AKIŞ TİPİ ATÖLYE SİSTEMİNDE BENZETİM İLE ENİYİLEME: MAN TÜRKİYE A.Ş.'DE BİR UYGULAMA

Yenal GÜNDÜZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KASIM 2005
ANKARA

Yenal GÜNDÜZ tarafından hazırlanan AKIŞ TİPİ ATÖLYE SİSTEMİNDE BENZETİM İLE ENİYİLEME: MAN TÜRKİYE A.Ş.'DE BİR UYGULAMA adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Fulya ALTIPARMAK
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

AKIŞ TİPİ ATÖLYE SİSTEMİNDE BENZETİM İLE ENİYİLEME: MAN TÜRKİYE A.Ş.'DE BİR UYGULAMA

(Yüksek Lisans Tezi)

Yenal GÜNDÜZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2005

ÖZET

Gerçek hayatta karşılaşılan birçok sistem, genellikle büyük boyutlu, karmaşık ve birtakım belirsizlikler içermektedir. Bu tür sistemlerin analizi amacıyla çoğunlukla benzetim kullanılmaktadır. Benzetim modeli, bir girdi setine karşılık bir çıktı ya da çıktı setinin elde edildiği girdi-çıktı modelidir. Benzetim tek başına bir eniyileme tekniği değildir. Benzetim, en iyi performansı sağlayacak karar değişkenleri hakkında tahmini değerler elde edilmesini sağlarken çözüm uzayı büyüdükçe karar değişkenlerinin oluşturacağı tüm kombinasyonların denenmesi imkansız olmaktadır. Bu nedenle benzetim modeli ve eniyileme algoritmalarının birlikte kullanıldığı benzetim eniyilemesi teknikleri günümüzde yaygın kullanılan yaklaşımlar olmuştur. Bu tezde MAN Türkiye A.Ş'nin Kablo Demetleri Üretim Bölümde yer alan Uçlama Atölyesindeki statik-stokastik akış tipi çizelgeleme probleminin çözümünde benzetim ile genel amaçlı arama algoritmaları sınıfında yer alan çoklu iniş algoritması (CIA), tavlama benzetimi (TB) ve tabu arama (TA) birlikte kullanılmıştır. Algoritmaların performansı çözüm kalitesi açısından karşılaştırılmıştır.

Bilim Kodu : 605-02-02
Anahtar Kelimeler : Stokastik akış tipi çizelgeleme, benzetim eniyilemesi, çoklu iniş algoritması, tavlama benzetimi, tabu arama
Sayfa Adedi : 63
Tez Yöneticisi : Doç.Dr. Fulya Altıparmak

SIMULATION OPTIMIZATON OF A FLOW SHOP SYSTEM:
AN APPLICATION ON MAN TURKEY Co.
(M.Sc. Thesis)

Yenal GÜNDÜZ

GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

November 2005

ABSTRACT

When the systems under investigation are complex and inherit uncertainties, the analytical solutions to these systems become impossible. Because of the complex stochastic characteristics of such systems, simulation can be used as an analysis tool to predict the performance of an existing system or a design tool to test new systems. Simulation model is an input-output model in which the set of output is estimated for given a particular set of input. Simulation is not an optimization tool. Therefore it is impossible to evaluate all combinations of decision variables by simulation when search space increases. Recently, search techniques have been used with simulation model to overcome this difficulty. In this thesis, Multi Start Descent (MSD), Simulated Annealing (SA) and Tabu Search (TS) belong to general purpose search techniques are applied to solve static-stochastic flow-shop scheduling problem on the crimping shop of MAN TURKEY Co 's loom of wire production department. The effectiveness and efficiency of the general purpose search algorithms are investigated according to solution quality.

Science Code : 605-02-02
Key Words : Sochastic flow-shop scheduling, simulation optimization, multiple start descent, simulated annealing, tabu search
Page Number : 63
Adviser : Assoc. Prof. Fulya Altıparmak

TEŞEKKÜR

Tez konusunda beni yönlendiren ve çalışmam boyunca değerli katkı ve eleştirileri ile bana destek olan sevgili danışmanım Sayın Doç. Dr. Fulya Altıparmak'a, çalışmam süresince verdiği desteği için üniversitemiz araştırma görevlisi İsmail Karaoğlan'a, uygulama yapmama olanak sağladığı için MAN Türkiye A.Ş.'ye, çalışmalarımda bana değerli zamanını ayırarak destek olan arkadaşım Barış Özyurt'a, çalışmam boyunca gösterdikleri sabır, anlayış ve desteklerinden dolayı başta "MAN Türkiye A.Ş" Elektrik Sistemleri Üretim Müdürü Sayın Bünyamin Özyan'a ve tüm çalışma arkadaşlarıma ve değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iii

ABSTRACT iv

TEŞEKKÜR v

İÇİNDEKİLER vi

ÇİZELGELERİN LİSTESİ viii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ ix

SİMGELER VE KISALTMALAR x

1. GİRİŞ 1

2. ÇİZELGELEME 4

2.1. Çizelgeleme Problemleri 5

2.2. Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması 6

2.3. Akış Tipi Çizelgeleme 12

3. BENZETİME DAYALI ÇİZELGELEME 17

3.1. Benzetim ile Eniyileme 19

3.2. Benzetim Eniyilemesinde Kullanılan Genel Amaçlı Arama Algoritmaları 20

3.2.1. Çoklu iniş algoritması (CIA) 20

3.2.2. Tavlama benzetimi algoritması 23

3.2.3. Tabu arama algoritması 25

3.3. Literatür Araştırması 27

4. MAN TÜRKİYE A.Ş. KABLO DEMETLERİ ÜRETİM BÖLÜMÜNDE BİR UYGULAMA 30

4.1. Sistem Hakkında Bilgi 30

4.1.1. Kablo demeti üretiminde kullanılan malzemeler 31

4.1.2. Kablo demeti üretim süreci 31

4.1.3. Sistemde görülen temel sorun 33

4.2. Uçlama Atölyesi için Benzetim Modeli 37

4.3. Genel Amaçlı Arama Algoritmaları ile Eniyi İş Sırasının Bulunması 41

5. ALGORİTMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI 45

5.1 TB ve TA'da Kontrol Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi 46

5.1.1. TB için başlangıç sıcaklığının belirlenmesi 46

5.1.2. TA için tabu süresinin belirlenmesi 47

5.2. Algoritmaların Performanslarının Karşılaştırılması 48

5.3. Mevcut Sistem ile Elde Edilen Yeni Sonuçların Karşılaştırılması 52

6. SONUÇ 54

KAYNAKLAR 57

ÖZGEÇMİŞ 61

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Hazırlık zamanlı m makineli akış tipi çizelgeleme problemleri ile ilgili çalışmalar 17

Çizelge 5.1. Başlangıç sıcaklığına göre TB ile elde edilen maksimum tamamlanma zamanı 49

Çizelge 5.2. Tabu Süresine göre TA ile elde edilen maksimum tamamlanma zamanları 50

Çizelge 5.3. CIA, TB ve TA Algoritmalarının Karşılaştırılması 51

Çizelge 5.4. Varyans Analizi Tablosu 52

Çizelge 5.5. Duncan'ın Çoklu Aralık Testi 52

Çizelge 5.6. Algoritmalarda Ortalama Çözüm Süresi ve Aranan Çözüm Sayısı 54

Çizelge 5.7. Mevcut Sistemde ve Önerilen Yaklaşımda Maksimum Tamamlanma Zamanının Karşılaştırılması 55

Çizelge 5.8. Araç Tipleri için Üretim Miktarı ve İşletmenin Yıllık Parasal Kaybı 56

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Akış tipinde işlerin öncüllük yapısı ……. 13

Şekil 2.2. Basit (saf) akış tipinde iş akışı 13

Şekil 2.3. Genel akış tipinde iş akışı 14

Şekil 3.1. Çizelgeleme problemlerinin kapsama alanı 19

Şekil 3.2. Benzetim eniyilemesi algoritmaları akış şeması..... ...20

Şekil 3.2. Benzetim ile eniyileme yöntemlerinin sınıflandırması..... ...22

Şekil 4.1. Eski Yerleşim Planı 35

Şekil 4.2. Mevcut Yerleşim Planı 36

Şekil 4.3. Tesisatlar için Akış Şeması..... ...40

Şekil 4.4. Dizi Kodlaması ……. 43

Şekil 4.5 Yer Değiştirme Komşuluk Yapısı ……43

Şekil 5.3 CIA Algoritması …… 44

Şekil 5.4 TB Algoritması ……...46

Şekil 5.5 TA Algoritması ……...47

Şekil 5.6. 44 tesisat için CIA, TB ve TA'nın yakınsama grafiği ……...53

Şekil 5.7 108 tesisat için CIA, TB ve TA'nın yakınsama grafiği ……..53

Şekil 5.8 227 tesisat için CIA, TB ve TA'nın yakınsama grafiği ……..54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	**Açıklama**
ACS	Aranan çözüm sayısı
CIA	Çoklu iniş algoritması
DP	Doğrusal programlama
f(x)	Amaç fonksiyonu
$f(x_{eniyi})$	Eniyi çözüm için en büyük tamamlanma zamanı
KS	Bir iterasyonda aranan çözüm sayısı
k	Her sıcaklık değerinde aranan çözüm sayısı
k_s	Her sıcaklık değerinde aranacak toplam çözüm sayısı
m	İterasyon sayacı
r	Sıcaklık azaltma katsayısı
T	Fiziksel tavlamadaki sıcaklığa karşılık gelen kontrol parametresi
TA	Tabu arama
TB	Tavlama benzetimi
TK	Aranan çözüm sayısı ile ilgili sayaç
T_0	Başlangıç sıcaklığı
T_s	Bitiş sıcaklığı
x_k	Komşu çözüm
x_{ek}	Eniyi komşu çözüm

Kısaltmalar	**Açıklama**
x_{eniyi}	Eniyi çözüm için iş sırası
$\mathbf{x_0}$	Başlangıç çözümü
$\mathbf{x_y}$	Kabul edilen yeni çözüm
$\mathbf{x_a}$	x_y'ye komşu olan aday çözüm
$\mathbf{\Delta}$	Farklı noktalar için hesaplanan amaç fonksiyonu değerlerinin farkı

1. GİRİŞ

Günümüzde artan müşteri talepleri, sık değişen teknoloji ve gittikçe zorlaşan global rekabet, firmaları ürettikleri ürünü veya verdikleri hizmeti; daha hızlı, daha etkili, daha kaliteli, daha az maliyette nasıl üretebileceklerini bulmaya zorlamaktadır.

Son yirmi yılda önemi gittikçe artan müşteri memnuniyetini sağlayabilmek için, kaliteyi ve çeşitliliği yüksek tutarken aynı zamanda satılan ürünün veya servisin fiyatı da rekabet halinde olduğunuz şirketlerin fiyatlarından daha düşük seviyelerde tutulması gerekmektedir. Bunun yanında ayakta kalabilmeleri için kar etmek zorunda olduklarından dolayı kar marjını değil, üretilen ürünün birim maliyetlerini aşağıya çekmek zorundadırlar. Firmalar piyasadaki rakipleri ile temel girdi, teknoloji ve işgücü yönünden benzer kaynaklara sahip olduklarından, onlara karşı ne şekilde fiyat, kalite ve çeşitlilik avantajı sağlayabileceklerini araştırmalıdır.

Bu sorunun cevabı, üretilen ürünün veya servisin ne olduğundan ziyade, bunların nasıl gerçekleştirildiğinde saklıdır. Müşteri odaklı üretim yapmadan, müşteri beklentisinin altında fiyat, çeşitlilik ve kalite sunan şirketlerin ticari anlamda yaşamlarını sürdürebilmelerine imkan yoktur. Bütün bu sorunların tamamını çözebilmenin yolu, sistemde hızlı ve yerinde değişiklikler yapmaktır.

Bu noktada işletmelerin maliyetlerindeki en büyük pay işçi maliyetidir. İşçi maliyeti de; bir ürünün üretilebilmesi için harcanan zaman anlamına gelmektedir. Bu süreyi azaltabilmek için ya teknolojiye yatırım yapıp daha yüksek teknolojiye sahip ve daha hızlı işlem yapabilen makineler alınması ya da mevcut sistemin daha verimli çalışır hale getirilmesi gerekir. Teknolojiye yatırım ise maliyetinin yüksek olmasından dolayı en son tercih edilmesi gereken seçenek olmalıdır. Mevcut sistemin bilimsel tekniklerle ve metotlarla en iyi şekilde çalışır hale getirilmesi maliyeti çok daha düşük bir çözüm olduğundan dolayı ilk tercih edilmesi gereken seçenek olmalıdır.

Üretim yapan firmalarda yaşanılan en büyük sorunlardan birisi darboğazlardır. Kesikli üretimin olduğu firmalarda, istasyonların birisinin darboğaz olması üretimin yavaşlamasına hatta durmasına bile neden olabilir. Üretim içi ara stokların oluşması

işletmeye ek bir maliyet getirmenin yanında birim zamanda üretilen ürün sayısı azalacağından dolayı, birim maliyetler artacaktır.

Sistemdeki sorunların sebeplerini bulmak ve bunları ortadan kaldırabilmek için, sistem içinde birbirinden bağımsız gibi görünen fakat aslında bir bütün olarak çalışan tüm elemanların arasında nasıl bir ilişki olduğunu, sistemin hangi parametrelere duyarlı olduğunu, belirli değişikliklere nasıl bir tepki verdiğini incelemek ve anlamak gerekir. Sistemini iyi tanıyan, çalışma mantığını tecrübelerine dayanarak bilen mühendisler ve yöneticiler buna bir dereceye kadar cevap verebilirler. Tecrübeye dayanarak sistem üzerinde yapılan değişikler beklenilen olumlu etkiyi vermeyebilir. Böyle bir durumda, yapılan değişiklik mali bir yatırım gerektirmiş ise bundan geri dönmek de imkansızdır. Ayrıca, sistemdeki sorunların tamamı herhangi bir yatırımı gerektirmeyebilir.

Bu tür durumlarda sistemin analizi ve tasarımı için benzetim metodundan yararlanılabilir. Bilgisayar ortamında sistemin işleyişinin taklidi olarak tanımlanan benzetim, sistem üzerinde yapılacak değişikliğin / değişikliklerin sonucunu firmalara gösterebilecek ve belki de yatırım yapmadan sorunu çözmenin yollarının bulunmasını sağlayabilecek bir metottur. Benzetim; kapasite analizi ve planlanması, ekipman ve personel planlanması, kaynak ihtiyaç analizi ve planlanması, darboğaz ve kısıt analizi, çizelge, envanter yönetimi, lojistik planlama, bakım ve koruma düzenlemesi gibi bir çok alanda kullanılmaktadır.

Üretim süresinin ve dolayısıyla birim maliyetlerin azalması dikkate alındığında, (üretim planlarının karşılanabilmesi, siparişlerin söz verilen teslimat tarihlerine yetişebilmesi) işlerin hangi kaynaklar tarafından hangi sırayla yapılması gerektiğinin doğru belirlenmesi gerekmektedir. Bu noktada, çizelgeleme önemli rol oynayan bir karar verme işlemidir. Çizelgeleme, bir firmada matematiksel teknikler veya sezgisel teknikler kullanılarak sınırlı kaynakların görevlere tahsis edilmesi işlemini gerçekleştirir. Kaynakların uygun olarak atanması ile firmanın amaç ve hedeflerine en iyi şekilde ulaşması sağlanır. Bu kaynaklar, makineler, işçiler, malzemeler veya üretim sistemine kısıt oluşturan her şey olabilir. Çizelgeleme her kaynak için iş sırası ile birlikte tahmini başlangıç ve bitiş tarihlerini belirler. Çizelgeleme ile firmanın

amacı, tüm işlerin tamamlanma süresini en aza indirmek veya geciken iş sayısını en aza indirmek gibi farklı şekilde olabilir.

Bu tezde, MAN Türkiye A.Ş Kablo Demetleri Üretim Departmanında bulunan ve bir darboğaz oluşturan Uçlama Atölyesinde işlem gören tesisatların en büyük tamamlanma zamanını en azlamak için en uygun tesisat sırasının belirlenmesi amacı ile bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, genel amaçlı arama algoritmaları olan çoklu iniş algoritması (CIA), tavlama benzetimi (TB) ve tabu arama (TA)'ya dayalı üç algoritma geliştirilmiştir. Atölyede, 39 makine ve 10 işçi bulunmakta olup işlem zamanları stokastiktir. Bu nedenle, sistemin benzetim modeli oluşturulmuş ve arama algoritmaları ile bulunan her çözümün değerlendirilmesinde bu model kullanılmıştır.

İkinci bölümde, çizelgeleme problemi hakkında genel bilgi verildikten sonra tezde dikkate alınan atölyede de söz konusu olan akış tipi çizelgeleme problemi incelenmektedir.

Üçüncü bölümde, benzetimin çizelgeleme problemlerinde kullanım alanları ile ilgili genel bilgi verildikten sonra benzetim ile eniyileme kavramı açıklanmaktadır. Bu bölüm ayrıca benzetim ile eniyileme amacı ile kullanılan ve bu tezde de yararlanılan genel amaçlı arama algoritmaları hakkında bilgiyi ve benzetime dayalı çizelgeleme ile ilgili literatür araştırmasını içermektedir.

Dördüncü bölümde, bu tezde dikkate alınan sistem hakkında genel bilgi ve mevcut sistemde var olan sorunlar irdelendikten sonra, sistem için geliştirilen benzetim modeli ve arama algoritmaları verilmektedir.

Beşinci bölümde, geliştirilen arama algoritmaların performansı sistemden seçilen üç problem dikkate alınarak çözüm kalitesi ve yakınsaması açısından incelenmiştir. Ayrıca mevcut durum ile önerilen yeni durumlar karşılaştırılmıştır.

Sonuç ve öneriler bölümünde ise, elde edilen sonuçlar değerlendirilerek ileride yapılabilecek yeni çalışmalar önerilmiştir.

2. ÇİZELGELEME

Çizelgeleme, imalat ve hizmet sektöründe önemli bir role sahip olan karar verme sürecidir. Tedarik ve üretimde, taşıma ve dağıtımda bilgi işleme ve iletişimde kullanılır. Bir işletmedeki çizelgeleme çalışmaları, işlerin yapılması için matematiksel veya sezgisel yöntemler kullanarak görevlerin yapılması için eldeki kısıtlı kaynakların en uygun şekilde kullanılmasını sağlar. Bu kaynakların uygun dağıtımı, firmanın amaçlarını eniyiler ve işletmeyi hedeflerine ulaştırır (1). Kaynaklar bir atölyedeki makineler, bir havaalanındaki pistler, inşaat sahasındaki çalışanlar yada bir hesaplama ortamındaki işleyici üniteler olabilir. Görevler ise atölyedeki işlemler, havaalanında kalkış ve inişler, bir inşaat projesindeki aşamalar yada uygulanan bilgisayar programları olabilir. Her görevin bir öncelik seviyesi, mümkün en erken başlama zamanı ve teslim tarihi vardır. Amaçlar da çok farklı şekillerde ortaya çıkabilir. Örneğin tüm görevlerin tamamlanma zamanının yada geciken iş sayısının en küçüklenmesi gibi (2).

Bir atölyede; iş, parça, ürün vs. anlamına gelen siparişler kümesi süreç planında verilen bir veya birden çok işlemi gerektirir. Süreç planı, kaynak ve zaman gibi gereksinimlerini de dikkate alarak her bir işlemi ve bu işlemlerin sırasını belirler. Genelde, her bir işlem için alternatif kaynaklar söz konusudur. İşlemlerin kendileri de uygunluk ve performans düşünüldüğünde başka işlemlerle yer değiştirilebilir. Çizelgeleme, ürünlerin makinelerde, ne zaman, ne şekilde ve hangi sırayla üretileceğinin bulunmasıdır. Çizelgeleme, genellikle uygulamada kısa-dönem periyodu boyunca (günlük, haftalık vs.) kaynak tarafından işlenecek siparişler kümesinin belirlenmesi anlamına gelir. Dönemin seçimi olan çizelgeleme ufku da verilecek kararın bir parçası olabilir.

