

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN
ÖNCELİK KURALI TABANLI GENETİK ALGORİTMA
YAKLAŞIMIYLA SİMÜLASYON DESTEKLİ OPTİMİZASYONU**

Erdal AYDEMİR

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim KORUCA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2009**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Bu çalışma jürimiz tarafından ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda oybirliği ile YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Gültekin ÖZDEMİR

Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü



Üye: Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim KORUCA

Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü



Üye: Yrd. Doç. Dr. Tuncay YİĞİT

Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü



Bu tez 09/01/2009 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

... / .../20..

Prof. Dr. Fatma KOYUNCU
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	iii
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Üretim ve Üretim Sistemleri	1
1.2. Üretim Çizelgeleme	4
1.2.1. Atölye Tipi İmalat Sisteminde Çizelgeleme	7
1.2.2. Akış Tipi İmalat Sisteminde Çizelgeleme.....	8
2. KAYNAK ÖZETLERİ	10
2.1. Çizelgeme Problemlerinde Genetik Algoritma Yönteminin Kullanımı.....	10
2.2. Çizelgeme Problemlerinde Simülasyon Yönteminin Kullanımı	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Atölye Tipi Üretim Sistemi Uygulama Örneği	18
3.2. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri	21
3.2.1. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözüm Zorluğu.....	23
3.2.2. Atölye Tipi Çizelgeleme Sürecinde Öncelik Kuralları	24
3.2.2.1. İlk Gelen İlk Servis Alır (İGİS)	25
3.2.2.2. Son Gelen İlk Servis Alır (SGİS).....	25
3.2.2.3. En Kısa İşlem Süresi (EKİS)	25
3.2.2.4. En Uzun İşlem Süresi (EUİS)	26
3.2.2.5. En Erken Teslim Zamanı (EETZ).....	28
3.2.2.6. En Az Kalan Operasyon Sayısı (EAKOS)	30
3.2.2.7. En Çok Kalan Operasyon Sayısı (EÇKOS)	30
3.2.2.8. En Kısa Kalan İşlem Süresi (EKKİS)	32
3.2.2.9. En Uzun Kalan İşlem Süresi (EUKİS).....	33
3.2.2.10. Rassal Seçim (RS).....	35

3.3. Genetik Algoritmalar	36
3.3.1. Kodlama (Encoding) İşlemi	40
3.3.2. Popülasyon (Population) Oluşturma	41
3.3.3. Uygunluk Değerinin (Fitness Function) Hesaplanması	41
3.3.4. Üreme (Reproduction) İşlemi	42
3.3.5. Çaprazlama (Crossover) İşlemi.....	42
3.5.5.1. İkili kodlama Düzeninde Çaprazlama Yöntemleri.....	43
3.5.5.2. Sıralı Kodlama Düzeninde Çaprazlama Yöntemleri.....	44
3.3.6. Mutasyon (Mutation) İşlemi	46
3.3.7. Seçim (Selection) İşlemi	47
3.3.7.1. Rulet Tekeri Seçim Yöntemi.....	48
3.3.7.2. Rank Seçim Yöntemi	49
3.3.7.3. Kararlı Hal Seçim Yöntemi.....	50
3.3.7.4. Seçkinlik (Elitizm) İşlemi	51
3.3.8. Durdurma (Termination) Kriteri	51
3.4. Simülasyon Yöntemi ve Faborg-Sim Simülasyon Yazılımı	52
3.4.1. Simülasyon Yöntemi.....	52
3.4.2. Faborg-Sim Simülasyon Yazılımı.....	56
3.5. Geliştirilen Eniyileme Modülü.....	58
3.5.1. Öncelik Kuralı Tabanlı Genetik Algoritma Çözüm Yaklaşımı.....	58
3.5.2. Faborg-Sim Öncelik Kuralı Tabanlı GA Eniyileme Modülü.....	63
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	71
4.1. Araştırma Bulguları.....	71
4.2. Tartışma	76
5. SONUÇ	78
6. KAYNAKLAR	81
EKLER.....	89
ÖZGEÇMİŞ	108

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN ÖNCELİK KURALI TABANLI GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMIYLA SİMÜLASYON DESTEKLİ OPTİMİZASYONU

Erdal AYDEMİR

**Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Jüri: Yrd. Doç. Dr. Gültekin ÖZDEMİR
Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim KORUCA (Danışman)
Yrd. Doç. Dr. Tuncay YİĞİT

Bir ürünün imalat sürecinde iş akış planı üzerinde yer alan işlemlerin, üretim sisteminde en kısa zamanda tamamlanması ve müşteriye teslim edilmesi, işletmelerin temel hedeflerinden biridir. Birden fazla ürünün üretildiği bir üretim sisteminde, siparişlerin müşteriye teslim zamanlarına göre çizelgelenmesi problemlerinin çözümü için farklı yöntem ve kurallar uygulanmaktadır.

Bu tez çalışmasında; üretim sistemlerinde müşteri siparişlerinin tamamlanması için atölye tipi çizelgeleme problemlerinde öncelik kuralı tabanlı genetik algoritma (GA) yaklaşımıyla iş akış planında yer alan işlemlerin, simülasyon destekli olarak toplam tamamlanma zamanını ya da en son işin sistemi terk etme zamanını minimize etmeye çalışan bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım modülü, “Fabrika Organizasyonu, Üretim Sistemi Yapılandırma ve Performans Ölçmeye Yönelik Simülasyon Yazılımı Geliştirilmesi” TÜBİTAK araştırma projesi kapsamında geliştirilmiş olan Faborg-Sim simülasyon yazılımına entegre edilmiştir.

Kalorifer kazan imalatı yapan bir işletmenin Faborg-Sim yazılımında başlangıç modeli oluşturulmuş ve firma verilerine göre ilk gelen ilk servis alır (İĞİS) öncelik kuralına göre başlangıç simülasyonu yapılmıştır. Daha sonra diğer öncelik kuralları ve öncelik kuralı tabanlı GA sezgisel yöntemi ile toplamda on üç test modeli oluşturulmuştur. Bu test modellerinin amaç fonksiyonu olarak, en kısa toplam tamamlanma zamanını ve en son işin sistemi terk etme zamanının en kısa olmasını

dikkate alacak şekilde simülasyonu gerçekleştirilerek simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuçta, geliştirilen modül ile başlangıç simülasyonuna göre en kısa toplam tamamlanma zamanı amacını sağlayan daha iyi bir çözüm elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atölye Tipi Çizelgeleme, Öncelik Kuralları, Genetik Algoritmalar, Simülasyon

2009, 109 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

OPTIMIZATION OF JOB SHOP SCHEDULING PROBLEMS WITH PRIORITY RULE BASED GENETIC ALGORITHMS BY USING SIMULATION METHOD

Erdal AYDEMİR

**Süleyman Demirel University Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Industrial Engineering**

Thesis Committee: Asst. Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR
Asst. Prof. Dr. Halil İbrahim KORUCA (Supervisor)
Asst. Prof. Dr. Tuncay YİĞİT

One of the main goals of companies is to minimize completion times (makespan) of operations which are parts of orders that placed in flow diagrams. Different techniques and methods are used for solving scheduling problems of customer orders which are sequenced by due dates in production systems where many products are produced.

In this thesis, a priority rule based Genetic Algorithm (GA) is developed for optimizing job shop scheduling problems with the goal of minimizing total completion time of customer orders in Faborg-Sim simulation software. Faborg-Sim, “Development of Simulation Software for Facility Organizing, Production System Structuring, and Performance Measuring”, is a research project and is supported by the Scientific and Technology Research Council of Turkey (TUBITAK). An optimization software module is developed and integrated to Faborg-Sim herein.

An initial simulation model is used the priority rule of “First In, First Out” (FIFO) by Faborg-Sim for a company where has produced different types of heating products. Then, developed thirteen test models are run with other priority rules in priority rule based GA software. The simulation results are evaluated to optimize objective function. The developed priority rule oriented GA software found better solution for the minimum total completion time.

Key Words: Job-Shop Scheduling, Priority Rules, Genetic Algorithms, Simulation

2009, 109 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim KORUCA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimime ve akademik çalışmalarına katkılarından dolayı tez jürisi ve anabilim dalı başkanım Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Gültekin ÖZDEMİR'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, “Fabrika Organizasyonu, Üretim Sistemi Yapılandırma ve Performans Ölçmeye Yönelik Simülasyon Yazılımı Geliştirilmesi (Faborg-Sim)” başlıklı 104-M-377 nolu Tübitak-MAG Araştırma Projesi kapsamında projenin bir modülü olarak gerçekleştirilmiştir. Yazılım geliştirmede birlikte çalıştığım Öğr. Gör. Muhammed ÇAYIRLI'ya ve projeye desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Ayrıca, araştırma kapsamında faydalandığım her türlü kaynağın yazarlarına teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim-öğretim hayatımda olduğu gibi her zaman yanımda olan Aileme ve tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan, eşim Yasemin AYDEMİR'e desteği ve anlayışından dolayı sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Erdal AYDEMİR
ISPARTA, 2009

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Bir üretim sisteminin temel elemanları	1
Şekil 1.2	Endüstriyel üretim sistemleri	2
Şekil 1.3	Ürün değişkenliği ve üretim hacmi ile üretim sistemleri ilişkisi	3
Şekil 1.4	Yerleşim yapılarına göre üretim sistemleri	4
Şekil 1.5	Bir üretim sisteminde çizelgeleme fonksiyonun yeri	6
Şekil 3.1	Uygulama işletmesi atölye yerleşim planı	19
Şekil 3.2	KK045KY ürün iş akış planı	20
Şekil 3.3	Atölye tipi çizelgelemede makine ve iş (sipariş) Gantt şemaları	22
Şekil 3.4	Üretim sürecinde öncelik kuralları kullanımı	24
Şekil 3.5	EKİS ve EUİS öncelik kuralları için algoritma genel yapısı	28
Şekil 3.6	EETZ öncelik kuralı için algoritma yapısı	29
Şekil 3.7	EAKOS ve EÇKOS öncelik kuralları için algoritma genel yapısı	32
Şekil 3.8	EKKİS ve EUKİS kuralları için algoritma genel yapısı	35
Şekil 3.9	Konvansiyonel arama yöntemleri ile genetik algoritma yaklaşımının karşılaştırılması	37
Şekil 3.10	Genetik algoritmaların genel yapısı	38
Şekil 3.11	Üretim çizelgelemede kullanılan mutasyon operatörleri	47
Şekil 3.12	Rulet tekeri örneği	48
Şekil 3.13	Sıralama öncesi ve sonrası uygunluk ve dizi değerleri grafikleri	50
Şekil 3.14	Bir üretim simülasyon araştırmasının uygulama aşamaları	54
Şekil 3.15	Faborg-Sim simülasyon yazılımı genel yapısı	57
Şekil 3.16	Faborg-Sim simülasyon yazılımı kullanıcı arayüzü	57
Şekil 3.17	3 iş 3 makine atölye tipi üretim sistemi örneği	61
Şekil 3.18	Öncelik kuralı tabanlı yaklaşım örneği gantt şemaları	63
Şekil 3.19	Optimizasyon yöntemi seçim işlemi formu	64
Şekil 3.20	Öncelik kuralı optimizasyonu program arayüz formu	64
Şekil 3.21	Öncelik kuralı tabanlı GA optimizasyonu program arayüz formu	65
Şekil 3.22	Öncelik kuralı GA optimizasyonu çalışma algoritması	66
Şekil 3.23	GA algoritması sonuç tablosu örneği	68
Şekil 4.1	Öncelik kuralı GA parametreleri ve test modelleri bilgileri	72

Şekil 4.2	GA_09 test modeli için yazılım sonuç tablosu	75
Şekil 4.3	GA_09 modeli simülasyon sonucu Gantt şemaları	76
Şekil 4.4	Tamamlanma zamanlarının karşılaştırması	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1	Genetik algoritma ve çizelgeleme literatürleri.....	11
Çizelge 2.2	Simülasyon yöntemi ve çizelgeleme literatürleri.....	15
Çizelge 3.1	Simülasyon modelinde iş akış planı oluşturulan ürünler ve satış yüzdeleri	18
Çizelge 3.2	Üretim atölyesi çalışma saatleri	19
Çizelge 3.3	KK045KY ürün iş zaman etüdü tablosu	20
Çizelge 3.4	3 iş 3 makine atölye tipi çizelgeleme problem örneği	22
Çizelge 3.5	İkili düzende kodlama yapısı	40
Çizelge 3.6	Sıralı kodlama yapısı	40
Çizelge 3.7	Değer kodlama yapısı	41
Çizelge 3.8	Tek nokta çaprazlama yöntemi	43
Çizelge 3.9	İki nokta çaprazlama yöntemi	44
Çizelge 3.10	Pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi	44
Çizelge 3.11	Sıraya dayalı çaprazlama yöntemi	45
Çizelge 3.12	Kısmı eşlemeli çaprazlama yöntemi	45
Çizelge 3.13	Dairesel çaprazlama yöntemi	46
Çizelge 3.14	Öncelik kurallarının kodlanması	60
Çizelge 4.1	Simülasyon model bilgileri	71
Çizelge 4.2	Siparişlerin çalışma günlerine dağılımı	71
Çizelge 4.3	Kromozom dizi boyutunun belirlenmesi	73
Çizelge 4.4	Simülasyon koşum sonucu tamamlanma zamanları	73
Çizelge 4.5	Performans göstergeleri değerleri	72
Çizelge 4.6	Amaç fonksiyonu için en iyi sonucu kromozom bilgisi	75

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER DİZİNİ

C_t	t. iterasyonda çakışan operasyonların kümesi
f	Uygunluk Değeri
K	Bir işlemin kalan operasyonu
l	Kromozom uzunluğu
m/i	Makina/İş istasyonu sayısı
n/j	Sipariş/İş sayısı
p	Kromozom
p_c	Kromozom çiftlerinin çaprazlamaya tutulma olasılığı
PS_t	t. çizelgelenmiş operasyonların bir çizelge parçası
r	Rassal sayı
R^p	Parametre uzayı
s	Saniye zaman birimi
S	Kromozom uygunluk değerleri toplamı
S_t	t. iterasyonda PS_t için çizelgelenebilir operasyonların kümesi
t_{ij}	i. işin/siparişin j. makinadaki/iş istasyonundaki işlem süresi
σ_i	$i \in S_t$ olan i. perasyonun en erken başlayabileceği zaman
Φ_i	$i \in S_t$ olan i. operasyonun en erken tamamlanabileceği zaman

KISALTMALAR DİZİNİ

BY	Kat boyleri
CAD/CAM	Bilgisayar destekli tasarım/ Bilgisayar destekli imalat
CDS	Campbell, Dudek ve Smith algoritması
EAKOS	En az kalan operasyon sayısı
EÇKOS	En çok kalan operasyon sayısı
EETZ	En erken teslim zamanı
EKİS	En kısa işlem süresi
EKKİS	En kısa kalan işlem süresi

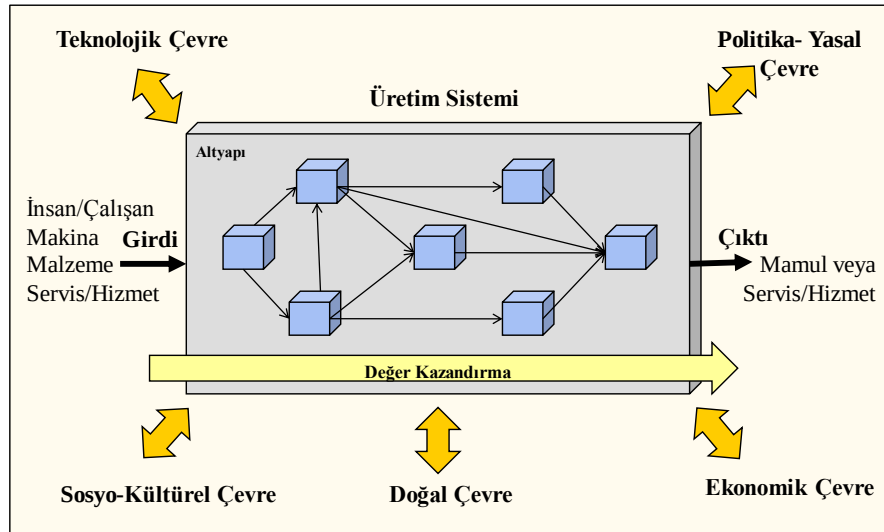
EUİS	En uzun işlem süresi
EUKİS	En uzun kalan işlem süresi
FABORG-SİM	Fabrika organizasyonu, üretim sistemi yapılandırma ve performans ölçmeye yönelik simülasyon yazılımı
GA	Genetik algoritma
GAST	Genetik algoritma tabanlı çizelgeleme aracı
İGİS	İlk gelen ilk servis alır
İSTKB	İş istasyonu kapasite kullanım oranı başarımı
KK	Kat kaloriferi
MK	Merkezi sistem kalorifer kazanı
NEH	Nawaz, Enscore ve Ham algoritması
NP-Zor	Polinom zamanlı çözümü zor olan
PERKKB	Personel kapasite kullanım oranı başarımı
RA	Hızlı geçiş algoritması
RS	Rassal seçim
SBİB	Süreçte bekleyen işler başarımı
SGİS	Son gelen ilk servis alır
TB	Tavlama benzetimi
TKB	Teslim kabiliyeti başarımı
TLB	Toplam lojistik başarımı
TÜBİTAK- MAG	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Mühendislik Araştırmaları Grubu
ÜDSB	Ürün dolaşım süresi başarımı
ÜDSSB	Ürün dolaşım süresi sapması başarımı
VDI	Alman Mühendisler Birliği

1. GİRİŞ

1.1. Üretim ve Üretim Sistemleri

Üretim, yeni bir fiziksel varlık veya hizmet ile sonuçlanan bir fayda yaratmak için girişilen faaliyet şeklinde tanımlanır (Kobu, 2006). Üretimi ekonomistler faydalı mal veya hizmet meydana getirme olarak tanımlarken, mühendisler ise, bir takım girdiler kullanarak değer artırıcı değişiklikler yapıp mamul veya hizmet oluşturma süreci olarak tanımlamaktadırlar (Engin, 2003).

Üretim süreci malzeme, sermaye, emek (iş gücü), makine ve yönetim bilgisinin ekonomik, sosyal, yasal ve pazar şartları altında mamul ve/veya hizmete dönüşümüdür. Üretim süreci temel elemanları Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



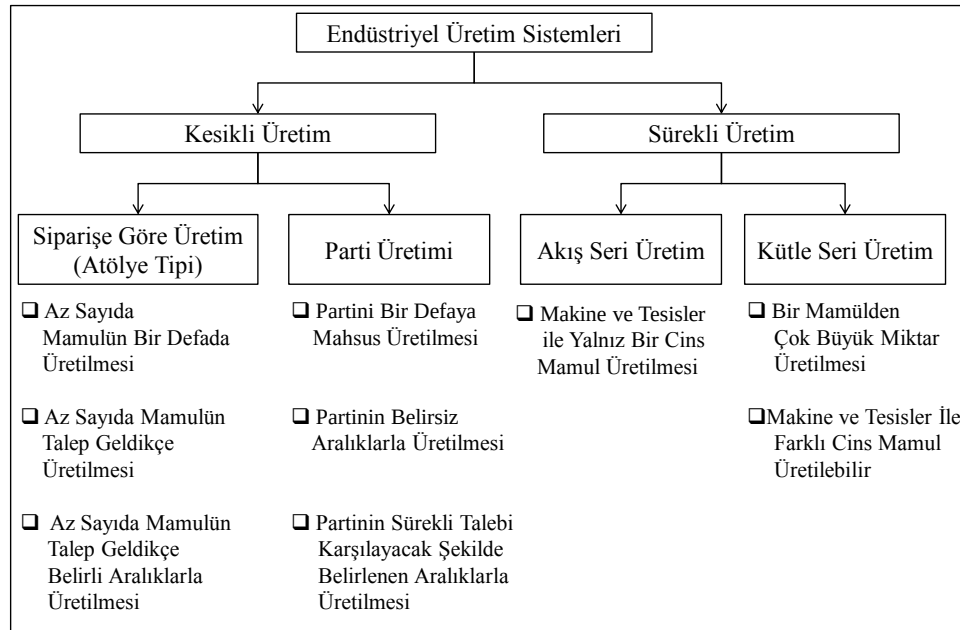
Şekil 1.1 Bir üretim sisteminin temel elemanları (Günther ve Tempelmeier, 2005)

Bir üretim prosesini karakterize eden kavramlardan en önemlileri aşağıda kısaca tanımlanmıştır (Kobu, 2006):

- *Verimlilik:* Kısaca bir üretim sisteminde birim girdi başına üretilen çıktı olarak ölçülür.
- *Etkinlik:* Bir üretim sisteminin amaçlarını gerçekleştirme derecesi olarak tanımlanır ve performans ile eş anlamda kullanılır.

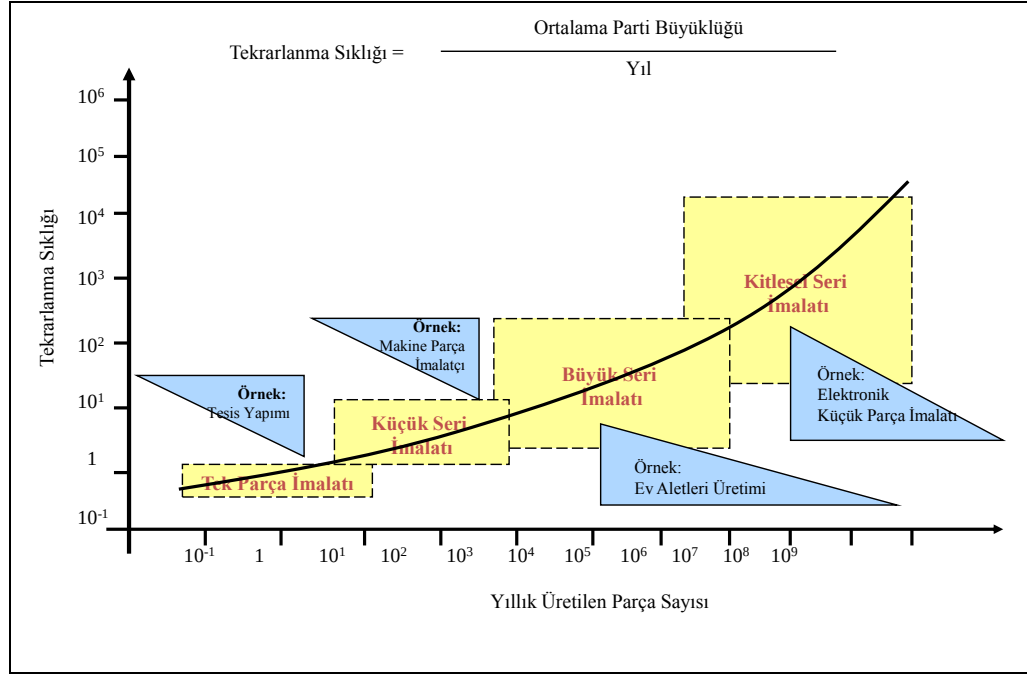
- *Kapasite*: Bir üretim sisteminin gerçekleştirebileceği üretim düzeyini ifade eder.
- *Esneklik*: Bir üretim sisteminin değişken taleplere cevap verebilmesi veya mamul üretimine kolay geçebilmesi şeklinde tanımlanabilir.

Üretim fonksiyonu mamul veya hizmet üretimi şeklinde temel olarak ikiye ayrılır. Burada mamul üretimi kendi içinde enerji, tarım, inşaat ve endüstriyel üretim olarak sınıflandırılabilir. Endüstriyel üretimin sınıflandırılması Şekil 1.2’de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 1.2 Endüstriyel üretim sistemleri (Engin, 2003)

Endüstriyel üretim sistemleri üretim akış tipine göre kesikli ve sürekli olmak üzere iki temel kısma ayrılır. Kesikli üretim, siparişe göre üretim ya da partiler/kafile büyüklükleri şeklinde üretim yapan sistemlerdir. Sürekli üretim ise, belirli tür ürünü bol miktarlarda belirli bir akış hızında seri ya da kütle seri üretimi şeklindedir. Ayrıca, ürün değişkenliği ve üretim hacmine göre endüstriyel üretim sistemlerinin Şekil 1.3’teki gibi sınıflandırılabilir.

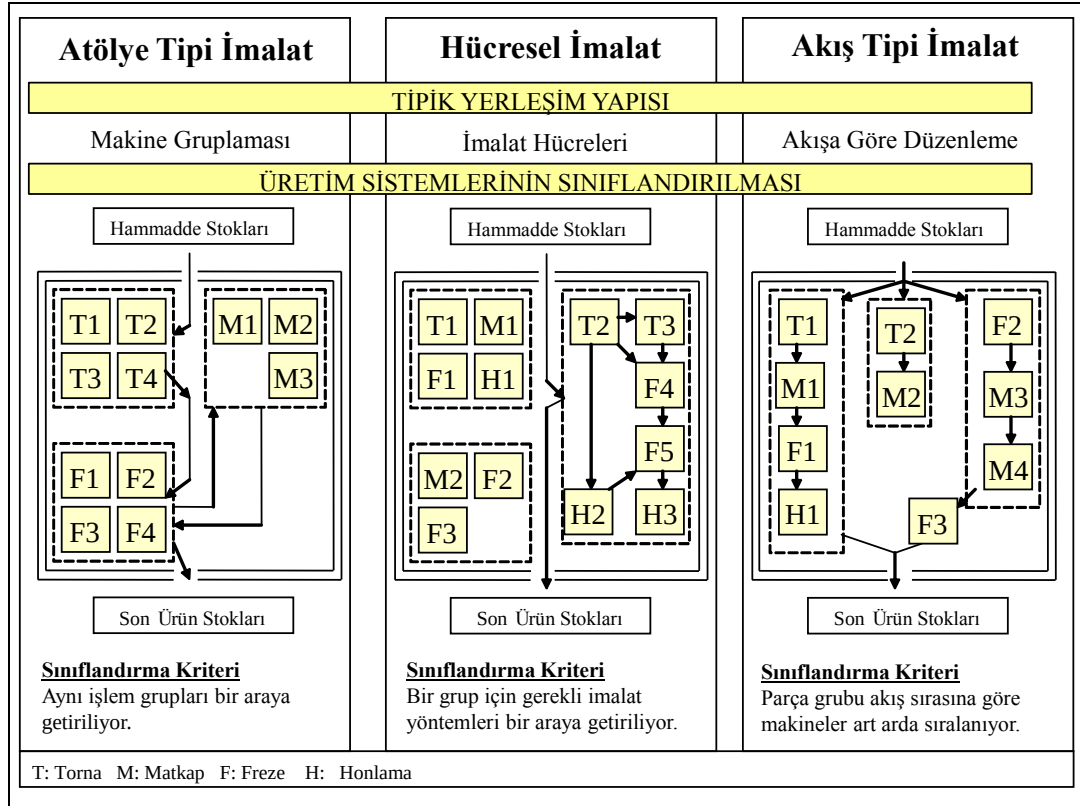


Şekil 1.3 Ürün değişkenliği ve üretim hacmi ile üretim sistemleri ilişkisi (Schuh, 2008)

Yıllık üretim miktarındaki artış ile sipariş tekrarlama sıklığı da artmaktadır. Üretim sistemleri, bu açıdan incelendiğinde; farklı üretim sistemi yapılarının olduğu görülür. Örneğin; bir elektronik donanım üreticisinin; yıllık üretim miktarı 100,000 adet ve üzerinde olacak şekilde yüksek sipariş tekrarlama sıklığı varsa “Kitleli Üretim” sistemine sahip olduğu kabul edilebilir.

Benzer şekilde, üretim miktarının ve sipariş tekrarlama sıklığının az/düşük veya orta düzeyde olduğu, sürece göre yerleşim planına sahip sipariş odaklı üretim sistemi durumunda ürün değişkenliği düşük ise “Bireysel Üretim” veya “Küçük Ölçekli Üretim” olarak kabul edilmektedir. Bir başka tanımda ise bu durumda olan üretim sistemleri genellikle Atölye Tipi (Siparişe Göre) Üretim sistemi olarak adlandırılmaktadır. Yüksek üretim miktarına sahip ve düşük ürün değişkenliği durumunda ise; ürüne göre üretim hattı yerleşim planı uygulanan “Büyük Parti Üretimi” sistemleri için “Akış Tipi (Seri) Üretim” sistemi sınıflandırılması yapılmaktadır. Ayrıca belirli üretim miktarı ve orta düzeyde ürün değişkenliği durumunda grup ya da hücre yerleşim planına sahip “Hücreli Üretim Sistemi” tercih edilmektedir (Schuh, 2008; Dilworth, 1996).

Fleischer (2005) tarafından imalat sistemlerinin yerleşim planlarına göre yapılan sınıflandırılması Şekil 1.4’te verilmiştir (Koruca, 2008).



Şekil 1.4 Yerleşim yapılarına göre üretim sistemleri (Koruca, 2008)

Üretim sistemleri yerleşim planı yapılarına göre sınıflandırıldığında, benzer işlemleri gerçekleştiren makinelerin gruplanması şeklindeki yerleşim yapısı “Atölye Tipi İmalat Sistemi” olarak tanımlanabilir. Ayrıca belirlenmiş bir amaç için gerekli olan farklı iş istasyonların bir araya getirilerek gruplar oluşturulması şeklindeki yerleşim yapısına “Hücreyel İmalat Sistemi” adı verilirken, üretilen ürün akış planına göre iş istasyonlarının art arda sıralandığı yerleşim yapısına sahip sistemler ise “Akış Tipi İmalat Sistemi” olarak sınıflandırılmaktadır.

1.2. Üretim Çizelgeleme

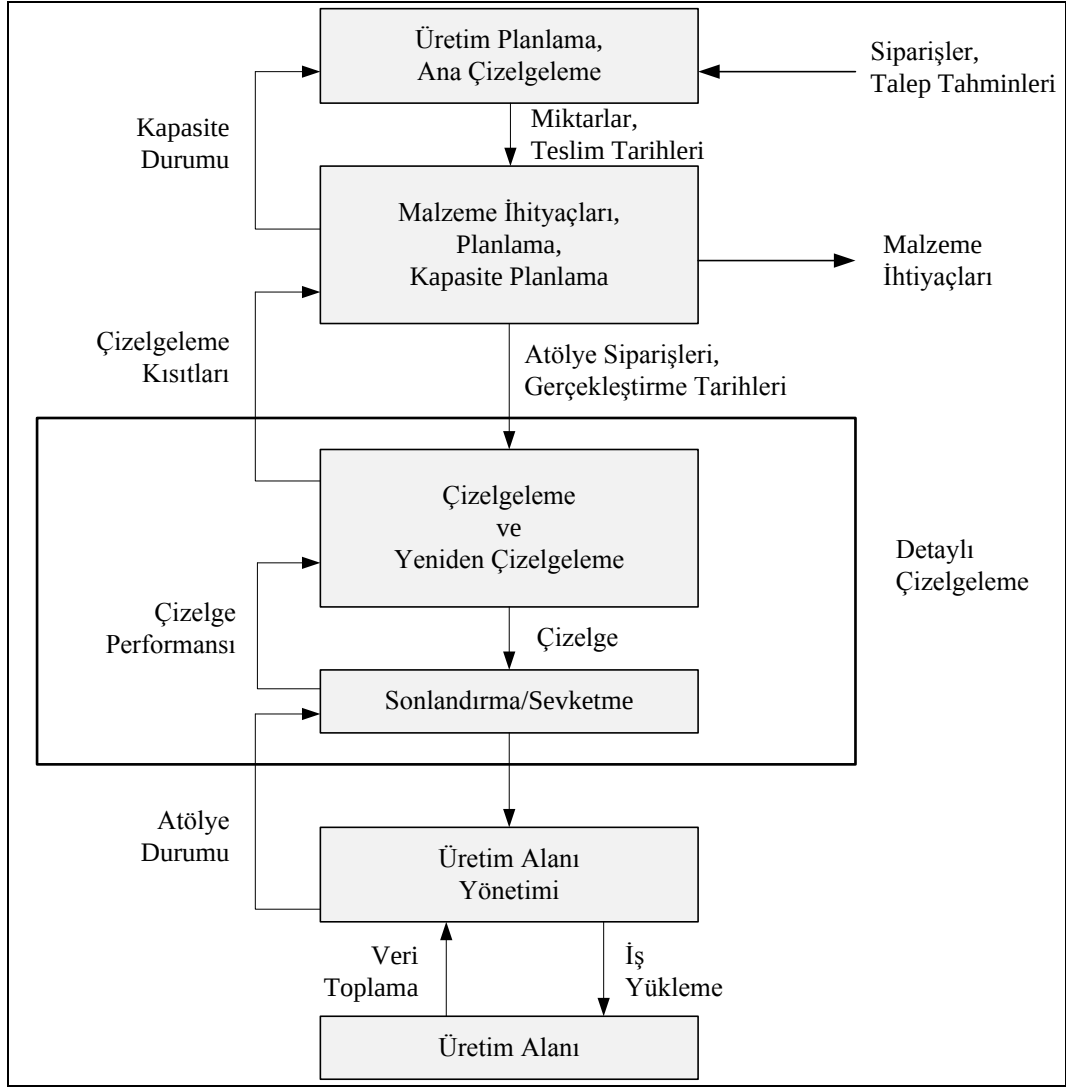
Son yıllarda endüstriyel teknolojiye sağlanan ilerlemeler; üretim ortamında birçok faktör etkisinin azaltılmasını sağlamaktadır. İşletmelerde daha kurulum aşamasından itibaren gerçekleştirilen faaliyetlerin ekonomiklik düzeyi ile geri dönüş süreleri tespit

edilmektedir. Bu gibi koşullar altında işletmelerin, müşteri ve pazar ihtiyaçlarına yönelik yüksek kalitede ürünler üretebilmek, rekabet edebilmek ve yaşamlarını devam ettirebilmek için daha verimli ve daha esnek bir yapıya sahip olmaları gerekmektedir.

İşletmeler pazar ve müşteri taleplerinde sürekli olarak meydana gelen değişiklikleri, kendi yapılarına uygun değişimi/dönüşümü sağlayarak, müşteri taleplerini en uygun şartlarda yerine getirmeyi istiyorlarsa; mevcut üretim organizasyon yapılarının verimlilik sınırlarını bilmek zorundadırlar. Üretim işletmelerinin pazar taleplerine cevap verebilecek esnekliğe kavuşması sürecinde, kendi üretim süreçlerinin düzenlenmesi ve bu süreçlerde işlenen iş parçalarının müşterinin ihtiyaçlarına şekillendirilmesi gerekmektedir. Genel olarak bu durum “müşteri odaklılık” olarak ifade edilmektedir. Sonuçta; hammaddenin tedarikçi pazarından ürüne dönüşmesi ve müşteri pazarına ulaşıncaya kadar, mevcut üretim proseslerinde müşterinin istediği ürünleri, yüksek kalitede düşük maliyet seviyelerinde üretmek ve de kısa üretim (geçiş) süresi, yüksek teslim doğruluğunda yerine getirmeye ve müşteri odaklı olmaya mecbur kalmaktadırlar (Koruca vd., 2004).

Gerek üretim öncesi gerekse üretime başladıktan sonra, kıt kaynakların daha etkin ve verimli kullanılmasında işletme süreçlerinden planlama süreci önemli bir yer tutmaktadır. Bu noktada talep ve kapasitenin yönetilmesini etkileyen birtakım faktörler bulunmaktadır. Üretim sistemleri tüm bu süreçlerde mevcut şartları karşılayarak sürekli iyileştirme yapısına sahip bir esneklikte olmak zorundadırlar. Bu amaca yönelik planlanan ve çizelgelenen birçok üretim aracı, tekniği ve yöntemi kullanılmaktadır.

Üretim çizelgeme, üretim sistemlerinde yapılacak işlem/işlem gruplarının hangi iş istasyonlarında, ne zaman ve nasıl gerçekleştirileceğimin belirlenmesidir. Verimlilik ve etkinlik sağlama açısından önemli bir işletme fonksiyonudur. Üretim sistemleri bilgi akışı sürecinde çizelgeme fonksiyonunun yeri Şekil 1.5’te verilmiştir (Pinedo, 1995).



Şekil 1.5 Bir üretim sisteminde çizelgeleme fonksiyonun yeri (Pinedo,1995)

Üretim çizelgeleme fonksiyonu, üretim sisteminde siparişlerin yani müşteri taleplerinin karşılanması süreci açısından önemlidir. Üretim planlama verileri ve atölye verileri arasında çizelgeleme fonksiyonu köprü vazifesi görür. Üretim planlamadan gelen sipariş bilgilerini (sipariş miktarı, başlama ve teslim zamanları vb.) mevcut atölye (üretim alanı) durumuna göre en iyi ve etkin çizelgenin belirlenmesini ve üretim planlama ile atölye yöntemine geri beslemesini sağlar.

Çizelgeleme, bir zaman düzlemi boyunca yapılması gereken görevler için bir veya daha fazla amacı iyileştirecek şekilde kısıtlı kaynakların atanması ve bu kaynakların atama etkinliğini ilgilendirir (Pinedo, 1995). Çizelgeleme problemlerinde genellikle iş istasyonu/tezgâh kapasitesi ve teknolojik kısıtlar olmak üzere iki tür kısıt vardır.

Çizelgeleme probleminin çözümü genelde bu iki tip kısıdın bir arada çözümüdür (Baker, 1974).

Üretim sistemi içerisinde çizelgeleme birçok faktörden etkilenmektedir. Örneğin; iş öncelikleri, teslim tarihleri, üretim seviyeleri, parti büyüklüğü sınırlamaları, öncelik kurallarının yanı sıra ihtiyaç üretimi, işlem karmaşıklığı, çizelgeleme kriteri, ihtiyaç tanımlama ve çizelgeleme ortamı vb. gibi unsurlar sayılabilir. Bu noktada çizelgelemeyi ilk önce etkileyen temel unsur sürecin planlanması işlemidir (Selam, 1996; Geyik ve Cedimoğlu, 1999).

Üretim sistemlerinde; atölye tipi, akış tipi, personel, sipariş, üretim planlama ve üretim organizasyonu yapılandırması gibi birçok uygulamada çizelgeleme kullanılmaktadır. Genel olarak süreç odaklı yaklaşımda, üretim çizelgeleme problemleri atölye tipi ve akış tipi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

1.2.1. Atölye Tipi İmalat Sisteminde Çizelgeleme

Genel atölye tipi çizelgeleme sisteminde, sonlu sayıda m tane iş istasyonunda işlenmek üzere yine sonlu sayıda n tane işi, önceden belirlenen bir sıra ve kapasite bulunmaktadır. Bu kısıtlar altında, belirli bir amaç fonksiyonunu optimum kılacak şekilde her bir işlemin başlama zamanının belirlenmesi atölye tipi çizelgeleme problemi olarak tanımlanabilir. Burada her bir siparişin iş istasyonlarına uğrayacağı sıra farklıdır. O yüzden temel iki kısıtla karşılaşılmaktadır. Öncelikle bir siparişin bir operasyonu bitmeden diğer operasyonunun başlayamaz ve aynı zamanda bir iş bir anda sadece bir iş istasyonu tarafından işlenebilir. İkinci olarak bir iş istasyonu aynı anda sadece bir siparişin bir operasyonunu gerçekleştirir (Şevkli ve Yenisey, 2006).

