diğ. (2013)	Study on a layout design method for leisure ship production factories using a heuristic location-allocation algorithm	Sezgisel konumlandırma algoritması
Choi ve diğ. (2017)	Optimal shipyard facility layout planning based on a genetic algorithm and stochastic growth algorithm	Genetik algoritma ve stokastik genişleme algoritması
Shablykova (2020)	Layout and material flow planning of a shipyard	SYP, metasezgisel ve akıllı su damlası algoritması
Dixit ve diğ. (2020)	Leveraging tacit knowledge for shipyard facility layout selection using fuzzy set theory	Bulanık benzerlik indeksi ve Bulanık hedef programlama modeli (FGPM).
Gunawan Utomo, ve Benediktus, (2021)	Optimization of shipyard layout with material handling cost as the main parameter using genetic algorithm	Genetik Algoritma
Türk ve diğ. (2022)	A comprehensive investigation into the performance of genetic algorithm for effective shipyard topological layout	Genetik Algoritma
Dingeldein ve diğ. (2023).	Integrated Method for Mapping Shipyard Layouts: Obtaining an Insight into the Current State Building Process and Employee Movements.	Entegre Yöntem
Tamer ve diğ. (2023)	Adjacency-Based Facility Layout Optimization for Shipyards: A Case Study	SYP, Grafik-teorik Yaklaşım ve Verimlilik Oranı



4. TESİS YERLEŞİM PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ YAKLAŞIMI

Mühendislik dizayn ve optimizasyon problemlerini çözmek karmaşık ve zaman alıcıdır. Burada ele alınan yaklaşım, zamanla test edilmiş bir mühendislik problem çözme yaklaşımına dayanmaktadır. Tesis yerleşimi problemi çözümü bağlamında, mühendislik dizayn problemi yaklaşımında kullanılan, aşağıda verilen yedi adım temelinde herhangi bir mühendislik problemi çözülebilir (Şekil 4.1).

1. Problemin tanımlanması,
2. Gerekli verilerin toplanması,
3. Problem için uygun bir model seçimi ve oluşturulması,
4. Model için algoritma geliştirilmesi ve çözülmesi,
5. Alternatif çözümlerin üretilmesi, değerlendirilmesi ve seçimi,
6. Çözümün uygulanması,
7. Uygulama sonrası sürekli gözden geçirme.



Şekil 4.1 : Mühendislik dizayn problemi yaklaşımında kullanılan çözüm yöntemi (Heragu, 2016).

4.1 Problemi Tanımlanması

Bir problemi çözmeye yönelik ilk adım, doğru bir şekilde tanımlamaktır. Daha önce problem çözme konusunda yeterli seviyede çözüm geliştirmemiş mühendisler, bir problemin semptomunun problemin kendisi olduğunu düşünebilirler. Bunu anlamak için, bizim çalışmamızda geçerli olan tesis yerleşimi problemi çözümü bağlamında ele alalım. Bir proje planlama birimi, akış yollarında, ana ve ara ürünlerin birçok kez transfer edilmesiyle oluşan olağan üzeri bir hareketi tespit eder. Bunun sonucunda trafik sıkışıklığı ortaya çıkmış, sonuçta çalışanların moralleri azalmış ve sonuçta düşük kaliteli ara ürünlere neden olmuştur. Yönetici ayrıca, bu sorunun ancak şirketin ürün karması ve hacmi konusunda önemli bir değişiklik yapmasından sonra oluştuğunu fark ettiğini varsayalım. Üç öneride bulunabilir: (1) Mevcut makine operatörlerini çıkartıp yerine yenilerini, işe alın ve eğitin. (2) Daha yeni, yüksek otomatik üretim ekipmanı satın alın ve yeni üretim personelini işe alın. (3) Tesis yerleşimini yeniden tasarlayın, böylece aralarındaki en büyük trafiğe sahip üretim ekipmanı parçaları birbirine yakın yerleştirilir. Sadece son öneri problemi ele alıyor; diğerleri semptomlarını gidermektedir. Bu nedenle, sahip olduğumuz problem, parçaların fabrika zemini içinden verimli bir şekilde akması, tıkanıklığı en aza indirmesi ve böylece moral ve ürün kalitesini geliştirmesidir. Mühendislerin çabaları kolaylıkla yanlış probleme odaklanabilir ve böylece değerli zaman ve parayı boşa harcanabilir.

4.2 Gerekli Verilerin Toplanması

Günümüzün endüstriyel ortamında, çok miktarda veri üretmek ve sürdürmek yaygın bir uygulamadır. Her işlev (ör., zaman, kalite kontrol, tesis yerleşimi, tahmin, muhasebe) kendi veri setini gerektirir ve bu nedenle, kısa bir süre içinde bir şirket büyük miktarda veri toplar. Bilgisayar teknolojisindeki hızlı ilerleme (donanım ve yazılım) bu birikimi mümkün kılar ve hatta teşvik eder. Burada dikkat edilmesi gereken husus, tesis yerleşimi tasarımı gibi büyük bir projeyi gerçekleştirirken, mühendisler yalnızca gerekli bilgileri talep etmeli ve üretmelidir. Gerekli bilgilerin örnekleri, üretim, hizmet ve yardımcı ekipmanın türü ve miktarlarıdır; bu bölümler arasındaki etkileşimin bir ölçüsü; bölümler için alan gereksinimi; toplam mevcut alan; ve özel tesis yerleşimi konularıdır. Problemi çözmeye çalışan mühendisler, bu bilgiyi her parça için üretim yönlendirme verilerinden, her bir makine için iş merkezi verilerini, mevcut yerleşim ve benzerlerinden alırlar. Bu veriler tesis yerleşimi için

gerekli bilgileri içerir, ancak bu problem için gerekli olmayan diğer bilgileri de içerebilir. Örneğin, tipik bir üretim yönlendirme levhası, parçaların makineleri ziyaret ettiği diziye anlatır; ayrıca her bir işlem için kurulum süresine, işlem süresine ve yükleme ve boşaltma süresine sahip olabilir. Bu ek bilgi, planlama kararları vermek için yararlıdır, ancak tesis yerleşim problemi için gerekli değildir. Böylece, ilgili mühendisler ya da araştırmacılar veri toplamaya özen göstermelidir. Çoğu zaman, mühendisler aşırı miktarda bilgi talep ederler ve daha sonra sağlanan veriler tarafından bunaltılırlar. Bu gibi durumlarda, önemli veri bileşenleri göz ardı edilebilir. Olağan durum için kullanılan tesis yerleşim planı ve hammadde ve ara ürün akışı en önemli verilerdir.

4.3 Problem İçin Uygun Bir Model Seçimi ve Oluşturulması

Tesis yerleşimi problemi bir optimizasyon problemi ve dizayn problemidir. Bu, problem çözme sürecinin bir aşamasında problem için bir model geliştirmemiz gerektiğini göstermektedir. Daha sonra, problem için alternatif ön çözümler geliştirmek üzere uygun çözüm teknikleri veya algoritmalar kullanılabilir. Elbette, üretilen çözümler doğrudan uygulanamaz çünkü modeller gerçek problemi mükemmel şekilde temsil etmez. Bu nedenle, ön çözüm olarak model çözümlerine başvuramaktayız. Uygulanabilmeden önce bu ön çözüm için çok iş yapılmalıdır. Bununla birlikte, tesis yerleşimi tasarımları inşa etmek için sağlam bir temel sağlar. Rastgele oluşturulmuş bir ön çözümle başlarsak ve bunu bir yerleşim tasarımı geliştirmek için kullanırsak, orijinal sorunlar devam eder. Böylece, modelleme yerleşim tasarım sürecinde önemli bir ara adımdır.

Matematiksel yaklaşımların geliştirilmesinden önce, yerleşim problemi genellikle ön çalışma ile elde edilebilecek çözümler tahmin edilmeli ve üzerine düşünülmelidir. Bir mühendis ya da araştırmacı, tatmin edici bir tesis yerleşimi elde edilinceye kadar, fabrika ya da tesisin tabanının minyatür modelindeki departman bloklarının konumlarını simgeleri değiştirebilir. Bu tesis yerleşimi geliştirme yöntemi çok öznel olduğundan ve diğer modeller mevcut olduğundan nadiren kullanılır. Uygulamada, tesis yerleşimi modelleri için matematiksel modellerin önemi tam olarak bilinmemektedir ve çok sık modelleme aşamasını tamamen göz ardı etme eğilimi vardır. Bu çalışmada, tesis yerleşimi probleminin modelini oluşturmak için, Sistematik

Yerleşim Planlama gibi bir dizayn yöntemi ve Graf-teorik Yaklaşım gibi sezgisel algoritmanın uyarlamalarından faydalanılmıştır.

4.4 Model İçin Algoritma Geliştirilmesi ve Çözülmesi

Tesis yerleşim problemini en optimum şekilde çözmek çok zordur. Bu nedenle orta ve büyük ölçekli problemler için hızlı bir şekilde optimal çözümler üretebilen sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Üç ana nedenden ötürü en optimuma yakın çözümlerle ilgilenir. İlk olarak, yerleşim problemi karmaşık olduğundan, büyük ölçekli problemleri çözebilen verimli optimal çözüm teknikleri mevcut değildir. İkincisi, önceki adımda geliştirilen model, gerçek problemin kusursuz bir formülasyonudur, bu nedenle kusurlu bir model için en optimal çözümlere odaklanmanın bir anlamı yoktur. Üçüncü olarak, üretilen verilerin değişmesi muhtemeldir. Oluşturulan herhangi bir çözümün bazı değişikliklere uğrayacağı için, sadece optimale yakın çözümlere ihtiyaç duyuyoruz.

Çözüm tekniğinin çok az hesaplama gerektirmesi gerekir, çünkü çoğu şirketteki tesis yerleşimi optimizasyonu hesaplama ve dizayn yazılımları özellikle ana bilgisayarlarda ve iş istasyonlarında kolayca bulunamaz. Ayrıca, seçilen birkaçını kabul etmeden önce genellikle çok sayıda çözüm üretilir. Her bir çözümün üretilmesi fazla hesaplama süresi gerektiriyorsa, birkaç alternatif ön çözümün analiz edilmesi ve seçilmesi için harcanan toplam süre daha da büyük ve pahalı hale gelir.

Tesis yerleşim problemi genel yaygın kanı olarak, küçük ölçekli problemleri, 10'dan az departmanla ilgili problemler olarak görülür; 10'dan fazla ama 20'den daha az problemler orta ölçekli sorunlar olarak kabul edilir. 20'den fazla makine yada departmanla ilgili sorunlar büyük ölçekli problemler olarak ele alınmaktadır. Çoğu tesis yerleşimi problemi 15-25 departmandan oluşmaktadır. Orta ve büyük ölçekli problemler için, tipik olarak, problem için en iyi çözümün oluşturulmasını garanti etmeyen, ancak aynı zamanda iyi kalitede, neredeyse optimal olan çözümleri nispeten hızlı bir şekilde sağlayan etkili sezgisel yöntemler kullanılır.

Tesis yerleşimi problemi için çeşitli çözüm teknikleri vardır. Bunlardan bazıları yazılım paketleri olarak bulunurken, diğerleri yayınlanmış literatürde mevcuttur. Bu algoritmalar kolayca erişilebilir olduğundan, şirketlerin kendi çözümlerini geliştirmek

için zaman harcamaları gerekmez. Mevcut çözüm tekniklerinin çoğu, modele bir blok planı biçiminde optimal veya yakın optimal çözüm sağlar, bu da bölümlerin göreceli konumlandırılmasını gösterir ve ölçeklendirilir. Bu çalışmada, sezgisel tesis yerleşim algoritması olarak Graf-teorik Yaklaşımdan faydalanılmıştır. İlerleyen kısımlarda Graf-teorik Yaklaşım açıklanmış ve üretilen alternatif çözümler sunulmuştur.

4.5 Alternatif Çözümlerin Üretilmesi, Değerlendirilmesi ve Seçimi

Yerleşim modellerini çözme teknikleri, ayrıntılı planların tasarlanabildiği ön çözümlerin (blok planları) sağlanmasında son derece yararlı ve önemlidir. Modeller bir yerleşim probleminin tüm unsurlarını yakalayamadığından, ön çözümü değiştirmek için hemen hemen her zaman gereklidir. Sunum ve onaylama amacıyla ve aynı zamanda yeni yerleşime geçişi kolaylaştırmak için, her departman için kısımların, koridorların, toplama ve bırakma konumlarının ayrıntılı şekillerini ve muhtemelen akış yollarını gösteren ayrıntılı bir tesis yerleşimi oluşturmak gereklidir. Herhangi bir belirli blok planından ayrıntılı bir tesis yerleşimi geliştirebilen bir matematiksel programlar literatürde mevcuttur. Çoğu şirket, blok planlarından detaylı tesis yerleşimi geliştirmek için gelişmiş optimizasyon teknikleri kullanmakta isteksizdir, bu nedenle, bu işlev genellikle elle yapılır.

Bu çalışmada seçilen birkaç blok planın her biri için ayrıntılı düzenler geliştirilmemiştir. Ancak böyle bir plan daha sonra gerekli görülmesi durumunda hazırlanabilir. Böyle bir durumda elle çizimler, şablonlar, 3B ve bilgisayar yazılımı ile oluşturulan modeller kullanılabilir. Ama asıl olarak, manuel çizimler ve 3B modeller bu aşamada tercih edilmemektedir çünkü mühendislerin sunduğu dizaynlar değişebilir. Değişikliklerin birleştirilmesi ve bu araçlarla revize edilmesi zaman alıcı ve pahalıdır.

Tesis yerleşimini yapan mühendisler, seçilen her yerleşimi uygun personel ile tartışır ve avantaj ve dezavantajlara dikkat çeker. Bu tartışmalarda, diğer çalışanlar hataları, mühendisler tarafından dikkate alınmayan önemli yönleri ve kendi tercihlerini işaret edebilir. Yeni yerleşim tasarımları hakkında sorular sorabilirler. Departman süpervizörleri, üst düzey yönetim ve yerleşim değişikliklerinden etkilenen diğer çalışanlar ile yapılan detaylı görüşmelerden sonra, en tatmin edici tasarım seçilir. Elbette, bu karar verme sürecinde öznellik var. Örneğin, daha yüksek malzeme taşıma maliyetine sahip bir yerleşim, çalışanların ikinci tasarıma olan direnci nedeniyle daha

düşük maliyetler vaat eden bir diğerine tercih edilebilir. Bir tesis yerleşimi tasarımı tamamlanmadan önce öznel ve nesnel faktörler dikkatle düşünülmelidir. Bu çalışmanın ağırlık noktası öznel olarak blok yerleşimini seçmek değildir onun yerine nesnel bir yöntem olan bitişiklik-bazlı tesis yerleşimi ile üretilen alternatif yerleşim planlarını puanlayıp sıralamaktır. Alternatif yerleşim planlarını sıralarken Verimlilik Oranı'ndan faydalanılmıştır.

4.6 Çözümün Uygulanması

Tesis yerleşim düzeni seçildikten sonra, sonraki görev onu uygulamaktır. Muther'in (1973) belirttiği gibi, yerleşim geliştirme sürecinden sorumlu mühendislerin uygulanmasını denetlemelerini sağlamak iyi bir fikirdir. Çalışanların genellikle değişmeye isteksiz oldukları iyi bilinir. İstenildiği gibi yeni bir yerleşim tasarımı çalışması yapmak istiyorsak, çalışanlardan taahhüt ve destek almalıdır. Bu desteği kazanmaya yönelik ilk adım, değişiklikleri açık ve zamanında iletmektir. Değişikliklerin neden gerekli olduğu, değişikliklerin ne zaman gerçekleşeceği, nasıl gerçekleşeceği, geçiş döneminde hangi adımların atılacağı ve yeni yerleşimin avantaj ve dezavantajları çalışanlara anlatılmalıdır. Yeni yerleşime geçişin planlanması ve sorumlulukların verilmesi gibi diğer adımlar da önemlidir ve dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada bu aşama kapsam dışındadır ancak bu aşamanın sunulmasının faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

4.7 Uygulama Sonrası Sürekli Gözden Geçirme

Bazen, yeni bir tesis yerleşimi, planlandığı gibi değişiklikleri getirmeyebilir. Dikkatli bir analiz, doğru iletişim ve dikkatli planlamaya rağmen, yeni tesis yerleşimi düzen problem yaratabilir. Kesilen problemler üzerinde çalışılmalı ve bunları hafifletmek için alınacak önlemler alınmalıdır. Böylece uygulanan değişiklikleri sürekli olarak izleme ihtiyacı vardır. Gerçek sonuçlar ile beklenen sonuçlar arasında bir sapma (elverişli veya elverişsiz) olduğunda, nedenleri iyice araştırmamız gerekir. Sapma uygun değilse, durumu düzeltmek için hemen önlem almalıyız. Sapma elverişli ise, bunu analiz etmeli ve böylece tesisin diğer bölgelerinde uygulanabilir (Heragu, 2016, ss. 15-19). Bu çalışmada, bu aşamanın araştırmacılar tarafından bilinmesinin faydalı olacağı, ancak halihazırda araştırma problemi tanımının içeriğinde olmadığına dikkat edilmelidir.

5. TERSANE YERLEŞİMİ OPTİMİZASYONU

5.1 Algoritmik Yaklaşımlar

Departmanların "yakınlık dereceleri" veya "malzeme akış yoğunlukları" temelinde birbiriyle olan göreceli yerleşimi, algoritmik bir sürece indirgenebilir. Bir önceki bölümde sunulan yerleşim planı tanımı, bir yerleşim planı oluşturma'nın önemi ve tesis yerleşim etkileyen faktörleri açıklamaktadır, ancak tesis yerleşimi optimizasyonu ve değerlendirmesiyle ilgili bazı kritik adımlar için resmi bir prosedür veya algoritmaya ihtiyaç vardır. Bu bölümde uygulanan modeller ve algoritmalar, yerleşim analistinin bir yerleşim planı geliştirmesine veya iyileştirmesine yardımcı olabilecek ve aynı zamanda ona, sistem içinde ortaya çıkan çeşitli yerleşim alternatiflerinin değerlendirilmesini kolaylaştırmak için nesnel kriterler sağlayan resmi prosedürler ve algoritmalarıdır.

Sunulan yerleşim algoritmaları, en azından teoride, elle hesaplanabilir. Bununla birlikte, çoğu pratik, gerçek dünya problemi için, burada gösterilen algoritmalar bilgisayar hesaplama yöntemleri için en uygundur ve tasarlanmıştır. Şu anda mevcut olan bilgisayar tabanlı tesis yerleşimi algoritmaları, insan muhakemesi ve deneyiminin yerini alamazlar ve genellikle bir yerleşim planının niteliksel özelliklerini yakalayamazlar. Bununla birlikte, bilgisayarlı yerleşim algoritmaları, çok kısa sürede çok sayıda yerleşim alternatifi üretip sayısal olarak değerlendirerek yerleşim planlayıcının üretkenliğini ve nihai çözümün kalitesini önemli ölçüde artırabilir. Bilgisayarlı tesis yerleşim algoritmaları, girdi verilerini veya yerleşimin kendisini değiştirmeye dayalı tahmini analizlerini hızlı bir şekilde gerçekleştirmede de çok etkilidir.

5.1.1 Algoritma sınıflandırması

Çoğu yerleşim algoritması, ihtiyaç duydukları girdi verilerinin türüne göre sınıflandırılabilir. Bazı algoritmalar yalnızca niteliksel "akış" verilerini (ilişki şeması gibi) kabul ederken, diğerleri başlangıç-bitiş (from-to) grafiği olarak ifade edilen (niceliksel) bir akış matrisi ile çalışır. Bazı algoritmalar (BLOCKPLAN gibi) hem

ilişki şemasını hem de başlangıç-bitiş şemasını girdi verisi olarak kabul eder; ancak girdi verileri şeması bir yerleşimi değerlendirirken her seferinde yalnızca bir tanesi kullanılır. Mevcut bilimin ilerleme eğilimi, hazırlanması için genellikle daha fazla zaman ve çaba gerektiren, ancak tamamlandığında parça akışı (veya matematiksel işleme transferleri) hakkında daha fazla bilgi sağlayan bir başlangıç-bitiş grafiği kullanan algoritmalara doğru görünmektedir. Akış değerlerinin ilişki derecelendirmelerine ve ilişki derecelerinin de akış değerlerine dönüştürülebileceği göz önüne alındığında, çoğu algoritma her iki veri türüyle de kullanılabilir.

Tabii ki, bir ilişki şeması bir başlangıç-bitiş tablosuna dönüştürülürse (yakınlık derecelendirmelerine sayısal değerler atanarak), o zaman yerleşim planlayıcı tarafından seçilen "akış" değerleri yalnızca sıralı ölçekte temsil edilir.

Veri girişi ile ilgili olarak, bir ilişki şeması veya başlangıç-bitiş tablosunu derlemek için gereken zaman ve çaba, departman sayısı ile birlikte hızla artar. İlişki tablosu, kullanıcı tarafından atanan yakınlık derecelendirmelerine dayandığından, oluşturulması genellikle birden çok kişinin girdisini gerektirir. Bu girdiyi elde ettikten sonra, analistin olası tutarsızlıkları belirlemesi ve çözmesi gerekir. Örneğin, aynı departman çifti için bir kişi "A", diğeri "I" atayabilir. Kimin "doğru" ve kimin "yanlış" olduğuna karar vermeye çalışmak yerine, analistin derecelendirmelerinin arkasındaki nedenleri anlamak için her iki kişiyle görüşmesi gerekir, ilgili tüm tarafların mutabakatı ile, ikili departman ilişkisi için kullanılacak nihai yakınlık derecesini belirler. Departman sayısının bir fonksiyonu olarak tüm olası departman çiftlerinin sayısındaki önemli artış göz önüne alındığında, ilişki şemaları genellikle 25 veya daha fazla departman içeren problemler için pratik değildir (Tompkins ve diğ., 2010).

Yerleşim algoritmaları, amaç fonksiyonlarına göre de sınıflandırılabilir. İki temel amaç fonksiyonu vardır. İki temel hedef vardır: biri akışların toplamını en aza indirmeyi amaçlarken, diğeri bitişliklik puanını en üst düzeye çıkarmayı amaçlar. Genel anlamda açıklanacak olursa, birincisi, yani klasik karesel atama problemi (QAP) hedefine benzer olan "uzaklık temelli" amaçtır bu optimizasyon prosedürü giriş verisi olarak bir başlangıç-bitiş şeması kullanır. İkincisi yani, "bitişliklik tabanlı" amaç, giriş verisi olarak ilişki şeması daha uygundur.

Önce uzaklık temelli amaç fonksiyonu açıklanırsa, N departman sayısını, f_{ij} departman i den j departmanına akışı (birim zamanda taşınan birim yük sayısı olarak ifade edilir) ve c_{ij} bir birim yükü taşımının maliyetini, departmanlar arasında hareket için birim zamanda birim maliyeti gösterebilir. Matematiksel olarak ifade edilen amaç şu şekilde yazılabilir:

$$\min \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (f_{ij})c_{ij}d_{ij}, \quad (5.1)$$

Burada d_{ij} , departman i 'den j 'ye olan mesafedir. Pek çok yerleşim algoritmasında, d_{ij} departman merkezleri arasında doğrusal olarak ölçülür; ancak, eğer belirtilmişse, belirli koridor yapısına göre de ölçülebilir.

Denklem 5.1'deki c_{ij} değerlerinin dolaylı olarak taşıma ekipmanının kullanımından bağımsız olduğu varsayılır ve bunlar hareketin uzunluğu ile doğrusal olarak ilişkilidir. c_{ij} değerlerinin yukarıdaki varsayımları karşılamadığı durumlarda, tüm i ve j için $c_{ij} = 1$ kabul edilebilir ve yalnızca tesisteki toplam yük hareketine odaklanılabilir (yani, f_{ij} ve d_{ij} değerlerinin çarpımı). Bazı durumlarda, c_{ij} değerlerinin göreceli “ağırlıklar” olarak kullanılması (boyut, ağırlık, hacimlilik vb. birim yük özelliklerine dayalı olarak) ve tesisteki birim yük hareketinin ağırlıklı toplamını en aza indirmek de mümkün olabilir.

Bundan sonra bitişiklik tabanlı amaç fonksiyonu açıklanırsa, bitişiklik puanının, yerleşimde bitişik olan bölümler arasındaki tüm akış değerlerinin (veya ilişki değerlerinin) toplamı olarak hesaplanır. Yerleşimde i ve j departmanları bitişikse (yani, bir sınırı paylaşıyorlarsa) $x_{ij} = 1$ ve aksi takdirde 0 olur, amaç bitişiklik puanını en üst düzeye çıkarmaktır;

$$\max \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (r_{ij})x_{ij}, \quad (5.2)$$

Denklem 5.2'den elde edilen bitişiklik puanı, iki veya daha fazla alternatif yerleşimi karşılaştırmada yardımcı olsa da, belirli bir yerleşimin belirli bir alt veya üst sınıra göre göreceli verimliliğini değerlendirmek genellikle daha çok arzu edilir. r_{ij} i ve j departmanları arasındaki yakınlık derecesinin sayısal değeridir ve x_{ij} , i ve j departmanları bitişikse 1, değilse 0'a eşittir (Tompkins,2010, ss.302-305).

Dixit ve diğ. (2020), "ideal bir tersane yerleşimini, minimum maliyet ve maksimum verimlilikle operasyonel hedefe ulaşmak için üretim tesisleri ve deniz kıyısı tesislerinin düzenlenmesidir" vurgusunu yaptılar. Genellikle bir tersane yerleşim tasarımı, gemi inşa sektöründe çalışan hem gemi inşa mühendisleri hem de endüstri mühendislerinin deneyimlerine bağlıdır.

Tesis yerleşim problemini çözmek için iki ana yaklaşım vardır: mesafeye dayalı yaklaşım ve bitişikliğe dayalı yaklaşım. Bitişiklik temelli yaklaşım nitel verilerin nicel verilere dönüştürülmesine imkân verdiği için bu çalışmada kabul edilmiş, tanımlanmış ve kullanılmıştır. Tesis yerleşimi problemi için bitişiklik temelli amaç fonksiyonu Denklem 5.2. şekilde tanımlanabilir. Böyle bir amaç, iki departman komşu olduğunda malzeme taşıma maliyetlerinin önemli ölçüde azalması ilkesine dayanmaktadır.

Bitişikliğe dayalı yaklaşım, bir ilişki şemasının kullanılmasını içerir. Muther ve Hales (2015) tarafından tanımlandığı gibi, bir ilişki şeması, tesisleri yan yana yerleştirmenin arzu edilebilirliğine ilişkin tahminleri özetleyen bir tablodur. Tesis planlayan mühendisler genellikle yerleşim planındaki bitişik tesis çiftlerinin ilişki şeması puanlarının toplamını maksimize etmeye çalışır. Bu yaklaşım, tesisler arasındaki mesafeleri veya trafiği veya ölçülemeyen önemli hususları tahmin etmenin zor olduğu durumlarda uygundur (Foulds ve diğ., 1985).

Giriş bölümündeki problem tanımına göre bu çalışmanın amacı, vaka çalışması olarak seçilen bir tersanenin yerleşim planını yeniden geliştirmektir. Tersanenin mevcut yerleşiminde departmanları alanları problem tanımlaması nedeniyle yeniden hesaplanmamıştır, sadece departmanların göreceli konumları optimize edilmiştir. Mevcut bir tersanenin yerleşimi genellikle mevcut departmanlar tarafından belirlenir ve bunlardan en iyi şekilde yararlanmak için iyileştirmeler planlanmalıdır (Bruce, 2020). Tersanede tanımlanan departmanların listesi ve bunlara karşılık gelen alanlar Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Tersane yerleşimi problemi için departman listesi

Numara	Departman	Alan (m ²)
1	Sac ve Profil Stok Sahası	17 x 40
2	Profil Kesim Alanı	17 x 6
3	CNC Sac Kesim Alanı	7 x 46
4	Ön İmalat – 1 Alanı	38 x 46
5	Ön İmalat – 2 Alanı	24 x 40
6	Ön İmalat – 3 Alanı	33 x 35
7	Panel Üretim Hattı Alanı	61 x 20
8	Blok Üretim Alanı	272 x 123
9	Blok Buffer Alanı	52 x 24
10	Kızak	133 x 25
11	Depo – 1 (Kablo ve Boru Stok Alanı)	22 x 40
12	Boya Holü	29 x 27
13	Tamir Atölyesi	23 x 32
14	Blok Buffer – 2 Alanı	61 x 25
15	Boru Donatı Atölyesi	10 x 40
16	Boru Deposu	42 x 12
17	Yemek Holü	8 x 35
18	Dizayn Ofis	8 x 35
19	Havalandırma ve Elektrik Atölyesi	10 x 24
20	Marangozhane	6 x 25
21	Çöp ve Atık Alanı	28 x 7

5.2 Faaliyet İlişkileri

Departmanlar arası faaliyetlerin ölçülmesi, bir tesis içindeki departmanların yerleşiminde en önemli unsurlardan biridir. Alternatif yerleşimleri değerlendirebilmek için faaliyet ilişkileri kurulmalıdır. Faaliyet ilişkileri niceliksel veya niteliksel bir şekilde belirlenebilir. Nicel ölçütler, saatte taşınan parça sayısı, bir günde hareket eden birimler veya haftada içerisinde ağırlık birimi cinsinden malzeme taşımını içerebilir. Niteliksel ölçütler, iki bölümün birbirine yakın olması mutlak gerekliliğinden iki bölümün birbirine yakın olmaması tercihinin kadar değişebilir. Büyük hacimli malzeme, bilgi ve departmanlar arasında hareket eden insanlara sahip olan tesislerde, departmanların yerleştirilmesi için niceliksel bir akış ölçüsü tipik olarak temel olacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, departmanlar arası transferlerin kayıt altına alınabilmesinin kolaylığıdır. Tersine, departmanlar arasında çok az gerçek malzeme, bilgi ve insan akışı olan, ancak önemli iletişim ve örgütsel karşılıklı ilişkilere sahip olan tesislerde, akışın niteliksel bir ölçüsü tipik olarak departmanların

düzenlenmesi için temel olarak hizmet edecektir. Departmanlar arası transferi sayısal olarak kayıt altına alınması zor ancak sözsöl ifadelerle belirtilmesi kolaysa niteliksel yöntem tercih edilecektir. Çoğu zaman, bir tesisin hem niceliksel hem de niteliksel akış ölçümlerine ihtiyacı olacaktır ve her iki yöntem de kullanılmalıdır.

5.2.1 Niceliksel akış ölçümü

Akışlar, departmanlar arasında taşınan miktar açısından nicel olarak ölçülebilir. Akış ölçüleri, departman çiftleri arasındaki etkileşimin seviyesini veya kapsamını gösterir. Aralarında daha fazla etkileşime sahip çiftlerin, sınırlı etkileşime sahip olanlardan daha yakın yerleştirilmesi gerektiği açıktır. Bu değerlendirme tüm departman çiftleri için uygulanmalıdır. Elbette departmanların görelı konumlarını belirlemede etkileşimi bir rehber olarak kullanırken, bölümlerin alan, şekil ve alan gereksinimini de göz önünde bulundurmanız gerekir. Analistler tarafından sıklıkla kullanılan bir nicel akış ölçüsü, departmanlar arasındaki gezilerin sıklığıdır. Malzeme taşımak için malzeme taşıma sistemleri kullanılıyorsa, bu sistemler tarafından yapılan transferler dikkate alınır. İnsanlar ofis ortamında olduğu gibi malzeme taşıyor veya departmanlar arasında seyahat ediyorsa, o zaman insanların yaptığı transferler dikkate alınır.

5.2.1.1 Başlangıç-bitiş şeması

Departmanlar arasındaki transferlerin sıklığını kaydetmek için, bu akışları kaydetmek için en sık kullanılan çizelge bir başlangıç-bitiş şemasıdır. Örnek bir başlangıç-bitiş şeması Şekil 5.1’de verilmiştir.

	Depo	Dövme	Talaş kaldırma	Taşılama	Isıl işlem	Boyama	Kaynak
Depo		157,205	10,948				
Dövme			235,094	3,036	5,783	10,460	
Talaş kaldırma		98,535				10,223	2,175
Taşılama					551	4,736	
Isıl işlem				5,783			
Boyama							
Kaynak			725				

Şekil 5.1 : Örnek bir başlangıç-bitiş şeması gösterimi.

Başlangıç-bitiş grafiği kare bir matristir ancak nadiren simetriktir. Simetri eksikliği, depolardan frezeeye giden akışların frezeden depolara akışlarla aynı olması için kesin bir neden olmamasından kaynaklanır.

5.2.2 Niteliksel akış ölçümü

Bazı şirketlerin yerleşim tasarımı için gerekli tüm nicel verileri üretmesi oldukça zordur. Bunun nedeni, bilgilerin yeterince bilgisayar ortamına aktarılmamış olması, şirketin ürün karmasında önemli değişiklikler olmaması olabilir (bu nedenle yönlendirme, malzeme listesi veya diğer bilgileri kaydetmeye gerek yoktur).

Şirket, gerekli verileri toplamak, saklamak ve işlemek için yeterli personele veya yönetim taahhüdüne sahip olamaması muhtemeldir. Bu gibi durumlarda, bir tesis planlayıcısı genellikle her bir makine çifti arasındaki etkileşimi belirleyen tahmini verilerle çalışmak zorundadır. Muther (1973) deneyimli tesis analistlerinin bu bilgiyi öznel olarak değerlendirmesine izin veren bir yöntem tasarladı. Sistematik yerleşim planlaması (SYP) olarak adlandırılır ve Bölüm 5'de etraflıca ele alınmıştır. Yerleşim planını tasarlamak için gerekli niteliksel bilgilerin nasıl geliştirilebileceğini ilişki şeması yardımıyla açıklanabilir.

5.2.2.1 İlişki şeması

Akışlar, Muther tarafından geliştirilen ve Çizelge 5.2 verilen yakınlık ilişkisi değerleri kullanılarak niteliksel olarak ölçülebilir. Değerler, ilişki şeması kullanılarak yakınlık değerinin nedenleri ile birlikte kaydedilebilir (Tompkins, 2010, ss.113-117).