Bir gerçek-hayat çizelgeleme problemi, basitçe “Pazartesi tekrarlamak için 5 siparişin seçimi” olarak düşünülebilir. Önce tamamlanacak siparişleri seçmede, atölye idarecisi bazı performans ölçüleri kullanır. Örneğin, gecikmiş siparişlerin sayısını azaltmak istediğinde siparişlere “en erken teslim zamanı” na göre öncelik

verebilir. Ama çizelgeleme uygulamalarında genellikle birden çok amaç vardır. Çoğu durumda çizelgeleme amaçları, tek başlarına ölçülebilir çizelgeleme kriteri şeklinde ifade edilemez. Buna ek olarak, çizelgeleme ile makine bozulmaları, boş zamanlar, ıskarta, yeniden işleme gibi rafsal olayların olumsuz etkileri de enazlanmaya çalışılır.

2.1. Çizelgeleme Problemleri

Çizelgeleme problemi, dikkate alınan performans ölçütünü eniyileyecek şekilde her siparişin her bir işlemi için başlama ve tamamlanma zamanlarının belirlenmesidir. Çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan yaklaşımlarda bir takım varsayımların dikkate alınması gerekebilir. Bu varsayımlar (3);

- Her işin belirli, birden çok işlemi olmasına rağmen aynı işe ait hiçbir iki işlem eş zamanlı olarak işlenemez.
- Bir makinede başlayan her işlem, başka bir işlem başlamadan önce bitmelidir.
- Her işin , her biri bir makinede olmak üzere m tane belirli işlemi vardır. Her bir iş her makinede işlenir ve makineler atlanmaz. Gecikmelere izin verilir.
- Her bir iş tamamlana kadar işlenmelidir. İptal edilemez.
- İşlem süreleri çizelgeden bağımsızdır.
- Ara stoka izin verilir.
- Her bir makine tipinden bir tane vardır.
- Hiçbir makine aynı anda birden çok işlemi gerçekleştiremez.
- Makineler asla bozulmaz ve çizelgeleme boyunca çalışır durumdadır.
- Teknolojik kısıtlar bilinir ve sabittir.
- Rassallık yoktur.
- İş sayısı biliniyor ve sabittir.
- Makine sayısı biliniyor ve sabittir.
- İşlem zamanları biliniyor ve sabittir.
- Hazır olma zamanları biliniyor ve sabittir.

- Bir problemi belirlemek için gerekli diğer tüm büyüklükler biliniyor ve sabittir.

2.2. Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Çizelgeleme problemlerinin genel olarak sınıflandırılması 6 başlıkta yapılabilir. Bu sınıflandırma aşağıda gösterilmektedir (2):

1) Problemin yapısı
    - Deterministik
    - Stokastik
2) Makine biçimi
    - Tek makineli sistemler
    - Paralel makineli sistemler
    - Akış tipi sistemler
    - Atölye tipi sistemler
3) Performans ölçütleri
    - Düzenli ölçütler
    - Düzenli olmayan ölçütler
4) İş özellikleri
    - Öncelik kısıtları
    - Rotalama kısıtları
    - Malzeme taşıma kısıtları
    - Hazırlık zamanları ve maliyetleri
    - Öncüllükler
    - Depolama alanı ve bekleme zamanı kısıtları
    - Stoğa-üretim ve Sipariş-üretim
    - Takım kısıtları ve kaynak kısıtları
5) Çözüm yöntemleri

- Geleneksel eniyileme yöntemleri
  - Dinamik Programlama
  - Dal-sınır yöntemi
  - Ödünleşim eğrileri
  - Tamsayılı programlama formülasyonları
- Yeni yaklaşımlar
  - Tabu arama
  - Genetik algoritma
  - Tavlama benzetimi
  - Karınca kolonisi

6) Ölçüt sayısı
   - Tek ölçüt
   - Çok ölçüt

1) Problemin Yapısı: Çizelgeleme problemleri yapısal olarak incelendiğinde deterministik ve stokastik olarak ikiye ayrılmaktadır. İşlerin işlem zamanları, hazırlık zamanları, teslim tarihleri gibi parametreleri kesin biliniyor ise bu tip problemler deterministik çizelgeleme problemleri olarak ifade edilir. Eğer parametreler kesin olarak bilinmiyor ve bir olasılık dağılımı ile tanımlanıyor ise bu tip problemler de stokastik çizelgeleme problemleri olarak tanımlanır.

2) Makine Biçimi: Çizelgeleme problemleri kullanılan makine sayısı açısından 4 şekilde sınıflandırılır.

Tek makineli sistemler; bir çok üretim sistemi tek makineli modeller ile incelenir. Örneğin çok makineli bir modelde darboğaz makine varsa, darboğaz makinede ki iş sırası tüm sistemin performansını belirler. Darboğaz makine çizelgelendikten sonra bunun yukarısındaki ve aşağıdaki işlemler çizelgelenir. Bu yaklaşım orijinal problemi önce tek makineli çizelgeleme problemine indirgeyecektir. Tek makineli

modeller ayrıca ayrıştırma yaklaşımlarında da önemlidir. Çünkü karmaşık ortamlarda çizelgeleme problemleri daha küçük sayıda tek makineli çizelgeleme problemlerine bölünür. Tek makineli modeller çok çeşitli özel koşullar ve kısıtlar altında ve farklı birçok amaç fonksiyonu için analiz edilmiştir. Tek makineli bir ortamda en iyi çözümleri sağlamak, uygulamak ve belirlemek daha kolaydır.

Paralel makineli sistemler; tek makineli sistemlerin genelleştirilmişidir. Birçok üretim çevresi, birçok aşama veya iş merkezlerinden oluşmuştur. Her aşamada paralel olarak bir çok makine vardır. Bir iş merkezindeki makineler özdeş olabilir ve bir iş geldiğinde mevcut makinelerin herhangi birinde işlem görebilir. Paralel makineli modeller tek makineli modellerdeki sebeplerden dolayı önemlidir. Özel bir iş merkezi darboğaz olduğunda bu iş merkezinde çizelgeleme tüm sistemin performansını belirleyecektir. Bu darboğaz paralel makinelerin bir yığını olarak modellenebilir ve analiz edilir. Her zaman paralel makineler benzer olmayabilir. Bazı makineler diğerinden daha eski, daha yavaş hızda çalışır olabilir, veya diğerinden daha iyi, daha yüksek kalitede iş yapabilir. Bazen bazı işler *m* paralel makinenin herhangi biri üzerinde işlem görebilirken diğerleri sadece m makinenin özel bir alt seti üzerinde işlem görebilir.

Akış tipi sistemler; bir çok imalat veya montaj ortamlarında işler, bir çok farklı makine üzerinde birçok işlemi gerçekleştirmek zorundadır. Şayet tüm işlerin rotası aynı olursa yani tüm işler aynı makineleri aynı sırada takip ediyorlar ise, bu ortam akış tipi olarak adlandırılır. Makineler seri bir şekilde kurulur ve ne zaman bir iş bir makine üzerinde işlemini tamamlarsa bu iş bir sonraki kuyruğa bağlanır. İşlerin sırası makinelerden makineye değişir. Çünkü işler makineler arasında yeniden sıralanabilir. Ancak bir malzeme taşıma sistemi işleri makineden makineye aktarıyor ise sistemde aynı iş sırası sürdürülür. Permütasyon akış tipi çizelgeleme problemlerinde en iyi çizelgelemeyi belirlemek için $(n!)^m$ tane farklı çizelgelemenin incelenmesi gerekir. Bazı akış tipi sistemlerde, bir iş özel bir makinede işleme ihtiyaç duymuyor ise bu makineyi atlayabilir ve diğer işlemleri için ilerleyerek işlemlerini gerçekleştirir. Diğer akış tiplerinde bu tür atlamaya izin yoktur. Akış tiplerinin genelleştirilmişi

esnek akış tipleridir. Çok sayıda seri aşama ve her aşamada paralel makinelerin herhangi biri üzerinde işlem görebilir.

Atölye tipi sistemlerde; çok işlemli atölyelerde işler farklı rotalara sahiptir. Bu ortam atölye tipi olarak ifade edilir ve akış tipinin bir genelleştirilmişidir. En basit atölye tipi modellerinde bir işin özel bir makine üzerindeki rotasında en fazla bir kez işlem görebileceği varsayımı vardır. Diğerlerinde ise bir iş bir makineyi sistemdeki rotasına bağlı olarak bir çok kez ziyaret edebilir. Bu atölyenin yeniden devir kısıtı altında olduğu ifade edilir. Bu özellik modelin karmaşıklığını önemli ölçüde arttırır. Atölye tipinin genelleştirilmişi esnek atölye tipleridir. Bu atölyedeki iş merkezleri birden fazla paralel makineye sahiptir. Kombinatoriyal bakış açısından yeniden devire sahip esnek atölye tipi en karmaşık makine ortamıdır ve mikro işlemci üretim endüstrisinde çok yaygındır. Günlük hayatta birçok makine ortamları burada tarif edilen modellerden daha karmaşıktır. Ancak burada belirtilen modeller daha karmaşık modellerin analizi için esas teşkil eder.

3) Performans ölçütleri: Çizelgeleme problemlerinde performans ölçütleri düzenli performans ölçütleri ve düzenli olmayan performans ölçütleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Çizelgelemede amaç, iş tamamlanma zamanlarının azalmayan bir fonksiyonu ise performans ölçütü düzenlidir. Düzenli olmayan performans ölçütleri genellikle iş tamamlanma zamanlarının monoton olmayan fonksiyonlarıdır. Düzenli performans ölçütüne örnek olarak akış zamanı, maksimum tamamlanma zamanı ve gecikme ile ilgili ölçütler verilebilir. Düzenli olmayan performans ölçütüne özellikle tam zamanında üretimde öne çıkan erken bitirme ölçütlü örnek olarak verilebilir.

4) İş özellikleri ve kısıtları: Çizelgeleme problemlerinde işe ait bazı özellikler ve kısıtlar bulunabilir.

Öncelik Kısıtları: Çizelgeleme problemlerinde bir iş genellikle kendinden önce verilen iş seti tamamlandıktan sonra başlayabilir. Bu kısıtlar öncelik kısıtları olarak tamamlanır.

Rotalama Kısıtları: Rotalama kısıtları sistemdeki bir işin rotasını belirler. Bir iş belirli makinelerde verilen sırada yapılması gereken bir grup işlemlerden oluşur. Bir çok imalat firmasında bu tip kısıtlar yaygındır. Bir iş bir aşamada işlem görmeden, bir sonraki aşamaya geçebilir. Bir işin uğraması gereken aşamalar ve atlayabileceği aşamaların bilgisi rotalama kısıtları tarafından sağlanır.

Malzeme Taşıma Kısıtları: Modern montaj sistemlerinde genellikle işleri bir istasyondan diğerine taşıyacak malzeme taşıma sistemleri bulunmaktadır. Malzeme taşıma sisteminin otomasyonu iş istasyonlarının otomasyon seviyesine bağlıdır. Eğer is istasyonları yüksek bir otomasyon seviyesine sahipse işlem zamanları deterministiktir ve değişkenlik göstermezler. Bu durumda malzeme taşıma sistemi de otomatik olmalıdır. Ancak elle yapılan bir iş istasyonunda çevrim zamanı işlenme zamanına bağlı olduğu için malzeme taşıma sisteminin bulunması stok alanlarını kısıtlar buda yarı ürün stoklarını azaltır.

Hazırlık zamanları ve maliyetleri: Bir ürün çevriminin üretimini gerçekleştirmek için makine, proses veya tezgahları üzerinde yapılan işlemler hazırlık faaliyetleri olarak ifade edilir. Hazırlık zamanı için iki tip problem mevcuttur. Birinci tipte hazırlık zamanı sadece işlem görecek işe bağlıdır ve sıra-bağımsız olarak tanımlanır. İkinci tipte ise hazırlık zamanı hem işlem görecek işe hem de ondan önce yapılan işlere bağlıdır ve sıra-bağımlı olarak ifade edilir.

*Öncüllükle*r: Bir işin işlenmesi sırasında işin akışı başka bir iş için yarıda kesilebilir. Örneğin, o makineye yüksek öncelikli ani bir iş siparişi gelebilir. Makineden alınan iş ertelenmiştir. Öncüllüğün değişik şekilleri vardır. Bir şekli ertelenen işin o zamana kadar yapılan işlemleri kaybolmaz yani ertelenen iş tekrar işleme alındığında kalınan yerden devam edilir. Bu öncüllük süren-öncüllük olarak adlandırılır. Öncüllüğün diğer bir şeklinde ise o zamana kadar yapılan işlem yok olur. Bu da tekrarlı-öncüllük olarak adlandırılır.

Depolama Alanı ve Bekleme Zamanı Kısıtları: Bir çok üretim sisteminde özellikle çok yer kaplayan ürün üreten sistemlerde yarı ürün stokları için ayrılan alan sınırlandırılmıştır. Bu kısıt makine önünde işlenmek için bekleyen işler için bir üst sınır çizer. Akış tipi sistemlerde alan kısıtı tıkanıklıklara yol açabilir. İki makine arasındaki depolama alanının sınırlandırıldığını varsayılsın. Bu durumda, alan dolduğunda ilk makine tamamladığı ürünü alana aktaramaz. Bunun yerine iş makinede kalır bu da o makinenin başka bir işi işlemesine engel olur.

Stoğa-Üretim ve Sipariş-Üretim: Bir imalat tesisi talebin sabit olduğu ve ürünün modasının geçmesi riskinin olmadığı durumlarda stok tutabilir. Bu stoğa üretim yapma kararı çizelgeleme işlemini etkiler çünkü stoğa yapılan üretimin kesin teslim tarihi olamaz. Talep oranları sabit olduğu durumda, üretim parti büyüklüğü hazırlık maliyeti ve stokta tutma maliyeti ile belirlenir. Stok sıfıra düştüğünde firma stoğu yeniler. Stokastik talep durumunda ise stok miktarı belirli bir değerin altına düştüğünde firma stoğu yeniler. Siparişe göre üretimde ise belirli teslim tarihleri vardır ve üretilecek miktar müşteri tarafından belirlenir. Birçok üretim tesisi kısmen stoğa-üretim kısmen de siparişe-üretime göre çalışır.

Takım Kısıtları ve Kaynak Kısıtları: Makineler genellikle bir işi işleyebilmek için bir yada daha fazla takıma ihtiyaç duyarlar. Bu takımlar değişik tiplerde olabilir. Paralel makineli sistemlerde takım ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için işler çizelgelenmelidir. Bir makine sadece bir tip takıma ihtiyaç duyuyor ancak onlardan R adet varsa bunlar kaynak olarak adlandırılır. Uygulamadaki bilinen kaynaklardan biri personeldir. Bir atölyede belirli bir makineyi çalıştırabilmek için az sayıda operatör olabilir. Makinede işlenmesi gereken iş operatör uygun olana kadar beklemelidir. Bu noktada makine çizelgeleme ve personel çizelgeleme ortak zeminde buluşur.

5) Çözüm Yöntemleri: Çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan yaklaşımlar en iyi çözümü bulan yöntemler ve sezgisel yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Çizelgeleme problemleri, tamsayılı doğrusal programlama problemi

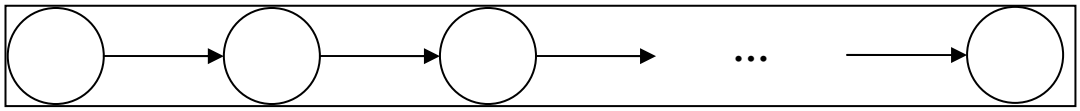
olarak formüle edilmektedir. Bu tür problemlerin çözümü için literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, çalışmalarda dal ve sınır yöntemine ve dinamik programlamaya dayalı algoritmaların geliştirildiği görülmektedir. Dal ve sınır yöntemi, tamsayılı programlama problemlerini çözmek için kullanılan dört temel yaklaşım (kesme düzlemi teknikleri, birerleme teknikleri, bölümleme teknikleri ve grup teorisi) arasından birerleme tekniğine dayalı bir yöntemdir. Dinamik programlama yönteminde belli kısıtlayıcı kurallar, akılcı bir şekilde uygulayarak çok sayıda aday çözüm elimine edilerek bir problem için en uygun çözüm bulunur. En iyi çözümü bulan yöntemlerin özellikle büyük boyutlu problemlere uygulanma zorluğundan dolayı literatürdeki çalışmalar, en iyiye yakın çözüm bulan sezgisel algoritmaların geliştirilmesi yönüne kaymıştır. Geliştirilen sezgisel yöntemler çözüm kurucu sezgiseller ve çözüm iyileştirici sezgiseller olmak üzere iki ayrı sınıf içerisinde incelenebilir. Çözüm kurucu sezgisel yöntemler, çeşitli kuralları kullanarak problem için bir çözüm elde ederler. Çözüm iyileştirici sezgisel yöntemler ise elde edilen bir başlangıç çözümünü bitirme koşulu sağlanıncaya kadar adım adım iyileştirmeye çalışırlar. Bilinen çözüm iyileştirici sezgiseller bir problem için en iyiyi bulmada çok başarılı değildirler. Son yıllarda çözüm iyileştirici sezgisel teknikler sınıfında bulunan ve mutlak en iyiyi bulmada başarılı olan yeni teknikler geliştirilmiştir. Bu tekniklerden yaygın olarak kullanılanları; Genetik Algoritmalar, Tabu Arama, Tavlama Benzetimi ve Karınca Kolonisi yaklaşımıdır.

6) Ölçüt sayısı: Çizelgeleme problemlerinde karar verici tek bir amaca eniyilemek isteyebileceği gibi birden çok amacı da aynı anda eniyilemek isteyebilir. Eğer tek bir ölçüt kullanarak amacı eniyilemek istiyorsa problem tek ölçütlü, eğer birden fazla ölçütü dikkate alarak eniyileme gerçekleştiriliyorsa, çok ölçütlü çizelgeleme problemi olarak tanımlanır.

2.3 . Akış Tipi Çizelgeleme

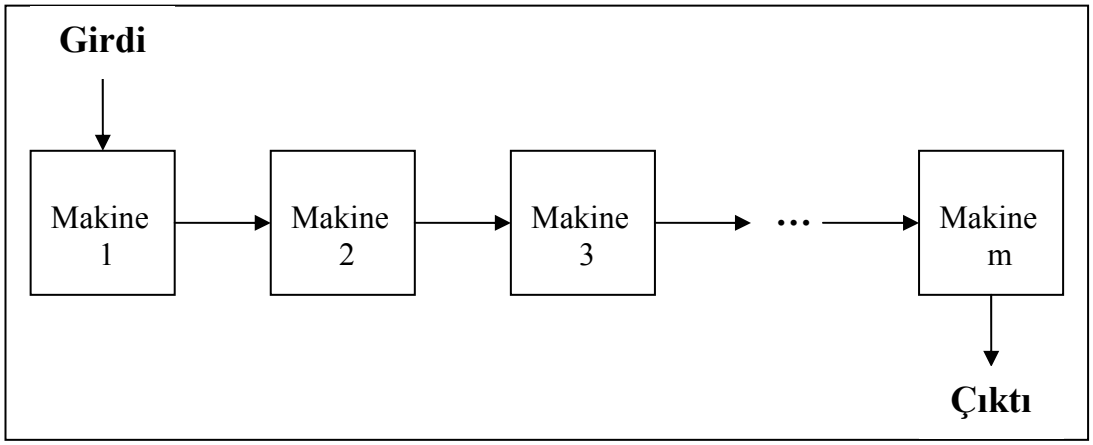
Akış tipi çizelgeleme makinelerin seri olarak düzenlendiği bir çizelgeleme modeldir. Bu modelde, işler bir başlangıç makineden başlar, sistemdeki tüm makinelerden

sırası ile geçenek işlenir. Akış tipi model de her iş ayrı görevlere bölünür. Bu görevlere işlem (operasyon) denir ve her işlem farklı bir makinede gerçekleştirilir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi, ilk işlemden sonraki her işlemin doğrudan gideceği bir öncülü ve son işlemden önce bir ardılı vardır. Her işin, tamamlanabilmesi için gerçekleştirilmesi gereken spesifik bir işlem sırası vardır.