Bu kısıtlara ek olarak klasik atölye tipi çizelgeleme problemlerinde bazı varsayımlar bulunmaktadır (French, 1982):

- Bir operasyon işlem anında kesilemez, bölünemez.
- Her bir iş (sipariş) tamamlanıncaya kadar bütün operasyonları tamamlanmalıdır.

- Bütün siparişler, işlem süreleri ve iş istasyonları bilgileri tam olarak bilinmeli ve sıfır anından çalışmaya hazır olmalıdır.
- İşlem süreleri süreç sırasından bağımsızdır.
- Hazırlık ve taşıma süreleri işlem sürelerine dahil edilmiştir.
- İş istasyonları çizelgeleme başlarken boştur, asla bozulmazlar, bakım istemezler ve personel yokluğu çekmezler.
- Her iş istasyonu tipinden sadece bir tane vardır.
- Bütün işler eşit öneme sahiptir, öncelik sırası yoktur.

Pinedo (1995)'in ifadesiyle, eğer bir çizelgeleme problemini en iyi çözecek polinomsal bir zaman algoritması yoksa bu problemler NP-Zor (Non-Deterministic Polynomial Hard) olarak sınıflandırılır. Genel atölye tipi çizelgeleme problemi NP-Zor problem sınıfına girer (Rinnoy, 1976).

Bu çalışma kapsamında; atölye tipi çizelgeleme problemleri daha detaylı olarak Bölüm 3.2'de ele alınmıştır.

1.2.2. Akış Tipi İmalat Sisteminde Çizelgeleme

Akış tipi çizelgeleme, birbirinden farklı m makine ve n işin bulunduğu, her bir işin m operasyondan oluştuğu, her bir operasyonun farklı makinelerde yapıldığı ve bütün işlerin operasyonlarının aynı sıra ile yapıldığı çizelgeleme problemleridir (Engin, 2001).

İki makine n -iş problemleri için optimum çözüm veren ilk çalışmayı 1954 yılında Johnson tarafından yapılmıştır. Önerilen algoritma Johnson Algoritması olarak geçmektedir. Makine sayısının ikiden fazla olduğu durumlar için yapılan çalışmalarda problem sınıfının NP-Zor olmasından dolayı bazı sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir (Gen ve Cheng, 1997):

- Palmer Sezgisel Algoritması
- Gupta Sezgisel Algoritması
- Campbell Dudek ve Smith (CDS) Algoritması

- Hızlı Geçiş (RA (Rapid Access)) Algoritması
- Nawaz, Ensore ve Ham (NEH) Algoritması
- Gen, Tsujimura ve Kubota Yaklaşımı
- Reeves Yaklaşımı
- Ishibuchi, Yamamoto, Murata ve Tanaka Yaklaşımı.

Genel olarak, i . işin j . makinedeki işlem süresi t_{ij} olarak ifade edilir. Akış tipi çizelgeleme problemlerinde amaç, maksimum akış zamanının (makespan) enküçüklenmesi olarak tanımlanmakta ve çözüm ise bunu sağlayacak iş sırasının bulunmasından oluşmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Çizelgeleme ile ilgili literatür çalışmaları GA ve simülasyon uygulamaları olarak iki üst başlıkta toplanmıştır. İkinci sınıflandırma işlemi ise, problemin çözüm yöntemi esasına göre oluşturulmuştur. Ayrıca, araştırma alanlarına göre alt sınıflandırma grupları da yapılmıştır. Araştırma ya da çalışma alanı makine/atölye çizelgeleme, öncelik kuralları, üretim organizasyon yapılandırma ve personel çizelgeleme konularındaki çizelgeleme problemleri ele alınmıştır. Çalışma yöntemi ile ilgili olarak literatürde çizelgeleme problemlerinin çözümünde genetik algoritma yöntemi Bölüm 2.1’de ve simülasyon yöntemi Bölüm 2.2’de verilmiştir.

2.1. Çizelgeme Problemlerinde Genetik Algoritma Yönteminin Kullanımı

Literatür araştırmalarında çizelgeleme problemlerinin çözümünde genetik algoritma yönteminin sıkça kullanıldığı gözlenmiştir. Bu bölümde ilgili literatür çalışmaları hakkında özet bilgi verilmekte ve detaylı literatür çalışması Çizelge 2.1’de gösterilmektedir.

Çizelgeleme problemlerinin çözümünde, GA yaklaşımı ilk kez 1985 yılında Davis tarafından kullanılmıştır. Davis (1985) yaptığı çalışmada atölye tipi çizelgeleme problemleri için GA prosedürünü geliştirmiştir. Geliştirilen bu yapı daha sonraki çalışmalara temel olmuştur.

Çizelgelemenin, atölyeler için üretim yönetimi ve kombinatorial (çözüm kümesi kesikli karar değişkeni olan) optimizasyon (eniyileme) açısından önemli olduğunu belirtmişlerdir. Çizelgeleme kurallarını dikkate alan n iş ve m iş istasyonu/makina olduğu bir atölye için hibrid (melez) GA yaklaşımını komşuluk arama, tavlama benzetimi ve geleneksel GA ile sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Geliştirdikleri melez GA yönteminin daha verimli ve etkili sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir (Zhou vd., 2001).

GA yönteminin, karmaşık yapılı kombinatorial optimizasyon (eniyileme) problemlerinin çözümünde yüksek başarı sağladığı ve bu noktada genetik operatörlerin düzgün seçilmesinin önemli olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada geniş ölçekli çizelgeleme problemlerinde 5 farklı çaprazlama ve 6 farklı mutasyon operatörünün bilgisayarlı sonuçlarına etkileri araştırılmıştır. Sonuçta, en iyi çaprazlama ve mutasyon operatörünün seçimini gerçekleştirmiştir (Nearchou, 2004).

Çizelge 2.1 Genetik algoritma ve çizelgeleme literatürleri

Genetik Algoritmalar	Atölye ve/veya Akış Tipi Çizelgeleme	Davis 1985, Li vd. 1998, He ve Hui 2007, Watanabe vd. 2005, Iyer ve Saxena 2004, França vd. 2001, Damodaran vd. 2006, Sadegheih 2006, Sadegheih 2007, Nearchou 2004 , Zhou vd. 2001, Juo 2005, Moon vd. 2004, Chen ve Ji 2007, Malve ve Uzsoy 2007, Hu ve Chen 2005, Chang vd. 2007, Chen vd. 2008, Martin 2009, Gao vd. 2008, Gao vd. 2007, Vilcot ve Billaut 2008, Zhou vd. 2008, Manikas ve Chang 2008, Andresen vd. 2008, Chang vd. 2008
	Öncelik Kuralları	Essafi vd. 2008, Tay ve Ho 2008, Ramachandra ve Elmaghraby 2006, Chang vd. 2002, Dorndorf and Pesch 1995
	Üretim Sistemlerinin Yeniden Organizasyonu	Yeh ve Lin 2007, Chang vd. 2006, Ulusoy vd. 1997, Pezella vd. 2008, Zhou vd. 2001, Pongcharoen vd. 2002, Kaschel vd. 2002, Todd ve Sen 1999, Mendes vd. 2009, Jia vd 2007,
	Personel Çizelgeleme	Easton ve Mansour 1999, Juang vd. 2007, Beddoe ve Petrovic 2006,

Iyer ve Saxena (2004), GA arama sezgiselini bir akış tipi çizelgeleme probleminin toplam tamamlanma zamanını minimize edecek çözümü için farklı GA operatörlerinin etkilerini simülasyon destekli olarak karşılaştırmışlardır. Sadegheih (2006), atölye tipi çizelgeleme problemi için GA ve tavlama benzetimi sezgiselleri ile çözüm aramıştır. Amaç fonksiyonunu minimum yapan parametre değerlerinin, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin etkilerini incelemiştir.

Chang vd. (2006) yaptıkları çalışmada, toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı minimizasyonu amaç fonksiyonuna sahip tek makine çizelgeleme problemlerinin çözümünde olay-yüklemeli genetik algoritma kullanmışlardır. Başlangıç olayı diğer problem kümelerinden farklı olarak genetik algoritma kullanılarak oluşturulmuştur.

Damodaran vd. (2006), en son işin tamamlanma zamanını minimize etmeyi amaçlamışlardır. İşlerin büyüklükleri ve işlem süreleri biliniyor. İnceledikleri problem NP-Zor olduğundan GA yaklaşımı ile çözüm önermişlerdir. Sonuçta; GA yönteminin aynı problem için Tavlama Benzetimi (TB) sezgiselinden en son işin tamamlanma zamanı minimizasyonunda daha iyi sonuçları daha kısa koşum sürelerinde verdiğini elde etmişlerdir.

Pezzella vd. (2008), esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için bir genetik algoritma prosedürü geliştirmişlerdir. Başlangıç popülasyonu ve yeni bireylerin yeniden üretilmesinde farklı stratejileri algoritmaya entegre etmişlerdir. Bilgisayar sonuçlarına göre önerilen genetik algoritma yönteminin diğer bilinen genetik algoritma yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Ulusoy vd. (1997), birkaç iş merkezi içeren esnek imalat sisteminde bir ya da daha fazla otomatik yönlendirilmiş (kılavuzlandırılmış) araçların çizelgelemesini yapmışlardır. Eş zamanlı yapılan tanımlamalar ve çizelgeleme ile amaç son işin tamamlanma zamanını en küçüklemedir. Problemin çözümü için genetik algoritma yöntemini uygulamışlar ve 180 test problemi üzerinde elde ettikleri sonuçları yayınlamışlardır. Sonuçlara göre; geliştirilen GA yaklaşımı tanımlanan çizelgeleme problemi için etkin ve daha iyi sonuçlar vermektedir.

Li vd. (1998), üretim çizelgeleme ve planlama problemlerinde ürünün üretiminin geciktirilebileceği süre (bolluk) ya da gecikme ataması ile ilgili GA yaklaşımı yayınlamışlardır. Kapasite dengelemede çakışan sorunların başında parti büyüklüğünü dikkate alan bir metot geliştirmişlerdir. Yaptıkları karşılaştırmalarda yeni çizelgeleme şemasının inceledikleri problem için daha verimli ve etkili bir teknik olduğunu belirtmişlerdir.

Watanabe vd. (2005), atölye tipi çizelgeleme problemleri için düzenlenmiş genetik algoritma ile araştırma alanı adaptasyonunu test etmişler. Özellikle çaprazlama operatörü üzerinde yapılan çalışma da GA daha iyi sonuçlar vermiştir.

Pongcharoen vd. (2002), çoklu kaynaklı ve ürün yapı derinliği fazla olan karmaşık ürünlü sistemlerin çizelgelenebilmesi için GA tabanlı çizelgeleme aracı (GAST) geliştirmişlerdir. Algoritma ceza gecikmelerini minimize etmeye çalışmakta ve sistemdeki bileşenlerin montajı için gereken bileşenlerin sisteme daha erken tedarik edilmesine çalışmaktadır. Böylece GA ile teslim performansı yükseltilmiştir.

Juang vd. (2007), planlanmış çalışan eğitim programları için GA ile adaptif çizelgeleme sistemini bilgisayar destekli olarak makine endüstrisinde gerekli çalışanların eğitimi ve atamaları için geliştirmişlerdir.

Todd ve Sen (1999), maliyet ve zaman enküçüklemesi (minimizasyonu) ile kapasite kullanımı enbüyüklenmesinden oluşan çoklu amaç fonksiyonlarının değerlendirildiği GA ile dağıtılmış görev çizelgeleme ve yerleştirme problemine çözüm aramışlardır.

Malve ve Uzsoy (2007), GA yöntemini maksimum gecikmenin minimize edilmesi için paralel makineli sistemlerin çizelgelenmesinde rassal sayılarla oluşturulmuş kromozom yapısıyla dinamik iş/sipariş gelişlerini çözümlemeye çalışmışlardır. Makine sıralamada işlem ve teslim sürelerini dikkate almışlar ve sonuçta; GA yönteminin daha hızlı ve uygun çözümler verdiği tespit etmişlerdir.

Essafi vd. (2008), gerçekleştirme ve teslim tarihlerini dikkate alan atölye tipi çizelgeleme probleminde toplam ağırlıklı gecikme zamanının enküüklemesi problemini GA yöntemi ile çözmüşlerdir.

Dorndorf ve Pesch (1995), ilk defa öncelik kuralı tabanlı genetik algoritma yaklaşımı ile atölye tipi çizelgeleme problemi çözüm prosedürü geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritma, bu tez çalışmasının çözüm algoritması kapsamında Bölüm 3.5.1’de detaylı açıklanmıştır.

Gao vd. (2007), esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinde minimum tamamlanma zamanı, maksimum makine iş yükünün minimizasyonu ve toplam iş yükünün minimizasyonu amaçlarına göre yenilikçi yerel arama prosedürü geliştirmişler ve GA yönteminde melez algoritma ile vardiya ve darboğazlarında özümlemler elde etmişlerdir.

Vilcot ve Billaut (2008), genel atölye tipi çizelgeleme problemlerine hızlı ve seçkinlik (elitist) GA yöntemi ve tabu araştırması ile çözüm aramışlardır. Başlangıç popölasyonu rassal olarak oluşturdukları uygulamada elde ettikleri bilgisayarlı test sonuçlarına göre GA ve tabu araştırması yöntemlerinin her ikisi de etkili ve etkin çözüm metodu geliştirmişlerdir.

Tay ve Ho (2008), çok amaçlı esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde sonlandırma/öncelik kurallarını dikkate alarak genetik programlama arayüzü geliştirmişlerdir. Tek bir kural ile minimum tamamlanma zamanı, ortalama gecikme ve ortalama akış zamanı amaçlarına yönelik özümlemler elde etmişlerdir.

Jia vd. (2007), işlerin partilere/kafile büyüklüklerine bölündüğü ve her birinin farklı fabrikalarda işlendiği dağıtılmış üretim ortamında süreç planlarının daha iyi operasyon izelgesi GA yaklaşımına Gantt şeması entegrasyonu ile küçük ve orta büyüklükte çizelgeleme problemlerine çözüm aramışlar ve Gantt şemalı GA yaklaşımının performansını değerlendirmişlerdir.

2.2. Çizelgeme Problemlerinde Simülasyon Yönteminin Kullanımı

Bu bölümde; çizelgeleme problemlerinin çözümünde simülasyon yönteminin kullanıldığı literatür hakkında özet bilgi verilmekte ve detaylı literatür çalışması Tablo 2.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 Simülasyon yöntemi ve çizelgeleme literatürleri

Simülasyon	Akış ve/veya Atölye Tipi Çizelgeleme	Xing vd. 2008, Mönch ve Zimmermann 2007, Pfeiffer vd. 2007, Tavakkoli-Moghaddam ve Daneshmand-Mehr 2005, Thiagarajan ve Rajendran 2005, Allaoui ve Artiba 2004, Li ve Shaw 1998,
	Öncelik Kuralları	Yıldırım vd. 2006, Li vd. 2000,
	Üretim Sistemlerinin Yeniden Organizasyonu	Zeng ve Yang 2008, Gharbi ve Kenne’ 2005, Dimitri vd. 2001, Zhang ve Li 2004,
	Personel Çizelgeleme	Yeh ve Lin 2007, Badri vd. 1997, Lin 1999,

Tavakkoli-Moghaddam ve Daneshmand-Mehr (2005), atölye tipi çizelgeleme problemlerinde en son işin sistemi terk etme zamanının minimizasyonu amacına yönelik Visual SLAM programlama dilinde bir simülasyon modeli kurmuşlardır. Elde edilen sonuçları literatürde yer alan diğer sonuçlarla karşılaştırmalı olarak yayınlamışlar ve model çıktılarını analiz etmişlerdir.

Allaoui ve Artiba (2004) yaptıkları çalışmada; NP-Zor problemlerin optimizasyonunun simülasyon yöntemine entegrasyonu ile ilgili iş istasyonu bozulma/ara verme zamanlarına sezgisel yaklaşımlarının etkileri tespit edilerek, NEH sezgisel yaklaşımının şartlarından daha iyi sonuçlar elde etmeyi amaçlamışlardır.

Gharbi ve Kenne (2005) çoklu-makine üretim sistemi için önleyici bakım kontrolü ve üretim kontrolü problemi üzerinde iki seviyeli hiyerarşik kontrol modeli

oluşturmuşlardır. Organizasyon yapısında üretim ve bakım kontrolü açısından yenide düzenlenmesi için öneriler sunmuşlardır.

Yıldırım vd. (2006) esnek imalat sistemlerinde paralel yapay sinir ağları yöntemiyle kaynak kullanımı, gelen müşteri siparişlerin teslim tarihi atamalar ve öncelik kuralları gibi süreçlerde karar verme mekanizması oluşturmuşlardır.

Yeh ve Lin (2007), hastanelerin acil bölümlerinde servis kalitesinin iyileştirilmesi, çalışan hemşire ve ilave personelin çizelgelenmesi için simülasyon yöntemiyle genetik algoritma yöntemini uygulamışlardır. Simülasyon modeli hasta akış verisine göre oluşturulmuştur. Hastaların kuyrukta bekleme süresi kısalması ve hasta bakımı ile hasta memnuniyeti yükseldiğini belirtmişlerdir.

Dimitri vd. (2001) yaptıkları çalışmada, üç seviyeli insan-makine üretim sistemi için bir optimal kontrol modeli oluşturmayı amaçlamışlardır. Geliştirdikleri simülasyon modeli sonuçlarını gerçek insan-makine üretim sisteminde düzenlemeye çalışarak fabrika modeli geliştirmişlerdir.

Li ve Shaw (1998), bir görsel interaktif simülasyon modeli AWESIM kesik olay modelleme aracı ile kurmuşlardır. Arıza zamanlarını inceleyerek, bir dinamik atölye tipi üretim ortamında iş istasyonlarındaki kuyrukların yeniden çizelgelemesini gerçekleştirmişlerdir.

Mönch ve Zimmermann (2007), organize edilmiş çok ajanlı sistemlerde karmaşık atölye yapısında üretim kontrolü için bir adaptasyon tekniği önermişlerdir. Paralel makinelerde vardiya darboğazları üzerinde çizelgelemeyi simülasyon tabanlı atama ile gerçekleştirmişlerdir.

Li vd. (2000), atölye tipi yeniden çizelgeleme problemi üzerinde düzgün olmayan iş, makine durmaları, yeniden işlemeden kaynaklanan kalite problemi ve hatalı siparişler gibi bulanık ve rassal gelişen dört farklı üretim problemini uzman bir simülasyon sistemi kurarak araştırmışlardır. Kurdukları uzman simülasyon sistemi;

birçok simülasyon tekniği, yapay sinir ağları, uzman bilgisi ve sonlandırma/öncelik kuralları entegrasyonundan oluşmaktadır.

Pfeiffer vd. (2007) yeniden çizelgeleme metotlarının test, doğrulama ve kıyaslama işlemleri için simülasyon tabanlı değerlendirme tekniği önermişlerdir. Dinamik ve stokastik çizelgeleme problemlerinin mümkün çizelge çevrelerini belirlemişlerdir. Tek ya da çok makineli atölye tipi çizelgeleme problemleri için endüstriyel bir uygulama ile önerdikleri metodu değerlendirmişlerdir.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Atölye Tipi Üretim Sistemi Uygulama Örneği

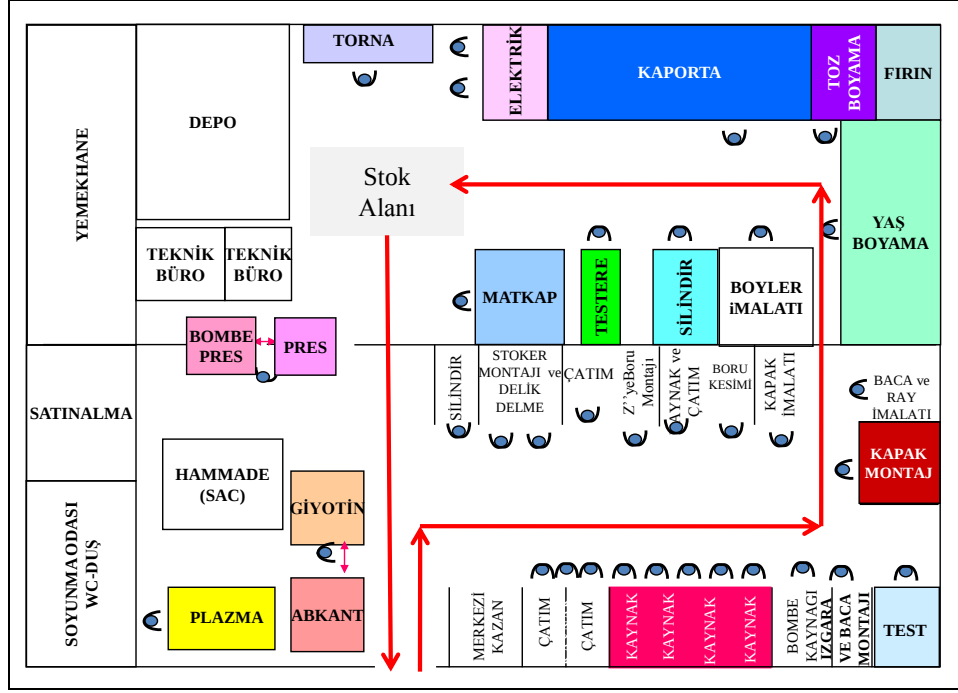
Uygulama işletmesi, Kat Kaloriferi (KK), Merkezi Kalorifer Kazanı (MK) ve kalorifer peteğinden su girişi ile sıcak ısıtıcısı olan Boyler (BY) ürünlerini sıvı, gaz ve katı yakıtlı olmak üzere farklı ısı kapasitelerinde imal etmektedir. Müşteri taleplerine göre seçilen ve simülasyon modelinde incelenen ürünler ve satış yüzdeleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Faborg-Sim’de aşağıdaki ürünlerin iş akış modelleri oluşturulmuş ve zaman etüdü çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.1 Simülasyon modelinde iş akış planı oluşturulan ürünler ve satış yüzdeleri

Etüt No	Ürün Kodu	Ürün Adı	Yakıt Tipi	Satış Yüzdesi
1	KK045KY	45 Bin Kcal/h Kat Kaloriferi	Katı Yakıt	% 70 - 80
2	KK080KY	80 Bin Kcal/h Kat Kaloriferi	Katı Yakıt	
3	KK160KS	160 Bin Kcal/h Stokerli Kat Kaloriferi	Katı Yakıt	
4	MK250KY	250 Bin Kcal/h Merkezi Kazan	Katı Yakıt	% 20 - 30
5	MK250SY	250 Bin Kcal/h Merkezi Kazan	Sıvı Yakıt	
6	BY060DP	60 Lt Boyler	Depolama	% 5 - 10

Çizelge 3.1’e göre işletmenin satış yüzdesi dağılımlarına uygun olarak ürün gruplarından 45 bin, 80 bin kcal’lık kat kaloriferleri, 160 bin kcal/h stokerli kat kaloriferi, merkezi kazan grubundan 250 bin kcal katı ve sıvı yakıtlı kazanlar ile 60 lt’lik boyler ürünlerinin iş etütleri yapılmış ve iş akış planları çıkarılmıştır. Ek-1’de verilmiştir. İşletmede 700 ve 800 bin Kcal/h veya 1,5 milyon kcal kapasiteli kazanların üretimi ise siparişe göre gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, en çok sipariş alınan ürünler incelenmiştir.

Fabrikanın yerleşim planı Şekil 3.1’de verilmiştir. Soyunma odaları, teknik büro ve yemekhane üst katında (2. Kat) Yönetim Kurulu, Satış, Muhasebe, Pazarlama, Finans vb. yönetim birimleri yer almaktadır. Ayrıca üretim atölyesi çalışma saatleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

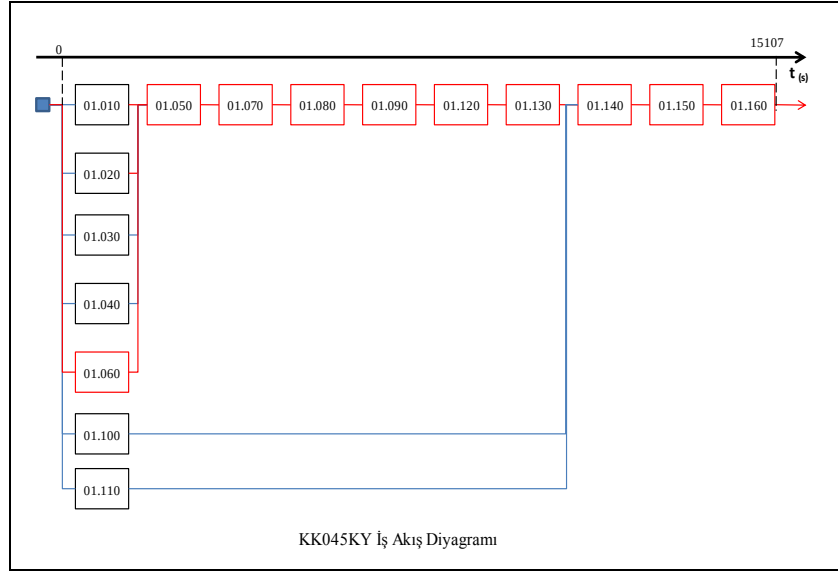


Şekil 3.1 Uygulama işletmesi atölye yerleşim planı

Çizelge 3.2 Üretim atölyesi çalışma saatleri

Başlama	Bitiş	Açıklama
08:00	10:15	Çalışma
10:15	10:30	Mola (Çay)
10:30	12:30	Çalışma
12:30	13:30	Öğle Yemeği
13:30	15:30	Çalışma
15:30	15:45	Mola (Çay)
15:45	17:30	Çalışma

İşletme üretim atölyesi bir iş gününde toplam 8 sa (480 dk.) aktif olarak çalışmaktadır. Çalışma kapsamında; fabrikadaki iş etüdü çalışmalarından elde edilen KK045KY ürünü için oluşturulan iş akış planı Şekil 3.2’de ve hazırlık ve işlem sürelerinden iş zaman etüdü verileri Çizelge 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.2 KK045KY ürün iş akış planı

Çizelge 3.3 KK045KY ürün iş zaman etüdü tablosu

Ürün Kodu	İşlem Kodu	İş İstasyonu	İş İstasyonu Paralel Birim Sayısı	Personel Paralel Birim Sayısı	Yapılan İş	İşlem Süresi (s)	
						Hazırlık Süresi	İşlem Süresi
KK045KY	01.010	M1_PLAZMA	1	1	Öcak (İç Gövde), U Parça, Z Parça, Z Yeri Parçası, Manto Ön-Arka, Yan ve Üst Sacları, Kesme ve Delme işlemleri, ayrıca Baca Sandığı Gövde ve Yan Kısımları, Üst-Alt ve Fırl Kapakların Kesme, Köşe Çıkarma, Gözetleme ve Kol Yeri Delme İşlemleri	87	509
	01.020	M2_ABKANT	1	1	Sac Levhaların Bükülmesi ve Kıvrılması	125	714
	01.030	M3_GİYOTİN	1	1	Köşebent ve bazı U Sacları, Baca Çemberi Sacı, Temizleme Kapağı Sacı, Ray, Taban Sacı, Hava Kanalı, Türbülötör Sac Kesme	43	189
	01.040	M4_PRES	1	1	Mantolarda Markalama ve Bombeleme ile Temizleme Kapağı Bombeleme	137	522
	01.050	M5_ÇATIM	3	3	Öcak-U Montajı, Z-Z Yeri-Köşebent Montajı, Manto Montajı, Takviye Atma, Alın Sacı Montaj İşlemlerinden Oluşan Genellikle Çatım Adı Verilen Birleştirme	313	2029
	01.060	M6_TESTERE	1	1	2. ve 3. Geçiş Boruları, İzgara Mili Kesme	59	1886
	01.070	M7_TEST	1	1	a) Çatımdan Çıkan Yarı Mamul halde Sızdırmazlık ve Basınç-Sızdırmazlık Testi (01.070).	143	1260
	01.090				b) Son ürün Boyama ve Son Montaj Öncesi Yarı Mamul Halde Sızdırmazlık ve Basınç-Sızdırmazlık Testi (01.090).	89	897
	01.080	M8_KAYNAK	4	4	Bombe doldurma, Baca Sandığı-Çemberi Montajı, Ray Montajı, İzgara Montajı, Lama Montajı, Kapakların Gövde Montajları ve Stoker Sac Kaynak Birleştirme	1543	4032
	01.100	M9_ELEKTRİK	1	1	Elektrik Pano İmalatı	44	931
	01.110	M10_KAPORTA	1	1	Kaporta İmalatı	59	220
	01.120	M11_BOYAMA	1	1	Yaş ve Toz Boyama	156	458
	01.130	M12_FIRIN	1	1	Toz Boyama Fırınlama	43	1195
	01.140	M15_SONMONTAJ	1	1	Kaporta, Pano, Kapak Fırleri ve Yardımcı Malzemelerin Montajı Modele Göre Kül Teknesi, Stoker ve Redüktör Montajı	69	331
	01.150	M16_SONKONTROL	1	1	Teslimat Öncesi Son Kontrol işlemi	19	243
	01.160	M17_AMBALAJ	1	1	Ürün Tüm Aşamaları Tamamlanmış Olarak Teslimata Hazırlama ve Teslimat Tipine Göre Ambalajlama	31	311
Toplam İş Yüğü						2960	15727

Üretim atölye sistemi, 17 temel iş istasyonunda paralel iş istasyonları dahil toplam 22 iş istasyonun ve bu iş istasyonlarında görevli 22 personelden oluşmaktadır. Bu iş istasyonlarında gerçekleştirilecek atamalar: işlemler, işlem-iş istasyonu matrisinde, görevli personel ise iş istasyonu-personel matrisinde tanımlanmaktadır. Ayrıca işlem grupları ile oluşturulan fonksiyonları yerine getirecek personelin görevlendirilmesi fonksiyon-personel matrisiyle, ayarlanan işletme vardiya düzeni için personel ataması personel-çalışma saatleri matrisi ile gösterilmiştir.

3.2. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri

Çizelgeleme problemleri arasında atölye tipi çizelgeleme problemleri, sınıflandırma bakımından en karmaşık yapılı olanıdır. Çünkü belirli bir siparişe (işe) ait işlem sayısı hakkında hiçbir kısıtlama yoktur ve alternatif olarak kabul edilecek birçok üretim rotaları da bulunur. Atölye tipi çizelgelemede her sipariş farklı makinelerde işlenmek üzere kendine özgü işlem ve işlem sıralarına sahiptir (Biroğul, 2005).

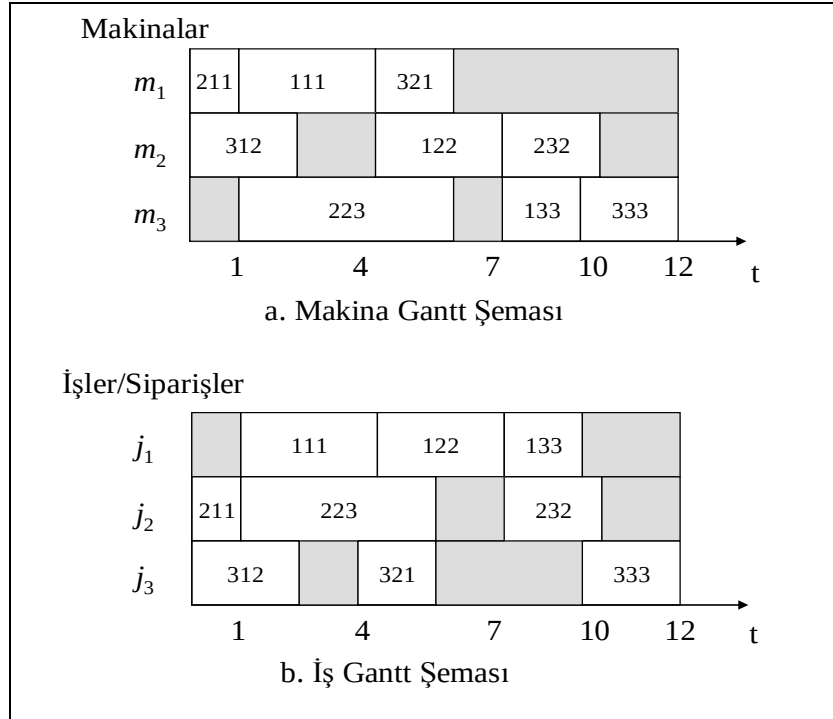
Klasik atölye tipi çizelgeleme problemi sonlu sayıda iş kümesi J_i 'nin ($i=1,2,...,n$) sonlu sayıda tezgah kümesi M_j ($j=1,2,...,m$) üzerinden önceden belirlenen bir iş akışı ve kapasite kısıtlarını yerine getirerek, belirli bir başarı ölçütünü (minimum tamamlanma zamanı, maksimum kapasite kullanımı vb.) eniyileyecek şekilde her işlem için bir başlama zamanı ($t_{ij} \geq 0$ olacak şekilde) belirlenmektedir.

Atölye tipi çizelgelemede problem çözümünün gösteriminde, genel olarak Gantt şemaları kullanılır. Uygun çizelge şekli Gantt şemaları ile ifade edilir. Genellikle iki tip Gantt şeması vardır: a) Makine Gantt şeması ve b) İş (Sipariş) Gantt şeması. Bir 3 iş 3 makine atölye tipi çizelgeleme problem örneği Çizelge 3.4 'te verilmiştir. Burada j işi veya ürünün (sipariş), o j işine ait operasyonu/işlemi ve m ise bu operasyonun yapılacağı iş istasyonu ya da makinayı ifade eder. O halde 321 indeksi 3. işin 2. operasyonu 1. makinada işlenir demektir (Pinedo, 1995; Gen ve Cheng, 1997).

Çizelge 3.4 3 iş 3 makine atölye tipi çizelgeleme problem örneği

İşleme Zamanları				Makina Sıraları			
Operasyonlar				Operasyonlar			
İş	1	2	3	İş	1	2	3
j_1	3	3	2	j_1	m_1	m_2	m_3
j_2	1	5	3	j_2	m_1	m_3	m_2
j_3	3	2	3	j_3	m_2	m_1	m_3

Uygun çizelgenin makina ve iş Gantt şemalarında çözüm gösterimi Şekil 3.3'te ki gibidir. Zaman düzlemi boyunca işlerin operasyonları ilgili makinada çizelgelenmiştir.



Şekil 3.3 Atölye tipi çizelgelemede makine ve iş (sipariş) Gantt şemaları

Çizelgeme problemleri çözüm sonucunun görsel gösteriminde genel olarak Gantt şemaları kullanılmaktadır. Bu noktada kullanıcı ya da karar verici sistemin temel

elemanları iş istasyonu/makine ve personeller hakkında çalışma ve boşta kalma durumlarını izleyebilmektedir.

3.2.1. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözüm Zorluğu

Son yıllarda kombinatorial problemlerin çözülmesinde, sezgisel yöntemlerin uygulanması giderek artmaktadır. Sezgisel yöntemlerin en büyük avantajları arasında çözüm zamanının çözüm tekniğine göre çok kısa olması ve her tür problem için kolay bir şekilde adapte edilmeleri gösterilebilir. Dezavantajları ise bu yöntemlerin optimum çözümü garanti etmemesi ve iyi bir çözüm verebilmesi için bir çok parametrenin uygun bir şekilde ayarlanması söylenebilir (Şevkli ve Yenisey, 2006).

Pinedo (1995) bir çizelgeleme problemini en iyi çözecek etkin, yani polinom zamanlı bir çözüm algoritması yoksa bu problemler NP-Zor olarak sınıflandırılır. Genel atölye tipi çizelgeleme problemleri NP-Zor problem sınıfına girer (Rinnoy, 1976). Sistemden en son işin tamamlanma zamanı yada en son işin sistemi terk ettiği zamanın minimizasyonu amaçlı atölye tipi çizelgeleme problemleri klasik kombinatorial optimizasyon problemidir ve genellikle NP-Zor sınıfında kabul edilir.

Atölye tipi çizelgeleme problemlerinde n iş(sipariş) m makine olmak üzere mümkün çizelgelerin sayısı $(n!)^m$ 'dir. Burada makine ve iş sayısı arttıkça çizelge sayısı çok fazla artacaktır. Bu yüzden atölye çizelgeleme problemleri NP-Zor problemler olarak kabul edilir ve optimal çözümleri bulmak zor olduğundan genellikle çözüme yönelik bir takım sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir.

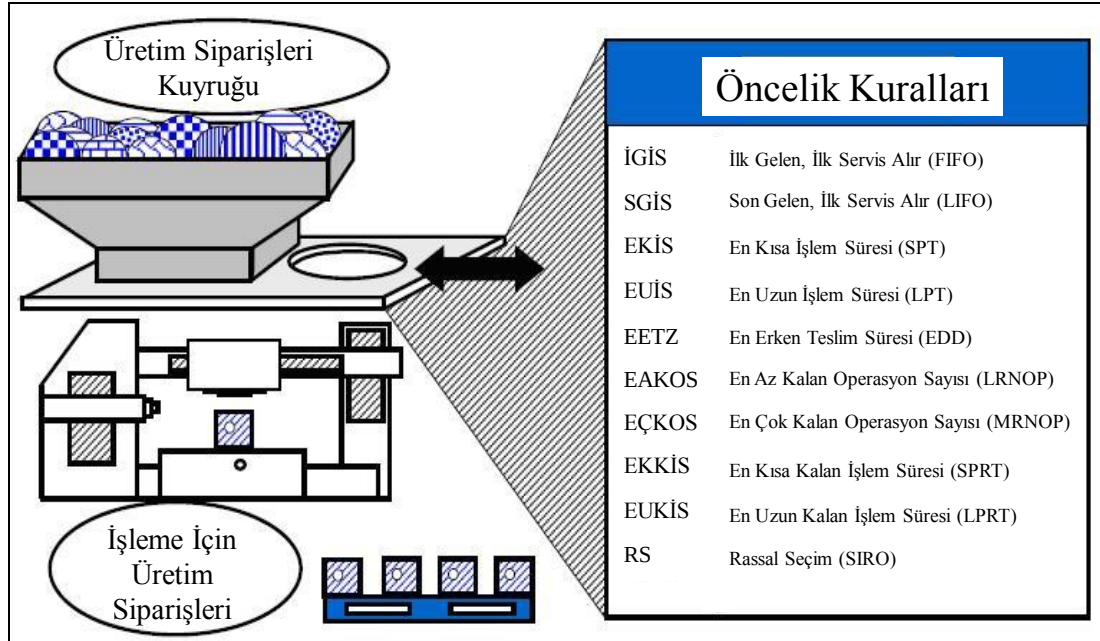
Uygulamada 6 iş 6 makine atölye tipi çizelgeleme problemi $(6!)^6 = 1,4 \cdot 10^{17}$ farklı çözüm vardır. Bu çözümün zorluğunu Biegel and Davem (1990) tarafından dünyanın yaşı argümanı ile kanıtlanmaya çalışılmıştır. Dünyanın 20 milyar yaşında varsayımıyla; $20 \cdot 10^8 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 6,31152 \cdot 10^{17}$ saniye ya da $6,3 \cdot 10^{23}$ mikro saniye yaşındadır.