Çizelge. 5.2. İlişki tablosundaki yakınlık ilişkilerinin derecelendirmeleri

Değer	Yakınlık	Derecesi
A	Kesinlikle gerekli	5
E	Özellikle önemli	21
I	Önemli	31
O	Sıradan yakınlık	42
U	Önemsiz	105
X	İstenmeyen	6
Toplam	$N \times (N-1) / 2 =$	210

Yakınlık derecelendirmeleri, departman çiftlerinin yan yana yerleştirilmesinin önemini göstermektedir. Örneğin, A derecesine sahip departman çiftlerinin yan yana yerleştirilmesi kesinlikle önemlidir. Benzer şekilde, böyle bir yerleşim A derecesine sahip diğer departman çiftlerinin bitişik olmamasına neden olmaması koşuluyla, E derecesine sahip departman çiftlerinin bitişik olarak yerleştirilmesi özellikle önemlidir. Ayrıca, bir *i* departmanının diğerleriyle o kadar çok A ilişkisi varsa ki bunlardan bazıları bitişik olamaz, o zaman departmanlar *i* departmanına mümkün olduğu kadar yakın yerleştirilir. Bu nedenle, bir grafikteki A ilişkilerinin sayısını toplam ilişkilerin %5'i oranında tutmak önemlidir. A dereceli departman çiftlerinin her zaman yan yana olması gerektiği gibi, X (istenmeyen) dereceli departman çiftleri de hiçbir koşulda bitişik olmamalıdır. Yakınlık derecelendirmeleri için harf kodları kolayca sayısal değerlere dönüştürülebilir. Bazı yerleşim yazılım paketleri, kullanıcının yakınlık derecelendirmeleri için sayısal değerler belirlemesine izin verir (Heragu, 2016, ss. 50).

5.3 İlişki Şemasının Tersane Yerleşimi için Uygulanması

Bir ilişki şeması şu şekilde oluşturulabilir:

- 1) İlişki tablosundaki tüm departmanları listeleyin,
- 2) İlişki şemasında listelenen her departmandan kişilerle ve tüm departmanlardan sorumlu yönetimle görüşmeler veya anketler yapın,
- 3) Yakınlık ilişkileri atamak için ölçütleri tanımlayın ve ölçütleri maddeleştirip ilişki şemasındaki ilişki değerlerinin nedenleri olarak kaydedin,
- 4) Tüm departman çiftleri için ilişki değerini ve değerlerin nedenini belirleyin,
- 5) İlişki şemasının geliştirilmesine girdi sağlayan herkese çizelgedeki değişiklikleri değerlendirme ve tartışma fırsatı verin.

Bir ilişki şeması geliştirirken bu prosedürün izlenmesi önemlidir. Tesis planlayıcısının yukarıda anlatıldığı gibi departmanlar arası ilişkiyi sentezlemesi yerine, departman yöneticilerinin diğer departmanlarla olan yakınlık ilişkisini atamasına izin verilirse tutarsızlıklar gelişebilir. Tutarsızlıklar ilişki şemasını kökten etkiler. Tanım gereği ilişki şeması, A ve B departmanları arasındaki ilişki değerinin, departman B ve A

arasındaki ilişki değeri ile aynı olmasını gerektirir. Tekil ilişki değerleri (dereceleri) departman yöneticileri tarafından belirlenmişse ve A departmanı yöneticisi B ile olan ilişkinin önemsiz olduğunu (U) söylerken, B departmanı yöneticisi A ile olan ilişkinin olağan öneme sahip olduğunu (O) söylediğinde bir tutarsızlık olacaktır. Tesis planlayıcısının önemli taraflardan gelen girdilere dayalı olarak ilişki değerleri atamasını ve ardından aynı tarafların nihai sonucu değerlendirmesini sağlayarak bu tutarsızlıklardan kaçınmak en iyisidir.

İlişki değerleri U (önemsiz) ve X (istenmeyen) arasındaki farkı vurgulamak önemlidir. İki departman U ilişki değeriyle yan yana yerleştirilebilir, ancak X ilişki değeriyle (çevresel, güvenlik ve tesis kısıtlamaları) yan yana yerleştirilemezler. U ilişki değerlerine sahip departmanlar, birbirine yakın olmakla bir şey kazanmaz (veya kaybetmez).

Gelişmekte olan faaliyet ilişkileri ile ilgili olarak uyarıcı bir kelimeye ihtiyaç vardır. Örneğin, n departman varsa, o zaman $N \times (N - 1/2)$ ikili kombinasyon dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla, 10 departman söz konusu olduğunda, dikkate alınması gereken 45 ikili kombinasyon vardır. Aynı şekilde, 50 departman için dikkate alınması gereken 1225 ikili kombinasyon vardır. Çok sayıda departman varsa, bir arada bulunma olasılığı en yüksek olan departmanlar, öncül departmanlar halinde gruplandırılabilir. Göreceli konumları belirlendikten sonra, her “departman” için faaliyet ilişki şemaları geliştirilebilir.

Pratik bir bakış açısından, faaliyetlerin ikili kombinasyonlarının yarısından fazlasının U faaliyet ilişkisine sahip olması beklenir. U ilişkilerine sahip hücreler boş bırakılırsa, ortaya çıkan tablo oldukça seyrek aralıklı bir yapı oluşturacaktır. İkili kombinasyonların %5'inden azının A aktivite ilişkisine sahip olmasını, %5'inden azının X ilişkisine sahip olmasını, %12'sinden azının A veya X aktivite ilişkisine sahip olmasını, %25'inden azının A, E veya I ilişkileri ve %40'tan azının A, E, I veya O ilişkilerine sahip olması beklenmektedir. Yüksek derecede seyreklikte bile ikili kombinasyonların sayısı yönetilemez hale gelebilir. Bu nedenle, çok sayıda faaliyetle uğraşırken dikkatli olunmalıdır.

Bir tesis planlama perspektifinden, faaliyet ilişkileri genellikle yakınlık gereksinimlerine çevrilir. Örneğin, iki faaliyetin güçlü bir pozitif ilişkisi varsa, o

zaman bunların birbirine bitişik değilse bile en azından birbirine yakın şekilde yerleştirilmesi arzu edilir. Aynı şekilde, eğer iki aktivitenin güçlü, negatif bir ilişkisi varsa, o zaman tipik olarak birbirlerinden ayrılırlar ve birbirlerinden çok uzakta bulunurlar.

Faaliyet ilişkilerinin sıklıkla fiziksel ayrı konumlandırmadan başka yollarla giderilebilir. Örnek olarak, bilgi transfer ilişkileri, canlı televizyon bağlantılarını, bilgisayar bağlantılarını, pnömatik dağıtım sistemlerini vb. içeren iletişim kanallarıyla karşılanabilir. Aynı şekilde, gürültülü alanlar kapatılabilir, dumanlar havalandırılabilir ve diğer çevresel ilişkiler, mesafe ayırımı kullanmak yerine özel tesisler kullanılarak çözülebilir.

İlgili ilişkilerin çokluğu nedeniyle, ölçülen her bir ana ilişki için ayrı ilişki şemalarının oluşturulması tavsiye edilir. Örneğin, malzeme akışı, personel akışı ve bilgi akışı ile organizasyon, kontrol, çevre ve süreç ilişkileri için farklı ilişki şeması oluşturulabilir. Ortaya çıkan ilişki şemalarının karşılaştırılması, ilişkilerin mesafeyle ilgili olmayan çözümler kullanılarak gerçekleştirilmesinin mümkün olduğunu gösterecektir. (Tompkins ve diğ., 2010, ss 117-119).

Özetlenecek olursak, bir ilişki şeması, Muther'in SYP yöntemi için temel bir unsurdur. İlişki şeması bölümlerin yakınlık oranını belirler. Yakınlık oranı ataması, öznel olan pratik bir kuraldır. Harf derecelendirmesine aşına olmayan yerleşim planı planlayıcıları, A derecelendirmelerini gereğinden fazla atama eğilimindedir. Bundan kaçınmak için, A'dan U'ya—diyelim ki %2–5 A, %3–10 E, %5–15 I, %10–25 O gibi artan derecelendirme sıklığı arzu edilir. Projenin doğası, X'lerin sayısını belirler. Muther ve Hales (2015) bu derecelendirmeleri ve derecelendirmelerin dağılımının temelini yerleşim planlayıcısının alternatif yerleşimleri doğru bir şekilde oluşturmasını sağlayabilmesi için sundu. İlişki şemasındaki yakınlık ilişkilerinin derecelendirmeleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

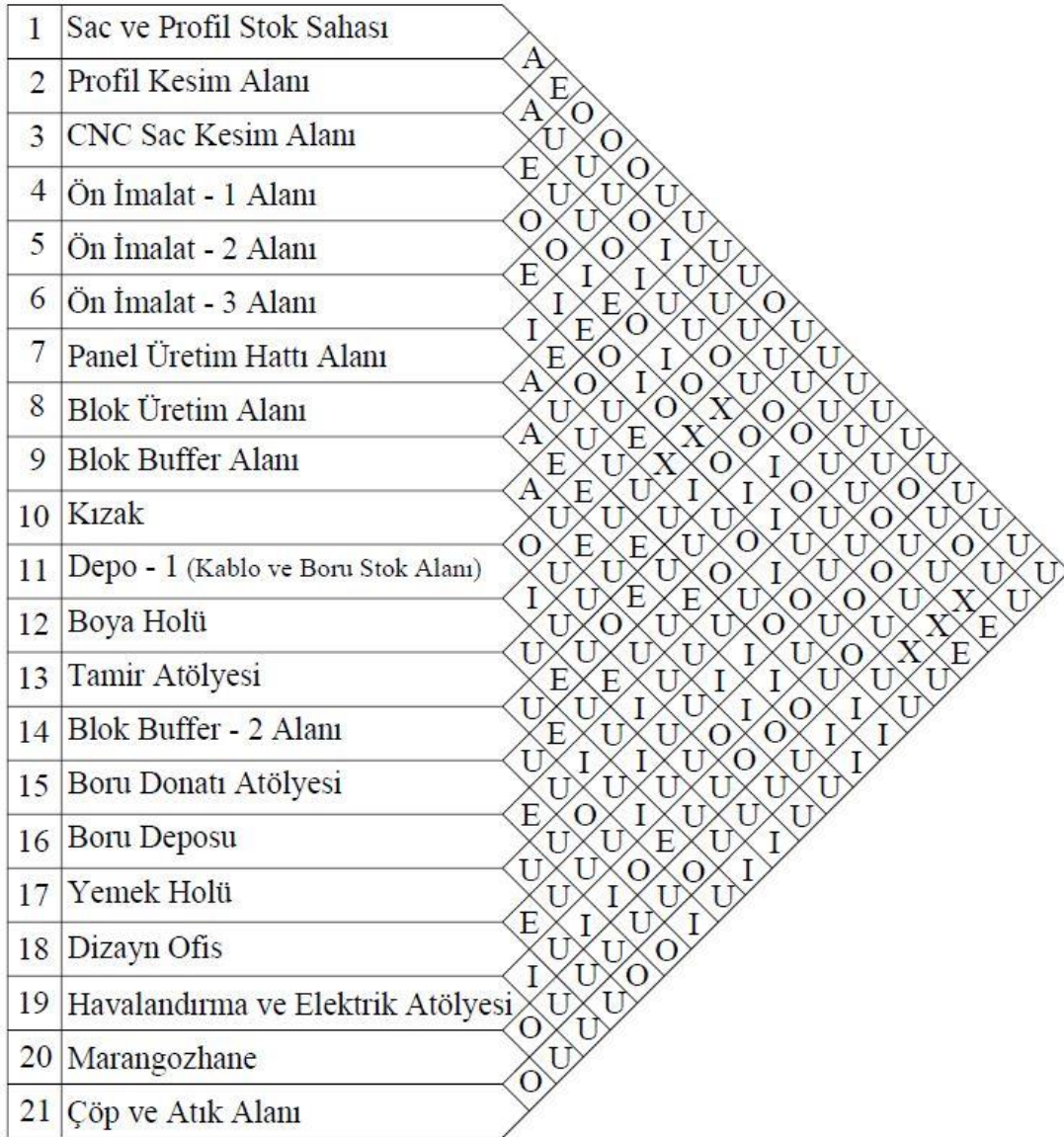
Yerleşimi ayarlarken her ilişkinin daha sonra hesaba katılması gerekir, aksi takdirde yerleşim bozulur. Genel doğrulamayı kontrol etmek için, tüm harf toplamalarının toplamı (*Toplam*), tablodaki olası ilişkilerin sayısına eşit olmalıdır; burada *N*, listelenen departmanların sayısıdır.

$$Toplam = \frac{N * (N - 1)}{2} \quad (5.3)$$

İlişki şemasındaki bilgiler optimizasyon sürecinde hayati önem taşıdığından, ilişki şeması tersane uygulayıcılarının (10 yıldan fazla çalışma deneyimine sahip tersane-planlama departmanı yöneticileri) fikir birliği ile aşağıda belirtilen nedenlerle dolduruldu. Burada, nedenler, farklı yerleşimleri oluşturan parametreler olarak da tanımlanabilir:

- 1) Malzeme akışı,
- 2) Güvenlik,
- 3) Kişisel iletişim ihtiyacı,
- 4) Ortak ekipmanı kullanımı,
- 5) Ortak kayıtların kullanımı,
- 6) Ortak personel paylaşımı,
- 7) Denetim veya kontrol,
- 8) İletişim sıklığı,
- 9) Hizmetin aciliyeti,
- 10) Fayda dağıtım maliyeti,
- 11) Aynı yardımcı gereksinimlerin kullanımı,
- 12) İletişimsel veya evrak teması derecesi,
- 13) Belirli yönetim talepleri veya personel rahatlığı.

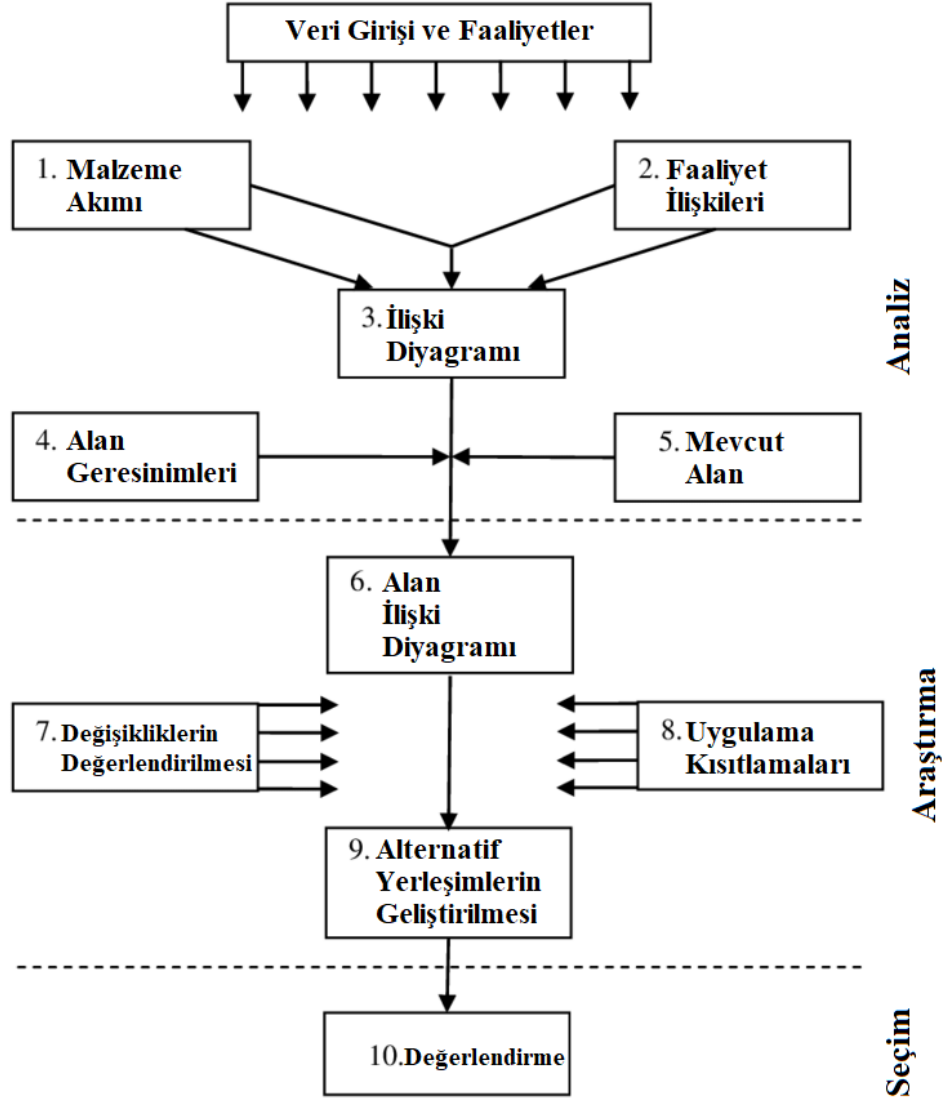
Tersanedeki tüm aktivite çiftlerini gösteren yirmi bir atölye, Şekil 5.2 'de verilen bir faaliyet ilişki şemasında gösterilmektedir. Bu optimizasyon çalışmasında kullanılan ilişki şeması, tersane uygulayıcıları, üretim planlama müdürü unvanlı ve diğer üretim planlama kadrolarının sağduyusu ile doldurulmuştur.



Şekil 5.2 : İlişki şeması.

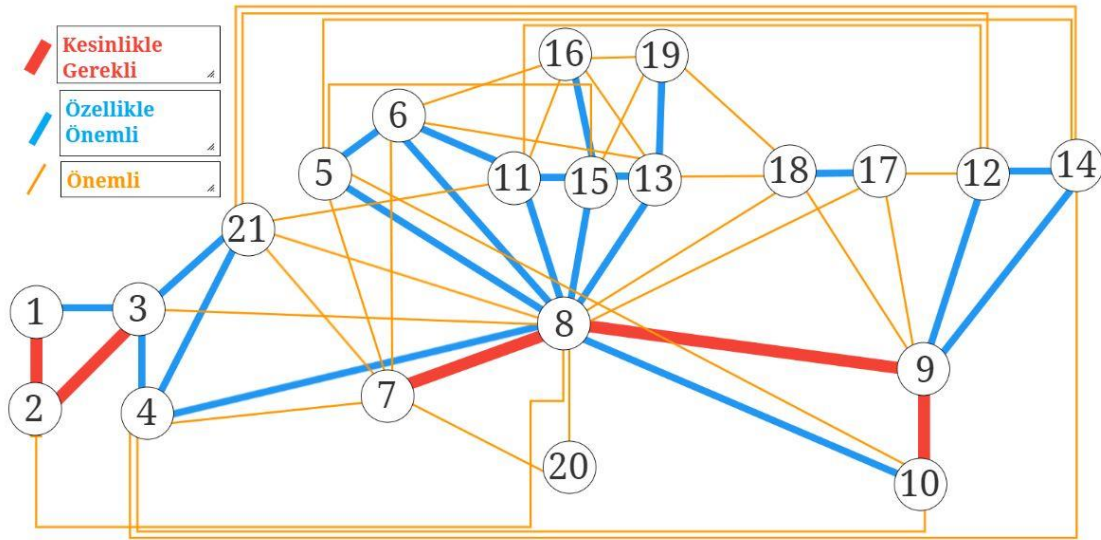
5.4 Sistematiik Yerleşim Planlaması

Muther (1973), sistematiik yerleşim planlaması veya SYP adını verdiği bir yerleşim prosedürü geliştirdi. SYP için verilen akış algoritması Şekil 5.3'te verilmiştir. SYP, temel olarak, Şekil 5.2'de gösterilen faaliyet ilişkisi şemasını kullanır.



Şekil 5.3: Sistematik yerleşim planlaması (SYP) prosedürü algoritması.

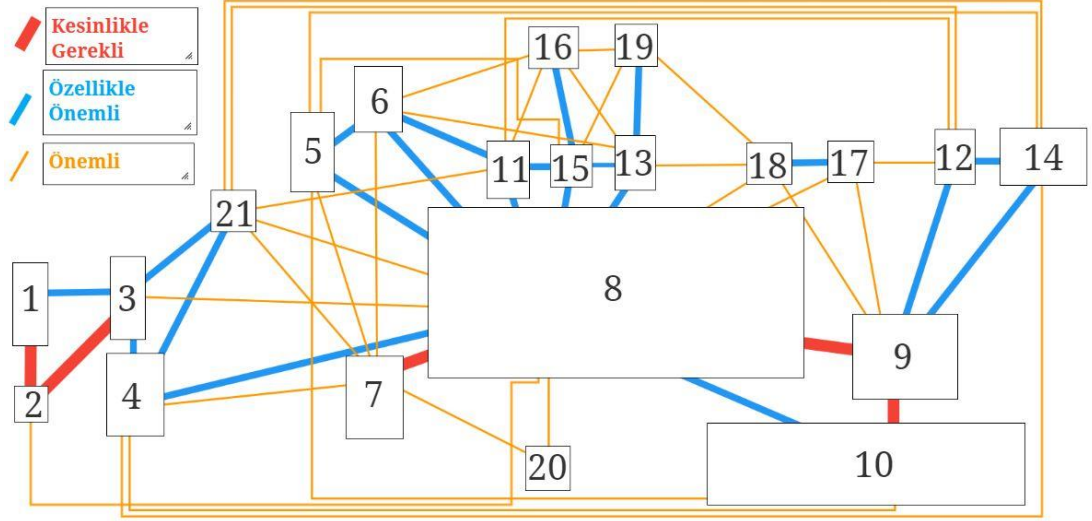
Girdi verilerine ve faaliyetler arasındaki rollerin ve ilişkilerin anlaşılmasına dayalı olarak faaliyet ilişkisi analizi, Şekil 5.2’de verilen ilişki şeması uyarınca gerçekleştirilir. Yapılan analizlerden bir ilişki diyagramı geliştirilmiştir, Şekil 5.4’de ilişki diyagramının tersane yerleşimi için gösterimi sunulmuştur.



Şekil 5.4 : İlişki diyagramının tersane yerleşimi için geliştirilmesi.

İlişki diyagramı, faaliyetleri mekansal olarak konumlandırmaktadır. Yakınlıklar tipik olarak aktivite çiftleri arasındaki ilişkiyi yansıtmak için kullanılır. İlişki şeması normalde iki boyutlu olmasına rağmen, çok katlı binalar, asma katlar ve/veya havai alanlar düşünüldüğünde üç boyutlu diyagramların geliştirildiği durumlar da olmuştur.

Sonraki iki adım, her aktiviteye atanacak alan miktarının belirlenmesini içerir. Tersane yerleşimi optimizasyonu yapılırken alanlar tekrar hesaplanmamıştır, mevcut alanların korunduğu ancak departmanların göreceli konumları optimize edilmiştir. Alan atamaları yapıldıktan sonra, her planlanan departman için alan şablonları geliştirilir ve Şekil 5.5'de verilen alan ilişkisi diyagramını elde etmek için Çizelge 5.1'de verilen alanlar kullanılarak, alan ilişki diyagramına konumlandırılır.



Şekil 5.5: Alan ilişki diyagramının tersane yerleşimi için geliştirilmesi.

Değişen hususlara ve pratik kısıtlamalara dayalı olarak, bir dizi yerleşim alternatifi geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Tercih edilen alternatif daha sonra belirlenir ve önerilir. SYP ile üretilen alternatif tersane yerleşim planları EK A'da, Şekil A.2, Şekil A.4, Şekil A.7, Şekil A.8, Şekil A.9, Şekil A.12, Şekil A.13'te verilmiştir.

SYP'nin uygulanmasında yer alan süreç nispeten basit olsa da, uygulamasında zorlukların ortaya çıkmadığı anlamına gelmez. Bu bölümde, faaliyet ilişkilerinin öncelikli olarak atanması ve faaliyet ilişkilerinin tatmin derecesini ölçmek için bir kriter olarak yakınlığın kullanılması gibi konular ele alındı. Aynı şekilde, mekan ilişkisi diyagramının oluşturulmasında kullanılan bireysel mekan şablonlarının şekilleri de alternatiflerin üretilmesini etkileyebilir. Son olarak, bir alan ilişkisi diyagramının birkaç olası yerleşim alternatifine dönüştürülmesi mekanik bir süreç değildir, burada sezgi, muhakeme ve deneyim, sürecin önemli bileşenleridir.

SYP prosedürü, her bir planlama departmanı için önce bir blok yerleşimi ve ardından detay yerleşim planı geliştirmek için sırayla kullanılabilir. İkinci uygulamada makineler, iş istasyonları, depolama yerleri ve departmana girişler ve departmanlardan çıkışlar arasındaki ilişkiler, her departman içindeki faaliyetlerin göreceli konumunu belirlemek için kullanılır (Tompkins ve diğ.,2010 ss.297-302).

SYP tekniğinin 50 yılı aşkın bir süredir popüler kalmasının birincil nedeni, tesis tasarımına yönelik basit adım adım yaklaşımıdır (Heragu, 2016, ss.76).

SYP, bir fabrikada yüksek frekanslı ve mantıksal ilişkilere sahip alanları birbirine yakınlaştırarak bir işyeri düzenleme yöntemidir. SYP yöntemi, malzeme taşınımını en aza indirmek, maliyeti en aza indirmek, seyahat süresini en aza indirmek ve güvenliği artırmak için tesislerin konumunu optimize etmek için kullanılır (Muther ve Hales, 2015). Prosedür, ürünü en düşük maliyetle ve en az elleçlemeyle işlerken en verimli malzeme akışını sağlar. Ayrıca SYP, kullanımı çok kolay olan sağlam bir yöntemdir (Mohsen, 2007). SYP yöntemini kullanarak tesis yerleşimini iyileştirmek, malzeme akışını önemli ölçüde azaltacaktır (Wiyaratn ve diğ., 2013). SYP ve ilişki çizelgeleri son zamanlarda Dixit ve diğ. (2020) tarafından alternatif tersane yerleşim planları oluşturmak için kullanılmaktadır. SYP yöntemi, tersane yerleşim tasarımı ve optimizasyonu için geniş çapta benimsenmiştir (Chabane 2004; Matulja ve diğ. 2009; Shin ve diğ. 2009; Shablykova 2020).

SYP prosedürü için hayati unsur ilişki şemasındaki bilgiler olduğundan, kullanılan yerleşim planı büyük ölçüde tersane faaliyetlerinin doğasına bağlı olacaktır. İlişki diyagramı ve alan ilişki diyagramı, bir ilişki şeması kullanılarak geliştirilir. Bölümler önem sırasına göre önce A'lar ve X'ler sonra E'ler ve I'lar şeklinde yerleştirilerek ilişki diyagramı oluşturulur (Şekil 5.4). Daha sonra bölümlerin boyutlarını içeren alan ilişki diyagramı çizilir (Şekil 5.5). Son olarak, alan ilişki şemasına benzerlik sağlayan yedi farklı yerleşim planı oluşturulmuştur.

5.4.1 SYP uygulaması özeti

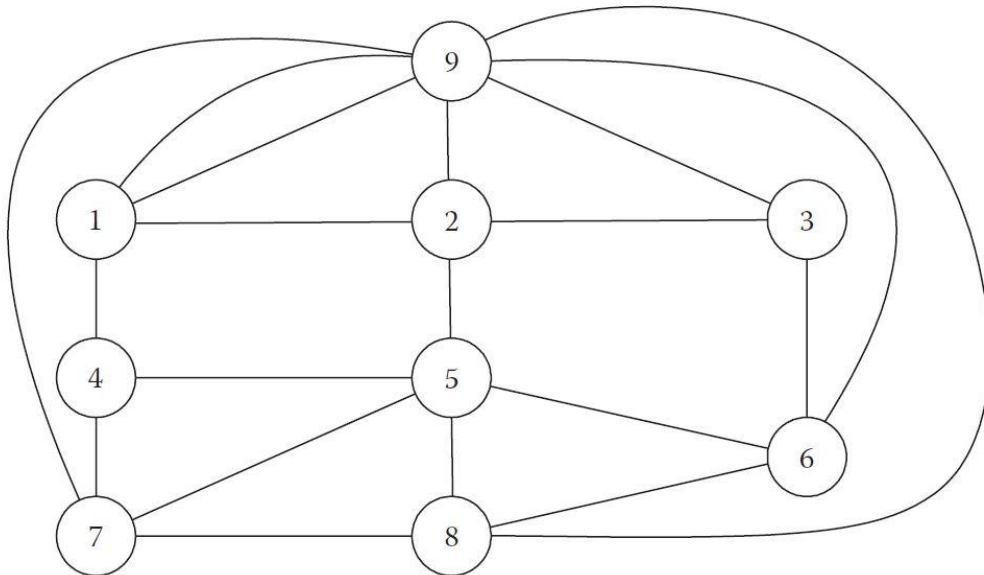
Aşağıda SYP uygulamasının özeti başlıklar halinde verilmiştir. SYP örnekleri Tompkins ve diğ. (2010) ve Heragu (2016)'da bulunabilir.

- 1) Departmanların isim listesi belirlenir,
- 2) İlişki tablosu doldurulur,
- 3) İlişki diyagramı çizilir,
- 4) Alan ilişki diyagramı çizilir,
- 5) Farklı sayıda alternatif yerleşim planları üretilir. Bu çalışmada 7 adet plan üretilmiştir.

5.5 Graf-Teorik Yaklaşım

Yerleşim probleminin Muther (1973)'in SYP tekniği kullanılarak grafiksel olarak nasıl temsil edilebileceği gösterilmiştir. SYP yaklaşımında, departman alanları ve komşuluk ilişkileri grafikler üzerinde resimsel olarak gösterilir. Daha sonra departmanların görel konumlandırması, deneme yanılma yaklaşımıyla belirlenir. Buna dayanarak, bir tesisi planlayan mühendis, koridorları ve departman teslim alma veya bırakma noktalarını gösteren son ayrıntılı bir yerleşim planı oluşturur. Deneme-yanılma yaklaşımı düşük kaliteli yetersiz çözümler verirse, o zaman son yerleşimin malzeme taşıma maliyetlerini en aza indirme hedefine ulaşmamıza yardımcı olmayacağı açıktır. Bu nedenle, graf teorik kavramlarına dayalı başka bir yaklaşım önerilmiştir (Foulds, 1983).

Graf-teorik Yaklaşımını anlamak için önce düzlemsel grafik ve maksimal düzlemsel grafik terimlerinin anlamını anlamalıyız. Boş olmayan, sonlu bir düğüm kümesi ve sırasız bir yay kümesinden oluşan bir graf, herhangi bir yay diğerini kesmeden iki boyutta çizilebiliyorsa düzlemsel olarak adlandırılır. Şekil 5.6'da düzlemsel bitişiklik grafi görülmektedir.



Şekil 5.6 : Düzlemsel bitişiklik grafi (Heragu, 2016., ss.108).

Yalnızca bir kenarın daha eklenmesi onu düzlemsel yapmıyorsa düzlemsel grafa, maksimal düzlemsel graf denir. Graf-teorik Yaklaşımı, kârların toplamının maksimize edilmesi için bitişik olması gereken departman çiftlerini belirler ve ağırlıkların toplamının maksimize edildiği bir maksimal düzlemsel grafiği tanımlar. İki düğüm arasındaki kenarın ağırlığı, karşılık gelen departmanlar arasındaki etkileşim düzeyine karşılık gelir. Ağırlık aslında bir kenar ile birbirine bağlanan düğüm (departman) çiftleri arasındaki ilişki koduna atanan sayısal değeri temsil eder. Etkileşimler bir ilişki şeması sayısal hale dönüştürülmüş bir matrisi olarak sağlanırsa, ilişki değerlerini ağırlıklar olarak kullanılabilir. Maksimal düzlemsel grafikteki kenarlar, hangi bölüm çiftlerinin bitişik olacağını belirtir. Bu bitişikliklerden, bir tasarımcı, alan ve şekil gereksinimlerinin karşılandığı ve büyük ağırlıklara sahip departman çiftlerinin bitişik olduğu uygun bir yerleşim planı bulabilir. Graf-teorik yöntemlerin çoğu, yalnızca bitişik bölümlerin ağırlıklarının toplamını maksimize etmeye odaklanır; bitişik olmayan bölümlerin ağırlıkları hiç dikkate alınmaz. Ayrıca komşulukların belirlenmesinde bölümler arası mesafe ve alanları dikkate almazlar.

Bir bitişiklik grafi düzlemsel ise buna düzlemsel bitişiklik grafi (PAG) denir. Düzlemsel bitişiklik grafi maksimal düzlemsel ise, buna maksimal düzlemsel bitişiklik graf denir. Düğüm sayısı $(N) = 3$ 'ten büyük veya eşit olduğunda, düzlemsel bir grafikteki maksimum kenar sayısı $3N - 6$ 'dır. Böylece, üç veya daha fazla düğüm içeren herhangi bir düzlemsel graf en fazla $3N - 6$ kenarı karşılayabilir; bu nedenle $(N - 1)/2$ olası olanlar arasından yalnızca $3N - 6$ komşuluk karşılanabilir. N düğümlü bir grafikteki olası komşulukların sayısının, $(N - 1)/2$ 'ye eşit olan $N - 1 + N - 2 + \dots + 3 + 2 + 1$ toplam serisi olduğuna dikkat edilir.

Ağırlıkların toplamının maksimum olduğu bir maksimal düzlemsel bitişiklik grafi bulmak zor bir problemdir çünkü toplam $(N - 1)/2$ komşuluktan tüm olası $3N - 6$ kenar (yay) kombinasyonlarını incelenmesi gerekir. Bu özellik, maksimal düzlemsel bitişiklik graftaki yüz sayısının $2N - 4$ 'e eşit olduğunu ve her yüzün üçgen olduğunu söyler (Heragu, 2016, ss. 107-109).

Çizelge 5.3 : İlişki tablosundaki yakınlık ilişkilerinin sayısal derecelendirmeleri.