Şekil 2.1. Akış tipinde işlerin öncüllük yapısı (4)

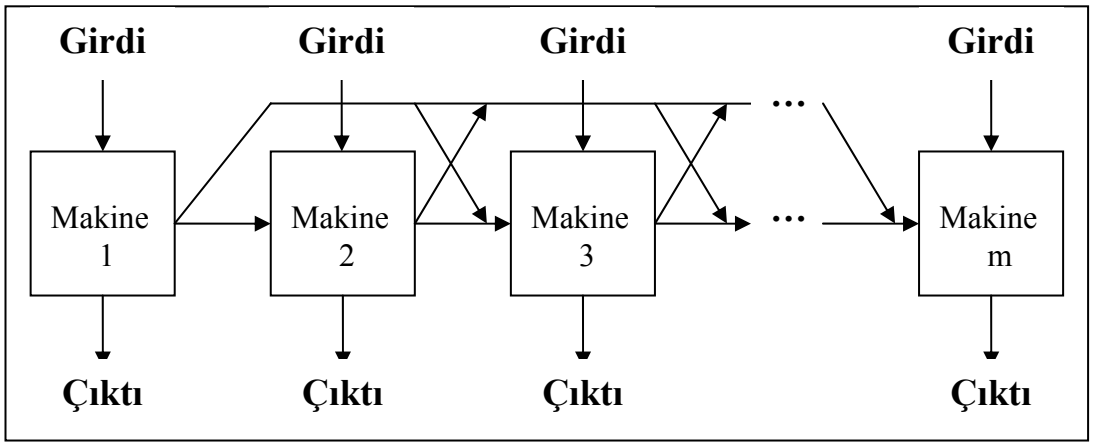
"m" sayıda farklı makinenin bulunduğu bir sistem dikkate alınır ise , basit (saf) akış tipi modelde her işin "m" sayıda işlemi vardır ve her işlem farklı bir makinede işlem görmektedir. Makineler 1, 2, …, m olarak, j işine ait işlemler ise (1, j), (2, j), … ,(m, j) şeklinde adlandırılabilir. Örneğin, p_{53} 3.üncü işin 5 numaralı makinede ki işlem süresini göstermektedir. Şekil 2.2 "basit" akış tipi model için, tüm işlerin her makinede bir işlemi olduğunu gösteren iş akışını göstermektedir (4).



Şekil 2.2. Basit (saf) akış tipinde iş akışı

Genel akış tipine ait iş akışı ise Şekil 2.3'de verilmiştir. Genellikle, işlerde "m" den daha az sayıda işlem gerekmektedir. İşler her zaman ardışık makinelerde işlem

görmeyebilir. Ayrıca ilk ve son işlemler her zaman makine 1 ve m 'de gerçekleşmeyebilir. Bununla birlikte, iş akışı yine *tek yönlüdür*. Yani bazı işlem sürelerinin "0" olduğu basit akış tipli model olarak adlandırılabilir (4).



Şekil 2.3. Genel akış tipinde iş akışı

Seri tipteki makinelerden oluşmuş akış tipi modelini karakterize eden koşullar temel olarak tek makine modeldeki ile benzerdir. Bu koşullar aşağıda verilmiştir:

- "0" zamanında işlenmeye hazır, çok işleme sahip "n" sayıda birbirinden bağımsız iş bulunmaktadır. Her işin "m" sayıda işlemi bulunmakta ve her biri farklı bir makinede işlem görecektir.
- İşlemler için hazırlık süreleri sıradan bağımsız ve işlem süreleri içerisine dahil edilmiştir.
- İş uygulamaları en baştan bilinmektedir.
- Tüm makineler sürekli kullanılabilir.
- Bir işlem başladığında, kesilmeden yürütülür.

Basit tek makineli modelden tek farkı, makinelerde oluşan boş zamanlardır. Tek makineli modelde işlerin eş zamanlı gelişlerinden dolayı, makine hiçbir zaman boş

kalmamaktadır. Akış tipi modelinde ise makinelerin boş zamanlarının teorik olarak enküçüklenmesine ihtiyaç duyulabilir.

Tek makineli modelde, bir iş sırası ve 1, 2, … , n numaralarının sıralanması arasında bire-bir ilişki vardır. En iyi sıralamayı bulmak için, n! farklı sayıda oluşan sıralamaların her birinin incelenmesi gerekmektedir. Akış tipi modelde ise her makine için mümkün n! sayıda sıra buna bağlı olarak $(n!)^m$ sayıda farklı çizelge vardır(4).

Akış tipi problemlerde, isler birden fazla makinede sırası ile işlendiğinden dolayı bir önemli konu da hazırlık süreleridir. Hazırlık süreleri bir makinede bir işten diğerine geçmek için gereken süre olarak tanımlanır. Bu süre ya işlem süresi içerisine dahil edilir yada önemsizdir ve ihmal edilir. Bunun ile birlikte, genel olarak bir işin bir makine üzerindeki çeşitli işlemlerinin dağılımı aşağıdaki gibidir(4):

- Yapılacak işten bağımsız hazırlık süresi. Bu işlem kalıp, bağlantı gibi aparatlarının ve elemanlarının getirilmesi ve makine üzerine oluşmaktadır.
- Yapılacak işe bağlı hazırlık süresi. Bu işlem, işin bu kalıp, bağlantı elemanları üzerine yerleştirilmeleri ve aletlerin ayarlanması için geçen sürelerdir.
- İşin gerçekleştirilmesi için geçen süre.
- Yapılan işe bağlı olan çıkarma süresi. Bu işlem aletlerin işle olan ilgisini kesmek ve işin bağlantı, kalıp elemanlarından ayrılması için geçen süredir.
- Yapılan işe bağlı olmayan hazırlık süresi. Bağlantı, kalıp elamanlarının makineden çıkarılması, aletlerin incelenmesi ve temizlenmesi, makinenin ve çalışma bölgesinin temizlenmesi gibi sürelerden oluşmaktadır.

Akış tipi çizelgelemede yapılan çalışmalar hazırlık zamanı açısından iki grupta incelenebilir. Birinci gruptaki problemlerde makine hazırlık zamanları işlem zamanına dahil edilirken, ikinci gruptaki problemlerde ise hazırlık zamanları işlem zamanlarına dahil edilmemiştir. Diğer yandan, performans ölçütleri olarak en büyük

tamamlanma zamanı (C_{max}), toplam tamamlanma zamanı (ΣC) ve toplam gecikme ölçütlerinin (ΣT) dikkate alındığı problemler olarak sınıflandırılabilir. Bu konu ile ilgili detaylı bilgi Pinedo, M.'da (1) bulunabilir.

Hazırlık zamanları işlem sürelerinden ayrılabilir ise, bir sonraki işin hazırlık işlemi makine boş duruma gelir gelmez başlayabilir. Bu durumda, işin hazırlık işleminin yapılabilmesi için işin makine üzerinde olmasına gerek yoktur. Makinenin boş zamanı işin hazırlık işlemini spesifik bir makine üzerinde tamamlamak için kullanılabilir. Diğer durumlarda, hazırlık süresi işlem süresinden ayrılamadığı durumlardır ve hazırlık işlemleri ancak iş makineye geldiği zaman başlayabilir. Sonuç olarak bir işin bir makine üzerindeki hazırlık süresi, yürütülen işe bağımlı yada bağımsızdır (5).

Hazırlık zamanlı akış tipi problemleri 4 ayrı kategoride incelenebilir (5):

- Sıradan bağımsız olan iş-hazırlık süreli akış tipi (SBZİHS Akış Tipi)
- Sıra bağımlı olan iş-hazırlık süreli akış tipi (SBİHS Akış Tipi)
- Sıradan bağımsız olan aile-hazırlık süreli akış tipi (SBZAHS Akış Tipi)
  - Sıradan bağımsız olan grup-hazırlık süreli akış tipi (SBZGHS Akış Tipi)
  - Sıradan bağımsız olan yığın-hazırlık süreli akış tipi (SBZHS Akış Tipi)
- Sıra bağımlı olan aile-hazırlık süreli akış tipi (SBAHS Akış Tipi)
  - Sıra bağımlı olan grup-hazırlık süreli akış tipi (SBGHS Akış Tipi)
  - Sıra bağımlı olan yığın-hazırlık süreli akış tipi (SBYHS Akış Tipi)

Literatürde hazırlık zamanlarının da dikkate alındığı deterministik akış tipi çizelgeleme problemleri için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda, farklı performans ölçütleri için farklı çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir. Çözüm yaklaşımları açısından hazırlık süreli m makineli akış tipi çizelgeleme problemleri ile ilgili bu çalışmalardan bazıları Çizelge 2.1.de görülmektedir.

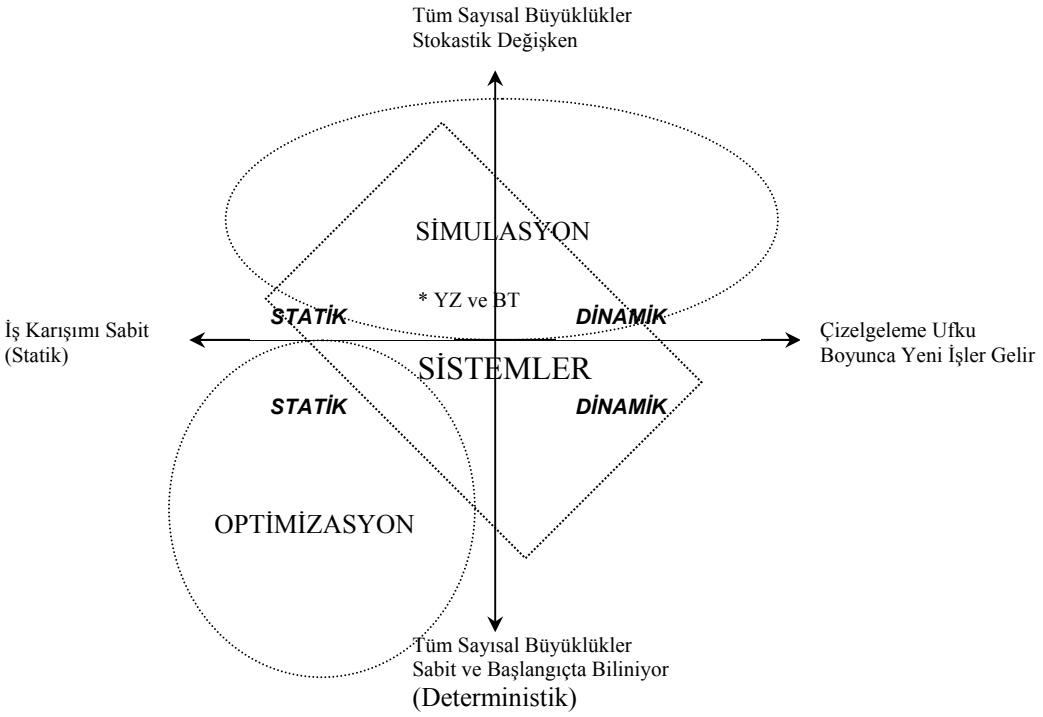
Çizelge 2.1. Hazırlık zamanlı m makineli akış tipi çizelgeleme problemleri ile ilgili çalışmalar

Problem Tipi	Çözüm Yaklaşımı	Çalışmalar
SBZİHS	Çözüm Kurucu Sezgisel	Park ve Steudel (1991) (6), Cao ve Bedworth (1992) (7), Rajendran ve Ziegler (1997) (8),
SBİHS	Dinamik Programlama	Corwin ve Esogbue (1974) (9), Bellman,Esogbue ve Nabeshima (1982) (10)
	Dal sınır	Rios- Mercoda ve Bard (1996) (11), Rios- Mercoda ve Bard (1998) (12), Rios- Mercoda ve Bard (1999) (13), Bianco,Dell'Olma ve Giordani (1999) (14)
	Çözüm Kurucu Sezgisel	Simons (1992) (15), Rajagopalan ve Karimi (1987) (16), Norman (1999) (17)
	Çözüm İyileştirici Sezgisel	Parthasarathy ve Rejandran (1997) (18), Parthasarathy ve Rejandran (1997) (19), Rios-Mercoda ve Bard (1998,1999) (13) (14)
SBZAHS	Dal sınır	Hitomi ve Ham (1976) (20), Ham, Hitomi ve Yoshida (1985) (21)
	Çözüm Kurucu Sezgisel	Sotoskov, Danneberg,Tautenhahn ve Werner (1996) (22)
	İyileştirici Sezgisel	Vakharia ve Chang (1990) (23), Skorin-Kapov ve Vakharia (1993) (24), Sridhar ve Rajenndra (1994) (25)
SBAHS	Dinamik Programlama	Hwang ve Sun (1997) (26)
	Çözüm Kurucu Sezgisel	Schaller, Gupta ve Vakharia (1997,1999) (27) (28)
	Çözüm İyileştirici Sezgisel	Jordan (1996) (29)

3. BENZETİME DAYALI ÇİZELGELEME

Bölüm 2.2.' de değinildiği gibi işlerin işlem zamanları, hazırlık zamanları, teslim tarihleri gibi parametreleri kesin biliniyor ise bu tip problemler deterministik çizelgeleme problemleri olarak ifade edilir. Bu parametreler kesin olarak bilinmiyor ve bir olasılık dağılımı ile tanımlanıyor ise bu tip problemler stokastik çizelgeleme problemleri olarak tanımlanır. Ayrıca, işlerin hazır olma zamanına göre çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılması da mümkündür. Bütün işler başlangıç zamanında işlenmeye hazır durumdalar ise bu problem statik problem olarak tanımlanır. Çizelgeleme dönemince sisteme yeni işler geliyor ise bu sistem dinamik bir sistemdir ve ilgili çizelgeleme problemi dinamik problem sınıfında değerlendirilir. Çizelge 2.1. de verilen çalışmaları da kapsayan literatürdeki çalışmaların büyük bir kısmı deterministik-statistik çizelgeleme problemleri üzerinedir. Bununla birlikte

parametreler kesin olarak bilinmiyor yada çizelgeleme döneminde yeni işlerin gelmesi söz konusu ise bu durumda bu tür sistemlerin değerlendirilmesinde ve çizelgeleme probleminin çözümünde benzetimden yararlanılır. Bu tanımlamalara bağlı olarak çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılması ve bu problemler için çözüm yöntemleri Şekil 3.1. de verilmektedir.



Şekil 3.1. Çizelgeleme problemlerinin kapsama alanı (3)

Bu tezde, akis tipi çizelgeleme probleminin söz konusu olduğu bir sistem için en büyük tamamlanma zamanını en küçüklemek amacı ile işlerin en uygun sırasının belirlenmesi için genel amaçlı arama yöntemlerine dayalı algoritmalar geliştirilmiş ve bu algoritmaların performansı incelenmiştir. Sistemdeki işlem zamanları stokastik olduğundan dolayı geliştirilen algoritmalar ile elde edilen her alternatif sıra için performans ölçütünün tahmin edilmesinde benzetimden yararlanılmıştır. Bu nedenle bu bölümde benzetim ile eniyileme kavramı ile birlikte bu tezde benzetim ile eniyileme amacı ile kullanılacak olan genel amaçlı arama algoritmaları detaylı olarak incelenecektir. Ayrıca, literatürde çizelgeleme problemlerinin çözümü için genel

amaçlı arama algoritmaları ve benzetimin birlikte kullanıldığı çalışmaları içeren literatür araştırması bu bölümde verilecektir.

3.1. Benzetim ile Eniyileme

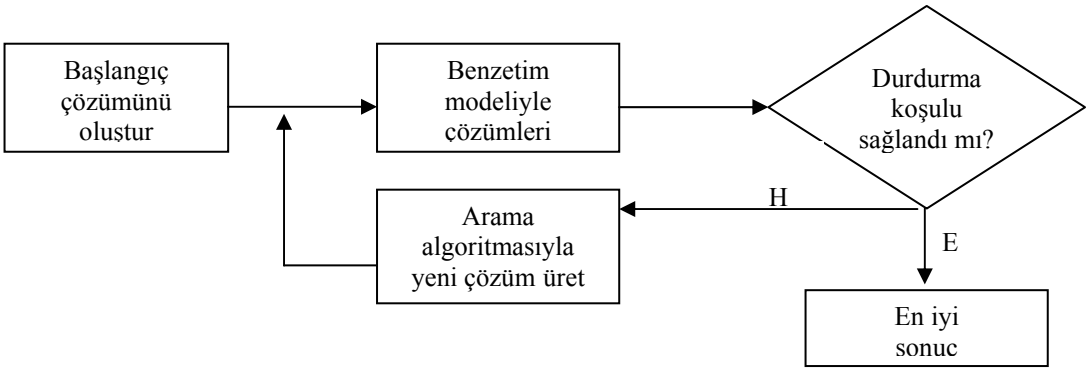
Gerçek hayatta karşılaşılan birçok sistem, genellikle büyük boyutlu, karmaşık ve birtakım belirsizlikler içermektedir. Bu tür sistemlerdeki problemlerin çözümü bilinen eniyileme metotlarıyla çok zor kimi zaman da imkansız olmaktadır. Bu tür sistemlerin analizi amacıyla çoğunlukla benzetim kullanılmaktadır. Benzetim modeli, bir girdi setine karşılık bir çıktı yada çıktı setinin elde edildiği girdi-çıktı modelidir. Benzetim modeli; sistemin davranışını, analizini, ilgilenilen performans ölçütlerinin tahminini, farklı sistem parametrelerinin sonuç üzerindeki etkisini gözleme imkanı veren bir araçtır.

Eniyileme, problemin karar değişkenlerinin mümkün tüm kombinasyonları arasından en iyi performansı (en iyi amaç fonksiyonu değerini) veren kombinasyonun bulunmasıdır. Bu amaçla literatürde birçok eniyileme algoritması önerilmiştir. Bu algoritmaların çoğu, sistemin modeli ve amaç fonksiyonu için matematiksel modellere ihtiyaç duymaktadır. Karmaşık sistemler için matematiksel modelin kurulması çoğu zaman zordur. Model kurulsa bile çözüm zamanı maliyeti çok yüksek olduğundan kullanılamamaktadır. Dolayısıyla, bu tür karmaşık sistemlerin eniyilenmesi amacıyla benzetim modelinin kullanılması kaçınılmaz olmaktadır.

Benzetim tek başına bir eniyileme tekniği olmayıp sadece karar değişkenlerinin bir kombinasyonu için tahmini değerlerin elde edilmesini sağlar. Dolayısıyla, çözüm uzayı büyüdükçe karar değişkenlerinin oluşturacağı tüm kombinasyonların benzetim ile denenmesi imkansızdır. Bu nedenle, benzetim modeli ve eniyileme algoritmalarının birlikte kullanıldığı benzetim eniyilemesi teknikleri günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (30).

Arama algoritmaları, algoritmanın yapısına uygun olarak seçilen bir başlangıç çözümünden yada çözümlerinden başlar ve farklı yapılar kullanarak yeni çözümlere

ulaşırlar. Bu çözümler amaç fonksiyonu (benzetim modeli) ile değerlendirilir. Bu akış belirli bir durdurma koşulu sağlanıncaya kadar devam eder ve bu koşula ulaşılınca eniyi / iyi çözüm bulunmuş olur. Şekil 3.2.'de benzetim eniyilemesi amacıyla kullanılan arama algoritmalarının çalışmasını açıklayan akış şeması görülmektedir.