Günümüzdeki bilgisayarlar her bir mikro-saniyelik zamanda bir çizelgeleme çözümü yapabilecek kapasitede olmalıdır. Bu durumda bile örneğin tek makinede 24 işin çizelgelenmesi $24! = 6,2 \cdot 10^{23}$ sayısı kadar farklı çözüm içermektedir. Bu değere bakıldığında tek makine 24 iş (sipariş) çizelgeleme problemi çözümü için bile dünyanın başlangıcından günümüze kadar geçen bir süre gereklidir (Biegel ve Davem, 1990).

3.2.2. Atölye Tipi Çizelgeleme Sürecinde Öncelik Kuralları

Çizelgeleme problemlerinde sıralama yapılırken bazı kurallar dikkate alınır. Sevketme ve/veya öncelik kuralları atölye tipi çizelgeleme problemlerinde sıkça uygulanır. Öncelik kurallarına göre siparişlere ait operasyonları çizelgelemede sıralanır.

Üretim siparişleri sisteme geldiğinde üretime geçilmeden önce sistemde birikir. Daha gelen siparişler bazı öncelik kurallarına göre üretim siparişleri için sıralama planlaması yapılır. Bu durum, tez çalışmasında kullanılan öncelik kuralları entegre edilmiş olarak Şekil 3.4'te gösterilmiştir (Schuh, 2008).



Şekil 3.4 Üretim sürecinde öncelik kurallarının kullanımı (Schuh, 2008)

3.2.2.1. İlk Gelen İlk Servis Alır (İGİS)

Çizelgelemede sisteme ilk gelen işin ilk önce çizelgelenmesi öncelik kuralıdır. Böyle bir sıralama siparişlerin geliş sıralarına göre servis görmeleri anlamına gelir. Sistem birinci sipariş ile başlar ve son siparişe kadar sırasıyla çizelgelenir.

3.2.2.2. Son Gelen İlk Servis Alır (SGİS)

Çizelgelemede sisteme son gelen işin ilk önce çizelgelenmesi öncelik kuralıdır. Böyle bir sıralama siparişlerin geliş sıralarına dikkate alarak son sipariştten başlayarak ilk siparişe kadar işler sırasıyla çizelgelenir.

3.2.2.3. En Kısa İşlem Süresi (EKİS)

En kısa işlem süresi olan işlemi seçmeye yönelik öncelik kuralı ile toplam akış süresinin minimum olması amaçlanır. n tane iş/sipariş m tane makinede minimum tamamlanma zamanına göre çizelgelenmek istendiğinde her bir işin/siparişin ilk işlemlerinden en kısa olanı EKİS olarak seçilerek çizelgelemeye başlanır. Algoritma yapısı aşağıda verilmiştir:

Adım 1. Öncelikle müşteri siparişleri sisteme girilir. Her bir siparişte yer alan ilk işlemler ve operasyon süreleri bilindiğinden, tüm siparişler arasında en kısa işlem süresine sahip operasyon ilgili makinede çizelgelenir. Eğer sistemde en küçük aynı işlem süreli birden fazla operasyon varsa; sıralama rassal (tesadüfi) ya da belirlenecek yeni bir kurala göre sıralanabilir. Mevcut sistemimiz için bu seçim kriteri rastsal olarak kabul edilmiştir.

Adım 2. Bir sonraki çizelgeleme de çizelgelenen işlem ilgili sipariştten çıkartılır. i. sipariş için takip eden işlemler ve diğer siparişlerin ilk işlemleri sıralanır. En küçük işlem süresine göre çizelgeleme yapılır. Eğer ardışık işlemler aynı iş istasyonunda ise iş istasyonları arasında Geçiş Süresi oluşmaz.

Burada dikkate alınması gereken siparişlerin iş akışlarına göre takip edilmesidir. Tüm siparişler işlemleri tamamlanuncaya kadar Adım 1' i ve Adım 2'ye tekrarla.

Adım 3. Çizelgeleme tamamlandıktan sonra her bir iş istasyonu için siparişlerin bittiği toplam süre (Tamamlanma Zamanı) ile o zaman aralığı boyunca işlemde geçen süreler tespit edilir. Daha sonra İşlemde Geçen Süreler / Akış Zamanı'na oranı ile her bir iş istasyonu için Kullanım Oranları elde edilmiş olur.

3.2.2.4. En Uzun İşlem Süresi (EUIS)

En uzun işlem süreli olan işlerin en erken işlenmesine yönelik öncelik kuralı EUİS ile genellikle paralel makinelerde yük dengeleme için yapılan çizelgeleme problemlerinde kullanılır. Toplam tamamlanma süresinin en küçüklenmesi n tane iş/sipariş m tane makinede minimum tamamlanma zamanına göre çizelgelenmek istendiğinde her bir işin/siparişin ilk işlemlerinden en uzun olanı EUİS olarak seçilir. Algoritma yapısı aşağıda verilmiştir:

Adım 1. Öncelikle müşteri siparişleri sisteme girilir. Her bir siparişte yer alan ilk işlemler ve operasyon süreleri bilindiğinden, tüm siparişler arasında en uzun işlem süresine sahip operasyon ilgili makinede çizelgelenir. Eğer sistemde en uzun aynı işlem süreli birden fazla operasyon varsa; sıralama rassal ya da belirlenecek yeni bir kurala göre sıralanabilir. Mevcut sistemimiz için bu seçim kriteri rastsal olarak kabul edilmiştir.

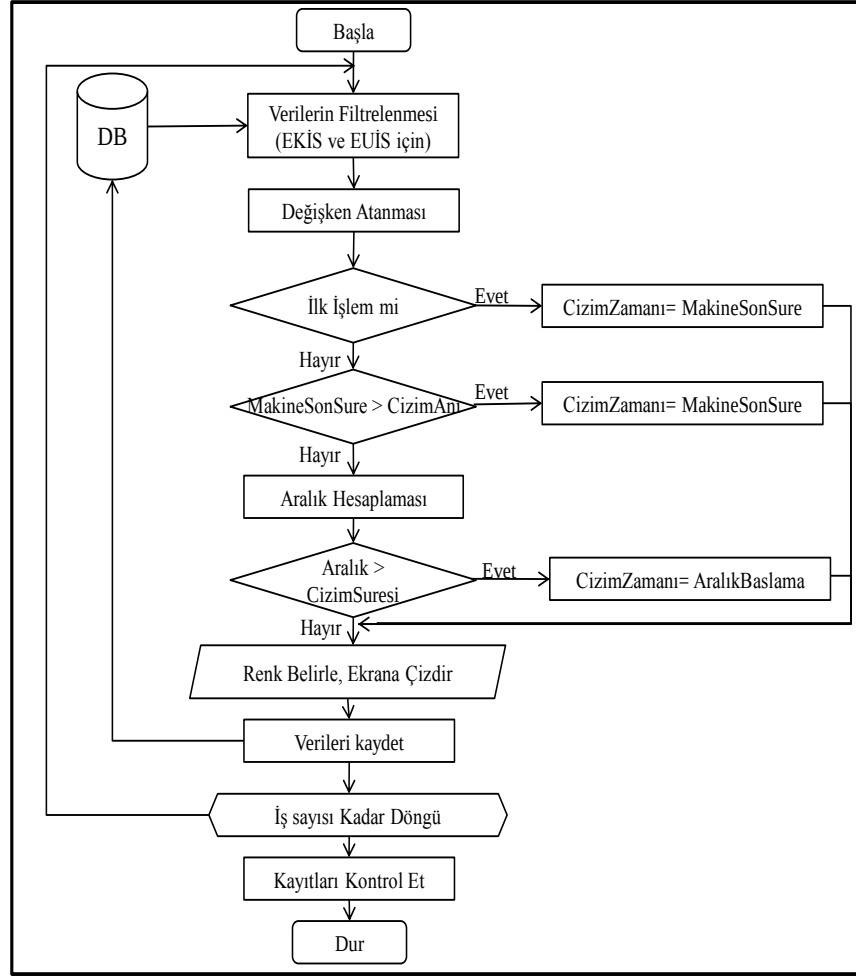
Adım 2. Bir sonraki çizelgeleme de çizelgelenen işlem ilgili sipariştan çıkartılır. i. sipariş için takip eden işlemler ve diğer siparişlerin ilk işlemleri sıralanır. En uzun işlem süresine göre çizelgeleme yapılır. Eğer ardışık işlemler aynı iş istasyonunda ise iş istasyonları arasında Geçiş Süresi oluşmaz. Burada dikkate alınması gereken siparişlerin iş akışlarına göre takip edilmesidir.

Tüm siparişler işlemleri tamamlanıncaya kadar Adım 1' i ve Adım 2'ye tekrarla.

Adım 3. Çizelgeleme tamamlandıktan sonra her bir iş istasyonu için siparişlerin bittiği toplam süre ile o zaman aralığı boyunca işlemde geçen süreler tespit edilir. Daha sonra İşlemde Geçen Süreler / Akış Zamanı'na oranı ile her bir iş istasyonu için Kullanım Oranları elde edilmiş olur.

EKİS ve EUİS Algoritması: İşlemler sıralanırken sistem verileri EKİS ya da EUİS için filtrelenir. Değişkenler atanır. Sistem her bir sipariş için işlem sürelerine göre çizelgelendiğinden, işlemlerin iş akış planı sırası dikkate alınır. Bu sayede sistemde işlerin sırasını dikkate alınarak EKİS ya da EUİS'i uygulanmış olur. Çizelgeleme boyunca atılan her bir atama için çizim zamanı not edilir. Bu zaman sıradaki operasyon için başlama zamanının belirlenmesini sağlar ve işlem süresi sonunda ilgili operasyon için bitiş zamanı tespit edilmiş olur.

Sırası gelen işlem için ait olduğu siparişe (iş) göre çizelgelemedeki rengi belirlenir ve ekrana Gantt şeması şeklinde çizdirilir. Daha sonra tüm sistem verileri veritabanında saklanır ve buradaki döngü tüm işlerin önceden belirlenmiş EKİS veya EUİS'ne göre tamamlanıncaya kadar devam eder. Bu durumu gösteren genel algoritma yapısı Şekil 3.5'te verilmiştir.

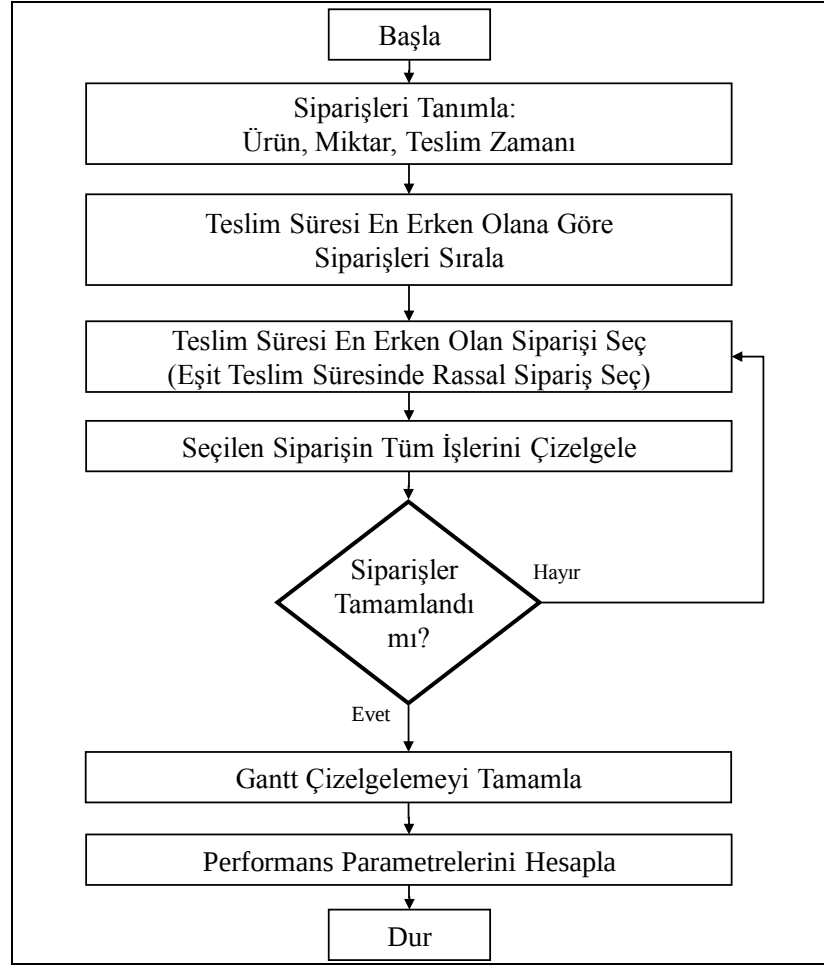


Şekil 3.5 EKİS ve EUİS öncelik kuralları için algoritma genel yapısı

Sonuçta; algoritmanın kullanıldığı yazılım ile her bir siparişin (işin) tüm operasyonlarını sipariş miktarı kadar ilgili makinelerle göre Gantt şeması üzerinde çizelgelenmiş olur.

3.2.2.5. En Erken Teslim Zamanı (EETZ)

En Erken Teslim Zamanı (EETZ) Öncelik Kuralı; en erken teslim süresine sahip olan işler önce çizelgelenir. Bu sayede teslim kabiliyeti artmış ve dolayısıyla müşteri memnuniyetinin yükselmesi beklenir. Algoritma yapısı Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6 EETZ öncelik kuralı için algoritma yapısı

Adım 1. Öncelikle müşteri siparişlerinden teslim zamanları sisteme girilir. Teslim zamanı en kısa olan sipariş sisteme ilk önce alınır. Eğer sistemde aynı teslim zamanlı birden fazla sipariş varsa; sıralama rastal ya da belirlenecek yeni bir kurala göre sıralanabilir. Mevcut sistemimiz için bu seçim kriteri rastal olarak kabul edilmiştir.

Adım 2. Seçilen siparişin tüm işlemleri iş akış sırasına göre atanan iş istasyonlarında gerçekleştirilir. Eğer ardışık işlemler aynı iş istasyonunda ise iş istasyonları arasında Geçiş Süresi oluşmaz. Tüm siparişler işlemleri tamamlanuncaya kadar Adım 1' i ve Adım 2'ye tekrarlar.

Adım 3. Çizelgeleme tamamlandıktan sonra her bir iş istasyonu için siparişlerin bittiği toplam süre ile o zaman aralığı boyunca işlemde geçen süreler tespit edilir. Daha sonra İşlemde Geçen Süreler / Akış Zamanı'na oranı ile her bir iş istasyonu için Kullanım Oranları elde edilmiş olur. Ayrıca siparişlerin zamanında teslimi sağlanmış olur.

3.2.2.6. En Az Kalan Operasyon Sayısı (EAKOS)

En Az Kalan Operasyon Sayısı (EAKOS) Öncelik Kuralı; her bir sipariş için kalan operasyon sayısı en az olan işlerin sistemde daha önce çizelgelenmesi kuralına dayanır. Bu sayede operasyon sayısı az olan işler daha önce sisteme alınır ve toplam sipariş tesliminin daha fazla olması beklenir. Algoritma yapısı aşağıda verilmiştir:

Adım 1. Öncelikle her bir sipariş için mevcut operasyon sayıları tespit edilir.

Adım 2. Operasyon sayısı en az olan sipariş için iş akışına göre 1. işlemten itibaren başlama zamanları dikkate alınarak çizelgeleme başlar. Daha sonra tüm siparişler için tekrar kalan operasyon sayıları tespit edilir.

Adım 3. Kalan Operasyon Sayısı en az olan siparişin sıradaki ilk işlemi çizelgelenir. Burada aynı sayıda kalan operasyonu olan siparişler varsa rassal olarak seçim yapılır. Bu şekilde tüm operasyonlar tamamlanana kadar Adım 2 tekrarlanır.

Adım 4. Çizelgeleme tamamlandıktan sonra her bir iş istasyonu için siparişlerin bittiği toplam süre ile o zaman aralığı boyunca işlemde geçen süreler tespit edilir.

3.2.2.7. En Çok Kalan Operasyon Sayısı (EÇKOS)

En Çok Kalan Operasyon Sayısı (EÇKOS) Öncelik Kuralı; her bir sipariş için kalan operasyon sayısı en çok olan işlerin sistemde daha önce çizelgelenmesi kuralına

dayanır. Bu sayede operasyon sayısı fazla olan işler daha önce sisteme alınır ve kapasite kullanım oranının daha yüksek seviyelerde olması beklenir. Algoritma yapısı aşağıda verilmiştir:

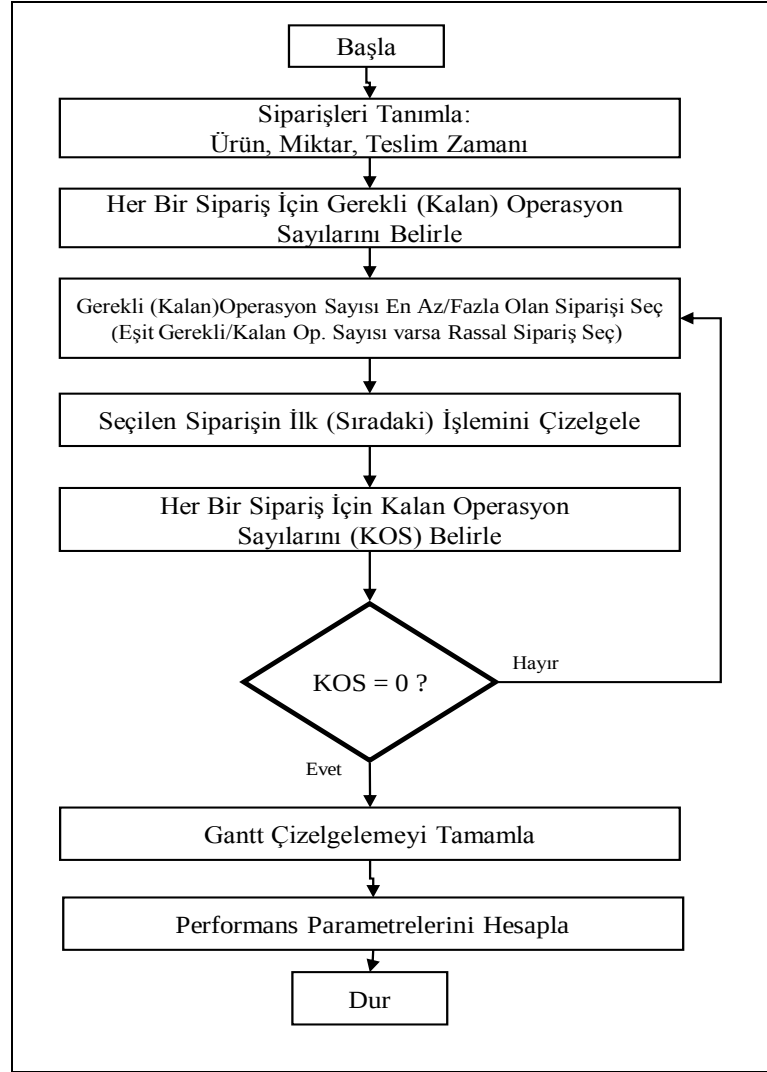
Adım 1. Öncelikle her bir sipariş için mevcut operasyon sayıları tespit edilir.

Adım 2. Operasyon sayısı en fazla olan sipariş için iş akışına göre 1. işlem den itibaren başlama zamanları dikkate alınarak çizelgeleme başlar. Daha sonra tüm siparişler için tekrar kalan operasyon sayıları tespit edilir.

Adım 3. Kalan Operasyon Sayısı en çok olan siparişin sıradaki ilk işlemi çizelgelenir. Burada aynı sayıda kalan operasyonu olan siparişler varsa rassal olarak seçim yapılır. Bu şekilde tüm operasyonlar tamamlanana kadar Adım 2 tekrarlanır.

Adım 4. Çizelgeleme tamamlandıktan sonra her bir iş istasyonu için siparişlerin bittiği toplam süre ile o zaman aralığı boyunca işlemde geçen süreler tespit edilir.

EAKOS ve EÇKOS Algoritması; Her iki yöntemde; işlem/operasyon sayısı miktarına bağlı olarak siparişler/işler iş akışı sırasına göre sisteme dâhil edilir. Böylece; toplam teslim kabiliyeti ve toplam kapasite kullanımının maksimum seviyede olması sağlanmış olur. EAKOS ve EÇKOS öncelik kuralları algoritması akış şeması Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7 EAKOS ve EÇKOS öncelik kuralları için algoritma genel yapısı

3.2.2.8. En Kısa Kalan İşlem Süresi (EKKİS)

En Kısa Kalan İşlem Süresi (EKKİS) Öncelik Kuralı; her zaman diliminde her bir işin kalan operasyonlarının toplam işlem süresi en kısa olan işlemin önce çizelgeleneceğini dikkate alır. EKKİS ile yapılan çizelgelemede tamamlanma zamanı ve son işin sistemi terk etme zamanının en küçük olması hedeflenir. Algoritma yapısı aşağıda verilmiştir:

Adım 1. Öncelikle her bir sipariş için toplam operasyon süreleri (tamamlanma süreleri) tespit edilir.

Adım 2. Toplam operasyon süresi en kısa olan sipariş için iş akışına göre 1. işlem den itibaren başlama zamanları dikkate alınarak çizelgeleme başlar. Daha sonra tüm siparişler için tekrar kalan toplam operasyon süreleri tespit edilir.

Adım 3. Kalan tüm operasyon süresi en kısa olan sipariş sıradaki ilk işlem den itibaren çizelgelenir. Burada aynı sayıda kalan tüm operasyon süresi olan siparişler varsa rassal olarak seçim yapılır. Bu şekilde tüm operasyonlar tamamlanana kadar Adım 2 tekrarlanır.

Adım 4. Çizelgeleme tamamlandıktan sonra her bir iş istasyonu için siparişlerin bittiği toplam süre ile o zaman aralığı boyunca işlemde geçen süreler tespit edilir. Daha sonra İşlemde Geçen Süreler / Akış Zamanı'na oranı ile her bir iş istasyonu için Kullanım Oranları elde edilmiş olur.

3.2.2.9. En Uzun Kalan İşlem Süresi (EUKİS)

En Uzun Kalan İşlem Süresi (EUKİS) Öncelik Kuralı; her zaman diliminde her bir işin/siparişin kalan operasyonlarının toplam işlem süresi en uzun olan işlemin önce çizelgeleneceğini dikkate alır. Bu sayede operasyon süresi fazla olan işler daha önce gerçekleştirilerek kapasite kullanım oranının daha yüksek seviyelerde olması beklenir. Algoritma yapısı aşağıda verilmiştir:

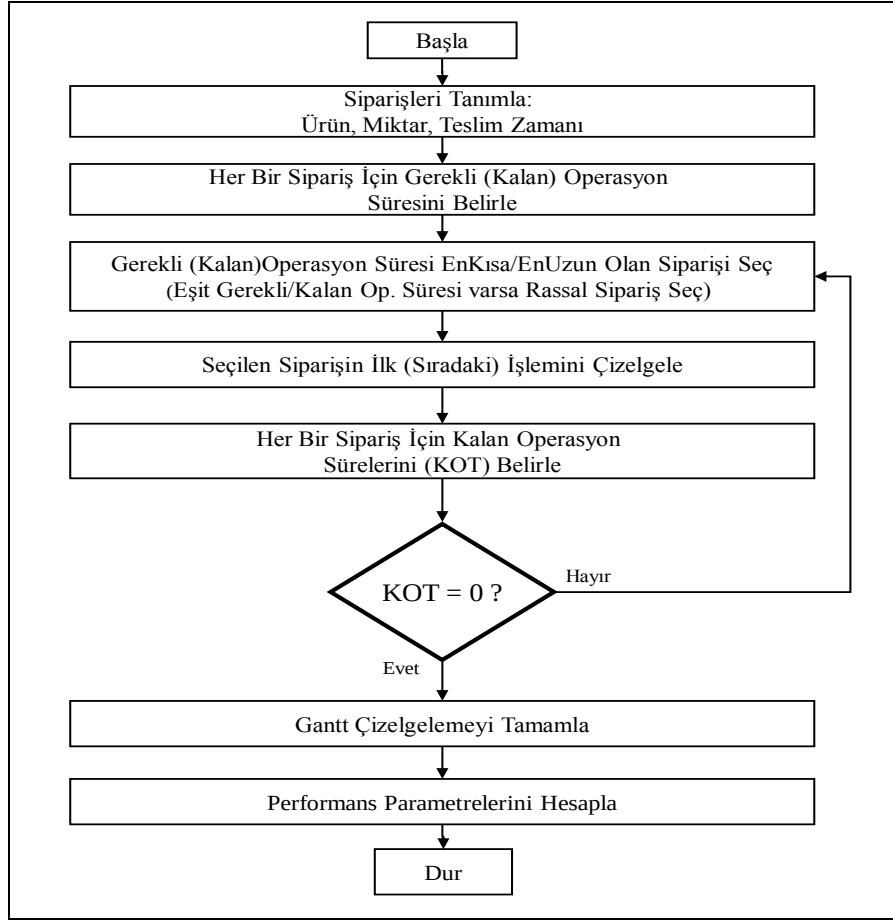
Adım 1. Öncelikle her bir sipariş için toplam operasyon süreleri (tamamlanma süreleri) tespit edilir.

Adım 2. Toplam operasyon süresi en uzun olan sipariş için iş akışına göre 1. işlem den itibaren başlama zamanları dikkate alınarak çizelgeleme başlar. Daha sonra tüm siparişler için tekrar kalan toplam operasyon süreleri tespit edilir.

Adım 3. Kalan tüm operasyon süresi en uzun olan sipariş sıradaki ilk işleminden itibaren çizelgelenir. Burada aynı sayıda kalan tüm operasyon süresi olan siparişler varsa rassal olarak seçim yapılır. Bu şekilde tüm operasyonlar tamamlanana kadar Adım 2 tekrarlanır.

Adım 4. Çizelgeleme tamamlandıktan sonra her bir iş istasyonu için siparişlerin bittiği toplam süre ile o zaman aralığı boyunca işlemde geçen süreler tespit edilir. Daha sonra İşlemde Geçen Süreler / Akış Zamanı'na oranı ile her bir iş istasyonu için Kullanım Oranları elde edilmiş olur.

EKKİS ve EUKİS Algoritması; Her bir siparişin tamamlanabilmesi için kalan operasyon/işleme süresi en kısa ya da en uzun olanları önce sisteme alınarak çizelgeleme yapılır. Bu sayede kısa operasyonlu işler için en kısa ve uzun işlem süreli operasyonların oluşturduğu sistemde de en uzun kalan operasyon süresinin seçilmesiyle toplam kapasite kullanım oranının yükseltilmesi amaçlanmaktadır. Şekil 3.8'de EKKİS ve EUKİS öncelik kuralları için algoritma akış şeması verilmiştir.



Şekil 3.8 EKKİS ve EUKİS kuralları için algoritma genel yapısı

3.2.2.10. Rassal Seçim (RS)

Çizelgelemede sisteme gelen tüm siparişlerin sayısı j olsun. $[1, j]$ aralığından rassal olarak üretilen bir sayı ile çizelgelemeye başlanılacak sipariş belirlenir. Belirlenen siparişin ilk işlemi ile çizelgeleme başlar. Daha sonraki adımlarda zaman boyunca çizelgelenebilecek işlemler kümesinden rassal seçimler yapılarak en son siparişin son işi tamamlanana kadar rassal seçim ile çizelgeleme devam eder.

Sonuç olarak; öncelik kuralları çizelgeleme problemleri için problemin gerçek hayata benzetilmesinde önemlidir. Gerçek hayat problemlerinde bazı işlerin/siparişlerin diğer işlere/siparişlere göre birtakım öncelikleri veya kısıtları söz konusudur. Bu kısıtlara göre müşteri siparişleri gerçekleştirilir.

3.3. Genetik Algoritmalar

Gelişen bilgisayar teknolojisi ile bir çok büyük ölçekli kombinatoryal optimizasyon problemleri ve yüksek kısıtlı mühendislik problemlerinin yaklaşık olarak çözülebildiğinden dolayı, optimizasyonun önemi günümüzde daha da artmıştır.

Üretim sistemlerini kapsayan birçok optimizasyon problemi Endüstri Mühendisliği alanında yer alan araştırma problemleridir. Bir kısmı genelde çok karmaşık yapılı ve konvansiyonel yöntemler ile çözümü çok zor olan problemler olarak kabul edilir.

1960’larda Rechenberg tarafından “Evrimsel Stratejileri” isimli eserinde evrimsel hesaplama tanımı kullanılmıştır. Daha sonra John Holland tarafından evrim sürecinin bir bilgisayar yardımıyla, bilgisayara anlayamadığı çözüm yöntemlerinin öğretilebileceği şekle dönüştürülmesiyle Genetik Algoritma (GA) yöntemi Holland’ın öğrencileri ve arkadaşları tarafından geliştirildi. Sonuçta, Holland’ın kitabı “Doğal ve Yapay Sistemlerde Adaptasyon” 1975 yılında yayınlandı (Kurt ve Semetay, 2001).

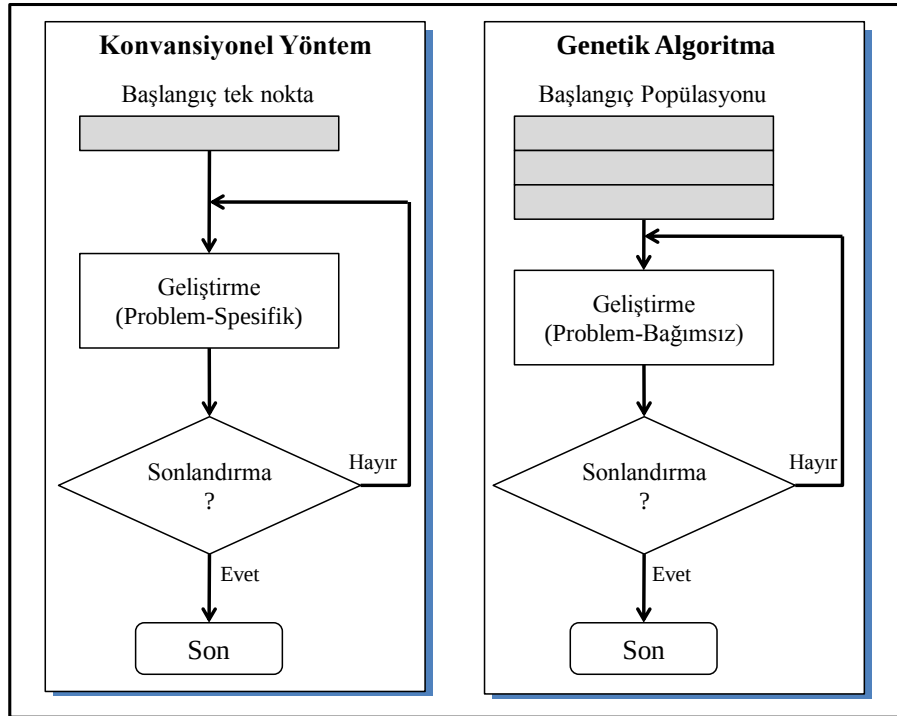
Evrimsel algoritmalar yaklaşımın önemli bir parçası olan genetik algoritma çözüm yöntemi herhangi bir problemin çözümünde, problemi sanal olarak evrimden geçirir. GA’nın amacı; karmaşık yapılı gerçek hayat problemlerinin uygun bir çözümünü aramaktır. Bu problemler, olasılıklı algoritmalar sınıfında NP-Zor problemler olarak kabul edilir.

GA en iyi olanın yaşaması ve doğal seçim mekanizmasını temel alan ve bu ilkelerin bilgisayarda simülasyonunun yapılmasıyla sonuca ulaşan bir yöntemdir (Holland 1975). Goldberg (1989)’e göre bu yöntemde, bireylerin oluşturduğu popülasyonlar ile başlanır. Daha sonra ikili dizinin temsil ettiği her birey için parametreler uzayında bir nokta temsil edilir. Her nesilde yer alan her bir birey için bir amaç fonksiyonunun değeri ve o fonksiyonun uygunluğu olarak değerlendirme süreci gerçekleştirilir. Eğer daha uygun olan bireyler varsa seçilerek yeni popülasyona eklenirler. Bu şekilde seçilmiş bireylerin uygunluğunu dikkate alan yeni çözümler elde edilir. Uygunluk

değeri yüksek olan bireylerin yeni popülasyon için seçilmesi ile birkaç nesil sonra en iyi bireyin optimal çözümü temsil etmesi beklenir (Bakır ve Altunkaynak, 2003). Genel bir karşılaştırma yapılacak olursa; Goldberg'e (1989) göre GA sonuçta bir arama yöntemidir ve konvansiyonel (geleneksel) optimizasyon ve arama prosedürlerinden birtakım farklılıklara sahiptir (Gen ve Cheng, 1997):

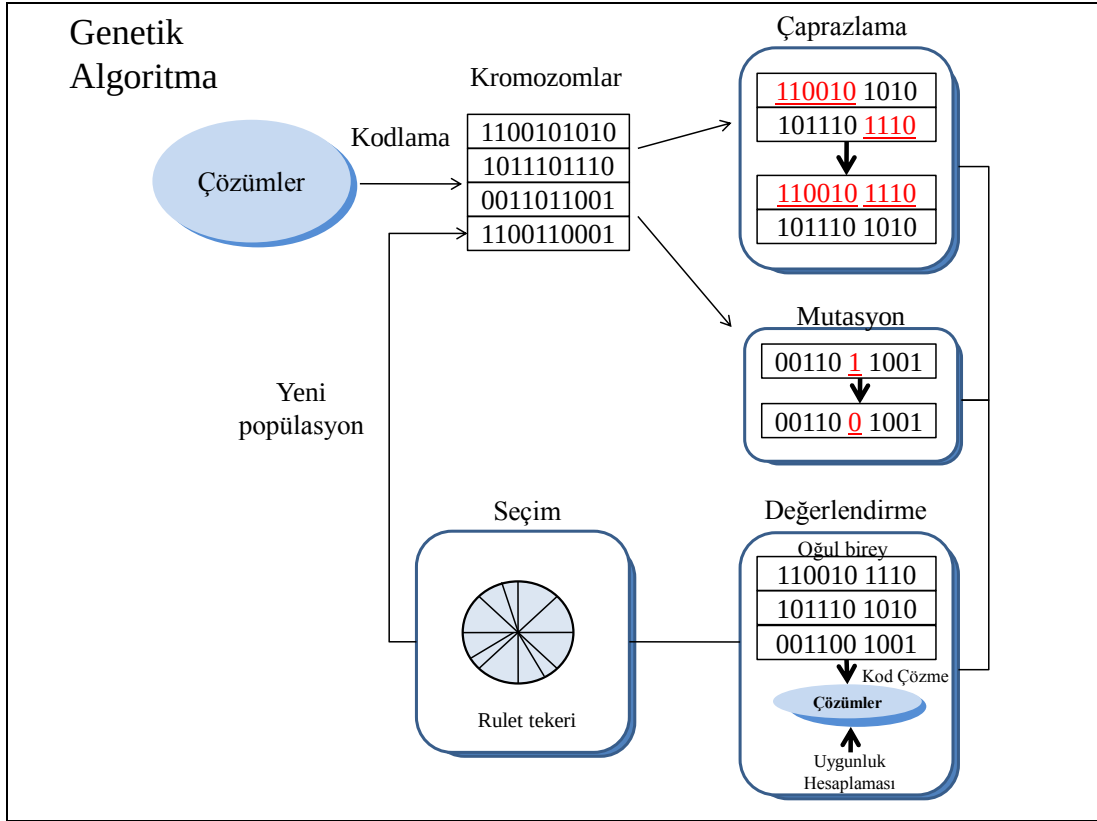
- GA çözüm kümesinin kodlanması ile çalışır, çözümün kendisi ile çalışmaz.
- GA çözüm popülasyonunda arama yapar, tek bir çözümde yola çıkmaz.
- GA bilginin sonucunu (uygunluk fonksiyonu) kullanır, ikincil ya da diğer yardımcı bilgiyi kullanmazlar.
- GA olasılıklı geçiş kuralları kullanır, deterministik kuralları kullanmazlar.

Konvansiyonel arama yöntemleri çözüm araştırmasını probleme özgü inceler GA arama yönteminde ise arama prosedürü problemten bağımsız şekilde çalışır. Her iki arama yöntemi arasındaki temel farklar Şekil 3.9'da verilmiştir (Gen ve Cheng, 1997).



Şekil 3.9 Konvansiyonel arama yöntemleri ile genetik algoritma yaklaşımının karşılaştırılması

GA çözüm yöntemi, konvansiyonel arama tekniklerinden farklı olarak rassal olarak oluşturulmuş bir başlangıç kümesi ile başlar. Bu başlangıç kümesine popülasyon adı verilir. Popülasyonda yer alan her bireye kromozom denir ve bu kromozomlar da taşınan gen bilgisi ile çözüm sonuçları elde edilir. Her bir başarılı birey sonrası yapılan üreme operasyonu sonucu yeni nesiller ile daha iyi çözüm sonuçları aranır. Yeni nesillerin oluşturulmasında GA yönteminde çeşitli operatörler kullanılır. Bunlardan birincisi iki kromozomun bölümleri arasında değişiklik ile yeni oğul birey (offspring) oluşturan çaprazlama (crossover) operatörü, bir diğeri ise bir bireyin genleri arasında düzenleme yaparak yeni bir birey oluşturan mutasyon (mutation) operatörüdür. GA'nın genel yapısı Şekil 3.10'da verilmiştir (Gen ve Cheng, 1997).



Şekil 3.10 Genetik algoritmaların genel yapısı

Çaprazlama oranı (crossover rate) her bir jenerasyonun popülasyon büyüklüğünde üretilen oğul birey sayının oranı şeklinde ifade edilir. Mutasyon oranı ise; popülasyondaki toplam gen sayısının yüzdesi olarak ifade edilir ve denemeler için yeni genlerin popülasyona girişlerini kontrol eder. GA'da her birey için optimizasyon

amaç fonksiyonu için tanımlanmış uygunluk değerlerini hesaplanır. Seçim mekanizması ile değerlendirme yapılır ve doğal seleksiyona göre seçim yapılır. GA’da farklı seçim operatörleri olsa da genellikle “Rulet Tekerı” yöntemi kullanılır. Seçilen bireyler ile yeni popülasyon oluşturularak algoritma döngüsü yinelenir. Sonuçta tanımlanan belirli bir sonlandırma kriteri değerine ulaşıldığında algoritma durur ve en iyi uygunluk değerine sahip çözüm bulunabilen en iyi çözüm olarak kabul edilir.