Harf	Sayısal Değeri
A	8
E	4
I	2
O	1
U	0
X	-8

5.5.1 Maximal düzlemsel bitişiklik grafin oluşturulması

1978 yılında Foulds ve Robinson tarafından ortaya atılan “deltahedron S yapısal çözüm yöntemi” olarak adlandırılan bir tesis yerleşim probleminin çözüm prosedürü, ilerleyen yıllarda Tompkins ve diğ. (2010) ve Heragu (2016) tarafından Graf-teorik Yaklaşım veya Graf-tabanlı Yöntem olarak literatüre girmiştir. Bu çalışmada, tersane yerleşimi problemi için Foulds ve Robinson (1978) tarafından sunulan tesis yerleşim problemi için Graf-teorik sezgisel benimsenmiş, yeniden tanımlanmış ve uygulanmıştır. Alternatif tersane yerleşimlerinin oluşturulması için maximal düzlemsel bitişiklik grafi aşağıdaki adımlarla uygulanmıştır. Ağırlıkların toplamının maksimize edildiği bir maksimal düzlemsel bitişiklik grafi tanımlamak için aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

Adım 1) SYP yöntemi için oluşturulmuş olunan ilişki şeması, bitişikliğin öneminin değişmediği dikkate alınarak Graf-teorik Yaklaşımına uyarlanmak için sayısal değerlere çevrilir. Bu çalışmada her bir önemin ağırlığı 2 ve 2’nin katları olarak belirlenmiştir.

Adım 2) Sayısal değerlere dönüştürülen ilişki şemasından her satırın toplam ağırlığına göre departmanlara bir derece numarası verilir.

Adım 3) Derecesi en büyük olan ilk 4 düğüm noktası(departman) başlangıç tetrahedronu oluşturmak için grafta konumlandırılır. En büyük dereceli düğüm noktası tetrahedronun merkezine yerleştirilir.

Adım 4) Derece sırasına göre geri kalan (5, 6, 7, ... 21’e kadar) tüm düğüm noktaları yerleştirilmesi gerekmektedir. İlk önce 5. derecedeki düğüm noktasının yerleştirilmesi için başlangıç tetrahedronun üç iç yüzü ve bir dış yüzünden, ilişki ağırlık toplamına

göre en büyük olanı seçilir. Ve 5. derecedeki düğüm noktası en fazla toplam ilişki ağırlığı olan yüze konumlandırılır böylece deltahedron oluşturulmaya başlanır.

Adım 5) Adım 4 diğer düğüm noktaları için hepsi konumlandırılana kadar derece sırasına göre tekrarlanır. Tüm düğüm noktaları yerleştirildikten sonra tersane yerleşimi için maksimal düzlemsel bitişiklik grafi elde edilir.

Düğümleeri grafik düzlemselliği korunacak şekilde eklendiği için her zaman maksimal düzlemsel bitişiklik grafi elde edilir.

Özetle, Graf-teorik Yaklaşım, departmanlar arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak gösteren bir bitişiklik grafi oluşturarak başlar. Böyle bir graf oluşturmak için, önce grafta yerleşim için düğümlerin (departmanların) dikkate alınması gereken sırayı tanımlayın, ardından bitişiklik grafiğindeki her bir düğüm noktasının konumunu belirlendi. Graf-teorik Yaklaşım, $3N - 6$ 'ya eşit sınırlı ve bilinen sayıda kenara (bitişiklikler) sahip maksimal düzlemsel ağırlıklı bir grafik olan bir bitişiklik grafi üretir (Seppänen ve Moore, 1970). Maksimum kenar sayısı için kriterler matematiksel olarak aşağıdaki gibi temsil edilebilir (Nozari ve Ensore 1981).

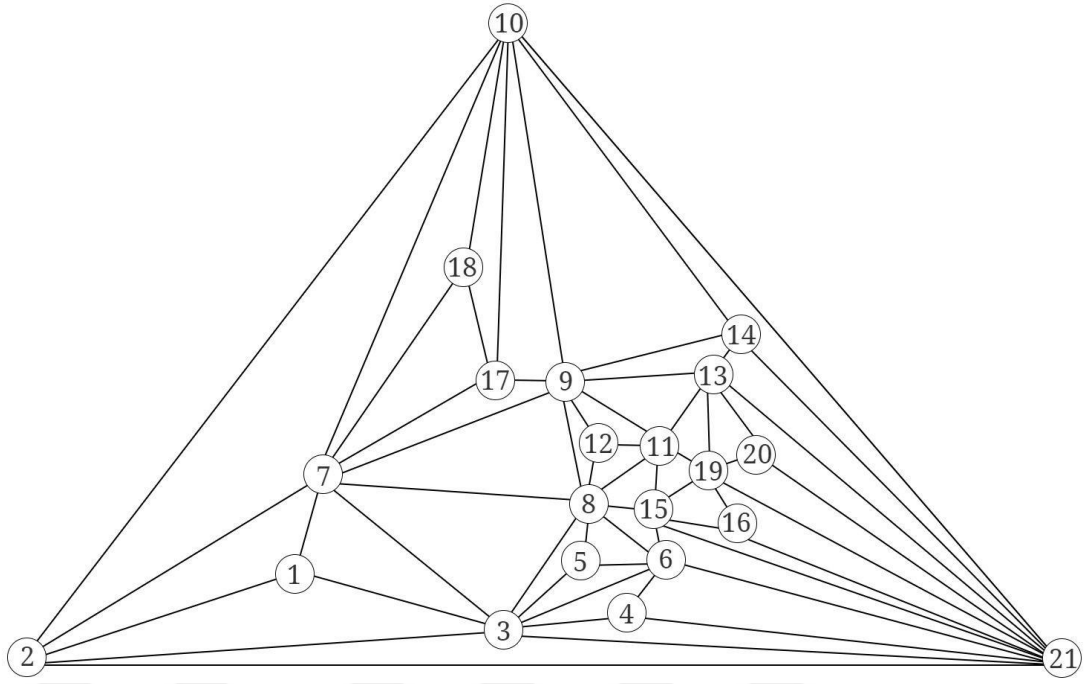
$$\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N x_{ij} = 3N - 6, \quad (5.4)$$

Bu çalışmada, bitişiklik ilişkisinin değişmez olduğu dikkate alınarak Graf-teorik Yaklaşım'a uyarlanan SYP yöntemi için bir ilişki şeması oluşturulmuştur. Şekil 5.7'de, sayılara dönüştürülmüş ilişki şemasını göstermektedir. Çizelge 5.3'te verilen toplam yakınlık derecesine göre sayısal değerlere dönüştürülen ilişki şeması ile Graf-teorik Yaklaşım çalışması, departmanlar arasındaki en kritik bitişikliği keşfetmek ve algoritmanın departman seçimindeki önceliğini kontrol etmek için kullanılır.

Çizelge 5.4 : Düğüm noktası olarak departmanların yerleşim sırası.

Toplam Skora Göre Konumlandırma Sırası	Departman Numarası	Departman Adı
1	8	Blok Üretim Alanı
2	21	Çöp ve Atık Alanı
3	10	Kızak
4	2	Profil Kesim Alanı
5	9	Blok Buffer Alanı
6	3	CNC Sac Kesim Alanı
7	11	Depo – 1 (Kablo ve Boru Stok Alanı)
8	7	Panel Üretim Hattı Alanı
9	15	Boru Donatı Atölyesi
10	17	Yemek Holü
11	13	Tamir Atölyesi
12	1	Sac ve Profil Stok Sahası
13	14	Blok Buffer – 2 Alanı
14	6	Ön İmalat – 3 Alanı
15	19	Havalandırma ve Elektrik Atölyesi
16	16	Boru Deposu
17	18	Dizayn Ofis
18	4	Ön İmalat – 1 Alanı
19	5	Ön İmalat – 2 Alanı
20	12	Boya Holü
21	20	Marangozhane

Graf-teorik Yaklaşımı uygulanarak değerlendirilen, nihai maksimum düzlemsel bitişiklik grafi Şekil 5.8’de gösterilmektedir. Bu graf oluşturulurken ağırlıklar tek tek hesaplanmış ve Çizelge 5.4 ’teki sıra ile departmanlar konumlandırılmıştır. Maksimal düzlemsel grafi hesapladıktan sonra, Graf-teorik Yaklaşım, maksimal düzlemsel grafa benzerlik sağlayan beş farklı yerleşim oluşturur. Graf-teorik Yaklaşım literatürde yaygın olarak kabul edilen bir yöntem olmasına rağmen, alternatif tersane yerleşim planları oluşturmak için Graf-teorik Yaklaşım literatürde uygulanmamıştır. Graf-teorik Yaklaşım ile üretilen alternatif tersane yerleşim planları Ek A’da Şekil A.3, Şekil A.5, Şekil A.6, Şekil A.10, Şekil A.11’de verilmiştir.



Şekil 5.8 : Maksimal düzlemsel bitişiklik grafi.

5.5.2 Graf-teorik yaklaşım uygulaması özeti

Graf-teorik Yaklaşımın uygulanmasının adımları aşağıda özetlenmiştir.

- 1) İlişki şeması sayısal değerlere dönüştürülür,
- 2) Maksimal düzlemsel bitişiklik grafi çizilir,
- 3) Farklı sayıda alternatif içeren yerleşim planları oluşturulur.

5.6 Verimlilik Oranı ve Sonuç

Denklem 5.2 elde edilen bitişiklik puanı, iki veya daha fazla alternatif yerleşimi karşılaştırmada yardımcı olsa da, belirli bir yerleşimin belirli bir alt veya üst sınıra göre göreceli verimliliğini değerlendirmek genellikle daha çok arzu edilir.

Bu çalışma, SYP ve Graf-teorik Yaklaşım yöntemlerini kullanan 21 departmanı içeren 12 farklı alternatif tersane yerleşim planına odaklanmaktadır. Bu çalışmanın en önemli kısmı en iyi tersane yerleşimi seçmektir. Alternatifler arasından en iyi yerleşimi seçmek için, özellikle daha önce benimsenen bulanık mantık tabanlı tasarımlar olmak üzere birkaç teknik uygulanabilir (Matulja ve diğ. 2009; Dixit ve diğ. 2020). Bu çalışma, alternatifler arasından en iyi yerleşimi seçmek için verimlilik oranı yöntemini

benimser. Ojaghi ve diğ. (2015) yakın zamanda verimlilik oranı yöntemini kullanmıştır. Verimlilik oranı, yerleşimdeki tüm departmanlar için toplam ilişki puanının, tüm departmanlar için öngörülen ilişki puanına bölünmesiyle hesaplanır. Verimlilik oranını hesaplamak için formül aşağıda verilmiştir:

$$\text{Verimlilik oranı} = \frac{\sum \text{departman bitişiklik puanı}}{\sum \text{ilişki puanı}} \quad (5.5)$$

Normalleştirilmiş bitişiklik puanının (verimlilik oranı olarak da bilinir), basitçe Denklem (5.2)'den elde edilen bitişiklik puanının tesisteki toplam akışa bölünmesiyle elde edildiği unutulmamalıdır (Tompkins ve diğ. 2010). İlişki şemasında negatif sayısal akış değerleri kullanıldığından, verimlilik oranı formülasyonu Denklem (5.6)'ya uyarlanmıştır:

$$\text{Verimlilik oranı} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (r_{ij}^+ x_{ij}) - \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (r_{ij}^- (1 - x_{ij}))}{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (r_{ij}^+) - \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (r_{ij}^-)} \quad (5.6)$$

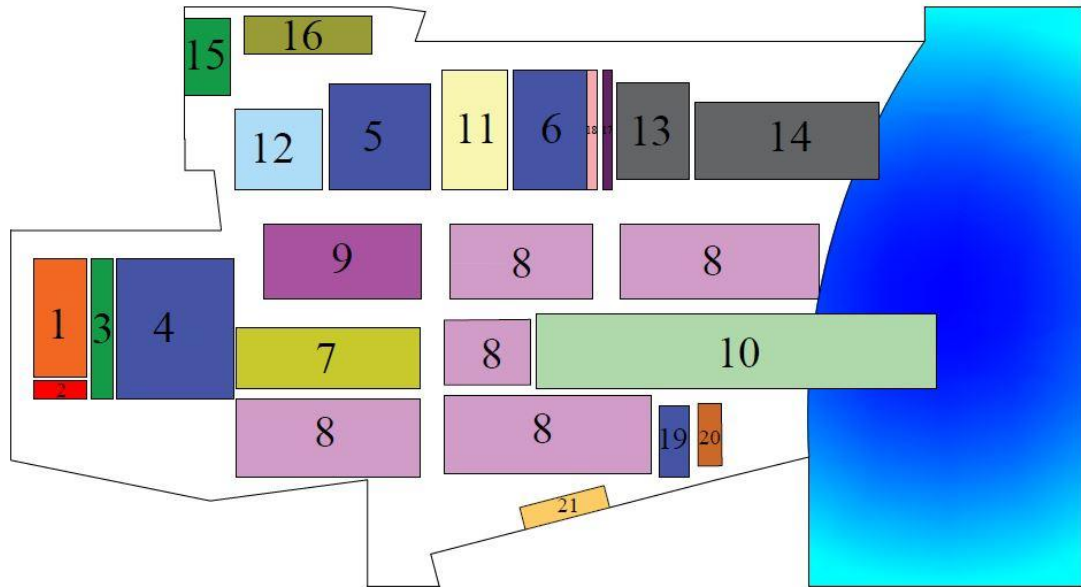
$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer departman } i \text{ departman } j' \text{ ye bitişikse} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases} \quad \forall i, j; i > j$$

r_{ij} , i ve j departmanları arasındaki yakınlık derecesinin sayısal değeridir. Böylece ilişki şemasında “X’ler” için atanan “-8” sayısal değerleri için verimlilik oranı hesaplamasında doğru hesaplama yapmak mümkündür. 12 alternatif tersane yerleşimi ve mevcut yerleşim planı için verimlilik oranı puanları Çizelge 5.5'te gösterilmektedir. Verimlilik oranı en yüksek yerleşim alternatifi en iyi yerleşim planı olarak seçilir, “SYP-3” %73,91 verimlilik oranı ile alternatifler arasında en iyi yerleşim planı olarak puanlanır. Verimlilik oranı, ilişki şemasının gerçekleşme oranını karşılaştıran bir yüzdendir. Mevcut yerleşim planının (Şekil 5.9 ve Şekil A.1) verimlilik oranı %48,91 iken, önerilen yerleşim planı (Şekil 5.10 ve Şekil A.2) ile bu oran %73,91'e yükselmiştir. Böylece ilişki şemasını doldurmak için detaylı nedenlerin gerçekleşme oranının %48,91'den %73,91'e yükseldiğini söyleyebiliriz. Malzeme akışı, güvenlik, kişisel temas ihtiyacı, aynı ekipman kullanımı gibi parametrelerde iyileştirmeler yapılmıştır. Malzeme ve personel akışındaki karmaşık güzergahlar ortadan kaldırılmıştır. Tersane yerleşimi, aşırı geçişlerin olduğu zayıf bir akış modelinden, dendrit akış modeline sahip geliştirilmiş bir yerleşim planına dönüştürüldü. Tersane performansındaki iyileştirmeler, çevrim süresinde azalma, üretkenlik artışı, gezi

maliyetinde azalma ve gezi mesafesinde azalma olarak öngörülmüştür; ancak simülasyon aracılığıyla daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

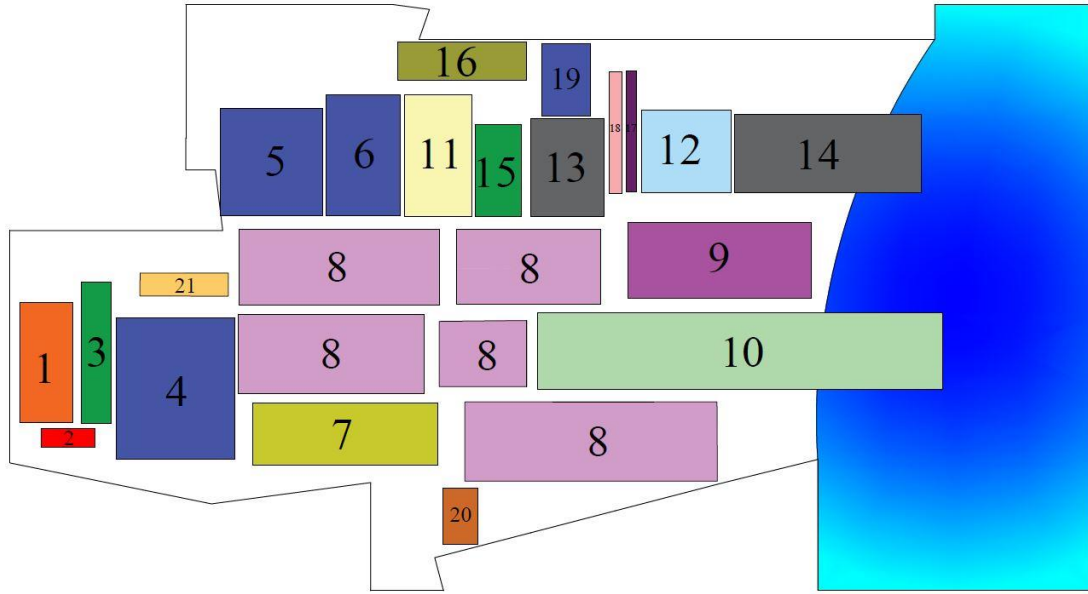
Çizelge 5.5 : Verimlilik oranları.

Alternatif numarası	Verimlilik Oranı	Hesaplama	Alternatif
1	%48.91	135/276	Mevcut Yerleşim
2	%73.91	204/276	SYP – 3
3	%71.37	197/276	Graf – teorik Yaklaşım 3
4	%70.28	194/276	SYP – 4
5	%69.20	191/276	Graf – teorik Yaklaşım 4
6	%67.75	187/276	Graf – teorik Yaklaşım 5
7	%66.30	183/276	SYP – 5
8	%65.21	180/276	SYP – 2
9	%63.76	176/276	SYP – 6
10	%61.96	171/276	Graf – teorik Yaklaşım 1
11	%60.14	166/276	Graf – teorik Yaklaşım 2
12	%60.14	166/276	SYP – 7
13	%56.88	157/276	SYP – 1



Şekil 5.9 : Mevcut tersane yerleşimi

Numaralı Departmanlar: 1) Sac ve Profil Stok Sahası 2) Profil Kesim Alanı 3) CNC Sac Kesim Alanı 4) Ön İmalat – 1 Alanı 5) Ön İmalat – 2 Alanı 6) Ön İmalat – 3 Alanı 7) Panel Üretim Hattı Alanı 8) Blok Üretim Alanı 8) Blok Üretim Alanı 9) Blok Buffer Alanı 10) Kızak 11) Depo – 1 (Kablo ve Boru Stok Alanı) 12) Boya Holü 13) Tamir Atölyesi 14) Blok Buffer – 2 Alanı 15) Boru Donatı Atölyesi 16) Boru Deposu 17) Yemek Holü 18) Dizayn Ofis 19) Havalandırma ve Elektrik Atölyesi 20) Marangozhane 21) Çöp ve Atık Alanı



Şekil 5.10 : İyileştirilmiş tersane yerleşimi

Numaralı Departmanlar: 1) Sac ve Profil Stok Sahası 2) Profil Kesim Alanı 3) CNC Sac Kesim Alanı 4) Ön İmalat – 1 Alanı 5) Ön İmalat – 2 Alanı 6) Ön İmalat – 3 Alanı 7) Panel Üretim Hattı Alanı 8) Blok Üretim Alanı 8) Blok Üretim Alanı 9) Blok Buffer Alanı 10) Kızak 11) Depo – 1 (Kablo ve Boru Stok Alanı) 12) Boya Holü 13) Tamir Atölyesi 14) Blok Buffer – 2 Alanı 15) Boru Donatı Atölyesi 16) Boru Deposu 17) Yemek Holü 18) Dizayn Ofis 19) Havalandırma ve Elektrik Atölyesi 20) Marangozhane 21) Çöp ve Atık Alanı

6. TERSANE YERLEŞİMİ SİMÜLASYONU

6.1 Simülasyonun Tanımı

Bir simülasyon, modellerin kullanımıyla gerçek dünyadaki süreçlerin veya sistemlerin işleyişini taklit eder. Sistemin davranışı, genellikle sistemin işleyişi hakkında bir dizi varsayım şeklini alan bir simülasyon modeli oluşturularak incelenir. Simülasyon terminolojisinde sistem, simüle edilen gerçek fiziksel veya kavramsal bileşenleri ifade eder. Bir imalat tesisi simülasyonunda, sistem gerçek fiziksel tesisi ve makineler, iş istasyonları, malzemeler ve personel gibi tüm bileşenleri ifade eder. Bütün içerik unsurlarıyla birlikte tersane gerçek bir sistemdir. Öte yandan, bir model, matematiksel denklemler ve algoritmalar kullanılarak oluşturulan sistemin basitleştirilmiş bir temsilidir. Model, sistemin ana bileşenlerini ve etkileşimlerini içerir ve çeşitli koşullar altında sistemin davranışını simüle etmek için kullanılabilir. Bir imalat tesisi simülasyonunda, model, her bileşen için üretim hızları, döngü süreleri ve işleme süreleri gibi veriler kullanılarak oluşturulan tesisi matematiksel olarak temsil eder. Özetle, bir sistem, simüle edilen gerçek fiziksel veya kavramsal bileşenleri ifade ederken, bir model matematiksel denklemler ve algoritmalar kullanılarak oluşturulan sistemin basitleştirilmiş bir temsilidir.

Model, seçilen süreç veya sistemin temel davranışlarını ve özelliklerini temsil ederken, simülasyon, modelin zaman içinde farklı koşullar altında nasıl geliştiğini temsil eder. Simülasyonlar genellikle bilgisayar tabanlıdır, yönetici ve mühendislerin kararlarına destek sağlamanın yanı sıra eğitim amaçlı olarak yazılımla üretilmiş bir model kullanır. Modeller hem görsel hem de etkileşimli olduğundan, simülasyon teknikleri anlamaya ve deney yapmaya yardımcı olur. Simülasyon potansiyel olarak hala "elle" yapılabilse de günümüzde neredeyse her zaman, bir sistemin özellikleri ve işleyişi hakkında çıkarımlar yapmak üzere yapay bir veri seti oluşturmak için bilgisayar kullanımını gerektirir. Bir kez geliştirildiğinde, simülasyon modeli aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli görevler için kullanılabilir:

- Sistemin davranışını çok çeşitli senaryolar altında araştırılabilir. Buna genellikle "varsayımsal (what-if)" analizleri de denir,
- Gerçek dünyadaki etkilerini tahmin etmek için uygulamadan önce sistemdeki değişiklikler simüle edilebilir,
- Bir sistemin tasarım aşamasında, yani inşa edilirken, inşasına rehberlik etmesi için simülasyon kullanılabilir.

Bilgisayar simülasyonu, arasında imalat, sağlık, ulaşım sistemi, savunma ve yönetim bilimi dahil olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmıştır.

6.1.1 Tersane yerleşimi simülasyonunun tanımı

Tersane yerleşimi simülasyonu ise bir tersanenin sanal bir modelini oluşturarak, malzemelerin, ekipmanların ve işçilerin tersanede nasıl hareket ettiğini simüle eden bir simülasyon türü olarak tanımlanabilir.

Simülasyon modeli genellikle tersanenin fiziksel yerleşimini, gemi inşa sürecini tamamlamak için gereken kaynakları, ekipmanları ve personeli içerir. Bu kaynakların ve faaliyetlerin simülasyonu, tersanede potansiyel darboğazlar veya verimsizlikler ile birlikte iyileştirme fırsatları da tespit edilebilir.

Tersane yerleşimi simülasyonu, tersanenin tasarımını ve yerleşimini optimize etmek için kullanılabilir ve ayrıca farklı senaryoları veya üretim programlarını test etmek ve değerlendirmek için de kullanılabilir. Örneğin, simülasyon, ekipman ekleme veya çıkarma, depolama alanlarının veya üretim hatlarının konumunu değiştirme veya üretim programını ayarlama gibi tersane yerleşiminde veya kaynak tahsisinde yapılan değişikliklerin etkisini değerlendirmek için kullanılabilir.

6.2 Simülasyonun Amacı

Simülasyon, farklı senaryoları veya süreç değişikliklerini test ederek karar verme için kanıt sağlayan, mevcut veya önerilen bir sistemin işleyişini taklit eden bir modeldir. Simülasyonlar, performansı ayarlamak, bir süreci optimize etmek, güvenliğini artırmak, teorileri test etmek, personeli eğitmek için kullanılabilir. Bilimsel olarak modelleme sistemleri, bir kullanıcının farklı koşulların ve eylem biçimlerinin etkileri hakkında bir fikir edinmesine olanak tanır. Simülasyon, gerçek sistem erişilemez olduğunda veya

bir sistem hala tasarım veya teori aşamasındayken değerlendirilmek için çok zahmetli olduğunda da kullanılabilir. Herhangi bir simülasyonun anahtarı, simülasyon modelini oluşturmak için kullanılan bilgidir ve modellerin doğrulanması ve onaylanması için protokoller, özellikle bilgisayar simülasyonu ile ilgili olarak hala araştırılmakta ve geliştirilmektedir.

Üretim sistemleri bağlamında, hammaddeden bitmiş ürünlere kadar bir fabrika aracılığıyla malzeme, ürün ve kaynakların akışını gözlemlemek ve kayıt altına almak için simülasyon kullanılır. Bir üretim sistemi simülasyonunda;

- Sistem performansını tahmin etme: Simülasyon, bir üretim sisteminin ürün talebindeki değişiklikler, ekipman arızaları veya üretim süreçlerindeki değişiklikler gibi farklı senaryolar altında nasıl performans göstereceğini tahmin etmek için kullanılabilir,
- Darboğazları ve verimsizlikleri belirleme: Simülasyon, üretim sürecinde gecikmelere neden olan veya iş hacmini azaltan darboğazları veya verimsizlikleri belirlemeye yardımcı olabilir. Bu sorunları tanımlayarak, sistemin performansını optimize etmek için iyileştirmeler yapılabilir,
- Alternatif tasarımların veya konfigürasyonların değerlendirilmesi: Simülasyon, bir üretim sistemi için farklı tasarımları veya konfigürasyonları değerlendirmek için kullanılabilir ve mühendislerin farklı seçenekleri karşılaştırmasına ve en verimli ve etkili olanı seçmesine olanak tanır,
- Genel olarak, imalat sistemleri için simülasyonun amacı, sistemin nasıl çalıştığını ve nasıl optimize edilebileceğini daha iyi anlayarak verimliliği artırmak, maliyetleri azaltmak ve üretkenliği artırmaktır.

6.2.1 Tersane yerleşimi simülasyonunun amacı

Tersane yerleşimi simülasyonunun amaçları, tersane yerleşimi davranışını ve performansını incelemek ve optimize etme fırsatlarını belirlemektir. Özellikle, simülasyon şunları amaçlar:

- Malzeme ve ekipman akışını optimize etmek: Tersane yerleşimi simülasyonu, malzemelerin ve ekipmanların tersanenin farklı bölgeleri arasındaki akışını optimize etmeye yardımcı olabilir. Darboğazları veya verimsiz düzenleri tespit

ederek, simülasyon akışı iyileştirmek ve verimliliği artırmak için değişiklikler önerir,

- Çevrim(döngü) süresini azaltmak: Simülasyon, malzemelerin veya ekipmanların tersanenin farklı bölgeleri arasında seyahat mesafelerini en aza indirerek çevrim süresinin azaltılabileceği tersane alanlarını belirleyebilir,
- Kaynak kullanımını iyileştirmek: Simülasyon, işgücü, ekipman ve malzeme gibi kaynakların kullanımını simüle ederek, bu kaynakların daha iyi kullanılabileceği verimliliği artırmak ve maliyetleri düşürmek için alanları belirleyebilir,
- Kapasite analizi: Simülasyon, tersanenin kapasitesini analiz ederek, potansiyel kapasite kısıtlamalarını veya fazla kapasiteli alanları belirleyebilir. Bu bilgi, gelecekteki genişlemeler veya tersane yerleşimindeki değişiklikler için planlama yapmak için kullanılabilir,
- Alternatif senaryoları test etmek: Simülasyon, yerleşim, üretim programı veya kaynak tahsisi gibi alternatif senaryoları test etmek için kullanılabilir ve gerçek tersanede uygulamadan önce performansı değerlendirmek için kullanılabilir.

Genel olarak, bir tersane yerleşimi simülasyonunun amacı, tersane yerleşimi optimize etmek ve gemi yapım sürecinin verimliliğini ve üretkenliğini artırmaktır.

6.3 Simülasyonun Faydaları

6.3.1 Daha az finansal risk

Simülasyon, gerçek yaşamda yapılacak deneylerden daha ucuzdur. Gerçek dünya sistemlerinin teorilerini test etmenin potansiyel maliyetleri, denenmemiş bir sürece geçiş, personel kiralama ve hatta yeni ekipman satın alma ile ilgili maliyetleri içerebilir. Simülasyon, teorileri test etmeye ve gerçek hayatta maliyetli hatalardan kaçınmaya olanak tanır.

6.3.2 Tekrarlanan test

Bir simülasyon, tamamen aynı koşullar karşısında farklı teorileri ve yenilikleri defalarca test etmeyi sağlar. Bu, farklı fikirlerin sapma olmadan kapsamlı bir şekilde test edilebileceğini ve karşılaştırılabileceğini mümkün kılar.

6.3.3 Uzun vadeli etkilerin incelenmesi

Yıllarca sürede üretilecek verinin etkisini yalnızca birkaç saniye içinde doğru bir şekilde modelleyerek geleceğin görülmesini sağlayacak bir simülasyon oluşturulabilir. Bu hem kısa hem de uzun vadeli etkilerin görülmesini sağlar, böylece gelecekte yıllar sonra fayda sağlanabilecek bilinçli yatırım kararları verilebilir.

6.3.4 Süreç iyileştirme için iç görü kazanılması

Simülasyonun faydaları sadece bir projenin sonunda fark edilmez. İyileştirmeler, farklı teorileri test ederek tüm bir süreç boyunca entegre edilebilir.

6.3.5 Beklenmedik olayların değerlendirilmesi

Beklenmedik personel yokluğu veya tedarik zinciri sorunları gibi rastgele olayları değerlendirmek için bir simülasyon da kullanılabilir.

6.3.6 Standart olmayan dağılımların test edilmesi

Bir simülasyon, yalnızca ayarlanmış parametreleri tekrarlamak yerine, değişen ve standart olmayan dağılımları dikkate alabilir. Örneğin, bir süpermarketi simüle ederken, mağazada farklı hızlarda hareket edecek farklı müşteri türleri girilebilir. Sandviçini alan genç bir iş kadını, dükkânda yaşlı bir çiftten veya iki çocuğuyla haftalık alışveriş yapan bir anneden farklı bir şekilde dolaşacaktır. Bu tür değişen parametreleri hesaba katarak, bir simülasyon gerçek dünyayı daha doğru bir şekilde taklit edebilir.

6.3.7 Derinlemesine düşünme

Bir simülasyon tasarlama ve farklı parametreleri belirleme süreci bile çözümler sunabilir. Bir süreç veya prosedür hakkında derinlemesine düşünerek, simülasyonu nihayete erdirmeden bile kullanmadan çözümler ve yenilikler bulmak mümkündür.

6.3.8 Paydaş katılımının iyileştirilmesi

Görsel bir simülasyon ayrıca iş ortakları, ortaklar ve paydaşların katılımını iyileştirmeye yardımcı olabilir. Herhangi bir süreç değişikliğinin sonuçlarını ve bunların nasıl başarıldığını görsel olarak gösterebilir, ilgili taraflarla etkileşimi geliştirebilir ve hatta simülasyona dayalı satış sunumu etkinleştirilebilir (Leonelli, 2021).

6.4 Simülasyonun Sınıflandırılması

6.4.1 Deterministik ve stokastik yaklaşım

Bir sistem modeli deterministik veya stokastiktir. Deterministik bir sistem modelinin stokastik (rasgele) bileşenleri yoktur. Örneğin, taşıma bandı ve makinenin asla arızalanmaması koşuluyla, sabit servis süresi olan bir makineye parçaları besleyen sabit hızlı bir konveyör bandı modeli deterministiktir. Bununla birlikte, bir ayrıntı düzeyinde, tüm sistemlerin bazı stokastik bileşenleri vardır; makineler arızalanır, insanlar robot değildir, hizmet istekleri rastgele gerçekleşir, vb. Ayrık olay simülasyonunun önemli bir özelliği, stokastik bileşenlerin, genellikle hesaplama düzeyinde sistem modelinin karmaşıklığında dramatik bir artış olmadan uyum sağlayabilmesidir (Leemis ve Park, 2004).

6.4.1.1 Deterministik modeller:

Davranışı baştan sona tam olarak tahmin edilebilen süreçlerle uğraşırken uygulanır. Belirli bir girdi kümesiyle, deterministik modeller her zaman aynı çıktıları üretir. Tüm girdi değişkenlerinin kesin değerlerini bildiğimiz için deterministik modellerde rastgelelik yoktur.

6.4.1.2 Stokastik modeller:

Değişkenler hakkında yeterli bilgiye sahip olmadığımız veya belirli bir aralıkta dalgalandıkları için girdi değişkenlerini doğru bir şekilde tahmin edemediğimiz her durumda uygulanır (Leonelli, 2021).

Stokastik simülasyon ile verilerdeki belirsizlikleri olasılık dağılımları aracılığıyla ele alabiliriz. Hedef süreç için uygun bir olasılık dağılımı seçildiğinde, bu dağılımdan verileri örnekleyebilir, verileri modelimiz için girdi olarak kullanabilir ve modelin çıktılarını kaydedebiliriz. Bilinmeyen değişkenler için değerleri rastgele (belirli bir dağılım içinde) örneklediğimiz için, stokastik modeller onları her çalıştırdığımızda farklı sonuçlar üretir.