Şekil 3.2. Benzetim eniyilemesi algoritmaları akış şeması (30)

Benzetim ile eniyileme metotları altı ana başlıkta toplanabilir. Bunlar; türeve dayalı arama algoritmaları, stokastik eniyileme, cevap yüzeyi metodolojisi, genel amaçlı arama algoritmaları ve istatistiksel yöntemlerdir. Şekil 3.3'de, Carson ve Maria'nın (1997) hazırlamış oldukları bu sınıflandırma gösterilmektedir (31).

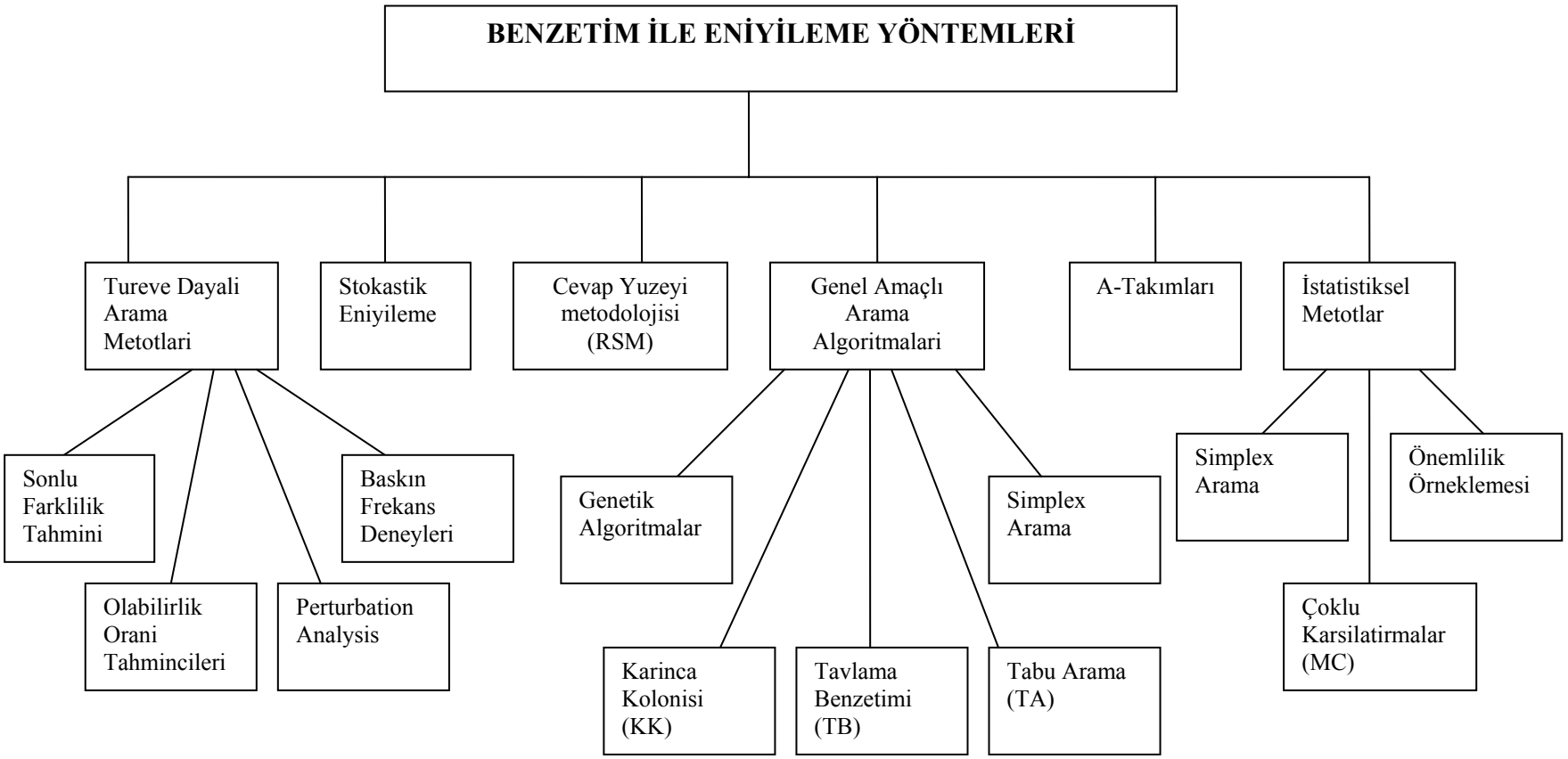
3.2. Benzetim Eniyilemesinde Kullanılan Genel Amaçlı Arama Algoritmaları

Bu tezde, sezgisel yöntemler sınıfında yer alan çoklu iniş algoritması (multiple descent algorithm), tavlama benzetimi (simulated annealing) ve tabu aramaya (tabu search) dayalı olarak dört farklı algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmalar hakkında genel bilgi enküçükleme problemi için bu bölümde verilmektedir.

3.2.1. Çoklu iniş algoritması (CIA)

Genel amaçlı arama algoritmaları sınıfında yer alan en basit algoritmalardan birisi iniş algoritmasıdır. İniş algoritması, keyfi olarak seçilen bir başlangıç çözümü ile

aramaya başlar ve bu çözüm mevcut çözüm olarak adlandırılır. Her iterasyonda, uygun bir hareket mekanizması ile mevcut çözümün bir komşusu üretilir ve amaç fonksiyonundaki değişim hesaplanır. Eğer amaç fonksiyonunda azalma söz konusu ise, komşu çözüm mevcut çözüm olarak kabul edilir, aksi halde mevcut çözüm değişmez. Bu süreç, mevcut çözümün hiçbir komşusu maliyette iyileştirmeyi sağlayamayana kadar devam eder ve algoritma sonlanır. Bulunan eniyi sezgisel çözüm problemin çözümü olarak dikkate alınır. Çoklu iniş algoritmasında ise belirli bir durdurma koşulu (örneğin aranacak çözüm sayısı) sağlanıncaya kadar rassal olarak seçilen başlangıç çözümleri için iniş algoritması kullanılır. Tüm arama boyunca elde edilen eniyi sezgisel çözüm problemin çözümü olarak dikkate alınır.



Şekil 3.3. Benzetim ile eniyileme yöntemlerinin sınıflandırması (31)

3.2.2. Tavlama benzetimi algoritması

TB algoritması, katıların belirli bir başlangıç sıcaklığından başlayarak yavaş yavaş soğutulduğu tavlanma sürecinin benzetimi olan stokastik bir arama algoritmasıdır. Kirkpatrick, Gerlatt ve Vecchi tarafından 1983, Cerny tarafından 1985 yılında ayrı ayrı ortaya atılmıştır. Son yıllarda birçok araştırmacı TB algoritmasını kombinatoryal eniyileme problemlerinde kullanmaktadır.

Tavlama terimi fiziksel olarak, ısı banyosundaki bir katının yüksek enerji durumlarından başlayarak daha düşük enerji durumlarının elde edilme sürecini temsil etmektedir. Bu süreç çok genel olarak iki işlemden oluşmaktadır:

- Isı banyosunun başlangıç sıcaklığının katının eriyebileceği bir değere kadar yükseltilmesi.
- Katılar düşük enerjili durumda, yani düşük sıcaklıkta daha kararlıdır. Yani katıların parçacıkları düşük sıcaklıklarda daha düzenlidir. Bundan dolayı katının parçacıkları kendini düzenleyene kadar ısı banyosunun sıcaklığının giderek azaltılması.

Katının sıvı durumunda tüm parçacıkları gelişi güzel hareket ederler. Katı durumda ise bir kafes şeklinde düzenlenirler. Bu durumda sistemin enerjisi en azdır ve bu duruma yer durumu denmektedir. Bir katının yer durumu, sıcaklık yeteri kadar yükseltilmiş ve soğutma da yeteri kadar yavaş yapılmışsa elde edilir. Aksi halde katının bulunduğu durum yarı kararlı bir durumdur (32).

Eniyileme problemleriyle TB arasındaki benzerlikler aşağıdaki gibi gösterilebilir:

- Katının farklı fiziksel durumları problemdeki mümkün çözümlere,
- Sistemin enerjisi amaç fonksiyonuna,

- Bir durumun enerjisi bir çözümün amaç fonksiyonu değerine,
- Yarı kararlı durum yerel eniyi çözüme,
- Yer durumu genel eniyi çözüme

karşılık gelir.

Katıların bu tavlanma sürecinde geçirdiği durumları benzetebilmek için Metropolis vd (1953) tarafından "Metropolis Algoritması" geliştirilmiştir. Algoritmada i durumunda bulunan katının enerjisi E_i iken, bir sonraki j durumuna geçen katının enerjisi E_j'dir. Eğer j durumundaki enerji i durumundaki enerjiden küçük veya eşitse, j durumu yeni mevcut çözüm olarak kabul edilir. Aksi takdirde j durumu 1 nolu formüle göre elde edilen olasılık değeri ile kabul edilir. Bu olasılık değeri "Metropolis Kriteri" olarak anılır. Burada kB fiziksel tavlama sürecinde "Boltzman Sabiti" olarak bilinen fiziksel bir sabiti ifade eder.

$$\exp\left[\frac{E_i - E_j}{k_B * T}\right]$$

[3.1]

TB algoritmasının amacı, tüm mümkün çözüm noktalarının bir alt kümesinde tanımlanmış bir amaç fonksiyonunu eniyileyecek bir çözümü bulmaktır. TB algoritması rassal olarak seçilen bir başlangıç çözümüyle aramaya başlar. Bundan sonra uygun bir mekanizma ile bu çözüme komşu bir çözüm seçilir ve amaç fonksiyonunda meydana gelen değişim hesaplanır. Eğer değişim istenilen yönde ise komşu çözüm mevcut çözüm olarak alınır. Eğer istenen yönde bir değişim sağlanmamışsa, TB algoritması bu çözümü "Metropolis Kriteri" ile elde edilen olasılık değeri ile kabul eder. Amaç fonksiyonunda ters yönde bir değişim yaratan bir çözümün belli olasılık değeri ile kabulu, TB algoritmasının yerel eniyi noktalardan kurtulmasını sağlamaktadır. Yukarıdaki olasılık değerine göre *T* değeri yüksek olduğunda amaç fonksiyonunda meydana gelen artışların çoğu kabul edilecektir. *T* değeri azaldıkça kabul edilme oranı da azalacaktır. Bu nedenle TB algoritmasında

yerel noktalara takılmamak için başlangıç sıcaklık değeri yüksek seçilerek yavaş yavaş azaltma yoluna gidilmektedir.

Bir problemin çözümünde TB algoritmasının kullanılması için verilmesi gereken kararlar vardır. Bu kararlar, probleme özgü seçimler ve tavlama (veya soğutma) planına ait seçimler olmak üzere iki ayrı sınıf altında incelenebilir. Probleme özgü seçimlerde, bir çözümün komşu yapısı, hareket mekanizması, çözümlerin amaç fonksiyonu değerlerinin belirlenme yöntemi ile başlangıç çözümünün üretilmesi hakkındaki kararları içermektedir. TB algoritmasında kullanılan parametrelerin ve değerlerinin belirlenmesi tavlama veya soğutma planı olarak tanımlanmaktadır. Tavlama planı ile sıcaklık parametresinin başlangıç ve bitiş değeri, sıcaklığı azaltma fonksiyonu ve her sıcaklıkta incelenmesi gereken çözüm sayısı gibi parametre değerleri hakkında kararları içerir.

3.2.3. Tabu arama algoritması

TA algoritması, kombinatoryal eniyileme problemlerini çözmek üzere geliştirilmiş ve tesis yerleşimi, çizelgeleme, ulaştırma, parti büyüklüğü gibi birçok kombinatoryal eniyileme problemlerine başarıyla uygulanmıştır (32). TA algoritmasının bugünkü şekli, Glover tarafından 1989 yılında ortaya konulmuştur (Banks ve diğerleri, 2001). TA algoritması, bir başlangıç çözümü ile aramaya başlar. Algoritmanın her iterasyonunda tabu olmayan bir hareket ile mevcut çözümün komşuları içerisinden bir tanesi seçilerek değerlendirilir. Eğer amaç fonksiyonunun değerinde bir iyileştirme sağlanmışsa komşu çözüm, mevcut çözüm olarak dikkate alınır. Seçilen bir hareket tabu olmasına rağmen tabu yıkma kriterlerini sağlıyorsa, mevcut çözümü oluşturmak için uygulanabilir. Geriye dönüşleri önlemek için, bir takım hareketler tabu listesine kaydedilerek tekrar yapılması belirli bir süre için yasaklanır. Belirlenen bir durdurma koşuluna göre algoritmanın çalışması sonlanmaktadır. TA algoritmasının en temel elemanları ve bunların işleyiş şekli aşağıda sırasıyla verilmektedir.

Başlangıç Çözümünün Oluşturulması: En genel şekilde başlangıç çözümü rassal olarak elde edilir. Ancak, ilgilenilen problem için geliştirilmiş olan bir sezgisel algoritmadan yaralanarak da başlangıç çözümünün elde edilmesi mümkündür.

Hareket Mekanizması: Mevcut bir çözümde yapılan bir değişiklikle yeni çözümün elde edilmesi hareket mekanizmasıyla gerçekleştirilir. Hareket mekanizmasındaki olası hareketler, mevcut çözümün komşularını oluşturur. Hareket mekanizması algoritmanın etkinliği açısından önemli olduğu için problemin yapısına bağlı olarak uygun bir şekilde seçilmelidir.

Aday Liste Stratejileri: TA algoritması yapılması mümkün olan, tabu olmayan ve amaç fonksiyonunun değeri açısından eniyi sonucu veren hareketlerin seçilmesi kuralına dayalı olarak çalışır. Aday liste stratejileri mümkün hareket listeleridir. Bu listelerden hareketler belirli stratejilere göre seçilir.

Hafıza: TA algoritmasının temel elemanlarından birisi de hafızadır. Arama boyunca ortaya çıkan durumlar, H hafızasına kaydedilir. Bu hafıza kısa dönemli hafıza olarak adlandırılır. Yapılmasına izin verilmeyen hareketler "tabu" olarak adlandırılır ve esnek hafıza içinde "tabu listesi" adı altında kaydedilirler. Bu hareketler belli bir süre sonra tabu listesinden çıkarılır ve yapılmasına izin verilir.

Tabu Yıkma Kriterleri: Tabu yıkma kriterleri, tabunun ortadan kalkabileceği durumları ifade etmektedir. En genel tabu yıkma kriteri, mevcut durumdan daha iyi bir sonuç verecek tabu hareketinin yapılmasına izin verilmesidir. Bu kriterin kullanılması TA algoritmasının etkinliğini artırmaktadır. Ayrıca, eğer tüm mümkün hareketler tabu ise bu hareketlerden tabu süresinin bitmesine en yakın olan bir tabu hareketine izin verilir.

Durdurma Koşulu: TA algoritması, bir veya birden fazla durdurma koşulunu sağlayıncaya kadar aramasını sürdürmektedir. Bu koşullardan bazıları aşağıda verilmiştir.

- Seçilen bir komşu çözümün komşusunun olmaması
- Belirli bir iterasyon sayısına ulaşılması
- Belirli bir çözüm değerine ulaşılması
- Algoritmanın bir yerde tıkanması ve daha iyi sonuç üretememesi (Alabaş, 1999)

3.3. Literatür Araştırması

Finke ve Traband (2002), metal saç üretimi yapan bir fabrikada yaptıkları çalışmada, amaç olarak gecikmeyi enküçükleyecek indirecek çizelgenin bulunmasını amaç olarak seçmişlerdir. Çalışmanın yapıldığı fabrikada makinelerin gruplar halinde düzenlenmiş ve gruplar arasında tek yönlü bir akışın olduğu belirtilmektedir. Paralel makinelerin yeraldığı akış tipi çizelgeme üzerine yoğunlaşılmıştır. Bu çalışmada, işlem süreleri ve makine atamaları deterministik olarak en baştan bilinmektedir. Önceki yapılan çalışmalar incelendiğinde tabu arama algoritmasının gecikme problemlerinde daha iyi sonuç verdiği tespit edilerek, çözümler tabu arama algoritmasında yaratılıp benzetim ile değerlendirilmiştir. Yaratılan her sıra için gecikme cezasının hesaplanması gerekmektedir. Tabu arama küçük ve büyük boyutlu problemler için test edilmiş, bu deneylerin değerlendirilmesinde doğrusal programlama (DP) kullanılmıştır. Son olarak tabu arama çözümlerinin benzetim sistemine dönüştürülmesinin etkisi ve benzetimin değerlendirme sistemi olarak kullanılması test edilmiştir. Tabu arama sonuçları, basit dağıtım kuralları ile karşılaştırıldığında, tabu arama daha iyi sonuç vermiştir. Çalışmada, basit dağıtım kuralları (en erken teslim süresi) tabu aramanın başlangıç çözümünün tespit edilmesinde iyi bir tercih olabileceği belirtilmektedir. Büyük boyutlu, en iyi çözümün bulunamadığı problemlerde, tabu arama ile basit dağıtım kurallarından en

erken teslim süresi karşılaştırılmış ve tabu aramanın daha iyi çözüm verdiği gözlenmiştir. Tabu arama ve benzetimin birlikte kullanılması ile daha gerçekci kısıtların dikkate alınabildiği belirtilmiş ve bu örnekte sınırlı ara stok kapasitesi dikkate alınarak problem incelenmiştir (33).

Wang ve Zheng (2003), stokastik akış tipi çizelgeleme problemi için genetik algoritmaya dayalı sezgisel bir yaklaşım geliştirmişlerdir.Bulunan her çözümün değerlendirilmesinde benzetim modelinden yararlanmışlardır. Çalışmada 29 problem çözülerek, geliştirilen algoritmanın etkinliğini basit genetik algoritma ile araştırmışlardır. Amaç fonksiyonu olarak en büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi dikkate alınmış ve geliştirilen algoritmanın basit genetik algoritmaya göre daha etkin olduğu gösterilmiştir (34).

Yang ve arkadaşları (2004), çok işlemli akış tipi çizelgeleme probleminin, tabu arama algoritması ve benzetim ile eniyilemesi yaklaşımı üzerinde durmuşlardır. Bu yaklaşımlarını kompleks bir imalat sistemi problemi üzerinde denemişler. 15 prosese sahip seramik kapasitör üretimini ele almışlardır. Her proseste birden çok makinede vardır. Bu çalışmada, tabu arama algoritmasının başlangıç çözümünün seçimi için basit dağıtım kuralı olan en erken teslim (EDD) algoritması seçilmiş. Komşuluk yapısı olarak yer değiştirme yaklaşımı ve her tabu arama hareketinin performansının değerlendirilmesi için ise eM-Plant adlı benzetim programı kullanılmıştır. Çalışmada 5 farklı senaryo değerlendirilmiştir. Her senaryoyu basit dağıtım kuralı olan en erken teslim, çiftli yer değiştirme sezgisel algoritması ve geliştirilen tabu arama algoritması ile çözülmüştür. Çalışma sonunda, tabu arama algoritmasının daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir (35).