Şekil 3.10’a göre GA çalışma prensibi kısaca şöyle özetlenebilir (Bakır ve Altunkaynak, 2003):

Adım 1. Olası çözümlerin kodlandığı bir çözüm kümesi oluşturulur, bu çözüm kümesi popülasyon olarak, çözümlerin kodları da kromozom olarak adlandırılır. Problemin türüne göre değişik kodlama şekilleri mevcuttur.

Adım 2. Popülasyondaki her bir kromozomun uygunluk fonksiyonuna göre ne kadar ‘iyi’ olduğu bulunur. Uygunluk fonksiyonuna göre iyi çözüm sonuçları veren kromozomlar, yeni popülasyona alınmak üzere seçilirler. Problemin türüne göre birçok seçim mekanizması mevcuttur.

Adım 3. Seçilen kromozomlar eşlenerek, gen takası ve mutasyon operatörleri uygulanır bu sayede yeni bir popülasyon oluşturulur.

Adım 4. Tüm kromozomların uygunlukları tekrar hesaplanır.

Adım 5. Eğer durdurma kriteri sağlanmamışsa 2. Adıma, değilse 6. Adıma gidilir. Durdurma kriteri istenen bir nesil sayısı ya da popülasyondaki durağanlığın gerçekleşmesi olabilir.

Adım 6. O ana kadar bulunmuş en iyi kromozom optimum sonuç olarak elde edilir.

3.3.1. Kodlama (Encoding) İşlemi

GA'da her popülasyonu oluşturan her bir birey bir kromozom olarak adlandırılır. Kromozomlarda gen bilgisi taşınmaktadır. GA sürecinin problemlere uygulanması yapay sistemler olarak kabul edilir. Kendi başına anlamlı bilgi taşıyan en küçük elemana gen adı verilir. Kodlama ile tüm çözümlerin aynı boyutlara sahip dizileri (genleri) ifade edilir (Emel ve Taşkın, 2002). Problemlere göre değişik kodlama yöntemleri mevcuttur:

- İkili Düzendeki Kodlama (Binary Encoding)

En yaygın olarak kullanılan kodlama türüdür. Burada kromozomlar 0 ve 1 şeklinde gen değerlerinde kodlanırlar. Bu dizideki her bit, çözümün belli karakteristiğini temsil eder veya tüm dizi bir sayıyı temsil eder. Genellikle belirli bir fonksiyonun eniyilenmesinde ve sırt çantası gibi problemlerde kullanılır. Çizelge 3.5'te bir örnek ikili düzendeki kodlama verilmektedir (Bakır ve Altunkaynak, 2003):

Çizelge 3.5 İkili düzendeki kodlama yapısı

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

- Sıralı Kodlama (Permutatiton Encoding)

Sıralı (permütasyon) kodlama tekniği genellikle gezgin satıcı, çizelgeleme ve sıralama, şebeke tasarımları gibi sıra takibi olan problemlere uygulanır. Çizelge 3.6'da örnek bir örnek sıralı kodlama verilmektedir (Bakır ve Altunkaynak, 2003).

Çizelge 3.6 Sıralı kodlama yapısı

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

- *Değer Kodlaması (Alpha-Numeric Encoding)*

Değer kodlama yönteminde ilgili parametre değerleri doğrudan alınır. Özel problemlerde alfa-sayısal ya da gerçel sayılar olarak kullanımı gerçekleştirilir. Çizelge 3.7’de bir örnek değer kodlama verilmektedir (Bakır ve Altunkaynak, 2003).

Çizelge 3.7 Değer kodlama yapısı

Kromozom A	0.123 1.234 2.345 4.567 5.678
Kromozom B	A B C D E F G H I J K L M N

3.3.2. Popülasyon (Population) Oluşturma

GA arama yaklaşımında mümkün çözümlerin kodlandığı başlangıç çözüm grubu olmalıdır. Bu çözüm grubuna popülasyon adı verilir. Popülasyon birden fazla genin bir araya gelerek oluşturduğu diziler yani kromozomlardan oluşur. Kromozomlar mümkün çözüm alternatiflerinin kodlarını taşır. Kromozomlar aynı zamanda yer aldığı popülasyon için birer bireydirler. Genellikle popülasyonda yer alacak birey sayısı önceden belirlenir ve çözüm bulununcaya kadar değişmez. Başlangıç popülasyonun genelde 30-100 birey sayısından oluştuğu literatürden gözlenmektedir (Davis 1985, Goldberg 1989).

Çözüm uzayı açısından popülasyon büyüklüğünün küçük değerde olması çözüm uzayının küçük olmasını bu da aranan en iyi çözüm değerlerine ulaşılamamasına neden olmaktadır. Çözüm uzayının çok büyük değerde olması ise hem GA’nın etkinliğini azaltmakta hem de çözümün farklı noktalarda aranmasına neden olmaktadır (Biroğul ve Güvenç, 2007).

3.3.3. Uygunluk Değerinin (Fitness Function) Hesaplanması

Uygunluk değeri popülasyonda yer alan her bir bireye ait çözümün hesap değeridir. Örneğin bir maksimizasyon problemi için i . üyenin uygunluk değeri $f(i)$, genellikle o noktadaki amaç fonksiyonunun değeridir (Emel ve Taşkın, 2002). Ayrıca bir çözümün uygunluk değeri ne kadar yüksekse, yaşama ve çoğalma şansı o kadar

fazladır ve bir sonraki kuşakta temsil edilme oranı da o kadar yüksektir (Yeniay, 2001). Sonuç olarak, uygunluk değeri; popülasyondaki bireylerin bir değerlendirme fonksiyonuna göre hesaplanması ve GA yönteminde amaç fonksiyonunun oluşturulmasında belirlenir (Biroğul, 2005).

3.3.4. Üreme (Reproduction) İşlemi

Uygunluk değerinin hesaplanması aşamasından sonra mevcut popülasyondan yeni bir popülasyon üretilmelidir. GA işleyişi için gerekli olan üreme işlemi belli bir seçme kriterine göre bireylerin seçilip yeni kuşağın oluşturulması işlemidir. Bu durum doğal seleksiyondaki gibi en uygunun yaşaması durumuna benzemektedir. Seçme kriterleri uyumluluğu esas alarak birbiriyle uyumlu olan bireyleri seçer. Diğer genetik operatörler çaprazlama ve mutasyon uygulanacak olan bireylerden daha uyumlu yeni bireylerin ortaya çıkması olasılığı dikkate alınarak bireylerin tamamı uygunluk değerine göre seçilebilir veya bir kısmı rastgele seçilerek yeni popülasyona aktarılabilir. Üreme yöntemin amacı, ortalama uygunluğun üzerindeki değerlere çoğalma fırsatı tanımaktır (Emel ve Taşkın, 2002; Kurt ve Semetay, 2001).

3.3.5. Çaprazlama (Crossover) İşlemi

Çaprazlamanın amacı, mevcut iyi kromozomların özelliklerini birleştirerek daha uygun kromozomlar yaratmaktır. İki kromozomun bölümleri arasında değişiklik ile yeni oğul birey (offspring) oluşturma işlemidir. Kromozom çiftleri olasılığı (p_c) ile çaprazlamaya uğramak üzere seçilirler. Çaprazlama oranı (crossover rate) her bir jenerasyonun popülasyon büyüklüğünde üretilen oğul birey sayının oranı şeklinde ifade edilir (Gen ve Cheng, 1997; Emel ve Taşkın, 2002). Çaprazlamada gen değişiminin yapılmasından önce dizilerin çaprazlamaya tutulma olasılığı (p_c) bilinmelidir. Literatürde bu oranın %50 - %95 oranında uygulandığı görülmektedir (Biroğul, 2005).

GA algoritmasında çaprazlama yöntemleri kodlama türlerine göre değişmektedir. En çok kullanılan çaprazlama yöntemleri aşağıda verilmiştir (Engin, 2001; Bakır ve Altunkaynak, 2003; Biroğul 2005):

Bu kısımda çaprazlama işlemlerinin gösterilmesinde kullanılan Kromozom A ile Kromozom B bireyleri ebeveyn (parents) bireyler ve Kromozom A' ile Kromozom B' oğul ya da yavru (offspring) bireyler olarak kabul edilmiştir.

3.5.5.1. İkili kodlama Düzeninde Çaprazlama Yöntemleri

İkili kodlama düzeni için çaprazlama yöntemleri tek nokta, iki nokta ve üç nokta çaprazlama yöntemleri olarak sınıflandırılmıştır.

- Tek Nokta Çaprazlama Operatörü

Kromozom uzunluğu l olmak üzere, $[0, l-1]$ arasında rastgele bir sayı seçilir ve seçilen nokta çaprazlama noktası olarak kabul edilir. Her iki birey için çaprazlama noktasına kadar yer alan gen (bilgi) hücreleri kromozom parçası olarak yer değiştirilerek çaprazlama işlemi tamamlanır. Bu durum Çizelge 3.8'de verilmektedir.

Çizelge 3.8 Tek nokta çaprazlama yöntemi

Gen İndeks No	0 1 2 3 4 5 6 7 8
Kromozom A	1 0 1 0 1 1 0 1 1
Kromozom B	0 0 1 0 1 0 1 0 1
Kromozom A'	1 0 1 0 1 0 1 0 1
Kromozom B'	0 0 1 0 1 1 0 1 1

- İki Nokta Çaprazlama Operatörü

Kromozom uzunluğu l olmak üzere, $[0, l-1]$ arasında rastgele iki sayı seçilir ve seçilen noktalar çaprazlama noktaları olarak kabul edilir. Her iki birey için çaprazlama noktalarına kadar yer alan gen (bilgi) hücreleri kromozom parçaları olarak yer değiştirilerek çaprazlama işlemi tamamlanır. Bu durum Çizelge 3.9'da verilmektedir.

Çizelge 3.9 İki nokta çaprazlama yöntemi

Gen İndeks No	0 1 2 3 4 5 6 7 8
Kromozom A	1 0 1 0 1 1 0 1 1
Kromozom B	0 0 1 0 1 0 1 0 1
Kromozom A'	1 0 1 0 1 0 1 1 1
Kromozom B'	0 0 1 0 1 1 0 0 1

3.5.5.2. Sıralı Kodlama Düzeninde Çaprazlama Yöntemleri

Üretim çizelgeleme problemlerinde sıkça kullanılan sıralı (permütasyon) kodlama düzeninde yer alan çaprazlama yöntemleri, pozisyona dayalı, sıraya dayalı, kısmi eşleşmeli ve dairesel olmak üzere dört farklı şekilde gerçekleştirilmektedir (Engin, 2001; Biroğul, 2005).

- Pozisyona Dayalı Çaprazlama Operatörü (PBX)

Bu yöntemde çaprazlama kalıp olarak sabit kalacak olan gen hücrelerini belirler. Kalıpla işaretlenen noktalar dizide sabit kalırken diğer noktalar iki birey arasında yer değiştirerek yeni bireylerin üremesi sağlanır. Bu durum Çizelge 3.10'da verilmektedir.

Çizelge 3.10 Pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi

Gen İndeks No	0 1 2 3 4 5 6 7 8
Kromozom A	1 3 5 7 2 8 4 6 9
Kromozom B	7 4 5 6 8 9 3 1 2
Kalıp	1 0 1 1 1 0 1 1 0
Kromozom A'	1 4 5 7 2 9 4 6 2
Kromozom B'	7 3 5 6 8 8 3 1 9

- Sıraya Dayalı Çaprazlama Operatörü (OBX)

Bu yöntemde ise; pozisyona dayalı yöntemde olduğu gibi {0,1} kalıp uygulaması vardır. Kalıp üzerindeki 1 değerleri çaprazlamada kullanılacak değerleri gösterir. Örneğin birey B'de sırasıyla çaprazlanacak genler 7, 5 ve 1'dir. Birey A'da bulunan

1, 5, 7 numaralı genler aynı sıra ile değiştirilerek A' bireyi oluşturulur. Benzer işlemler birey A için tespit edilirse 1, 5 ve 6 çaprazlanacak genleri birey B'de 5, 6 ve 1 genlerinin sırasını değiştirerek birey B' oluşturulur. Bu durum Çizelge 3.11 verilmektedir.

Çizelge 3.11 Sıraya dayalı çaprazlama yöntemi

Gen İndeks No	0 1 2 3 4 5 6 7 8
Kromozom A	1 3 5 7 2 8 4 6 9
Kromozom B	7 4 5 6 8 9 3 1 2
Kalıp	1 0 1 0 0 0 1 0
Kromozom A'	7 3 5 1 2 8 4 6 9
Kromozom B'	7 4 1 5 8 8 3 6 9

- *Kısmi Eşleşmeli Çaprazlama Operatörü (PMX)*

Goldberg'e göre; tesadüfi olarak kromozomda bir aralık belirlenir. Belirlenen aralık ebeveynler arasında karşılıklı olarak değiştirilir. Aynı kromozomda aynı genin birden fazla bulunması söz konusu olabilir. Bu durumda aralık dışında yer alan aynı değere sahip olan genler ile diğer kromozomda aynı pozisyona denk gelen genler değiştirilerek durum düzeltilir (Engin ve Fiğlalı, 2002; Keskintürk, 2006). Bu durum Çizelge 3.12'de verilmektedir.

Çizelge 3.12 Kısmi eşlemeli çaprazlama yöntemi

Gen İndeks No	0 1 2 3 4 5 6 7
Kromozom A	1 3 5 7 2 8 4 6
Kromozom B	7 2 4 6 8 3 1 5
A ₁ '	1 3 4 6 8 8 4 6
B ₁ '	7 2 5 7 2 3 1 5
Kromozom A'	1 3 4 6 8 2 5 7
Kromozom B'	6 8 5 7 2 3 1 4

- *Dairesel Çaprazlama Operatörü (CX)*

Davis, Goldberg ve Lingle tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemde ilk kromozomdan en baştaki gen seçilir ve bu gen yeni diziye yerleştirilir. Bu gene karşılık gelen ikinci kromozomdaki gen belirlenir bu değer de yeni kromozom üzerine yerleştirilerek dairesel bir şekilde bütün genler belirlenir (Engin, 2001). Bu durum Çizelge 3.13’de verilmektedir.

Çizelge 3.13 Dairesel çaprazlama yöntemi

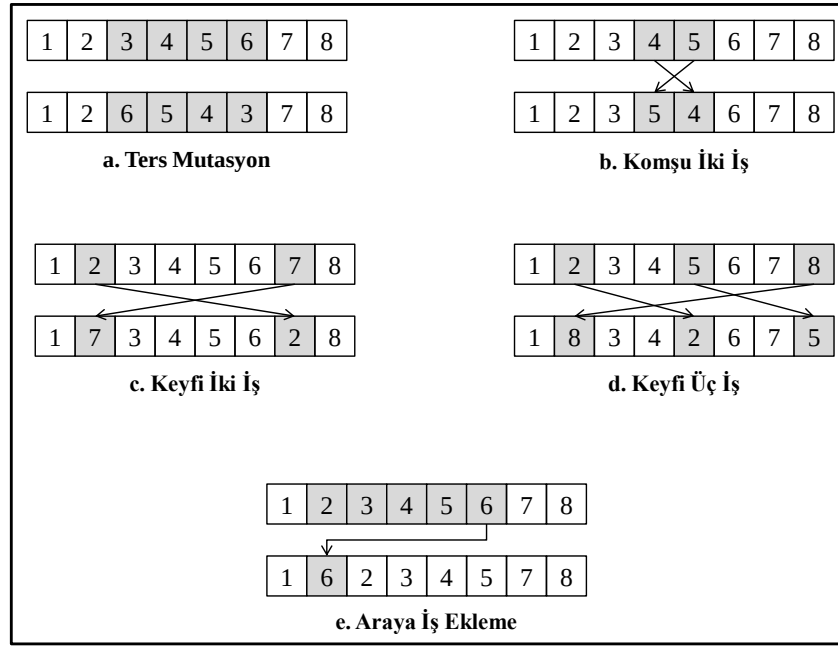
Gen İndeks No	0 1 2 3 4 5 6 7
Kromozom A	1 3 5 7 2 8 4 6
Kromozom B	7 2 4 6 8 3 1 5
A ₁ ’	1 - 5 7 - - 4 6
B ₁ ’	7 - 4 6 - - 1 5
Kromozom A’	1 2 5 7 8 3 4 6
Kromozom B’	7 3 4 6 2 8 1 5

3.3.6. Mutasyon (Mutation) İşlemi

Mutasyon, kromozomlar üzerinde değişiklikler yapmaktır. Çaprazlamadan farklı olarak tek bir kromozoma uygulanmakta, düşük bir olasılıkla genler üzerinde tesadüfi değişiklikleri içermektedir (Keskintürk, 2006). Mutasyon doğal seleksiyonda olduğu gibi GA işleyişinde de oldukça düşük seçilir (Goldberg, 1989). Mutasyon oranı; popülasyondaki toplam gen sayısının yüzdesi olarak ifade edilir ve denemeler için yeni genlerin popülasyona girişlerini kontrol eder (Gen ve Cheng, 1997). Mutasyon oranı literatürde genel olarak % 0,5 - % 0,15 arasında değişmektedir (Biroğul, 2005). Üretim çizelgeleme açısından değerlendirdiğinde; Murata vd. tarafından mutasyon yöntemleri genel olarak beş farklı şekilde sınıflandırılmıştır (Engin, 2001):

- *Ters Mutasyon:* Bir bireyde rassal olarak iki pozisyon seçilir, bu iki pozisyonundaki alt diziler ters çevrilir (Şekil 3.11a).
- *Komşu İki İş Değiştirme:* Rassal olarak iki komşu iş yer değiştirebilir (Şekil 3.11b).

- *Keyfi İki İş Değiştirme*: Rassal olarak seçilen iki iş değiştirilebilir. Özel bir durum olarak, değiştirilebilen iki komşu işi bu mutasyon içerir (Şekil 3.11c).
- *Keyfi Üç İş Değiştirme*: Rassal seçilen üç iş keyfi olarak değiştirilir (Şekil 3.11d).
- *Araya İş Ekleyerek Değiştirme*: Rassal olarak seçilen bir kaydırma noktasında kromozomdaki bir iş kaydırılır ve diğer bir pozisyona yerleştirilir. Komşu iki iş değiştirme yönteminin özel bir durumudur. Keyfi üç iş değiştirmeyele bir kesişime sahiptir (Şekil 3.11e).



Şekil 3.11 Üretim çizelgelemede kullanılan mutasyon operatörleri

3.3.7. Seçim (Selection) İşlemi

Yeni nesiller için ebeveyn kromozomların belirlenmesi sürecinde önceki popülasyondan gelen bazı kromozomların yeni popülasyona aktırılması gerekmektedir. Burada önemli olan bu kromozomların nasıl seçileceğidir. Darwin evrim teorisine göre; hayatta kalan en iyi kromozom ebeveyn olarak yeni oğul kromozomları oluşturur. En iyi kromozom seçilmesinde birçok yöntem bulunmaktadır. Her bir kromozomun uygunluk değeri hesaplandıktan sonra uygunluğu yüksek olan kromozomların seçilmesi için geliştirilmiş değişik seçim

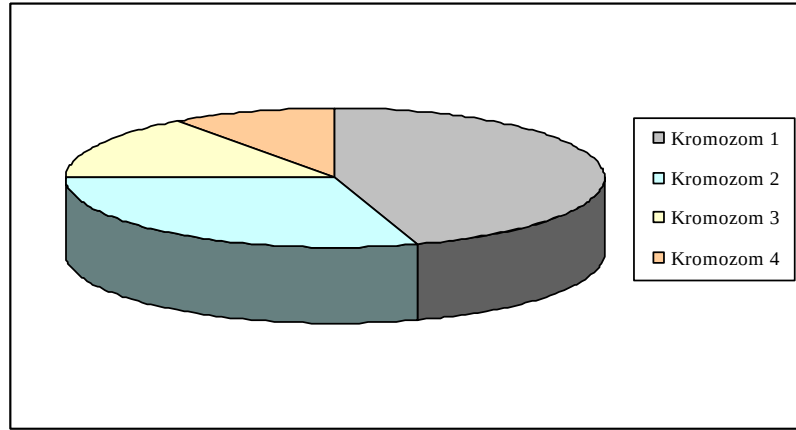
yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler şu şekilde sınıflandırılabilir (Goldberg, 1989).

- Orantılı Seçim Yöntemleri,
- Sıralı Seçim Yöntemleri,
- Turnuva Seçim Yöntemleri,

Seçim yöntemleri, rulet tekeri, rank seçimi, kararlı hal seçimi ve elitizm olarak incelenmiştir.

3.3.7.1. Rulet Tekerı Seçim Yöntemi

Rulet tekeri yaklaşımında ebeveynler uygunluk değerlerine göre seçilirler. Daha iyi kromozomları daha yüksek olasılıkla seçilebilirler. Şekil 3.12’de verilen rulet tekeri (çemberi) üzerinde popülasyondaki her bir kromozom uygunluk değerinde göre yer almaktadır.



Şekil 3.12 Rulet tekeri örneği

Rulet tekeri döndürülür ve kromozom seçilir. Daha büyük uygunluktaki kromozomlar çok kez seçilmiş olur. Rulet tekeri algoritması (Obitko, 1998):

Adım1. Popülasyondaki tüm kromozomların uygunluk değerleri toplanır (S).

Adım2. (0,S) aralığından rassal sayı (r) üretilir.

Adım3. Popülasyon boyunca toplam uygunluk 0-S arasında arama yapılır. Toplam s değeri rassal r değerinden büyük olduğunda dur ve elde edilen kromozomu geri döndür.

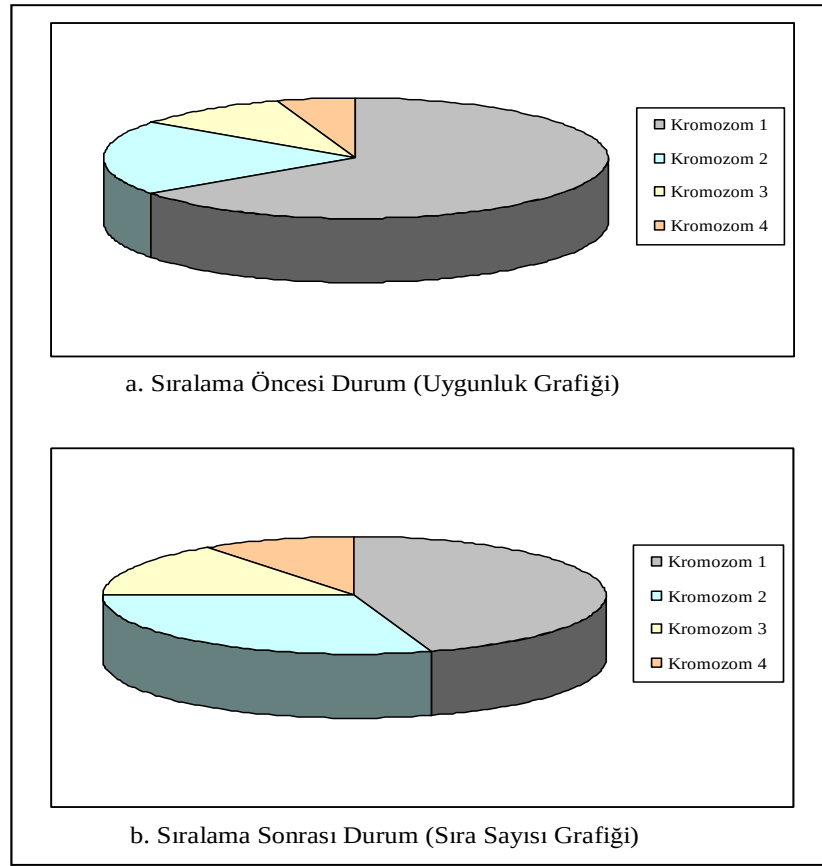
Adım4. Bu şekilde her bir popülasyon için bir kez Adım1'e git. Her döngü ile neslin devamı sağlanmış olur.

Broker (1987)'a göre rulet tekeri yöntemi en çok kullanılan yöntem olmasına rağmen yeni yığında her dizinin beklenen kopya sayısı ile gerçekleşen kopya sayısı arasında büyük farkın oluşması yüzünden bir hataya sahiptir. Bu hata her döngüde oluşacağından çözüm değeri farklı yönlerde aranmış olur. Böylece algoritmanın zamansız yakınsaması ortaya çıkar. Bu hatanın ortadan kaldırılması için Dejong (1975) elitizm (seçkinlik) ve beklenen değer ile Brindle (1981) belirli örnekleme, rulet çemberi beklenen değer, rastgele artan örnekleme ve rastgele turnuva yöntemlerini önermişlerdir (Biroğul, 2005).

3.3.7.2. Rank Seçim Yöntemi

Rulet çemberi, seçimde uygunluk değerlerinin farklılığının çok fazla olduğu problem tiplerinde kullanılmaktadır. Örneğin, eğer en iyi kromozom uygunluk değeri tüm rulet tekerinin %90'ı olsaydı diğer kromozomların seçilme şansı çok küçük olmalıydı (Obitko, 1998).

Rank seçiminde ilk önce popülasyon dizisi (sırası) ve sonra her bir kromozomun bu dizideki uygunluk değeri incelenir. Popülasyondaki diziler, uygunluk değerlerine göre iyiden kötüye sıralanır. En iyi uygunluk 1, ikincisi 2 vb. şeklinde tüm kromozomlar sıralanır. En iyi diziden başlanır ve bir orantılı seçim yöntemi kullanarak yeni popülasyon oluşturulur. Şekil 3.13'te sıralama öncesi ve sonrası uygunluk ve dizi değerleri grafikleri verilmiştir.



Şekil 3.13 Sıralama öncesi ve sonrası uygunluk ve dizi değerleri grafikleri

Böylece tüm kromozomların seçilme şansı vardır. Fakat bu metot düşük yakınsamalar için önemlidir. Çünkü en iyi kromozomlar arasında belirgin farklılıklar bulunmamaktadır.

3.3.7.3. Kararlı Hal Seçim Yöntemi

Ebeveyn seçiminde belirgin bir metot değildir. Bu seçim yönteminin temel mantığı, seçilen büyük kromozom parçalarının yeni nesiller için hayatta kaldığının kabul edilmesidir. GA her bir nesilde seçilen birkaç iyi ya da yüksek uygunluğa sahip kromozomlar ile yeni oğul kromozomlar üretilir. Sonra bazı kötü ya da düşük uygunluktaki kromozomlar kaldırılır ve yeni oğullar ile yer değiştirirler. Böylece popülasyonun kalan miktarı yeni nesile aktarılır (Obitko, 1998).

3.3.7.4. Seçkinlik (Elitizm) İşlemi

Uygunluk seçiminde kullanılan çeşitli yöntemler ile eski popülasyonun yenilenmesi gerçekleştirilebilir. Burada nesil stratejisi kapsamında, mevcut popülasyondaki kromozomlar ile üreme sonucu elde edilmiş oğullar (offspring) tamamen yer değiştirir. Popülasyonun en iyi kromozomu da yenilendiğinden dolayı bir sonraki popülasyonda yer alamaz ve bu yüzden nesil stratejisi elitizm (en uygun) stratejisiyle beraber kullanılmaktadır. Elitizm stratejisinde ise, mevcut popülasyondaki en iyi kromozomlar hiçbir zaman değişmemektedir ve bu yüzden üreme için en iyi çözüm her zaman mevcut popülasyonda kalmaktadır (Emel ve Taşkın,2002; Yeniay, 2001).

3.3.8. Durdurma (Termination) Kriteri

Yeo ve Agyel'e göre yeni nesil üreme, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra tanımlanmakta ve bir sonraki neslin ebeveynleri olmaktadır. Süreç yeni nesille üreme için belirlenen uygunluk ile devam eder. Bu süreç, önceden belirlenen nesil sayısı kadar veya bir hedefe ulaşıncaya kadar ya da başka bir durdurma kriteri sağlanana kadar devam eder (Emel ve Taşkın, 2002).

Bir yerel (lokal) optimum çözüme ulaşıldığında sona eren basit komşuluk arama (neighbourhood search) yöntemlerinden farklı olarak GA stokastik arama yöntemi belirli prensipler altında çalışmaya devam eder. Pratikte, bir sonlandırma kriterine ihtiyaç vardır. Bunlar; istenilen uygunluk fonksiyonu değeri, bilgisayar çalışma zamanı, popülasyon çeşitliğinin geçilmesi olabilir (Reeves, 2002).

Fung vd. (2001) sonlandırma işleminin, istenen hassasiyet derecesine göre maksimum iterasyon sayısı belirlenebileceğini ve iterasyonun bu sayıya ulaştığında GA döngüsünün sonlandırılabilirliğini belirtmişlerdir. Ayrıca durdurma kriteri olarak iterasyon sayısının kabul edilebileceği gibi hedeflenen uygunluk değeri olarak da kabul edilebileceğini ifade etmişlerdir.

3.4. Simülasyon Yöntemi ve Faborg-Sim Simülasyon Yazılımı

3.4.1. Simülasyon Yöntemi

Simülasyon yöntemi; üretim sistemlerinde organizasyon yapılandırma ve geliştirmede, analizinde ve uygulamalarında çok geniş kullanım alanlarına sahip bir karar verme aracıdır. Simülasyon literatürde farklı şekillerde tarif edilmiştir.

- VDI (Alman Mühendisler Birliği)'ya göre simülasyon, incelenen bir dinamik süreç hakkında çeşitli bulgular elde etmek amacıyla, sürecin modelde oluşturulması ve sonuçlarının gerçek sisteme taşınması olarak tanımlanmaktadır (Koruca, 2002).
- Simülasyon, gerçek hayat kaynaklarının ve süreçlerinin farklı şekillerdeki operasyonlarının bilgisayar ortamında modellenmesi ve benzetilmesi tekniğidir. Bir simülasyonda model karakteristiklerini doğru tahmin etmek için toplanan verileri sayısal olarak bilgisayar aracılığıyla değerlendirebiliriz (Law ve Kelton, 1991).
- Bir simülasyon gerçek hayat sürecinin ya da sistemin operasyonunun imitasyonudur (Banks vd., 2001).
- Simülasyon, gerçek bir sistemin modelini tasarlama süreci ve sistemin işlemesi için sistem davranışlarını anlamak veya değişik stratejileri değerlemek amacı ile bu model üzerinden denemeler yapmaktır (Halaç,1982).

Simülasyon statik ya da dinamik, deterministik ya da stokastik ve kesikli ya da sürekli şeklinde genel olarak sınıflandırılabilir. Statik simülasyona Monte Carlo Simülasyonu örneği verilebilir. Belirli sistem karakteristikleri üretilmiş rassal değişkenler tarafından sistemin analizinde kullanılır. Dinamik simülasyon modelleri farklı olarak aşırı (fazla) zamanları da kapsar. Eğer bir model rassal değişken içermiyorsa deterministik model, bir ya da daha fazla rassal değişken içeriyorsa stokastik model olarak tanımlanır. Şayet bir model kesikli sürelerde simüle ediliyorsa kesikli simülasyon, sürekli zaman çevrimlerinde gerçekleşiyorsa sürekli simülasyon olarak adlandırılır (Banks vd., 2001).

İşletmeler için daha yatırım aşamasında birden fazla etkinin değerlendirilerek daha hızlı, etkin ve doğru karar vermeyi sağlayan araçlardan biri simülasyon yöntemidir. Simülasyon yöntemi yardımıyla daha yatırım yapılmadan planlanan yatırımın performansı, birden fazla etkinin dinamik olarak değerlendirilmesi, sistemin verimliliği ve karlılığı ile ilgili olarak çeşitli sonuçlar elde edilebilir ve bu bilgiler işletmelerin önünü görmesi bakımından önemlidir.

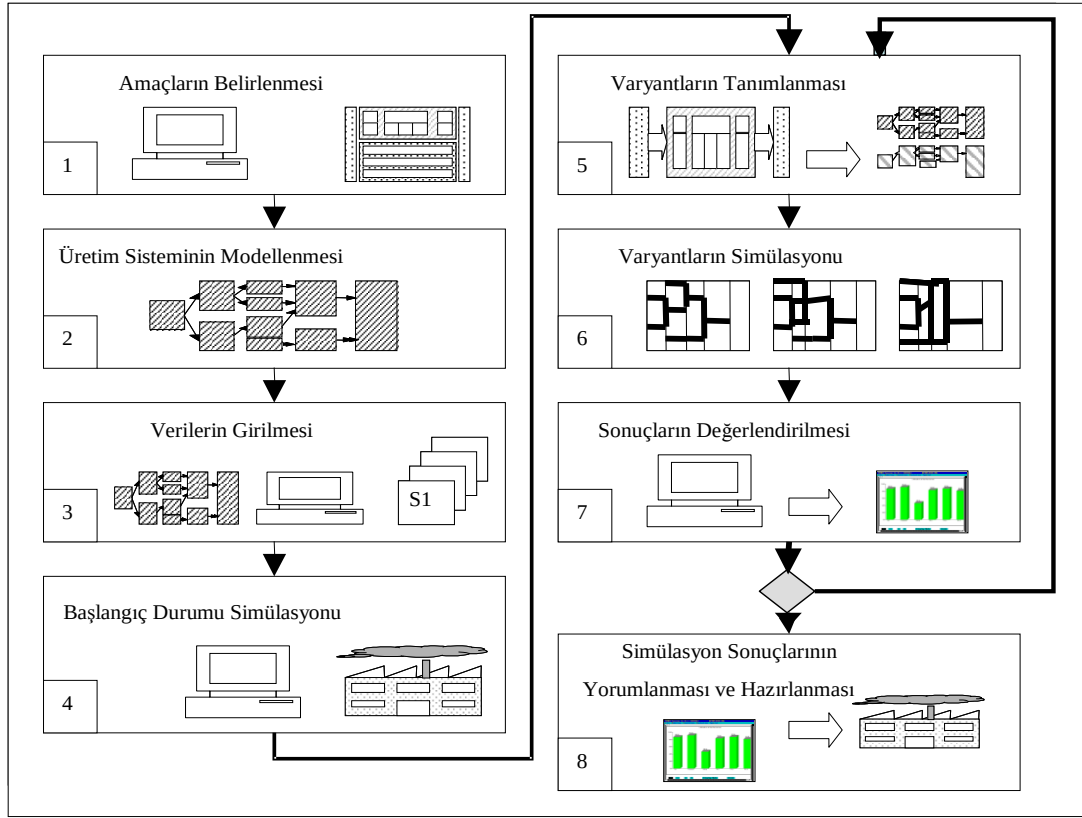
Üretim sistemleri açısından değerlendirildiğinde; sistemin dinamik davranışını etkileyen faktörlerin neler olduğunun ve etki derecelerinin belirlenmesi önemlidir. Bu faktörlere göre karar verme sürecinin tamamlanması gerekmektedir. Çünkü akışın en iyi şekilde tasarlanması, siparişe bağımlı olarak imalat sürelerinin kısaltılması son zamanlarda üretim organizasyonu alanında yapılan bilimsel araştırmaların temel noktasını oluşturmaktadır. Günümüzde, bilgisayar bütünleşik üretim sistemleri ve CAD/CAM uygulamaları gerçekleştirilmesine rağmen, bu tasarımların organizasyon ve işletme üzerindeki etkileri üzerine geçerli genel kurallar sunulamamaktadır. Bu nedenle rekabet şartları altındaki her bir işletme organizasyon yapısının dinamik davranışları hakkında araştırmalar yapılmasına gerek duyulmaktadır (Koruca, 2002). Bu noktada simülasyon yöntemi önemli bir karar verme aracı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Simülasyonun bazı avantajları ve dezavantajları vardır. Simülasyon yönteminin avantajları özetlenirse (Pedgen vd.,1995; Klingstam ve Gullander, 1999):

- Mevcut üretim sistemi modeli üzerinde deneyler gerçekleştirilebilir,
- Satın almadan pahalı ekipmanın performansı değerlendirilebilir,
- Yeni üretim tesisinin her bir davranışı tahmin edilebilir,
- Alternatif organizasyon yapıların analizi gerçekleştirilebilir.

Simülasyonun temel dezavantajları ise gerçek hayat sistemlerinin analizi ve modellenmesinde kısıtlar ve sınırlanmış yeteneklerin varsayımlara ihtiyaç duyulmasıdır. Bu sınırlamaların bazıları programlar ve çıktı analiz yazılımlarına bağlı olmaktadır (Pedgen vd., 1995).

Koruca (2002) tarafından genel olarak bir üretim simülasyon araştırmasının uygulama aşamaları Şekil 3.14'teki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 3.14 Bir üretim simülasyon araştırmasının uygulama aşamaları (Koruca, 2002)

Bir üretim simülasyon çalışmasında; öncelikle amaçların belirlenmesi ve sistemin modellenmesiyle başlangıç (mevcut) durum simülasyonu yapılır. Böylece mevcut durum analizine göre alternatiflerin geliştirilmesi ve bu varyantların simülasyonu ile devam eder. Sonuç değerlendirmesiyle mevcut durumla alternatif durumların performans kriterlerine göre analizleri ile uygun işletme yapısının belirlenerek darboğazların ortadan kaldırılması ya da azaltılması sağlanır.

Basit ya da el ile hesap yöntemlerinin yeterli olmadığı veya birden fazla alternatifin araştırılması istendiğinde, sistemlerin analizi açısından büyük kolaylıklar sağlaması bakımından genel olarak simülasyon yöntemi üretim sürecinde uygulama alanları şunlardır (Koruca, 2002):

- Bir tesisin veya fabrikanın planlanması ve analizi,
- Sistemlerin simülasyon ile gerçekleştirilmesi,

- Üretim ünitelerinin karlı parametrelerle işletilmesi,
- Verimlilik ve ekonomiklik kontrollerinin yapılması.

Literatür incelendiğinde simülasyon uygulama alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| - İmalat Uygulamaları, | - İnsan Sistemleri, |
| - Konstrüksiyon Mühendisliği , | - İş Prosesleri, |
| - Üretim Sistemleri, | - Talep Tahminleri, |
| - Askeri Uygulamalar, | - Proje Yönetimi, |
| - Lojistik ve Taşıma, | - Dağıtım Uygulamaları, |
| - Sağlık Uygulamaları, | - Mekanik Sistemler, |
| - Kimyasal Sistemler, | - Elektrik-Elektronik Sistemleri, |
| - İletişim Sistemleri, | - Servis Sistemleri, |
| - İnternet Uygulamaları, | - Güvenilirlik ve Bakım Yeteneği. |

Üretim sistemlerinde simülasyon yöntemi, verimliliğin artırılması ve süreçlerin iyileştirilmesi için zaman ve maliyet faktörlerinin incelenmesi açısından önceliklidir. Böylece işletmeler açısından yeni bir yatırım yapmadan önce mevcut sistem kaynaklarının analizi daha önemlidir (Klingstam ve Gullander, 1999).