6.4.2 Statik ve dinamik yaklaşım

Bir sistem modeli statik veya dinamiktir. Statik bir sistem modeli, zamanın önemli bir değişken olmadığı modeldir. Örneğin, bu hafta ülke genelinde piyangoyu üç milyon kişi oynuyorsa, en az bir kazananın olma olasılığı nedir? Bu soruyu cevaplamak için

yazılan bir simülasyon programı, statik bir modele dayalı olmalıdır; hafta boyunca bu üç milyon insanın bahislerini oynaması önemli değildir. Bununla birlikte, önümüzdeki dört hafta içinde kazanan olmaması olasılığıyla ilgileniyorsak, bu modelin dinamik olması gerekir. Yani, deneyimler her hafta kazanan olmadığını, sonraki hafta oyuncu sayısının arttığını (pot büyüdüğü için) ortaya koymuştur. Bu olduğunda dinamik bir sistem modeli kullanılmalıdır çünkü oyuncu sayısı arttıkça en az bir kazananın olma olasılığı artacaktır. Dinamik modellerde zamanın geçişi her zaman önemli bir rol oynar (Leemis ve Park, 2004).

6.4.2.1 Statik modeller:

Zaman içinde belirli bir anda süreçleri simüle etmek için uygulanır. Bu modellerin çıktıları yalnızca girdilere ve dahili model değişkenlerine bağlıdır. Statik modeller, belirli bir zaman diliminde sürecin anlık görüntüsünü üretir.

6.4.2.2 Dinamik modeller:

Yalnızca o anki girdileri değil, aynı zamanda önceki noktalardaki çıktıları da dikkate alır. Ek olarak, dinamik modellerin çıktısı zamanın kendisine bağlıdır (yani, dinamik modellerdeki değişkenler zamanın fonksiyonu olarak gösterilir).

Hedef sürecin zaman içinde değiştiği biliniyorsa, belki de mevsimsellik veya eskime nedeniyle dinamik modeller kullanılmalıdır. Aksine, zaman geçtikçe değişmeyen sistemleri veya belirli bir zamanda sistemleri modellemek için statik yöntemler kullanılmalıdır. Statik modeller, bir sürecin nasıl geliştiğini hesaba katmadığı için statik olmayan süreçler için uygun değildir. Örneğin, mevsimlik bir ürünün satışı hakkında mevcut piyasa koşullarına göre varsayımlar yapılırsa ve bu varsayımlar geleceğe yönelik tahminler yapmaya çalışılırsa, sonuçlar kötü olur. Varsayımlarımız, gelecek hafta veya gelecek ayki değişim sürecini temsil edemez. Benzer şekilde, zamanla değişmeyen bir sürece dinamik bir model uygulamanın da bir anlamı yoktur. Dinamik modeller, statik sistemlerle birlikte kullanıldığında hala geçerli sonuçlar verebilir, ancak aşırıya kaçarlara ve statik bir süreci simüle etmek için gerekenden daha fazla çaba gerektirirler (Leonelli, 2021).

6.4.3 Ayrık ve sürekli yaklaşım

Dinamik bir sistem modeli sürekli veya ayrıktır. Klasik mekanikte incelenen geleneksel dinamik sistemlerin çoğu, sürekli gelişen durum değişkenlerine sahiptir.

Yerçekimi alanında hareket eden bir parçacık, salınan bir sarkaç veya eğimli bir düzlemde kayan bir blok örnektir. Bu durumların her birinde hareket, sistemin sürekli zaman gelişimini modelleyen bir veya daha fazla diferansiyel denklemle karakterize edilir. Buna karşılık, bu tezde incelenen tersane yerleşimi simülasyonu modeli ayrıktır çünkü sistemin durumu zamanın parçalı sabit bir fonksiyonudur. Örneğin, bir kuyruk sistemindeki işlerin sayısı, yalnızca bir iş geldiğinde (hizmet verilmek üzere) veya ayrıldığında (hizmet verildikten sonra) belirli zamanlarda değer değiştiren doğal bir durum değişkenidir. Anahtar noktalar- ayrık modeller, zaman içinde belirli, sayılabilir noktaları değiştiren sistemlerde kullanılır. Sürekli modeller, sürekli değişen süreçlerle başa çıkmak için tasarlanmıştır (Leemis ve Park, 2004).

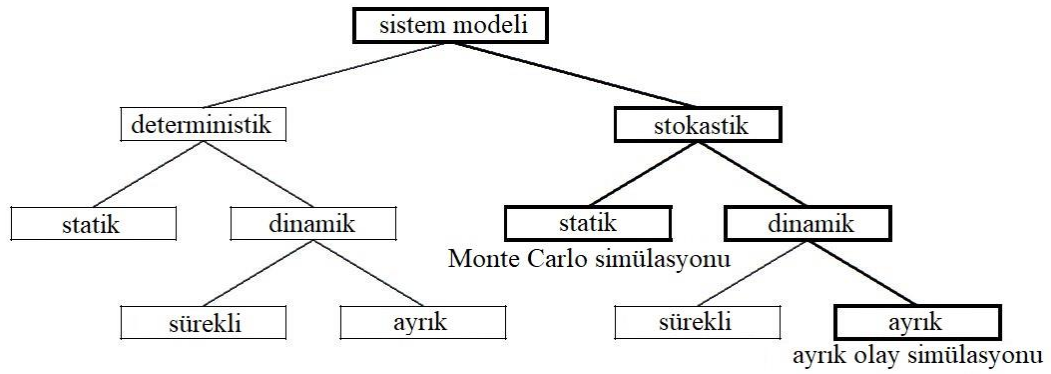
6.4.3.1 Ayrık modeller:

Bir olayın meydana geldiği, olaylar arasında herhangi bir değişiklik meydana gelmeyen belirli bir anın tam olarak belirlenebildiği durumlarda uygulanır. Ayrık süreçlere örnek olarak parçaların üretime girişi, ürün satın almaları veya müşterilerin bir bankaya gelişleri gösterilebilir.

6.4.3.2 Sürekli modeller:

Durumu sürekli değişen süreçlere uygulanır. Sürekli süreç ve olaylara örnek olarak sıcaklık, hız veya gelir verilebilir. Bazı durumlarda, sürekli ve ayrık modeller birbirinin yerine kullanılabilir, ancak anlamsız veya yeterince ayrıntılı olmayan sonuçlar verebilirler. Örneğin, yazılım satın alımlarını simüle etmek için sürekli bir model kullanırsak, model 1,5 satın alma gibi mantıksız çıktılar üretebilir. Yazılım satın alımları sayılabilir, bu da sürekli modelleri temsilleri için uygunsuz hale getirir (yine de onlarla iyi sonuçlar elde etmemize rağmen). Buna karşılık, sürekli bir süreci modellemek için ayrık bir yöntem kullanırsak, zamanın belirli noktaları arasında meydana gelen değişiklikleri yakalayamayabiliriz. Bu, bilgi kaybına ve dolayısıyla performansın düşmesine neden olabilir (Leonelli, 2021).

Bir sistem modelinin karakterizasyonu, Şekil 6.1'de gösterildiği gibi, sistem modeli kökünden başlayan ve üç seviyenin her birinde sola veya sağa doğru adım atan bir ağaç diyagramı ile özetlenebilir.



Şekil 6.1 : Ayrık olay simülasyonunun sınıflandırması (Lemmis, 2004, ss.3).

Ayrık olay simülasyon modeli üç öznitelik ile tanımlanır:

Stokastik: En azından bazı sistem durumu değişkenleri rastgeledir,

Dinamik: Sistem durum değişkenlerinin zamanla değişimi önemlidir,

Ayrık olay: Sistem durumu değişkenlerindeki önemli değişiklikler, yalnızca ayrık zaman örneklerinde meydana gelen olaylardır.

6.5 Ayrık Olay Simülasyonu

Sonuç olarak, ayrık olay simülasyonunun tanımını (DES), bir sistemin işleyişini zaman içindeki olayların (ayrık) bir dizisi olarak modellenmesidir. Her olay belirli bir zamanda meydana gelir ve sistemdeki bir durum değişikliğini işaretler. Ardışık olaylar arasında, sistemde herhangi bir değişiklik olmayacağı varsayılır; böylece simülasyon süresi, bir sonraki olay zaman ilerlemesi olarak adlandırılan bir sonraki olayın oluşum zamanına doğrudan atlayabilir.

Diğer bir deyişle ayrık olay simülasyonu, bir sistemin zaman içindeki davranışını simüle etmek için kullanılan bir hesaplama modelleme tekniktir. “Ayrık olay” terimi, bir sıraya müşteri gelişi, bir üretim işleminin tamamlanması veya bir makinenin arızalanması gibi belirli zaman noktalarında gerçekleşen olaylara işaret eder.

Ayrık olay simülasyonu, bir sistem davranışını bir dizi ayrık olay olarak modelleyerek çalışır, her biri sistemin durumunu değiştirir. Model genellikle sistem davranışını yöneten bir dizi kural veya algorithmadan ve bu kuralları zaman içinde yürüten bir simülasyon motorundan oluşur.

Simülasyon programı, her bir zaman adımında model zamanını adım adım ilerletir ve her bir adım, küçük bir zaman artışını temsil eder. Her bir zaman adımında, model, kurallar ve algoritmalar temelinde sistem durumunu hesaplar ve durumu bir simülasyon çıkış dosyasında kaydeder.

Ayrık olay simülasyonu, birçok etkileşen bileşen içeren karmaşık sistemlerin davranışını analiz etmek için güçlü bir araçtır. Üretim sistemleri, taşıma ağları, sağlık sistemleri ve hizmet endüstrileri gibi geniş bir yelpazede sistemleri analiz etmek ve optimize etmek için kullanılabilir.

Ayrık olay simülasyonun kullanmanın birkaç avantajı vardır. İlk olarak, sistem tasarımında, işletme politikalarında veya kaynak tahsisinde yapılan değişikliklerin sistem performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek için analistlere olanak tanır. İkinci olarak, sistemin verimsizliğinin engellerini veya diğer alanlarını belirleyerek, sistem performansını artırmak için değişiklikler önerir. Üçüncü olarak, talep, kapasite veya kaynak kullanılabilirliği gibi farklı senaryolarda sistem performansını değerlendirmek için kullanılabilir.

Ancak, ayrık olay simülasyonu kullanmanın bazı zorlukları da vardır. En önemli zorluklardan biri, sistemin doğru bir modelinin oluşturulmasının karmaşıklığıdır. Bu, sistemi ve bileşenlerini iyi anlamayı, ayrıca sistem hakkında veri toplama ve analiz yapabilme yeteneğini gerektirir. Ayrıca, simülasyon sonuçlarının doğruluğu, girdi verilerinin doğruluğuna ve modelde yapılan varsayımlara çok bağlıdır. Sistem davranışını bir dizi ayrık olay olarak temsil ederek, analistlerin sistem tasarımındaki, işletim ilkelerindeki veya kaynak tahsisindeki değişikliklerin sistem performansı üzerindeki etkisini değerlendirmesine olanak tanır.

7. ARENA İLE TERSANE YERLEŞİMİNİN MODELLENMESİ

Tersane yerleşimi modeli ilk önce sıfır taşıma süresiyle ile Arena ortamında oluşturuldu. Yirmi bir departmandan oluşan tersanenin içinde departmanlar arası malzeme taşımanın bu modelde anlık ve süre kaybetmeksizin yapıldığı varsayıldı. Bir departmandan çıkan parçaların anında diğer departmana giriş yapmak için sıraya girdiği kabulü altında modelleme çalışması gerçekleştirildi. İkinci model olarak ise mevcut malzeme taşıma süreleri ve mesafeleri ilgili taşıyıcılara tanımlanarak kullanılmakta olan tersane yerleşimi kuruldu. Üçüncü model olarak ise, SYP ve Graf-teorik Yaklaşımla üretilen alternatiflerden verimlilik oranı tekniği kullanılarak en yüksek verimliliğe sahip tersane yerleşim planı için simülasyon çalışması gerçekleştirildi. Böylelikle ilk önce malzeme taşıma süresinin toplam üretim süresi içerisinde ki oranı belirlenmek amaçlandı. Asıl amaç ise, önerilen yeni tersane yerleşiminin kullanılması durumunda toplam üretim süresinin ne kadar hızlanacağını tespit etmektir. Nihayetinde aynı tersane süreçlerini gerçekleştiren üç özgün Arena modeli elde edildi.

7.1 Arena Bileşenleri

7.1.1 Varlıklar

Çoğu simülasyon, hareket eden, durumu değiştiren, diğer varlıkları ve sistemin durumunu etkileyen ve bunlardan etkilenen ve çıktı performans ölçümlerini etkileyen varlıklar olarak adlandırılan "oyuncular" içerir. Varlıklar, simülasyondaki dinamik nesnelerdir; genellikle oluşturulur, bir süre hareket ettirilir ve çıktıkları anda kayıtları tutularak imha edilir. Tersane yerleşimi simülasyonu için varlıklar, işlenecek parçalardır. İşlenecek parçalardan kastedilen, tekil boru, tekil sac, tekil profil parçalardır. Geldiklerinde oluşturulurlar, kuyrukta dolaşırlar (gerekirse), departmanlarda servis edilirler ve çıktıklarında istatistikleri kaydedilerek sistemi terk ederler.

Varlık, simülasyon modelleme için temel bir kavramdır ve simüle edilen bir nesne veya sistem için kullanılır. Gerçek bir nesneyi, parçayı, ürünü veya müşteriyi temsil eden sanal bir birimdir. Varlıklar ayrıca siparişler, işlemler veya talepler gibi soyut kavramları da temsil edebilir.

Varlıklar simülasyonun başlangıcında oluşturulabilir veya simülasyon ilerledikçe dinamik olarak oluşturulabilir. Simülasyon modeli, varlıkların davranışını ve sisteme hareketlerini simüle eder. Model, her varlığın durumu, konumu ve işlem süresi gibi özelliklerini takip edebilir

7.1.2 Nitelikler

Varlıkları bireyselleştirmek için onlara nitelikler eklenebilir. Nitelik, tüm varlıkların ortak bir özelliğidir, ancak bir varlıktan diğerine farklılık gösterebilen belirli bir değere sahiptir. Örneğin, parça varlıklarımız, her bir varlık için bu özellikleri belirtmek üzere Vade Tarihi , Öncelik ve Renk adlı özniteliklere sahip olabilir. Varlıklarınızın hangi niteliklere ihtiyaç duyduğunu bulmak, bunları adlandırmak, onlara değerler atamak, uygun şekilde değiştirmek ve zamanı geldiğinde bunları kullanılabilir (hepsi modellemenin bir parçasıdır).

Nitelikler hakkında hatırlanması gereken en önemli şey, değerlerinin belirli varlıklara bağlı olmasıdır. Farklı parçaların farklı vade tarihleri, öncelikleri ve renk kodlarına sahip olması gibi, aynı öznitelik genellikle farklı varlıklar için farklı değerlere sahip olur. Geleneksel bilgisayar programlamaya bir benzetme, özniteliklerin yerel değişkenler olmasıdır- bu durumda, her bir varlığa yereldir.

Tersane yerleşimi simülasyonu örneğinde varlıklara nitelik özel olarak nitelik ataması olarak tekil boru, tekil profillerin ve tekil sacların isim atamaları yapılmış, birleştikten sonra bu nitelikler ünite ve blok isimleri olarak nitelikleri değiştirilmiştir.

7.1.3 Global değişkenler

Bir değişken, etrafta kaç tane ya da ne tür varlık olursa olsun, sisteminizin bazı özelliklerini yansıtan bir bilgi parçasıdır. Bir modelde birçok farklı değişken olabilir, ancak her biri benzersizdir. İki tür değişken vardır: Arena yerleşik değişkenleri (sıradaki parça sayısı, meşgul sunucu sayısı, geçerli simülasyon saat süresi vb.) ve kullanıcı tanımlı değişkenler (ortalama hizmet süresi, seyahat süresi, mevcut vardiya

vb.)). Niteliklerin aksine, değişkenler herhangi bir belirli varlığa bağlı değildir, bunun yerine sistemin tamamına ilişkindir. Tüm varlıklar tarafından erişilebilirler ve birçoğu herhangi bir varlık tarafından değiştirilebilir. Nitelikleri, o anda odada dolaşan varlıklara iliştilmiş etiketler olarak düşünülürse, o zaman değişkenleri duvarda (yeniden yazılabilir) yazılar olarak düşünülebilir.

Değişkenler birçok farklı amaç için kullanılır. Örneğin, bir modeldeki herhangi iki istasyon arasında hareket etme süresi model boyunca aynı olabilir ve Transfer Süresi adı verilen bir değişken tanımlanıp uygun değere ayarlanabilir ve ardından bu sabite ihtiyaç duyulan her yerde kullanılabilir; bu sürenin farklı bir sabite ayarlandığı değiştirilmiş bir modelde, model genelinde değerini değiştirmek için yalnızca Transfer Süresi tanımını değiştirmek yeterlidir. Değişkenler aynı zamanda, daha büyük modelin belirli bir alt montaj alanındaki parça sayısı gibi, simülasyon sırasında değişen bir şeyi de temsil edebilir; alana girdiğinde bir parça ögesi tarafından artırılır ve alandan ayrıldığında bir parça tarafından azaltılır. Bilgileri listeler veya bireysel değerlerin iki boyutlu tabloları olarak düzenlemek uygunsa, Arena değişkenleri vektörler veya matrisler olabilir.

Modellerimiz için bazı yerleşik Arena değişkenleri, zamanı (simülasyon saati) ve kuyruğun mevcut uzunluğunu içerir. Kullanıcı tarafından tanımlanan değişkenlere ise tekil parça giriş süreleri, ön imalat işlem süreleri örnek verilebilir.

7.1.4 Kaynaklar

Varlıklar, sınırlı boyuttaki bir depolama alanındaki personel, ekipman veya alan gibi şeyleri temsil eden kaynaklardan hizmet almak için genellikle birbirleriyle rekabet eder. Bir varlık, mevcut olduğunda bir kaynağı ele geçirir (birimlerini) ve bittiğinde onu (veya onları) serbest bırakır. Bir varlığın (bir parça gibi) birden çok kaynaktan (bir makine ve bir kişi gibi) eşzamanlı hizmete ihtiyacı olabileceğinden, kaynağın kaynağa atanan varlık yerine varlığa verildiğini düşünmek daha doğrudur.

Bir kaynak, her biri o kaynağın birimi olarak adlandırılan birkaç ayrı sunucu grubunu temsil edebilir. Bu, örneğin, bir havayolu biletleme kontuarındaki birkaç özdeş "paralel" acenteyi modellemek için kullanışlıdır. Bir kaynağın kullanılabilir birimlerinin sayısı simülasyon çalışması sırasında ara veren araçları temsil etmek veya işler yoğunlaşırsa istasyonlarını açmak için değiştirilebilir (Kelton ve diğ., 2015).

Tersane yerleşimi simülasyonunda, departmanlarda tek seferde tek parça işlendiği kabulüyle modellenmiştir, dolayısıyla bu kaynağın her zaman kullanılabilen tek bir birimi vardır.

7.1.5 Kuyruklar

Bir varlık, belki de başka bir varlık tarafından bağlanan bir kaynağın bir birimini ele geçirmesi gerektiğinden ilerleyemediğinde, bekleyecek bir yere ihtiyaç duyar, kuyruğun amacı da budur. Arena'da kuyrukların adları vardır ve örneğin bir arabellek için sınırlı taban alanını temsil etme kapasiteleri olabilir. Halihazırda dolu olan bir kuyruğa gelen bir varlığı nasıl ele alacağınıza modellemenizin bir parçası olarak karar vermeniz gerekir.

7.1.6 İstatistiksel toplayıcı

Arena simülasyonunda, simülasyon sırasında istatistiksel verileri toplayan değişkenlerdir. Modelin ve simüle edilen sistemin performansı hakkında bilgi toplamak için kullanılırlar.

Arena'da istatistiksel toplayıcılar bazı örnekleri şunlardır:

7.1.6.1 Kuyruk uzunluğu

Bu istatistiki toplayıcı, sistemdeki kuyrukların uzunluğunu takip eder. Sistemin verimliliğini analiz etmek ve darboğazları belirlemek için kullanılabilir.

7.1.6.2 Kaynak kullanımı

Bu istatistiki toplayıcı, kaynakların meşgul veya boşta kaldığı süreyi takip eder. Kaynakların yetersiz veya aşırı kullanımını belirlemek için kullanılabilir.

7.1.6.3 İşlem süreleri

Bu istatistiki toplayıcı, sistemdeki varlıkların işlem süresini takip eder. Sistemin verimliliğini analiz etmek ve iyileştirme alanlarını belirlemek için kullanılabilir.

7.1.6.4 Gecikme süresi

Bu istatistiki toplayıcı, varlıkların kuyruklarda beklediği süreyi takip eder. Sistemin verimliliğini analiz etmek ve gecikmelerin azaltılabileceği alanları belirlemek için kullanılabilir.

İstatistiksel toplayıcılar kullanarak, modelleyiciler farklı senaryolarda sistemin nasıl davrandığını anlayabilirler. Sistemin performansını analiz etmek ve iyileştirme alanlarını belirlemek için kullanılabilirler. Bu veriler, sistemi optimize etmek, maliyetleri azaltmak ve genel verimliliği artırmak için kullanılabilir.

Tersane yerleşimi simülasyonunda, kuyruk uzunluğu, kaynak kullanımı gibi istatistikler modelin sonuç raporunda sağlanmıştır. Kaynak kullanımı her bir departman için o departmanın kullanım oranı olarak tanımlanabilir.

7.1.7 Olaylar

Arena simülasyonunda olaylar, modelleme yapılan sistemin davranışını etkileyebilecek eylemler veya durumlardır. Olaylar, sistem veya varlıkları içindeki durumu değiştirebilecek geniş bir yelpazede eylem veya koşulları temsil edebilirler. Arena simülasyonunda, varış olayları, ayrılış olayları ve zamanlayıcı olayları olmak üzere üç temel olay türü vardır.

7.1.7.1 Varış olayları

Bu olaylar, bir varlığın sisteme varış yaptığı zaman gerçekleşir. Bir varlığı kuyruğa ekleme, bir kaynağı varlığı işlemek için atama veya sistemin belirli bir bölgesine gönderme gibi eylemleri tetiklemek için kullanılabilirler.

7.1.7.2 Ayrılış olayları

Bu olaylar, bir varlığın sistemden ayrıldığı zaman gerçekleşir. İşlem için kullanılan kaynağı serbest bırakma, işlem süresi ve kuyruk uzunluğu gibi istatistikleri güncelleme veya ayrılan varlığın yerini alacak yeni bir varlık oluşturma gibi eylemleri tetiklemek için kullanılabilirler.

7.1.7.3 Zamanlayıcı olayları

Bu olaylar, belirtilen bir zaman aralığı geçtiğinde gerçekleşir. Kaynakların durumunu kontrol etme, sistem durumunu güncelleme veya belirli bir oranda yeni varlıklar oluşturma gibi eylemleri tetiklemek için kullanılabilirler.

7.1.8 Simülasyon Saati

Simülasyondaki zamanın mevcut değeri, basitçe simülasyon saati adı verilen bir değişkende tutulur. Gerçek zamanın aksine, simülasyon saati tüm değerleri almaz ve

sürekli olarak akar; bunun yerine, bir olayın zamanından gerçekleşmesi planlanan bir sonraki olayın zamanına doğru sallanır. Olaylar arasında hiçbir şey değişmediğinden, önemli olmayan (simüle edilmiş) zamanlara bakarak (gerçek) zaman kaybetmeye gerek yoktur.

Simülasyon saati, etkinlik takvimi ile yakın etkileşim içindedir. Simülasyonun başlatılmasında ve ardından her etkinliğin yürütülmesinden sonra, etkinlik takviminin en yüksek kaydı (her zaman bir sonraki etkinlik için olan) takvimden çıkarılır. Simülasyon saati, o olayın zamanına (olay kaydındaki veri alanlarından biri) doğru ilerler ve olayı yürütmek için kaldırılan olay kaydındaki bilgiler (varlık kimliği, olay zamanı ve olay türü) kullanılır. Olayın nasıl yürütüldüğü açık bir şekilde ne tür bir olay olduğuna ve o andaki model durumuna bağlıdır, ancak genel olarak değişkenlerin ve istatistiksel toplayıcıların güncellenmesini, varlık özniteliklerinin değiştirilmesini ve takvime yeni olay kayıtlarının yerleştirilmesini içerebilir. Arena, simülasyonun saatini TNOW değişkeni ile takip eder.

7.1.9 Simülasyon başlatma ve durdurma

Bir simülasyondaki önemli, ancak bazen gözden kaçan konu, nasıl başlayacağı ve duracağıdır. Arena birçok şeyi sizin için otomatik olarak yapar, ancak başlatma ve durdurma kuralları gibi modelleme konularına karar veremez. Uygun başlangıç koşullarını, bir simülasyon çalıştırma koşusunu ne kadar sürmesi gerektiğini ve belirli bir zamanda mı durması gerektiğini veya belirli bir şey olduğunda mı durması gerektiğini belirlenmelidir. Bunun düşünülmesi ve model ile ilgili tutarlı varsayımlarda bulunulmalıdır; bu kararlar, sonuçlarınız üzerinde, girdi parametrelerinin değerleri (varışlar arası zaman ortalamaları, hizmet süresi sapmaları ve makine sayısı gibi) gibi daha belirgin şeyler kadar büyük bir etkiye sahip olabilir (Kelton ve diğ., 2015, ss. 20-24).

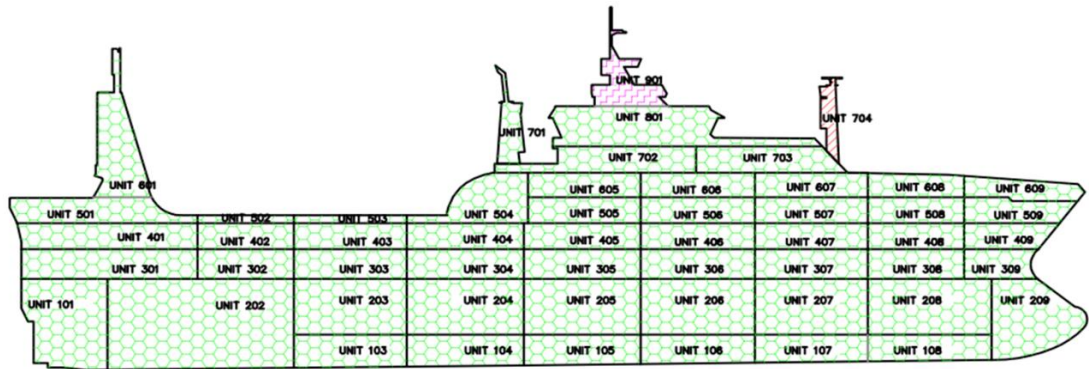
Arena ile simülasyonu durdurmak için belirli (ve bilinçli) bir şey yapmalısınız, çünkü çoğu durumda tüm varsayılanları almak simülasyonunuzun sonsuza kadar çalışmasına neden olacaktır. Tersane yerleşimi simülasyonunda model içerisinde hiç parça kalmayana kadar model çalıştırılmıştır. Ancak parça girişleri tam bir adet gemi çıkacak şekilde başlangıçtan girilmiştir.

7.2 Üretilen Geminin Teknik Bilgileri

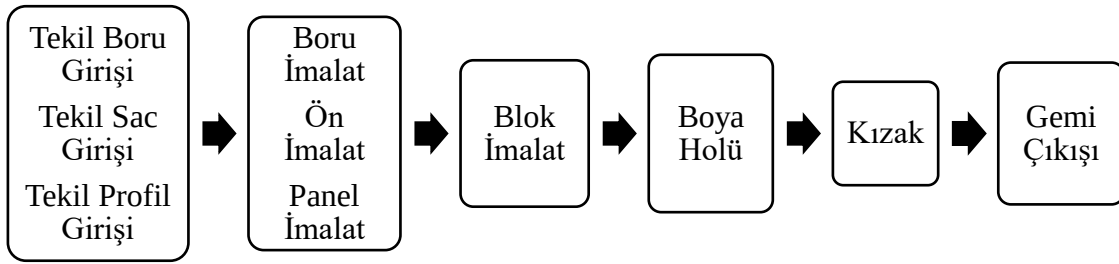
Bu çalışmada, Yalova’da bulunan bir tersanede üretilen FREEZER STERN TRAWLER (w/ FACTORY) gemi tipinde bir geminin üretim verileri temel alınarak tersane yerleşimi simülasyonunda kullanıldı. Tersanede aynı anda 14 gemi üretilebilmektedir.

FREEZER STERN TRAWLER (w/ FACTORY) gemisi için ilk sac kesim tarihi 15/11/2018; kızıktan indirme tarihi 11/12/2019’dur.

Tersanenin tüm insan ve ekipman kaynaklarının tek bir gemi üretimi için kullanıldığı varsayıldığında bir gemi için yaklaşık 8 ay ya da 8,5 ay gibi bir sürede gemi inşaatının tamamlanacağı öngörülmektedir (Ş. Eren, kişisel görüşme, 15 Mayıs 2019). Seçilen gemi 55 adet bloktan oluşmaktadır. Toplam 2742 adet sac kullanılmıştır. CNC kesim işlemi sonrasında tekil sac adeti sayısı 47604’tür. Toplam 2525 adet profil kullanılmıştır. Profil kesim işlemi sonrasında tekil profil sayısı 5190’dır. Toplam 10560 adet tekil boru kullanılmıştır. Şekil 7.1’de 55 bloktan oluşan FREEZER STERN TRAWLER (w/ FACTORY) tipi geminin blok resim planı görülmektedir. Tersane yerleşimi simülasyonu için Arena modelleri oluşturulurken bu bilgiler esas alınmıştır.



Şekil 7.1 : FREEZER STERN TRAWLER (w/ FACTORY) tipi geminin blok resmi.



Şekil 7.2 : Tersane yerleşimi simülasyonun akış planı.

Şekil 7.2’de tersane yerleşimi simülasyonun akış planı sunulmuştur. Tersane yerleşimi simülasyonu, tekil parçaların girişi ile başlayıp, kızakta tek bir geminin montajı ile son bulmaktadır. Tekil parçalar sırasıyla, boru atölyesi departmanı, CNC Sac Kesim atölyesi departmanı ve CNC Profil Kesim atölyesi departmanından giriş yapmaktadır. Daha sonra tanımlanan tekil parçaların, Boru İmalat departmanı, Ön İmalat-1 departmanı, Ön İmalat 2 departmanı, Ön İmalat 3 departmanı ve Panel İmalat departmanlarında birleştirilerek isimleri Spul (Boru demeti), Ünite 1, Ünite 2, Ünite 3 ve Panel olmaktadır. Bu departmanlarda birleştirilen ara ürünler (Spul (Boru demeti), Ünite 1, Ünite 2 Ünite 3 ve Paneller), bir sonraki aşamada 55 adet Blok olarak Blok İmalat departmanında kalıcı olarak birleştirilmektedir. 55 adet Blok, inşaat sırasına göre boya holüne girmektedir. En son aşamada işlemleri tamamlanan bloklar, kızığa çıkmakta ve diğer blokların gelmesiyle nihai gemi inşası tamamlanmaktadır.

7.3 Sıfır Transfer Süresiyle Tersane Yerleşiminin Modellenmesi

Taşıma için herhangi bir süre kullanılmaksızın bir departmandan çıkan tekil çelik parçalarının ve ara ürün olan ünitelerin diğer departmanda üretim için anında sıraya girdiği varsayımıyla bu model kuruldu. Tersane yerleşim optimizasyonunda vaka çalışması için kullanılan tersanenin tüm departmanlarında malzeme taşınımı gerektirecek üretim faaliyetleri yapılmamaktadır. Bunun yerine Çizelge 7.1’de verilen departmanlar bu model kurulmuş ve koşturulmuştur. Çünkü gemi inşaatı işlemi bu departmanlarda gerçekleştirilmektedir ve majör malzeme taşıma hareketiyle gemi inşaatı bu departmanlarda yapılmaktadır.

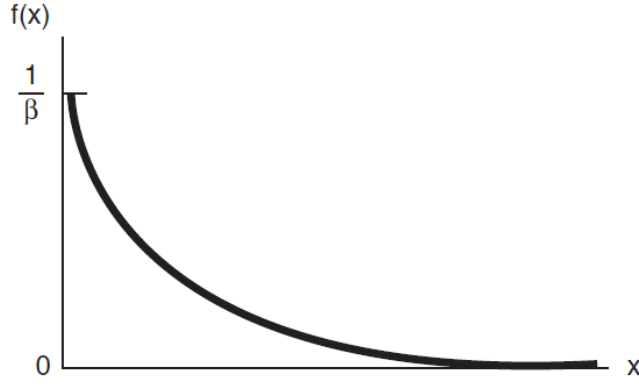
Çizelge 7.1 : Üretim yapılan departmanların listesi.

Sıra Numarası	Departman Adı
1	Boru Deposu
2	CNC Sac Kesim Alanı
3	Profil Kesim Alanı
4	Boru Donatı Atölyesi
5	Ön İmalat – 1 Alanı
6	Ön İmalat – 2 Alanı
7	Ön İmalat – 3 Alanı
8	Panel Üretim Hattı Alanı
9	Blok Üretim Alanı
10	Boya Holü
11	Kızak

7.3.1 Girdiler

7.3.1.1 Birinci aşama (boru deposu, cnc sac kesim alanı, profil kesim alanı): parça girişlerinin tanıtılması

Sayısal modellemedeki temel sorunlardan biri, bir girdi niceliğini deterministik (rastgele olmayan) bir sayısal değer olarak mı yoksa bazı olasılık dağılımlarını izleyen bir rasgele değişken olarak mı modelleneyeceğidir. Sıfır taşımayla ilk olarak tersane yerleşimi modellenirken tekil parçaların sabit 4 saatte bir paketler sisteme giriş yaptığı varsayımıyla kurulmuştur. Tekil parça girişlerinin sabit bir sürede gerçekleşmesi modeli deterministik yapacaktır. Tersane sistemi ise ancak stokastik olarak modellenirse doğru sonuç almak mümkündür. Bu nedenle modelin doğrulanması yapıldıktan sonra girişler üstel dağılıma uygun olarak yapılmıştır. Sistem hakkında yeterli veri bulunamadığı durumlarda gelişler arası sürenin üstel dağılıma uygun olarak girilmesi uygundur (Kelton ve diğ., 2015). Şekil 7.3’de üstel olasılık dağılım fonksiyonu tanıtılmıştır. Şekil 7.4’te 4 saat ortalamalı tekil parçaların üstel dağılıma göre sisteme girişi gösterilmiştir.