Allaoui ve Artiba (2004), yapılan çalışmalarda makinelerin sürekli kullanılabilir olarak dikkate alındığını ancak mevcut koşullarda makinelerin bozulabildiğini, bakım veya temizlik yapılması gerektiğini belirtmektedirler ve yaptıkları çalışmada karma akış tipi çizelgeleme probleminin çözümünde bakım kısıtlarını dikkate almışlardır. Problemin çözümünde teslim süresi ve akış süresine bağlı olarak bir çok amacı eniyilemeyi amaçlamışlardır.Çalışmalarında benzetim ile eniyileme

algoritması olarak tavlama benzetimini ele almışlar. Benzetim programı için ise RAO'yu tercih etmişlerdir. Basit dağıtım kurallarından yararlanarak başlangıç çözümünü elde etmişlerdir. Tavlama benzetimi ile entegre olarak en kısa işlem süresi, en uzun işlem süresi, en erken teslim süresi dağıtım modellerini kullanmışlar. Tahmini amaç fonksiyon değerini benzetim ile elde etmişlerdir. Bunun ile birlikte tamir süresini yüzdesel olarak almışlardır ve 3 ayrı değer içinde benzetim değerlerini elde etmişlerdir. Bunun dışında NEH sezgiselleri ile problemi çözmüşlerdir. Sonuçta; teslim süreli tavlama benzetim algoritmasında tamir süresi yüzdesinden etkilenmekte olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun yanında, NEH algoritmasının iyi sonuç vermediği gözlenmiştir (36).

Wang ve arkadaşları (2005), stokastik akış tipi çizelgeleme için genetik algoritmalara dayalı, amaç fonksiyon değerlerinin tam doğru tahmin edilmemesinden dolayı NP-zor problemleri etkili şekilde çözülmesi zor olduğundan, sıralı karşılaştırmaya dayalı bir yaklaşım kullanmışlardır. Algoritmanın etkinliğinin araştırılmasında toplam 29 problem dikkate alınmış ve geliştirilen genetik algoritma, basit genetik algoritma ile karşılaştırılmıştır. Seçilen problemlerde amaç en büyük tamamlanma zamanını en küçükleyen sıranın bulunmasıdır. Yapılan çalışmada geliştirilen genetik algoritmanın basit genetik algoritmaya göre daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir (37).

Wang ve arkadaşları (2005), stokastik işlem süreli akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için hipotez testine dayalı bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. İstatistikte etkili bir metot olan hipotez testini akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde genetik algoritma ile birlikte kullanmışlardır. Geliştirilen çözüm yaklaşımını, benzetimle amaç fonksiyon değerini tahmin yaparak geleneksel genetik algoritma ile karşılaştırmışlardır. Bu uygulamayı iş ve makine sayılarının değişkenliğine bağlı olarak 29 farklı problemde denemişlerdir. Amaç fonksiyon olarak ise en büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi seçilmiş. Sonuçta, geliştirmiş oldukları hipotez testi tabanlı genetik algoritmanın daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir (38).

4. MAN TÜRKIYE A.Ş. KABLO DEMETLERİ ÜRETİM BÖLÜMÜNDE BİR UYGULAMA

Bu tezde, MAN Türkiye A.Ş Kablo Demetleri Üretim Bölümü'nde yer alan Uçlama Atölyesinde işlerin en büyük tamamlanma zamanını en küçüklemesi amacı ile işlerin en uygun sırasının belirlenmesi için çözüm algoritmaları geliştirilmiştir. İşlem zamanları stokastik olduğundan dolayı geliştirilen algoritmalarda üretilen her yeni çözümün değerlendirilmesinde benzetimden yararlanılmıştır. Bu bölümde MAN Türkiye A.Ş Kablo Demetleri Üretim Bölümü hakkında genel bilgi verildikten sonra, Uçlama Atelyesi için geliştirilen benzetim modeli ve geliştirilen algoritmalar incelenecektir.

4.1. Sistem Hakkında Genel Bilgi

MAN Türkiye A.Ş, Ankara Esenboğa Havalimanı yolu üzerinde kurulmuş MAN Nutzfharzeuge'e bağlı 7 fabrikadan bir tanesidir. Diğer fabrikalar Almanya, Avusturya, Polonya, İran ve Çinde bulunmaktadır. 15 farklı modelde otobüs ve 6 farklı modelde kamyon üretimi yapmaktadır. Otobüs ve kamyon üretiminde kullanılan elektrik sistemlerinin araç üzerindeki işlevi çok önemlidir. Araçlarda elektriğe gereksinim duyan her cihazın çalışabilmesi için elektriğin bu cihazlara beslemesini yapacak kablo demetleri gerekmektedir. Bu elektrik sistemleri üretim içerisinde tesisat olarak adlandırılmaktadır. Araçlarda, klima, far, hopörlör, aydınlatma, motor, kapı vb. gibi elektrik aksamı gerektiren bölümlerin her biri için ayrı tesisat bulunmaktadır. Bu tesisatların üretildiği fabrika yönetimsel olarak MAN Türkiye A.Ş 'ye bağlı bir bölüm olarak çalışmaktadır.

Araçlar üzerinde kullanılan bu tesisatlar araç modellerine göre farklılık göstermektedir. Bunun yanında bir araç üzerinde bulunan tesisat sayısı araç modeline ve aracın özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Her araç tipinde en az 40 farklı tesisat kullanılmaktadır. Bütün araçlarda ise yaklaşık olarak toplam 1300 adet farklı tesisat kullanılmaktadır.

Kablo demetlerinin (tesisat) üretildiği bu bölüm MAN Nutzfarzeuge'a ait 7 fabrikanın da isteklerine cevap vermektedir. Müşteriden araç sipariş alındığında üretime başlamadan önceki ilgili bölümler tarafından gerekli teknik çalışmalar yapılır. Bu çalışmalar sonucunda araçlar içerisinde kullanılacak olan tesisatlar tespit edilerek kablo demetleri lojistik planlama bölümüne iletilir. Lojistik planlama bölümü ise üretim programına alır.

4.1.1. Kablo demeti üretiminde kullanılan malzemeler

Bir tesisat temel olarak aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır:

- Benzer veya farklı renk, uzunluk ve numaralardaki kablolardan
- Her kablonun ucunda bulunan benzer veya farklı metal uç çeşitlerinden
- Metal uçların yerleştirildiği benzer veya farklı soketlerden
- Tesisatta kabloların bağlanmasında kullanılan klips,bant vb. bağlayıcılar
- Tesisatta gerekli yerlerde kablo ayrılmalarını sağlayan plastik ayraçlar

Her bir tesisat bu malzemelerin bir kısmının veya hepsinin bir araya gelmesinden oluşur. Tesisatlar arasındaki fark boy, ayrım sayısı, ayrım yerleri, kullanılan malzeme çeşidi, malzeme sayısı vb. kriterlerdeki değişkenliklerden kaynaklanır.

4.1.2. Kablo demeti üretim süreci

Kablo demetlerinin üretiminde 6 süreç bulunmaktadır. Bunlar kesim-baskı, spral kesme, hat hazırlama, uçlama, soketleme ve kontroldür. Bu süreçler esnasında her tesisata ait teknik resimler kullanılmaktadır. Bu süreçler bu bölümde kısaca tanımlanmaktadır.

1) Kesim ve baskı: Bu bölüm kabloların kesilip, üzerlerine numaraların basıldığı yerdir. Bu proseste her tesisatın kendine ait teknik resimde belirtilen kalınlık ve renkteki kablolar gereken ebatlarda bilgisayar destekli Leibinger makinasında kesilir

ve aynı esnada üzerine teknik resimde belirtilen numaralar basılır. Kesilen kablolar klips ile bağlanarak bir sonraki geçene kadar askıda bekler.

2) Spiral kesme: Bu süreç, kablo kesim ve baskı ile eş zamanlı başlayabilen bir süreçtir. Bu bölümde kabloların içlerine gireceği koruyucu kalın, sert ve esneyebilen boru şeklinde plastik malzeme kesilmektedir. Bu kesim işlemi bir makinada bir operatör tarafından yapılmaktadır. Bu malzeme araç içerisinde ısıdan etkilenebilecek bölgelerdeki kablo demetleri için kullanılır. Örneğin aracın tabanında veya motor bölgesine yakın bulunan kablo demetlerinde kullanılır.

3) Hat hazırlama: Bu iş istasyonunda, kesim-baskı bölümünde kesilen ve markalanan kablolar, spral kesme bölümünde kesillmiş olan spraller ve ayrımların yapılması için kullanılan malzemelerin bağlayıcılar ile birleştirildiği bölümdür. Kesim-baskı bölümünde kesilen kablolar tezgah üzerine serilir ve teknik resimde gösterildiği gibi kullanılacak olan spiraller kablo demeti üzerinden geçirilir. Aynı şekilde teknik resimde oluşturulmuş şablona göre belirtilen yerlere ayrımların yapılmasını sağlayan malzemeler (çatal vb.) eklenir. Son olarak klips ve diğer bağlayıcılar ile kablo demeti bu istasyondaki son şeklini alır. Bu aynı zamanda kablo demetinin kaba şeklidir.

4) Uçlama: Hat hazırlamada işlemi tamamlanan kablo demetleri bu bölüme getirilir. Hat hazırlama işlemi sonunda kullanılan kablo sayısının iki katı kadar uç açıktadır. Uçlama istasyonunda, bu açıkta kalan uçların tamamı veya bir kısmına metal uçların monte edilmesi gerekmektedir. Ancak burada elektriksel açıdan her kablonun taşıyacağı yüklerde değişiklik olabileceğinden dolayı her kablo ucuna aynı metal uç kullanılmayabilmektedir. Kesim baskı bölümünde kabloların üzerine bu nedenden dolayı numaralar basılmaktadır. Teknik resim üzerinde, hangi numaralı kabloya hangi ucun kullanılacağı gösterilmektedir. Yaklaşık olarak toplam 150 çeşit kullanılabilecek uç bulunmaktadır. Bu nedenle her tesisatta bir veya birden fazla çeşitte ve çok sayıda uç bulunmaktadır. Metal uçların kablo uçlarına basılması işlemi ise operatörler tarafından manuel olarak makinalarda yapılmaktadır. Bu bölümde toplam 37 adet makina bulunmaktadır. Her makina üzerinde bir anda sadece bir uç

tipi kullanılabilir. Başka bir tip uç kullanılmak istendiğinde makina üzerine o uca ait kalıbın takılması gerekmektedir.

5) Soketleme: Uçlama bölümünde işlemi tamamlanan tesisatlar bu bölüme gelir. Soketleme bölümünde de, uçlama bölümünde olduğu gibi işçi teknik resimden hangi soketlerin kulanacağını tespit eder. Soketler üzerinde uçların girebileceği hazneler bulunmaktadır. Bu hazneler üzerinde hazneye ait numara bulunmaktadır Teknik resim üzerinde aynı zamanda hangi numaralı kablonun hangi soketin, hangi haznesine sokulacağı gösterilmektedir. Çalışan bu bilgilere göre metal uçlu kablo uçlarını bu haznelere sokar. Son olarak her sokete giden kablo demeti kısmına üzerine pozisyon numaraları yazılmış plastik şiltler takılır. Bu plastik şiltlerin amacı, kablo demetlerinin araca montajında, kablo demetinin araç üzerinde nereye takılacağını göstermektedir. Bu işlem sonunda kablo demeti üretimi genel anlamda tamamlanmıştır.

6) Kontrol: Tesisatların kullanılabilir onayının verildiği, fabrika içerisindeki uğradıkları son istasyondur. Üretilen kablo demetlerinin kontrolü çok önemlidir. Araç üzerindeki elektriksel devreyi oluşturduğundan dolayı, en ufak bir hata aracın yanmasına bile yol açabilmektedir. Bu nedenle önceki istasyonlarda yapılan işlemlerin doğruluğu çok önemlidir. Bu nedenle bu bölümde her kablonun uçlarının doğru yerden çıkıp doğru yere gidip gitmediği kontrol edilmektedir. Yani burada yapılan kontrol % 100 kontroldür. Ebat olarak büyük, uç sayısı fazla olan tesisatların kontrolü zaman kazanmak amacıyla makinalarda yapılmaktadır. Ancak diğer tesisatlar iki operatör tarafından el ile kontrol edilmektedir. Aynı zamanda bu tesisatlarda kullanılan malzemelerin doğru olup olmadığı, doğru ebat ve sayılarda kullanılıp kullanılmadığı tesisatlara ait parça listelerinden kontrol edilir.

4.1.3. Sistemde görülen temel sorun

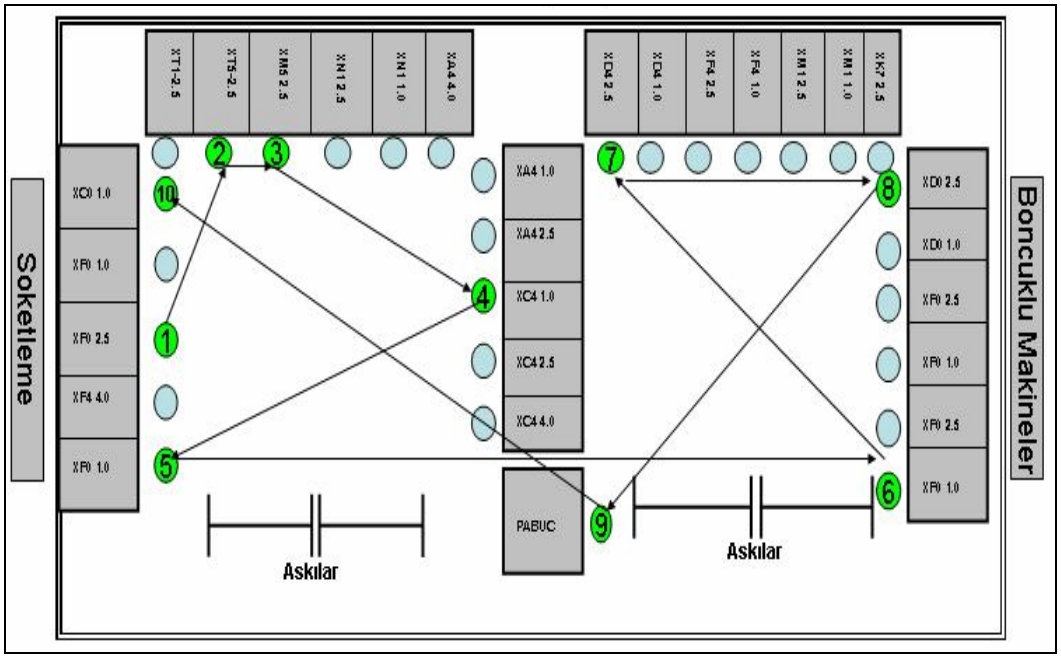
Fabrikanın en önemli darboğaz noktası Uçlama Atölyesi olarak tespit edilmiş ve bunun başlıca nedenleri yanlış makine yerleşimi ve yanlış çalışma sistemi olarak görülmüştür. Bu nedenlerden dolayı, hat hazırlama istasyonundan gelen tesisatlar

zamanında bitirilemediği ve soketleme bölümünüde yavaşlattığı gözlenmiştir. Dolayısıyla iki bölümün özelliklede uçlama bölümünün verimliliği oldukça düşük olarak hesaplanmıştır. Eski yerleşim planı ve çalışma sistemi Şekil 4.1.'de görülmektedir. Eski makine yerleşimi ve çalışma sisteminden kaynaklanan sorunlar şunlardır:

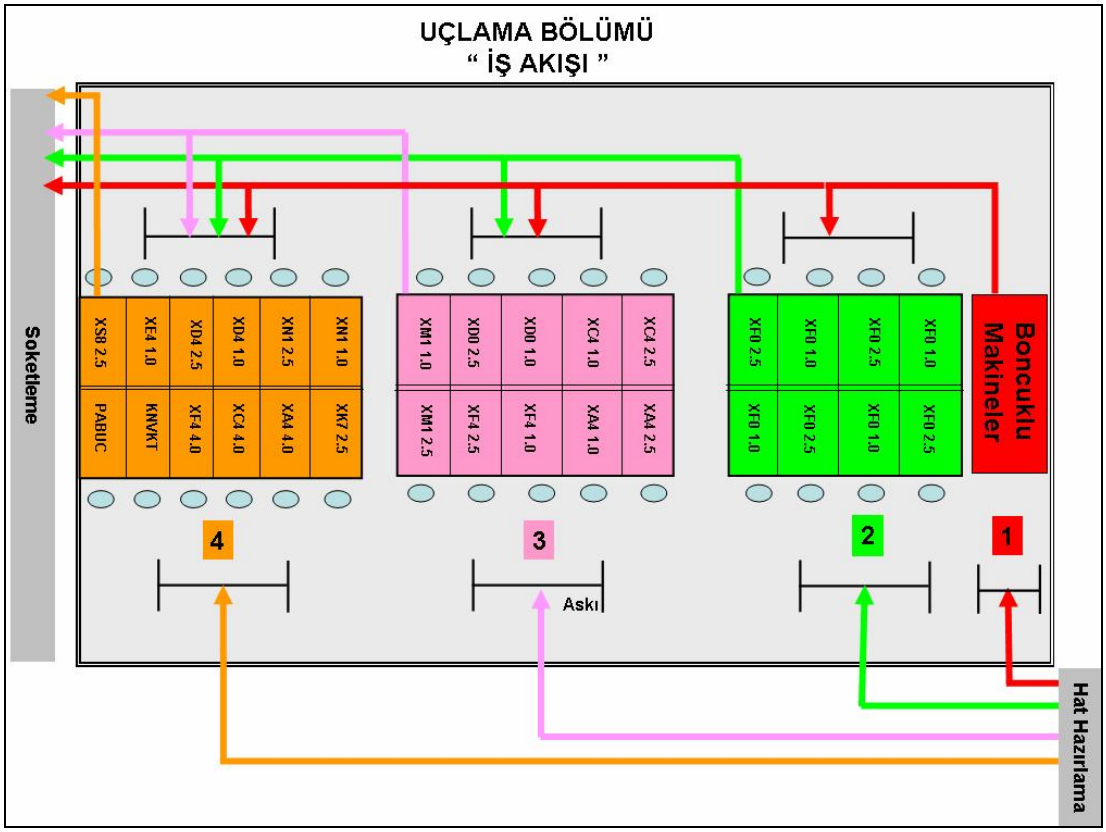
- Bir tesisatta bir veya birden fazla farklı uç tipi kullanılması gerekmektedir. Bir tesisatta kullanılacak uç tiplerinin miktarları tesisattaki kablo sayısına bağlıdır. Bütün tesisatlarda kullanılan toplam uç tipi sayısı yaklaşık olarak 150 tanedir. Tesisatlarda kullanılan uç tipi ve adeti arasında farklılıklar ve benzerlikler bulunabilir. Uçlama bölümündeki makina parkurunda ise 39 makine bulunmaktadır. Bu bölümde çalışan kişi sayısı ise 10'dur. Bu makine parkurundaki her makine aynı işlevi görmektedir ancak bir anda sadece bir uç tipini basabilmektedir. Başka bir uç tipinin aynı makinede kullanılabilmesi için o uç tipine ait kalıp kullanılmalıdır. Yani başka bir uç tipinin kullanılması için o uç tipine ait kalıbın makineye takılması gerekmektedir. Makine ve kalıp arasında bire-bir ilişki bulunmaktadır.
- Bu makine parkurundaki çalışan kişi sayısı ve makine sayısı birbirinden farklı olduğundan işçi bir tesisatı alıp makine parkurunda ilgili makineleri dolaşarak tesisatı tamamlamaktadır. Çalışan kişi bir kablo demetinde yer alan uçları tespit ettikten sonra hangi makinede uçlama işlemine başlayacağını kendi tespit etmekteydi. Yani izlemiş olduğu sabit bir rota olmadığından dolayı, makineler arası dolaşım süresi çok fazla olmaktaydı.

- Uçlama bölümünün mevcut makine yerleşiminin belirli bir sayısal tekniğe göre yapılmamış olduğundan birlikte çok sık kullanılan makinelerin birbirlerinden uzak olması dolaşım süresi artırmaktaydı.

Bu nedenle bir çalışma yapılarak yeni makine yerleşimi ve çalışma sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan ve halen geçerli yerleşim planı ve çalışma sistemi Şekil 4.2.'de verilmektedir.