Sonuç olarak simülasyon yöntemi; gerçek bir sistemin ilgili parametreleri ile modellenmesi ve farklı şartlar altındaki sistem davranışlarının değerlendirilmesini sağlar. Üretim sistemleri analizinde çok fazla sayıda ve farklı özelliklere sahip değişkenleri tek bir modelde toplayabilmeyi sağlayan simülasyon yöntemi, çizelgeleme problemleri gibi kompleks yapı ve çözümü zor problemlerde sistemin değerlendirilebilmesi bakımından önemlidir.

Bir üretim sisteminde, işlemlerin, iş istasyonlarının, personelin, çalışma sistemlerinin, müşterilerin vb. parametrelerin modellenmesiyle birlikte çizelgeleme problemlerinin çözümünün aranması zaman periyodunu da kapsamı bakımında daha etkili ve gerçekçi olacaktır. Ölçülebilen faktör sayısının artması ile sistem performans değerlendirmesi daha yüksek gerçeklikte yapılabilir. Fakat ölçülemeyen faktörlerin çokluğu, organizasyon yapısındaki değişikliklerin analizinde maliyet ve

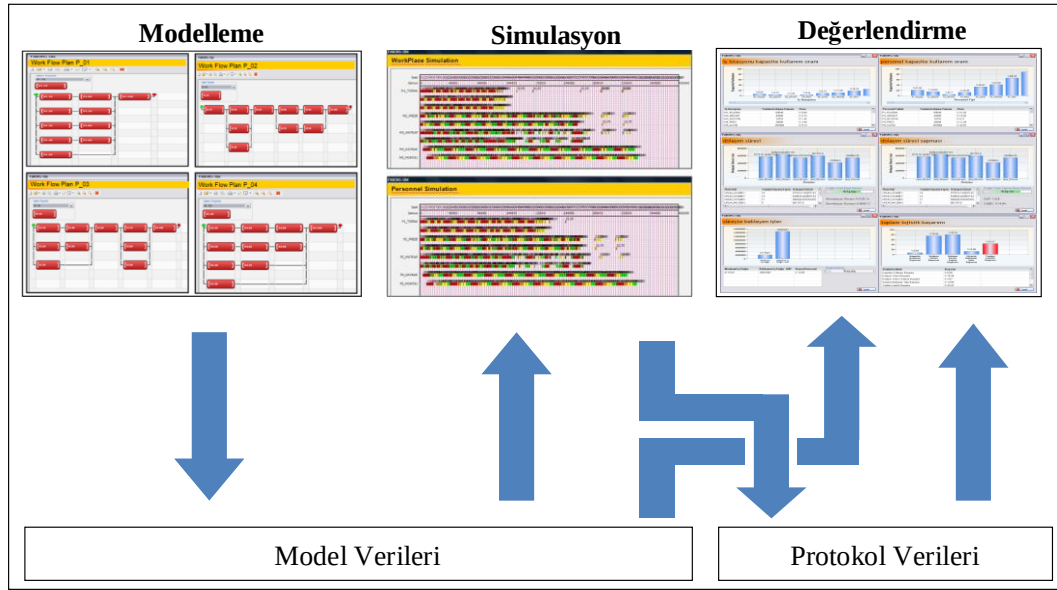
zaman tasarrufu sağlayabilme amacıyla simülasyon yaklaşımı ile değerlendirme önemli olmaktadır.

Gelişen bilgisayar teknolojisi ile simülasyon uygulamalarının kullanılmasıyla ilgili gelişmeler olmuştur. Birden fazla amacı ve kısıtı çok daha hızlı bir şekilde bilgisayar ortamında değerlendirmek ve simüle etmek mümkün olmaktadır. Ayrıca, nesne tabanlı programlamanın da hızlı gelişimi sayesinde simülasyon yazılımlarının görsel ifade ve çözüm hızı gücü de önemli oranda gelişmiştir. Bilgisayar ortamındaki simülasyon yöntemi ile, mevcut ve alternatif organizasyon yapıları ve üretim sistemleri analizi gelişmiş görsel elektronik sunum araçları ile ifade edilmekte ve daha etkin kararların alınabilmesi sağlanmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, karmaşık sistemlerin sanal gerçeklikte analiz edilmesi, grafiksel sonuçlar ve benzetiminin animasyonu günümüz bilgisayarları ile daha hızlı sağlanabilmektedir.

3.4.2. Faborg-Sim Simülasyon Yazılımı

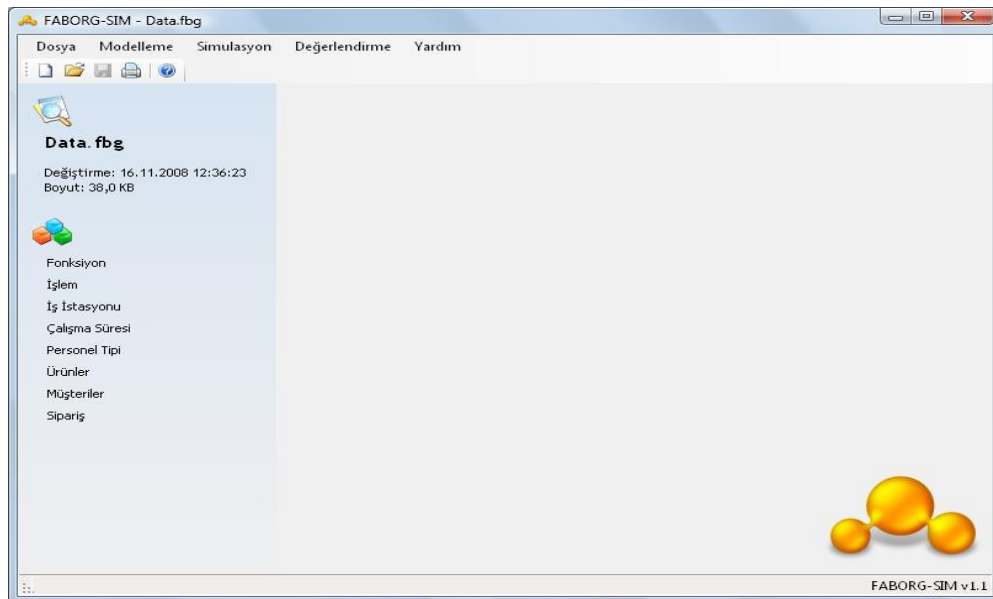
Faborg-Sim yazılımı, “*Fabrika Organizasyonu, Üretim Sistemi Yapılandırma ve Performans Ölçmeye Yönelik Simülasyon Yazılımı Geliştirilmesi (Faborg-Sim)*” başlıklı TÜBİTAK-MAG destekli araştırma projesi kapsamında geliştirilmiştir. Üretim sistemlerinin modellenmesi, simülasyonu ve performans ölçme kriterleri ile değerlendirilmesi amacıyla yönelik geliştirilen Faborg-Sim yazılımının genel yapısı Şekil 3.15’te ve kullanıcı arayüzü Şekil 3.16’da verilmiştir.

Faborg-Sim Modelleme Modülü; giriş parametreleri; işlem, iş istasyonu, personel, çalışma süresi, iş akış planı, ürün, sipariş ve müşteri tanımlamalarını nicel değerler ile veri tabanına kaydeder. Ayrıca personel, fonksiyon (işlem grubu), iş istasyonu ve işlem arasındaki görevlendirmeler ile personel-çalışma saatleri arasındaki atamalar modelleme modülünde tanımlanır.



Şekil 3.15 Faborg-Sim simülasyon yazılımı genel yapısı

Faborg-Sim Simülatör Modülü; paralel iş istasyonu ve personeli her türlü sistemin simülasyonu gerçekleştirilmektedir. İş akış planları ile tanımlanmış ürünlerin sisteme girilen siparişleri parti büyüklükleri, planlanmış sipariş başlama zamanlarını da dikkate alacak şekilde istenilen inceleme periyodu için simüle etmekte ve sonuçları Gantt şemasında göstermektedir. Simülasyon koşumu sırasında simülatör tarafından zamana bağlı protokol verileri sürekli kaydedilir.



Şekil 3.16 Faborg-Sim simülasyon yazılımı kullanıcı arayüzü

Faborg-Sim Değerlendirme Modülü; simülasyon tamamlandıktan sonra sisteme ait performans sonuçlarını aşağıdaki kriterlere göre belirler:

- İş İstasyonu Kapasite Kullanım Oranı Başarımı (İSTKKB),
- Personel Kapasite Kullanım Oranı Başarımı (PERKKB),
- Ürün Dolaşım Süresi Başarımı (ÜDSB),
- Ürün Dolaşım Süresi Sapması Başarımı (ÜDSSB),
- Süreçte Bekleyen İşler Başarımı (SBİB),
- Toplam Lojistik Başarımı (TLB),
- Teslim Kabiliyeti Başarımı (TKB),

Performans ölçme kriterleri sayesinde üretim sistemlerindeki darboğazların, teslim oranlarının, dolaşım sürelerinin kısaltılması tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Faborg-Sim Yazılımı Modelleme, Simülatör ve Performans Değerlendirme Modülleri ayrıntılı olarak Ek-3'te verilmiştir.

3.5. Geliştirilen Eniyileme Modülü

3.5.1. Öncelik Kuralı Tabanlı Genetik Algoritma Çözüm Yaklaşımı

Atölye tipi çizelgeleme problemleri NP-Zor sınıf problemler olduğundan polinom zamanlı olarak çözümlerinin mümkün olmadığı kabul edilir. O yüzden çözüm yöntemi olarak kullanılan sezgisel yöntemlerden GA yöntemi oldukça sık kullanılan bir yöntemdir. GA yöntemi atölye tipi çizelgeleme problemlerine uyarlanması kodlama yöntemine göre değişmektedir. Son yıllarda literatürde atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümüne yönelik dokuz farklı GA yaklaşımı yer almaktadır (Gen ve Cheng, 1997):

- Operasyon Tabanlı Yaklaşım,
- Sipariş Tabanlı Yaklaşım,
- Liste Özelliği Tabanlı Yaklaşım,
- İş Çifti İlişkisi Tabanlı Yaklaşım,
- Öncelik Kuralı Tabanlı Yaklaşım,
- Ayrıcı Grafik Tabanlı Yaklaşım,

- Tamamlanma Zamanı Tabanlı Yaklaşım,
- Makine Tabanlı Yaklaşım,
- Rassal Anahtar Tabanlı Yaklaşım.

Yapılan çalışmada parametre kodlama yöntemi olarak “Öncelik Kuralı Tabanlı Yaklaşım” kullanılmıştır.

Dorndorf ve Pesch (1995) tarafından atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde öncelik kuralı tabanlı GA yaklaşımı geliştirilmiştir. Kromozom üretiminde n-iş (sipariş) ve m-makine problemi için kromozomun boyutu $n \times m$ büyüklüğünde $(p_1, p_2, \dots, p_{nm})$ olmalıdır. Buradaki her bir p_i ilgili adım için uygulanması gereken bir öncelik kuralını ifade edecektir. İşlemler arasında seçim yapılırken i . iterasyon için öncelik kuralını seçmemizi sağlar, eğer işler arasında bir seçim yapılamadığı durum oluşursa (aynı işlem süresi gibi) bu durumda seçim rastsal olarak yapılır. Öncelik kurallarına dayalı bir genetik algoritma aşamaları aşağıda verilmiştir:

- PS_t : t . çizelgelenmiş operasyonların bir çizelge parçası
- S_t : t . iterasyonda PS_t ye denk gelen çizelgelenebilir operasyonların kümesi
- σ_i : $i \in S_t$ olan i . operasyonun en erken başlayabileceği zaman
- Φ_i : $i \in S_t$ olan i . operasyonun en erken tamamlanabileceği zaman
- C_t : t . iterasyonda çakışan operasyonların kümesi

Algoritma prosedürü için bir başlangıç popülasyonu için rastsal olarak $(p_1, p_2, \dots, p_{nm})$ kromozomu üretilir. Bu kromozoma göre öncelik kuralına dayalı uygun çizelgeleme çözüm adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1. $t=1$ iterasyon için PS_t boş bir çizelge parçası olmak üzere herhangi bir öncelik olmadan S_t iterasyonda PS_t ye denk gelen çizelgelenebilir tüm operasyonları içersin.

Adım 2. Bu operasyonların arasında en erken tamamlanabilecek zamana $\Phi_t^* = \min_{i \in St} \{\Phi_i\}$ ve ilgili zamanda kullanılacak makineye (m^*) operasyonu seç. Eğer birden fazla benzer operasyon varsa rastsal seçim yap.

Adım 3. C_t çakışma kümesi; aynı m makinesine ihtiyacı olan $i \in St$ ve $\sigma_i < \Phi_t^*$ olan tüm operasyonları içersin. Öncelik kuralı kromozomuna bakılarak p_t genine karşılık gelen öncelik kuralına göre C_t kümesinden bir operasyon seçilir ve bu operasyon PS_t 'ye ekle. Böylece yeni bir çizelge parçası olan PS_{t+1} üretilmiş olur. Öncelik p_t 'ye göre birden fazla operasyonun seçimi söz konusu ise rastsal seçim yap.

Adım 4. S_t kümesinden seçilmiş operasyonları çıkararak ve direkt olarak bir sonraki ardışık operasyonu ekle ve PS_{t+1} güncelle. Daha sonra $t=t+1$ yap.

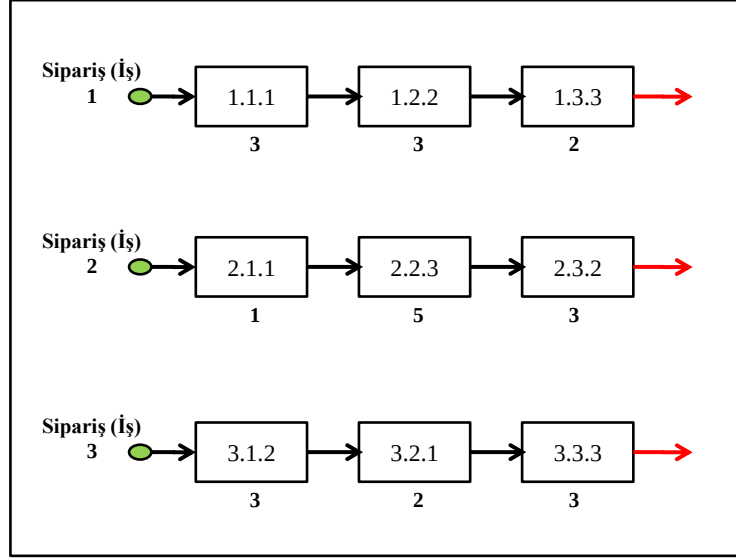
Adım 5. Tüm işler çizelgelenene kadar Adım 2'ye git. Tüm işler çizelgelenince dur ve en son işin sistemi terk etme zaman değerini uygunluk fonksiyonu değeri olarak belirle.

Önerilen öncelik kuralı tabanlı GA yaklaşımına göre belirlenmiş öncelik kuralları ile oluşturulan kromozomlar çizelgelenen işlerin seçilmesinde kullanılır. Gen ve Cheng (1997) yaptıkları 3 iş 3 makine problemi çalışmasında Dondorf ve Pesch (1995) tarafından önerilen öncelik kuralı tabanlı GA yaklaşımı uygulamışlardır. Çizelge 3.14'te uygulamada kullandıkları öncelik kuralları verilmiştir.

Çizelge 3.14 Öncelik kurallarının kodlanması (Dondorf ve Pesch, 1995)

Gen Kodu	Kural	Açıklama
1	SPT	En Kısa İşlem Süresi
2	LPT	En Uzun İşlem Süresi
3	MWR	En çok toplam işlem zamanı kalan işe ait operasyonu seç
4	LWR	En az toplam işlem zamanı kalan işe ait operasyonu seç

Atölye tipi çizelgelemede 3 makine 3 iş/sipariş problemi için $3 \times 3 = 9$ gen elemanına sahip kromozomlar Çizelge 3.14’te verilen gen kodlarına göre kodlanır. Sonuçta elde edilen başlangıç kromozomu [1 2 2 1 4 4 2 1 3] olur. Burada 1 SPT, 2 LPT, 3 MWR ve 4 LWR öncelik kuralını temsil eder. Burada 3 makine 3 sipariş atölye tipi üretim sistemine ait işlem süreleri, makine sıraları Şekil 3.17’de verilmiştir.



Şekil 3.17 3 iş 3 makine atölye tipi üretim sistemi örneği (Gen ve Cheng,1997)

Burada 1.1.1 numaralı işlem sipariş 1’in ilk işlemi olup makine 1 de 3 birim zaman işlenecek anlamına gelmektedir.

Dorndorf ve Pesch (1995) tarafından önerilen öncelik kuralı tabanlı algoritma adımları uygulandığında:

$$\text{Adım 1: } S_1 = \{ O_{111}, O_{211}, O_{312} \}$$

$$\Phi_1^* = \min \{ 3, 1, 3 \} = 1$$

$$m^* = 1$$

$$C_1 = \{ O_{111}, O_{211} \}$$

O_{111} ve O_{211} operasyonları m_1 makinesinde tamamlanmaktadır. O halde kromozomdaki gen bilgisine bakılır. 1 numaralı gende bilgi olarak 1 vardır denir ve

SPT kuralı uygulanmalıdır. O halde işlem zamanı en küçük olan O_{211} operasyonu m_1 makinesinde çizelgelenir (Şekil 3.18a).

$$\text{Adım 2: } S_1 = \{ O_{111}, O_{223}, O_{312} \}$$

$$\Phi_1^* = \min \{ 4, 6, 3 \} = 3$$

$$m^* = 2$$

$$C_1 = \{ O_{312} \}$$

O_{312} operasyonu m_2 makinesinde çizelgelenebilecek başka operasyon olmadığından kromozoma bakılmadan çizelgelenir (Şekil 3.18b) ve bir sonraki adıma geçilir.

$$\text{Adım 2: } S_1 = \{ O_{111}, O_{223}, O_{321} \}$$

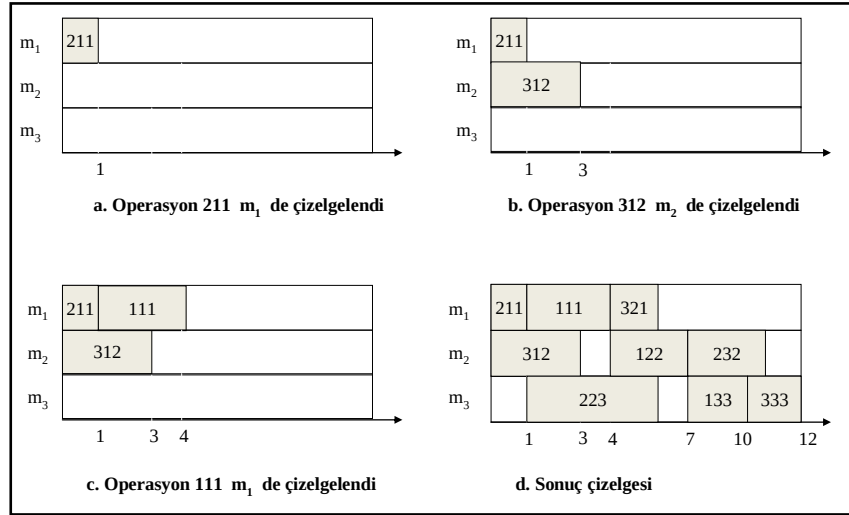
$$\Phi_1^* = \min \{ 4, 6, 3 \} = 3$$

$$m^* = 1$$

$$C_1 = \{ O_{111}, O_{321} \}$$

O_{111} ve O_{321} operasyonları m_1 makinesinde tamamlanmaktadır. Birden fazla çizelgelenebilecek operasyon olduğundan öncelik kromozomunda $i=3$ için bakılır ve gen bilgisi 2 LPT elde edilir. Bu öncelik kuralına göre işlem süresi daha uzun olan O_{111} operasyonu m_1 makinesinde çizelgelenir (Şekil 3.18c) ve bir sonraki adıma geçilir.

Sistem yer alan tüm operasyonlar benzer şekilde çizelgelenene kadar algoritma devam eder. En son operasyon çizelgelendiğinde sonuç çizelgesi elde edilmiş olur. Sonuç Gantt diyagramı Şekil 3.18d'de verilmiştir.



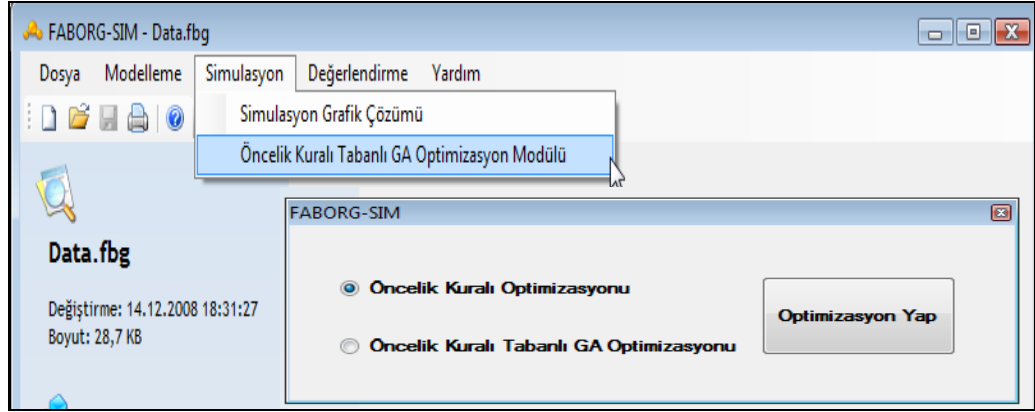
Şekil 3.18 Öncelik kuralı tabanlı yaklaşım örneği Gantt şemaları (Gen ve Cheng,1997)

Çizelgelemede son operasyonun sistemi terk etme zamanı, genetik algoritmanın uygunluk fonksiyonu değeri olarak ele alınmaktadır. Örnek için $[1\ 2\ 2\ 1\ 4\ 4\ 2\ 1\ 3]$ kromozomu uygunluk değeri $f = 12$ birim zaman'dır.

Uygunluk fonksiyonu değeri en iyi yani minimum son işin sistemi terk etme zamanını sağlayan kromozomlar seçilerek yeni popülasyona alınır. En iyi çözüm belirli sayıda tekrarlandığında ya da toplam nesil sayısı durdurma kriterini sağlandığında algoritma sonlandırılır. O ana kadar bulunmuş minimum toplam tamamlanma süresine sahip kromozom tipine denk gelen çizelgeleme sonucu kabul edilir. Bu sonuç, yazılımda Gantt şemasına çizdirilir. Atölye tipi çizelgeleme problemlerinde öncelik kurallarına göre çizelgeleme işlemi GA adımlarına uygun olarak yapılabilir.

3.5.2. Faborg-Sim Öncelik Kuralı Tabanlı GA Eniyileme Modülü

Geliştirilen optimizasyon modülü Faborg-Sim yazılımında Simülasyon bölümünde yer almakta ve iki temel kısımdan oluşmaktadır: Birincisi, öncelik kuralı optimizasyonu ve ikincisi öncelik kuralı tabanlı genetik algoritma optimizasyonu. Bu optimizasyon yöntemlerinin seçimi Faborg-Sim yazılımına ilave edilen geçiş formu ile sağlanmaktadır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 Optimizasyon yöntemi seçim işlemi formu

Öncelik Kuralı Optimizasyonu: Bu optimizasyon yönteminde, sistemde yer alan ve modelde tanımlanmış siparişlerin simülasyon koşumları için sabit öncelik kuralı tanımlanır. Öncelik kuralı optimizasyonu seçildiğinde Şekil 3.20’de verilen arayüz formu görüntülenmektedir.

Öncelik kuralı tabanlı genetik algoritma optimizasyon modülü
priority rule based genetic algorithm optimization module

Öncelik Kuralı Optimizasyonu

Simülasyon için Öncelik Kuralları

- ☐ 0 - İlk Gelen İlk Servis Alır (İGİS-FCFS)
- ☐ 1 - Son Gelen İlk Servis Alır (SGİS-LCFS)
- ☐ 2 - En Kısa İşlem Süresi (EKİS-SPT)
- ☐ 3 - En Uzun İşlem Süresi (EUİS-LPT)
- ☐ 4 - En Erken Teslim Zamanı (EETZ-EDD)
- ☐ 5 - En Az Kalan Operasyon Sayısı (EAKOS-LRNOP)
- ☐ 6 - En Çok Kalan Operasyon Sayısı (EÇKOS-MRNOP)
- ☐ 7 - En Küçük Kalan Operasyon Süresi (EKKİS-SPRT)
- ☐ 8 - En Uzun Kalan Operasyon Süresi (EUKİS-LPRT)
- ☐ 9 - Rassal Seçim (RS-SIRO)

Simüle et !

Öncelik Kuralı Tabanlı GA Optimizasyonu

Amaç Fonksiyonu Object Function	Min Tamamlanma Zamanı Min Makespan
Başlangıç Popülasyon Büyüklüğü Initial Population Size	
Çaprazlama Oranı Crossover Rate	%
Mutasyon Oranı Mutation Rate	%
İterasyon Sayısı Iteration Number	
En İyi Değer Tekrarlanma Sayısı The Best Fitness Value Repetition Number	

GA için Öncelik Kuralı Seç ! **OptPRGA Simüle et !**

Performans Sonuçları

Şekil 3.20 Öncelik kuralı optimizasyonu program arayüz formu

Sadece öncelik kuralı optimizasyonu seçilir ve formun sol tarafında aktif olmaktadır. Bu kısımda öncelik kuralları ve kodları (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) yer almaktadır. Her bir öncelik kuralı bir kez seçilebilecek şekilde ayarlanmıştır. Öncelik kuralı seçildikten sonra “Simüle et!” buton kontrolü çalıştırılır.

Örneğin; “2 - En Kısa İşlem Süresi (EKİS/SPT)” öncelik kuralı seçildiğinde sistemdeki siparişler simülasyon tabanlı değerlendirme olduğundan önce en erken başlama zamanına göre sıraya alınır. Daha sonra aynı en erken başlama zamanında olan işlem kümesinden “En Kısa İşlem Süresi” olan işlem seçilir ve simüle edilir. Eğer bu kümede “En Kısa İşlem Süresi” olan birden fazla işlem varsa, o halde seçilecek işlem rassal olarak belirlenir. Sistemdeki tüm siparişler, tanımlanmış olan model şartlarına (iş istasyonu, personel, konfigürasyon, vardiya vb.) göre simüle edilmektedir. Sonuçta, değerlendirme modülü ile performans sonuçlarına ulaşılmaktadır.

Öncelik Kuralı Tabanlı Genetik Algoritma Optimizasyonu: Bu yöntem seçildiğinde, optimizasyon formunun sağ tarafı aktif olmaktadır. Bu durum Şekil 3.21’de gösterilmektedir.

FABORG-SIM

öncelik kuralı tabanlı genetik algoritma optimizasyon modülü
priority rule based genetic algorithm optimization module

Öncelik Kuralı Tabanlı GA Optimizasyonu

Amaç Fonksiyonu
Object Function

Min Tamamlanma Zamanı
Min Makespan

Başlangıç Popülasyon Büyüklüğü
Initial Population Size

Çaprazlama Oranı
Crossover Rate

Mutasyon Oranı
Mutation Rate

İterasyon Sayısı
Iteration Number

En İyi Değer Tekrarlanma Sayısı
The Best Fitness Value Repetition Number

GA için Öncelik Kuralı Seç !

OptPRGA Simüle et !

Performans Sonuçları

Öncelik Kuralları Belirle !

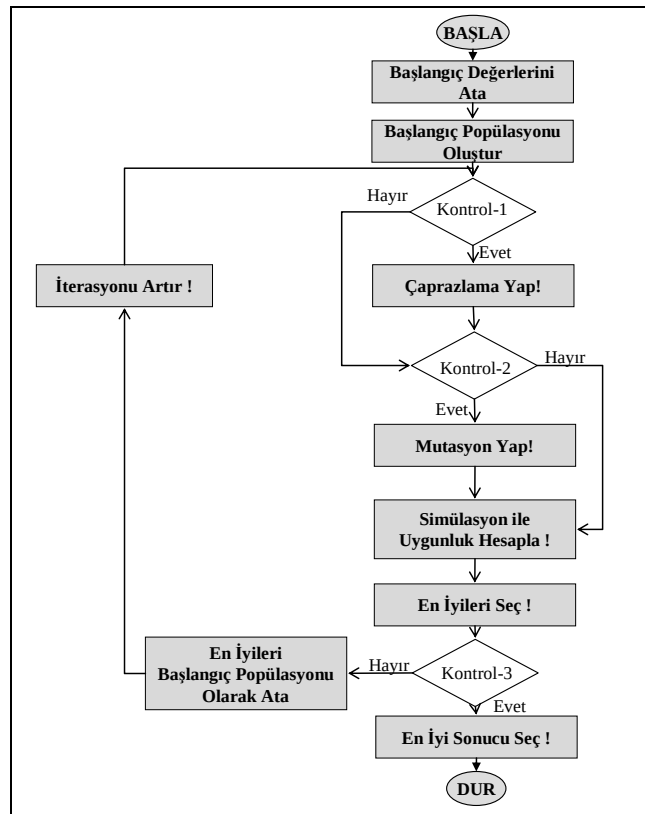
GA için öncelik kuralı seç
priority rules

Öncelik Kuralı Seç

- ☒ 0 - İlk Gelen İlk Servis Alır (İGİS-FCFS)
- ☒ 1 - Son Gelen İlk Servis Alır (SGİS-LCFS)
- ☒ 2 - En Kısa İşlem Süresi (EKİS-SPT)
- ☒ 3 - En Uzun İşlem Süresi (EÜİS-LPT)
- ☒ 4 - En Erken Teslim Zamanı (EETZ-EDD)
- ☒ 5 - En Az Kalan Operasyon Sayısı (EAKOS-LRNOP)
- ☒ 6 - En Çok Kalan Operasyon Sayısı (EÇKOS-MRNOP)
- ☒ 7 - En Küçük Kalan Operasyon Süresi (EKKİS-SPRT)
- ☒ 8 - En Uzun Kalan Operasyon Süresi (EUKİS-LPRT)
- ☒ 9 - Rassal Seçim (RS-SIRO)

Şekil 3.21 Öncelik kuralı tabanlı GA optimizasyonu program arayüz formu

Burada algoritmanın başlayabilmesi için gerekli olan parametrelerin tanımlanması gerçekleştirilir. Başlangıç Popülasyon Büyüklüğü, Çaprazlama Oranı, Mutasyon Oranı ve İterasyon Sayısı parametreleri form üzerinden metin olarak girilir. Daha sonra “GA için Öncelik Kuralı Seç!” buton kontrolü ile algoritma da kullanılması istenilen öncelik kuralları birden fazla olacak şekilde seçim yapılabilir. Öncelik kuralı seçme formu üzerinden tanımlanan kurallar GA kapsamında oluşturulacak kromozom dizisinin gen bilgisini oluşturmaktadır. Öncelik kuralı tabanlı GA optimizasyonu modülünde GA çalışma adımları Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.22 Öncelik kuralı tabanlı GA optimizasyonu çalışma algoritması

Bu algoritma, başlangıç parametre değerleri atandıktan ve öncelik kuralları seçildikten sonra, başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıyla başlar. Uygulama kapsamında rassal sayı üretici oluşturulmakta ve bilgisayar çalışma zamanına göre üreteç çalışmaktadır. İlk olarak, başlangıç popülasyonunu oluşturan bireylerin yani kromozomların gen uzunlukları simülasyon modelinde yer alan siparişlere göre oluşan ve gerçekleştirilmeyi bekleyen toplam işlem sayısı kadar belirlenir. Bu

yönüyle literatürden alınan Dorndorf ve Pesch (1995) öncelik kuralı yaklaşımından farklılık taşımaktadır. Bu kromozomlar GA için seçilmiş olan öncelik kuralları kümesindeki öncelik kuralı kodları ile rassal olarak sıralı (permütasyon) kodlama ile oluşturulur. Tanımlanmış başlangıç popülasyonu büyüklüğü kadar birey, rassal olarak oluşturularak başlangıç popülasyonu üretilir.

Daha sonra Kontrol-1 adımı, başlangıç popülasyonundaki bireylerin çaprazlama işlemiyle çoğalması kontrolü gerçekleştirilir. Bu sürece geçişte rassal bir oran üretilir ve algoritma için tanımlanmış olan çaprazlama oranı değeri ile karşılaştırılır. Üretilen rassal sayı, çaprazlama oranından küçük-eşit ise popülasyon çaprazlama işlemine tabi tutulur ve değil ise Kontrol-2 adımına gönderilir. Çaprazlama işleminde ise tek nokta çaprazlama yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem esas alındığında; ilk önce popülasyondan her defasında iki kromozom rassal seçimler ile belirlenir. Ardından yine rassal olarak kromozom uzunluğunda bir çaprazlama noktası seçilerek tek nokta çaprazlama işlemi ile iki yeni oğul gen üretilerek mevcut popülasyona eklenir.

Kontrol-2 adımı, popülasyonun mutasyona uğratılıp uğratılmayacağı belirlenir. Çaprazlama işleminde de olduğu gibi, önce bir rassal oranı üretilir ve bu oran mutasyon oranı ile karşılaştırılır. Üretilen bu rassal oranı, mutasyon oranından küçük-eşit ise popülasyon mutasyon işlemine uğratılır ve değil ise o andaki mutasyon uygunluk değeri hesaplamasına gönderilir. Mutasyon yöntemi olarak ters mutasyon yöntemi kullanılmıştır. Rassal bir sayı ile belirlenen kromozom üzerinde, yine rassal iki nokta belirlenir. Bu iki nokta arasındaki gen dizisi yeni kromozom elde edilirken tersten yazılır. Elde edilen yeni kromozomda mevcut popülasyona aktarılır. Bu popülasyon daha sonra uygunluk değeri hesaplamasına aktarılır.

Uygunluk değeri hesaplamasında, uygunluk amaç fonksiyonu olarak tamamlanma zamanı ya da en son işin sistemi terk etme zamanı ele alınmıştır. En son popülasyonda yer alan her öncelik kuralı kromozomu için mevcut simülasyon modeli çalıştırılır. Simülasyon yöntemin de olduğu gibi en erken başlama zamanına sahip işlem (ilk önce çizelgelenebilecek işlem) seçilir. Fakat burada birden fazla işlem bulunursa bunlar bir işlem kümesine atılır ve öncelik kuralı kromozomundan

gönderilen gen bilgisine göre öncelik kuralı uygulanarak işlem seçilir. Öncelik kuralı uygulanmasına rağmen işlem seçiminde birden fazla işlem kalıyorsa o durumda rassal seçim yapılır. İşlemler bu şekilde simüle edilerek çizelgelenir ve sonuçta her bir kromozom için bir tamamlanma zamanı elde edilir. Bu şekilde tüm popülasyon bireyleri için tamamlanma zamanı belirlendikten sonra seçim işlemine geçilir.

Seçim işleminde popülasyonda yer alan bireylerin uygunluk değeri olan tamamlanma zamanları optimizasyonun amacına göre küçükten büyüğe sıralanır. Popülasyon büyüklüğü değeri kadar en küçük uygunluk değerine sahip kromozomlar bir sonraki popülasyona aktarılacak en iyi olan çözümler ile çözüm aramaya devam edilir. Bu noktada Kontrol-3 adımıyla iterasyon sayısı kontrol edilir. İterasyon sayısına ulaşılmamışsa bu en iyi popülasyon bir sonraki iterasyon için başlangıç popülasyonu olarak atanır. Fakat istenilen iterasyon sayısına ya da en küçük tamamlanma zamanının en az istenilen tekrar sayısına ulaşılması halinde algoritma durdurma kriteri sağlanmış olur. Bu tekrar sayısı da arayüz formu üzerinden GA optimizasyonu çalışmadan önce tanımlanabilir. Böylece, en küçük tamamlanma zamanını veren kromozom çözüm sonucu olarak kabul edilir. Örnek bir sonuç tablosu ekran görüntüsü Şekil 3.23'te verilmiştir.

FABORG-SIM			
	ID	pChromosome	fitness
▶	25	3481562959945728383621981266084579585003867680892098643149029597537...	1341044
	3	2628081584720005891522610116842060461635837431616127820090886563176...	1341197
	11	7635212161941350043151445805257152147061140993559879456628930791479...	1341223
	22	3396250576198367263205933171976195177855549688609629288745208859090...	1341237
	6	6959985953070398842474831283671105505226308879968248015102779237297...	1341297
	1	4984521946703810960065176069697414330567085715639088609881756125828...	1341330
	0	5233090790846027071879677534990633191805819262161187925556656670021...	1341760
	10	3934675900805015373187371394897710429866854146311549567655338000308...	1341995
	17	1012596292969994342198516233519003247286411598757557096249625267385...	1342181
	19	1293940003527956539267648058936724743917842970528244150454498207679...	1342550
	26	3689495231742328326980594517067353465700697850281155573208487817339...	1342911

Çizelgeyi Göster

Şekil 3.23 GA algoritması sonuç tablosu örneği

Sonuç tablosunda elde edilen benzersiz olan kromozom kimlikleri (ID), kromozom gen bilgisi ve uygunluk değerleri yer almaktadır. Farklı iterasyon sayılarında kromozom kimliklerinin sonuç tablosunda yer alması GA seçim mekanizmasında elitist stratejinin uygulandığını göstermektedir. Bu tablodan istenilen kromozom seçilerek “Çizelge Göster!” butonu ile simüle edilerek performans sonuçları değerlendirilebilir.

Geliştirilen yazılım algoritmasını kısaca özetleyecek olursak; seçilen öncelik kurallarından oluşan kromozom dizileri ve popülasyon ile genetik algoritma adımları izlenir. Elde edilen popülasyondaki her birey sistem yani kurulan simülasyon modeli için simüle edilerek, model için tamamlanma zamanı ya da en son işin sistemi terk etme zamanı (makespan) elde edilir. Uygulama yöntemi, iterasyon sayısı tamamlanıncaya kadar ya da elde edilmiş bir en küçük tamamlanma zamanının 100 kere tekrar etmesi durumuna kadar algoritma devam eder. Sonuç elde edilen öncelik kuralı kromozom dizisi ve tamamlanma zamanı sistemin uygun çözümü olarak kabul edilir.