Şekil 7.3 : Üstel olasılık dağılım fonksiyonu.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} e^{-x/\beta} & \text{eğer } x > 0 \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (7.1)$$

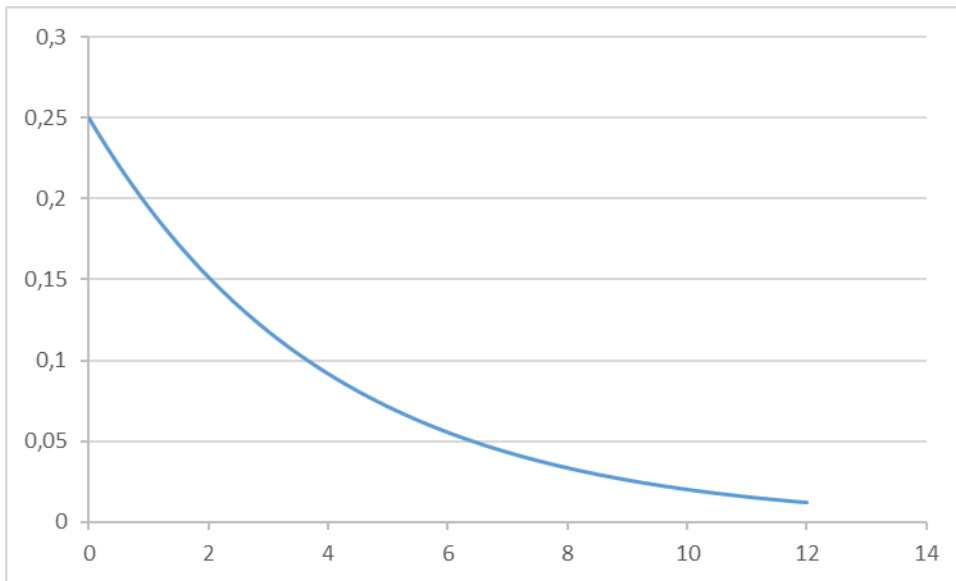
Parametreler: Ortalama β pozitif gerçel bir sayıdır.

Kapsam: $[0, +\infty)$

Ortalama: β

Varyans: β^2

Kelton ve diğ. (2015), Arena simülsyon programının kullandığı olasılık dağılım fonksiyonlarını kitabında sunmuştur.



Şekil 7.4 : Tekil parçaların üstel dağılıma göre sisteme girişi

Tekil parçaların ortalama (β); 4 saatte bir olduğu kabulü altında bu çalışmada tekil parça girişleri modellenmiştir. Çizelge 7.2’de tekil boru girişi, Çizelge 7.3’de tekil sac girişi ve Çizelge 7.4’de tekil profil girişi model verileri verilmiştir.

Çizelge 7.2 :Tekil boru girişi.

İsim	Varlık tipi	Varışlar arası süre			Varış başına varlık sayısı	Maksimum varış sayısı	İlk giriş
		Tip	Değer	Birim			
Tekil boru geliş	Tekil boru	Üstel	4	Saat	35	325	0.0

Çizelge 7.3 : Tekil sac girişi.

İsim	Varlık tipi	Varışlar arası süre			Varış başına varlık sayısı	Maksimum varış sayısı	İlk giriş
		Tip	Değer	Birim			
Tekil sac geliş	Tekil sac	Üstel	4	Saat	150	325	0.0

Çizelge 7.4 : Tekil profil girişi.

İsim	Varlık tipi	Varışlar arası süre			Varış başına varlık sayısı	Maksimum varış sayısı	İlk giriş
		Tip	Değer	Birim			
Tekil profil geliş	Tekil profil	Üstel	4	Saat	17	325	0.0

Tekil boru girişleri, boru deposu departmanından yapılmaktadır. Daha sonra boru deposu departmanından modele giriş yapan tekil boru parçalarının %100’ü Boru Donatı Atölyesi departmanına belirli sayıda birleşmek ve boru demeti oluşturmak üzere taşınmaktadır. Boru deposu departmanından, Boru Donatı atölyesine gidişlerde

yüzde karar modülü kullanılmamış ve tüm tekil borular, Boru Demeti yani Spul (spool) haline getirilmiştir.

Tekil sac girişleri, CNC sac kesim departmanından yapılmaktadır. Daha sonra CNC sac kesim departmanından modele giriş yapan tekil sac parçaları %35'i Ön İmalat 1 departmanına, %30'u Ön İmalat 2 departmanına, %20'si Ön İmalat 3 departmanına, %15 Panel üretim hattı departmanına taşınmaktadır. Bu yüzdeler dağıtımları yaparken Karar 1 modülü geliştirilmiş ve kullanılmıştır.

Tekil profil girişleri, profil kesim departmanından yapılmaktadır. Daha sonra profil kesim departmanından modele giriş yapan tekil profillerin %35'i Ön İmalat 1 departmanına, %30'u Ön İmalat 2 departmanına, %20'si Ön İmalat 3 departmanına, %15 Panel üretim hattı departmanına taşınmaktadır. Bu yüzdeler dağıtımları yaparken Karar 2 modülü geliştirilmiş ve kullanılmıştır.

7.3.1.2 İkinci aşama (boru donatı atölyesi, ön imalat 1-2-3 alanları ve panel üretim hattı alanı) tekil parçaların kalıcı olarak birleştirilmesi

35 adet tekil boru kalıcı olarak 1 adet spul oluşturacak şekilde kalıcı olarak birleştirilmesi için Spul Kalıcı Birleştirme batch modülü tanımlanmıştır. Spul Kalıcı Birleştirmede üretilen boru demetlerine Spul adı atanmıştır.

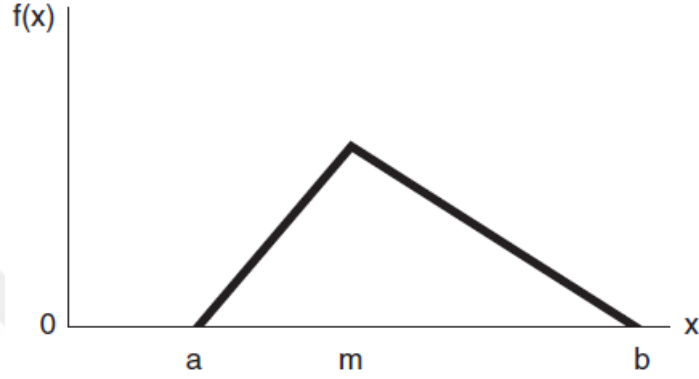
Toplam sisteme giren 35 adet tekil sac ya da tekil profil, 1 adet ünite oluşturacak şekilde kalıcı olarak birleştirilmesi için Ön İmalat 1 departmanına batch modülü tanımlanmıştır. Ön İmalat 1 departmanında üretilen ünitelere Ünite 1 adı atanmıştır.

Toplam sisteme giren 35 adet tekil sac ya da tekil profil, 1 adet ünite oluşturacak şekilde kalıcı olarak birleştirilmesi için Ön İmalat 2 departmanına batch modülü tanımlanmıştır. Ön İmalat 2 departmanında üretilen ünitelere Ünite 2 adı atanmıştır.

Toplam sisteme giren 35 adet tekil sac ya da tekil profil, 1 adet ünite oluşturacak şekilde kalıcı olarak birleştirilmesi için Ön İmalat 3 departmanına batch modülü tanımlanmıştır. Ön İmalat 3 departmanında üretilen ünitelere Ünite 3 adı atanmıştır.

Toplam sisteme giren 35 adet tekil sac ya da tekil profil, 1 adet panel oluşturacak şekilde kalıcı olarak birleştirilmesi için panel üretim hattı departmanına batch modülü

tanımlanmıştır. Panel Üretim Hattı departmanında üretilen panellere Panel adı atanmıştır. Bu aşamada kalıcı olarak birleşen ve Spul, Ünite 1, Ünite 2, Ünite 3 ve Panel isimleri atanan varlıklar için üretim süreleri modele girilmiştir. Kelton ve diğ. (2015), sisteme ait üretim sürelerinin üçgensel dağılıma göre girilmesini önermiştir. Üçgensel dağılım ile üretim süreleri aşağıdaki grafikteki değerler olan 1,2,3 saat olarak girilmiştir. Şekil 7.5’de üçgensel olasılık dağılımı fonksiyonu tanıtılmıştır.



Şekil 7.5 : Üçgensel olasılık dağılımı fonksiyonu.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(m-a)(b-a)} & \text{eğer } a \leq x \leq m \\ \frac{2(b-x)}{(b-m)(b-a)} & \text{eğer } m \leq x \leq b \\ 0 & \text{aksi taktirde} \end{cases} \quad (7.2)$$

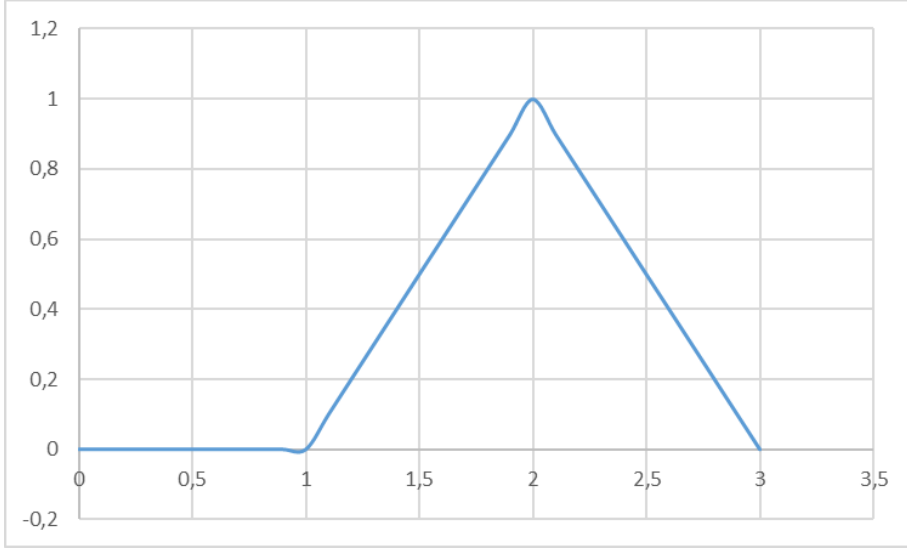
Parametreler: Ortalama β pozitif gerçek bir sayıdır.

Kapsam: $[a, b]$

Ortalama: $(a + m + b)/3$

Varyans: $(a^2 + m^2 + b^2 - ma - ab - mb)/18$

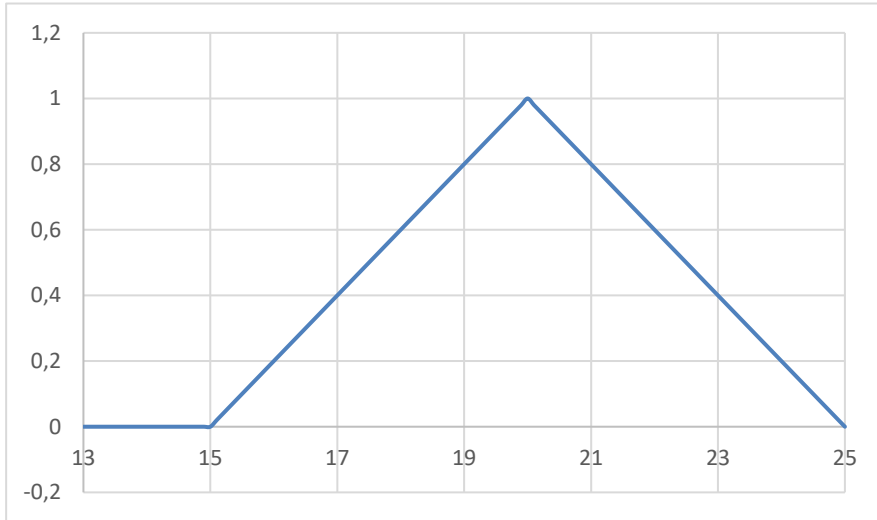
Kelton ve diğ. (2015), Arena simülsyon programının kullandığı olasılık dağılım fonksiyonlarını kitabında sunmuştur. Spul, Ünite 1-2-3 ve Panel için üçgensel (1,2,3) dağılımına uygun üretildiği kabulü altında bu modelleme gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.6’da Boru Donatı atölyesi, Ön İmalat 1-2-3 alanları ve Panel Üretim Hattı alanı için üçgensel (1,2,3) olasılıksal dağılım fonksiyonu üretim süreleri verilmiştir.



Şekil 7.6 : Üçgensel (1,2,3) olasılıksal dağılım fonksiyonu.

7.3.1.3 Üçüncü aşama (blok üretim alanı)

Spul, Ünite 1, Ünite 2, Ünite 3 ve Panel ismine sahip varlıklardan 32 tanesi 1 blok oluşturacak şekilde batch modülü tanımlanmıştır. Blok üretim süresi olarak üçgensel dağılıma sahip 15, 20, 25 saat girilmiştir. Şekil 7.7’de blok üretim alanı için üçgensel (15,20,25) olasılıksal dağılım fonksiyonu üretim süreleri görülmektedir.



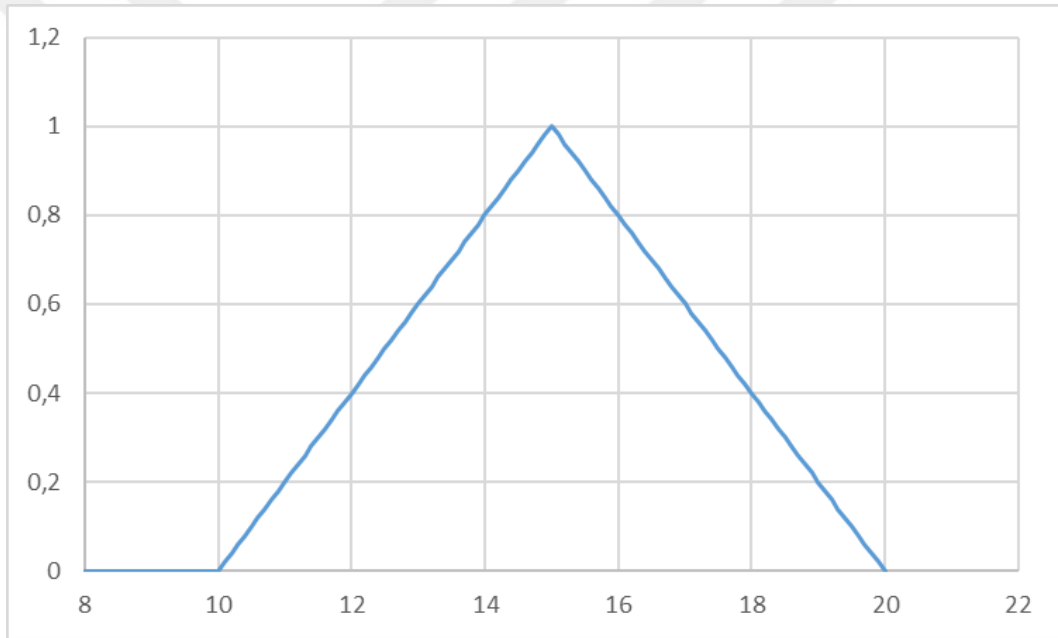
Şekil 7.7 : Üçgensel(15,20,25) olasılıksal dağılım fonksiyonu.

7.3.1.4 Dördüncü aşama (boya holü)

Boya üretimi departmanında herhangi bir birleştirme işlemi yapılmamaktadır. Sadece üçgensel 15,20,25 saat dağılıma uygun proses süresi her bir blok için tanımlanmıştır.

7.3.1.5 Beşinci aşama (kızak)

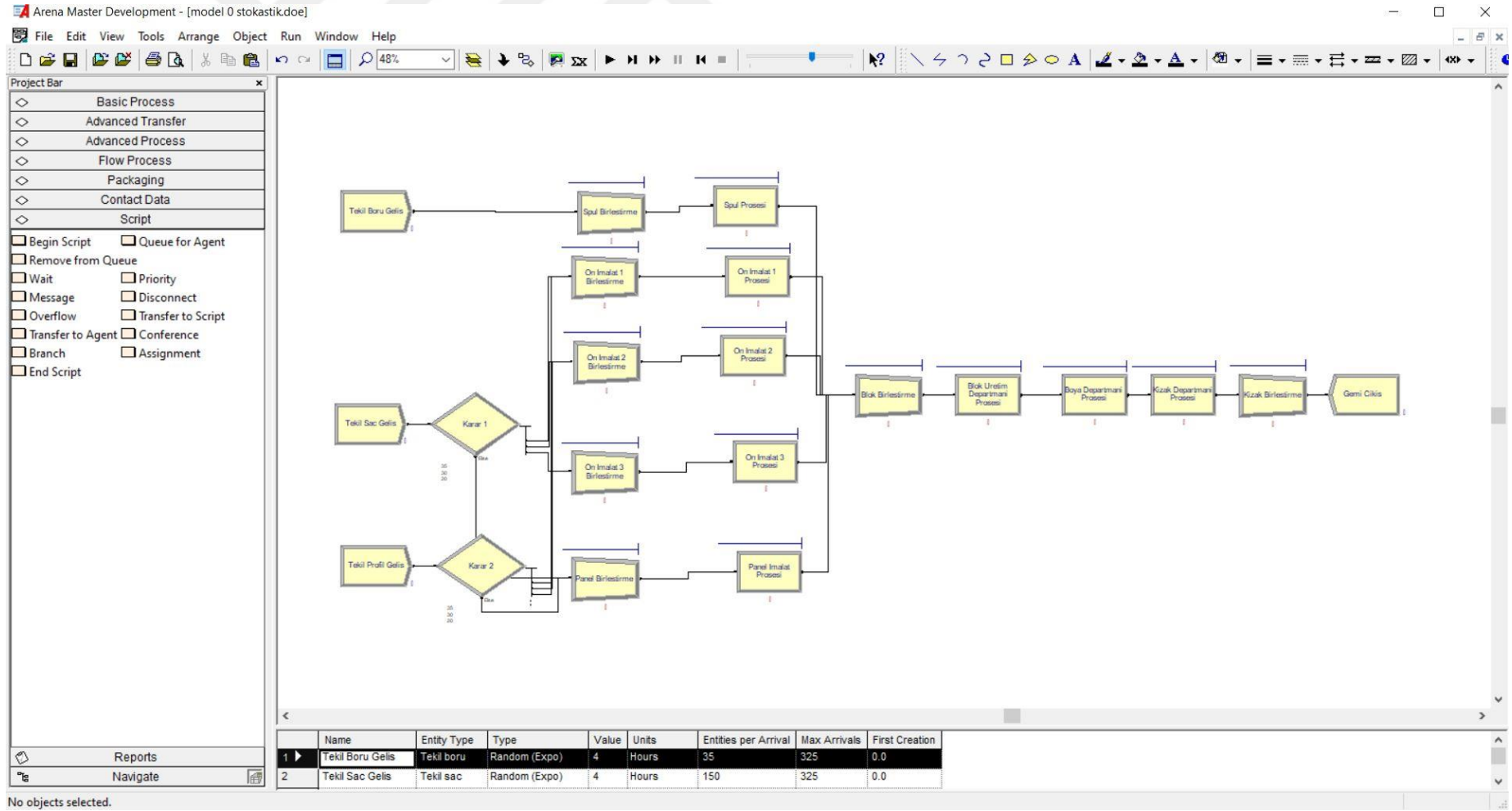
Bu aşamada boyanmış bloklar son olarak kızak departmanına girmekte ve üçgensel 10,15,20 dağılımına göre üretim prosesine girmektedir. Şekil 7.8'de kızak için üçgensel (10,15,20) olasılıksal dağılım fonksiyonu blok birleştirme süreleri verilmiştir.



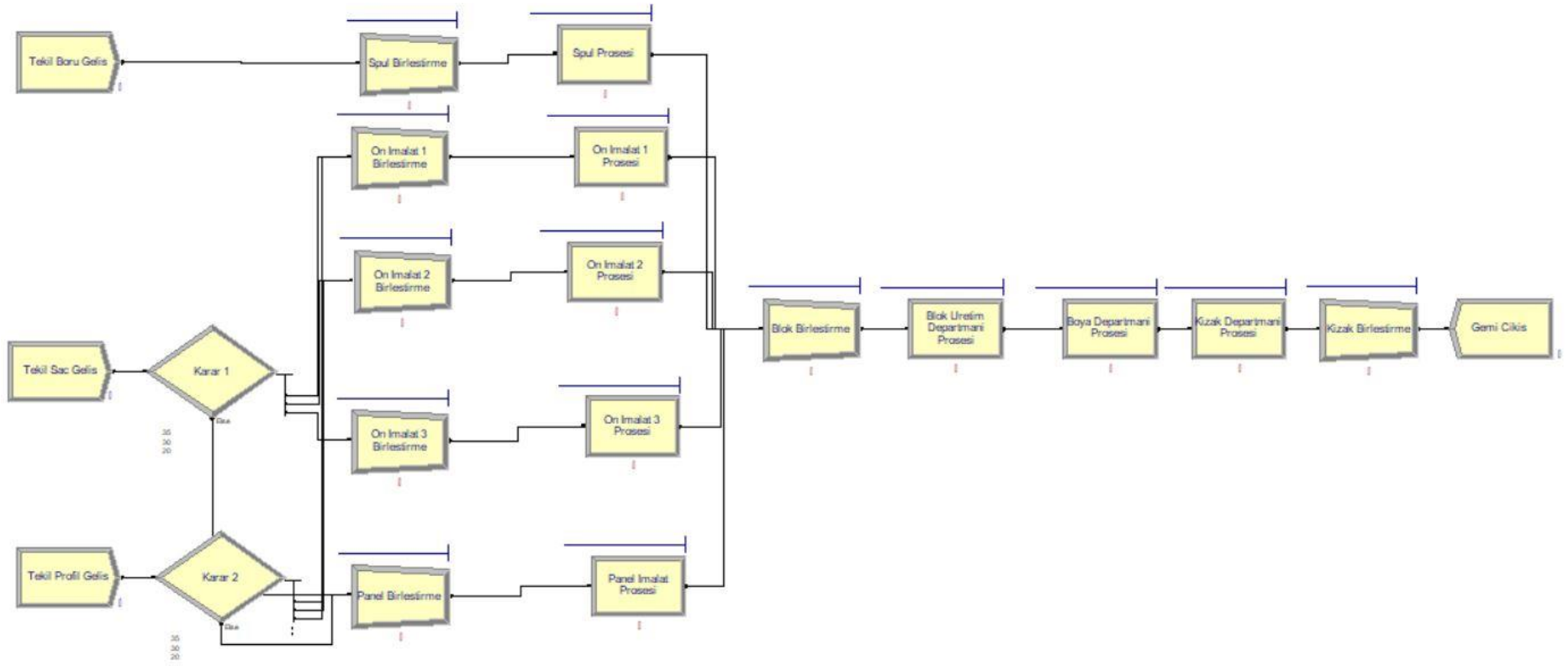
Şekil 7.8 : Üçgensel (10,15,20) olasılıksal dağılım fonksiyonu.

7.3.1.6 Altıncı aşama (gemi çıkışı)

Gemi çıkışı, geminin Arena modülünden tek bir varlık olarak üretilmesini ifade etmektedir. Bu aşamada dispose modülü ile gemi çıkışı sağlanmakta ve son çıktılar için kayıtları tutulmak üzere hazır duruma gelmektedir. Şekil 7.9'da Arena arayüzü sunulmuştur. Şekil 7.10'da Arena ile ilk olarak transfer modülleri olmaksızın hazırlanan model görülmektedir.



Şekil 7.9 : Arena arayüzünün gösterimi.



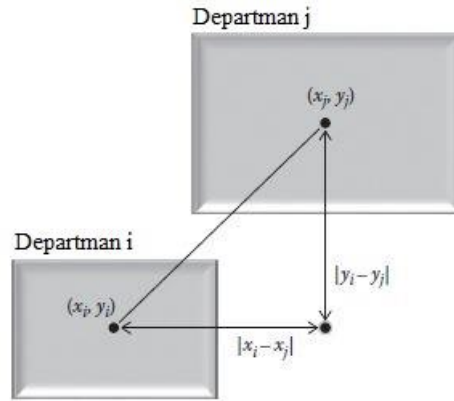
Şekil 7.10 : Sıfır transfer hızıyla kurulan Arena tersane yerleşimi modeli.

7.4 Mevcut Tersane Yerleşiminin Modellenmesi

Bu modelde, şu an kullanımda olan tersane yerleşimi modellenmiştir. Departmanlar arasında ölçülen mesafeler için tanımlanan taşıyıcı hızlarıyla parçalar taşınmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken bir husus, departmanlar arası mesafenin nasıl ölçüldüğüdür. Tersane içerisindeki yolları en doğru tanımlayacak mesafe ölçüm yöntemi doğrusal hatlı mesafe, yani İngilizce literatürdeki adıyla rectilinear mesafedir.

7.4.1 Doğrusal mesafe (rectilinear distance)

Doğrusal mesafe, doğrusal metrik, Manhattan, dik açılı veya dikdörtgen metrik olarak da adlandırılır. Hesaplaması kolay, anlaşılması kolay ve birçok pratik soruna (örneğin, bir şehirdeki noktalar arasındaki mesafe, yalnızca doğrusal bir şekilde hareket edebilen malzeme taşıma birimleri hizmet verdiği departmanlar arasındaki mesafe) uygun olduğu için yaygın olarak kullanılır.

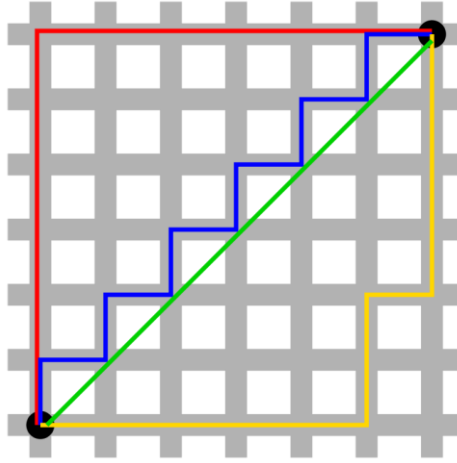


Şekil 7.11 : Departmanlar arası doğrusal mesafe.

Doğrusal mesafe metriği;

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (7.3)$$

Şekil 7.11'da i ve j bölümlerinin ağırlık merkezleri arasındaki yatay ve dikey çizgilerle temsil edilir.

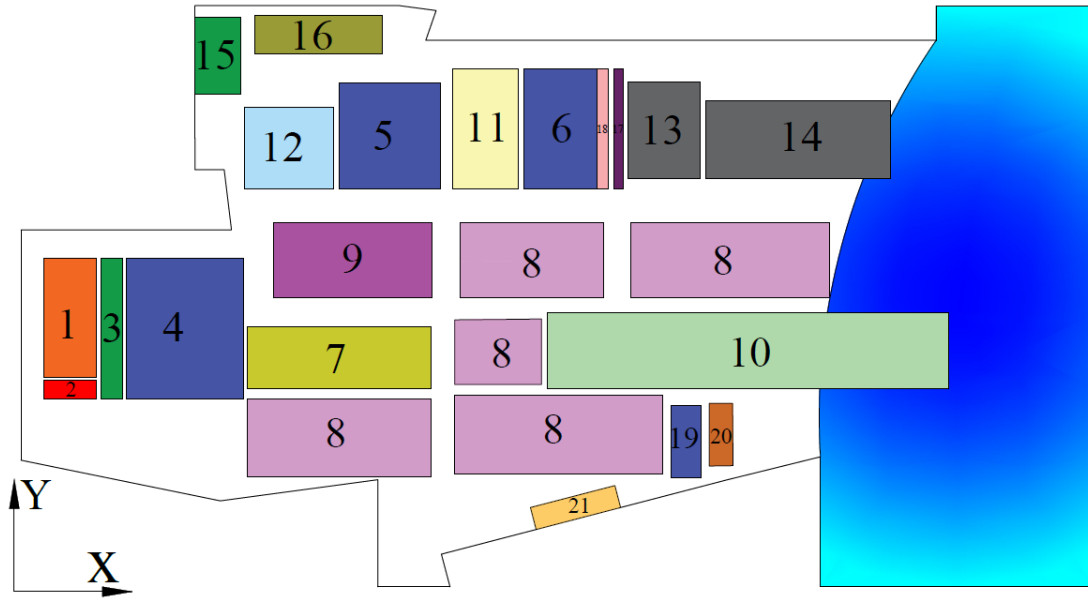


Şekil 7.12 : İki departman arasında tanımlanan doğrusal mesafe ve Öklid mesafesinin gösterimi.

Şekil 7.12’de iki departman arasında tanımlanan doğrusal mesafe ve Öklid mesafesinin gösterimi sunulmuştur. Kırmızı, mavi ve sarı yolların hepsi 12 birim uzunluğundadır ve doğrusal mesafeye aittir. Yeşil yol ise $6\sqrt{2} \approx 8,49$ birim uzunluğundadır. Mesafe için bir Öklid metriği kullanma departmanlar arası uygun olabilir. Öte yandan, tavan vincinin kat ettiği mesafeyi hesaplamak için bu metriği kullanmak uygun değildir çünkü tavan vinci dikey hatlar boyunca hareket eder. Ayrıca tersane yerleşimi özelinde, malzemeler ya tavan vinçleri ya da tersane içi yollarda kamyon ve traktörler ile, doğrusal mesafeye uygun olarak hareket etmektedir.

7.4.2 Departmanların ağırlık merkezlerinin konumu

Tersane yerleşim planında koordinat eksenini Şekil 7.13’de ki konumuna yerleştirilirse departmanların ağırlık merkezleri Çizelge 7.5’te gibi olmaktadır.



Şekil 7.13 : Koordinat ekseninin konumu.

Çizelge 7.5 : Mevcut yerleşim planı için departmanların ağırlık merkezleri.

Numara	Departman	X eksen	Y eksen
1	Sac ve Profil Stok Sahası	43,40593	212,6022
2	Profil Kesim Alanı	43,40593	156,8641
3	CNC Sac Kesim Alanı	75,84863	204,1429
4	Ön İmalat – 1 Alanı	132,4759	204,1429
5	Ön İmalat – 2 Alanı	291,6872	353,8604
6	Ön İmalat – 3 Alanı	424,2333	359,163
7	Panel Üretim Hattı Alanı	251,9715	181,5776
8	Blok Üretim Alanı	407,1274	182,9793
9	Blok Buffer Alanı	262,923	257,0144
10	Kızak	569,5586	186,9317
11	Depo – 1 (Kablo ve Boru Stok Alanı)	365,7807	359,163
12	Boya Holü	213,3042	344,0953
13	Tamir Atölyesi	504,287	358,3347
14	Blok Buffer – 2 Alanı	608,9279	350,8862
15	Boru Donatı Atölyesi	158,1348	415,9635
16	Boru Deposu	236,1105	432,5874
17	Yemek Holü	469,0409	359,163
18	Dizayn Ofis	457,0294	359,163
19	Havalandırma ve Elektrik Atölyesi	521,3625	116,4839
20	Marangozhane	548,7624	121,8614
21	Çöp ve Atık Alanı	435,7558	65,30194

7.4.3 Başlangıç bitiş mesafeleri

Arena simülasyon programına da mevcut tersane yerleşimini oluşturabilmemiz için departmanlar arası kat edilecek yolu bilmemiz gerekmektedir. Çizelge 7.6’da departmanlar arası başlangıç-bitiş mesafeleri; Arena simülasyon programına girilmiştir.

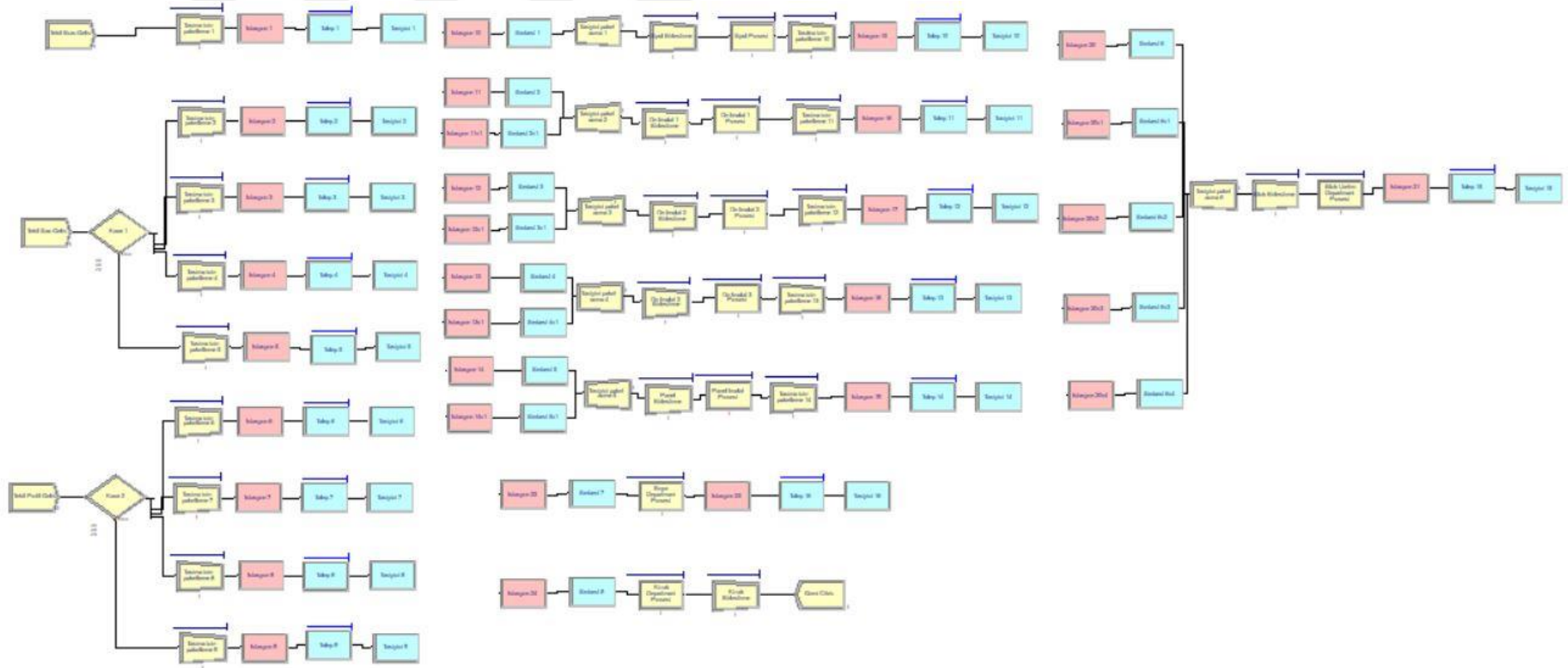
Çizelge 7.6 : Mevcut yerleşim planı için departmanlar arası başlangıç-bitiş mesafeleri.

No	Başlangıç	Bitiş	$ x_i - x_j $	$ y_i - y_j $	d_{ij}
1	CNC Sac Kesim Alanı	Ön İmalat – 1 Alanı	57	0	57
2	CNC Sac Kesim Alanı	Ön İmalat – 2 Alanı	216	150	366
3	CNC Sac Kesim Alanı	Ön İmalat – 3 Alanı	348	155	503
4	CNC Sac Kesim Alanı	Panel Üretim Hattı Alanı	176	23	199
5	Profil Kesim Alanı	Ön İmalat – 1 Alanı	89	47	136
6	Profil Kesim Alanı	Ön İmalat – 2 Alanı	248	197	445
7	Profil Kesim Alanı	Ön İmalat – 3 Alanı	381	202	583
8	Profil Kesim Alanı	Panel Üretim Hattı Alanı	209	25	233
9	Ön İmalat – 1 Alanı	Blok Üretim Alanı	275	21	296
10	Ön İmalat – 2 Alanı	Blok Üretim Alanı	115	171	286
11	Ön İmalat – 3 Alanı	Blok Üretim Alanı	17	176	193
12	Panel Üretim Hattı Alanı	Blok Üretim Alanı	155	1	157
13	Blok Üretim Alanı	Boya Holü	194	161	355
14	Boru Deposu	Boru Donatı Atölyesi	78	17	95
15	Boru Donatı Atölyesi	Blok Üretim Alanı	249	233	482
16	Boya Holü	Kızak	356	157	513
				Toplam	4899

7.4.4 Taşıyıcı hızlarının tanımlanması

Başlangıç-bitiş mesafeleri girildikten sonra her bir taşıma mesafesi için taşıyıcıların hızları modele tanıtılmalıdır. Taşıyıcı hızları sırasıyla 5000 m/saat, 5500 m/saat, 6000 m/saat, 6500 m/saat, 7000 m/saat ve 7500 m/saat olarak girilmiş ve sonuç bölümündeki grafikler çizdirilmiştir. Şekil 7.14’de Arena ile ilk olarak transfer modülleri dahil edilerek hazırlanan model görülmektedir.





Şekil 7.14 : Mevcut tersane yerleşimi için kurulan Arena simülasyon modeli.

7.5 İyileştirilmiş Tersane Yerleşiminin Modellenmesi

Tersane yerleşimi optimizasyonu sonucunda elde edilen iyileştirilmiş tersane yerleşiminin başta üretim süresi ve diğer üretim parametreleri olmak üzere etkisini ölçmek için yeni yerleşim planının simüle edilmesi amaçlanmıştır.

7.5.1 Departmanların ağırlık merkezlerinin konumu

İyileştirilmiş tersane yerleşimi planı için departmanların ağırlık merkezlerinin konumu Çizelge 7.7'deki gibi ölçülmüştür.

Çizelge 7.7 : İyileştirilmiş tersane yerleşimi için departmanların ağırlık merkezleri.

Numara	Departman	X eksen	Y eksen
1	Sac ve Profil Stok Sahası	33,19153	179,4247
2	Profil Kesim Alanı	49,80133	121,1477
3	CNC Sac Kesim Alanı	71,45164	187,0042
4	Ön İmalat – 1 Alanı	132,4759	159,3469
5	Ön İmalat – 2 Alanı	206,3472	333,8037
6	Ön İmalat – 3 Alanı	276,2778	338,8349
7	Panel Üretim Hattı Alanı	262,8014	124,288
8	Blok Üretim Alanı	348,249	191,8786
9	Blok Buffer Alanı	550,6415	257,8872
10	Kızak	566,4112	188,2725
11	Depo – 1 (Kablo ve Boru Stok Alanı)	334,3466	338,6874
12	Boya Holü	524,7977	341,9238
13	Tamir Atölyesi	433,6123	329,4559
14	Blok Buffer – 2 Alanı	634,0626	340,4378
15	Boru Donatı Atölyesi	380,5793	327,0877
16	Boru Deposu	352,6413	411,281
17	Yemek Holü	482,7725	357,2512
18	Dizayn Ofis	470,4356	356,376
19	Havalandırma ve Elektrik Atölyesi	432,7441	396,9692
20	Marangozhane	351,3168	61,1062
21	Çöp ve Atık Alanı	138,9533	239,3235

7.5.2 Başlangıç bitiş mesafeleri

İyileştirilmiş tersane yerleşimi için departmanlar arası başlangıç bitiş mesafesi Çizelge 7.8'de görülmektedir. Mevcut yerleşimi ile iyileştirilmiş tersane yerleşimi arasındaki tek fark departmanlar arası başlangıç bitiş mesafeleridir. Böylelikle iyileştirilmiş tersane yerleşiminin üretim parametrelerine olan katkısının ölçülmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 7.8 : İyileştirilmiş yerleşim planı için departmanlar arası başlangıç-bitiş mesafeleri.

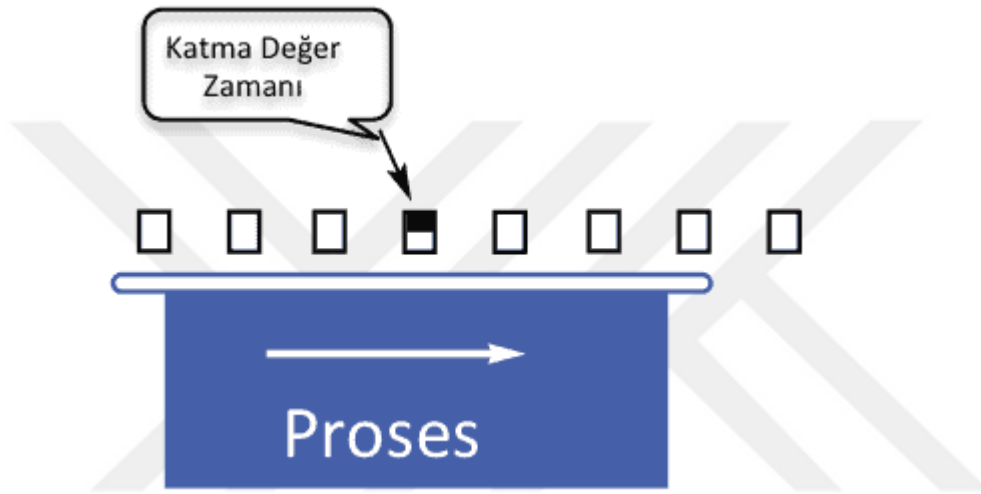
No	Başlangıç	Bitiş	$ x_i - x_j $	$ y_i - y_j $	d_{ij}
1	CNC Sac Kesim Alanı	Ön İmalat – 1 Alanı	61	28	89
2	CNC Sac Kesim Alanı	Ön İmalat – 2 Alanı	135	147	282
3	CNC Sac Kesim Alanı	Ön İmalat – 3 Alanı	205	152	357
4	CNC Sac Kesim Alanı	Panel Üretim Hattı Alanı	191	63	254
5	Profil Kesim Alanı	Ön İmalat – 1 Alanı	83	38	121
6	Profil Kesim Alanı	Ön İmalat – 2 Alanı	157	213	369
7	Profil Kesim Alanı	Ön İmalat – 3 Alanı	226	218	444
8	Profil Kesim Alanı	Panel Üretim Hattı Alanı	213	3	216
9	Ön İmalat – 1 Alanı	Blok Üretim Alanı	216	33	248
10	Ön İmalat – 2 Alanı	Blok Üretim Alanı	142	142	284
11	Ön İmalat – 3 Alanı	Blok Üretim Alanı	72	147	219
12	Panel Üretim Hattı Alanı	Blok Üretim Alanı	85	68	153
13	Blok Üretim Alanı	Boya Holü	177	150	327
14	Boru Deposu	Boru Donatı Atölyesi	28	84	112
15	Boru Donatı Atölyesi	Blok Üretim Alanı	32	135	168
16	Boya Holü	Kızak	42	154	195
				Toplam	3837

7.5.3 Taşıyıcı hızlarının tanımlanması

Başlangıç-bitiş mesafeleri girildikten sonra her bir taşıma mesafesi için taşıyıcıların hızları modele tanıtılmalıdır. Taşıyıcı hızları sırasıyla 5000 m/saat, 5500 m/saat, 6000 m/saat, 6500 m/saat, 7000 m/saat ve 7500 m/saat olarak girilmiş ve sonuç bölümündeki grafikler çizdirilmiştir.

7.6 Simülasyon Sonuçları

Mevcut tersane yerleşimi ve iyileştirilmiş tersane yerleşim modelleri kurulduktan sonra, sonuçları kaydetmek üzere koşturulmuştur. Katma değer zaman; simülasyon içerisinde proses modüllerinde geçen zamanı ifade etmektedir. Transfer süresi ise, tekil parçaların, ünitelerin ve panellerin taşınması sırasında geçen süreyi içermektedir. Şekil 7.15’de üretim sürelerinin katma değer zaman gösterimi sunulmuştur.



Şekil 7.15 : Katma değer zaman gösterimi.

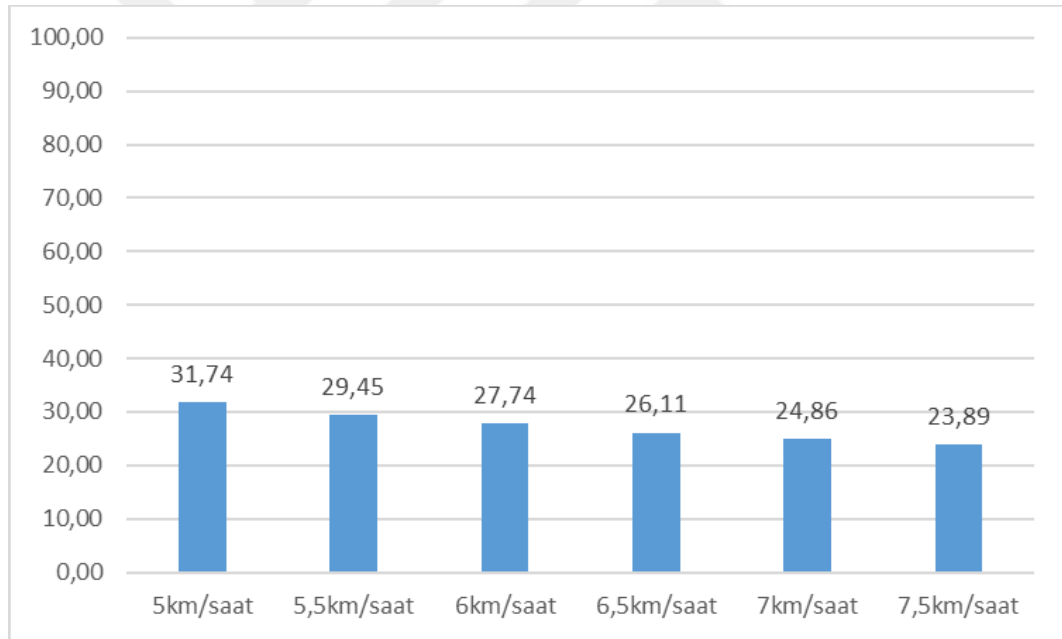
Katma değer zaman, mevcut tersane yerleşimi ve iyileştirilmiş tersane yerleşimi için aynı süreyi tutmaktadır çünkü her iki model için proses sürelerinde bir değişim ya da iyileştirme yapılmamıştır. Ancak transfer mesafeleri ve transfer hızında iyileştirmeler yapılmıştır. Bu nedenle modeller her bir transfer hızında ayrı ayrı koşulduğunda farklı transfer süreleri oluşmuştur.

7.6.1 Malzeme transfer oranı

Çizelge 7.9’da mevcut yerleşim için toplam üretim süresi ve taşıma veya transfer süreleri ve Şekil 7.16’de mevcut yerleşim için malzeme transfer oranı verilmiştir.

Çizelge 7.9 : Mevcut yerleşim için toplam üretim süresi ve transfer süreleri.

Taşıyıcıların hızı	Katma değer zamanı	Malzeme transfer süresi	Üretim Süresi	Malzeme transfer oranı
5 km/saat	6542,92	3042,66	9585,58	31,74205
5,5 km/saat	6547,57	2732,99	9280,56	29,44855
6,0 km/saat	6527,61	2505,5	9033,11	27,73685
6,5 km/saat	6584,71	2326,4	8911,11	26,10674
7 km/saat	6532,18	2160,64	8692,82	24,85546
7,5 km/saat	6518,84	2046,37	8565,21	23,89165

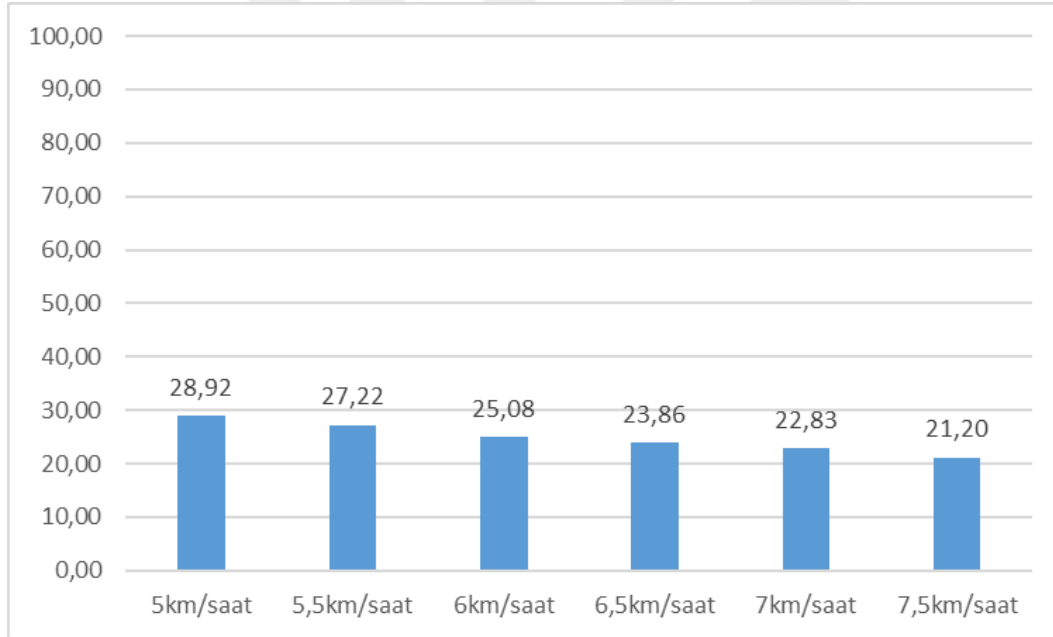


Şekil 7.16 : Mevcut yerleşim için malzeme transfer oranı.

Çizelge 7.10’da iyileştirilmiş yerleşim için toplam üretim süresi ve taşıma veya transfer süresi ve Şekil 7.17’de iyileştirilmiş yerleşim için malzeme transfer oranı gösterilmiştir.

Çizelge 7.10 : İyileştirilmiş yerleşim için toplam üretim süresi ve transfer süresi.

Taşıyıcıların hızı (km/saat)	Katma değer zamanı	Malzeme transfer süresi	Üretim Süresi	Malzeme transfer oranı
5	6562,13	2670,09	9232,22	28,92143
5,5	6468,54	2419,43	8887,97	27,2214
6	6599,04	2209,05	8808,09	25,07978
6,5	6565,22	2057,05	8622,27	23,85741
7	6511,38	1926,26	8437,64	22,82937
7,5	6573,89	1768,49	8342,38	21,19887



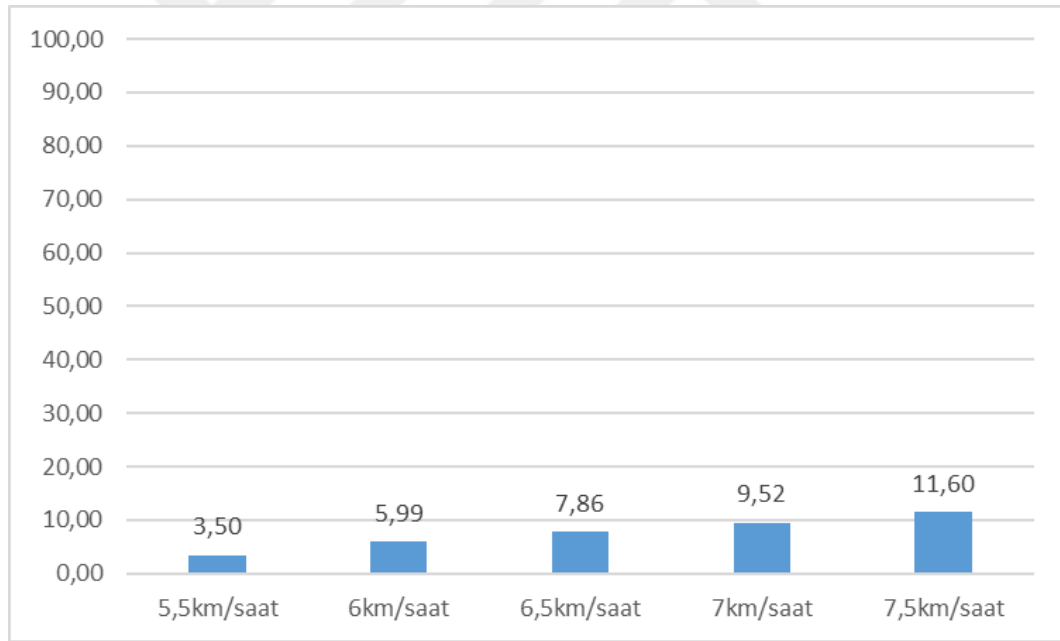
Şekil 7.17 : İyileştirilmiş yerleşim için yüzde cinsinden malzeme transfer oranları.

Mevcut yerleşim için transfer hızları hesaplandığında 5500 metre/saat hız ile malzeme transferi gerçekleştiği tahmin edilmiştir. Toplam üretim süresinde malzeme transfer süresinin oranı % 29,44'tür. İyileştirilmiş yerleşimin ile toplam gemi üretim süresi en az %3,49 azalmıştır. Ancak malzeme transfer hızlarında yapılacak değişikliklerle toplam gemi üretim süresindeki kazanç %11,60'a kadar iyileştirilebilir. Çizelge

7.11’de mevcut tersane yerleşimi ile iyileştirme yapılmış tersane yerleşimi arasındaki iyileştirme oranları taşıyıcı hız parametrelerine bağlı olarak verilmiş, Şekil 7.18’te taşıyıcı hızlarına karşılık iyileştirme oranları gösterilmiştir.

Çizelge 7.11 : Mevcut tersane ve iyileştirme yapılmış tersaneye ait iyileştirme oranları.

Taşıyıcı hızı (km/saat)	Mevcut	İyileştirilmiş	Fark	İyileştirme oranı
5,5	2732,99	2419,43	313,56	3,498018
6,0		2209,05	523,94	5,985456
6,5		2057,05	675,94	7,858349
7		1926,26	806,73	9,5237
7,5		1768,49	964,5	11,60232



Şekil 7.18 : Taşıyıcı hızlarına karşılık yüzde cinsinden iyileştirme oranları.

7.6.2 Üretime giren ve çıkan varlık sayısı

En önemli aşamalardan birisi üretime giren ve çıkan varlık sayısının gerçek tersane sistemiyle aynı olmasıdır. Tekil Boru, Tekil Sac ve Tekil Profil sayısı üretim kayıtlarında mevcuttur. Ancak Spul, Ünite 1-2-3 ve Panel sayıları Arena simülasyon programıyla hesaplanmıştır. Burada Excel ile bir ön çalışma yapılmış ve ara ürün sayısı önceden tahmin edilmeye çalışılmıştır. Üretime giren ve çıkan varlık sayısı modelin doğrulanması için önem arz etmektedir. Çizelge 7.12’de üretime giren varlık sayısı, Çizelge 7.13’de üretimden çıkan varlık sayısı sunulmuştur.

Çizelge 7.12 : Üretime giren varlık sayısı.

Üretime Giren Varlık	Mevcut (5,5 km/saat)	İyileştirilmiş				
		5,5 km/saat	6 km/saat	6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat
Tekil boru	11700	11700	11700	11700	11700	11700
Tekil sac	50141	50141	50140	50140	50140	50141
Tekil profil	5681	5681	5680	5680	5681	5681
Spul	357	357	357	357	357	357
Ünite 1	599	599	600	599	599	600
Ünite 2	502	502	501	501	501	502
Ünite 3	339	341	338	339	341	339
Panel	259	258	258	258	258	258
Blok	57	57	57	57	57	57
Gemi	1	1	1	1	1	1

Çizelge 7.13 : Üretimden çıkan varlık sayısı.

Üretimden Çıkan Varlık	Mevcut (5,5 km/saat)	İyileştirilmiş				
		5,5 km/saat	6 km/saat	6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat
Tekil boru	11525	11525	11525	10475	10125	11525
Tekil sac	46681	46681	46365	47415	48360	46331
Tekil profil	5266	5266	5580	5580	4986	5616
Spul	352	352	352	322	312	352
Ünite 1	564	554	564	574	564	564
Ünite 2	465	475	465	485	485	465
Ünite 3	320	321	320	322	331	320
Panel	243	243	243	243	253	243
Blok	55	55	55	55	55	55
Gemi	1	1	1	1	1	1

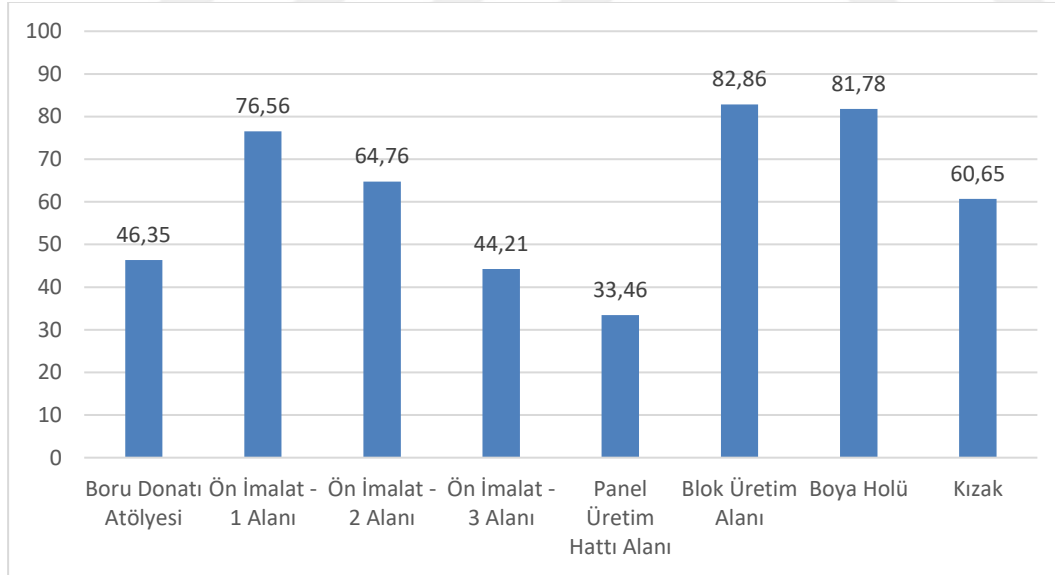
7.6.3 Departmanların kullanım oranları

Departmanların kullanım oranları simülasyon yardımıyla hesaplanmıştır. En yoğun departmanlar, Blok Üretim Hattı, Boya Holü ve Ön İmalat 1 alanlarıdır. En az yoğun departmanlar ise Boru Donatı Atölyesi, Ön İmalat 3 ve Panel Üretim Hattı alanlarıdır. Bu durum tersanede yapılan gözlemlerle paralellik göstermektedir. Böylelikle kurulan model ile gerçek tersane sistemi mümkün olduğunca doğru taklit edilmektedir.

Çizelge 7.14’de departmanlara ait kaynak kullanım oranları, Şekil 7.19’da her bir departmana ait kaynak kullanım oranları verilmiştir.

Çizelge 7.14 : Departman kaynak kullanım oranları.

Departman	Mevcut (5,5 km/saat)	5,5 km/saat	6 km/saat	İyileştirilmiş		
				6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat
Boru Donatı Atölyesi	0,4635	0,4907	0,4563	0,4693	0,475	0,4544
Ön İmalat – 1 Alanı	0,7656	0,8103	0,7652	0,8103	0,8202	0,7687
Ön İmalat – 2 Alanı	0,6476	0,6897	0,6395	0,6731	0,6866	0,6351
Ön İmalat – 3 Alanı	0,4421	0,4449	0,4309	0,4565	0,4554	0,4278
Panel Üretim Hattı Alanı	0,3346	0,3502	0,3236	0,3515	0,3368	0,3252
Blok Üretim Alanı	0,8286	0,8353	0,8042	0,8402	0,8391	0,8054
Boya Holü	0,8178	0,8362	0,8091	0,8591	0,8242	0,8047
Kızak	0,6065	0,612	0,6065	0,6386	0,644	0,6022



Şekil 7.19 : Departmanlara ait yüzde cinsinden kaynak kullanım oranları.

7.6.4 Kuyrukta ortalama ve maksimum bekleme süreleri

Departman proseslerinin kuyrukta bekleme süreleri hesaplanmıştır. En çok bekleme yapılan departmanlar Blok Üretim Hattı, Ön İmalat 1 ve Ön İmalat 2'dir. Çizelge 7.15'de departmanlara ait proseslerinin kuyrukta ortalama bekleme süreleri, Çizelge 7.16'da departmanların proseslerinin kuyrukta maksimum bekleme süreleri verilmiştir. Batch modüllerine ait kalıcı birleştirme için batch modüllerinin kuyrukta ortalama bekleme süreleri Çizelge 7.17'de ve kalıcı birleştirme için batch modüllerinin kuyrukta maksimum bekleme süreleri Çizelge 7.18'de sunulmuştur.

Çizelge 7.15 : Departman proseslerinin kuyrukta ortalama bekleme süreleri.

Departman	Mevcut (5,5 km/saat)	İyileştirilmiş				
	5,5 km/saat	6 km/saat	6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat	
Boru Donatı Atölyesi	0,9342	1,831	1,5461	0,6258	0,8533	1,042 3
Ön İmalat – 1 Alanı	5,5804	7,1828	5,0104	6,1673	11,962 2	5,405 8
Ön İmalat – 2 Alanı	2,8992	3,0737	2,7959	3,2249	4,3927	2,094 9
Ön İmalat – 3 Alanı	0,9497	0,7316	0,8181	0,8287	0,9344	0,575 9
Panel Üretim Hattı Alanı	0,3176	0,377	0,3723	0,5768	0,3997	0,292 2
Blok Üretim Alanı	7,0895	6,1076	4,0624	7,3121	7,2276	6,047 5
Boya Holü	1,8943	3,1619	1,2000	3,5652	1,3271	3,214 7
Kızak	0,0397	0,0053 09	0,0066 84	0,01798 5	0,0001 2	0,014 2

Çizelge 7.16 : Departman proseslerinin kuyrukta maksimum bekleme süreleri.

Departman	Mevcut (5,5 km/saat)	İyileştirilmiş				
	5,5 km/saat	6 km/saat	6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat	
Boru Donatı Atölyesi	6,9200	17,1565	14,9583	4,7036	6,2635	7,0644
Ön İmalat – 1 Alanı	28,6867	26,6156	25,1026	23,1118	37,0977	22,9393
Ön İmalat – 2 Alanı	20,8821	13,8304	15,6194	14,8336	28,1722	11,9369
Ön İmalat – 3 Alanı	7,6844	6,2717	5,2701	8,1325	6,5007	4,4268
Panel Üretim Hattı Alanı	4,5049	4,2311	4,7733	5,2200	3,6398	2,8113
Blok Üretim Alanı	28,8276	19,6275	22,4217	22,8999	23,5357	22,7961
Boya Holü	12,8785	14,8841	7,0674	13,2797	6,8684	12,2240
Kızak	2,1576	0,3026	0,3810	1,0252	0,0068	0,8087

Kalıcı birleştirme işlemi için ortalama bekleme süreleri hesaplanmıştır. Kızak kalıcı birleştirme modülünde diğer blokların üretilip gelmesi beklediği için ortalama bekleme süresi yüksek çıkmıştır. Blok kalıcı birleştirme modülünde de benzer durum söz konusudur. Diğer kalıcı birleştirme modüllerinde bekleme yapmadan üretim gerçekleşmektedir.

Çizelge 7.17 : Departman kalıcı batch modüllerinin kuyrukta ortalama bekleme süreleri.

Batch modül	Mevcut (5,5 km/saat)	İyileştirilmiş				
		5,5 km/saat	6 km/saat	6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat
Spul kalıcı birleştirme	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ön İmalat 1 kalıcı birleştirme	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ön İmalat 2 kalıcı birleştirme	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ön İmalat 3 kalıcı birleştirme	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Panel kalıcı birleştirme	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Blok kalıcı birleştirme	11,0454	10,362 3	11,299 8	10,617 0	10,137 5	11,038 7
Kızak kalıcı birleştirme	614,0300	585,23 00	649,48 00	591,01 00	551,79 00	616,37 00

Çizelge 7.18 : Departman kalıcı batch modüllerinin kuyrukta maksimum bekleme süreleri.

Batch modül	Mevcut (5,5 km/saat)	İyileştirilmiş				
	5,5 km/saat	6 km/saat	6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat	
Spul kalıcı birleştirme	0	0	0	0	0	0
Ön İmalat 1 kalıcı birleştirme	0	0	0	0	0	0
Ön İmalat 2 kalıcı birleştirme	0	0	0	0	0	0
Ön İmalat 3 kalıcı birleştirme	0	0	0	0	0	0
Panel kalıcı birleştirme	0	0	0	0	0	0
Blok kalıcı birleştirme	55,4753	41,7309	40,4492	50,2465	112,33	54,1259
Kızak kalıcı birleştirme	1264,33	1211,13	1294,71	1209,6	1131,75	1268,98

Arena simülasyon programı taşıyıcıların bekleme sürelerini hesaplamayı mümkün kılmaktadır. Çizelge 7.19’da taşıyıcılar için kuyrukta ortalama bekleme süreleri verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi taşıyıcılarda herhangi bir bekleme olmadan departmanlar arası malzeme transferi sağlanmaktadır. Bu durum gerçek sistem ile uyumludur. Çizelge 7.20’de taşıyıcılar için kuyrukta maksimum bekleme süreleri görülmektedir. Çizelge 7.21’de taşıma için geçici birleştirme batch modülü kuyrukta ortalama bekleme süreleri verilmiştir. Çizelge 7.22’de taşıma için geçici birleştirme batch modülü kuyrukta maksimum bekleme süreleri görülebilir.

Çizelge 7.19 : Taşıyıcılar için kuyrukta ortalama bekleme süreleri.

Taşıyıcı talep modülleri	Mevcut (5,5 km/saat)	5,5 km/saat	6 km/saat	İyileştirilmiş 6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat
Taşıyıcı talep 1	0,000108	0,0001 12	7,88E- 05	7,58E- 05	0,00022 2	5,23E- 05
Taşıyıcı talep 2	0,007065	0,0115 08	0,0103 05	0,00945 8	0,00913 3	0,00829 8
Taşıyıcı talep 3	0,032757	0,0243 56	0,0215 35	0,02115 2	0,01814 8	0,01689 7
Taşıyıcı talep 4	0,007888	0,0060 47	0,0034 32	0,00313 7	0,00269 5	0,00180 4
Taşıyıcı talep 5	0,000361	0,0011 14	0,0006 64	0,00095 7	0,00056 8	0
Taşıyıcı talep 6	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 7	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 8	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 9	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 10	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 11	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 12	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 13	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 14	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 15	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 16	0	0	0	0	0	0

Çizelge 7.20 : Taşıyıcılar için kuyrukta maksimum bekleme süreleri.

Taşıyıcı talep modülleri	Mevcut (5,5 km/saat)	İyileştirilmiş				
		5,5 km/saat	6 km/saat	6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat
Taşıyıcı talep 1	0,02238	0,014 87	0,02098	0,02181	0,02595	0,00638
Taşıyıcı talep 2	0,02596	0,083 37	0,07528	0,06844	0,07343	0,05748 3
Taşıyıcı talep 3	0,2423	0,204 2	0,1694	0,1662	0,1375	0,1355
Taşıyıcı talep 4	0,3503	0,134 8	0,119	0,1098	0,102	0,0952
Taşıyıcı talep 5	0,05687	0,089 7	0,06609	0,07079	0,06287	0
Taşıyıcı talep 6	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 7	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 8	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 9	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 10	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 11	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 12	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 13	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 14	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 15	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 16	0	0	0	0	0	0

Transferler doğru modellendiği için taşıma için paketlemelerde kuyruk oluşmaktadır. Çünkü varlıklar diğer varlıkların üretilip gelmesini beklemektedir. Bu durumda taşıma için paketlenme süreleri artırmaktadır.

Cizelge 7.21 : Taşıma için geçici birleştirme batch modülü kuyrukta ortalama bekleme süreleri.

Batch modül	Mevcut	İyileştirilmiş				
	(5,5 km/saat)	5,5 km/saat	6 km/saat	6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat
Taşıma için paketleme 1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Taşıma için paketleme 2	1,4344	1,378	1,3714	1,3326	1,1714	1,3680
Taşıma için paketleme 3	1,6057	1,5732	1,5574	1,5005	1,2903	1,6242
Taşıma için paketleme 4	2,4460	2,0422	2,6528	2,2606	2,0545	2,3832
Taşıma için paketleme 5	3,1295	3,065	3,1265	2,8232	2,7007	3,3653
Taşıma için paketleme 6	12,6482	11,3026	10,2919	10,0659	11,4769	11,3011
Taşıma için paketleme 7	13,7186	13,3414	11,6575	12,5607	13,3624	13,1582
Taşıma için paketleme 8	20,6405	19,7015	19,315	18,6207	20,9614	18,2918
Taşıma için paketleme 9	27,1293	25,6122	21,715	23,9113	25,6775	26,6334
Taşıma için paketleme 10	18,0981	16,7091	18,8421	18,7715	19,1645	16,3431
Taşıma için paketleme 11	11,1331	10,6379	11,5469	10,7254	10,2758	11,4539
Taşıma için paketleme 12	13,3032	13,0127	14,3104	13,2100	11,6238	13,8603
Taşıma için paketleme 13	19,8500	18,7652	20,5368	18,8739	19,8757	20,2770
Taşıma için paketleme 14	25,9013	26,245	27,0325	25,4637	22,6522	27,5022

Çizelge 7.22 : Taşıma için geçici birleştirme batch modülü kuyrukta maksimum bekleme süreleri.

Batch modül	İyileştirilmiş					
	Mevcut (5,5 km/saat)	5,5 km/saat	6 km/saat	6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat
Taşıma için paketleme 1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Taşıma için paketleme 2	29,0087	23,8936	27,9248	22,9203	18,5224	29,0136
Taşıma için paketleme 3	29,0087	23,8936	27,9248	22,9203	18,5224	29,0136
Taşıma için paketleme 4	29,0087	23,8936	27,9248	27,1982	18,5224	29,0136
Taşıma için paketleme 5	31,4958	30,7665	29,3609	27,1982	27,0351	31,1459
Taşıma için paketleme 6	56,751	46,5772	38,6406	52,1854	49,3019	41,4776
Taşıma için paketleme 7	47,7792	56,6944	45,6112	60,5605	46,8372	46,8372
Taşıma için paketleme 8	66,1363	82,9843	59,5598	70,6104	63,3012	52,2976
Taşıma için paketleme 9	90,908	82,2739	84,6257	84,6506	101,04	81,3060
Taşıma için paketleme 10	66,2584	70,5857	61,8966	54,9476	67,5892	60,6832
Taşıma için paketleme 11	47,5508	42,6093	47,1457	43,8493	39,2308	41,2767
Taşıma için paketleme 12	59,0351	46,3972	52,3395	50,4170	48,0116	48,6289
Taşıma için paketleme 13	57,5066	67,4759	65,6648	60,6939	156,96	70,7445
Taşıma için paketleme 14	79,6663	77,3268	74,5073	75,2606	83,0771	83,0771

7.6.5 Kuyrukta ortalama ve maksimum bekleyen varlık sayısı

Departman proseslerinin kuyrukta bekleyen varlık sayısı hesaplanmıştır. En çok bekleyen varlık sayısı sırasıyla Ön İmalat 1, Ön İmalat 2 ve Blok Üretim hattıdır. Çizelge 7.23’de departman proseslerinin kuyrukta ortalama bekleyen varlık sayıları ve Çizelge 7.24’de departman proseslerinin kuyrukta maksimum bekleyen varlık sayıları verilmiştir.

Çizelge 7.23 : Departman proseslerinin kuyrukta ortalama bekleyen varlık sayıları.

Departman	Mevcut (5,5 km/saat)	İyileştirilmiş				
	5,5 km/saat	6 km/saat	6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat	
Boru Donatı Atölyesi	0,2170	0,4436	0,3507	0,1504	0,2061	0,2365
Ön İmalat – 1 Alanı	2,1735	2,9182	1,9091	2,4861	4,8461	2,0604
Ön İmalat – 2 Alanı	0,9469	1,0471	0,8897	1,0877	1,4889	0,6683
Ön İmalat – 3 Alanı	0,2097	0,1691	0,1758	0,1894	0,2153	0,1242
Panel Üretim Hattı Alanı	0,0536	0,0660	0,0611	0,1003	0,0698	0,0479
Blok Üretim Alanı	0,2888	0,2595	0,1616	0,3083	0,3062	0,2406
Boya Holü	0,0772	0,1344	0,0477	0,1503	0,0562	0,1279
Kızak	0,0016	0,0002	0,0003	0,0008	0,0000	0,0006

Çizelge 7.24 : Departman proseslerinin kuyrukta maksimum bekleyen varlık sayıları.

Departman	Mevcut	İyileştirilmiş				
	(5,5 km/saat)	5,5 km/saat	6 km/saat	6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat
Boru						
Donatı	4,0000	9,0000	9,0000	3,0000	4,0000	4,0000
Atölyesi						
Ön İmalat –						
1 Alanı	14,0000	14,0000	12,0000	12,0000	20,0000	11,0000
Ön İmalat –						
2 Alanı	10,0000	7,0000	8,0000	9,0000	13,0000	7,0000
Ön İmalat –						
3 Alanı	5,0000	3,0000	3,0000	4,0000	4,0000	3,0000
Panel						
Üretim	3,0000	2,0000	2,0000	3,0000	2,0000	2,0000
Hattı Alanı						
Blok						
Üretim	2,0000	1,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000
Alanı						
Boya Holü	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Kızak	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Kalıcı birleştirme işlemi için ortalama bekleyen varlık sayıları hesaplanmıştır. Kızak kalıcı birleştirme modülünde diğer blokların üretilip gelmesi beklediği için ortalama bekleyen varlık sayısı yüksek çıkmıştır. Blok kalıcı birleştirme modülünde de benzer durum söz konusudur. Diğer kalıcı birleştirme modüllerinde bekleme yapmadan üretim gerçekleşmektedir. Çizelge 7.25’te departman kalıcı batch modüllerinin kuyrukta ortalama bekleyen varlık sayıları ve Çizelge 7.26’da departman kalıcı batch modüllerinin kuyrukta maksimum bekleyen varlık sayıları gösterilmiştir.

Çizelge 7.25 : Departman kalıcı batch modüllerinin kuyrukta ortalama bekleyen varlık sayıları.

Batch modül	Mevcut (5,5 km/saat)	İyileştirilmiş				
		5,5 km/saat	6 km/saat	6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat
Spul kalıcı birleştirme	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ön İmalat 1 kalıcı birleştirme	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ön İmalat 2 kalıcı birleştirme	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ön İmalat 3 kalıcı birleştirme	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Panel kalıcı birleştirme	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Blok kalıcı birleştirme	14,9130	15,1225	14,9566	14,7820	14,6063	14,6146
Kızak kalıcı birleştirme	24,1501	24,0095	24,9429	24,0662	22,6310	23,6827

Çizelge 7.26 : Departman kalıcı batch modüllerinin kuyrukta maksimum bekleyen varlık sayıları.

Batch modül	Mevcut (5,5 km/saat)	İyileştirilmiş				
		5,5 km/saat	6 km/saat	6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat
Spul kalıcı birleştirme	35	35	35	35	35	35
Ön İmalat 1 kalıcı birleştirme	35	35	35	35	35	35
Ön İmalat 2 kalıcı birleştirme	35	35	35	35	35	35
Ön İmalat 3 kalıcı birleştirme	35	35	35	35	35	35
Panel kalıcı birleştirme	35	35	35	35	35	35
Blok kalıcı birleştirme	32	32	32	32	32	32
Kızak kalıcı birleştirme	55	55	55	55	55	55

Arena simülasyon programı taşıyıcıların bekleyen varlık sayılarını hesaplamayı mümkün kılmaktadır. Çizelge 7.27’de taşıyıcılar için kuyrukta ortalama bekleyen varlık sayıları ve Çizelge 7.28’de taşıyıcılar için kuyrukta maksimum bekleyen varlık sayıları verilmiştir. Bu çizelgelerden görüleceği gibi taşıyıcılarda herhangi bir bekleme olmadan departmanlar arası malzeme transferi sağlanmaktadır. Bu durum gerçek sistem ile uyumludur.

Çizelge 7.27 : Taşıyıcılar için kuyrukta ortalama bekleyen varlık sayıları.

Taşıyıcı talep modülleri	Mevcut (5,5 km/saat)	İyileştirilmiş				
		5,5 km/saat	6 km/saat	6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat
Taşıyıcı talep 1	0,00002 502	0,0000 2717	0,0000 1787	0,0000 1823	0,0000 5352	0,0000 1187
Taşıyıcı talep 2	0,00247 901	0,0042 0364	0,0035 3095	0,0034 2086	0,0033 2659	0,0028 4995
Taşıyıcı talep 3	0,00962 169	0,0074 442	0,0061 6152	0,0064 304	0,0055 3091	0,0048 479
Taşıyıcı talep 4	0,00156 722	0,0012 6222	0,0006 6577	0,0006 4498	0,0005 5896	0,0003 4765
Taşıyıcı talep 5	0,00005 447	0,0001 7514	0,0000 9772	0,0001 5008	0,0000 8916	0
Taşıyıcı talep 6	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 7	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 8	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 9	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 10	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 11	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 12	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 13	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 14	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 15	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 16	0	0	0	0	0	0

Çizelge 7.28 : Taşıyıcılar için kuyrukta maksimum bekleyen varlık sayıları.

Taşıyıcı talep modülleri	Mevcut (5,5 km/saat)	İyileştirilmiş				
		5,5 km/saat	6 km/saat	6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat
Taşıyıcı talep 1	1	1	1	1	1	1
Taşıyıcı talep 2	2	3	3	3	3	3
Taşıyıcı talep 3	2	2	2	2	2	2
Taşıyıcı talep 4	2	2	1	1	1	1
Taşıyıcı talep 5	1	1	1	1	1	0
Taşıyıcı talep 6	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 7	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 8	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 9	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 10	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 11	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 12	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 13	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 14	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 15	0	0	0	0	0	0
Taşıyıcı talep 16	0	0	0	0	0	0

Çizelge 7.29’da taşıma için geçici birleştirme batch modülü kuyrukta ortalama bekleyen varlık sayıları ve Çizelge 7.30’da taşıma için geçici birleştirme batch modülü kuyrukta maksimum bekleyen varlık sayıları sunulmuştur. Transferler doğru

modellendiği için taşıma için paketlemelerde kuyruk oluşmaktadır. Çünkü varlıklar diğer varlıkların üretilip gelmesini beklemektedir. Bu durumda taşıma için paketlenme süreleri artırmaktadır.

Çizelge 7.29 : Taşıma için geçici birleştirme batch modülü kuyrukta ortalama bekleyen varlık sayıları.

Batch modülleri	Mevcut (5,5 km/saat)	İyileştirilmiş				
		5,5 km/saat	6 km/saat	6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat
Taşıma için paketleme 1	0	0	0	0	0	0
Taşıma için paketleme 2	17,9894	17,7786	16,7503	18,4821	18,092	16,7413
Taşıma için paketleme 3	17	16,8614	16,6283	17,9228	18,5024	17,1461
Taşıma için paketleme 4	17,211	15,7421	19,014	16,6152	16,9232	16,125
Taşıma için paketleme 5	16,7187	18,145	16,8543	17,3685	19,2774	17,9976
Taşıma için paketleme 6	17,5729	16,5693	15,2385	16,4076	16,5015	18,6787
Taşıma için paketleme 7	16,1011	16,9336	19,8962	18,9395	16,8969	14,9037
Taşıma için paketleme 8	17,0293	16,9305	20,5308	18,1153	17,5481	15,8282
Taşıma için paketleme 9	17,1879	16,7406	18,6743	17,4399	16,3485	17,9685
Taşıma paketleme 10	4,6549	4,463	4,6789	4,4858	4,6153	4,2868
Taşıma paketleme 11	4,4106	4,4112	4,5232	4,551	4,3861	4,4756
Taşıma paketleme 12	4,4532	4,6428	4,686	4,7414	4,4374	4,5792
Taşıma paketleme 13	4,5791	4,3365	4,6277	4,7685	4,58	4,5924
Taşıma paketleme 14	4,4468	4,7502	4,5249	4,6481	4,4117	4,5978

Cizelge 7.30 : Taşıma için geçici birleştirme batch modülü kuyrukta maksimum bekleyen varlık sayıları.

Batch modülleri	Mevcut (5,5 km/saat)	İyileştirilmiş				
		5,5 km/saat	6 km/saat	6,5 km/saat	7 km/saat	7,5 km/saat
Taşıma için paketleme 1	35	35	35	35	35	35
Taşıma için paketleme 2	35	35	35	35	35	35
Taşıma için paketleme 3	35	35	35	35	35	35
Taşıma için paketleme 4	35	35	35	35	35	35
Taşıma için paketleme 5	35	35	35	35	35	35
Taşıma için paketleme 6	35	35	35	35	35	35
Taşıma için paketleme 7	35	35	35	35	35	35
Taşıma için paketleme 8	35	35	35	35	35	35
Taşıma için paketleme 9	35	35	35	35	35	35
Taşıma için paketleme 10	10	10	10	10	10	10
Taşıma için paketleme 11	10	10	10	10	10	10
Taşıma için paketleme 12	10	10	10	10	10	10
Taşıma için paketleme 13	10	10	10	10	10	10
Taşıma için paketleme 14	10	10	10	10	10	10

7.6.6 Toplam üretim sürelerinin kıyaslanması

Toplam üretim süreleri mevcut yerleşim ve iyileştirilmiş yerleşim için Çizelge 7.31’de kıyaslanmıştır. Taşıyıcı hızlarının değişmeksizin sadece yerleşim planında yapılacak değişimlerle, %2,55 ila %4,42 arasında bir geminin üretiminin daha kısa sürede tamamlanacağı öngörülmektedir. Taşıyıcı hızlarının hızlandırılması ile Çizelge 7.11’de görülen iyileştirmeler mümkün görülmektedir.

Çizelge 7.31 : Mevcut ve iyileştirilmiş tersane yerleşimleri için üretim sürelerinin kıyaslanması.

Taşıyıcı hızı (km/saat)	Mevcut	İyileştirilmiş	Fark
5,5	9585,58	9232,22	%3,83
6,0	9280,56	8887,97	%4,42
6,5	9033,11	8808,09	%2,55
7	8911,11	8622,27	%3,35
7,5	8692,82	8437,64	%3,02



8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, temel olarak, tersane yerleşimi optimizasyonu modeli geliştirilmiş ve Türkiye’de bulunan tersaneler için bu model uygulanabilir duruma getirilmeye çalışılmıştır. Bu amaca uygun olarak, Sistematiik Yerleşim Planlama ve Graf-teorik Yaklaşım modeli ilk defa olarak tersane yerleşimi problemine beraberce uygulanmıştır. Farklı alternatif yerleşimler elde edilmiş ve Verimlilik Oranı yöntemi kullanılarak en iyi alternatif yerleşim planı seçilmiştir. Graf-teorik Yaklaşım ve Verimlilik Oranı literatürde gemi inşaatı bağlamında daha önce incelenmemiştir. Yapılan bu çalışma, ayrıca, İTÜ’nün lisanslı yazılımları arasında bulunan Rockwell-Arena programı vasıtasıyla, bir karşılaştırması yapılmıştır. Türkiye’nin önde gelen ve Yalova’da bulunan bir tersanesinde gerçek olaya uygulanması yapılmıştır.

Bu çalışmadan sonra yapılacak araştırma ve çalışmalara önderlik etmesi ve araştırmacılara yol göstermesi bakımından, aşağıdaki konular ve başlıkların incelenmesi tavsiye edilmektedir.

İlişki şemasının sistematiik olarak oluşturulması bu çalışmanın analiz kısmının ilk başlangıç noktasıdır. Çünkü ilişki şeması hem SYP hem de Graf-teorik Yaklaşım için veri girişi sağlayan temel kaynaktır. Bu nedenle ilişki şemasını geçerli ve doğru bir biçimde doldurmak önemli bir husus olarak göze çarpmaktadır. Burada yapılan yanlış değerlendirmeler daha sonra ki adımlarda sonuçların tutarsız ve istenmeyen biçimde şekil almasına neden olabilir. İlişki şeması doldurulma aşamasında ilk olarak tersaneye 2 hafta süresince gözlemlerde bulunulmuştur. Ancak gözlemleri daha uzun süre boyunca ve farklı gemi inşaatı süreçlerini izlenmesi fayda sağlayabilir. İlişki şeması oluştururken, parametreler önceden belirlenmiş ve ilgililerle görüşmelerde bu parametreler açıklanmıştır. Daha spesifik olarak sonuçlar yorumlanırsa, boya holü ile Ön İmalat 1-2-3 alanları ve Marangozhane ile Ön İmalat alanları ve CNC Sac Kesim alanları X ile doldurulmuştur. Bunun kuşkusuz sebebi güvenliktir. Sac Ve Profil Stok Sahası ve Profil Kesim alanı, Profil Kesim alanı ile CNC Sac Kesim alanı, Panel Üretim Hattı alanı ile Blok Üretim alanı, Blok Üretim alanı ile Blok Buffer alanı, Blok Buffer alanı ile Kızak A harfiyle işaretlenmiştir ve sebebinin bu üretim alanları

arasında çok fazla miktarda ara ürün akışı olmasıdır. 13 farklı parametre ile doldurulan ilişki diyagramında en önemli parametreler malzeme akış ve güvenlidir. A ve X ilişkisi içeren departmanlar ilk olarak yerleştirileceğini düşünecek olursak doğal olarak malzeme akış ve güvenlik parametrelerinin daha fazla önem kazanması beklenmelidir. Üçüncü olarak E ilişkisine dikkat edilmelidir. 21 adet E yakınlık ilişkisi bulunmaktadır. Bütün harfleri ilişki şemasında doldururken tersane yerleşimi optimizasyonu yapanlara özel önem düşmektedir. Burada sezgi, muhakeme, deneyim sürecin önemli bileşenleridir. Toplam 21 departmandan oluşan ilişki şeması'nda 210 adet yakınlık ilişkisi girilmiştir. Departman sayısı arttıkça değerlendirme sayısı artmaktadır. İlişki şeması oluşturmanın zorluğu ve yargıların belirsizliği bir dezavantaj oluşturmaktadır. İlişki şemaları çok fazla öznel bilgi içermektedir. İlişki şeması oluştururken, her ne kadar belirli bir prosedür uygulansa bile, öznel bilgileri tersanede departmanlar arası yükün niceliksel olarak elde edilmesi gibi nesnel bilgilerle desteklemek gerekebilir. İlişki şemasını elde etmemizi sağlayan 13 parametre, önem sırasına göre ağırlıklandırılarak, tarafsız ve nesnel bir çözüme bir adım daha yaklaşabilmek mümkündür. Aynı şekilde, birçok ilişki şemasını, birçok tersane uygulayıcılarına iletip, doldurmalarını sağlamak daha sonra elde edilen çok sayıda ki ilişki şemasını, ortak bir noktada uzlaşa ile kararlaştırmakta bir başka kapsayıcı çözüm olabilir. İlişki şeması SYP ve Graf-teorik Yaklaşım için ortaktır. Aralarındaki fark, SYP ile kullanırken ilişki şemasının harfsel değerleri yeterli olurken, Graf-teorik Yaklaşımın sezgisel bir algoritma olmasından dolayı rakamsal değerlere ihtiyaç duyar. Her iki yerleşim optimizasyonu yönteminde de departmanlar arası ilişkilerin değişmemesi sebebiyle ilişki şeması ortak veri girişi sağlamıştır.

SYP yöntemi bu çalışmada 7 adet alternatif üretilmesini mümkün kılmıştır. SYP yöntemi, veri girişi ve faaliyetler aşamasıyla başlatılmıştır, daha sonra ilişki diyagramı ve mevcut alanı içeren veriler girilmiştir. Mevcut alanların girişiyle alan ilişki diyagramı elde edilmiştir. Alan ilişki diyagramı elde edildikten sonra, uygulama kısıtları ve değişiklikler değerlendirilmiştir. Böylelikle alan ilişkisi diyagramına benzerlik gösteren 7 adet farklı tersane yerleşim planı üretilmiştir. Alan ilişki diyagramı elde edilirken, tersane üretim departmanlarının mevcut alanlarını koruduğu kabul edilmiştir. SYP yöntemi literatürde gemi inşaatı bağlamında geçerliliğini kanıtlamıştır. Literatürde tersane yerleşimi optimizasyonu ile ilgili 2004 ve 2023 yılları arasında 13 çalışma bulunmuştur. Bu 13 farklı çalışmanın 5 tanesinde SYP

yönteminden faydalanılmıştır. Bu durum göstermektedir ki, SYP yaygın kabul gören bir yöntemdir.

SYP'nin tersane yerleşimi probleminde uygulanmasının belirli avantajları vardır, ilk olarak SYP sistemli ve yapılandırılmış bir yaklaşım sunar. İkinci olarak, birden fazla faktörün dikkate alınmasını sağlar. SYP, farklı yerleşim senaryolarını ve kısıtlamalarını dahil etmek için esneklik sağlamaktadır. SYP tersane yerleşimi optimizasyonu yapılırken, AutoCAD kullanılmıştır. Bu durum pay paydaşların önerilen yerleşimi daha iyi anlamalarını ve bilinçli kararlar vermelerini sağlamıştır. Tüm bu bağlamda SYP optimizasyon potansiyelleri sunmuştur.

SYP her ne kadar tersane yerleşimi problemi için kabul görmüş olsa da bazı dezavantajları getirdiği görülmüştür. Bunlardan ilki, SYP iyi bir uzmanlık düzeyi gerektirmektedir ve deneyim eksikliği yanlış sonuçlara yola açabilir. SYP, veri toplama analiz yapma, alternatif yerleşim üretme gibi zaman ve kaynak gerektiren süreçler içerdiği deneyimlenmiştir. Farklı paydaşlar arasında koordinasyonun sağlanması bu çalışmayı güçleştirmiştir. SYP'nin başarısı, tersane operasyonlarıyla ilgili verilerin mevcudiyeti ve doğruluğuna bağlıdır. Tersane operasyonları, malzeme akışı, güvenlik ve üretim gereksinimleri gibi verilerin yetersiz veya yanlış olması, optimize edilmemiş yerleşim kararlarına ve optimizasyon sürecinin etkinliğinin zayıflamasına yol açabilir. Tersane operasyonlarının belirsizlikleri, değişen pazar ve gelişen teknolojilere tabi olmasına karşın SYP nispeten statik yapı sunduğu fark edilmiş ve bu durum değişen dinamik koşullara uyum sağlama yeteneğini sınırlayabileceği tüm bu çözümleme sürecinde saptanmıştır.

Tersane yerleşimi optimizasyonu probleminin çözümünde sezgisel algoritma olarak Graf-teorik Yaklaşım kullanılmıştır. Graf-teorik Yaklaşım, tesis yerleşimi probleminde kabul gören bir algoritmadır. Ancak daha önce Graf-teorik Yaklaşım gemi inşaatı bağlamında incelenmemiştir. Bu doktora teziyle Graf-teorik Yaklaşımın tersane yerleşimi problemine uyarlanması literatüre kazandırılmıştır. Graf-teorik Yaklaşımında, her bir departman düğüm noktası olarak kabul edilmiştir. İlk olarak departmanlar arası yakınlık derecelerinin değişmediği düşünülerek ilişki şeması, 2 ve 2'nin katları olmak üzere sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Çünkü Graf-teorik Yaklaşım, SYP gibi bir dizayn aracı değil, gerçek rakamları kullanan ve hesaplamalarla gerçekleştirilebilen bir sezgisel algoritmadır. Graf-teorik Yaklaşımı

tersanenin 21 departmanı için 21 düğüm noktası ve bu düğüm noktalarından oluşan maksimal düzlemsel bitişiklik grafi elde edilmiştir. Maksimal düzlemsel bitişiklik grafinde her bir düğüm noktası eklendikçe doğal olarak hesaplama katlanarak artmıştır ve yöntemin uygulanışı detaylıca sunulmuştur.

Graf-teorik Yaklaşım, tersane yerleşimi problemini matematiksel bir yaklaşımla temsil etmiştir ve grafla görselleştirilmesini sağlamıştır. Buna rağmen Graf-teorik Yaklaşım mekansal değerlendirmeler yerine bileşenler arasındaki bağlantılara odaklanan bir temsil sunmuştur. Tersane yerleşimleri büyük ve karmaşık olabilir, birçok bileşen, etkileşim ve kısıtlama içerebilir. Sistem ölçeği arttıkça, graf temsiliyetinin karmaşıklığı ve optimizasyon algoritmalarının hesaplama gereksinimleri de artar.

Bu doktora tezi ile birlikte literatürde ilk defa Verimlilik Oranı yöntemi tersane yerleşimi problemi için uygulanmıştır. Elde edilen yerleşim planlarının Verimlilik Oranı sonuçları %56,88 ile %73,91 arasında değiştiği hesaplanmıştır. Mevcut tersane yerleşiminin Verimlilik Oranı %48,91 iken, iyileştirilmiş tersane yerleşiminin Verimlilik Oranı %73,91'e ulaşmıştır. Bu sonuç ile, ilişki şeması'nın %73,91 oranında iyileştirilmiş tersane yerleşimi sayesinde gerçekleştirildiği görülmüştür. İlişki şemasını doldurmasındaki 13 parametrenin sağlanmasına %25 daha fazla yaklaşılmıştır. Malzeme akışı, güvenlik, kişisel temas ihtiyacı, aynı ekipman kullanımı gibi parametrelerde iyileştirmeler yapılmıştır. Bu iyileştirilmenin sağlanması, Ön İmalat 3, Panel Üretim Hattı Alanı, Boya Holü, Blok Buffer Alanı, Boru Donatı Atölyesi, Boru Deposu departmanlarının yerleri büyük oranda değiştirilmiştir. Özellikle Ön İmalat 3 departmanını mevcut yerleşimdeki konumunun sağlıklı olmadığı görülmüştür. Mevcut yerleşim planı ve iyileştirilmiş yerleşim planı görsel olarak hazırlanmış ve sunulmuştur.

Bu çalışmada elde edilen iyileştirmeleri doğrulamak için Arena simülasyon programından faydalanılmıştır. Gemi üretimi 5 aşamalı olarak değerlendirilmesi uygun bulunmuştur. Arena simülasyon programına 3 farklı versiyonda Arena modelleri girilmiştir. Birincisi taşıma veya transfer modülleri kullanılmadan sıfır transfer süresiyle girilen modeldir. İkincisi mevcut tersane yerleşimi modelidir. Üçüncüsü ise iyileştirilmiş tersane modeli olmuştur. Böylelikle kıyaslama yapmak mümkün kılınmıştır. Burada koşturulan Arena Simülasyon modelleri için doğru ve tutarlı veri girişinin çok önemli olduğu görülmüştür. Malzeme transfer oranının gemi

inşaatında %21,20 ile %31,74 oranında toplam üretim süresinde pay tuttuğu hesaplanmıştır. Toplam üretim süresi mevcut yerleşimde 2732 saat iken, iyileştirilmiş yerleşim ile toplam üretim süreleri 1768 saat ile 2419 saat arasındadır. Toplam üretim süresinde iyileştirme oranı %3,49 ile %11,6 arasında yer tutmuştur. Toplam üretime giren varlık sayıları ile modelin doğruluğu test edilmiştir. Kullanım oranı en fazla olan departmanlar Blok Üretim Alanı, Boya Holü ve Ön İmlat-1 alanları olarak ve kullanım oranı en az olan departmanlar Boru Donatı Atölyesi, Ön İmalat -3 ve Panel Üretim hattı olarak çıktı alınmıştır. Tersane yerleşimi simülasyonunda kullanılan tüm modüller için kuyrukta ortalama bekleme süreleri, kuyrukta maksimum bekleme süreleri ve kuyrukta ortalama bekleyen varlık sayıları ve kuyrukta maksimum bekleyen varlık sayıları sunulmuştur. Toplam üretim süreleri mevcut yerleşim ve iyileştirilmiş yerleşim planları için kıyaslanmıştır. Taşıyıcı hızlarında hiçbir değişiklik yapmaksızın toplam üretim süresi iyileştirilmiş yerleşim ile %2,55 ila %4,42 arasında azalmıştır.



KAYNAKLAR

- Askin, R.G. & Standridge, C.R.** (1993). Modeling and analysis of manufacturing systems. Wiley, New York, NY.
- Bruce, G.** (2020). Shipbuilding management, Springer Nature, Singapore.
- Chabane, H.** (2004). Design of a small shipyard facility layout optimized for production and repair, Proceedings, Symposium International: Qualite et Maintenance au Service de l'Entreprise, Tlemcen, Algeria, November 2004.
- Choi, M., Kim, S. H. & Chung, H.** (2017). Optimal shipyard facility layout planning based on a genetic algorithm and stochastic growth algorithm, *Ships and Offshore Structures*, 12(4), 486–494.
- Dixit, V., Verma, P. & Raj, P.** (2020). Leveraging tacit knowledge for shipyard facility layout selection using fuzzy set theory. *Expert Systems with Applications*, 158, 113423.
- Eren, Ş.** (2019). Kişisel görüşme. 15 Mayıs, Yalova
- Eyres, D. J. & Bruce, G. J.** (2012). *Ship construction*. Butterworth-Heinemann. Seventh Edition, doi.org/10.1016/B978-0-08-097239-8.05001-7.
- Foulds, L. R. & Robinson, D. F.** (1978). Graph theoretic heuristics for the plant layout problem, *International Journal of Production Research*, 16(1), 27–37.
- Foulds, L. R.** (1983). Techniques for facilities layout: deciding which pairs of activities should be adjacent. *Management Science*, 29(12), 1414-1426.
- Foulds, L. R., Gibbons, P. B. & Giffin, J. W.** (1985). Facilities layout adjacency determination: An experimental comparison of three graph theoretic heuristics, *Operations Research*, 33(5), 1091–1106.
- Francis, R.L. & White, J.A.** (1974). Facility layout and location: an analytical approach. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Francis, R.L., McGinnis, L.F. & White, J.A.** (1992). Facility layout and layout: an analytical approach. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Fu, M.C. & Kaku, B.K.** (1997). Minimizing work-in-process and material handling in the facilities layout problem. *IIE Trans* 29:29–36.

- Gunawan, Utomo, A. S. A. & Benediktus, H. V.** (2021). Optimization of shipyard layout with material handling cost as the main parameter using genetic algorithm, *Proceedings, AIP Publishing LLC, AIP Conference*, September 2021.
- Heragu, S. S.** (2016). *Facilities design*. Crc Press. Fourth edition, Boca Raton, FL.
- Jongbloed, S., Lebbink, P., Pap, D. & Dingeldein, Q.** (2023). *Integrated Method for Mapping Shipyard Layouts: Obtaining an Insight into the Current State Building Process and Employee Movements*. Lisans Tezi. Delft University of Technology, South Holland.
- Kelton, W. D., Sadowski P.R. & Zupick, B.N.** (2015). *Simulation with ARENA*. McGraw-Hill, New York, USA.
- Koopmans, T.C. & Beckman, M.** (1957). Assignment problems and the location of economic activities, *Econometrica*, 25, 53–76.
- Lee, D. K., Jeong, Y. K. & Shin, J. G.** (2013). Study on a layout design method for leisure ship production factories using a heuristic location–allocation algorithm, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, 19(3), 277–284.
- Leemis, L. M., & Park, S. K.** (2004). *Discrete-event simulation: A first course*. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, Midland Park, NJ.
- Leonelli, M.** (2021). *Simulation and Modelling to Understand Change*, IE University, Ders notları, Madrid, Spain.
- Matulja, T., Fafandjel, N. & Zamarin, A.** (2009). Methodology for shipyard production areas optimal layout design. *Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike*, 60(4), 369–377.
- Mecklenburgh, J.C.** (1985). *Process plant layout*. Longman, New York, NY.
- Mohsen, H. M. D.** (2007). Toward guiding the selection of a layout procedure, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 18(3), 292–303.
- Muther, R. & Hales, L.** (2015). *Systematic Layout Planning*. USA Management & Industrial Research Publications, Marietta, GA.
- Muther, R.** (1973). *Systematic Layout Planning* Cahnerns Books, Boston, MA.
- Nozari, A. & Ensore, E. E. Jr.** (1981). Computerised facility layout with graph theory, *Computers & Industrial Engineering*, 5(3), 183–193.
- Ojaghi, Y., Khademi, A., Yusof, N. M., Renani, N. G., and Bin Syed Hassan, S. A. H.** (2015). Production layout optimisation for small and medium scale food industry, *Procedia CIRP*, 26, 247–251.

- Pillai, V. M., Hunagund, I. B. & Krishnan, K. K.** (2011). Design of robust layout for dynamic plant layout problems. *Computers & Industrial Engineering*, 61(3), 813-823.
- Seppänen, J. & Moore, J. M.** (1970). Facilities planning with graph theory, *Management Science*, 17(4), B-242.
- Shablykova, V.** (2020). *Layout and material flow planning of a shipyard*, Yüksek lisans tezi, Helsinki: Helsinki Metropolia University of Applied Sciences.
- Shenoi, R.A.** (2010). Ship Production Technology Ders notları The University of Southampton, Southampton, UK.
- Shin, J. G., Song, Y. J., Lee, D. K. & Woo, J. H.**, (2009). A concept and framework for a shipyard layout design based on simulation. *Journal of Ship Production*, 25(3), 126–135.
- Song, Y. J. & Woo, J. H.** (2013). New shipyard layout design for the preliminary phase & case study for the green field project, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 5(1), 132–146.
- Song, Y. J., Lee, D. K., Woo, J. H. & Shin, J. G.** (2010). System development and applications of a shipyard layout design framework, *Journal of Ship Production and Design*, 26(2), 144–154.
- Tamer, S., Barlas, B., Gunbeyaz, S. A., Kurt, R. E. & Eren, S.** (2023). Adjacency-Based Facility Layout Optimization for Shipyards: A Case Study. *Journal of Ship Production and Design*, 39(01), 25-31.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A. & Tanchoco, J. M. A.** (2010). Facilities Planning, 4th Ed, John Wiley and Sons, New Jersey.
- Turk, A., Gorgen, S., Ozkok, M. & Altin, I.** (2022). A comprehensive investigation into the performance of genetic algorithm for effective shipyard topological layout, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 236(3), 726–740.
- Wiyaratn, W., Watanapa, A. & Kajondecha, P.** (2013). Improvement plant layout based on systematic layout planning, *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, 5(1), 76–79.

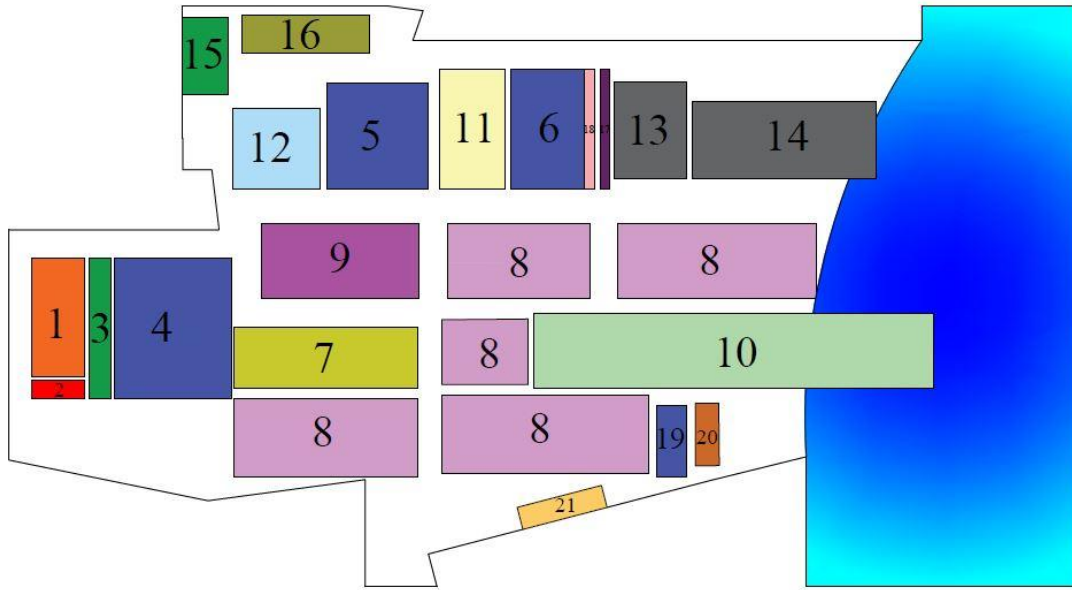


EKLER

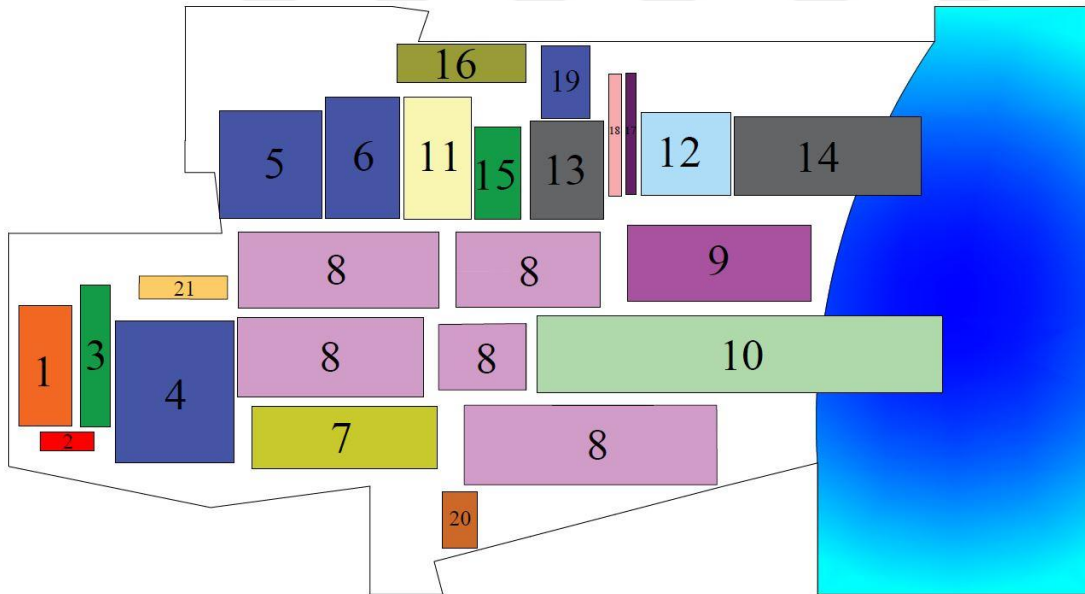
EK A: Mevcut tersane yerleşimi ve üretilen alternatif tersane yerleşim planları



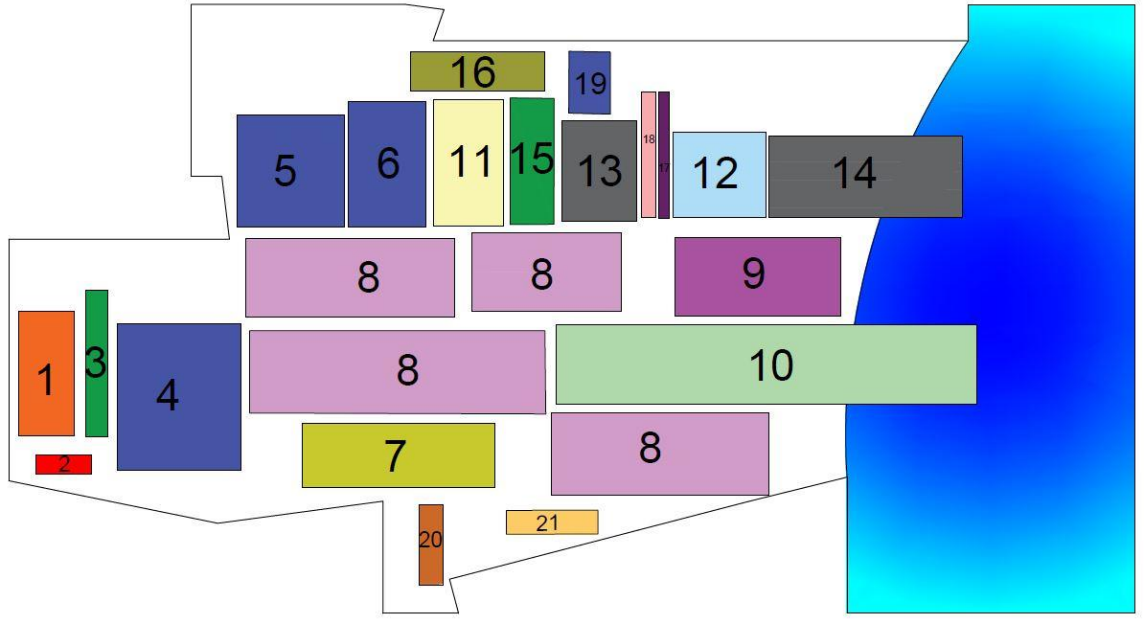
EK A : Mevcut tersane yerleşimi ve üretilen alternatif tersane yerleşim planları



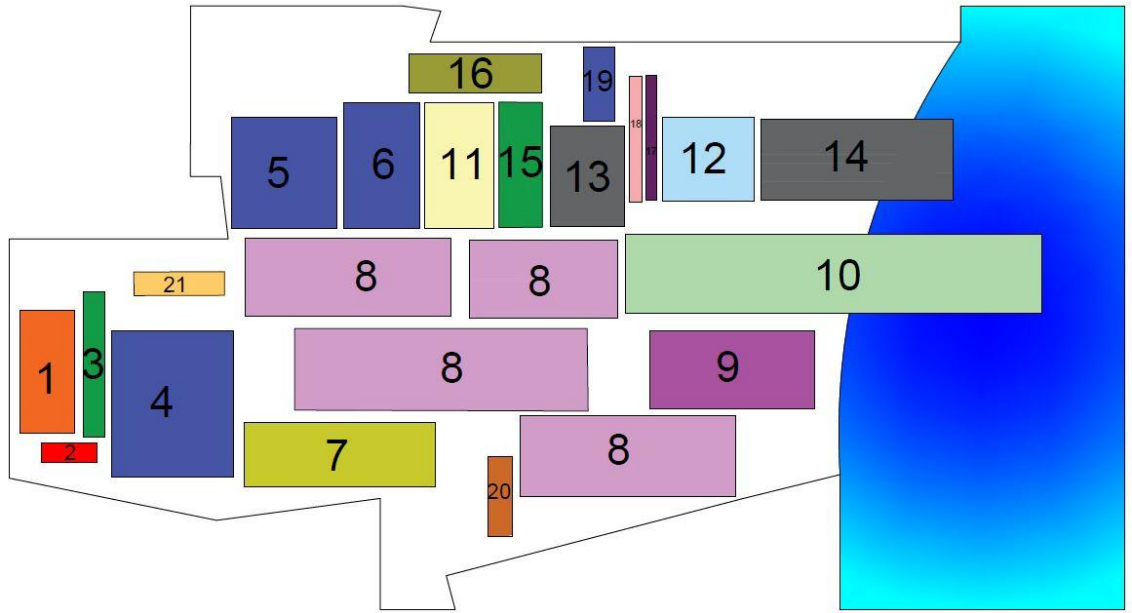
Şekil A.1: Mevcut tersane yerleşim planı(%48,91).



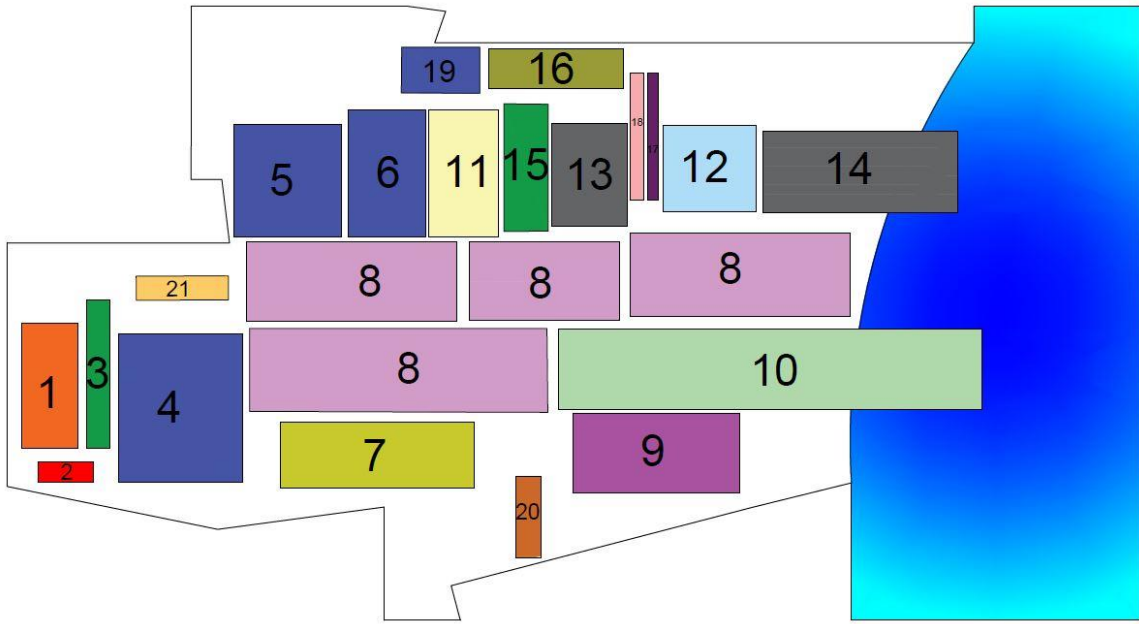
Şekil A.2 . Alternatif-1 (Önerilen iyileştirilmiş tersane planı (SYP-3, %73,91)).



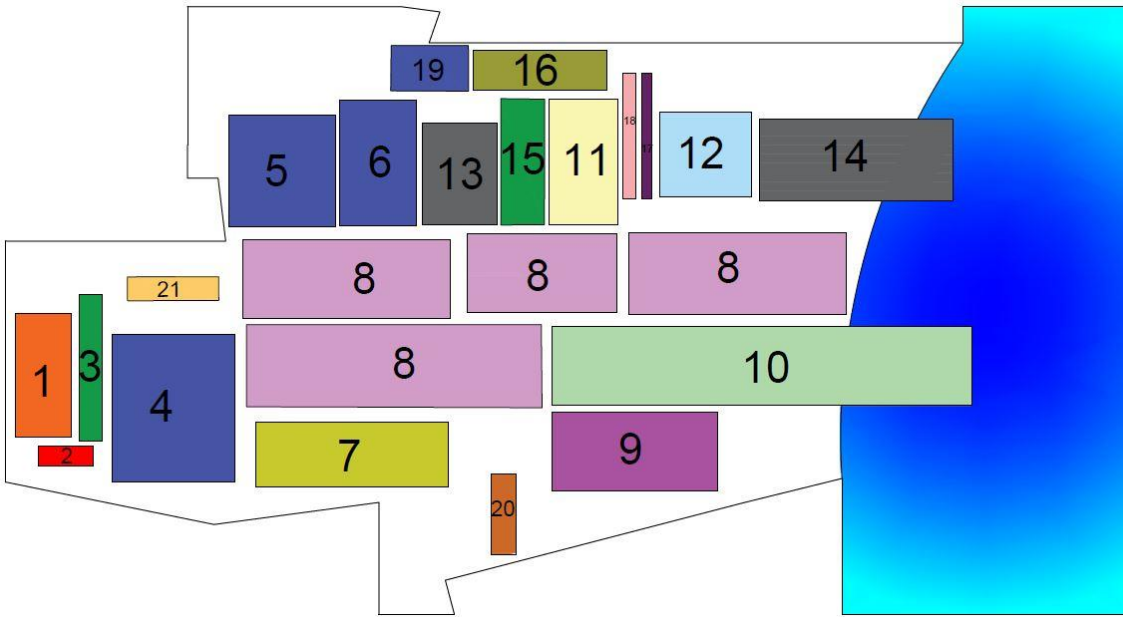
Şekil A.3 : Alternatif -2 yerleşim planı (Graf-teorik Yaklaşım-3, %71,37).



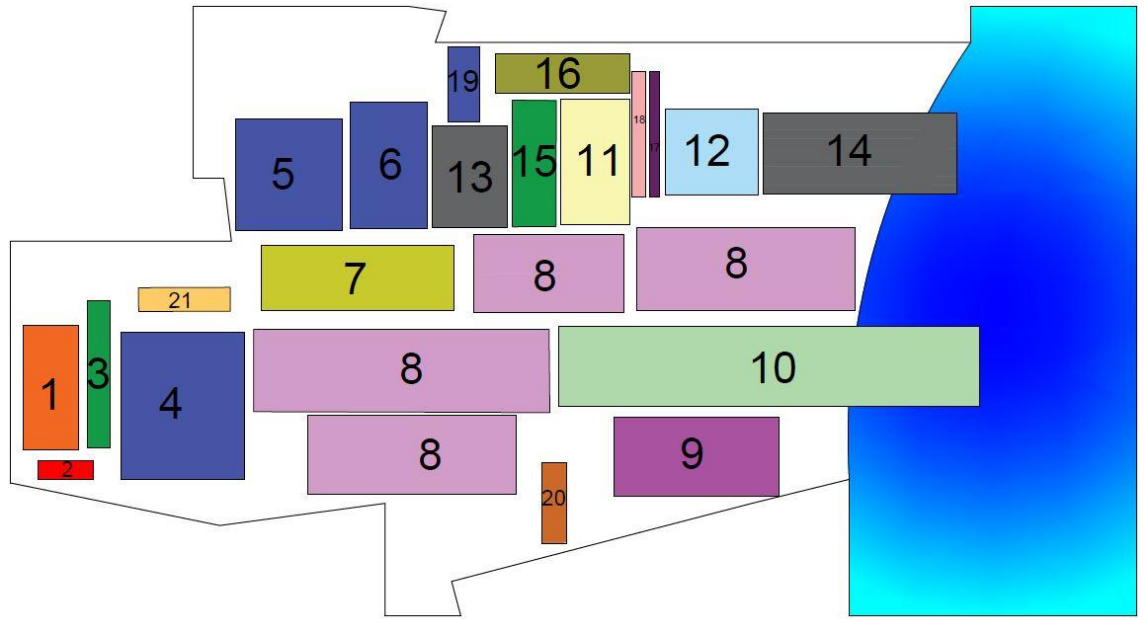
Şekil A.4 : Alternatif -3 yerleşim planı (SYP-4, %70,28).



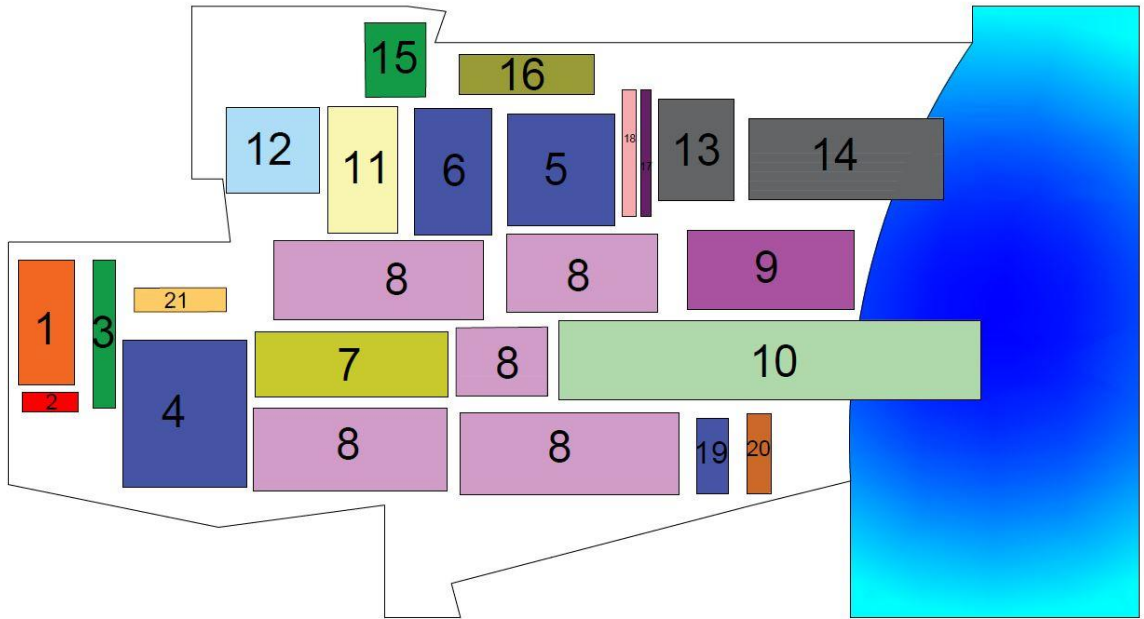
Şekil A.5 : Alternatif -4 yerleşim planı (Graf-teorik Yaklaşım-4, %69,20).



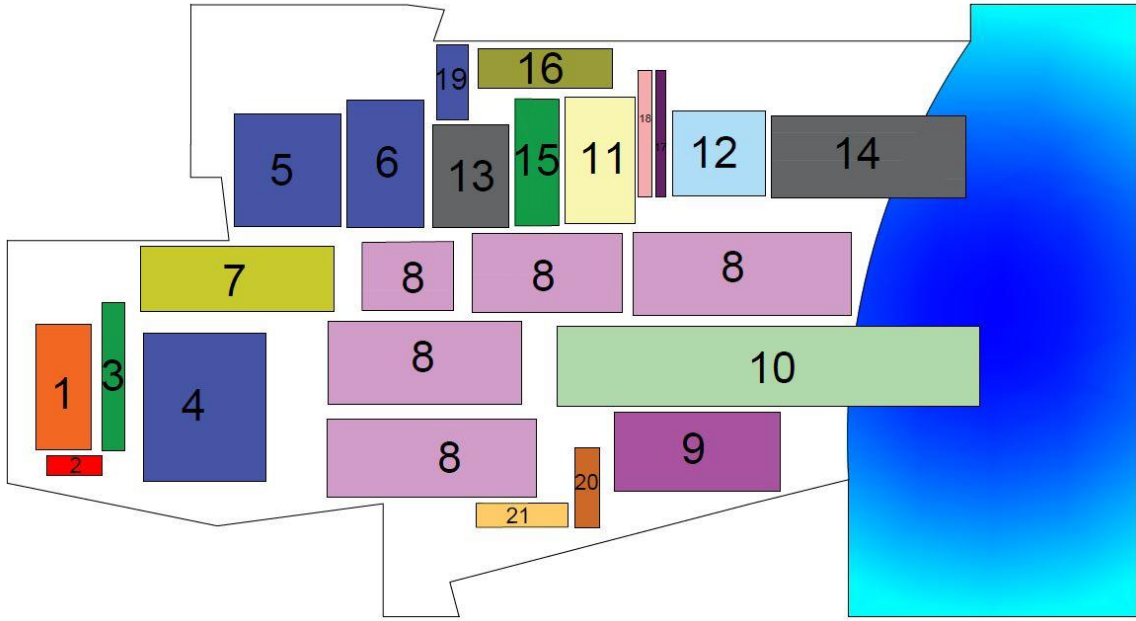
Şekil A.6 : Alternatif -5 yerleşim planı (Graf-teorik Yaklaşım-5, %67,75).



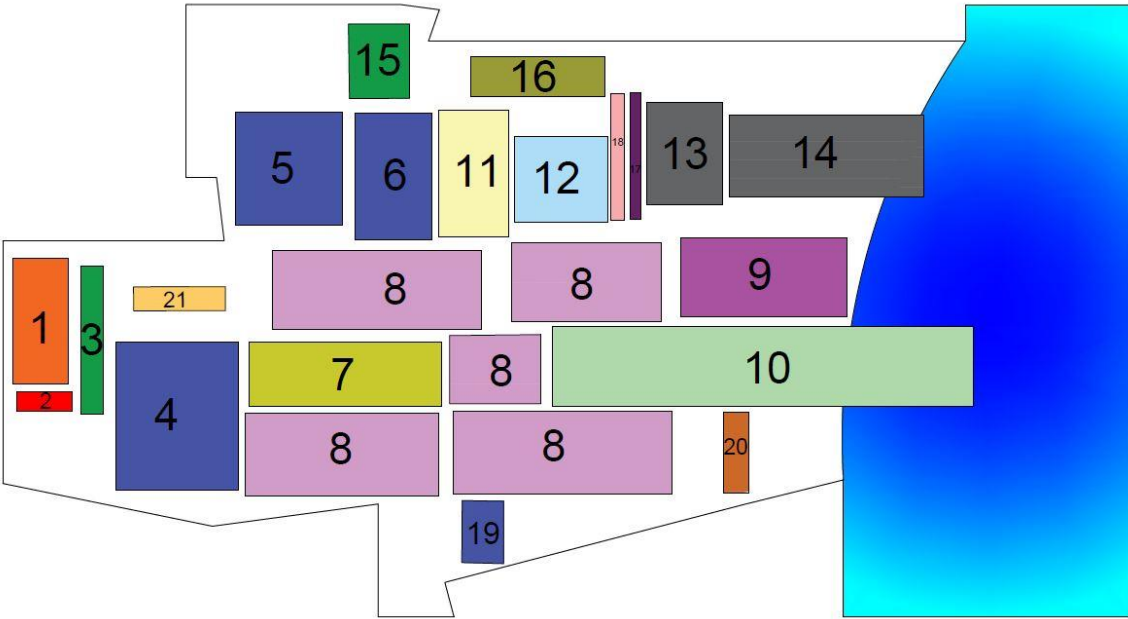
Şekil A.7: Alternatif -6 yerleşim planı (SYP-5, %66,30).



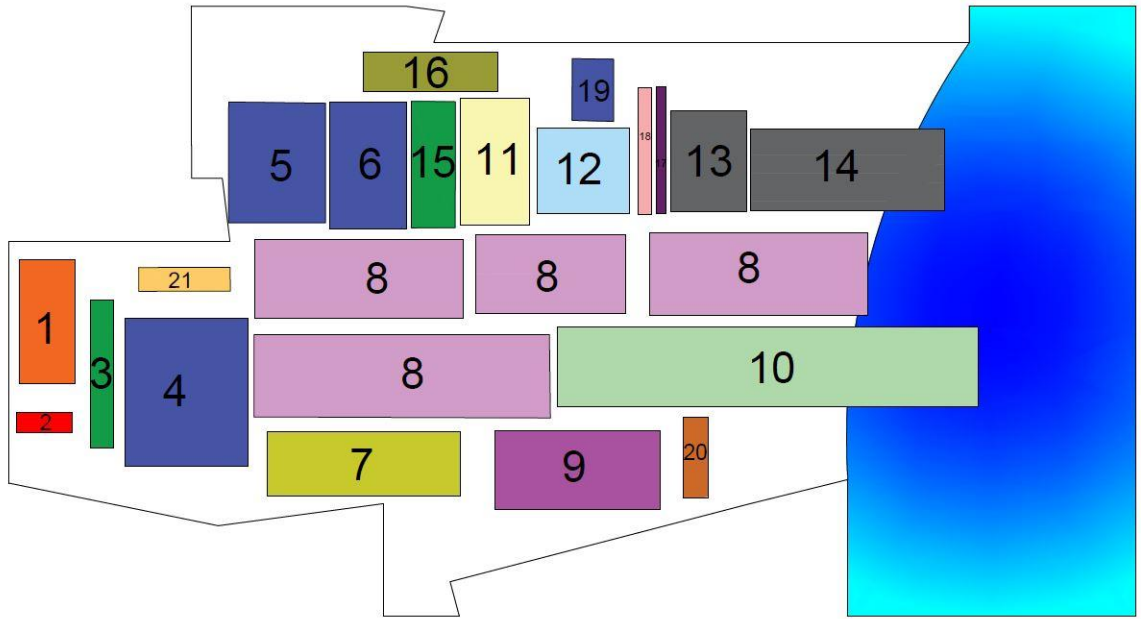
Şekil A.8: Alternatif -7 yerleşim planı (SYP-2, %65,21).



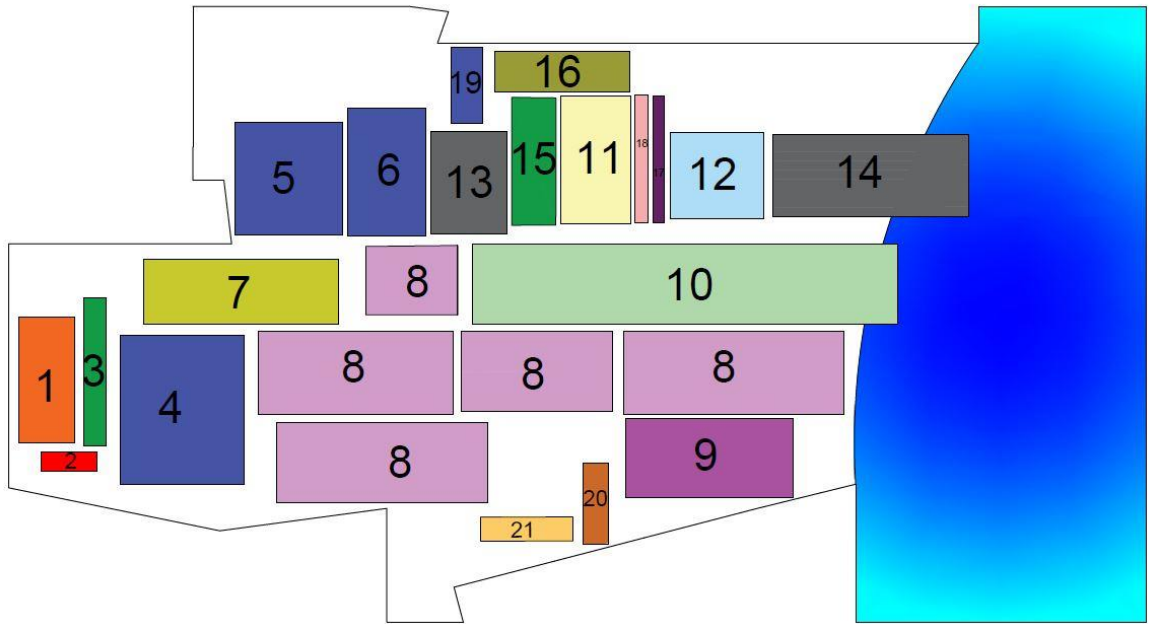
Şekil A.9 : Alternatif-8 yerleşim planı (SYP-6, %63,76).



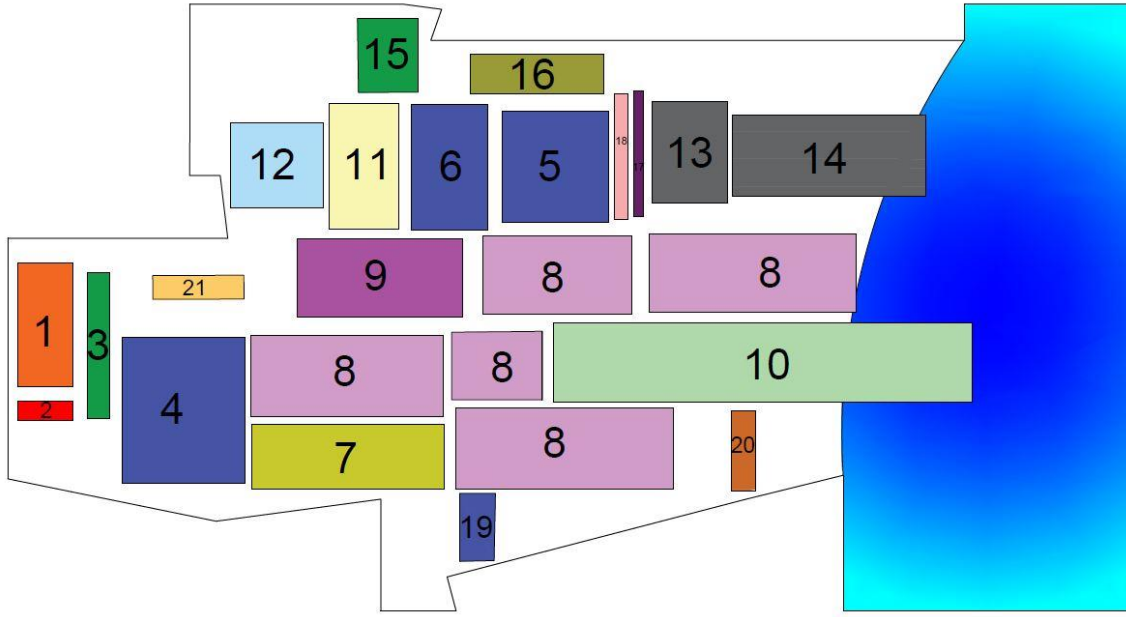
Şekil A.10 : Alternatif-9 yerleşim planı (Graf -teorik Yaklaşım-1, %61,96).



Şekil A.11 : Alternatif-10 yerleşim planı (Graf-teorik Yaklaşım-2, %60,14).



Şekil A.12 : Alternatif-11 yerleşim planı (SYP-7, %60,14).



Şekil A.13 : Alternatif-12 yerleşim planı (SYP-1, %56,88).

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Salim TAMER

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği
- **Yüksek lisans** : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı, Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2011-2021 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi' nde araştırma görevlisi olarak çalıştı.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Tamer, S.**, Barlas, B., Gunbeyaz, S. A., Kurt, R. E., & Eren, S. 2023. Adjacency-Based Facility Layout Optimization for Shipyards: A Case Study. *Journal of Ship Production and Design*, 39(01), 25-31.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Tamer, S.**, Barlas, B., Belik, O. 2017. Yüzen Bir Yapının Düzenli Dalgalarda Hidroelastik Analizi, *UMTMK 20. KONGRE*, Eylül 5-9, 2017 Bursa, Türkiye.
- **Tamer, S.**, Barlas, B., Belik, O. 2018. Hydroelastic Response of a Container Ship in Irregular Waves, *3rd International Naval Architecture and Maritime Symposium*, Nisan, 2018 İstanbul, Türkiye.
- **Tamer, S.**, Barlas, B., Yalcin, U. 2019. A Sample Ship Manufacturing Facility Layout Optimization Based On CRAFT, *3rd International Naval Architecture and Maritime Symposium*, Mayıs, 2019 Konya, Türkiye.
- **Tamer, S.**, Barlas, B., Yalcin, U. 2019. Esnek Gemi Modelleri ile Gemi Davranışlarının Deneysel Çalışmalarına Yönelik Bir İnceleme. *GIDBE-Dergi*, 16, 3-16.

- **Tamer, S.,** Barlas, B., Gunbeyaz, A. S. 2021. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliğinde Uygulamaları. *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi*, 220, 54-68.
- Okumus, D., **Tamer, S.,** Gunbeyaz, S. A., Kurt, R. E., Barlas, B., Turan, O., Yildiz, G., Fariya, S. 2022. Lloyd's Register Foundation Project's Final Report 2022 Project title: The effect of the learning curve on the HSE and efficiency. *Technical Report*, Report number: Sg4/100029
- Okumus, D., Fariya, S., **Tamer, S.,** Gunbeyaz, S. A., Yildiz, G., Kurt, R., ve Barlas, B. The Impact of Fatigue on Shipyard Welding Workers' Occupational Health and Safety and the Performance. *Ocean Engineering*, 285(1), 115296.