Şekil 4.1. Eski Yerleşim Planı



Şekil 4.2. Mevcut Yerleşim Planı

Mevcut çalışma sisteminde makineler 4 gruba ayrılmıştır. 1.grupta makineler ucun özelliğinden dolayı farklı tip makinelerden oluşmaktadır ve üzerindeki mevcut uç tipleri dışında başka bir uçlama işlemi yapılamamaktadır. Bu grupta 11 makine bulunmaktadır ve 2 kişi çalışmaktadır. Bu gruptaki makinelerde 11 farklı uç tipi kullanılmaktadır. 2.grupta ise 8 adet makine bulunmaktadır ve 4 kişi çalışmaktadır. Bu grupta kullanılan 2 farklı uç tipi kullanılmakta ve her uç tipine ait 4'er makine vardır. 3. grupta ise 10 adet makine bulunmaktadır. 10 farklı uç tipi bu makinelerde işlenebilmektedir. Bu bölümde ise 2 kişi çalışmaktadır. Son grupta ise 10 adet makine bulunmakta ancak burada kullanılan uç tipleri önceki gruplarda olduğu gibi sabit değildir. Bu bölüm sadece uç değiştirme dolayısıyla kalıp değiştirilme işleminin yapıldığı bölümdür. Bu gruptada 2 kişi çalışmaktadır.

Her gruba bir renk ve numara verilmiştir. Grupların rengi kırmızı, yeşil, pembe ve turuncudur. Her uçlanacak kablo demetine de, uçlama işlemine başlayacağı grubun rengi verilmiştir. Dolayısıyla bir işin rengi ne ise o renk gruptan uçlanmaya başlanacak anlamına gelir ve önceki gruplara kesinlikle uğramayacaktır.

Yapılan çalışmalar sonrasında, yukarıda bahsedilen sorunların büyük bir oranda ortadan kalktığı ve verimlilikte gözle görülür bir iyileşme olduğu gözlenmiştir. Ancak bu seferde kablo demetlerinin istasyonda işlenmek için sıralanması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

- Tesisat içerisinde bulunan uç tiplerinin hepsinin bir anda makine üzerinde bulunamamasından dolayı makine üzerlerindeki kalıplar gereken uç tipine göre değiştirilmektedir. Bundan dolayı kalıp değişim süresi boyunca iş ve işçi beklemek zorunda kalmaktadırlar. Buna bağlı olarak aynı zamanda bir uç tipine ait kalıp gün içerisinde bir kaç kez makineye takılıp-çıkarılmaktadır. Tüm uç tipleri için düşünüldüğünde ortaya çıkan kayıp süre yok sayılmayacak kadar büyüktür.

- Makine başlarında aynı uç tipini bekleme süresi ortaya çıkmaktadır çünkü işlerin kişilere dağıtımında belirli bir çizelgeleme yöntemi kullanılmamaktadır. Bu nedenden dolayı ortaya çıkan toplam bekleme süresi ciddi bir zaman kaybıdır.

- Çizelgeleme sisteminin kullanılmamasına bağlı olarak, uç tiplerinin kullanım miktarları dikkate alındığında, bazı uç tipleri birden fazla makinede bulunması gerekmektedir. Bazı uç tipleri gereken miktardan az sayıda makinede bulunduğundan o uç tipine olan talebi karşılamamakta ve işlerin beklemesine neden olmaktadır.

Sonuç olarak, işlerin tamamlanma zamanı olası gerekenden çok daha fazladır. Bu nedenle, bu tezde bir araca ait kablo demetlerinin Uçlama Atölyesindeki en büyük tamamlanma zamanını en küçüklemek için en uygun kablo demeti sırası belirlenmeye çalışılmıştır.

Tesisatlardaki işlem zamanı stokastik ve atölyede 10 işçi çalıştığından dolayı verilen bir iş sırası için maksimum tamamlanma zamanını tahmin edilmesinde benzetimden yararlanılmıştır. Bu nedenle, uçlama atölyesinin benzetim modeli oluşturulmuştur.

4.2. Uçlama Atölyesi için Benzetim Modeli

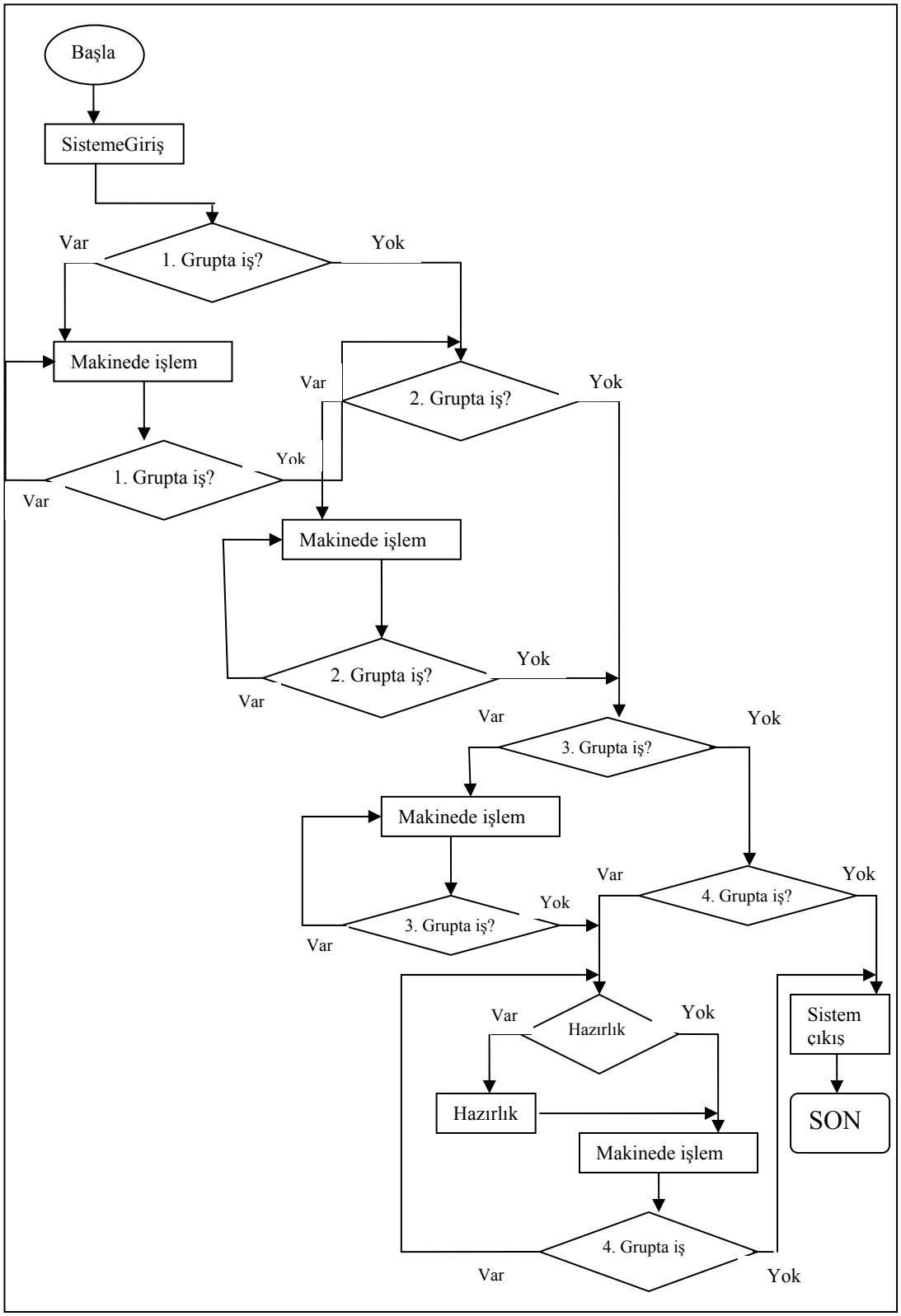
Atölyedeki tesisatlar için akış şeması Şekil 4.3. de verilmektedir. Bir araç için hat hazırlama istasyonundan gelen tesisatlar ihtiyaçlarına göre uçlama atelyesindeki 1, 2, 3 ve 4 nolu makine gruplarındaki makinelerde sırası ile işlem görmektedir. Sekil 4.3 de görüldüğü gibi sıradaki bir tesisatın öncelikle 1. gruptaki makinalarda bir işlemi olup olmadığı sorgulanmaktadır. Eğer bir işlem gerektiriyorsa ve grupta boş işçi varsa hemen işlemi gerçekleştirilerek bir sonraki makine grubuna gönderilmekte aksi halde bir işçi boş oluncaya kadar bu grup için kuyrukta beklemektedir. Eğer tesisatın 1. gruptaki makinelerde işlenmesi gerekmiyorsa direkt olarak ikinci istasyona gönderilmektedir. Tesisatın ihtiyacı olan işlemlere göre dört gruptaki makinelerde işlem gördükten sonra işlemi tamamlanmaktadır. Tanımlanan süreç sıradaki tüm tesisatlar için tekrarlanmaktadır. Son tesisatta tüm makine gruplarında ihtiyaca göre

işlem gördükten sonra bir aracın tesisatları için uçlama işlemi tamamlanmış olmakta ve bir sonraki istasyon olan soketleme atelyesine gönderilmektedir. Sistemin benzetim modeli Sekil 4.3. de verilen akış şeması dikkate alınarak oluşturulmuştur. Benzetim modelinin elde edilmesinde ARENA 6.0 kullanılmıştır. Modelde kullanılan varsayımlar:

1) Bir araç için tüm tesisatlar başlangıç anında (t = 0) işlenmeye hazır durumdadır.
2) Bütün işçiler ve makineler başlangıç anında (t = 0) boş ve çalışır durumdadır.
3) İşçilerden ve makinelerden kaynaklanan duraksama yoktur.
4) Hatalı üretim dikkate alınmamıştır.

Benzetim modelinde kullanılan nesneler, kaynaklar ve girdiler ile birlikte modelin doğruluğunun ve geçerliğinin araştırılması aşağıda açıklanmaktadır.

Nesneler ve Özellikleri : Hat hazırlama istasyonunda işlemi tamamlanmış olan tesisatlar nesnelerdir. Tesisatların uğrayacağı makineler ve her makinede yapılacak uçlama sayısı nesnenin özellikleri olarak dikkate alınmıştır.



Sekil 4.3. Tesisatlar için Akış Şeması

Kaynaklar: Atelyedeki her bir grupta bulunan

Makine sayısı (1.grup = 11 makine, 2.grup = 8, 3.grup = 10, 4.grup=10)

İşçi sayısı (1.grup = 2 işçi, 2.grup = 4, 3.grup = 2, 4.grup = 2).

Girdiler: Bir tesisatın bir uçlama işi için işlem süresi, gruplar arası taşıma süresi, kalıp değiştirme süresidir. Bu süreler için sistemden veriler toplanmış ve ARENA 6.0 Input Analyser programı ile girdi analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda bir tesisatin uçlama işi için işlem süresi üçgen dağılıma uygun olarak (6,8,10) sn ve gruplar arası taşıma suresi düzgün dağılıma uygun olarak (18,20) sn olarak bulunmuştur. Kalıp değiştirme süresi ise sabit olup 5 dakikadır. Kuyruk disiplini olarak FIFO kuyruk disiplini kullanılmıştır.

Performans ölçütü: Bir araç için tüm tesisatın en büyük tamamlanma zamanı (C_{max}) performans ölçütü olarak dikkate alınmıştır. Bu performans ölçütünün yanı sıra, makine kullanım oranı, kuyruk uzunluğu, bekleme süreleri, sistemde geçirilen süre, işçi doluluk oranı da incelenmiştir.

Modelin doğruluğu ve geçerliliğinin araştırılması: Modelin doğruluğunun araştırılmasında ARENA 6.0 programında TRACE, WATCH, BREAK komutları kullanılarak nesnelerin özelliklerine bağlı olarak Sekil 4.3. de verilen akış şemasına uygun olarak sistemden geçip geçmediği kontrol edilmiştir. Bu çalışma sonucunda modelin doğru çalıştığı görülmüştür. Modelin geçerliliğinin araştırılmasında ise yüz-yüze geçerlilikten yararlanılmıştır. Fabrikada çalışan yetkililerle yapılmış olan görüşmeler doğrultusunda modelin geçerli olduğu görülmüştür.

Bu tezde amacımız bir araç için tesisatların uçlama atelyesinde harcadığı maksimum tamamlanma zamanını (C_{max}) en küçüklemektir. Sekil 4.3.'deki akış şemasına, 1. varsayıma ve girdilere dayalı olarak sistemde statik-stokastik akış tipi çizelgeleme problemi soz konusu olduğu gorülmektedir. Bu nedenle dikkate alınan performans ölçütünü eniyileyecek iş sırasının belirlenmesi amacı ile benzetim modeli ile genel amaçlı arama algoritmaları etkileşimli olarak kullanılmıstır. Geliştirilen algoritmalar bir sonraki bölümde anlatılmaktadır.

4.3. Genel Amaçlı Arama Algoritmaları ile Eniyi İş Sırasının Bulunması

Genel amaçlı arama algoritmalarının stokastik-statik akış tipi çizelgeleme problemi için en uygun iş sırasının bulunmasına uygulaması ve parametrelerinin belirlenmesi ile ilgili detaylı bilgi bu bölümde verilecektir. Bu açıklamalardan önce algoritmalarda kullanılan parametreler aşağıda tanımlanmaktadır.

T : Fiziksel tavlamadaki sıcaklığa karşılık gelen kontrol parametresi

$f(x)$: Amaç fonksiyonu

$f(x_{eniyi})$: Eniyi çözüm için en büyük tamamlanma zamanı

x_{eniyi} : Eniyi çözüm için is sırası

x_0 : Başlangıç çözümü

x_y : Kabul edilen yeni çözüm

T_0 : Başlangıç sıcaklığı

T_s : Bitiş sıcaklığı

Δ : Farklı noktalar için hesaplanan amaç fonksiyonu değerlerinin farkı

x_a : x_y'ye komşu olan aday çözüm

r : Sıcaklık azaltma katsayısı

KS : Bir iterasyonda aranan çözüm sayısı

TK : Aranan çözüm sayısı ile ilgili sayaç

k : Her sıcaklık değerinde aranan çözüm sayısı

k_s : Her sıcaklık değerinde aranacak toplam çözüm sayısı

m : İterasyon sayacı

x_k : Komşu çözüm

x_{ek} : Eniyi komşu çözüm

ACS: Aranan çözüm sayısı

Çözüm Kodlaması ve Komşuluk Yapısı: Dikkate alınan problem bir çizelgeleme problemidir. Çizelgeleme probleminde amaç dikkate alınan performans ölçütünü

eniyileyen iş sırasının elde edilmesidir. Dolayısıyla, arama algoritmaları için bir çözüm, iş sırasını gösteren tamsayıların bir dizisinden oluşmaktadır. Şekil 4.4.de bir çözümü gösteren bir dizi örnek olarak verilmektedir. Örnek dizi incelendiğinde 1. sırada 2 nolu tesisatın, 2. sırada 3 nolu tesisatın, 3. sırada 5 nolu tesisatın, vb. uçlama atelyesindeki ilgili makine gruplarında işlem göreceğini göstermektedir. Bu gösterim tipi çizelgeleme problemleri için çok sık kullanılan bir gösterim tipidir. Literatürde, bu gösterim permütasyon kodlama olarak da adlandırılmaktadır.

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
İş	2	3	5	7	8	1	10	9	6	4

Şekil 4.4. Dizi Kodlaması

Tüm arama algoritmalarında komşuluk yapısı olarak yer değiştirme komşuluk yapısı kullanılmıştır. En basit komşuluk yapısı olan yer değiştirme komşuluk yapısının seçiminde amaç, arama işleminde komşuların elde edilmesi için harcanacak zamanı azaltmaktır. Yer değiştirme komşuluk yapısında rassal olarak iki sıra seçilir ve bu sıradaki islerin yerleri değiştirilir. Şekil 4.5.'de bu komşuluk yapısına bir örnek verilmektedir. Bu örnekte rassal olarak 3 ve 7 nolu sıralar seçilerek bu sıralardaki işler yer değiştirmektedir.

Rassal olarak secilen siralar

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
İş	2	3	5	7	8	1	10	9	6	4

Sıra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
İş	2	3	10	7	8	1	5	9	6	4

Şekil 4.5.Yer Değiştirme Komşuluk Yapısı

Tüm arama algoritmalarını aynı bazda değerlendirmek amacı ile durdurma koşulu olarak toplam aranan çözüm sayısı dikkate alınmıştır. Toplam aranan komşu sayısı iş

sayısına bağlı olarak $2n(n\text{-}1)/KS$ olarak belirlenmiştir. Başlangıç çözümü her algoritmada rassal olarak üretilmiştir.

Çoklu İniş Algoritması (CIA): Bu tezde uçlama atelyesinde bir araç için tesisatların en uygun sırasının belirlenmesi amacı ile geliştirilen CIA algoritması Şekil 4.6. da verilmektedir.

Adım1: Başlangıç çözümünü (x_0) rassal olarak üret. TK=0
Yeni çözüme (x_y) başlangıç çözümünü ata: $x_y = x_0$, $x_{eniyi} = x_0$
x_y için amaç fonksiyonu ($f(x_y)$) değerini (maksimum tamamlanma zamanını C_{max}) **benzetim modeli ile** tahmin et. $f(x_{eniyi}) = f(x_0)$
Adım2: TK = TK + S;
TK > ACS ise Adim 5'ya değilse Adim 3'e git.
Adım3: Yeni çözümden yer değiştirme komşuluk yapısını kullanarak (KS) adet komşu üret. Her komşunun amaç fonksiyonu ($f(x_y)$) değerini benzetim modeli ile tahmin et ve komşular içerisinden amaç fonksiyonunu eniyileyen komşuyu seç (x_{ek}).
Adım4: $f(x_{ek}) < f(x_{eniyi})$ ise $x_y = x_{ek}$, $x_{eniyi} = x_{ek}$ ve $f(x_{eniyi}) = f(x_{ek})$ ve Adım 2'ye git.
Değilse rassal olarak bir çözüm üret (x_y), amaç fonksiyonu ($f(x_y)$) değerini benzetim modeli ile tahmin et ve Adım 2'ye git. $k = k_s$ ise Adım5'e git, değilse Adım3'e git.
Adım5: Eniyi iş sırasını ve maksimum tamamlanma zamanını rapor et ve dur.

Şekil 4.6. CIA Algoritması

Tavlama Benzetimi (TB): Şekil 4.7.'de bu tezde geliştirilen TB algoritması verilmektedir. TB algoritmasında başlangıç sıcaklığının, sıcaklık azaltma oranının, her sıcaklıktaki tekrar sayısının ve durdurma koşulunun belirlenmesi "tavlama" veya "soğutma planı" olarak tanımlanmaktadır. Bu planın seçimi algoritmanın etkinliği açısından önemlidir. Başlangıç sıcaklığı problem boyutundan bağımsız olarak belirlenmiştir. Örneğin başlangıç çözümündeki %70 kötü çözümleri 0.90 olasılıkla kabul edecek şekilde başlangıç sıcaklığı belirlenirse

$$P = \exp\left(\frac{-\Delta}{T_0}\right) \rightarrow 0.90 = \exp\left(\frac{-70}{T_0}\right) \rightarrow T_0 \cong 665 \qquad [4.1]$$

değeri elde edilir.