Dorndorf ve Pesch (1995) tarafından geliştirilen öncelik kuralı tabanlı genetik algoritma yöntemi bu çalışma yol gösterici olmuştur. Fakat tez kapsamında geliştirilen algoritma önemli farklılıklar taşımaktadır:

- Kromozom oluşturma şeklinin $m(\text{makine}) \times n(\text{iş istasyonu})$ yerine sistemde yer alan siparişlere bağlı olarak toplam iş sayısı büyüklüğünde olması,
- On farklı öncelik kuralının olması ve öncelik kurallarının ayrı ayrı seçilebilmesi,
- Sonlandırma kriteri olarak, iterasyon sayısı veya en iyi amaç fonksiyonu uygunluk değerinin istenilen tekrar sayısı şeklinde esnek olarak tanımlanabilmesi,
- Esnek işlem süresi ve iş istasyonunun yanı sıra personel, vardiyalı çalışma saatlerinin dikkate alınması,
- Simülasyon yönteminin kullanılması ile işlerin en erken yapılma sırasına göre işlem seçim kümesinin oluşturulması,
- Klasik atölye tipi çizelgeleme problemlerinde işler kesilemezken, geliştirilen yazılımın simülasyon destekli çalışması nedeniyle personel çalışma saatlerini

dikkate alarak kesilen işler uygun personel çalışma süresi (vardiyası) olduğu zaman kesildikleri iş istasyonunda devam etmesi.

Araştırma bulguları bölümünde incelenen kalorifer kazan imalatı yapan işletme verileriyle oluşturulan model, öncelik kuralları ve öncelik kuralı tabanlı genetik algoritma optimizasyonları dikkate alarak simüle edilmiş ve sistem ile ilgili olan simülasyon ve performans değerlendirme kriterlerine ait sonuçları verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Araştırma Bulguları

Simülasyon araştırması için öncelikli amaç, sistemdeki siparişlerin toplam tamamlanma zamanının en kısa olması ya da en son işin sistemi terk etme zamanının (makespan) minimum olması şeklinde tanımlanmıştır. Daha sonra uygulama işletmesi verileri ile Faborg-Sim simülasyon yönteminde sistem için başlangıç modeli hazırlanmıştır. Bu başlangıç modelinde yer alan temel veriler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Ayrıca siparişlerin işletme çalışma günlerine dağılımı Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Simülasyon model bilgileri

Toplam Sipariş Sayısı	60	Ürün Çeşidi	6	Ürün Kodu	Sipariş Sayısı
Toplam İş İstasyonu Sayısı	17	Paralel Toplam	22	KK045KY	14
Toplam Çalışan Sayısı	17	Paralel Toplam	22	KK080KY	14
Çalışma Süresi Bilgileri		Başlama (s)	Bitiş (s)	KK160KY	14
Vardiya Periyot Süresi (1 Gün)		0	86400	MK250KY	8
Vardiya Süresi (8 Saat/Gün)		28800	57600	MK250SY	6
Değerlendirme Periyodu (2 Hafta)				BY060DP	4
10 iş günü (0 – 1308600 s)					

Çizelge 4.2 Siparişlerin çalışma günlerine dağılımı

1. Gün			2. Gün			3. Gün			4. Gün			5. Gün		
Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı	Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı	Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı	Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı	Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı
S1	KK045KY	1	S7	KK080KY	1	S13	KK045KY	1	S19	KK045KY	1	S25	KK045KY	1
S2	KK045KY	1	S8	KK160KS	1	S14	KK080KY	1	S20	KK080KY	1	S26	KK045KY	1
S3	KK080KY	1	S9	MK250KY	1	S15	KK160KS	1	S21	KK160KS	1	S27	KK080KY	1
S4	KK160KS	1	S10	MK250SY	1	S16	MK250KY	1	S22	KK160KS	1	S28	KK160KS	1
S5	MK250KY	1	S11	MK250SY	1	S17	MK250SY	1	S23	MK250KY	1	S29	MK250KY	1
S6	MK250SY	1	S12	BY060DP	1	S18	BY060DP	1	S24	MK250SY	1	S30	MK250SY	1
6. Gün			7. Gün			8. Gün			9. Gün			10. Gün		
Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı	Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı	Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı	Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı	Sipariş Kodu	Ürün Kodu	Miktarı
S31	KK045KY	1	S37	KK045KY	1	S43	KK045KY	1	S49	KK045KY	1	S55	KK080KY	1
S32	KK045KY	1	S38	KK045KY	1	S44	KK045KY	1	S50	KK080KY	1	S56	KK160KS	1
S33	KK080KY	1	S39	KK045KY	1	S45	KK080KY	1	S51	KK080KY	1	S57	KK160KS	1
S34	KK080KY	1	S40	KK080KY	1	S46	KK080KY	1	S52	KK160KS	1	S58	KK160KS	1
S35	KK160KS	1	S41	KK080KY	1	S47	KK160KS	1	S53	KK160KS	1	S59	BY060DP	1
S36	KK160KS	1	S42	MK250KY	1	S48	MK250KY	1	S54	MK250KY	1	S60	BY060DP	1

Faborg-Sim simülasyon yazılımı, simülasyon işlemini “0 – İlk Gelen İlk Servis Alır” (İĞİS) kuralını dikkate alarak gerçekleştirmektedir. Optimizasyon çalışması iki bölümde ele alınmıştır. Oluşturulan simülasyon modeli için ilk olarak öncelik kuralları tek tek simüle edilmiştir. Daha sonra öncelik kuralı tabanlı GA optimizasyonu için üç farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Tüm öncelik kurallarını içeren model GA_09, sadece İĞİS ile SĞİS kurallarını içeren model GA_01 ve sadece EKİS ile EUİS kurallarını içeren model GA_23 olarak çalıştırılmıştır.

Öncelik kuralı tabanlı GA optimizasyonu için tanımlanan popülasyon büyüklüğü (30), çaprazlama oranı (%90) ve mutasyon oranı (%10), iterasyon sayısı (10) ve en iyi değerin tekrar sayısı (100) parametreleri ile oluşturulan GA_09, GA_01 ve GA_23 test modellerinin yapısı Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

The image displays the 'GA optimization module' interface. The main window is titled 'GA optimization module' and contains a section for 'Öncelik Kuralı Tabanlı GA Optimizasyonu'. This section includes input fields for 'Başlangıç Popülasyon Büyüklüğü' (30), 'Çaprazlama Oranı' (% 90), 'Mutasyon Oranı' (% 10), 'İterasyon Sayısı' (10), and 'En İyi Değer Tekrarlanma Sayısı' (100). Below these fields are buttons for 'GA için Öncelik Kuralı Seç !', 'OptPRGA Simüle et !', and 'Performans Sonuçları'.

Below the main window, three smaller windows are shown, each representing a different GA model:

- GA_09**: Titled 'GA için öncelik kuralı seç priority rules'. It lists 9 priority rules with checkboxes. Rules 0 through 8 are checked, and Rule 9 is unchecked. The rules are: 0 - İlk Gelen İlk Servis Alır (İĞİS-FCFS), 1 - Son Gelen İlk Servis Alır (SĞİS-LCFS), 2 - En Kısa İşlem Süresi (EKİS-SPT), 3 - En Uzun İşlem Süresi (EUİS-LPT), 4 - En Erken Teslim Zamanı (EETZ-EDD), 5 - En Az Kalan Operasyon Sayısı (EAKOS-LRNOP), 6 - En Çok Kalan Operasyon Sayısı (ECKOS-MRNOP), 7 - En Küçük Kalan Operasyon Süresi (EKKIS-SPRT), 8 - En Uzun Kalan Operasyon Süresi (EUKIS-LPRT), and 9 - Rastgele Seçim (RS-SIRO).
- GA_01**: Titled 'GA için öncelik kuralı seç priority rules'. It lists the same 9 priority rules. Only Rule 0 is checked, and Rules 1 through 9 are unchecked.
- GA_23**: Titled 'GA için öncelik kuralı seç priority rules'. It lists the same 9 priority rules. Only Rule 3 is checked, and Rules 0, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, and 9 are unchecked.

Şekil 4.1 Öncelik kuralı GA parametreleri ve test modelleri bilgileri

Öncelik kuralı tabanlı GA optimizasyonu için sipariş sayıları dikkate alınarak oluşturulan öncelik kuralı kromozomlarının kromozom dizi boyutları Çizelge 4.3’te belirlenmiştir.

Çizelge 4.3 Kromozom dizi boyutunun belirlenmesi

Ürün Kodu	Sipariş Sayısı	İşlem Sayısı	Toplam İşlem
KK045KY	14	16	224
KK080KY	14	16	224
KK160KS	14	17	238
MK250KY	8	16	128
MK250SY	6	16	96
BY060DP	4	10	40
Toplam			950

Buna göre bir kromozomda toplam 950 gen bulunacaktır. Ayrıca, algoritmada çaprazlama yöntemi olarak tek nokta çaprazlama ve mutasyon yöntemi olarak da ters mutasyon işlemi kullanılmıştır.

Her bir öncelik kuralının çalıştırılması ve GA_09, GA_01 ile GA_23 modellerinin çalıştırılması sonucu elde edilen veriler, amaç fonksiyonu olan tamamlanma zamanları Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.4 Simülasyon koşum sonucu tamamlanma zamanları

UYGULAMA MODELLERİ	AMAÇ FONKSİYONU	
	Sipariş Sayısı (Adet)	Tamamlanma Zamanı (s)
0 – İGİS	60	1,350,952
1 – SGİS	60	1,343,742
2 – EKİS	60	1,345,071
3 – EUİS	60	1,351,357
4 – EETZ	60	1,350,545
5 – EAKOS	60	1,345,071
6 – EÇKOS	60	1,350,952
7 – EKKİS	60	1,350,952
8 – EUKİS	60	1,343,742
9 – RS	60	1,350,952
GA_09	60	1,341,044
GA_01	60	1,341,197
GA_23	60	1,341,309

Ayrıca, test edilen bu on üç model için Faborg-Sim yazılımından 2 haftalık değerlendirme periyodunda performans göstergeleri elde edilmiştir. Performans değerlendirme kriterleri içinde Toplam Lojistik Başarımı (TLB) değeri hesaplanırken birden fazla göstergenin ortalaması dikkate alınmaktadır (Koruca, 2002):

$$TLB = \frac{g_1.\ddot{U}SB + g_2.\ddot{U}SSB + g_3.\dot{I}STKB + g_4.SB\dot{I}B}{\sum_{i=1}^4 g_i} \quad (4.1)$$

g_i : Ağırlık faktörü

Bu araştırmada her bir başarı derecesi için ağırlık oranı faktörü, her derece için aynı $g_i = 1$ alınmıştır. Test modellerine ait değerlendirme periyodu için performans kriterleri başarı dereceleri Çizelge 4.5'te verilmiştir. Tüm test modelleri için elde edilen detaylı simülasyon sonuçları Ek-3'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 Performans göstergeleri değerleri

UYGULAMA MODELLERİ	PERFORMANS GÖSTERGELERİ (Ort. %)							
	İSTKKB	PERKKB	ÜDSB	ÜDSSB	SBİB	TKB	Sipariş Sayısı (Adet)	TLB
0 - İGİS	6,58	23,69	75,11	79,62	12,42	91,67	55	43,43
1 - SGİS	6,61	23,78	74,17	79,09	12,91	93,33	56	43,20
2 - EKİS	6,59	23,71	73,88	79,36	12,74	90,00	54	43,14
3 - EUİS	6,56	23,61	74,65	79,41	11,97	91,67	55	43,15
4 - EETZ	6,59	23,71	76,67	78,56	12,71	91,67	55	43,63
5 - EAKOS	6,58	23,69	75,00	79,09	12,91	91,67	55	43,40
6 - EÇKOS	6,56	23,62	73,73	79,76	12,08	90,00	54	43,03
7 - EKKİS	6,58	23,68	75,06	79,51	12,70	91,67	55	43,46
8 - EUKİS	6,58	23,69	72,65	79,42	12,31	90,00	54	42,74
9 - RS	6,58	23,67	74,95	79,63	12,13	91,67	55	43,32
GA_09	6,58	23,70	74,94	79,70	12,65	90,00	54	43,47
GA_01	6,60	23,75	74,87	79,44	12,78	91,67	55	43,42
GA_23	6,59	23,72	74,41	79,55	12,12	91,67	55	43,17

Açıklamalar

İSTKKB: İş İstasyonu Kapasite Kullanım Başarımı
 PERKKB: Personel Kapasite Kullanım Başarımı
 ÜDSB: Ürün Dolaşım Süresi Başarımı
 ÜDSSB: Ürün Dolaşım Süresi Sapma Başarımı

SBİB: Süreçte Bekleyen İşler Başarımı
 TKB: Teslim Kabiliyeti Başarımı
 TLB: Toplam Lojistik Başarımı

Geliştirilen yazılımın amaç fonksiyonu olan en kısa tamamlanma zamanını sağlayan GA_09 test modeli en iyi çözüm olarak seçilir. Bu modelin öncelik kuralı tabanlı GA sonucu elde edildiği durumdaki yazılım sonuç tablosu Şekil 4.2’de ve en iyi sonucu sağlayan kromozom bilgisi de Çizelge 4.6’da verilmiştir.

FABORG-SIM			
	ID	pChromosome	fitness
▶	25	3481562959945728383621981266084579585003867680892098643149029597537...	1341044
	3	2628081584720005891522610116842060461635837431616127820090886563176...	1341197
	11	7635212161941350043151445805257152147061140993559879456628930791479...	1341223
	22	3396250576198367263205933171976195177855549688609629288745208859090...	1341237
	6	6959985953070398842474831283671105505226308879968248015102779237297...	1341297
	1	4984521946703810960065176069697414330567085715639088609881756125828...	1341330
	0	5233090790846027071879677534990633191805819262161187925556656670021...	1341760
	10	3934675900805015373187371394897710429866854146311549567655338000308...	1341995
	17	1012596292969994342198516233519003247286411598757557096249625267385...	1342181
	19	1293940003527956539267648058936724743917842970528244150454498207679...	1342550
	26	3689495231742328326980594517067353465700697850281155573208487817339...	1342911

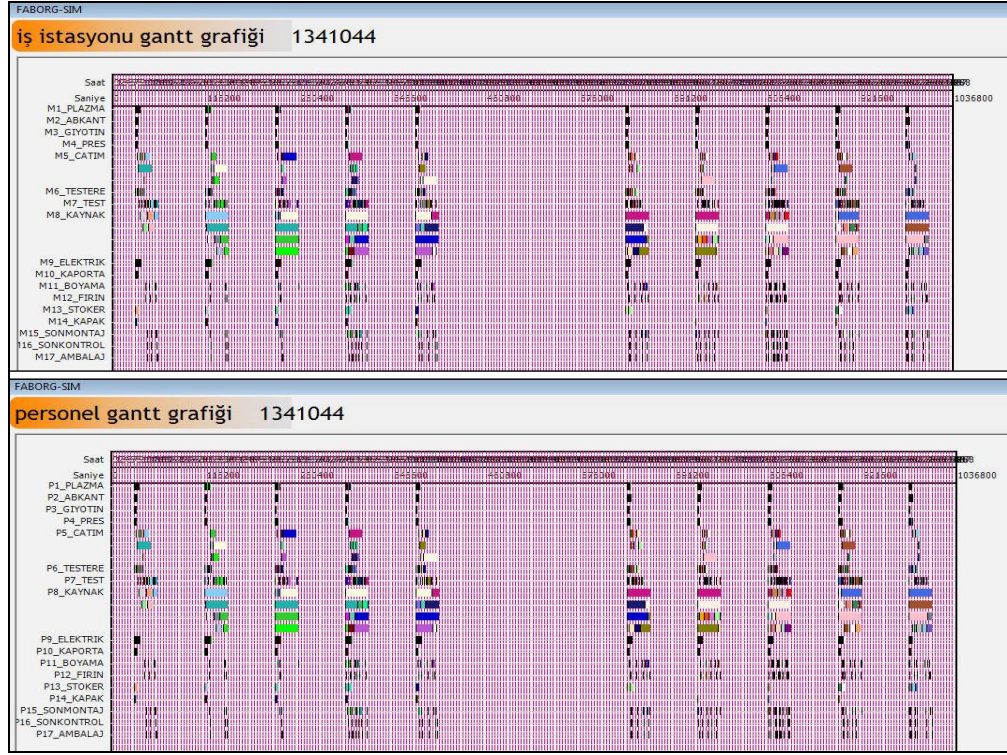
Çizelgeyi Göster

Şekil 4.2 GA_09 test modeli için yazılım sonuç tablosu

Çizelge 4.6 Amaç fonksiyonu için en iyi sonucu kromozom bilgisi

ID	Kromozom	Uygunluk Değeri
25	348156295994572838362198126608457958500386768089209864314902959753762432708543904730858354350732790531786 606676199822989440708206585247204325268725191070109198840918185251756427107210541413711658535064094921378 198162946776143010898214212651904461258559929784091158998484028476268286133938452766085556376442044252680 592496993236249161181978098429007558205047321670518059952440747312868085614455741790195869686429900870142 243549669895612700940918445587064895121901652328706020222400418273182668893825511778003456361158338923514 822640699864927963639674549768715418181577228341096088424809182015850988206234510766272799327148411348011 88812893883158421615600677231727554845703992169271329547723466116669457580261741896030790602123776509813 739286072679176869745356583191805666872904966869063016837279397177441909674049072313789872869361778941806 443289820698449756914021336002050724659293867223918488241294271763771419761015300319456248236402100355149 87271	1,341,044

Şekil 4.2’de ki yazılım sonuç tablosunda seçilen en iyi kromozom için “Çizelgeyi Göster” tuşuna tıklanarak simülasyon sonuçlarına ulaşılır. GA_09 test modeli için simülasyon sonucunda elde edilmiş iş istasyonu ve Gantt şemaları Şekil 4.3’te gösterilmiştir. Ayrıca GA_09 modeli öncelik kuralı tabanlı GA optimizasyonu tüm sonuç tablosu Ek-4 olarak verilmiştir.

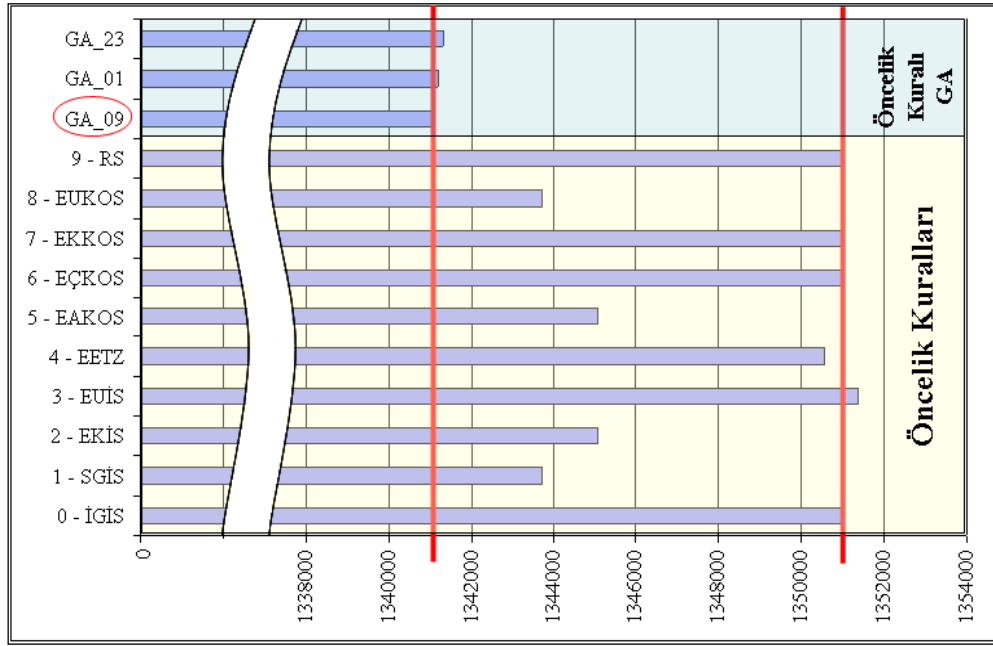


Şekil 4.3 GA_09 modeli simülasyon sonucu Gantt şemaları

Şekil 4.3'te günlere göre rassal olarak dağıtılmış 60 üretim siparişinin iki haftalık (on iş günü ya da 1,308,600 s) değerlendirme periyodu için GA_09 modeli için iş istasyonu ve personeller için Gantt diyagramları verilmiştir. Burada her bir farklı bir siparişi göstermektedir. İş istasyonları ve personelin kullanımda oldukları zamanlar Gantt diyagramları üzerinde görülebilmektedir. En son işin sistemi terk etme zamanı 1,341,044 s değerlendirme periyodu dışında grafik üzerinde görülebilmektedir.

4.2. Tartışma

Gerçekleştirilen uygulamada atölye tipi çizelgeleme problemlerine öncelik kurallarının etkileri toplam tamamlanma zamanının en az olması amacını dikkate alacak şekilde değerlendirilmiştir. Tüm simülasyon koşum sonuçlarında elde edilen tamamlanma zamanı değerleri ile normal simülasyon sonucunda oluşan tamamlanma zamanı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Tamamlanma zamanlarının karşılaştırması

Şekil 4.4'e göre geliştirilen öncelik kuralı tabanlı GA yazılımı incelenen çalışma için uygun çözümler önerdiği tespit edilmiştir.

Normal simülasyon sonucu 1,350,952 saniyede tamamlanan 60 sipariş yer alan uygulama modeli, öncelik kuralı tabanlı GA modülünde tüm öncelik kurallarının kullanıldığı GA_09 modelinde 1,341,044 saniyede tamamlanmıştır. Sonuç olarak, incelenen üretim sisteminde tüm siparişlerin gerçekleştirilmesi için $9,908 \text{ s} = 165,13 \text{ dk} = 2,75 \text{ saatlik}$ süre kazancı sağlanmıştır.

5. SONUÇ

Üretim sistemleri karmaşık yapıları nedeniyle sistemin analiz edilmesi ve sistemden kaynaklanan problemlerin çözülmesi zordur. Genellikle üretim ortamı, değişken faktörlerin etkisi altında kalmaktadır. Üretim kaynakları olarak iş istasyonları, personel, malzeme, sermaye, yönetim uygulamaları birbirleriyle doğrudan veya dolaylı etkileşim içindedirler. Farklı alternatiflerin oluşturulması değişik biçimlerde yapılandırılmaları ile mümkündür. Mevcut organizasyon yapısının yanı sıra alternatif yapıların geliştirilmesi, organizasyon verimliliği, kısa dolaşım süresi, yüksek kapasite kullanımı ve teslim kabiliyeti gibi üretim işletmeleri için önemli nicel performans parametrelerinin iyileştirilmesine yönelik olarak düşünülmelidir.

Tüm süreç boyunca, üretim fonksiyonunun önemli bir parçası olan çizelgeleme ile ilgili literatürde gerek teorik gerekse endüstriyel uygulamalı birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Bu çalışmalarda, işletmeler açısından birçok işletme dinamiğinin değerlendirilmesinde önemli bir karar verme aracı olan simülasyon yönteminin kullanımı da oldukça yaygındır.

Genel atölye tipi çizelgeleme problemleri, n makine üzerinde m işi/siparişin belirli bir amacı sağlamaya yönelik çizelgelenmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Bu tez çalışması ile paralel makinelerde personel çalıştırılması, karmaşık ve seri yapılı iş akış planından oluşan çok ürünlü gerçek bir üretim sistemi modellenerek öncelik kuralları ve öncelik kuralı tabanlı genetik algoritma yaklaşımı ile minimum toplam tamamlanma zamanının amaç fonksiyonunu sağlayacak uygun bir çözüm araştırılmıştır. Yapılan bu tez çalışması sonucunda bazı çıkarımlar elde edilmiştir:

1. İncelenen uygulama problemi için; geliştirilen öncelik kuralı tabanlı GA optimizasyon modülü ile çalıştırılan GA_09 test modelinde 2,75 saat daha kısa tamamlanma zamanı çözümü elde edilmiştir. Böylece geliştirilen modülün atölye tipi çizelgeleme problemleri için uygun bir çözüm verebileceği ve hatta incelenen sistem için en iyi çözümü verdiği tespit edilmiştir.

2. Uygulama algoritması değerlendirildiğinde; öncelik kuralı tabanlı GA yaklaşımına göre kromozom büyüklüğünün sistemdeki yer alan tüm işlemlerden oluşması (makine bağımsız, işlem odaklı), sonlandırma kriterinin en iyi değerin tekrarlanma sayısı ve/veya iterasyon sayısı kadar tanımlanabilmesi, siparişe göre üretim yapan bir işletmede simülasyon destekli uygulanması ile uygun bir çözüm bulunması bakımından çalışma diğer çalışmalardan farklıdır. Ayrıca GA algoritmasında popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı, mutasyon oranı, iterasyon sayısı parametreleri ile çaprazlama, mutasyon ve seçim yöntemlerinin çözüme etkileri geliştirilen yazılım ile test edilebilir.
3. Simülasyon yöntemi, bir gerçek hayat çizelgeleme problemi için birden fazla faktörün modellenenebilmesine imkan vermiş ve uygulama çözümünde kullanılmıştır. Zor olan çizelgeleme problemlerinin çözümünde olduğu gibi simülasyon yazılımının üretim ve servis sistemlerinin analizinde etkin bir karar verme aracı olarak birlikte uygulanmıştır.
4. Programlama yöntemi olarak nesne tabanlı programlama dili olan Microsoft Visual Studio C# 3.0 dilinin kullanılması ile elde edilen tecrübe; endüstri mühendisliği alanındaki proje temeline dayanan akademik ve endüstriyel problemlerin çözümü için referans olacağı düşünülmektedir.
5. Çizelgeleme problemleri, NP-Zor problem sınıfına giren problemlerdir. Geliştirilen optimizasyon yazılım modülü, entegre edildiği Faborg-Sim simülasyon yöntemi ile modellenenebilen her türlü üretim sistemi için uygundur.
6. Çözümde optimizasyon yöntemi olarak GA sezgiseli kullanılmıştır. Bunun dışında sıkça kullanılan sezgisellerin tavlama benzetimi, tabu araştırması, karınca kolonileri optimizasyonu ya da probleme özgü geliştirilecek sezgiler uygulamada kullanılabileceği düşünülmektedir.
7. Akademik açıdan bakıldığında; simülasyon yöntemi, sezgisel algoritmalar, algoritma geliştirme ve programlama, sistem analizi, iş etüdü, iş sistemleri performans ölçme ve değerlendirme gibi önemli endüstri mühendisliği çalışma konularının tümü tez kapsamında kullanılmıştır. Ayrıca araştırma projesi ve tez süreci boyunca; ulusal ve uluslararası sempozyumlara katılım

ile güncel endüstri mühendisliği problemleri ve çalışma alanları hakkında bilgiler ile desteklenmiştir. Tüm bu süre boyunca yapılan yayınlar ile proje yönetimi, bilimsel çalışma yöntemleri, ekip çalışması ve bilim etiği gibi konular hakkında kişisel kazanımlar elde edildiği de düşünülmektedir.

Genel bir sonuç olarak; simülasyon yazılıımının genetik algoritma sezgiseli ile kullanılması sonucu, klasik atölye tipi üretim sistemlerinde yer alan varsayımlar ve kısıtların dışına çıkılması sağlanmıştır. Ele alınan üretim sistemi, karmaşık (paralel veya seri) iş akış planı modeline sahip birden fazla ürünün retildeği, iş istasyonlarının ve personelin birden fazla olarak paralel kullanılabildiği ve çalışma saatleri ile sipariş için planlanmış başlama zamanlarının tanımlanabildiği siparişe göre üretim yapılabilen sistem modelleri incelenmiştir.

Böylece, genel atölye tipi çizelgeleme problemlerinin farklı parametreler ve öncelik kuralları ile modellenerek gerçek hayat problemlerine yaklaştırılması ve öncelik kuralı tabanlı GA zm araştırması için yazılım geliştirilmesi, bu yazılıımın Faborg-Sim simülasyon yöntemine entegre edilmesi yoluyla, simülasyon destekli olarak optimizasyonu gerçekleştirilerek incelenen uygulama sistemi için performans lme kriterleri ile değerlendirilmesi sağlanmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Allaoui, H., Artiba, A., 2004. Integrating simulation and optimization to schedule a hybrid flow shop with maintenance constraints. *Computers & Industrial Engineering* (47), 431–450.
- Andresen, M., Brasel, H., Mörig, M., Tusch, J., Werner, F., Willenius, P., 2008. Simulated annealing and genetic algorithms for minimizing mean flow time in an open shop. *Mathematical and Computer Modelling* (48), 1279-1293.
- Badri, M. A., Mortagy, A., Davis, D., Davis, D., 1997. Effective analysis and planning of R&D stages: a simulation approach. *International Journal of Project Management* (15-6), 351-358.
- Baker, K.R., 1974. *Introduction to Sequencing&Scheduling*. John Wiley, New York.
- Bakır, M. A., Altunkaynak, B., 2003. Tamsayılı Programlama Teori, Modeller ve Algoritmalar. Nobel Yayınevi, s. 461-476, Ankara.
- Banks, J., Carson II, J. S. , Nelson, B. L., Nicol, D. M., 2001. *Discrete-Event System Simulation*. Printice Hall 3rd Edition, New-Jersey.
- Beddoe, G. R., Petrovic, S., 2006. Selecting and weighting using a genetic algorithm in a case-based reasoning approach to personnel rostering. *European Journal of Operational Research* (175), 649-671.
- Biegel, J.E., Davem, J.J., 1990. Genetic Algorithms and Job Shop Scheduling. *Computers and Industrial Engineering*, vol.19,Nos.1-4, pp.81-91.
- Biroğul, S., 2005. Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Biroğul, S., Güvenç, U., 2007. Genetik Algoritma İle Çözümü Gerçekleştirilen Atölye Çizelgeleme Probleminde Ürün Sayısının Etkisi. *Akademik Bilişim 2007*, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- Chang, C. K., Jiang, H.-Y., Di, Y., Zhu, D., Ge, Y., 2008. Time-line based model for software Project scheduling with genetic algorithms. *Information an Software Technology* (50), 1142-1154.
- Chang, P.-C., Chen, S.-H., Liu, C.-H., 2007. Sub-population genetic algorithm with mining gene structures for multiobjective flowshop scheduling problems. *Expert Systems with Applications* (33), 762-771.

- Chang, P.-C., Hsieh, J.-C., Liu, C.-H., 2006. A case-injected genetic algorithm for single machine scheduling problems with release time. *Int. J. of Production Economics* (103), 551–564.
- Chen, J.-S., Pan, J. C.-H., Lin, C.-M., 2008. A hybrid genetic algorithm for the re-entrant flow-shop scheduling problem. *Expert Systems with Applications* (34), 570-577.
- Chen, K.J., Ji, P., 2007. A genetic algorithm for dynamic advanced planning and scheduling (DAPS) with a frozen interval. *Expert Systems with Applications* (33), 1004-1010.
- Damodaran, P., Manjeshwar, P. K., Srihari, K., 2006. Minimizing makespan on a batch-processing machine with non-identical job sizes using genetic algorithms. *Int. J. of Production Economics* (103), 882–891.
- Davis, L., 1985. Job shop scheduling with genetic algorithm. *Proceeding of the first International Conference on Genetic Algorithms*, 136-140.
- Dilworth, J.B., 1996. *Operation Management*. 2nd Edition, McGraw Hill, New-York.
- Dimitri, G.-G., Shimon, S., Ljubisa, P., 2001. A simulation factory control model under a chance constraint. *Mathematics and Computers in Simulation* (57), 5-18.
- Dorndorf, U., Pesch, E., 1995. Evolution Based Learning in A Job Shop Scheduling Environment. *Computers and Operations Research* (22), pp 25-40.
- Easton, F. F., Mansour, N., 1999. A distributed genetic algorithm for deterministic and stochastic labor scheduling problems. *European Journal of Operational Research* (118), 505-523.
- Emel, G. G., Taşkın, Ç., 2002. Genetik algoritmalar ve uygulama alanları. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt XXI, Sayı 1, 129-152.
- Engin, O. Fiğlalı, A., 2002. Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma Yardımı İle Çözümünde Uygun Çaprazlama Operatörünün Belirlenmesi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 2002/6, 27-35
- Engin, O., 2001. Akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma ile çözüm performansının artırılmasında parametre optimizasyonu. *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. FBE Endüstri Mühendisliği ABD, İstanbul.

- Engin, O., 2003. Üretim Planlama ve Kontrol. Yayımlanmamış Ders Notları, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Essafi, I., Mati, Y., Dauzere-Peres, S., 2008. A genetic local search algorithm for minimizing total weighted tardiness in the job-shop scheduling problem. *Computers & Operation Research* (35), 2599-2616.
- França, P. M., Mendes, A., Moscato, P., 2001. A memetic algorithm for total tardiness single machine scheduling problem. *European Journal of Operational Research* (132), 224-242.
- French, S., 1982. Sequencing and Scheduling, - An Introduction to the Mathematics of the Job-Shop. John-Wiley&Sons, New York, 245s.
- Fung R.Y.K. , Tang J. ve Wang D., 2001. Extension Of A Hybrid Genetic Algorithm For Nonlinear Programming Problems With Equality And Inequality Constraints. *Computers & Operations Research*, Volume: 29, Issue: 3, s. 261-274.
- Gao, J., Gen, M., Sun, L., Zhao, X., 2007,. A hybrid of genetic algorithm and bottleneck shifting for multiobjective flexible job shop scheduling problems. *Computers & Industrial Engineering* (53), 149-162.
- Gao, J., Sun, L., Gen, M., 2008. A hybrid genetic and variable neighborhood descent algorithm for flexible job shop scheduling problems. *Computers & Operations Research* (35), 2892-2907.
- Gen, M., Cheng, R., 1997. Genetic Algorithms and Engineering Design. John Wiley & Sons, Inc., ISBN 0-471-12741-8, 202 – 211.
- Geyik, F., Cedimoğlu, I.H., 1999. A review of the production scheduling approaches based-on artificial intelligence and the integration of process planning and scheduling. *Proceedings on Swiss Conference of CAD/CAM'99*, 167-174, Neuchatel University, Switzerland.
- Gharbi, A., Kenne, J. P., 2005. Maintenance scheduling and production control of multiple-machine manufacturing systems. *Computers & Industrial Engineering* (48), 693–707.
- Goldberg, D. E., 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization. and Machine Learning. Addison-Wesley, Reading, MA.

- Günther, H. O., Tempelmeier, H., 2005. Produktion und Logistik. Springer-Verlag, 365s.
- Halaç, O., 1982. İşletmelerde Simülasyon Teknikleri. İstanbul Üniversitesi Yayın No:2936, 278s.
- He, Y., Hui, C-W., 2007. Genetic algorithm based on heuristic rules for high-constrained large-size single-stage multi-product scheduling with parallel units. Chemical Engineering and Processing (46), 1175-1191.
- Holland, J., 1975. Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press, Ann Arbor.
- Hu, X.-B., Chen, W.-H., 2005. Genetic algorithm based on receding horizon control for arrival sequencing and scheduling. Engineering Applications of Artificial Intelligence (18), 633-642.
- Iyer, S. K., Saxena, B., 2004. Improved genetic algorithm for the permutation flowshop scheduling problem. Computers & Operations Research (31), 593–606.
- Jia, H. Z., Fuh, J. Y. H., Nee, A. Y. C., Zhang, Y. F., 2007. Integration of genetic algorithm and Gantt chart for job shop scheduling in distributed manufacturing systems. Computers & Industrial Engineering (853), 313-320.
- Juang, Y-S., Lin, S-S., Kao, H-P, 2007. An adaptive scheduling system with genetic algorithms for arranging employee training programs. Expert Systems and Applications (33), 642-651.
- Kaschel, J., Teich, T., Zacher, B., 2002. Real-time dynamic shop floor scheduling using Evolutionary Algorithms. Int. J. of Production Economics (79), 113-120.
- Klingstam, P., Gullander, P., 1999. Overview Of Simulation Tools For Computer-aided Production Engineering. Computer in Industry (38), 173-186.
- Kobu, B., 2006. Üretim Yönetimi. Beta Yayınevi, 13.Baskı, 602s., Eylül 2006, İstanbul.
- Koruca, H. İ., 2002. Bir Bisiklet Fabrikasında Üretim Hattının Simülasyon Metodu İle Yeniden Yapılandırması Üzerine Bir Araştırma. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 212s.

- Koruca, H. İ., 2008. Üretim İşletmelerinde Organizasyon Yapılandırma, Verimlilik İlişkisi ve Parametreleri. I. Endüstri Mühendisliği Çalıştayı, Isparta, 1-30.
- Koruca, H.İ., Tunca, M.Z., Sütçü, A., Özdemir, G., 2004. Kriz Ortamında Üretim Organizasyonlarının Simülasyon Destekli Araştırılması. IV. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, UAS'04 Sempozyum Bildiriler Kitabı, S. 19-24, ISBN 975-9513-59-5. 08-10 Ekim 2004, Selçuk Üniversitesi, Hilton, Konya.
- Kurt, M., Semetay, C. 2001. Genetik algoritma ve uygulama alanları. Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı:501.
- Law, A. M., Kelton, W. D., 1991. Simulation Modeling and Analysis. McGraw-Hill, 2nd Edition, New-York.
- Li, H., Li, Z., Li, L. X., Hu, B., 2000. A production rescheduling expert simulation systems. European Journal of Operational Research (124), 283-293.
- Li, Y., Ip, W.H., Wang, D.W., 1998. Genetic algorithm approach to earliness and tardiness production scheduling and planning problem. Int. J. of Production Economics (54), 65-76.
- Li, Y.-C. E., Shaw, W. H., 1998. Simulation modeling of a dynamic job shop rescheduling with machine availability constraints. Computers & Industrial Engineering (35), 117-120.
- Lin, C.K.Y., 1999. The development of a workforce management system for a hotline service. Computers & Industrial Engineering (37), 465-468.
- Malve, S., Uzsoy, R., 2007. A genetic algorithm for minimizing maximum lateness on parallel identical batch processing machines with dynamic job arrivals and incompatible job families. Computers & Operation Research (34), 3016-3028.
- Manikas, A., Chang, Y.-L., 2008. Multi-criteria sequence-dependent job shop scheduling using genetic algorithms. Computers & Industrial Engineering, Available Online at ScienceDirect.
- Martin, C. H., 2009. A hybrid genetic algorithm/mathematical programming approach to the multi-family flowshop scheduling problem with lot streaming. Omega (37), 126-137.

- Mendes, J. J. M., Gonçalves, J. F., Resende, M.G.C., 2009. A random key based genetic algorithm for the resource constrained project scheduling problem. *Computers & Operations Research* (36), 92-109.
- Mönch, L., Zimmermann, J., 2007. Simulation-based assessment of machine critically measures for a shifting bottleneck scheduling approach in complex manufacturing systems. *Computers in Industry* (58), 644-655.
- Nearchou, A.C., 2004. The effect of various operators on the genetic search for large scheduling problems. *Int. J. of Production Economics* (88), 191-203.
- Obitko, M., 1998. Internet Sites. <http://cs.felk.cvut.cz/~xobitko/ga/selection.html>.
Erisim Tarihi: 20.08.2008
- Pegden, C.D., Shannon, R.E., Sadowski, R.P., 1995. *Introduction to Simulation Using SIMAN*. 2nd Edition, McGraw-Hill, New York.
- Pezzella, F., Morganti, G. Ciaschetti, G., 2008. A Genetic Algorithm for the Flexible Job-shop Scheduling Problem. *Computers & Operations Research* (35)-10, 3202-3212.
- Pfeiffer, A., Kadar, B., Monostori, L., 2007. Stability-oriented evaluation of rescheduling strategies, by using simulation. *Computers in Industry* (58), 630-643.
- Pinedo, M., 1995. *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems*. Printice-Hall, 378s., New Jersey.
- Pongcharoen, P., Hicks, C., Braiden, P. M., Stewardson, D. J., 2002. Determining optimum Genetic Algorithm parameters for scheduling the manufacturing and assembly of complex products. *Int. J. Production Economics* (78), 311-322.
- Ramachandra, G., Elmaghraby S. E., 2006. Sequencing precedence-related jobs on two machines to minimize the weighted completion time. *Int. J. Production Economics* (100), 44-58.
- Reeves C., 2002. Genetic Algorithms. In: *Handbook of Metaheuristics*. (Glover, F.,-ed.), pp.55-83, Kluwer Academic Publishers, NJ, ABD.
- Rinnoy, K., 1976. *Machine Scheduling Problems: Classification Complexity and Computations*. Martinus Nijhoff, The Hague.

- Sadegheih, A., 2006. Scheduling problem using genetic algortihm, simulated annealing and the effects of parameter values on GA performance. *Applied Mathematical Modeling* (30), 147-154.
- Sadegheih, A., 2007. Sequence optimization and design of allocation using GA and SA. *Applied Mathematics and Computation* (186), 1723-1730.
- Schuh, G., 2008. Produktionsmanagements I, WZL/FIR, Acchen Universitat.
- Selam, Ü., 1996. Bilgisayar destekli atelye tipi üretim çizelgeleme ve bir kalıp atölyesinde uygulanması. İ.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Şevkli, M., Yenisey, M. M., 2006. A particle swarm optimization for the job shop scheduling problems. *ITU Dergisi* 5-2, 58-68.
- Tavakkoli-Moghaddam, R., Daneshmand-Mehr, M., 2005. A computer simulation model for job shop scheduling problems minimizing makespan. *Computers & Industrial Engineering* (48), 811–823.
- Tay, J. C., Ho, N. B., 2008. Evolving dispatching rules using genetic programming for solving multi-objective flexible job-shop problems. *Computers & Industrial Engineering* (54), 453-473.
- Thiagarajan, S., Rajendran, C., 2005. Scheduling in dynamic assembly job-shops to minimize the sum of weighted earliness, weighted tardiness and weighted flowtime of jobs. *Computers & Industrial Engineering* (49), 463–503.
- Todd, D., Sen, P., 1999. Distributed task scheduling and allocation using genetic algortihms. *Computers & Industrial Engineering* (37), 47-50.
- Top, A., 2006. Üretim Yönetimi. Nobel Yayın Dağıtım, Yayın No:973, 262s., Ankara.
- Ulusoy, G., Sivrikaya Şerifoglu, F., Bilge, O., 1997. A genetic algorithm approach to the Simultaneous scheduling of machines and automated guided vehicles. *Computers & Operations Research* (24)-4, 335-351.
- Vilcot, G., Billaut, J.-C., 2008. A tabu search and a genetic algorithm for solving a bicriteria general job shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research* (190), 398-411.
- Watanabe, M., Ida, K., Gen, M., 2005. A genetic algorithm with modified crossover operator and search area adaptation for the job-shop scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering* (48), 743–752

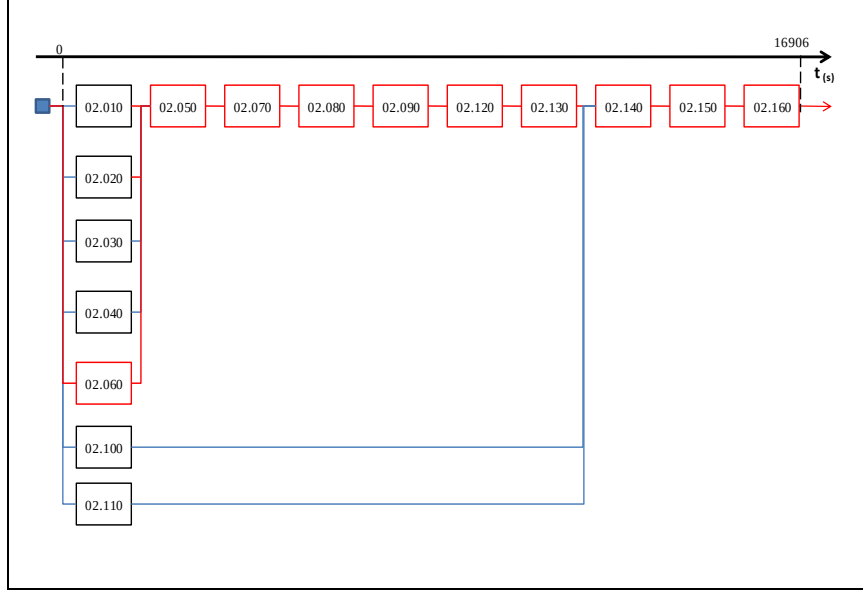
- Wu, C.-C., Lee, W.-C., Chen, T., 2007. Heuristics algorithms for solving the maximum lateness scheduling problem with learning considerations. *Computers & Industrial Engineering* (52), 124-132.
- Xing, L.-N., Chen, Y.-W., Yang, K.-W., 2008. Multi-objective flexible job shop schedule: Design and evaluation by simulation modeling. *Applied Soft Computing*, Available at ScienceDirect.
- Yeh, J.-Y., Lin, W.-S., 2007. Using simulation technique and genetic algorithm to improve the quality care of a hospital emergency department. *Expert Systems with Applications* (32), 1073–1083.
- Yeniay, Ö. 2001. An Overview of Genetic Algorithms. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt: 2, Sayı: 1, s. 37-49.*
- Yıldırım, M.B., Çakar, T. Doğuç, U., Meza, J.C., 2006. Machine number, priority rule, and due date determination in flexible manufacturing systems using artificial neural networks. *Computers & Industrial Engineering* (50),185–194.
- Zeng, Q., Yang, Z., 2008. Integrating simulation and optimization to schedule loading operations in container terminals. *Computers & Operations Research*, Available at ScienceDirect.
- Zhang, H., Li, H., 2004. Simulation-based optimization for dynamic resource allocation. *Automation in Construction* (13), 409-420.
- Zhou, H., Cheung, W., Leung, L. C., 2008. Minimizing weighted tardiness of job shop scheduling using a hybrid genetic algorithm. *European Journal of Operational Research*, Available Online at ScienceDirect.
- Zhou, H., Feng, Y., Han, L., 2001. The hybrid heuristic genetic algorithm for job shop scheduling. *Computers & Industrial Engineering* (40), 191-200.

EKLER

EK-1 UYGULAMA İŞLETMESİ ÜRÜN VERİLERİ

1. 80 Bin Kcal Kat Kaloriferi (KK080KY)

KK080KY ürün iş akış planı



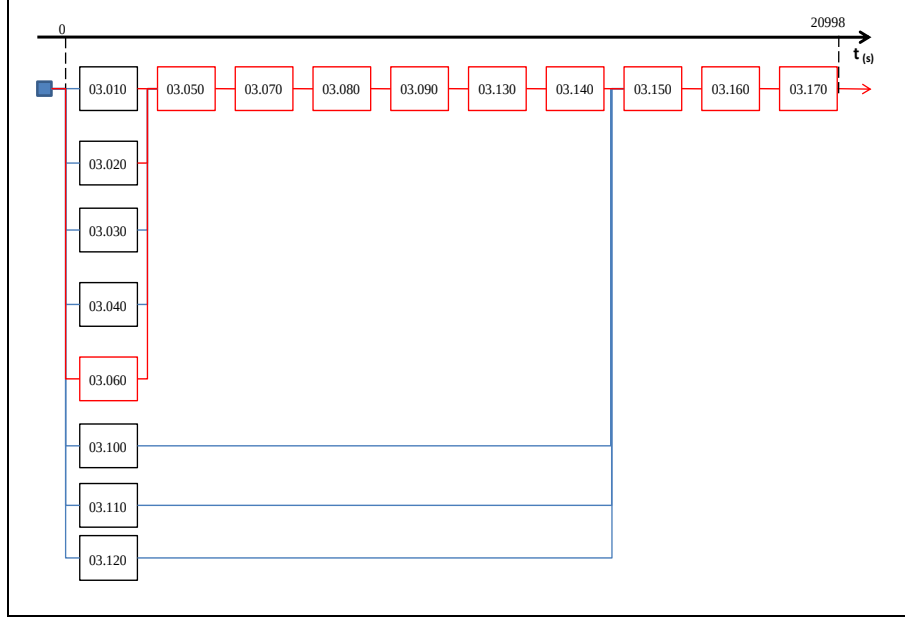
KK080KY ürün iş zaman etüdü tablosu

Ürün Kodu	İşlem Kodu	İş İstasyonu	İş İstasyonu Paralel Birim Sayısı	Personel Paralel Birim Sayısı	Yapılan İş	İşlem Süresi (s)	
						Hazırlık Süresi	İşlem Süresi
KK080KY	02.010	M1_PLAZMA	1	1	Ocak (İç Gövde), U Parça, Z Parça, Z Yeri Parçası, Manto Ön-Arka, Yan ve Üst Sacları, Kesme ve Delme işlemleri, ayrıca Baca Sandığı Gövde ve Yan Kısımları, Üst-Alt ve Fıtil Kapakların Kesme, Köşe Çıkarma, Gözetleme ve Kol Yeri Delme İşlemleri	108	663
	02.020	M2_ABKANT	1	1	Sac Levhaların Bükülmesi ve Kıvrılması	112	580
	02.030	M3_GİYOTİN	1	1	Köşebent ve bazı U Sacları, Baca Çemberi Sacı, Temizleme Kapağı Sacı, Ray, Taban Sacı, Hava Kanalı, Türbülötör Sac Kesme	58	249
	02.040	M4_PRES	1	1	Mantolarda Markalama ve Bombeleme ile Temizleme Kapağı Bombeleme	130	584
	02.050	M5_ÇATIM	3	3	Ocak-U Montaj, Z-Z Yeri-Köşebent Montaj, Manto Montaj, Takviye Atma, Alın Sacı Montaj İşlemlerinden Oluşan Genellikle Çatım Adı Verilen Birleştirme	347	2115
	02.060	M6_TESTERE	1	1	2. ve 3. Geçiş Boruları, İzgara Mili Kesme	90	2070
	02.070	M7_TEST	1	1	a) Çatımdan Çıkan Yarı Mamul halde Sızdırmazlık ve Basınç-Sızdırmazlık Testi (02.070).	210	1390
	02.090				b) Son ürün Boyama ve Son Montaj Öncesi Yarı Mamul Halde Sızdırmazlık ve Basınç-Sızdırmazlık Testi (02.090).	143	943
	02.080	M8_KAYNAK	4	4	Bombe doldurma, Baca Sandığı-Çemberi Montajı, Ray Montajı, İzgara Montajı, Lama Montajı, Kapakların Gövde Montajları ve Stoker Sac Kaynak Birleştirme	1421	6100
	02.100	M9_ELEKTRİK	1	1	Elektrik Pano İmalatı	60	1076
	02.110	M10_KAPORTA	1	1	Kaporta İmalatı	144	272
	02.120	M11_BOYAMA	1	1	Yaş ve Toz Boyama	198	478
	02.130	M12_FIRIN	1	1	Toz Boyama Fırınlama	56	223
	02.140	M15_SONMONTAJ	1	1	Kaporta, Pano, Kapak Fıtilleri ve Yardımcı Malzemelerin Montajı Modele Göre Kül Teknesi, Stoker ve Redüktör Montajı	106	359
	02.150	M16_SONKONTROL	1	1	Teslimat Öncesi Son Kontrol işlemi	26	285
	02.160	M17_AMBALAJ	1	1	Ürün Tüm Aşamaları Tamamlanmış Olarak Teslimata Hazırlama ve Teslimat Tipine Göre Ambalajlama	41	305
Toplam İş Yüklü						3250	17692

EK-1 UYGULAMA İŞLETMESİ ÜRÜN VERİLERİ

2. 160 Bin Kcal Kat Kaloriferi Stokerli (KK160KS)

KK160KS ürün iş akış planı



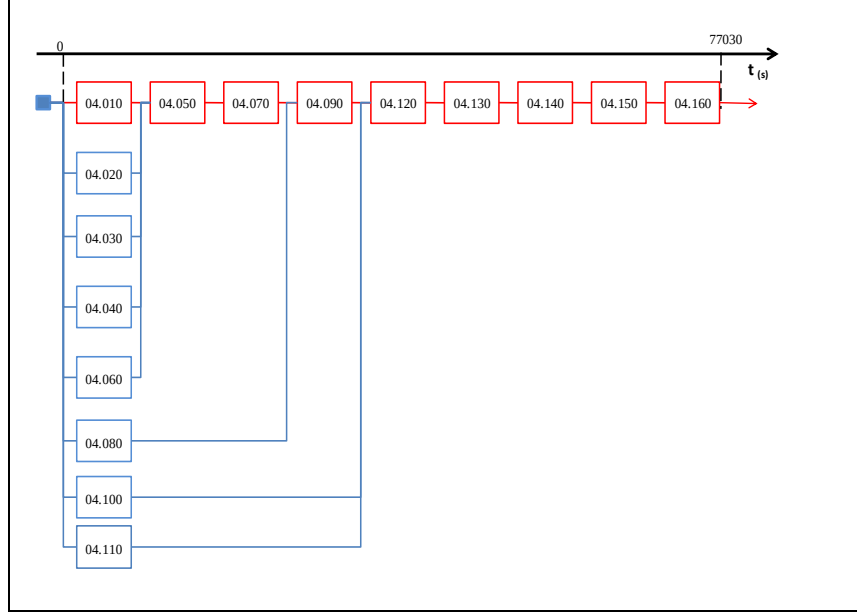
KK160KS ürün iş zaman etüdü tablosu

Ürün Kodu	İşlem Kodu	İş İstasyonu	İş İstasyonu Paralel Birim Sayısı	Personel Paralel Birim Sayısı	Yapılan İş	İşlem Süresi (s)	
						Hazırlık Süresi	İşlem Süresi
KK160KS	03.010	M1_PLAZMA	1	1	Ocak (İç Gövde), U Parça, Z Parça, Z Yeri Parçası, Manto Ön-Arka, Yan ve Üst Sacları, Kesme ve Delme işlemleri, ayrıca Baca Sandığı Gövde ve Yan Kısımları, Üst-Alt ve Fital Kapakların Kesme, Köşe Çıkarma, Gözetleme ve Kol Yeri Delme İşlemleri	185	1089
	03.020	M2_ABKANT	1	1	Sac Levhaların Bükülmesi ve Kıvrılması	168	1009
	03.030	M3_GİYOTIN	1	1	Köşebent ve bazı U Sacları, Baca Çemberi Sacı, Temizleme Kapağı Sacı, Ray, Taban Sacı, Hava Kanalı, Türbülator Sac Kesme	73	320
	03.040	M4_PRES	1	1	Mantolarda Markalama ve Bombeleme ile Temizleme Kapağı Bombeleme	172	802
	03.050	M5_ÇATIM	3	3	Ocak-U Montaj, Z-Z Yeri-Köşebent Montaj, Manto Montaj, Takviye Atma, Alın Sacı Montaj İşlemlerinden Oluşan Genellikle Çatım Adı Verilen Birleştirme	446	3030
	03.060	M6_TESTERE	1	1	2. ve 3. Geçiş Boruları, Izgara Mili Kesme	201	2817
	03.070	M7_TEST	1	1	a) Çatımdan Çıkan Yarı Mamul halde Sızdırmazlık ve Basınç-Sızdırmazlık Testi (03.070).	258	1895
	03.090				b) Son ürün Boyama ve Son Montaj Öncesi Yarı Mamul Halde Sızdırmazlık ve Basınç-Sızdırmazlık Testi (03.090).	174	1300
	03.080	M8_KAYNAK	4	4	Bombe doldurma, Baca Sandığı-Çemberi Montajı, Ray Montajı, Izgara Montajı, Lama Montajı, Kapakların Gövde Montajları ve Stoker Sac Kaynak Birleştirme	1398	6227
	03.100	M9_ELEKTRİK	1	1	Elektrik Pano İmalatı	72	1150
	03.110	M10_KAPORTA	1	1	Kaporta İmalatı	195	400
	03.120	M13_STOKER	1	1	Stoker İmalatı	247	3537
	03.130	M11_BOYAMA	1	1	Yaş ve Toz Boyama	270	617
	03.140	M12_FIRIN	1	1	Toz Boyama Fırınlama	70	319
	03.150	M15_SONMONTAJ	1	1	Kaporta, Pano, Kapak Fıtları ve Yardımcı Malzemelerin Montajı Modele Göre Kül Teknesi, Stoker ve Redüktör Montajı	211	988
	03.160	M16_SONKONTROL	1	1	Teslimat Öncesi Son Kontrol işlemi	33	360
	03.170	M17_AMBALAJ	1	1	Ürün Tüm Aşamaları Tamamlanmış Olarak Teslimata Hazırlama ve Teslimat Tipine Göre Ambalajlama	48	336
Toplam İş Yüklü						4221	26196

EK-1 UYGULAMA İŞLETMESİ ÜRÜN VERİLERİ

3. 250 Bin Kcal Katı Yakıtlı Merkezi Kalorifer Kazanı (MK250KY)

MK250KY ürün iş akış planı



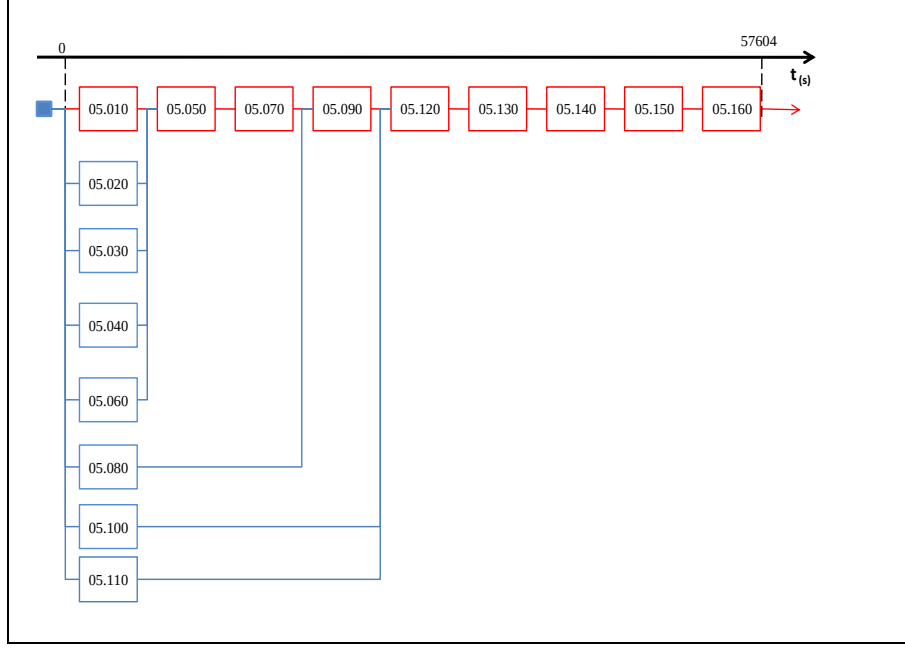
MK250KY ürün iş zaman etüdü tablosu

Ürün Kodu	İşlem Kodu	İş İstasyonu	İş İstasyonu Paralel Birim Sayısı	Personel Paralel Birim Sayısı	Yapılan İş	İşlem Süresi (s)	
						Hazırlık Süresi	İşlem Süresi
MK250KY	04.010	M1_PLAZMA	1	1	Ön-Arka Ayna Sacı, Külhan Sacı, Brülör Sacı, Manto Ön-Arka, Yan ve Üst Sacları, Türbilatör Sacı, Kesme ve Delme işlemleri, ayrıca Baca Sandığı Gövde ve Yan Kısımları.	298	1415
	04.020	M2_ABKANT	1	1	Sac Levhaların Bükülmesi ve Kıvrılması	105	395
	04.030	M3_GİYOTİN	1	1	Baca Çemberi Sacı, Temizleme Kapağı Sacı, Ray, Taban Sacı, Hava Kanalı, Türbilatör Sac Kesme	30	123
	04.040	M4 PRES	1	1	Mantolarda Markalama ve Bombeleme ile Temizleme kapağı Bombeleme	28	98
	04.050	M5_ÇATIM	3	3	Ocak-Ayna Külhan ve Su Çeketi Montaj İşlemlerinden Oluşan Genellikle Çatım Adı Verilen Birleştirme işlemleri gerçekleştirilir.	2876	13308
	04.060	M6_TESTERE	1	1	2. ve 3. Geçiş Boruları Kesme	201	1160
	04.070	M7_TEST	1	1	Sızdırmazlık ve Basınç-Sızdırmazlık Testi	689	4593
	04.080	M14_KAPAK	1	1	Büyük Kapak İmalatı	341	1286
	04.090	M8_KAYNAK	4	4	Bombe doldurma, Baca Sandığı Montajı, Izgara Montajı, Lama Montajı, Kapakların Gövde Montajları ve Sac Birleştirme	10248	38554
	04.100	M9_ELEKTRİK	1	1	Elektrik Pano İmalatı	218	1140
	04.110	M10_KAPORTA	1	1	Kaporta İmalatı	217	819
	04.120	M11_BOYAMA	1	1	Yaş ve Toz Boyama	360	1356
	04.130	M12_FIRIN	1	1	Toz Boyama Fırınlama	122	582
	04.140	M15_SONMONTAJ	1	1	Kaporta, Pano, Kapak Fitilleri ve Yardımcı Malzemelerin Montajı Modele Göre Kül Teknesi, Stoker ve Redüktör Montajı	503	1892
	04.150	M16_SONKONTROL	1	1	Teslimat Öncesi Son Kontrol işlemi	53	348
	04.160	M17_AMBALAJ	1	1	Ürün Tüm Aşamaları Tamamlanmış Olarak Teslimata Hazırlama ve Teslimat Tipine Göre Ambalajlama	76	362
Toplam İş Yüklü						15760	67431

EK-1 UYGULAMA İŞLETMESİ ÜRÜN VERİLERİ

4. 250 Bin Kcal Sıvı Yakıtlı Merkezi Kalorifer Kazanı (MK250SY)

MK250SY ürün iş akış planı



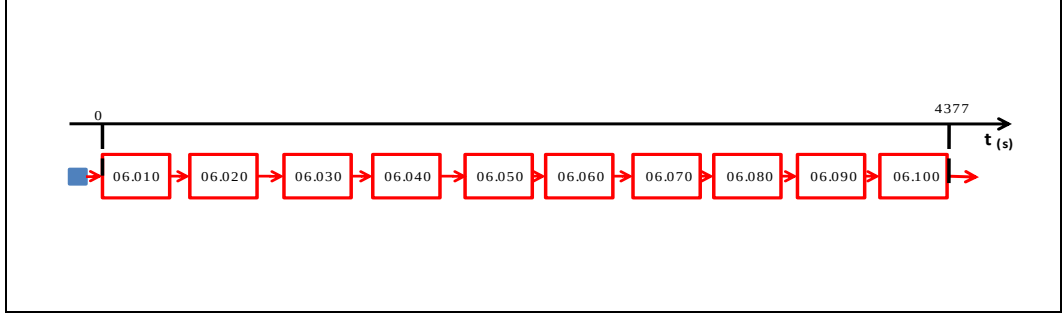
MK250SY ürün iş zaman etüdü tablosu

Ürün Kodu	İşlem Kodu	İş İstasyonu	İş İstasyonu Paralel Birim Sayısı	Personel Paralel Birim Sayısı	Yapılan İş	İşlem Süresi (s)	
						Hazırlık Süresi	İşlem Süresi
MK250SY	04.010	M1_PLAZMA	1	1	Ön-Arka Ayna Sacı, Külhan Sacı, Su Çeketi, Manto Ön-Arka, Yan ve Üst Sacları, Türbilatör Sacı, Kesme ve Delme işlemleri, ayrıca Baca Sandığı Gövde ve Yan Kısımları.	345	1300
	04.020	M2_ABKANT	1	1	Sac Levhaların Bükülmesi ve Kıvrılması	96	358
	04.030	M3_GİYOTİN	1	1	Baca Çemberi Sacı, Temizleme Kapağı Sacı, Ray, Taban Sacı, Hava Kanalı, Türbilatör Sac Kesme	13	46
	04.040	M4_PRES	1	1	Mantolarda Markalama ve Bombeleme ile Temizleme kapağı Bombeleme	25	95
	04.050	M5_ÇATIM	3	3	Ocak-Ayna Külhan ve Su Çeketi Montaj İşlemlerinden Oluşan Genellikle Çatım Adı Verilen Birleştirme işlemleri gerçekleştirilir.	1350	5082
	04.060	M6_TESTERE	1	1	2. ve 3. Geçiş Boruları Kesme	262	993
	04.070	M7_TEST	1	1	Sızdırmazlık ve Basınç-Sızdırmazlık Testi	811	3530
	04.080	M14_KAPAK	1	1	Büyük, Temizleme Kömür Doldurma ve Boşaltma Kapak İmalatı	168	633
	04.090	M8_KAYNAK	4	4	Bombe doldurma, Baca Sandığı Montajı, Izgara Montajı, Lama Montajı, Kapakların Gövde Montajları ve Sac Birleştirme	8140	30626
	04.100	M9_ELEKTRİK	1	1	Elektrik Pano İmalatı	209	987
	04.110	M10_KAPORTA	1	1	Kaporta İmalatı	198	728
	04.120	M11_BOYAMA	1	1	Yaş ve Toz Boyama	392	1477
	04.130	M12_FIRIN	1	1	Toz Boyama Fırınlama	133	503
	04.140	M15_SONMONTAJ	1	1	Kaporta, Pano, Kapak Fitilleri ve Yardımcı Malzemelerin Montajı Modele Göre Kül Teknesi, Stoker ve Redüktör Montajı	396	1493
	04.150	M16_SONKONTROL	1	1	Teslimat Öncesi Son Kontrol işlemi	46	282
	04.160	M17_AMBALAJ	1	1	Ürün Tüm Aşamaları Tamamlanmış Olarak Teslimata Hazırlama ve Teslimat Tipine Göre Ambalajlama	93	350
Toplam İş Yükü						12677	48483

EK-1 UYGULAMA İŞLETMESİ ÜRÜN VERİLERİ

5. 60 Litre Kat Boyleri (BY060DP)

BY060DP ürün iş akış planı



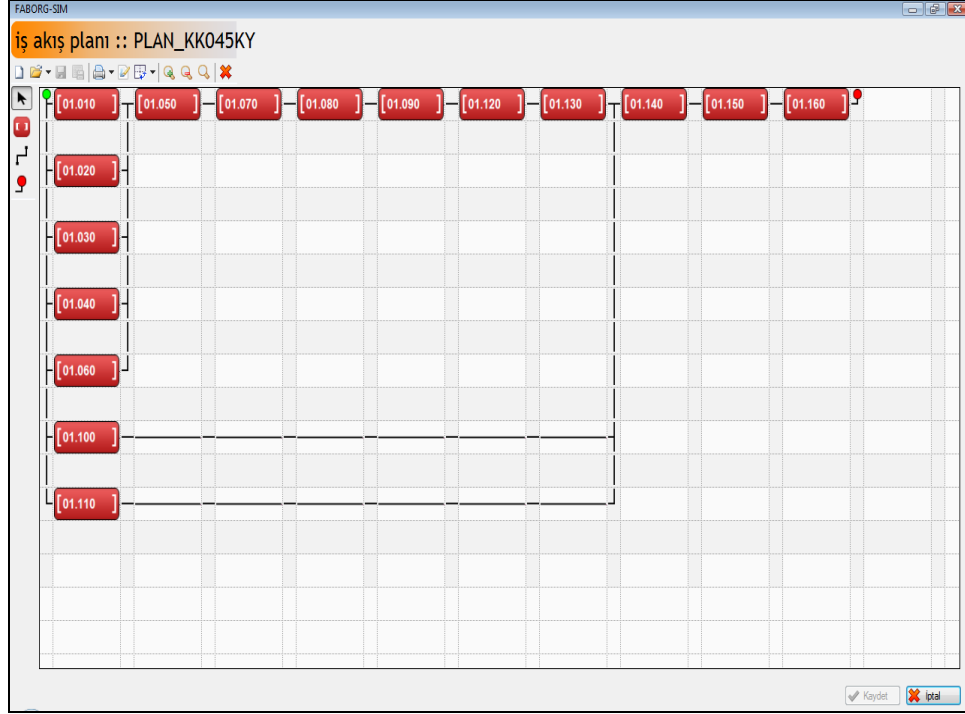
BY060DP ürün iş zaman etüdü tablosu

Ürün Kodu	İşlem Kodu	İş İstasyonu	İş İstasyonu Paralel Birim Sayısı	Personel Paralel Birim Sayısı	Yapılan İş	İşlem Süresi (s)	
						Hazırlık Süresi	İşlem Süresi
BY060DP	06.010	M3_GİYOTİN	1	1	Galvanizli Gövde Sacı, Gömlek Sacı, Kaporta Sacı, L Sacı Kesme	6	18
	06.020	M2_ABKANT	1	1	Gövde Sacı, Kaporta Sacı ve L Sacı Kıvrırma	40	152
	06.030	M4_PRES	1	1	Kapak ve Gövde Sacı Delme ve Kıvrırma	58	217
	06.040	M8_KAYNAK	4	4	Kapakların Gövde Montajları ve Sac Birleştirme	430	1615
	06.050	M7_TEST	1	1	Sızdırmazlık ve Basınç-Sızdırmazlık Testi (Hava-Köpük)	75	282
	06.060	M11_BOYAMA	1	1	Yaş ve Toz Boyama	72	270
	06.070	M12_FIRIN	1	1	Toz Boyama Fırınlama	77	288
	06.080	M15_SONMONTAJ	1	1	Kaporta, Pano, Kapak Fitilleri ve Yardımcı Malzemelerin Montajı Modele Göre Kül Teknesi, Stoker ve Redüktör Montajı	88	335
	06.090	M16_SONKONTROL	1	1	Teslimat Öncesi Son Kontrol işlemi	26	99
	06.100	M17_AMBALAJ	1	1	Ürün Tüm Aşamaları Tamamlanmış Olarak Teslimata Hazırlama ve Teslimat Tipine Göre Ambalajlama	48	181
Toplam İş Yüğü						920	3457

EK-2 FABORG-SİM SİMÜLASYON YAZILIMI

A. Modelleme Modülü

Esnek İş Akış Plan Editörü



Giriş Parametreleri

EK-2 FABORG-SİM SİMÜLASYON YAZILIMI

A. Modelleme Modülü

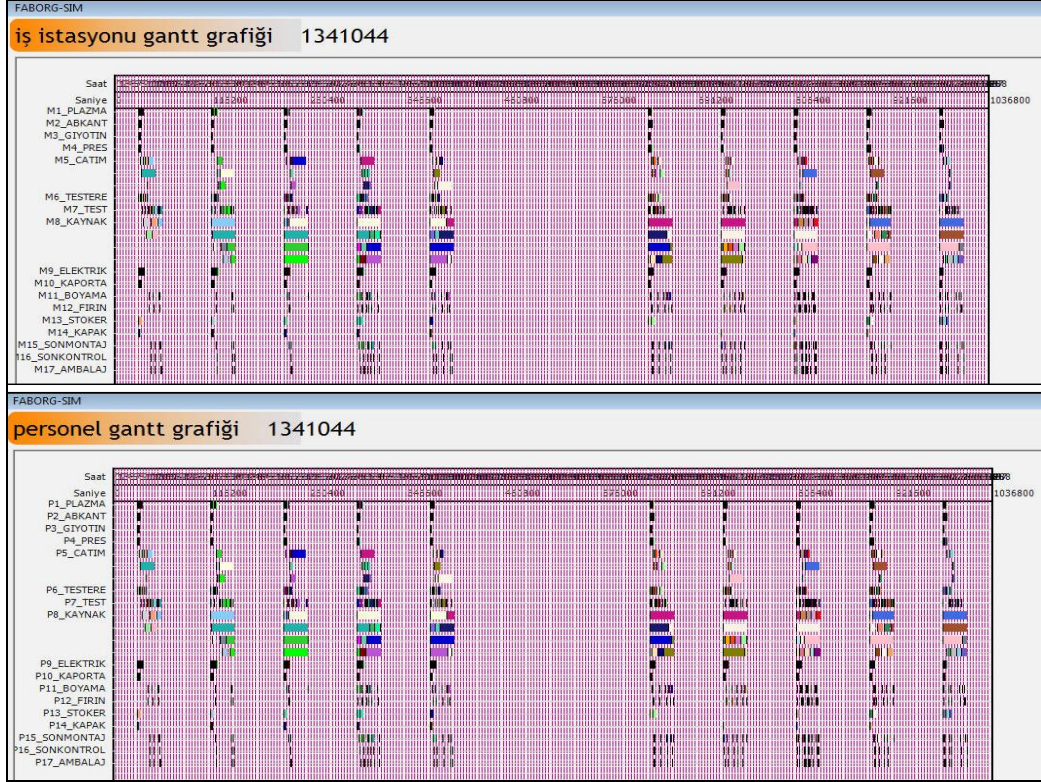
Personel – Çalışma Süresi Ataması (Vardiya Görevlendirme)

İşlem – İş İstasyonu – Personel – Fonksiyon Atamaları

EK-2 FABORG-SİM SİMÜLASYON YAZILIMI

B. Simülör Modülü

İş İstasyonu ve Personel Gantt Çizelgeleri



C. Değerlendirme Modülü



EK-3 DETAYLI SİMÜLASYON SONUÇLARI

1. İlk Gelen İlk Servis Alır (0 – İGİS) Kural Modeli

İş İstasyonu	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran	Personel Tipleri	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
M1_PLAZMA	60548	5,84%	P1_PLAZMA	60548	21,02%
M2_ABKANT	42680	4,12%	P2_ABKANT	42680	14,82%
M3_GİYOTİN	14722	1,42%	P3_GİYOTİN	14722	5,11%
M4_PRES	35686	3,44%	P4_PRES	35686	12,39%
M5_CATIM	283984	9,13%	P5_CATIM	283984	32,87%
M6_TESTERE	118140	11,39%	P6_TESTERE	118140	41,02%
M7_TEST	189711	18,30%	P7_TEST	189711	65,87%
M8_KAYNAK	1004447	24,22%	P8_KAYNAK	1004447	87,19%
M9_ELEKTRİK	71878	6,93%	P9_ELEKTRİK	71878	24,96%
M10_KAPORTA	31484	3,04%	P10_KAPORTA	31484	10,93%
M11_BOYAMA	51582	4,98%	P11_BOYAMA	51582	17,91%
M12_FIRIN	35406	3,41%	P12_FIRIN	35406	12,29%
M13_STOKER	52976	5,11%	P13_STOKER	52976	18,39%
M14_KAPAK	17822	1,72%	P14_KAPAK	17822	6,19%
M15_SONMONTAJ	53894	5,20%	P15_SONMONTAJ	53894	18,71%
M16_SONKONTROL	17612	1,70%	P16_SONKONTROL	17612	6,12%
M17_AMBALAJ	20153	1,94%	P17_AMBALAJ	20153	7,00%
	ORTALAMA	6,58%		ORTALAMA	23,69%

Ürün Adı	Toplam Sipariş Sayısı	Ort. Dolaşım Süresi
URUN_KK045KY	14	576682,79
URUN_KK080KY	14	628616,07
URUN_KK160KS	12	586962,00
URUN_MK250KY	5	601947,40
URUN_MK250SY	6	416462,33
URUN_BY060DP	4	569887,75
	Dolaşım Süresi Başarımı	75,11%
	Sapma Faktörü	1,515
	Dolaşım Süresi Sapma Başarımı	79,62%

Teslim Kabiliyeti Başarımı	Değer
Teslim Edilebilen Sipariş Sayısı	55
Toplam Sipariş Sayısı	60
Teslim Kabiliyeti Başarımı	91,67%

Değerlendirme	Başarım
Kapasite Kullanım Başarımı	6,58%
Dolaşım Süresi Başarımı	75,11%
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı	79,62%
Süreçte Bekleyen İşler Başarımı	12,42%
Toplam Lojistik Başarımı	43,43%

Minimum İş Stoğu	Bekleyen İş Stoğu - WIP	Başarı Derecesi
2102725	14826318	12,42%

Değerlendirme Periyodu	0 - 1036800
------------------------	-------------

2. Son Gelen İlk Servis Alır (1 – SGİS) Kural Modeli

İş İstasyonu	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran	Personel Tipleri	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
M1_PLAZMA	60548	5,84%	P1_PLAZMA	60548	21,02%
M2_ABKANT	42680	4,12%	P2_ABKANT	42680	14,82%
M3_GİYOTİN	14722	1,42%	P3_GİYOTİN	14722	5,11%
M4_PRES	35686	3,44%	P4_PRES	35686	12,39%
M5_CATIM	283984	9,13%	P5_CATIM	283984	32,87%
M6_TESTERE	118140	11,39%	P6_TESTERE	118140	41,02%
M7_TEST	189722	18,30%	P7_TEST	189722	65,88%
M8_KAYNAK	1019751	24,59%	P8_KAYNAK	1019751	88,52%
M9_ELEKTRİK	71878	6,93%	P9_ELEKTRİK	71878	24,96%
M10_KAPORTA	31484	3,04%	P10_KAPORTA	31484	10,93%
M11_BOYAMA	51582	4,98%	P11_BOYAMA	51582	17,91%
M12_FIRIN	35406	3,41%	P12_FIRIN	35406	12,29%
M13_STOKER	52976	5,11%	P13_STOKER	52976	18,39%
M14_KAPAK	17822	1,72%	P14_KAPAK	17822	6,19%
M15_SONMONTAJ	53894	5,20%	P15_SONMONTAJ	53894	18,71%
M16_SONKONTROL	17612	1,70%	P16_SONKONTROL	17612	6,12%
M17_AMBALAJ	20442	1,97%	P17_AMBALAJ	20442	7,10%
	ORTALAMA	6,61%		ORTALAMA	23,78%

Ürün Adı	Toplam Sipariş Sayısı	Ort. Dolaşım Süresi
URUN_KK045KY	14	604173,79
URUN_KK080KY	14	652717,86
URUN_KK160KS	12	572737,25
URUN_MK250KY	6	661472,83
URUN_MK250SY	6	403642,00
URUN_BY060DP	4	553769,25
	Dolaşım Süresi Başarımı	74,17%
	Sapma Faktörü	1,762
	Dolaşım Süresi Sapma Başarımı	79,09%

Teslim Kabiliyeti Başarımı	Değer
Teslim Edilebilen Sipariş Sayısı	56
Toplam Sipariş Sayısı	60
Teslim Kabiliyeti Başarımı	93,33%

Değerlendirme	Başarım
Kapasite Kullanım Başarımı	6,61%
Dolaşım Süresi Başarımı	74,17%
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı	79,09%
Süreçte Bekleyen İşler Başarımı	12,91%
Toplam Lojistik Başarımı	43,19%

Minimum İş Stoğu	Bekleyen İş Stoğu - WIP	Başarı Derecesi
2118329	14294646	12,91%

Değerlendirme Periyodu	0 - 1036800
------------------------	-------------

EK-3 DETAYLI SİMÜLASYON SONUÇLARI

3. En Kısa İşlem Süresi (2 – EKİS) Kural Modeli

İş İstasyonu	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran	Personel Tipleri	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
M1_PLAZMA	60548	5,84%	P1_PLAZMA	60548	21,02%
M2_ABKANT	42680	4,12%	P2_ABKANT	42680	14,82%
M3_GIYOTIN	14722	1,42%	P3_GIYOTIN	14722	5,11%
M4_PRES	35686	3,44%	P4_PRES	35686	12,39%
M5_CATIM	283984	9,13%	P5_CATIM	283984	32,87%
M6_TESTERE	118140	11,39%	P6_TESTERE	118140	41,02%
M7_TEST	188859	18,22%	P7_TEST	188859	65,58%
M8_KAYNAK	1015906	24,50%	P8_KAYNAK	1015906	88,19%
M9_ELEKTRİK	71878	6,93%	P9_ELEKTRİK	71878	24,96%
M10_KAPORTA	31484	3,04%	P10_KAPORTA	31484	10,93%
M11_BOYAMA	51582	4,98%	P11_BOYAMA	51582	17,91%
M12_FIRIN	35406	3,41%	P12_FIRIN	35406	12,29%
M13_STOKER	52976	5,11%	P13_STOKER	52976	18,39%
M14_KAPAK	17822	1,72%	P14_KAPAK	17822	6,19%
M15_SONMONTAJ	53285	5,14%	P15_SONMONTAJ	53285	18,50%
M16_SONKONTROL	17219	1,66%	P16_SONKONTROL	17219	5,98%
M17_AMBALAJ	19809	1,91%	P17_AMBALAJ	19809	6,88%
ORTALAMA		6,59%	ORTALAMA		23,71%

Ürün Adı	Toplam Sipariş Sayısı	Ort. Dolaşım Süresi
URUN_KK045KY	14	576667,00
URUN_KK080KY	14	633053,36
URUN_KK160KS	11	561245,91
URUN_MK250KY	5	600184,80
URUN_MK250SY	6	415059,00
URUN_BY060DP	4	568594,00
Dolaşım Süresi Başarımı		73,88%
Sapma Faktörü		1,606
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı		79,36%

Teslim Kabiliyeti Başarımı	Değer
Teslim Edilebilen Sipariş Sayısı	54
Toplam Sipariş Sayısı	60
Teslim Kabiliyeti Başarımı	90,00%

Değerlendirme	Başarım
Kapasite Kullanım Başarımı	6,59%
Dolaşım Süresi Başarımı	73,88%
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı	79,36%
Süreçte Bekleyen İşler Başarımı	12,74%
Toplam Lojistik Başarımı	43,14%

Minimum İş Stoğu	Bekleyen İş Stoğu - WIP	Başarı Derecesi
2111986	14462807	12,74%

Değerlendirme Periyodu	0 - 1036800
------------------------	-------------

4. En Uzun İşlem Süresi (3 – EUİS) Kural Modeli

İş İstasyonu	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran	Personel Tipleri	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
M1_PLAZMA	60548	5,84%	P1_PLAZMA	60548	21,02%
M2_ABKANT	42680	4,12%	P2_ABKANT	42680	14,82%
M3_GIYOTIN	14722	1,42%	P3_GIYOTIN	14722	5,11%
M4_PRES	35686	3,44%	P4_PRES	35686	12,39%
M5_CATIM	283984	9,13%	P5_CATIM	283984	32,87%
M6_TESTERE	118140	11,39%	P6_TESTERE	118140	41,02%
M7_TEST	188610	18,19%	P7_TEST	188610	65,49%
M8_KAYNAK	1000855	24,13%	P8_KAYNAK	1000855	86,88%
M9_ELEKTRİK	71878	6,93%	P9_ELEKTRİK	71878	24,96%
M10_KAPORTA	31484	3,04%	P10_KAPORTA	31484	10,93%
M11_BOYAMA	51582	4,98%	P11_BOYAMA	51582	17,91%
M12_FIRIN	35406	3,41%	P12_FIRIN	35406	12,29%
M13_STOKER	52976	5,11%	P13_STOKER	52976	18,39%
M14_KAPAK	17822	1,72%	P14_KAPAK	17822	6,19%
M15_SONMONTAJ	52484	5,06%	P15_SONMONTAJ	52484	18,22%
M16_SONKONTROL	17211	1,66%	P16_SONKONTROL	17211	5,98%
M17_AMBALAJ	20004	1,93%	P17_AMBALAJ	20004	6,95%
ORTALAMA		6,56%	ORTALAMA		23,61%

Ürün Adı	Toplam Sipariş Sayısı	Ort. Dolaşım Süresi
URUN_KK045KY	14	588594,07
URUN_KK080KY	14	626516,71
URUN_KK160KS	12	585425,33
URUN_MK250KY	5	602355,80
URUN_MK250SY	6	417730,00
URUN_BY060DP	4	569342,25
Dolaşım Süresi Başarımı		74,65%
Sapma Faktörü		1,549
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı		79,41%

Teslim Kabiliyeti Başarımı	Değer
Teslim Edilebilen Sipariş Sayısı	55
Toplam Sipariş Sayısı	60
Teslim Kabiliyeti Başarımı	91,67%

Değerlendirme	Başarım
Kapasite Kullanım Başarımı	6,56%
Dolaşım Süresi Başarımı	74,65%
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı	79,41%
Süreçte Bekleyen İşler Başarımı	11,97%
Toplam Lojistik Başarımı	43,15%

Minimum İş Stoğu	Bekleyen İş Stoğu - WIP	Başarı Derecesi
2096072	15410591	11,97%

Değerlendirme Periyodu	0 - 1036800
------------------------	-------------

EK-3 DETAYLI SİMÜLASYON SONUÇLARI

5. En Erken Tamamlanma Zamanı (4 – EETZ) Kural Modeli

İş İstasyonu	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran	Personel Tipleri	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
M1_PLAZMA	60548	5,84%	P1_PLAZMA	60548	21,02%
M2_ABKANT	42680	4,12%	P2_ABKANT	42680	14,82%
M3_GIYOTIN	14722	1,42%	P3_GIYOTIN	14722	5,11%
M4_PRES	35686	3,44%	P4_PRES	35686	12,39%
M5_CATIM	283984	9,13%	P5_CATIM	283984	32,87%
M6_TESTERE	118140	11,39%	P6_TESTERE	118140	41,02%
M7_TEST	190084	18,33%	P7_TEST	190084	66,00%
M8_KAYNAK	1003304	24,19%	P8_KAYNAK	1003304	87,09%
M9_ELEKTRİK	71878	6,93%	P9_ELEKTRİK	71878	24,96%
M10_KAPORTA	31484	3,04%	P10_KAPORTA	31484	10,93%
M11_BOYAMA	52469	5,06%	P11_BOYAMA	52469	18,22%
M12_FIRIN	35635	3,44%	P12_FIRIN	35635	12,37%
M13_STOKER	52976	5,11%	P13_STOKER	52976	18,39%
M14_KAPAK	17822	1,72%	P14_KAPAK	17822	6,19%
M15_SONMONTAJ	53894	5,20%	P15_SONMONTAJ	53894	18,71%
M16_SONKONTROL	17334	1,67%	P16_SONKONTROL	17334	6,02%
M17_AMBALAJ	20058	1,93%	P17_AMBALAJ	20058	6,96%
ORTALAMA		6,59%	ORTALAMA		23,71%

Ürün Adı	Toplam Sipariş Sayısı	Ort. Dolaşım Süresi
URUN_KK04SKY	14	531671,21
URUN_KK080KY	14	624026,57
URUN_KK16OKS	11	540390,45
URUN_MK250KY	6	735689,50
URUN_MK250SY	6	404457,33
URUN_BY060DP	4	569204,25
Dolaşım Süresi Başarımı		76,67%
Sapma Faktörü		1,517
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı		78,56%

Minimum İş Stoğu	Bekleyen İş Stoğu - WIP	Başarı Derecesi
2102698	14443964	12,71%

Teslim Kabiliyeti Başarımı	Değer
Teslim Edilebilen Sipariş Sayısı	55
Toplam Sipariş Sayısı	60
Teslim Kabiliyeti Başarımı	91,67%

Değerlendirme	Başarım
Kapasite Kullanım Başarımı	6,59%
Dolaşım Süresi Başarımı	76,67%
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı	78,56%
Süreçte Bekleyen İşler Başarımı	12,71%
Toplam Lojistik Başarımı	43,63%

Değerlendirme Periyodu	0 - 1036800
------------------------	-------------

6. En Az Kalan Operasyon Sayısı (5 – EAKOS) Kural Modeli

İş İstasyonu	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran	Personel Tipleri	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
M1_PLAZMA	60548	5,84%	P1_PLAZMA	60548	21,02%
M2_ABKANT	42680	4,12%	P2_ABKANT	42680	14,82%
M3_GIYOTIN	14722	1,42%	P3_GIYOTIN	14722	5,11%
M4_PRES	35686	3,44%	P4_PRES	35686	12,39%
M5_CATIM	283984	9,13%	P5_CATIM	283984	32,87%
M6_TESTERE	118140	11,39%	P6_TESTERE	118140	41,02%
M7_TEST	188859	18,22%	P7_TEST	188859	65,58%
M8_KAYNAK	1011913	24,40%	P8_KAYNAK	1011913	87,84%
M9_ELEKTRİK	71878	6,93%	P9_ELEKTRİK	71878	24,96%
M10_KAPORTA	31484	3,04%	P10_KAPORTA	31484	10,93%
M11_BOYAMA	51582	4,98%	P11_BOYAMA	51582	17,91%
M12_FIRIN	35406	3,41%	P12_FIRIN	35406	12,29%
M13_STOKER	52976	5,11%	P13_STOKER	52976	18,39%
M14_KAPAK	17822	1,72%	P14_KAPAK	17822	6,19%
M15_SONMONTAJ	53459	5,16%	P15_SONMONTAJ	53459	18,56%
M16_SONKONTROL	17211	1,66%	P16_SONKONTROL	17211	5,98%
M17_AMBALAJ	20004	1,93%	P17_AMBALAJ	20004	6,95%
ORTALAMA		6,58%	ORTALAMA		23,69%

Ürün Adı	Toplam Sipariş Sayısı	Ort. Dolaşım Süresi
URUN_KK04SKY	14	576228,00
URUN_KK080KY	14	624007,50
URUN_KK16OKS	12	591275,50
URUN_MK250KY	5	599558,00
URUN_MK250SY	6	415867,67
URUN_BY060DP	4	570867,50
Dolaşım Süresi Başarımı		75,00%
Sapma Faktörü		1,574
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı		79,09%

Minimum İş Stoğu	Bekleyen İş Stoğu - WIP	Başarı Derecesi
2108354	14222740	12,91%

Teslim Kabiliyeti Başarımı	Değer
Teslim Edilebilen Sipariş Sayısı	55
Toplam Sipariş Sayısı	60
Teslim Kabiliyeti Başarımı	91,67%

Değerlendirme	Başarım
Kapasite Kullanım Başarımı	6,58%
Dolaşım Süresi Başarımı	75,00%
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı	79,09%
Süreçte Bekleyen İşler Başarımı	12,91%
Toplam Lojistik Başarımı	43,40%

Değerlendirme Periyodu	0 - 1036800
------------------------	-------------

EK-3 DETAYLI SİMÜLASYON SONUÇLARI

7. En Çok Kalan Operasyon Sayısı (6 – EÇKOS) Kural Modeli

İş İstasyonu	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
M1_PLAZMA	60548	5,84%
M2_ABKANT	42680	4,12%
M3_GİYOTİN	14722	1,42%
M4_PRES	35686	3,44%
M5_CATIM	283984	9,13%
M6_TESTERE	118140	11,39%
M7_TEST	188610	18,19%
M8_KAYNAK	1003671	24,20%
M9_ELEKTRİK	71878	6,93%
M10_KAPORTA	31484	3,04%
M11_BOYAMA	51582	4,98%
M12_FIRIN	35406	3,41%
M13_STOKER	52976	5,11%
M14_KAPAK	17822	1,72%
M15_SONMONTAJ	52788	5,09%
M16_SONKONTROL	16911	1,63%
M17_AMBALAJ	19620	1,89%
ORTALAMA		6,56%

Personel Tipleri	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
P1_PLAZMA	60548	21,02%
P2_ABKANT	42680	14,82%
P3_GİYOTİN	14722	5,11%
P4_PRES	35686	12,39%
P5_CATIM	283984	32,87%
P6_TESTERE	118140	41,02%
P7_TEST	188610	65,49%
P8_KAYNAK	1003671	87,12%
P9_ELEKTRİK	71878	24,96%
P10_KAPORTA	31484	10,93%
P11_BOYAMA	51582	17,91%
P12_FIRIN	35406	12,29%
P13_STOKER	52976	18,39%
P14_KAPAK	17822	6,19%
P15_SONMONTAJ	52788	18,33%
P16_SONKONTROL	16911	5,87%
P17_AMBALAJ	19620	6,81%
ORTALAMA		23,62%

Ürün Adı	Toplam Sipariş Sayısı	Ort. Dolaşım Süresi
URUN_KK045KY	14	578133,21
URUN_KK080KY	14	634885,21
URUN_KK160KS	11	562088,27
URUN_MK250KY	5	602204,00
URUN_MK250SY	6	426305,50
URUN_BY060DP	4	569132,50
Dolaşım Süresi Başarımı		73,73%
Sapma Faktörü		1,559
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı		79,76%

Teslim Kabiliyeti Başarımı	Değer
Teslim Edilebilen Sipariş Sayısı	54
Toplam Sipariş Sayısı	60
Teslim Kabiliyeti Başarımı	90,00%

Değerlendirme	Başarım
Kapasite Kullanım Başarımı	6,56%
Dolaşım Süresi Başarımı	73,73%
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı	79,76%
Süreçte Bekleyen İşler Başarımı	12,08%
Toplam Lojistik Başarımı	43,03%

Minimum İş Stoğu	Bekleyen İş Stoğu - WIP	Başarı Derecesi
2098508	15275674	12,08%

Değerlendirme Periyodu	0 - 1036800
------------------------	-------------

8. En Kısa Kalan İşlem Süresi (7 – EKKİS) Kural Modeli

İş İstasyonu	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
M1_PLAZMA	60548	5,84%
M2_ABKANT	42680	4,12%
M3_GİYOTİN	14722	1,42%
M4_PRES	35686	3,44%
M5_CATIM	283984	9,13%
M6_TESTERE	118140	11,39%
M7_TEST	189711	18,30%
M8_KAYNAK	1003610	24,20%
M9_ELEKTRİK	71878	6,93%
M10_KAPORTA	31484	3,04%
M11_BOYAMA	51582	4,98%
M12_FIRIN	35406	3,41%
M13_STOKER	52976	5,11%
M14_KAPAK	17822	1,72%
M15_SONMONTAJ	53856	5,19%
M16_SONKONTROL	17211	1,66%
M17_AMBALAJ	20004	1,93%
ORTALAMA		6,58%

Personel Tipleri	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
P1_PLAZMA	60548	21,02%
P2_ABKANT	42680	14,82%
P3_GİYOTİN	14722	5,11%
P4_PRES	35686	12,39%
P5_CATIM	283984	32,87%
P6_TESTERE	118140	41,02%
P7_TEST	189711	65,87%
P8_KAYNAK	1003610	87,12%
P9_ELEKTRİK	71878	24,96%
P10_KAPORTA	31484	10,93%
P11_BOYAMA	51582	17,91%
P12_FIRIN	35406	12,29%
P13_STOKER	52976	18,39%
P14_KAPAK	17822	6,19%
P15_SONMONTAJ	53856	18,70%
P16_SONKONTROL	17211	5,98%
P17_AMBALAJ	20004	6,95%
ORTALAMA		23,68%

Ürün Adı	Toplam Sipariş Sayısı	Ort. Dolaşım Süresi
URUN_KK045KY	14	576399,86
URUN_KK080KY	14	628325,50
URUN_KK160KS	12	586597,50
URUN_MK250KY	5	602076,00
URUN_MK250SY	6	426352,00
URUN_BY060DP	4	571046,25
Dolaşım Süresi Başarımı		75,06%
Sapma Faktörü		1,518
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı		79,51%

Teslim Kabiliyeti Başarımı	Değer
Teslim Edilebilen Sipariş Sayısı	55
Toplam Sipariş Sayısı	60
Teslim Kabiliyeti Başarımı	91,67%

Değerlendirme	Başarım
Kapasite Kullanım Başarımı	6,58%
Dolaşım Süresi Başarımı	75,06%
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı	79,51%
Süreçte Bekleyen İşler Başarımı	12,70%
Toplam Lojistik Başarımı	43,46%

Minimum İş Stoğu	Bekleyen İş Stoğu - WIP	Başarı Derecesi
2101300	14439243	12,70%

Değerlendirme Periyodu	0 - 1036800
------------------------	-------------

EK-3 DETAYLI SİMÜLASYON SONUÇLARI

9. En Uzun Kalan İşlem Süresi (8 – EUKİS) Kural Modeli

İş İstasyonu	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
M1_PLAZMA	60548	5,84%
M2_ABKANT	42680	4,12%
M3_GİYOTIN	14722	1,42%
M4_PRES	35686	3,44%
M5_CATIM	283984	9,13%
M6_TESTERE	118140	11,39%
M7_TEST	188610	18,19%
M8_KAYNAK	1012709	24,42%
M9_ELEKTRİK	71878	6,93%
M10_KAPORTA	31484	3,04%
M11_BOYAMA	51582	4,98%
M12_FIRIN	35406	3,41%
M13_STOKER	52976	5,11%
M14_KAPAK	17822	1,72%
M15_SONMONTAJ	53740	5,18%
M16_SONKONTROL	17211	1,66%
M17_AMBALAJ	19658	1,90%
ORTALAMA		6,58%

Personel Tipleri	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
P1_PLAZMA	60548	21,02%
P2_ABKANT	42680	14,82%
P3_GİYOTIN	14722	5,11%
P4_PRES	35686	12,39%
P5_CATIM	283984	32,87%
P6_TESTERE	118140	41,02%
P7_TEST	188610	65,49%
P8_KAYNAK	1012709	87,91%
P9_ELEKTRİK	71878	24,96%
P10_KAPORTA	31484	10,93%
P11_BOYAMA	51582	17,91%
P12_FIRIN	35406	12,29%
P13_STOKER	52976	18,39%
P14_KAPAK	17822	6,19%
P15_SONMONTAJ	53740	18,66%
P16_SONKONTROL	17211	5,98%
P17_AMBALAJ	19658	6,83%
ORTALAMA		23,69%

Ürün Adı	Toplam Sipariş Sayısı	Ort. Dolaşım Süresi
URUN_KK045KY	14	600407,21
URUN_KK080KY	13	623449,85
URUN_KK160KS	12	585080,92
URUN_MK250KY	5	599350,60
URUN_MK250SY	6	415332,00
URUN_BY060DP	4	568663,75
Dolaşım Süresi Başarımı		72,65%
Sapma Faktörü		1,715
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı		79,42%

Teslim Kabiliyeti Başarımı	Değer
Teslim Edilebilen Sipariş Sayısı	54
Toplam Sipariş Sayısı	60
Teslim Kabiliyeti Başarımı	90,00%

Değerlendirme	Başarım
Kapasite Kullanım Başarımı	6,58%
Dolaşım Süresi Başarımı	72,65%
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı	79,42%
Süreçte Bekleyen İşler Başarımı	12,31%
Toplam Lojistik Başarımı	42,74%

Minimum İş Stoğu	Bekleyen İş Stoğu - WIP	Başarı Derecesi
2108836	15028957	12,31%

Değerlendirme Periyodu	0 - 1036800
------------------------	-------------

10. Rassal Seçim (9-RS) Kural Modeli

İş İstasyonu	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
M1_PLAZMA	60548	5,84%
M2_ABKANT	42680	4,12%
M3_GİYOTIN	14722	1,42%
M4_PRES	35686	3,44%
M5_CATIM	283984	9,13%
M6_TESTERE	118140	11,39%
M7_TEST	189711	18,30%
M8_KAYNAK	1003476	24,20%
M9_ELEKTRİK	71878	6,93%
M10_KAPORTA	31484	3,04%
M11_BOYAMA	51582	4,98%
M12_FIRIN	35406	3,41%
M13_STOKER	52976	5,11%
M14_KAPAK	17822	1,72%
M15_SONMONTAJ	53722	5,18%
M16_SONKONTROL	17211	1,66%
M17_AMBALAJ	20004	1,93%
ORTALAMA		6,58%

Personel Tipleri	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
P1_PLAZMA	60548	21,02%
P2_ABKANT	42680	14,82%
P3_GİYOTIN	14722	5,11%
P4_PRES	35686	12,39%
P5_CATIM	283984	32,87%
P6_TESTERE	118140	41,02%
P7_TEST	189711	65,87%
P8_KAYNAK	1003476	87,11%
P9_ELEKTRİK	71878	24,96%
P10_KAPORTA	31484	10,93%
P11_BOYAMA	51582	17,91%
P12_FIRIN	35406	12,29%
P13_STOKER	52976	18,39%
P14_KAPAK	17822	6,19%
P15_SONMONTAJ	53722	18,65%
P16_SONKONTROL	17211	5,98%
P17_AMBALAJ	20004	6,95%
ORTALAMA		23,67%

Ürün Adı	Toplam Sipariş Sayısı	Ort. Dolaşım Süresi
URUN_KK045KY	14	577550,43
URUN_KK080KY	14	633072,21
URUN_KK160KS	12	587057,17
URUN_MK250KY	5	602141,60
URUN_MK250SY	6	417109,67
URUN_BY060DP	4	569795,25
Dolaşım Süresi Başarımı		74,95%
Sapma Faktörü		1,518
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı		79,63%

Teslim Kabiliyeti Başarımı	Değer
Teslim Edilebilen Sipariş Sayısı	55
Toplam Sipariş Sayısı	60
Teslim Kabiliyeti Başarımı	91,67%

Değerlendirme	Başarım
Kapasite Kullanım Başarımı	6,58%
Dolaşım Süresi Başarımı	74,95%
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı	79,63%
Süreçte Bekleyen İşler Başarımı	12,13%
Toplam Lojistik Başarımı	43,32%

Minimum İş Stoğu	Bekleyen İş Stoğu - WIP	Başarı Derecesi
2101032	15220678	12,13%

Değerlendirme Periyodu	0 - 1036800
------------------------	-------------

EK-3 DETAYLI SİMÜLASYON SONUÇLARI

11. Tüm Öncelik Kuralları ile GA Optimizasyonu (GA_09) Modeli

İş İstasyonu	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
M1_PLAZMA	60548	5,84%
M2_ABKANT	42680	4,12%
M3_GİYOTIN	14722	1,42%
M4_PRES	35686	3,44%
M5_CATIM	283984	9,13%
M6_TESTERE	118140	11,39%
M7_TEST	188610	18,19%
M8_KAYNAK	1015960	24,50%
M9_ELEKTRİK	71878	6,93%
M10_KAPORTA	31484	3,04%
M11_BOYAMA	51582	4,98%
M12_FIRIN	35406	3,41%
M13_STOKER	52976	5,11%
M14_KAPAK	17822	1,72%
M15_SONMONTAJ	53150	5,13%
M16_SONKONTROL	17219	1,66%
M17_AMBALAJ	19674	1,90%
ORTALAMA		6,58%

Ürün Adı	Toplam Sipariş Sayısı	Ort. Dolaşım Süresi
URUN_KK045KY	14	577015,14
URUN_KK080KY	14	639543,64
URUN_KK160KS	11	548764,82
URUN_MK250KY	5	601707,60
URUN_MK250SY	6	416266,50
URUN_BY060DP	4	548864,25
Dolaşım Süresi Başarımı		74,94%
Sapma Faktörü		1,526
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı		79,70%

Minimum İş Stoğu	Bekleyen İş Stoğu - WIP	Başarı Derecesi
2111521	14581847	12,65%

Personel Tipleri	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
P1_PLAZMA	60548	21,02%
P2_ABKANT	42680	14,82%
P3_GİYOTIN	14722	5,11%
P4_PRES	35686	12,39%
P5_CATIM	283984	32,87%
P6_TESTERE	118140	41,02%
P7_TEST	188610	65,49%
P8_KAYNAK	1015960	88,19%
P9_ELEKTRİK	71878	24,96%
P10_KAPORTA	31484	10,93%
P11_BOYAMA	51582	17,91%
P12_FIRIN	35406	12,29%
P13_STOKER	52976	18,39%
P14_KAPAK	17822	6,19%
P15_SONMONTAJ	53150	18,45%
P16_SONKONTROL	17219	5,98%
P17_AMBALAJ	19674	6,83%
ORTALAMA		23,70%

Teslim Kabiliyeti Başarımı	Değer
Teslim Edilebilen Sipariş Sayısı	54
Toplam Sipariş Sayısı	60
Teslim Kabiliyeti Başarımı	90,00%

Değerlendirme	Başarım
Kapasite Kullanım Başarımı	6,58%
Dolaşım Süresi Başarımı	74,94%
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı	79,70%
Süreçte Bekleyen İşler Başarımı	12,65%
Toplam Lojistik Başarımı	43,47%

Değerlendirme Periyodu	0 - 1036800
------------------------	-------------

12. İGİS ve SGİS Öncelik Kuralları ile GA Optimizasyonu (GA_01) Modeli

İş İstasyonu	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
M1_PLAZMA	60548	5,84%
M2_ABKANT	42680	4,12%
M3_GİYOTIN	14722	1,42%
M4_PRES	35686	3,44%
M5_CATIM	283984	9,13%
M6_TESTERE	118140	11,39%
M7_TEST	188610	18,19%
M8_KAYNAK	1019667	24,59%
M9_ELEKTRİK	71878	6,93%
M10_KAPORTA	31484	3,04%
M11_BOYAMA	51582	4,98%
M12_FIRIN	35406	3,41%
M13_STOKER	52976	5,11%
M14_KAPAK	17822	1,72%
M15_SONMONTAJ	53894	5,20%
M16_SONKONTROL	17612	1,70%
M17_AMBALAJ	20162	1,94%
ORTALAMA		6,60%

Ürün Adı	Toplam Sipariş Sayısı	Ort. Dolaşım Süresi
URUN_KK045KY	14	576597,57
URUN_KK080KY	13	616826,46
URUN_KK160KS	12	590238,92
URUN_MK250KY	6	664227,00
URUN_MK250SY	6	415492,00
URUN_BY060DP	4	548782,75
Dolaşım Süresi Başarımı		74,87%
Sapma Faktörü		1,601
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı		79,44%

Minimum İş Stoğu	Bekleyen İş Stoğu - WIP	Başarı Derecesi
2116853	14444316	12,78%

Personel Tipleri	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
P1_PLAZMA	60548	21,02%
P2_ABKANT	42680	14,82%
P3_GİYOTIN	14722	5,11%
P4_PRES	35686	12,39%
P5_CATIM	283984	32,87%
P6_TESTERE	118140	41,02%
P7_TEST	188610	65,49%
P8_KAYNAK	1019667	88,51%
P9_ELEKTRİK	71878	24,96%
P10_KAPORTA	31484	10,93%
P11_BOYAMA	51582	17,91%
P12_FIRIN	35406	12,29%
P13_STOKER	52976	18,39%
P14_KAPAK	17822	6,19%
P15_SONMONTAJ	53894	18,71%
P16_SONKONTROL	17612	6,12%
P17_AMBALAJ	20162	7,00%
ORTALAMA		23,75%

Teslim Kabiliyeti Başarımı	Değer
Teslim Edilebilen Sipariş Sayısı	55
Toplam Sipariş Sayısı	60
Teslim Kabiliyeti Başarımı	91,67%

Değerlendirme	Başarım
Kapasite Kullanım Başarımı	6,60%
Dolaşım Süresi Başarımı	74,87%
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı	79,44%
Süreçte Bekleyen İşler Başarımı	12,78%
Toplam Lojistik Başarımı	43,42%

Değerlendirme Periyodu	0 - 1036800
------------------------	-------------

EK-3 DETAYLI SİMÜLASYON SONUÇLARI

13. EKİS ve EÜİS Öncelik Kuralları ile GA Optimizasyonu (GA_23) Modeli

İş İstasyonu	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
M1_PLAZMA	60548	5,84%
M2_ABKANT	42680	4,12%
M3_GİYOTİN	14722	1,42%
M4_PRES	35686	3,44%
M5_CATIM	283984	9,13%
M6_TESTERE	118140	11,39%
M7_TEST	188610	18,19%
M8_KAYNAK	1018487	24,56%
M9_ELEKTRİK	71878	6,93%
M10_KAPORTA	31484	3,04%
M11_BOYAMA	51582	4,98%
M12_FİRİN	35406	3,41%
M13_STOKER	52976	5,11%
M14_KAPAK	17822	1,72%
M15_SONMONTAJ	53424	5,15%
M16_SONKONTROL	17211	1,66%
M17_AMBALAJ	20004	1,93%
ORTALAMA		6,59%

Personel Tipleri	Toplam Çalışma Zamanı (s)	Oran
P1_PLAZMA	60548	21,02%
P2_ABKANT	42680	14,82%
P3_GİYOTİN	14722	5,11%
P4_PRES	35686	12,39%
P5_CATIM	283984	32,87%
P6_TESTERE	118140	41,02%
P7_TEST	188610	65,49%
P8_KAYNAK	1018487	88,41%
P9_ELEKTRİK	71878	24,96%
P10_KAPORTA	31484	10,93%
P11_BOYAMA	51582	17,91%
P12_FİRİN	35406	12,29%
P13_STOKER	52976	18,39%
P14_KAPAK	17822	6,19%
P15_SONMONTAJ	53424	18,55%
P16_SONKONTROL	17211	5,98%
P17_AMBALAJ	20004	6,95%
ORTALAMA		23,72%

Ürün Adı	Toplam Sipariş Sayısı	Ort. Dolaşım Süresi
URUN_KK045KY	14	587295,14
URUN_KK080KY	14	643787,57
URUN_KK160KS	12	579554,25
URUN_MK250KY	5	600664,40
URUN_MK250SY	6	416569,00
URUN_BY060DP	4	570922,25
Dolaşım Süresi Başarımı		74,41%
Sapma Faktörü		1,549
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı		79,55%

Teslim Kabiliyeti Başarımı	Değer
Teslim Edilebilen Sipariş Sayısı	55
Toplam Sipariş Sayısı	60
Teslim Kabiliyeti Başarımı	91,67%

Değerlendirme	Başarım
Kapasite Kullanım Başarımı	6,59%
Dolaşım Süresi Başarımı	74,41%
Dolaşım Süresi Sapma Başarımı	79,55%
Süreçte Bekleyen İşler Başarımı	12,12%
Toplam Lojistik Başarımı	43,17%

Minimum İş Stoğu	Bekleyen İş Stoğu - WIP	Başarı Derecesi
2114644	15334815	12,12%

Değerlendirme Periyodu	0 - 1036800
------------------------	-------------

Kromozom Büyüklüğü: 950 Gen

[illegible]

GA 09 Sonuç Tablosu Devamı

106

EK-4 ÖNCELİK KURALI TABANLI GENETİK ALGORİTMA OPTİMİZASYONU SONUCU EN İYİ ÇÖZÜM SONUÇLARI

GA_09 Sonuç Tablosu Devamı

183	1201953836180598182976216212223050547085530695721358761408463060213904010734652149187438904951146947182734793784622497375099159587614967353635110229758696828288449221357620040879839838054374524890197193086655695835850017697209524968173674240968969930170495786020726761285776739340531950123106637895293765430376534559977663807813983414776642975656208891853996752748312987223368714160508165178089923734331166829427169123915771814353508073844233565092980971965024247591908538978211571146362611871998507318435290374354200022929675607961316370107134642768747549976968230338930825795932939113877393248993339864755979372674318026164667689169307446780791156357531370019728921326797223546250133262703632696177072955921873475869575862316452746827717723193916673650211054947812654705274166940077908561675287370251977385044114969804093139997439914880260056263880747515774748861520908863304796610678139811642129464388284111087137183381196220285322323807187	1347206
4	8867952763504306605660135015266600178490184404830510328773294749699412820547563027475628240510634481532868987011026636406027231990307158560663012859490708441453699771368817673300547259050970600696434157257213414191644961031511697696638090174755650905246201663651572755254787385960782459337426522173894740867462077583337712512826521106504268287435894974618213703193197007681685241779326464983804650932378960678558050008394571798703431849036579532484354263780627197512621106271594921344827705941938192085315898228570585378591526433249184502902848736135382358378836497939608237664389939896682512307635079752714579309990660125609592002930927707110310331696485405312257647806295200428825130544441239595367343540128597648612619335505661516047159042595358088365700793445780159045366774015657214024645569679619993299902678878748312540970600439576301412206778192120635332920213830234689033410251730983069582982938858440601811769582846228630835126375886823814	1347527
215	7969453466916167695755932700089745522489450823665874254193674337626153520530500804521558133871501220650135362368286071606892064802938015348518677458443961385716055942927163309812551535997727205324626344313806525722554100452541091535590083978315257376942588177280598913147013213738362458291280678882623312992936544881703072296644432110404946625464578707965112634750442338686634682106672525538221287502124902122152952808781780946544608982760493476268389811433965587444054631742442319606726854880481593121374717809055687162710075125084919822101994582579442040030958281413686496181649264564197879214271206889394695948169362722570627181034247526059283005590857421867640814921745772387612690176716759319702513316280282095471463710408636268510927399652465493734879291765492348455307316703324242463063662425001694733646359744014997548173499079263950972671492830101315556925727947016302586778166886784849495694344472480972888785993126326780799142478330680296	1348761
139	04313099331872553326795809657878412449672288937812933140840443145336010364341797174583353715082380326918916697991532696627988504405484270943276582445979370802041128240625274244130505943500447780204733182979412566244527464027848493930632397309787143678726915412101953561122015524060482503716974207824582456611491352629332290524585731611237959221452267849229282012566073048137206807232788148204494666537821861192348587977783583474364926931082704586690688754237496838311546985088997773695151507243021754546079376534071232269048642966232376168749727180743854211407090175744263840663700587046955917949715133658900354869650212888824680095756783903550004738840235572332969113967209328720851144421210671533193432110392690347801478275762879462641902403851032472262525735751313760589896541472040720011617775144726188236508336261169275987212139765685159341328140398554120192446857067601083356816174020146595699546108378756076327527173692100539809718895374	1350952
21	4941477124940447743372266644978009220994195725843949840267483324684121674818644189093815995241186013071126502252330322177822533373153001896731263391175493624958312900833853644655814119766947683741833567222749969134193134895269802729468497591041679321511967295294724067570664284459057020750119120632661275185767274623769430645143465289771934083945496962230630942201994856565922240593878956714099278195064039720838034833938132575644155338848235975055444891241872165323480959470225641020925328706606055167549542102513113549806124287316048447138222528248350635032436478646577531058459503906531230560284397277171957668282257201523606187306232572468366228792609665457587925204078483216637838570657712598033102472412535871974945554726598527252365157021830523197557656824018619438330842632436117596871923301322019575770401338790011265731744121031763272636968451021085384403637030603683962977229300995637877909892874844802241617322703406571506307445456518	1350952
127	4939526619806156025918170014633181407078102690569037710576840208562575895681648045569646082122789312898413203992770574982558277289133624604543309934221542940236924869155869349248242957581700680841813019745607909199496737844288508335222128837904814441862742168570666771744846537970532490579059356348032706377098461427417724749558019893773511257058883992131895781807957743805466780675027752988820349100118601684216623395182586598402658056641606776120605492853201317256866775357509467807155193302995102639291453723645275303473422726991039770108110656629708265878177524442397383652357603218377399202168521423141560342157321516500808149382517016771604705473700492233411969539214744805093675572025772330407851552326002733074539740454140439824111324502304935698600119718556280996221414704020584301390150594601394936539630579807198959607181919272564876276967079751334523944772020624331168364901216893803183259393745420175259043456137811147919970266	1350952

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Erdal AYDEMİR

Doğum Yeri ve Yılı: Ardahan, 1983

Medeni Hali: Evli

Yabancı Dili: İngilizce



Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Köksal Toptan Lisesi, BARTIN, 2000.

Lisans : Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü, KONYA, 2005.

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Araştırma Görevlisi, SDÜ FBE Endüstri Müh. Anabilim Dalı, ISPARTA, 2006 - ...

Yayınları (SCI ve diğer makaleler)

- 1- Koruca, H. I., Ozdemir, G., *Aydemir, E.*, 2006. A Review of Simulation Tools for Organization and Production Systems, Proceedings of 5th International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, 1032-1050, May 29-31, 2006, Sakarya, Turkey.
- 2- Koruca, H. İ., Sütçü, A., *Aydemir, E.*, 2006. Atölye Tipi İmalat İle İmalat Hücrelerinin Simülasyon Destekli Karşılaştırılması, 6. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 29-40, 22-23 Eylül 2006, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- 3- Koruca, H. İ., *Aydemir, E.*, Soyubol, Y. S., 2007. Tam Otomasyonlu Bir Üretim Sisteminin Simülasyon Destekli Tasarımı Ve İşletme Parametrelerinin Belirlenmesi, 15. Yıl Mühendislik Mimarlık Sempozyumu, 228-238, 14-16 Kasım 2007, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
- 4- *Aydemir, E.*, 2007. İmalat Sanayinde Faaliyet Gösteren Bir İşletmede İstatistiksel Kalite Kontrol Uygulaması, 15. Yıl Mühendislik Mimarlık Sempozyumu, 265-275, 14-16 Kasım 2007, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.

- 5- Koruca, H. İ., Özdemir, G., Çayırılı, M., *Aydemir, E.*, 2007. Faborg-Sim Esnek İş Akış Planı Editörü Geliştirme ve İşlemlerin Gantt Şemasında Çizelgelenmesi, 7. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 15-17 Kasım 2007, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- 6- Koruca, H. İ., Ozdemir, G., *Aydemir, E.*, 2008. Cayirli, M., Development of Software for Flexible Workflow-Based Process and Simulation-Based Parallel Workplace Scheduling in Faborg-Sim, Proceedings of 6th International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, IMS 2008, Oct 14-17, 2008, Sakarya, Turkey.
- 7- Koruca, H. İ., Ozdemir, G., *Aydemir, E.*, Cayirli, M., 2008. The Simulation-Based Performance Measurement in An Evaluation Module for Faborg-Sim Simulation Software, Proceedings of 6th International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, IMS 2008, Oct 14-17, 2008, Sakarya, Turkey.