Her hangi bir sıcaklıkta bulunan kötü çözümlerin kabul olasılığı (p)

$$p = exp\ (\ -\ \Delta\ /\ T_{itr}\ ) \qquad [4.2]$$

eşitliği ile hesaplanmakta olup Δ değeri yeni çözümün mevcut çözümden sapma yüzdesini vermektedir. Δ değeri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta = \left[\frac{f(x_{ek}) - f(x_y)}{f(x_y)} \right] \times 100 \qquad [4.3]$$

Her iterasyonda sıcaklık azaltılmasında (4.3.) nolu eşitlik kullanılmakta olup bu eşitlikte $r = 0.99$ olarak alınmıştır.

$$T_{itr} = r * T_{itr-1} \qquad [4.4]$$

Adım1: Başlangıç çözümünü (x_0) rassal olarak üret.

Yeni çözüme (x_y) başlangıç çözümünü ata: $x_y = x_0$, $x_{eniyi} = x_0$

x_y için amaç fonksiyonu ($f(x_y)$) değerini (maksimum tamamlanma zamanını C_{max})

benzetim modeli ile tahmin et. $f(x_{eniyi}) = f(x_0)$ $T_{itr} = T_0$ $\tau = 0.001$, TK=0, itr = 0,

Adım2: itr = itr + 1; TK = TK + S;

TK > ACS ise Adım 6'ya değilse Adım 3'e git.

Adım3: Yeni çözümden yer değiştirme komşuluk yapısını kullanarak (KS) adet komşu üret.

Her komşunun amaç fonksiyonu ($f(x_y)$) değerini benzetim modeli ile tahmin et ve komşular içerisinden amaç fonksiyonunu eniyileyen komşuyu seç (x_{ek}).

Adım3: $f(x_{ek}) < f(x_{eniyi})$ ise $x_y = x_{ek}$, $x_{eniyi} = x_{ek}$ ve $f(x_{eniyi}) = f(x_{ek})$ ve Adım 4'e git. Değilse

$$\Delta = \left[\frac{f(x_{ek}) - f(x_y)}{f(x_y)} \right] \times 100 \text{ ve } u \sim U(0,1) \text{ üret.}$$

Eğer $u < exp\left[\frac{-\Delta}{T_{itr}} \right]$ ise $x_y = x_{ek,}$ ve Adım 4'e git.

Adım4: $f(x_y) < f(x_{eniyi})$ ise $x_{eniyi} = x_y$ ve $f(x_{eniyi}) = f(x_y)$

Adım5: $T_{itr} = r * T_{itr-1}$ ve Adım 2'ye gıt.

Adım6: Eniyi iş sırasını ve maksimum tamamlanma zamanını rapor et ve dur.

Şekil 4.7. TB Algoritması

Tabu Arama (TA): Şekil 4.8.'de bu tezde geliştirilen TA algoritmasının adımları verilmektedir. Algoritmanın her iterasyonda yer değiştirme komşuluk yapısına dayalı olarak KS adet komşu seçilmekte ve bu komşular arasından hesaplanan eniyi amaç fonksiyonu değerine sahip olan hareket tabu değilse veya tabu yıkma kriterini sağlıyorsa yeni mevcut çözüm olarak seçilmektedir. Tabu listesinde, sıraları değişen işlerin eski sıra numaraları tutulmaktadır. Bilindiği gibi tabu süresi algoritmanın performansında önemli etkiye sahiptir. Tabu suresi yapılan ön denemeler sonucunda belirlenmiştir. Sonuçlar 5. Bölümde detaylı olarak incelenmektedir.

Adım1: Başlangıç çözümünü (x_0) rassal olarak üret.
Yeni çözüme (x_y) başlangıç çözümünü ata: $x_y = x_0$, $x_{eniyi} = x_0$
x_y için amaç fonksiyonu ($f(x_y)$) değerini (maksimum tamamlanma zamanını C_{max}) **benzetim modeli ile** tahmin et. $f(x_{eniyi}) = f(x_0)$
Tabu hareketleri listesini sıfırla.
Adım2: TK = TK + S;
TK > ACS ise Adım 6'ya değilse Adım 3'e git.
Adım3: Yeni çözümden yer değiştirme komşuluk yapısını kullanarak (KS) adet komşu üret.
Her komşunun amaç fonksiyonu ($f(x_y)$) değerini benzetim modeli ile tahmin et.
Tabu olmayan bir hareketle elde edilmiş yada tabu yıkma kriteri sağlanmış olan amaç fonksiyonuna göre eniyi komşuyu bul (x_{ek}) ve $x_y = x_{ek}$
Adım4: $f(x_{ek}) < f(x_{eniyi})$ ise $x_{eniyi} = x_{ek}$ ve $f(x_{eniyi}) = f(x_{ek})$.
Adım5: Tabu hareketleri listesini güncelle ve Adım2'ye git.
Adım6: Eniyi iş sırasını ve maksimum tamamlanma zamanını rapor et ve dur.

Şekil 4.8. TA Algoritması

5. ALGORİTMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde, geliştirilen TB ve TA algoritmaların kontrol parametrelerinin belirlenmesi, CIA, TB ve TA'nın çözüm kalitesi ve iyi çözüme yakınsama açısından değerlendirilmesi ve Uçlama Atelyesi için bu algoritmalar ile bulunan en iyi çözümün mevcut durumu ile karşılaştırılması ile ilgili sonuçlar verilmektedir.

Uçlama Atelyesinin benzetim modelinin oluşturulmasında ARENA 6.0 kullanılmıştır. CIA, TB ve TA algoritmaları ise C++ ile kodlanmıştır. Algoritmalar ile arama sırasında, her aday çözüm için benzetim modeli kullanılarak ilgili tesisat sırası için maksimum tamamlanma zamanı tahmin edilmiştir. Benzetim modelinin durdurma koşulu, bir araç için gerekli tüm tesisatların Uçlama Atelyesinde işlenmesi olarak alınmıştır. Her aday çözüm için benzetim modeli 5 kez denenmiştir. Arama algoritmalarında durdurma koşulu olarak aranan çözüm sayısı dikkate alınmıştır. Bir araç için tesisat sayısı (n) ve her iterasyonda mevcut çözümden üretilecek çözüm sayısı (KS) olmak üzere aranması gereken çözüm sayısı $2n(n\text{-}1)/KS$ olarak belirlenmiştir. Her algoritma için KS, 10 olarak dikkate alınmıştır. Her problem için arama algoritmalarında başlangıç çözümü rassal olarak elde edilmiş ve farklı başlangıç çözümleri ile her algoritma 5 kez çalıştırılmıştır.

5.1. TB ve TA'da Kontrol Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi

Bilindiği gibi, TB ve TA'nın performansı algoritmaların sahip olduğu kontrol parametrelerinden etkilenmektedir. Bu nedenle öncelikle bu kontrol parametrelerinin en uygun değerlerinin belirlenmesi gerekir. Bu değerlerin tespitinde 227 tesisatın söz konusu olduğu bir aracın üretimi dikkate alınmıştır. Dolayısıyla her algoritmada aranacak çözüm sayısı 10000 olarak belirlenmiştir.

5.1.1. TB için Başlangıç Sıcaklığının Belirlenmesi

TB'de kontrol parametreleri başlangıç sıcaklığı, son sıcaklık, her sıcaklıkta aranacak çözüm sayısı ve sıcaklık düşürme oranıdır. Her sıcaklıkta aranacak çözüm sayısı (KS) 10 ve sıcaklık düşürme oranı (r) 0.99 olmak üzere sabit değerler olarak dikkate alındığı için, bu tezde sadece başlangıç sıcaklığının algoritmanın performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Algoritmaların durdurma koşulu olarak aranan çözüm sayısı dikkate alındığından dolayı son sıcaklığın belirlenmesine gerek yoktur. Ayrıca yapılan ön denemelerde son sıcaklığın 0.02'ye kadar düştüğü görülmüştür ki bu sıcaklık ile aramanın son aşamalarında mevcut çözümden daha kötü çözümlerin kabul olasılığının 0'a yakındır.

Bolüm 4.3.'de belirtildiği gibi TB'de başlangıç sıcaklığı problem boyutundan bağımsız olarak belirlenmiştir. Başlangıç çözümünden sırası ile %30, %50 ve %70 kötü çözümleri 0.90 olasılıkla kabul edecek şekilde başlangıç sıcaklıkları hesaplanmış ve TB, seçilen problem için 5 kez denenmiştir. Çizelge 5.1. de her başlangıç sıcaklığı için 5 denemeye bağlı olarak elde edilen en küçük, ortalama ve en büyük maksimum tamamlanma zamanı verilmektedir.

Çizelge 5.1. Başlangıç sıcaklığına göre TB ile elde edilen maksimum tamamlanma zamanı

	Maksimum Tamamlanma Zamanı (sn)		
Başlangıç Sıcaklık	En küçük	Ortalama	En büyük
285	487.8	488.56	491.6
475	486.2	488.14	490.6
665	485.0	487.56	489.6

Çizelge 5.1 incelendiğinde en küçük maksimum tamamlanma zamanı başlangıç sıcaklığı 665 seçildiğinde elde edilmektedir. Ayrıca bu sıcalıkta, 5 denemeye dayalı olarak ortalaması ve en büyük maksimum tamamlanma zamanı diğer iki başlangıç değerine göre daha küçüktür. Bu nedenle, başlangıç sıcaklığı 665 olarak seçilmiştir.

5.1.2. TA için Tabu Süresinin Belirlenmesi

TA'nın performansında tabu süresi büyük bir etkiye sahiptir. Bu nedenle bu sürenin en uygun değerinin belirlenmesinde literatürde önerilen 7-12 tabu süresi dikkate alınmış ve 7, 10 ve 15 değerleri için TA algoritması seçilen problem için 5 kez denenmiştir.

Çizelge 5.2. Tabu Süresine göre TA ile elde edilen maksimum tamamlanma zamanları

	Maksimum Tamamlanma Zamanı (sn)		
Tabu Süresi	En küçük	Ortalama	En büyük
7	488.56	489.56	490.20
10	489.00	489.56	490.40
15	489.00	489.64	490.40

Çizelge 5.2. de her tabu süresi için 5 denemeye bağlı olarak elde edilen en küçük, ortalama ve en büyük maksimum tamamlanma zamanı verilmektedir. Çizelge incelendiğinde seçilen bu değerler için maksimum tamamlanma zamanları arasında çok büyük bir farklılığın olmadığı görülmüştür. Dolayısıyla, bu tezde TA için tabu süresi 7 olarak dikkate alınmıştır.

5.2. Algoritmaların Performanslarının Karşılaştırılması

Bu bölümde CIA, TB ve TA algoritmaları çözüm kalitesi ve iyi çözüme yakınsaması açısından karşılaştırılacaklardır. Bilindiği gibi MAN Türkiye A.Ş'de farklı tipte araçlar üretilmektedir. Dolayısıyla, bu araçların ihtiyacı olan tesisat sayısı da farklılık göstermekte olup en az tesisat sayısı 44 ve en fazla tesisat sayısı 227'dir. Bu nedenle geliştirilen algoritmaların farklı problemlerde performansını inceleyebilmek amacı ile üç farklı araç tipi seçilmiştir. Bu araçlardaki tesisat sayıları sırası ile 44, 108 ve 227'dir. Her üç algoritma her problem için 5 kez denenmiştir. Her algoritma için 5 denemeye bağlı olarak elde edilen maksimum tamamlanma zamanın en küçük, ortalama ve en büyük değerleri Çizelge 5.3'de verilmektedir. En küçük maksimum tamamlanma zamanı açısından algoritmalar karşılaştırıldığında, 44 ve 108 tesisat sayısı için 137.16 sn ve 248.18 sn ile TA algoritması daha iyi bir performans sergilerken tesisat sayısı 227 olduğunda 485 sn ile TB'nin daha iyi bir performans sergilediği görülmektedir. CIA, TB ve TA algoritmaları ortalama performans açısından karşılaştırıldığında TB ve TA'nın CIA'ya göre daha iyi bir performans gösterdiği görülmektedir.

Çözüm kalitesi açısından üç algoritma arasında anlamlı bir farlılığın olup olmadığını inceleme amacıyla üç problem dikkate alınarak iki yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Varyans analizinde birinci faktör geliştirilen üç algoritma, ikinci faktör ise problem boyutudur. Çizelge 5.4. de görüldüğü gibi α=0.05 anlamlılık düzeyinde ortalama çözüm kalitesi açısından algoritmalar arasında anlamlı bir farklılık vardır. Aynı zamanda problemler arasında da α=0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel farklılık vardır. Ancak bu beklenen bir sonuçtur. Çünkü problem boyutu arttıkça

ortalama maksimum tamamlanma zamanı da artmaktadır. Bu nedenle Duncan Çoklu Aralık testi sadece algoritmalar arasındaki anlamlı farklılığın hangi algoritmadan kaynaklandığını belirlemek için yapılmıştır. Çizelge 5.5'de verilen test sonucuna göre, TB ve TA arasında anlamlı bir farklılık yoktur ve bu iki algoritmanın ortalama performansı CIA'ya göre daha iyidir.

Çizelge 5.3. CIA, TB ve TA Algoritmalarının Karşılaştırılması

Yöntem	Maksimum Tamamlanma Zamanı (sn)	Tesisat Sayısı 44	108	227
CIA	Enküçük	140.76	250.86	488.60
	Ortalama	141.82	253.75	490.56
	Enbüyük	143.24	256.06	492.40
TB	Enküçük	137.22	250.24	485.00
	Ortalama	139.57	252.07	487.56
	Enbüyük	141.26	253.74	489.60
TA	Enküçük	137.16	248.18	486.56
	Ortalama	139.67	251.68	489.56
	Enbüyük	141.46	253.22	490.20

Çizelge 5.4. Varyans Analizi Tablosu

Dependent Variable: sonuc

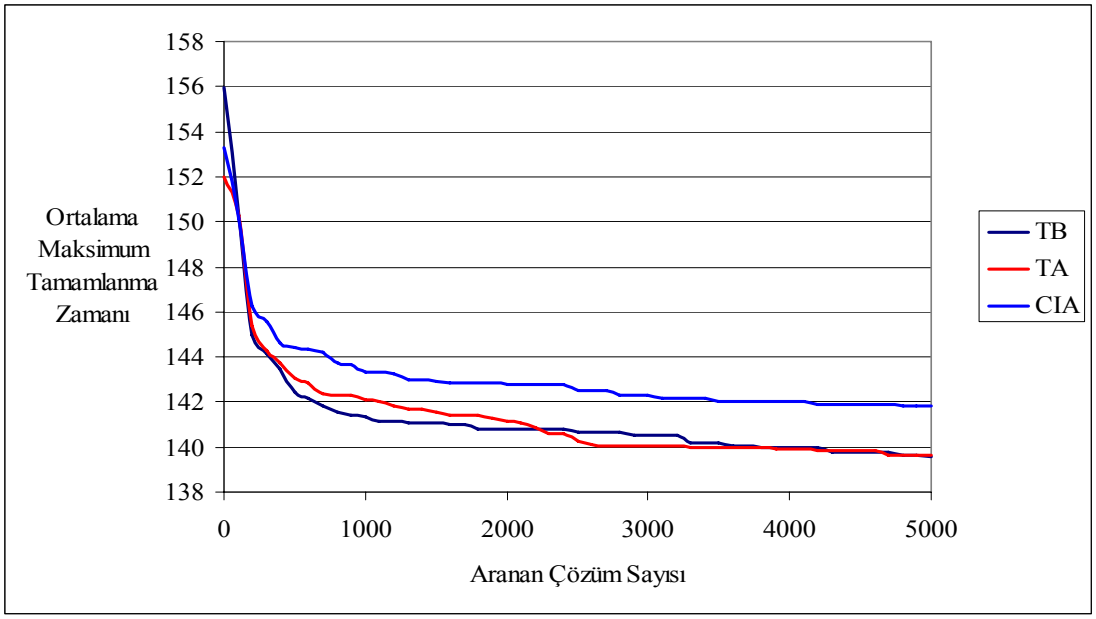
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1217975.857(a)	8	152246.982	86159.005	.000
Intercept	5836361.740	1	5836361.740	3302890.552	.000
Prb	1217899.350	2	608949.675	344614.371	.000
Yontem	62.229	2	31.115	17.608	.000
prb * yontem	8.576	4	2.144	1.213	.314
Error	116.625	66	1.767		
Total	6094957.282	75			
Corrected Total	1218092.482	74			

a R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

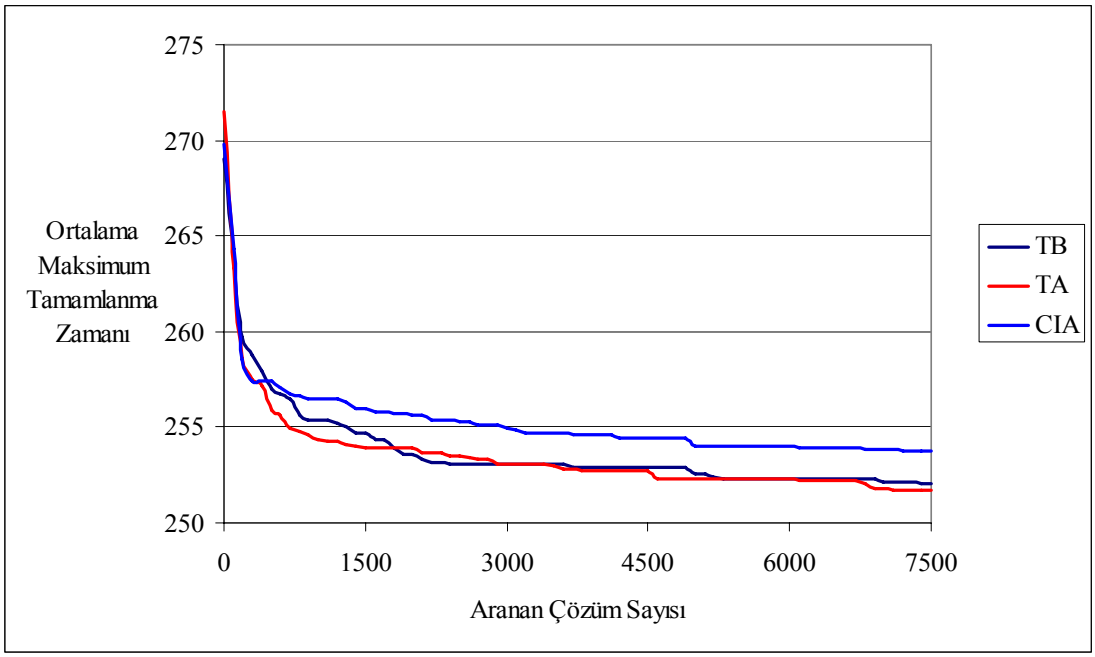
Çizelge 5.5. Duncan'ın Çoklu Aralık Testi

Yöntem	N	Subset 1	2
TB	25	254.2096	
TA	25	254.4512	
CIA	25		256.3384
Sig.		.523	1.000

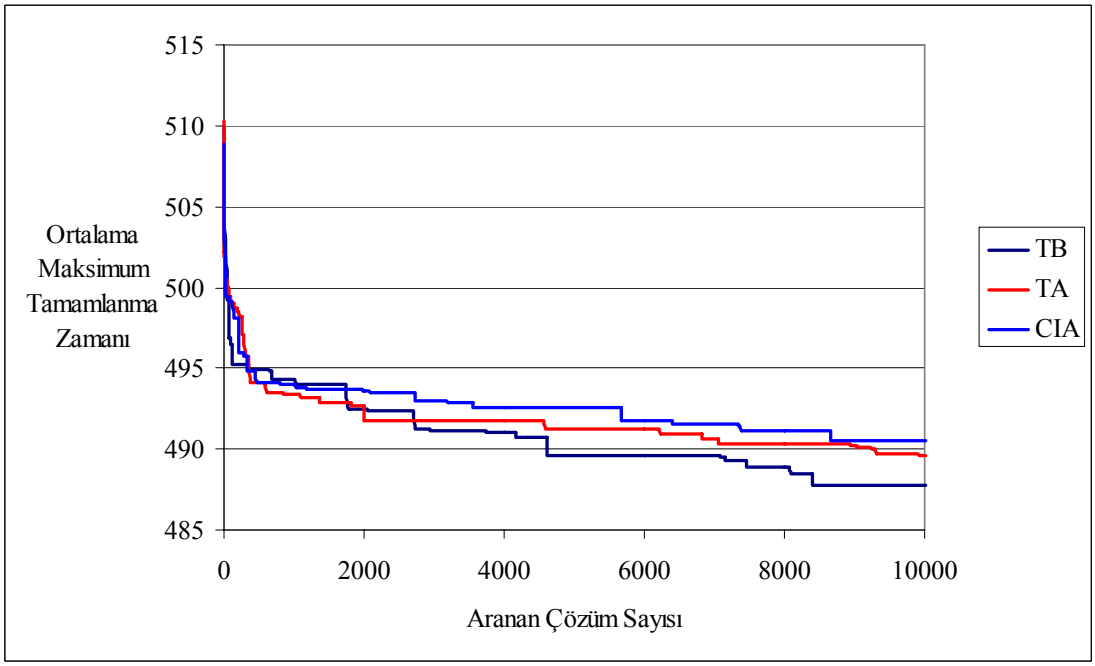
Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'de 44, 108 ve 227 tesisat için CIA, TB ve TA algoritmaların yakınsama grafikleri verilmektedir. Özellikle ilk iki problem için (44 ve 108 tesisat) TB ve TA'nın iyi çözümlere yakınsamada aynı eğilimi gösterdikleri görülmektedir. 227 tesisatın bulunduğu problemde ise TB'nin iyi çözümlere yakınsamasının CIA ve TA'ya göre daha iyi olduğu görülmektedir. Bu problem için TA ve TB arasındaki bu farklılığın anlamlı olmadığı istatistiksel analizde görülmüştür.



Şekil 5.1. 44 tesisat için CIA, TB ve TA'nın yakınsama grafiği



Şekil 5.2. 108 tesisat için CIA, TB ve TA'nın yakınsama grafiği



Şekil 5.3. 227 tesisat için CIA, TB ve TA'nın yakınsama grafiği

Bu bölümün başında belirtildiği gibi CIA, TB ve TA'da aynı komşuluk yapısı ve aynı sonlanma kriteri kullanılmıştır. Dolayısıyla bir problemi çözmek için her üç

algoritmanın harcadığı süre birbirine çok yakındır. Çizelge 5.6. da her problem büyüklüğü için algoritmaların ortalama çözüm süreleri ve her algoritmada aranan çözüm sayısı verilmektedir. Çizelgeden görüldüğü gibi problem boyutu arttıkça arana çözüm sayısına da bağlı olarak ortalama çözüm süresi artmaktadır. Bu süre 42 dakika ile 115 dakika arasında değişmektedir.

Çizelge 5.6. Algoritmalarda Ortalama Çözüm Süresi ve Aranan Çözüm Sayısı

Tesisat Sayısı	Algoritmaların Ortalama Çözüm Süresi (dak)	Aranan Çözüm Sayısı
44	42	5000
108	71	7500
227	115	10000

5.3. Mevcut Sistem ile Elde Edilen Yeni Sonuçların Karşılaştırılması

Bölüm 4.3. belirtildiği gibi mevcut sistemde, bir aracın tesisatlarının hangi sırada işlem göreceği ile ilgili bir sıralama tekniği kullanılmamaktadır. Yani tesisatlar izleyecekleri rotalara göre her makine grubunda rastgele işlem görmektedir. Dolayısıyla, önerilen yeni yaklaşım ile mevcut sistemde herhangi bir iyileşmenin sağlanıp sağlanmadığının araştırılması gerekmektedir. Bu nedenle bu bölümde mevcut sistem ile önerilen yaklaşımın bir karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmada da geliştirilen algoritmanın karşılaştırılmasında kullanılan 44, 108 ve 227 tesisata sahip araç tipleri dikkate alınmıştır. Her araç tipi için benzetim modeli 10 kez denenerek mevcut sistemde ortalama maksimum tamamlanma zamanını tahmin edilmiştir. TB ve TA algoritmaları arasında istatistiksel anlamlı bir farklılık olmadığından dolayı her araç tipi için bu algoritmalar ile elde edilen en iyi çözümün maksimum tamamlanma zamanı bu karşılaştırmada kullanılmıştır. Aşağıda gösterilen çizelge 5.7. de bu karşılaştırma sonuçları verilmektedir.

Çizelge 5.7. Mevcut Sistemde ve Önerilen Yaklaşımda Maksimum Tamamlanma Zamanının Karşılaştırılması

	Tesisat Sayısı		
	44	108	227
Mevcut Durumda C_{max}	157.46	282.48	529.21
Önerilen Yaklaşımda C_{max}	137.16	248.18	485.00
Gerçekleşen İyileşme (dak/işçi)	20.30	34.30	44.41
Gerçekleşen İyileşme (dak/araç)	203.10	343.00	444.10
Gerçekleşen İyileşme (saat/araç)	3.38	5.71	7.40
Gerçekleşen İyileşme Oranı (%)	12.89	12.14	8.39

Çizelge 5.7. den görüldüğü gibi mevcut sistemde bir araç için ortalama maksimum tamamlanma zamanı 44, 108 ve 227 tesisata sahip araç tipleri için sırası ile 157.46, 282.48 ve 529.21 dakika iken bu değerler önerilen yaklaşım ile 137.16, 248.18 ve 485.00 dakika olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla, sistemde var olan statik-stokastik çizelgeleme probleminin çözümü ile mevcut sistemde %8.39 ile %12.89 arasında bir iyileşme sağlanmıştır. Her araç tipi için araç başına iyileşme 3.38 saat ile 7.40 saat arasında değişmektedir. Bu iyileşmelerin işletmeye parasal olarak getireceği katkıyı görebilmek amacıyla dikkate alınan araç tipleri için 2005 yılında (11 ayda) yapılan üretim miktarları göz önüne alınarak bu yıl için işletmenin parasal kaybı hesaplanmıştır. MAN Türkiye A.Ş'de bir çalışanın bir saatlik maliyeti 9 Euro'dur. Çizelge 5.8. de 2005 yılı için araç başına ve 11 ay içerisinde ilgili araç tipleri için üretim miktarına göre işletmenin toplam parasal kaybı verilmektedir. Çizelge 5.8. incelediğinde ise işletmenin 2005 yılı için yıllık parasal kaybının araç tiplerine göre 1064.70 € ile 6793.20 € arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 5.8. Araç Tipleri için Üretim Miktarı ve İşletmenin Yıllık Parasal Kaybı

Araç Tipi	Bir araç için kayıp (€)	Üretim Miktarı	Yıllık kayıp (€)
1. araç (44 tesisat)	30.42	35	1064.70
2. araç (108 tesisat)	51.39	23	1181.97
3. araç (227 tesisat)	66.60	102	6793.20

Sadece üç araç tipi için 11 aylık verilere dayalı olarak yapılan maliyet analizi çalışmasında işletmenin yıllık toplam parasal kaybı yaklaşık olarak 9040 €'dur. Ancak, MAN Türkiye A.Ş.'de yılda yaklaşık 20 farklı araç tipinden toplam 2000

araç üretilmektedir. Dolayısıyla, üretimin sadece %8'ni içeren bir kısmında işletmenin yıllık toplam parasal kaybı 9040 €'dur. Bu sonuçlara dayalı olarak, işletmenin Uçlama atölyesinde var olan statik-stokastik akış tipi probleminin tüm araç tipleri için çözülmesi ile işletmenin yıllık bazda kazancının çok ciddi boyutta olacağı söylenebilir.

6. SONUÇ

İşletmelerin günümüz öldürücü rekabet piyasasında ayakta kalabilmeleri, üretmiş oldukları ürün ya da hizmetleri daha kaliteli hem de daha ucuza mal etmeleri ile mümkün olabilir. Fakat, günümüz koşullarında ürünü rakiplerinizden hem daha kaliteli üretip hem de daha ucuza mal etmenin oldukça zor olduğu da bilinmektedir. Kaliteli ürünü daha ucuza mal etmek için malzeme ve işçilik gibi temel kaynaklarınızdan kısılamayacağı gerçeği altında, işletme içerisindeki kayıp zamanları yok etmek, gereksiz işlemleri kaldırmak, doğru işi ilk defada yapmak hedeflenmelidir. Bunun için de bilimsel tekniklerin kullanılması gerekmektedir.

Gerçek hayatta karşılaşılan birçok sistem, genellikle büyük boyutlu, karmaşık ve birtakım belirsizlikler içermektedir. Bu tür sistemlerdeki problemlerin çözümü bilinen eniyileme metotlarıyla çok zor kimi zaman da imkansız olmaktadır. Bu tür sistemlerin analizi amacıyla çoğunlukla benzetim kullanılmaktadır. Benzetim modeli, bir girdi setine karşılık bir çıktı yada çıktı setinin elde edildiği girdi-çıktı modelidir. Benzetim modeli; sistemin davranışını, analizini, ilgilenilen performans ölçütlerinin tahminini, farklı sistem parametrelerinin sonuç üzerindeki etkisini gözleme imkanı veren bir araçtır. Ancak, benzetim tek başına bir eniyileme tekniği olmayıp sadece karar değişkenlerinin bir kombinasyonu için tahmini değerlerin elde edilmesini sağlar. Dolayısıyla, çözüm uzayı büyüdükçe karar değişkenlerinin oluşturacağı tüm kombinasyonların benzetim ile denenmesi imkansızdır. Bu nedenle, benzetim modeli ve eniyileme algoritmalarının birlikte kullanıldığı benzetim eniyilemesi teknikleri günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu tezde MAN Türkiye A.Ş.'nin Kablo Demetleri Üretim Bölümde yer alan Uçlama Atölyesindeki statik-stokastik çizelgeleme probleminin çözümünde benzetim ile genel amaçlı arama algoritmaları sınıfında yer alan çoklu iniş algoritması (CIA), tavlama benzetimi (TB) ve tabu arama (TA) birlikte kullanılmıştır. Atölyenin benzetim modelinin oluşturulmasında ARENA 6.0 kullanılmıştır. CIA, TB ve TA algoritmaları ise C++ ile kodlanmıştır. Algoritmalar ile arama sırasında, her aday çözüm için benzetim modeli kullanılarak ilgili tesisat sırası için maksimum tamamlanma zamanı tahmin edilmiştir.

Geliştirilen algoritmaların etkinliğinin araştırılmasında 44, 108 ve 227 tesisat içeren 3 farklı araç tipi dikkate alınmıştır. Bu araç tipleri için algoritmalar çözüm kalitesi açısından karşılaştırıldığında TB ve TA arasında istatistiksel anlamlı bir farklılığın olmadığı ve CIA'dan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Algoritmalar ile her araç tipi için bulunan eniyi maksimum tamamlanma zamanı ilgili araç tipleri için mevcut sistemdeki maksimum tamamlanma zamanı ile karşılaştırıldığında, %8.39 ile %12.89 arasında iyileştirmenin gerçekleştirildiği görülmüştür.

Bu iyileşmelerin işletmeye parasal olarak getireceği katkıyı görebilmek amacıyla dikkate alınan araç tipleri için 2005 yılında (11 ayda) yapılan üretim miktarları göz önüne alınarak bu yıl için işletmenin parasal kaybı hesaplanmıştır. MAN Türkiye A.Ş.'de yılda yaklaşık 20 farklı araç tipinden toplam 2000 araç üretilmektedir. Dolayısıyla, üretimin sadece %8'ni içeren bir kısmında işletmenin yıllık toplam parasal kaybı 9040 €'dur. Bu sonuçlara dayalı olarak, işletmenin Uçlama Atölyesinde var olan statik-stokastik akış tipi probleminin tüm araç tipleri için çözülmesi ile işletmenin yıllık bazda kazancının çok ciddi boyutta olacağı açıktır.

Bu tezde bulunan sonuçlar doğrultusunda ileride yapılabilecek çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Bu tezde CIA, TB ve TA'ya dayalı üç algoritma geliştirilmiş ve bu algoritmaların performansları sadece seçilen 3 problem için araştırılmıştır. Dikkate alınacak farklı büyüklükteki farklı problemler ile algoritmaların performansının daha geniş problem yelpazesinde araştırılması mümkündür.

2. Bu tezde dikkate alınan problemin çözümü için genel amaçlı arama algoritmalarına dayalı olarak geliştirilen algoritmaların yanı sıra yine bu sınıfta yer alan Genetik Algoritmalara, Karınca Kolonisine ve Yapay Bağışıklık Sistemine dayalı yeni algoritmalar geliştirilebilir ve bu problem için algoritmaların performansları araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Pinedo, M., "Operations Scheduling", ***Irwin/McGraw-Hill***, Singapur, 1-268 (1999).

2. Eren, T., "Çok Ölçütlü Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri İçin Çözüm Yaklaşımları", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-21 (2004).

3. Banks, J., "Handbook of Simulation", ***John Wiley & Sons***, New York, 677-717 (1998).

4. Baker, K. R., "Elements of Sequencing And Scheduling", ***Dartmouth College***, Hanover, 1-250 (1994).

5. Cheng T. C. E., Gupta N. D., "A review of flowshop scheduling research with setup times", ***Production and Operations Management***, 9: 262-282 (2000).

6. Park, T., Steudel H. J., "Analysis of heuristics for job sequencing in manufacturing flow line work-cells", ***Computers & Industrial Engineering*****,** 20 (2): 129-140 (1991).

7. Cao, J., Bedworth D. C., "Flowshop scheduling in serial multi-product processes with transfer and set-up times", ***International Journal of Production Research*****,** 30 (8): 1819-1830 (1992).

8. Rajendran, C., Ziegler H., "Heuristics for scheduling in a flowshop with setup, processing and removal times separated", ***Production Planning and Control***, 8 (6): 568-576 (1997).

9. Corwin, B.D., Esogbue A. O., "Two-machine flowshop scheduling problems with sequence dependent setup times: A dynamic programming approach", ***Naval Research Logistics Quarterly***, 21 (3): 515-524 (1974).

10. Bellman, R., Esogbue A. O., Nabeshima I., "Mathematical Aspects of Scheduling and Applications", Pergamon ***Press***, New York (1982).

11. Rios-Mercado, R. Z., Bard, J. F., "The flow shop scheduling polyhedron with setup times", ***Technical Report ORP96-07,*** Texas (1996).

12. Rios-Mercado, R. Z., Bard, J. F., "Computational experience with a branch-and-cut algorithm for flow shop scheduling with setups", ***Computers and Operations Research,*** 25 (5): 351-366 (1998).

13. Rios-Mercado, R. Z., Bard, J. F., "A branch-and-bound algorithm for flowshop scheduling with setup times", ***IEE Transactions,*** 31 (8): 721-731 (1999).

14. Bianco, L., Del'olmo P., Giordani S., "Flowshop no-wait scheduling with sequence-dependent setup times and release dates", ***INFOR***, 37 (1): 3-19 (1999).

15. Simons, J. V., "Heuristics in flowshop scheduling with sequence dependent setup times", ***Omega***, 20 (2): 215-225 (1992).

16. Rajagopalan, D., Karimi, I.A., "Foundations of Computer Aided Process Operations", ***Elsevier Science Publishers***, New York, 679-686 (1987).

17. Norman, B. A., "Scheduling flowshops with finite buffers and sequence dependent setups times", ***Computers and Industrial Engineering,*** 36 (1): 163-177 (1999).

18. Parthasarathy, S., Rajendran C., "A simulated annealing heuristic for scheduling to minimize weighted tardiness in a flowshop with sequence dependent setup times of jobs- A Case Study" , ***Production Planning And Control***, 8 (5): 475-483 (1997).

19. Parthasarathy, S., Rajendran C., "An experimental evaluation of heuristics for scheduling in a real-life flowshop with sequence dependent setup times of jobs", ***International Journal of Production Economics***, 49 (3): 255-263 (1997).

20. Hitomi, K., Ham, I., "Operations scheduling for group technology applications", ***CIRP Annals***, 25, 419-422 (1976).

21. Ham, I., Hitomi, K., Yoshida, T. , "Group Technology", ***Kluwer-Nijhoff Publishing***, Boston (1985).

22. Sotoskov, Y. N., Tautenhahen, T., Werner F. , "Heuristics for permutation flowshop scheduling with batch setup times", ***OR Spectrum***, 18 (1): 67-80 (1996).

23. Vakharia, A. J., Chang, L., "A simulated annealing approach to scheduling a manufacturing cell ", ***Naval Research Logistics***, 37 (6): 559-577 (1990).

24. Skorin-Kapov, J., Vakaharia J., "Scheduling a flow-line manufacturing cell: a tabu search approach", ***International Journal of Production Research***, 31 (5): 1721-1734 (1993).

25. Sridhar, J., Rajendran, C., "A genetic algorithm for family and job svheduling a flow-line based manufacturing cell", ***Computers and Industrial Engineering***, 27(1): 469-472 (1994).

26. Hvang, H., Sun. J.U., "Production sequencing with reentrant work flows and sequence dependent setup times", ***Computers and Industrial Engineering,*** 33(3): 773-776 (1997).

27. Schaller, J. E., Gupta, J. N. D., Vakharia, A. J., "Group scheduling with sequence dependent setups ", ***Proceedings of the Annual Decision Sciences Instutue Meeting***, 1141-1143 (1997).

28. Schaller, J. E., Gupta, J. N. D., Vakharia, A. J., "Scheduling a flow line manufacturing cell with sequence dependent family setup times", ***European Journal of Operational Research***, 125 (2): 324-339 (1999).

29. Jordan, C., "Batching and Scheduling: Models and Methods for Several Problem Classes", ***Springer***, Berlin (1996).

30. Güden, H., Vakvak, B., Özkan, B. E., Altıparmak, F., Dengiz, B., "Genel amaçlı arama algoritmaları ile benzetim eniyilemesi: eniyi kanban sayısının bulunması", ***Endüstri Mühendisliği***, 16 (1): 2-15 (2005).

31. Çevik, S., "Tabu search with fully sequential procedure for simulation optimization", Yüksek Lisans Tezi, ***Bilkent Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü***, Ankara, 9-46 (2003).

32. Alabaş, Ç., "Tabu arama ve tavlama benzetimi algoritmalarıyla bilgisayar şebekelerinin topolojik optimizasyonu", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 29-53 (1999).

33. Finke, D., Traband, M., "Shop scheduling using tabu search and simulation", ***Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*****,** 1013-1017 (2002).

34. Wang, L., Zheng, L., "A modified evolutionary programming for flow shop scheduling ", ***Int. J. Adv. Manuf. Techn.*****,** 22: 522-527 (2003).

35. Yang, T., Kuo, Y., "Tabu-search simulation optimization approach for flow shop scheduling with multiple processors-a case study", ***International Journal of Production Research*** *42*: 4015-4030 (2004).

36. Allaoui, H., Artiba, A., "Integrating simulation and optimization to schedule a hybrid flow shop with maintenance constraints", ***Computers & Industrial Engineering*****,** 431-450 (2004).

37. Wang, L., Zheng, L., "Genetic ordinal optimization for stochastic flow shop scheduling", ***International Journal of Adv Manufacturing Technology*****,** 1013-1017 (2005).

38. Wang, L., Zheng, L., "A class of hypothesis-test based genetic algorithms for flow shop scheduling with stochastic processing time ", ***Int. J. Adv. Manuf. Techn.*****,** 25: 1157-1163 (2005).

ÖZGEÇMİŞ

18.04.1979 tarihinde Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. 1997 yılında Çankaya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği bölümünde başladığı lisans eğitimini 2002 yılında tamamladı. Yüksek lisans programına Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana bilim dalında 2002 yılında başladı. 2004 yılında, MAN Türkiye A.Ş Elektrik Sistemleri Üretim Bölümünde endüstri mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır.