



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

**ESNEK ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME
PROBLEMLERİ İÇİN BİR DAĞINIK ARAMA
METODU**

Safa KÜLAHLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ocak-2016
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Safa Külahlı tarafından hazırlanan “Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri İçin Bir Dağınık Arama Metodu” adlı tez çalışması 08/01/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Mehmet AKTAN

Danışman

Prof. Dr. Orhan ENGİN

Üye

Yrd. Doç. Alper DÖYEN

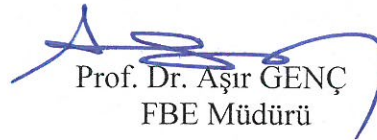
İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.


Prof. Dr. Aşır GENÇ
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.


Safa KÜLAHLI
Tarih: 08/01/2016

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ESNEK ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN BİR DAĞINIK ARAMA METODU

Safa KÜLAHLI

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Orhan ENGİN

2016, 45 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Orhan ENGİN

Prof. Dr. Mehmet AKTAN

Yrd. Doç. Dr. Alper DÖYEN

Çizelgeleme problemleri üretim sistemleri için en önemli problemlerden birisidir. Üretim sistemlerindeki çizelgeleme problemlerinin en genel hallerinden birisi de esnek atölye tipi çizelgeleme problemidir. Bu çalışmada, esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri için dağınık arama metodu kullanılarak bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir.

Bu konuyla ilgili yapılan diğer çalışmaları analiz etmek amacıyla, literatürde yer alan, esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri ile ilgili çalışmaların yanında, literatürde dağınık arama metodu kullanılarak çözüm yöntemi geliştirilen çalışmalar da incelenmiştir.

Bu çalışmada, çizelgeleme metodolojisi, çizelgeleme problemlerinin yapısı, çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. Esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için geliştirilen dağınık arama metodu, örnek bir problem üzerinden adım adım açıklanmıştır. Geliştirilen yöntemde kullanılacak parametrelerin en uygun değerlerini belirlemek için bir parametre optimizasyonu yapılmıştır.

Geliştirilen yöntemin etkinliği, literatürdeki sıkça kullanılan problem grupları üzerinde test edilmiş ve bu alandaki diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Dağınık Arama Metodu, Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri, Meta-sezgisel Yöntemler

ABSTRACT

MS THESIS

A SCATTER SEARCH METHOD FOR FLEXIBLE JOB SHOP SCHEDULING PROBLEMS

Safa KÜLAHLI

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN INDUSTRIAL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Orhan ENGİN

2016, 45 Pages

Jury

Prof.Dr. Orhan ENGİN

Prof.Dr. Mehmet AKTAN

Assist. Prof. Dr. Alper DÖYEN

Scheduling is one of the most important problems for production systems. One of the most general states of the scheduling problems in production systems is the flexible job-shop scheduling problem. In this study, we have developed a solution method using scattered search method to solve flexible job shop scheduling problems.

In order to analyze other studies about this subject, besides flexible job shop scheduling problems in the literature, studies that developed a solution method using scatter search method in the literature were examined.

In this study, the scheduling methodology, the structure of scheduling problems and the methods used to solve scheduling problems are mentioned. The scatter search method developed for solving the flexible job shop scheduling problem is explained step by step through a sample problem. Parameters are optimized to determine the fair value of the parameters to be used in the developed methods.

The effectiveness of the developed method was tested through frequently used problem sets in the literature and was compared with other studies in this area.

Keywords: Scattered Search Method, Flexible Job Shop Scheduling Problems, Meta-heuristics Method.

ÖNSÖZ

Esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri, NP-Zor sınıfında yer alan eniyileme problemleri arasındadır. Klasik atölye tipi çizelgeleme problemleri, paralel makinelerin de ilave edilmesiyle daha karmaşık ve zor hale gelmiştir. Bu tür çizelgeleme problemlerinin çözümünde, klasik yöntemlerin yetersiz kalmasından dolayı meta sezgisel yöntemlere başvurulmuştur.

Bu çalışmada, esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri için “Dağınık Arama Metodu” kullanılarak bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir.

Bu çalışmam boyunca ve lisansüstü eğitimimin başından itibaren, benden desteklerini esirgemeyen başta danışman hocam, Prof. Dr. Orhan Engin’e, yazılım konusunda büyük bir özveri ve titizlikle yardımlarını esirgemeyen Sayın Araş. Gör. İsmail Koç’a, diğer tüm hocalarıma ve her zaman yanımda olan aileme şükranlarımı sunarım.

Safa KÜLAHLI
KONYA-2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri İle İlgili Literatür Çalışmaları	3
2.2. Dağınık Arama Metodu İle İlgili Literatür Çalışmaları	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
3.1. Üretim Çizelgeleme	8
3.1.1. Çizelgeleme türleri.....	9
3.1.2. Çizelgeleme problemlerinin gösteriminde kullanılan yöntemler.....	11
3.1.3. Esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri	14
3.2. Dağınık Arama Metodu	15
3.2.1. Kodlama.....	19
3.2.2. Başlangıç popülasyonun oluşturulması	19
3.2.3. Referans kümesinin oluşturulması ve alt kümelerin seçilmesi	23
3.2.4. Çaprazlama	23
3.2.4. Mutasyon	27
3.2.6. Yerel arama ve referans kümesi güncelleme prosedürü	28
3.2.7. Referans kümesi popülasyon güncelleme ve sonlandırma kriterleri	29
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	31
4.1. Test Problemleri ve Sonuçları.....	32
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	45

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

C_{enb}	: En Büyük Tamamlanma Zamanı
C_j	: Tamamlanma Zamanı
d_j	: Teslim Tarihi (Due Date)
F_j	: Akış Süresi (Flow Time)
k	: Makine İndisi
L_j	: Geç Kalma Süresi (Lateness)
m	: Makine Sayısı
n	: İş sayısı
P	: Farklılaştırma Kümesi
p_{ij}	: İşlem Süresi (Processing Time)
R	: Referans Kümesi
r_j	: Serbest Bırakma Zamanı (Release Date)
T_j	: Gecikme (Tardiness)
w_j	: Ağırlık (Weight)
α	: Makine Çevresi
β	: Kısıtlar
γ	: Amaç Fonksiyonu

Kısaltmalar

BY	: Bütünleşik Yaklaşım
DAM	: Dağınık Arama Metodu
DSM	: Dal Sınır Metodu
EAKİZ	: En Az Kalan İşlem Zamanı
EATÇ	: Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme
EATÇP	: Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi
EEBS	: En Erken Başlama Süresi
EETT	: En Erken Teslim Tarihi
EKİZ	: En Kısa İşlem Zamanı
EUİZ	: En Uzun İşlem Zamanı
EUKİZ	: En Uzun Kalan İşlem Zamanı
HY	: Hiyerarşik Yaklaşım
İGİÇ	: İlk Gelen İlk Çıkar
İŞ	: İşlem Süresi
KEAOS	: Kalan En Az Operasyon Sayısı
KEFOS	: Kalan En Fazla Operasyon Sayısı
TA	: Tabu Arama
TB	: Tavlama Benzetimi
YBA	: Yapay Bağışıklık Algoritması

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1. Öncelik Kuralları	13
Şekil 3.2. Dağılık Arama Metodu	16
Şekil 4.1. Birinci Grup Problemlerinin Sonuçlarının Karşılaştırılması	34
Şekil 4.2. MFJS10'a ait Gantt Şeması	34
Şekil 4.3. MFJS100'a ait Gantt Şeması	36
Şekil 4.4. İkinci Grup Problemlerinin Sonuçlarının Karşılaştırılması	36
Şekil 4.5. K-B1'e ait Gantt şeması	37

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1. Örnek Problem Verileri	18
Çizelge 3.2. Kullanılan Kromozom Gösterimi	19
Çizelge 3.3. Genel Seçim Süreci	20
Çizelge 3.4. Genel Seçim Süreci İle Oluşturulan Kromozom	21
Çizelge 3.5. Yerel Seçim Süreci	22
Çizelge 3.6. Yerel Seçim Süreci İle Oluşturulan Kromozom	22
Çizelge 3.7. Başlangıç Popülasyonu Oluşturma Metodu Seçimi İçin Optimizasyon Parametre Oranları.....	23
Çizelge 3.8. Öncelik Bazlı Sıralı Çaprazlama Yöntemi	24
Çizelge 3.9. Tek Nokta Çaprazlama Yöntemi	25
Çizelge 3.10. Operasyon Sıra Değişikliği Yöntemi	26
Çizelge 3.11. Alternatif Makine Değişikliği Yöntemi	26
Çizelge 3.12. Rastsal Makine Ataması	27
Çizelge 3.13. Operasyon Yer Değişikliği	27
Çizelge 3.14. En İyi Makine Ataması	28
Çizelge 3.15. Son Operasyon Yer Değişikliği	28
Çizelge 4.1. Parametre Optimizasyonu Verileri	31
Çizelge 4.2. Birinci Grup Problemlerin Sonuçlarının Karşılaştırılması	33
Çizelge 4.3. İkinci Grup Problemlerin Sonuçlarının Karşılaştırılması	35
Çizelge 4.4. Üçüncü Grup Problemlerinin Sonuçlarının Karşılaştırılması	37

1. GİRİŞ

Günümüzün rekabet ortamından dolayı işletmeler, ömürlerini devam ettirmeleri için müşteri isteklerine kalite, fiyat ve zaman açısından en kısa sürede cevap vermelidirler. Üretim sistemlerinin günümüz koşullarında büyüyerek daha karmaşık hale gelmiş olması, geleneksel yöntemlerle üretim takibi ve kontrolü yapmayı epey zorlaştırmıştır. Rekabet ortamında ayakta kalmak için bütün kaynakları; insan, makine ve malzemenin en verimli bir şekilde kullanılması da gerekmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde üretim planları yapılarak makineler en uygun iş yüklemelerinin yapılmasına imkân veren çizelgeleme tekniklerinden önce; bir işletmenin kuruluş yeri ve tesis yerleşimi, tesisin içindeki makine ve teçhizatın yerleşimi, işe uygun elemanların alınması konularının muhakkak ele alınması gerekmektedir. Bu aşamadan sonra mevcut işgücü, kapasite, depolama ve taşıma sistemlerinin nasıl koordine edileceği belirlenir.

Üretim faaliyetlerinin, belirli bir düzen ve çizelgeye tabi tutulup takip edilmesi gerekir. Müşteri siparişlerinin sıralanması, işlerin makinelere atanması, stok takibi vd. faaliyetlerin çizelgelenmesi gerekir. Çizelgeleme, bir ya da daha fazla amacı optimize etmek için kaynakların, işlemlere zamana dayalı olarak tahsis edilmesidir (Pinedo 2011). Çizelgelemeye, hastanelerde nöbet sırasının belirlenmesi, makine bakımlarının sırasının belirlenmesi, işlerin makinelere atanması gibi örnekler verilebilir. Üretim çizelgeleme ise bir ürünün parçalarının eldeki bir veya daha fazla makine ya da işlem merkezinde hangi sırada ve ne zaman işleneceğinin belirlenmesidir.

Üretim çizelgeleme problemleri üretim tipine göre birçok farklılık gösterebilir. Günümüz koşullarının hızlı değişen taleplerine karşı, aynı esneklikte cevap verebilecek bir üretim sistemine ihtiyaç vardır. Günümüzde çizelgelemenin önemi, müşteri talebi ve çeşitliliğinin artması, ürün ömür devrinin azalması, küresel rekabet içinde sürekli değişen pazar yapısı ve yeni süreçlerde ve teknolojilerdeki hızlı değişimler nedeniyle oldukça artmış durumdadır (Aladağ 2010).

Bu çalışmada çizelgeleme problemlerinin en genel hallerinden biri olan esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için bir yöntem geliştirilmiştir. Çalışmamızın ikinci bölümünde, Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri (EATÇP) ve Dağınık Arama Metodu (DAM) ile alakalı literatürde yapılmış çalışmalardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde ise EATÇP ve DAM detaylıca ele alınmıştır. EATÇP, klasik atölye tipi çizelgeleme de işlerin tek bir makinede işlenmesi yerine paralel makinelerin ilave edilmesiyle oluşan problem tipidir.

EATÇP'nin çözümü çok fazla uğraş ve zaman gerektirdiği için, en iyi sonuca kısa sürede kolaylıkla ulaşma imkânı veren sezgisel yöntemler, çözüme ulaşmada etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada bu yöntemlerden, literatürde EATÇP'nin çözümünde çokça kullanılmayan, fakat diğer çizelgeleme ve optimizasyon problemlerinin çözümünde sıkça rastlanılan bir metot olan DAM kullanılmıştır.

Evrimsel bir yaklaşım olan dağınık arama metodu, kompozit karar kurallarını ve kısıtları üreten stratejilerden oluşur. Bugüne kadar yapılan çalışmalar incelenen yaklaşımın avantajlarını göstermiştir (Engin ve Oktay 2006). DAM, ilk olarak 1970'li yıllarda ortaya atılmış fakat 1990'lı yıllara kadar pek ilgi görmemiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, DAM'ın etkili bir çözüm yöntemi olarak karşımıza çıkmasını sağlamıştır.

Kaynak araştırması bölümünde, EATÇP ve DAM ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. Araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde ise DAM'ın EATÇP çözümünde literatürde sıklıkla kullanılan iki problem veri gurubunda testler yapılmış ve sonuçlar yine literatürdeki çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç ve öneriler kısmında ise çalışmada elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri İle İlgili Literatür Çalışmaları

EATÇP ile ilgili olarak yapılan çalışmalar, klasik atölye tipi çizelgeleme problemleri konusundakilere göre oldukça azdır. Brucker ve Schlie (1990) bu problem hakkında ilk çalışmayı yaparak dikkat çekmişlerdir. Yaptıkları çalışmada iki işli bir EATÇP'nin çözümü için polinomiyal bir algoritma geliştirmişlerdir.

Tamaki ve ark. (2001), EATÇP'nin karma tamsayılı doğrusal programlama yaklaşımlarıyla çözülebilmesi için bir model ortaya koymuşlar ve aynı zamanda bu modelin büyük boyutlu problemlerde çok fazla hesaplama zamanı gerektireceğinden problem için yeni bir genetik algoritma geliştirmişlerdir.

Kacem ve ark. (2002), hem rotalama, hem de sıralamayı bir arada gösteren bir kromozom gösterimi kullanarak yerelleşme yoluyla ilk atamaları yapan bir yaklaşım geliştirmiştir. İlk popülasyon bulunduktan sonra, popülasyona çaprazlama ve mutasyon yoluyla sonraki nesilleri üreterek, nesilleri daha da iyiye götürmüştür.

Jensen (2003), EATÇP'de makinelerin kesintiye uğraması, bozulmaması v.b. dinamik iş çevresi koşulları nedeniyle, en iyi çizelgeyi bulmaktansa en iyiye yakın fakat bu tür iş kesintilerinden sonra tekrar çizelgelemeyi mümkün kılan gürbüz ve esnek çizelgeler üretebilmek için genetik algoritmaların nasıl kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Tay ve Wibowo (2004) yaptıkları çalışmada, evrimsel algoritmalar için 4 farklı kromozom gösterimi üzerine çalışmış ve sonuçta kromozom gösteriminin de EATÇP'nin çözüm başarısında önemli rol oynadığını belirtmişlerdir.

Ong ve ark. (2005), tekrar işlemeli EATÇP için ClonaFLEX olarak adlandırılan, klonal seçim mekanizmasına dayalı olarak çalışan bütünlük yaklaşımlı bir algoritma geliştirmiş ve kıyaslama problemlerinde başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Gao ve ark. (2006), EATÇP için makinelerin bakımlarını da göz önüne alarak çizelgeleme yapan melez bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Genetik algoritmanın içinde kullanılan yerel aramada, sadece çizelgeyi daha da geliştirmesi muhtemel hareketleri içeren kritik yol kavramına dayalı iki adet etkili komşuluk mekanizması tanımlamışlardır.

Ho ve ark. (2007) çalışmalarında EATÇP için, evrimleşme ve öğrenme arasındaki etkileşimi sağlayan Öğrenebilir Genetik Mimari (Learnable Genetic

Architecture (LEGA)) önermişlerdir. LEGA elitist seçim ve mutajen genetiğe dayalı klasik evrimsel algoritmaların tersine, önceki nesillerden şema öğrenme modülü yardımıyla bilgi toplamakta ve bu bilgiyi gelecek nesillerin çeşitliliğini ve kalitesini artırmada kullanmaktadır. Kıyaslama problemleri ile yapılan deneyler bu yaklaşımın klasik evrimsel yaklaşımlara göre daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Fattahi ve Mebrahad (2009), atölye tipi çizelgeleme problemlerine yeni bir yaklaşım olarak örtüşen operasyonları da dikkate alan bir çizelge ortaya koymuşlardır. Bu çözüm yaklaşımında tavlama benzetimi algoritmasını kullanarak literatüre sundukları problemlerin çözümünü yapmışlardır.

Gholami ve Zandieh (2009), dinamik EATÇP için benzetim ve genetik algoritma yaklaşımlarını bütünleştirmiştir. Literatürdeki çalışmaların çoğunda göz önünde bulundurulmayan, makinelerin sürekli olarak hazır olamaması (bozulma, bakım v.b. nedenlerle) veya işlerin kesintiye uğraması durumları gibi gerçek hayatta karşılaşılan durumlar da rastsal olarak modele dahil edilmiştir. Benzetim sonuçları incelendiğinde, makinelerin ortalama tamir süresinin ve makinelerin ortalama arızalanma seviyesinin çizelgeleme verimi üzerinde çok önemli etkiye sahip oldukları tespit edilmiştir.

Xing ve ark (2009), tüm işlerin tamamlanma zamanı, makinelerin toplam çalışma süresi ve en büyük iş yüküne sahip kritik makinedeki iş yükünü en küçükleyen çok amaçlı EATÇP için etkili bir arama yöntemi geliştirmiştir. Çalışmasında öncelikle işlemleri en küçük işlem zamanlı makineye atamaya çalışırken, aynı zamanda işlemleri en boş makineye de atamaya çalışan ve önceki çalışmalarda elde edilen deneysel sonuçları göz önüne alarak geliştirdikleri bir yöntem kullanmışlar, küçük ve büyük ölçekli gerçek hayat problemlerinde en iyi veya en iyiye yakın sonuçlar elde etmişlerdir.

Zhang ve ark (2009), çok amaçlı EATÇP’de kritik yol üzerindeki işlemlerin sıralamasını veya işlendiği makineleri değiştirmek suretiyle kritik yolu değiştiren darboğaz kaydırma sezgiseli ile genetik algoritma yaklaşımını melezleştirmişler ve bazı kıyaslama problemlerinde diğer algoritmalara göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Bagheri ve ark (2010), yaptıkları çalışmada EATÇP için bütünleşik yaklaşımlı yeni bir yapay bağışıklık sistemi yaklaşımı geliştirmiş, literatürdeki test problemlerinde uygulamış ve literatürdeki diğer yaklaşımlarla karşılaştırarak YBS’nin EATÇP için iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Guohui ve ark (2010), EATÇP için tabu arama ve genetik algoritma yaklaşımlarını melezlemişlerdir. Genetik algoritmanın ilerlemesi sırasında, tabu aramaya dayalı bir yerel arama yöntemi algoritmaya dahil edilmiştir.

Yazdani ve ark (2010), EATÇP için rastsal bir yerel arama yöntemi kullanan fakat algoritmanın yerel eniyilere takılmasını önlemek için kötü çözümlere de izin veren tavlama benzetimi algoritması geliştirmişlerdir.

Üretim çizelgeleme problemlerinin çoğu; makinelerin sürekli mevcut olduğunu varsayan standart esnek atölye tipi iş çizelgeleme problemlerini içerir. Ancak; gerçek durumlarda makineler, önleyici bakım faaliyetleri nedeniyle kullanılamaz hale gelebilir. Wang ve Yu (2010) makine kullanım kısıtlamaları ile esnek atölye tipi iş çizelgeleme problemlerini ele almışlardır. Bakım faaliyetleri ile FJSP problemlerinin çözümü için, filtrelenmiş ışın arama tabanlı bir sezgisel algoritma önerilmiştir. Benzetim deneyleri, bazı tasarım problemlerinde uygulanmıştır. Sonuçlar filtrelenmiş ışın arama tabanlı sezgisel algortmanın bakım faaliyetli FJSP için kalıcı ve etkili bir yaklaşım olduğunu göstermiştir.

Zhang ve ark (2011), esnek atölye tipi iş çizelgeleme problemleri çözümü için etkin bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Önerilen algoritmada, başlangıç aşamasında yüksek kaliteli başlangıç popülasyonu üretmek için bölgesel ve yerel aramalar tasarlanmıştır. Gelişmiş bir kromozom gösterimi, FJSP'nin uygun bir çözümünü temsil etmek için kullanılmıştır. Çaprazlama ve mutasyon operatörü için farklı stratejiler kullanılarak arama yapılmıştır. Literatürden alınan verilerle test edilen algoritmanın etkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Birgin ve ark. (2013), FJSP için karma tamsayılı lineer bir program (MILP-Mixed Integer Linear Program) geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri program üzerinde bizimde çalışmamızda kullandığımız verileri kullanarak, literatürdeki bir çalışma ile karşılaştırmışlardır. Bulunan sonuçlar aynı olmakla beraber tamamlanma zamanında kısaltmalar olduğunu belirtmişlerdir.

Demir ve İşleyen (2014), örtüşen işlemleri dikkate alan bir çizelgeleme için etkili bir genetik algoritma ortaya koymuşlardır. İlk olarak bir matematiksel model geliştirerek bu modelin sonuçlarını literatürdeki çalışmaların sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Gerçek bir problem için matematiksel model kullanarak optimal sonuca ulaşmanın zor olacağını görerek geliştirdikleri etkili bir kromozom yapısına sahip genetik algoritma ile literatür problemlerini çözerek önemli sonuçlar almışlardır.

Abdelmaguid (2015), ayrılabilir sıra bağımlı hazırlık sürelerine sahip esnek atölye tipi çizelgeleme için bir komşuluk arama fonksiyonu geliştirmiştir. Bu çalışma literatürde var olan ve Mastrolilli ve Gambradella tarafında geliştirilen algoritmanın bir uzantısı olarak ortaya konmuştur.

2.2. Dağınık Arama Metodu İle İlgili Literatür Çalışmaları

Nowicki ve Smutnicki (2006); akış tipi çizelgeleme problemleri için dağınık arama algoritması geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritma literatür problemleri üzerinde test edilmiştir. Yapılan test sonuçları bilinen en iyi sonuca ulaşma süresi bakımından algoritmanın etkili olduğunu göstermiştir.

Haq ve ark (2007), genel akış tipi çizelgeleme problemleri için bir dağınık arama algoritması geliştirmişlerdir. DAM'ın farklılaştırma ve iyileştirme prosedürünün çözüme ulaşmada çok geniş ve etkili bir yöntem olduğu vurgulanan çalışmada, aynı metot ile daha önce yapılmış bir çalışma karşılaştırılarak daha iyi sonuçlar alınmıştır.

Rao ve Lakshmi (2008), kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin çözümü için çok amaçlı bir dağınık arama metodu geliştirmişleridir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde aynı alandaki genetik algoritma, Evrimsel Pareto stratejisi ve Mikro genetik algoritmadan daha iyi sonuçlar ortaya koymuştur.

Mansour ve ark (2009), sınav çizelgeleri için bir dağınık arama metodu geliştirmişlerdir. Geliştirilen metot gerçek veriler ile bir üniversitenin sınav programı üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde mevcut manuel yapılmış çizelgeden çok daha iyi sonuç çıkardığı görülmüştür.

Tang ve ark (2010), yükleme maliyetli araç rotalama problemlerinin çözümü için bir dağınık arama algoritması geliştirmişlerdir. Geleneksel araç rotalama problemleri yanı sıra yükleme maliyetini de dikkate alarak oluşturulan problemlerin ve literatürdeki araç rotalama problemleri ile ilgili problemlerin çözümünde ortaya çıkan sonuçların çoğunda önerilen algoritma diğerlerine üstünlük kurmayı başarmıştır.

Nasiri ve Kianfar (2011), kısmi atölye tipi çizelgeleme problemleri için, karışık doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Tabu arama metodu ile dağınık arama algoritmasının birleştirilmesi ile oluşturulan model, atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde C_{max} değerinin en aza indirilmesi amacıyla kullanılmış literatürdeki diğer çalışmalara göre daha etkili olduğu ortaya konmuştur.

Sadiq ve Mohammed (2012), atölye tipi çizelgeleme problemleri için toplam tamamlanma zamanının minimize eden gelişmiş bir dağınık arama algoritması ortaya koymuşlardır. Ortaya koydukları 20 örnek problem üzerinde yapılan testlerde, algoritmanın etkili olduğu iddia edilmiştir.

Pendharkar (2013) interaktif çok amaçlı optimizasyon problemi için bir dağınık arama temelli algoritma geliştirmiş ve kömür üretim planlaması için örnek bir çalışma yapmıştır.

Naderi ve Ruiz (2014), permütasyon akış tipi çizelgeleme problemleri için bir dağınık arama algoritması ortaya koymuşlardır. İlgilendikleri problemin iki boyutu vardır. Bunlar her işin işlem merkezlerine atanması ve atanan işlerin çizelgelerinin belirlenmesidir. Literatürde birçok yöntem olmasına rağmen, dağınık aram metodu kullanılarak işlem sürelerini en aza indirmek istenilmiştir.

González ve ark (2015), esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri için dağınık arama metodunu kullanarak bir algoritma geliştirmiş ve literatürdeki problemleri kullanarak, yöntemin etkili olduğunu göstermiştir.

Guo ve Tang (2015) sıra bağımlı kurulum zamanlı toplam ağırlıklı gecikme çizelgeleme problemi için bir dağınık arama metodu geliştirmişlerdir. Popülasyonu farklılaştırma için, hem rastsal strateji tabanlı sezgisel hem de yapısal sezgisel geliştirmişlerdir. Popülasyonu iyileştirme için ise komşuluk arama tabanlı bir yerel arama prosedürü ortaya koymuşlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Üretim Çizelgeleme

Çizelgeleme, geçen yüz yılın başında Henry Gantt ve diğer öncülerin çalışmaları ile ciddiye alınmaya başlanmış; ancak endüstri mühendisliği ve yöneylem araştırması literatüründe yer alması uzun yıllar sürmüştür (Pinedo 2011). Çizelgeleme, bir ya da daha fazla amacı optimize etmek için kaynakların, işlemlere zamana dayalı olarak tahsis edilmesidir (Pinedo 2011).

Bir karar verme süreci olarak çizelgeleme, birçok üretim ve hizmet sektöründe hem de çoğu bilgi işlem sürecinde, çok önemli bir rol oynamaktadır (Pinedo 2011). Üretim sistemlerinde, üretimi gerçekleştirmek için birçok farklı kaynağa ihtiyaç duyulur. Bunun yanında, kaynakların miktarı ve işlerin yetiştirilmesi için gerekli olan zaman oldukça kısıtlıdır. Bu kısıtlar çerçevesinde, işlerin yetiştirilmesi gereken zaman, o işlerin belirli bir sıraya alınmasını gerektirir. Bütün bu kısıtlar çerçevesinde gerçekleştirilen çizelgeleme işlemi oldukça karmaşık bir süreçtir. Üretim tesisleri hammadde temininden ürünün müşteriye ulaşmasına kadarki süreçte gerçekleştirdikleri faaliyetlerde üretim çizelgelerini kullanırlar. Bu çizelgeler faaliyetleri kontrol ve koordine eder.

Bir üretim çizelgesi kaynak çatışmalarını tanımlar, işlerin atölyeye gelişlerini kontrol eder, ihtiyaç duyulan hammaddenin zamanında sipariş edilmesini sağlar, sipariş teminatlarının karşılanıp karşılanamayacağına karar verir ve önleyici bakım için gerekli zaman aralıklarının belirlenmesini sağlar (Herrmann 2007).

Üretim çizelgelemede iki anahtar problem önceliklendirme ve kapasitedir. Bir başka deyişle, “İlk hangi iş yapılacaktır?” ve “Bu işi kim yapacaktır?” (Herrmann 2007).

Bitran ve Tirupati (1989)’a göre üretim çizelgeleme, ürün veya hizmet üretimi için kaynakların tahsisi ve işlerin sıralanması ile ilgilenir. Çizelgeleme, aşağıdaki sorunlarla ilgilenir (Brucker 2007):

- Hangi iş merkezi hangi işi yapacaktır?
- Bir işlem/iş ne zaman başlayacaktır ne zaman bitecektir?
- İş hangi donanım ile, kim tarafından yapılacaktır?
- İşlemlerin/işlerin sıralaması ne olacaktır?

Herrmann (2007)'a göre çok karmaşık bir yapıya sahip olmasından dolayı çizelgeleme üç farklı açıdan ele alınabilir:

- Problem çözümü açısından bakıldığında, çizelgeleme bir eniyileme problemidir. Çizelgeleme, üretim planlama ve kontrol alanından izole edilerek, kombinatorial eniyileme problemi olarak modellenip, çözülmeye çalışılır.
- Karar verme açısından bakıldığında çizelgeleme, kişinin alması gereken bir karardır. Çizelgeleme yapan kişi, bunu başarmak için resmi ve gayri resmi bilgileri kullanarak çok çeşitli faaliyetleri yerine getirir. Çizelgeleme yapan kişi belirsizlikleri vurgulamak, darboğazları yönetebilmek ve insanların neden olduğu problemleri önceden sezebilmek durumundadır.
- Kurumsal açıdan bakıldığında çizelgeleme, üretim planlama ve kontrol sistemindeki karmaşık bilgi akışı ve karar-verme akışının bir parçasıdır.

3.1.1. Çizelgeleme türleri

Çizelgelemeye etki eden faktörler üç temel başlık altında incelenebilir (Brucker 2007):

- Tesis Yerleşimi Türü,
- Atölye Yapısı,
- Amaç Fonksiyonu.

Atölye yapısı

İşlerin çizelgelenmesi ve bunun nasıl yapılacağı, atölyenin yapısı ile yakından ilgilidir. Bir tesisteki atölyelerin yapısı, 3 ana başlık altında incelenebilir (Brucker 2007):

- Atölyelerdeki Makine Sayısına Göre,
- İşlerin Atölyede Akış Şekline Göre,
- İşlerin Atölyeye Gelişine Göre.

Atölyedeki makine sayısı, bir ya da birden fazla makine sayısı olarak iki grupta incelenir. Tek makineli atölye, bütün atölye sistemlerinin en basit halidir. Karmaşık yapıdaki çok makineli sistemleri kavrayabilmek için bu modeli iyi bilmek gerekir.

Çok makineli sistemler de atölyede birden fazla makinenin olduğu durumlardır. Bu makineler seri ya da paralel halde bulunabilir. Paralel halde bulunan makineler aynı işi aynı sürede ve özellikte yapıyorlarsa bu makinelere paralel özdeş makineler, farklı sürelerde yapıyorlarsa farklı hızda paralel özdeş makineler denir.

İşlerin atölyedeki akış durumuna göre atölye yapıları; akış tipi, atölye tipi, esnek atölye tipi ve açık atölye olmak üzere 4'e ayrılır (Aladağ 2010). Sistemin dinamik ya da statik olması işlerin atölyeye gelişine göre değişir. Eğer sistem statik ise çizelgelenecek işler zamanla değişmiyor demektir. Bu da sistemin daha kolay kontrol edilebilmesini sağlamaktadır. Çizelgelenecek işler zamanla değişiklik gösteriyorsa o zaman sistemin dinamik olduğu söylenir. Dinamik çizelgeleme, öncelik kurallarının kullanılmasına dayanır. Dinamik çizelgelemede kullanılan öncelik kurallarının statik çizelgelemedeki kurallardan farkı, işlerin değişmeyen özelliklerinin (işlem süresi veya teslim tarihi gibi) değil; süreç içinde değişen özelliklerinin (kalan işlem zamanı gibi) esas alınmasıdır (Brucker 2007).

Amaç fonksiyonu

Çizelgeleme problemleri ulaşılması istenen bir kıstasa göre formüle edilir. Bu kıstaslar amaç fonksiyonu olarak çizelgenin türünü belirler. Çizelgenin verimliliğini ölçmek için yaygın olarak kullanılan kıstasların bazıları; tamamlanma zamanı, toplam akış zamanı, ağırlıklı toplam akış zamanı gibi ölçütlerdir (Brucker 2007). Bu ölçütlerden bazılarının açıklaması aşağıda verilmiştir:

Tamamlanma Zamanı (Makespan (C_{enb})): Sistemdeki son işin tamamlanıp sistemden çıktığı süre olarak ifade edilir. Sistemdeki makine kullanım verimliliğini artırarak en kısa sürede işlerin tamamlanması amaçlanır.

Akış Süresi (Flow Time(F_j)): Kriter olarak işlerin sisteme girdiği an ile sistemi terk ettiği an arasındaki zaman farkı olarak tanımlanabilecek işlerin, sistemde kalış süresi (F_j) esas alınır.

Geç Kalma Süresi (Lateness (L_j)): İşlerin teslim zamanları ile tamamlanma zamanları arasındaki farkı ifade eder. Geç Kalma Süresi planın teslim tarihinden sapmasını kontrol eder. Eğer pozitifse iş gecikmiş ve teslim zamanında yetiştirilememiş, negatifse iş teslim zamanından önce bitirilmiş demektir. $L_j = C_j - d_j$

Gecikme (Tardiness (T_j)): İşler teslim zamanında bitirilememişse, ne kadar süre geciktiğini ifade eder. $T_j = \max(0, L_j)$

Geciken İş Sayısı (N_T) : Teslim edilmesi gereken tarihte teslim edilemeyen iş sayısı da başarı ölçütü olabilir. Yapılan planların başarı veya başarısızlığını ölçebilmek için başarı ölçütü olarak yukarıda açıklanan ölçütler veya belirlenecek daha başka ölçütler de kullanılabilir.

3.1.2. Çizelgeleme problemlerinin gösteriminde kullanılan yöntemler

Bütün çizelgeleme problemlerinde işler ve makineler sonludur. Makine sayısı m ve iş sayısı ise n ile gösterilir. Genel olarak j indisi bir işi, i indisi ise bir makineyi ifade eder. Eğer bir iş çeşitli işlem adımlarından oluşuyorsa, j işinin i makinesinde gördüğü işlemi ifade etmek için (i, j) ikilisi kullanılır. İş ile ilgili diğer parametreler aşağıda verilmiştir (Clifford 2015):

- İşlem Süresi (Processing Time (p_{ij})): p_{ij} , j işinin i makinesindeki işlem süresini ifade eder.
- Serbest Bırakma Zamanı (Release Date (r_j)): j işinin sisteme geldiği ve işlemeye hazır olduğu zamanı ifade eder.
- Son Teslim Zamanı (Deadline (d_j)): İşin tamamlanıp, teslim edilmesi gereken zamanı ifade eder.
- Ağırlık (Weight (w_j)): Bir işin diğer işlere göre önceliğini belirlemek için kullanılır.

Çizelgeleme problemleri literatürde $\alpha / \beta / \gamma$ notasyonu ile ifade edilmektedir. Problemin karakteristik özelliklerini barındıran bu gösterimde; α simgesi makine sayısını gösterir ve yalnız bir değer alabilir. α alanında tanımlanan makine ortamlarını, tek makine, paralel makineler, akış tipi ve atölye tipi ortamlar olarak sıralayabiliriz. β alanı çizelgeleme kısıtları ve işleme özellikleri ile ilgili genel bilgilerin verildiği alandır. Bu alanda hiç girdi olmayabilir veya birçok girdi olabilir. γ alanı ise çizelgelemenin amaç fonksiyonunu gösterir. Tüm bunları dikkate aldığımızda, esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için tamamlanma zamanı amaç fonksiyonu olarak belirlendiğinde bizim çalışmamızın formülasyonu $FJc \mid \mid C_{max}$ şeklinde gösterilebilir. FJc ; Esnek atölye tipi ortamı, β alanının boş olması herhangi bir kısıtın olmadığını ifade eder, C_{max} ise amaç fonksiyonunu yani toplam tamamlanma zamanını ifade eder.

Matematiksel yöntemler

Çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan yaklaşımlar, en iyi çözümü garanti eden matematiksel yöntemler ve en iyi çözümü garanti etmeyen sezgisel yöntemler olmak üzere iki ayrı grupta ele alınabilir (Jain ve Meeran 1999).

Çizelgeleme problemlerinde en iyi çözümü garanti eden teknikler matematiksel yöntemlerdir, yalnız kullanılması pratikte zordur. Doğrusal programlama ve dal sınır teknikleri en önemli eniyileme yaklaşımlarıdır. Doğrusal programlama teknikleri ile problemler modellenip çözümü araştırılabilir. Fakat çizelgeleme problemlerinin büyük ve karmaşık olması nedeniyle uygulanması zordur.

Sezgisel yöntemler

Çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan ve yukarıda bahsedilen eniyileme teknikleri, en iyi çözümü garanti ederler; fakat problemin boyutu arttıkça uygulanmaları da zorlaşmaktadır. Buna paralel olarak problemin çözüm süresi de problemin boyutuna göre artmaktadır. Bu çözüm sürecini hızlandıracak yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple daha karmaşık problemlerin çözümünde kullanılabilecek, en iyi çözümü garanti etmese de ona yakın sonuçlar ortaya koyacak yöntemler üretilmektedir.

a. Darboğaz kaydırma teknikleri

Adams, Balas ve Zawack tarafından geliştirilen Darboğaz Kaydırma Sezgiseli, çizelgedeki darboğazları belirleyerek bu darboğazların çizelge üzerindeki etkisini en aza indirmek suretiyle yeniden çizelgeleme yapmaktadır.

Bu yöntemde başlangıçta problem tek makine problemi olarak ele alınmaktadır. Her makine için kısmi çizelgeler oluşturularak darboğazlar tanımlanmakta ve darboğazlar ortadan kaldırılmaktadır. Darboğazlar bitinceye kadar ve daha iyi sonuç elde edilmeyene kadar bu süreç devam ettirilmektedir.

b. Öncelik kuralları

Çizelgelenecek işler, ulaşılmak istenen amaca göre bazı kurallar çerçevesinde çizelgelenir. Örneğin işler teslim sürelerini geçirmeden zamanında teslim edilmek isteniyorsa, teslim süresi önce olana öncelik verilmesi gerekir. Yapılan araştırmalar

göstermiştir ki atölye tipi problemlerde öncelik kurallarının kullanımı, en iyi çözümü garanti etmemekle birlikte, iyi çizelgeler elde etmek için pratik bir yöntemdir (Baker 1974). Aşağıda öncelik kurallarının kısa bir listesi yer almaktadır. Problemin amaç fonksiyonuna göre öncelik kuralları belirlenebilir.

En Kısa İşlem Zamanı (EKİZ) (Shortest Processing Time)	En kısa işlem süresine sahip iş önce seçilir.
En Uzun İşlem Zamanı (EUİZ) (Longest Processing Time)	En uzun işlem süresine sahip iş önce seçilir.
En Uzun Kalan İşlem Zamanı (EUKİZ) (Most Work Remaining)	Kalan toplam işlem süresi en fazla olan iş önce seçilir.
En Az Kalan İşlem Zamanı (EAKİZ) (Least Work Remaining)	Kalan toplam işlem süresi en az olan iş önce seçilir.
Kalan En Fazla Operasyon Sayısı (KEFOS) (Most Operations Remaining)	Kalan toplam operasyon sayısı en fazla olan iş önce seçilir.
Kalan En Az Operasyon Sayısı (KEAOS) (Least Operations Remaining)	Kalan toplam operasyon sayısı en az olan iş önce seçilir.
En Erken Teslim Tarihi (EETT) (Earliest Due Date)	En erken teslim tarihine sahip olan iş önce işlem görür.
İlk Gelen İlk Çıkar (İGİÇ) (First In First Out)	Sisteme ilk önce gelen iş ilk önce işlem görür.
Rastgele (Random)	Operasyon seçimi rastgele yapılır.

Şekil 3.1. Öncelik kuralları (Gen ve Cheng 1997)

c. Yerel arama ve yapay zeka teknikleri

Başlangıç çizelgesinden hareketle, çizelgedeki işlerin yerlerinin belirli kurallara göre değiştirilmesiyle yeni çizelgeler elde edilir ve bu süreç belli bir ölçüt sağlanıncaya kadar devam ettirilir, ardından algoritma sonlandırılır. En son elde edilen çizelge nihai çizelge olarak kullanılır. Atölye tipi çizelgeleme başta olmak üzere çizelgeleme alanında en çok kullanılan yöntemlerin bazıları; genetik algoritmalar, rastsal arama, tavlama benzetimi, tabu arama, karınca kolonisi yaklaşımı, yapay bağışıklık sistemi, parçacık sürüsü algoritmasıdır. Bu algoritmalar tek başlarına kullanılabilecekleri gibi birleştirilerek melez algoritma halinde de problemlerin çözümünde kullanılmaktadır.

3.1.3. Esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri

Çizelgeleme problemleri çok geniş bir alanda sürekli karşılaşılan problemlerdendir. Bu problemlerin çoğu karmaşık ve zordur. Atölye tipi çizelgeleme problemleri de NP-zor olarak adlandırılan problemler arasındadır. Atölye tipi çizelgelemenin amacı çoklu makine ortamında istenen amaç kıstasına göre iş ve işlem sırasını belirlemektir. Klasik atölye tipi problemlerde n adet iş m adet makinede işlenirken, esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinde bir işlemin birden fazla makinede işlem görebileceği c adet iş merkezi bulunmaktadır. Makineler birbirinden farklıdır. Her makine işlemler öncesinde hazırdır. Her işin işlem sırası bellidir. Makinelerin arıza yapmaksızın çalıştığı varsayılmaktadır.

Teknolojinin gelişmesi, küresel rekabet ortamı ve diğer etmenler nedeniyle müşteri taleplerine hızlı cevap verme açısından çizelgelemenin önemi günümüzde oldukça artmış durumdadır. Bu değişen koşullar nedeniyle daha esnek üretim sistemlerine ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Esnek atölye tipi çizelgeleme klasik atölye tipi çizelgelemede yer alan makinelerle özdeş makinelerin eklenmesiyle ortaya çıkmış çizelgeleme tekniğidir. Esnek atölye tipi çizelgeleme, klasik atölye tipi çizelgeleme problemlerinde yapılan işlemlerin yanı sıra özdeş makinelerden dolayı hangi işin hangi makinede işlenmesine de karar verir. Bu nedenle esnek atölye tipi çizelgeleme, klasik atölye tipi çizelgelemenin bütün zorluklarını ve karmaşıklığını barındırmanın yanı sıra işlemlerin makinelere atanması sorunu da söz konusu olduğundan çok daha karmaşık bir problemdir (Fattahi ve ark 2007). Bir de işlerin işlendiği makineye tekrar dönmesi söz konusu olduğunda problemin karmaşıklığı oldukça artmaktadır.

Esnek atölye tipi çizelgelemede iki temel problem karşımıza çıkmaktadır. Bunlar, rotalama problemi diyebileceğimiz işlerin hangi sırada işleneceğinin belirlenmesi ve atama problemi diyeceğimiz işlerin hangi makinede işleneceğinin belirlenmesi problemidir. Bu iki alt problem altında çözüm yaklaşımları hiyerarşik ve bütünleşik olmak üzere ikiye ayrılır:

i. Hiyerarşik yaklaşım

EATÇP'nin içerdiği iki temel problem; işlerin makinelere atanması ikincisi ise işlem sıralarının belirlenmesidir. Hiyerarşik yaklaşımda bu iki problem ayrı ayrı olarak çözülür ve daha sonra bu iki çözüm birleştirilmektedir. Bu iki problem

çözümlemlerinde birbirlerine müdahil olmamaktadırlar. Bu yaklaşımı ilk defa Brandimarte (1993) kullanmıştır.

ii. Bütünleşik yaklaşım

Bu yaklaşımda, hiyerarşik yaklaşımda ayrı ayrı çözümlenen işlerin sırasının ve atandığı makinelerin belirlenmesi aynı anda gerçekleşmektedir. Buna göre önce işlerin sırası ve bu işin yapılacağı makine belirlenmektedir.

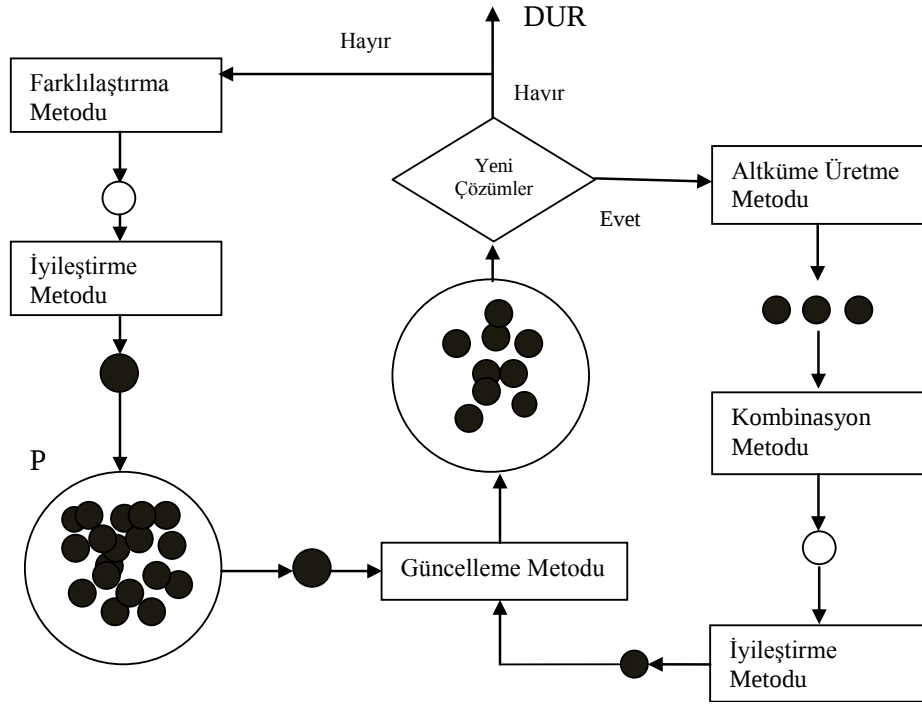
3.2. Dağınık Arama Metodu

Evrimsel bir yaklaşım olan dağınık arama metodu, kompozit karar kurallarını ve kısıtları üreten stratejilerden oluşur (Engin ve Oktay 2006). Konuyla ilgili yapılan çalışmaların incelendiği literatür taraması kısmında da bu yöntemin avantajları görülmektedir. DAM, ilk olarak çok amaçlı optimizasyon problemleri için çok fazla meta sezgiselin olmaması, ikinci olarak ta kalite ve farklılıklarına göre çözümlerin Referans Kümesi (R) olarak adlandırılan bir kümeye eklenmesi bakımından yenilikçi bir yaklaşımdır. DAM'ın iki temel özelliği vardır (Fleurent ve ark 1996):

- Optimal çözümler hakkındaki gerekli bilgilerin elit çözümlerin farklılaştırılmasından elde edilmesi,
- Çözümleri birleştirirken hem kaliteyi hem de farklılığı birleştirmesi ve birçok çözümü eş zamanda ele alarak elit çözümler elde etmesidir.

İlk olarak 70'li yılların başında geliştirilen DAM, yeni çözümler üretmek için çözümleri referans kümesi olarak adlandırılan bir kümede birleştirir. Bu kümedeki çözümler içerisinde iki ya da daha fazla alt küme seçilerek yeni çözümler oluşturulur. Oluşturulan alt kümelerdeki çözümlere kombinasyon metodu ardından iyileştirme metodu uygulanarak bulunan çözümler referans kümesi içindeki çözümler ile karşılaştırılarak daha kötülerini ile değiştirilir.

Genel olarak Dağınık Arama Metodunun akış diyagramı Şekil 3.2.'de aşağıdaki gibi gösterilmiştir (Sagarna ve Lozano 2006):



Şekil 3.2. Dağınık arama metodu (Sagarna ve Lozano 2006)

DAM akış diyagramı incelendiğinde, DAM'ın iki farklı küme üzerinden çalıştığı görülmektedir. İlk olarak farklılaştırma metodu ile çözüme kısa sürede ulaşmak için kaliteli bireylerden oluşan başlangıç popülasyonu kümesi (P) oluşturulur. Başlangıç popülasyonu kümesinin alt kümesi olan referans kümesinin (R) elemanları ise, başlangıç popülasyonu içerisindeki bireyler içerisinde belirlenen amaç fonksiyonuna göre en iyilerin seçilmesi ile oluşur. Referans kümesindeki bireylerden belirli parametre değerine göre alt kümeler oluşturulur. Oluşturulan alt kümelerdeki bireyler kombinasyon prosedürü olarak adlandırılan ve çaprazlama ve mutasyon yöntemleriyle yeni bireylerin oluşturulmasına imkan veren bir prosedüre tabi tutulur. Kombinasyon prosedüründen sonra oluşan bireyler referans kümesindeki daha kötü bireyler ile değiştirilerek referans kümesi güncellenir. Oluşturulan bireyler daha iyi değilse farklılaştırma prosedürü referans kümesine yeni bireyler getirmekle sorumludur. Algoritma kullanıcı tarafından belirlenen maksimum iterasyon sayısına ulaştığında ya da farklılaştırma boş olduğunda sonlanır. Kombinasyon metodundan sonra ise çözümleri iyileştirmek için iyileştirme metodu devreye girer, böylece hem farklı hem de iyi bireyleri birleştirmek için referans kümesi güncellenir. Bu adımlar sonlanma kriterine ulaştığında son bulur.

Dağılık arama metodunun yukarıda anlatıldığı adımları özetleyen prosedür aşağıda gösterilmiştir (Cano ve ark 2004);

***Prosedür ardışık dağılık arama
başla***

tekrar

Popülasyon oluştur;

Referans kümesini üret;

tekrar

tekrar

Altkümeleri seç;

Altkümeleri birleştir;

Bileşenleri iyileştir;

Sonlanma kriteri1'e kadar;

Referans kümesini güncelle;

Sonlanma kriteri2'ye kadar;

Sonlanma kriteri3'e kadar;

son

Etkin çözüme kısa sürede ulaşmak için, başlangıç popülasyonu iyi bireylerden oluşmalıdır. Çeşitli yöntemlerle başlangıç popülasyonu oluşturularak, daha iyi bireyler elde etmek için kombinasyon ve iyileştirme metodu uygulanır

Dağılık arama metodu, referans kümesinin nasıl güncelleneceğini, ne zaman değişmeyeceğini, ne zaman farklılaştırma kümesi için yeni bireyler üreteceğini bilmesi gerekir. Yukarıdaki izlek içerisinde yer alan sonlanma kriterlerinin de belirlenmiş olması gerekmektedir.

DAM'ın adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Cano ve ark 2004);

1. Özgün bir başlangıç popülasyonunu oluştur,
2. Popülasyondan referans kümesini oluştur,
3. Referans kümesinden bir altküme seç,
4. Altkümeyle bir kombinasyon prosedürü uygula,
5. Kombinasyonlara iyileştirme uygula,
6. Sonuçlara göre referans kümesini güncelle,
7. Yeni referans kümesi gerekinceye kadar 3 den 6 ya adımları tekrarla,
8. Bir popülasyon gerekinceye kadar 2 den 7 ye adımları tekrarla,
9. Sonlanma kriteri gerçekleşinceye kadar 1 den 8 e adımları tekrarla.

DAM temel olarak 4 bileşen ile tanımlanabilir (Sonuç 2008);

1. *Farklılaştırma Metodu*; başlangıç popülasyonu oluşturmak için iyi ve farklı bireyler üretir.
2. *İyileştirme Metodu*; yeni bireyleri iyileştirmek için uygulanan metottur.
3. *Referans Küme Güncelleme Metodu*, daha iyi bireylerin referans kümesine dahil edilerek, kötü bireyleri referans kümesinden çıkaran metottur.
4. *Altküme Oluşturma Metodu*, referans kümesindeki bireylerden alt kümeler oluşturur.
5. *Kombinasyon Metodu*, yeni birey oluşturmak için alt kümedeki bireyleri birleştirir.

Bu prosedürlerin yanında sonlanma kriterleri de aşağıda açıklanmıştır (Cano ve ark 2004);

1. *Yeni Referans Küme Kriteri*; popülasyondan ne zaman yeni referans kümesinin oluşturulacağı kararını içerir.
2. *Yeni Popülasyon Kriteri*; yeni başlangıç popülasyonunun ne zaman oluşturulacağı kararını içerir.
3. *Sonlanma Kriteri*; tüm arama işleminin ne zaman sonlanacağı kararını içerir.

EATÇP'nin DAM ile çözümünün anlatımı aşağıdaki bu çalışma için oluşturulan örnek bir problem üzerinden gerçekleştirilecektir. Söz konusu örnek; 2 işten, 6 işlemden ve 5 farklı makineden oluşmaktadır. Her işlem için işlenebildiği alternatif makinelerdeki işlem süreleri de çizelgede yer almaktadır. İlerleyen bölümlerde, kodlama gösterimi, başlangıç popülasyonu oluşturma konularında da bu örnek üzerinden açıklama yapılacaktır.

Örnek problemin detayları aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir:

Çizelge 3.1. Örnek problem verileri

İş	İşlem	M1	M2	M3	M4	M5
J1	1-1	3	2	4	3	5
J1	1-2	5	3	4	6	8
J1	1-3	4	6	5	5	3
J2	2-1	3	5	4	3	4
J2	2-2	6	5	8	5	6
J2	2-3	6	9	4	6	5

3.2.1. Kodlama

Evrimsel bir metot olan dağınık arama metodunda, birey olarak adlandırdığımız her bir çözümün gösterimi için kullanılan çizelge ya da başka bir ifadeyle kromozom; iş, işlem ve makine gösterimini tek bir yapıda gösterecek şekilde tasarlanmıştır. Bu yapıdaki bir kromozom kodlaması mümkün olan tüm çözüm kümesini kapsamakta ve makine atamaları ve çizelgeleme kararlarını tek bir gen üzerinde temsil etmektedir (Pezzella ve ark 2008).

EATÇP’de aynı işe ait operasyonlar arasında öncelik sırası bulunduğu kodlama sırasında bu sıra her zaman göz önünde bulundurulur (Meto 2013). Çizelge 3.1.’de gösterilen kromozom yapısında ilk satır işlem sırasını göstermektedir. İkinci satır ise seçilen işlem için alternatif makineler içerisinde seçilen makine atamasını göstermektedir. Söz konusu iş, 2 işten ve 6 işlemden oluşmaktadır. 1. iş ve 2. iş’e ait 3’er adet işlem bulunmaktadır. EATÇ’nin yapısı gereği bu işlemler arasındaki öncelik sırasına göre kromozom oluşturulmalıdır.

Çizelge 3.1.’de işlem sırasında yer alan 2-1 ifadesi, 2. işin 1. işlemini göstermektedir. 2-1 işlemi için ise, makine ataması satırında hangi makinede işlendiğini gösteren ifade yer almaktadır. 2-1 işlemi 1. makinede işlem görecektir. Bu iki ifade birlikte kromozom yapısı içerisinde bir geni ifade etmektedir.

Kromozomun işlem sırası kısmında yer alan işlemler öncelik sırası gözetilerek yerleşmiş olmalıdır. Yine bu öncelik sırasına göre aynı makinede işlenmesi gereken işlemlerden hangisi öncelikli ise o ilk olarak söz konusu makinede işlenecektir. Örneğin 2. sırada yer alan 1-1 işlemi, ilk sırada yer alan 2-1 işleminden bağımsız olsa da, ikisinin de işlenecekleri makinenin de 1. makine olması nedeniyle 1-1 işlemi kendisinden önce olan 2-1 işleminin 1. makinede işlenmesinden sonra işlenebilecektir.

Çizelge 3.2. Kullanılan kromozom gösterimi

İşlem Sırası	2-1	1-1	2-2	1-2	1-3	2-3
Makine Ataması	1	1	5	4	2	5

3.2.2. Başlangıç popülasyonun oluşturulması

Başlangıç popülasyonu oluşturma, çözüme ulaşma ve çözüm kalitesi açısından evrimsel algoritmalar için önemli bir etkiye sahiptir. Çalışmamızda her işin uygun

makineye atanması yoluyla gerçekleşecek, işlem sürelerini ve makinelerin iş yükünü de dikkate alacak bir metot kullanılmıştır. Söz konusu metot Zhang ve ark (2011) tarafından geliştirilmiştir.

• Genel seçim

Bu yöntemde her makine için toplam iş yükünü dikkate alarak işlemler için en uygun makine atanmasını gerçekleştirmektedir. Rassal olarak seçilen işin ilk işleminden başlamak üzere tüm işlemler için sırasıyla uygun makine atanması gerçekleşmektedir. Yöntemin adımları aşağıda verilmiştir (Zhang ve ark 2011):

1. Tüm makinelerin işlem sürelerini kaydetmek için yeni bir dizi oluştur.
2. Rasgele bir iş seç -sadece bir iş seçilecek- sonra iş için ilk işlem seç.
3. Kullanılabilir makineler içerisinde her makinenin işlem sürelerini ve zaman dizisinde karşılık gelen makine süresini birlikte ekle;
4. En kısa süreyi bulmak için eklenen süreleri karşılaştı, sonra en kısa süreli makinenin (k) indisini seç. Eğer farklı makinelerde eşit süreli olanlar varsa onların arasından birini rasgele seç.
5. k için MS kısmında mevcut işleme karşılık gelen geni yerleştir.
6. Zaman dizisini güncellemek için; mevcut makinenin işlem süresini ve ona karşılık gelen zaman dizisindeki geni ekle.
7. Mevcut işin bir sonraki işlemini seç ve mevcut işin bütün işlemleri seçilinceye kadar Adım 3 ile Adım 6 arasındaki işlemi devam ettir. Ardından Adım 8'e git.
8. Bütün işlerin bütün işlemleri seçilinceye kadar Adım 2'ye git.

Yukarıdaki adımların örnek probleme göre anlatıldığı çizelge aşağıdadır:

Çizelge 3.3. Genel seçim süreci

Zaman dizisi	0 0 0 0 0	0 2 0 0 0	0 2 4 0 0	0 2 4 0 3	3 2 4 0 3	3 2 4 5 3
İşlem	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3
Kullanılabilir makineler	$M_1 M_2 M_3 M_4 M_5$	$M_1 M_2 M_3 M_4 M_5$	$M_1 M_2 M_3 M_4 M_5$	$M_1 M_2 M_3 M_4 M_5$	$M_1 M_2 M_3 M_4 M_5$	$M_1 M_2 M_3 M_4 M_5$
İşlem süresi	3 2 4 3 5	5 3 4 6 8	4 6 5 5 3	3 5 4 3 4	6 5 8 5 6	6 9 4 6 5
Eklenen süre	3 2 4 3 5	5 5 4 6 8	4 8 9 5 3	3 7 8 3 7	9 7 12 5 9	9 11 8 11 8
En kısa süre	2	4	3	3	5	8
Makine seçimi	M_2	M_3	M_5	M_1	M_4	M_3
Yenilenen zaman dizisi	0 2 0 0 0	0 2 4 0 0	0 2 4 0 3	3 2 4 0 3	3 2 4 5 3	3 2 12 5 3
MS	2 0 0 0 0 0	2 3 0 0 0 0	2 3 5 0 0 0	2 3 5 1 0 0	2 3 5 1 4 0	2 3 5 1 4 3

Çizelge 3.3.'te genel seçim uygulaması verilmiştir. İş seçimi rassal olduğu için ilk seçilen işin J_1 , ve sonrakinin de J_2 olduğunu varsayalım. Çizelge 3.3.'ten 1-1 işleminin M_2 makinesindeki işlem süresinin, alternatif makine setleri içerisindeki en kısa işlem süresi olduğunu kolayca görebiliriz. Böylece M_2 makinesi J_1 işinin 1-1 işlemi için seçilir ve M_2 indisi karşılık gelen MS'ye atanır. Sonra işlem süresi zaman dizisindeki karşılık gelen pozisyona atanır. Son olarak, tüm operasyonlar için seçilen makineler M_2 - M_3 - M_5 - M_1 - M_4 - M_3 olur ve karşılık gelen kromozom gösterimi aşağıdaki gibi gerçekleşir.

Çizelge 3.4. Genel seçim süreci ile oluşturulan kromozom

1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3
2	3	5	1	4	3

- **Yerel seçim**

Bu metot genel seçim metodundan farklıdır. Bu yöntem tek bir işin tüm işlemleri için makinelerin işlem süresini kaydeder. Bu nedenle bu yöntem tek bir işin bütün aşamalarını kaydeder. İlk işten başlayarak tüm işin bütün işlemleri atanıncaya kadar devam eder. Yerel seçim ile ilgili prosedür aşağıda verilmiştir (Zhang ve ark 2011):

1. Bütün makinelerin işlem sürelerini kaydetmek için uzunluğu L 'ye eşit yeni bir dizi oluştur ve her elemanı sıfırla.
2. İlk işi seç ve onun ilk işlemini seç.
3. Dizideki her Gen'e 0 ata.
4. Kullanılabilir makineler içerisinde her makinenin işlem sürelerini ve zaman dizisinde karşılık gelen makine süresini birlikte ekle;
5. En kısa süreye sahip makinenin k indisini bulmak için eklenen süreleri karşılaştır. Farklı makineler arasında aynı süreye sahip olanlar varsa onlar arasından birini rasgele seç.
6. k için MS kısmında mevcut işleme karşılık gelen geni yerleştir.
7. Zaman dizisini güncellemek için; mevcut seçilen makinenin işlem süresini ve ona karşılık gelen zaman dizisindeki geni ekle.
8. Mevcut işin bir sonraki işlemini seç ve mevcut işin bütün işlemleri seçilinceye kadar Adım 4'e git. Ardından Adım 9'a git.
9. Bütün işler seçilinceye kadar Adım 3'e git.

Yukarıda bahsedilen adımların örnek problemimize dayanarak anlatıldığı Çizelge 3.5.'te de görüleceği üzere yerel seçimin genel seçimden farklı olarak bir işin bütün işlemleri bittikten sonra zaman dizisi sıfırlanarak diğer iş için yeniden hesaplama yapılıyor. Çizelgeden de anlaşılacağı gibi ilk olarak seçilen J_1 işinin bütün işlemleri bittikten sonra J_2 'ye geçmeden zaman dizisi sıfırlanmış yeniden hesaplama yapılmıştır. Dolayısıyla oluşan kromozom genel seçimde oluşturulan kromozomdan farklı olarak karşımıza çıkmıştır.

Çizelge 3.5. Yerel seçim süreci

Zaman dizisi	0 0 0 0 0	0 2 0 0 0	0 2 4 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 3 0	0 5 0 3 0
İşlem	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3
Kullanılabilir makineler	$M_1 M_2 M_3 M_4 M_5$	$M_1 M_2 M_3 M_4 M_5$	$M_1 M_2 M_3 M_4 M_5$	$M_1 M_2 M_3 M_4 M_5$	$M_1 M_2 M_3 M_4 M_5$	$M_1 M_2 M_3 M_4 M_5$
İşlem süresi	3 2 4 3 5	5 3 4 6 8	4 6 5 5 3	3 5 4 3 4	6 5 8 5 6	6 9 4 6 5
Eklenen süre	3 2 4 3 5	5 5 4 6 8	4 8 9 5 3	3 5 4 3 4	6 5 8 8 6	6 14 4 9 5
En kısa süre	2	4	3	3	5	4
Makine seçimi	M_2	M_3	M_5	M_4	M_2	M_3
Yenilenen zaman dizisi	0 2 0 0 0	0 2 4 0 0	0 2 4 0 3	0 0 0 3 0	0 5 0 3 0	0 5 4 3 0
MS	2 0 0 0 0 0	2 3 0 0 0 0	2 3 5 0 0 0	2 3 5 4 0 0	2 3 5 4 2	2 3 5 4 2 3

İlk olarak J_1 , sonra da J_2 işinin seçildiğini varsayıyoruz. Çizelge 3.4.'te 1-1 işlemi için M_2 makinesinin, 1-2 işlemi için M_3 makinesinin ve 1-3 işlemi için de M_4 makinesinin seçildiğini görüyoruz. J_1 'in bütün işlemleri bittikten sonra zaman dizisi sıfırlanarak J_2 işinin işlemlerine geçilmiştir. Sonuç olarak tüm operasyonlar için seçilen makineler M_2 - M_3 - M_5 - M_4 - M_2 - M_3 olur ve karşılık gelen kromozom gösterimi aşağıdaki gibi gerçekleşir.

Çizelge 3.6. Yerel seçim süreci ile oluşturulan kromozom

1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3
2	3	5	4	2	3

Başlangıç popülasyonunu oluşturmak için kullanılan yöntemlerin performansını belirlemek için aşağıdaki veriler üzerinde yapılan parametre optimizasyonu yapılmıştır.

Çizelge 3.7. Başlangıç popülasyonu oluşturma metodu seçimi için optimizasyon parametre oranları

Parametre	Oran			
Genel Arama Metodu	0,6	0,5	0,4	0,3
Yerel Arama Metodu	0,3	0,4	0,5	0,6
Rastsal Metot	0,1	0,1	0,1	0,1

Optimizasyon sonucunda, başlangıç popülasyonunu oluşturmada bu metotlar aşağıdaki oranlarda kullanılmıştır:

Genel Arama Metodu	: 0,6
Yerel Arama Metodu	: 0,3
Rastsal Metot	: 0,1

3.2.3. Referans kümesinin oluşturulması ve alt kümelerin seçilmesi

Referans kümesindeki bireyler, başlangıç popülasyonunda yer alan en iyi bireylerin seçilmesiyle oluşur ve farklılaştırma kümesinden yaklaşık on kat daha küçüktür. Referans kümesindeki bireyler belirlenen amaç fonksiyonuna göre en büyükten en küçüğe doğru sıralanır. Bu çalışmadaki amaç fonksiyonu toplam tamamlanma süresini (C_{max}) minimize etmektir. Sıralanan bireyler belirlenen referans kümesi oluşturma oranına göre eniyilerden başlamak üzere seçilir ve referans kümesi oluşturulur. Referans kümesindeki bireylerden, kombinasyon ve iyileştirme prosedürlerine tabi tutulmak üzere en iyi bireyler seçilerek alt kümeler oluşturulur.

3.2.4. Çaprazlama

Çaprazlama, popülasyon içerisinde seçilen iki birey arasından belirli kurallar dahilinde yeni bireyler oluşturma olarak tanımlanabilir. Çaprazlama işleminde amaç daha iyi bireylerin ortaya çıkmasını sağlayarak optimal sonuca ulaşmayı kolaylaştırmaktır. Birçok problemin çözümünde kullanılan farklı yöntemler mevcuttur.

Bunların yanında problemlerin karakteristik yapısına göre özel olarak geliştirilen yöntemler de vardır. Çalışmamızda algoritma içerisinde kullandığımız yöntemler ayrı başlıklar altında incelenmiştir. Çizelge 3.1.'de verilen örnek problemin verileri yetersiz olduğu için çaprazlama yöntemlerinin anlatımında 4 iş ve 20 işlemden oluşan bir problem kullanılacaktır.

a. Öncelik bazlı sıralı çaprazlama

Öncelik bazlı sıralı çaprazlama yönteminde ilk ana bireyden rastsal olarak iki iş ve o işlere ait tüm işlemler seçiliyor. Diğer işler ise ikinci ana bireyden seçilerek yavru bireye aktarılıyor. Örneğin çizelgeleme 10 işten oluşuyorsa ilk ana bireyden 10 işten rastsal olarak iki tanesi tüm işlemleri ile seçilir. Kalan genler ise ikinci ana bireyden sıra gözetilerek, yeni bireye aktarılır. Aşağıdaki örnekte Birinci ana bireyden (p1) 1. ve 3. işler rastsal olarak seçilmiş, diğer işler de (2 ve 4) ikinci ana bireyden (p2) seçilerek çaprazlama gerçekleştirilmiştir. Bir işe ait tüm işlemler bir ana bireyden seçildiği için sıra bozulması söz konusu olmuyor. İlk bireyden seçilen genlerin yeri sabit ve değişmezken ikinci bireyden alınacak genler oradaki sırasına uyarak c1'deki boşluklara sırasıyla yerleştiriliyor.

Çizelge 3.8. Öncelik bazlı sıralı çaprazlama yöntemi

p1	4-1	3-1	1-1	1-2	2-1	4-2	1-3	3-2	2-2	4-3	1-4	3-3	2-2	2-4	3-4	4-4
	1	2	4	3	3	2	4	2	1	3	2	4	1	2	3	1
p2	1-1	1-2	3-1	2-1	2-2	4-1	3-2	2-3	4-2	1-3	2-4	1-4	3-3	4-3	3-4	4-4
	3	2	4	3	2	1	2	4	1	2	3	2	1	4	1	2
c1	2-1	3-1	1-1	1-2	2-2	4-1	1-3	3-2	2-3	4-2	1-4	3-3	2-4	4-3	3-4	4-4
	3	2	4	3	2	1	4	2	4	1	2	4	3	4	3	2

b. Tek nokta çaprazlama yöntemi

Geleneksel genetik algoritmalarda kullanılan bir yöntemdir. Seçilen bir birey üzerinde rassal olarak bir nokta belirlenir. Seçilen o noktadan itibaren kromozom ikiye bölünerek yer değiştirilir. Bu yöntem bu çalışmada biraz farklılaştırılarak kullanılmıştır. İlk kromozomdan; belirlenen kesim noktasına kadar olan kısmı yeni kromozoma aktarılmaktadır. İkinci bireyden ise ilk bireyden aktarılan bireyler çıkartılarak, diğerleri sıra gözeterek yeni kromozoma aktarılmaktadır. Çizelge 3.8.'de tek nokta çaprazlama yöntemi bir örnek üzerinde anlatılmıştır.

Çizelge 3.9. Tek nokta çaprazlama yöntemi

p1	4-1	3-1	1-1	1-2	2-1	4-2	1-3	3-2	2-2	4-3	1-4	3-3	2-2	2-4	3-4	4-4
	1	2	4	3	3	2	4	2	1	3	2	4	1	2	3	1
p2	1-1	1-2	3-1	2-1	2-2	4-1	3-2	2-3	4-2	1-3	2-4	1-4	3-3	4-3	3-4	4-4
	3	2	4	3	2	1	2	4	1	2	3	2	1	4	1	2
c1	4-1	3-1	1-1	1-2	2-1	4-2	1-3	3-2	2-2	2-3	2-4	1-4	3-3	4-3	3-4	4-4
	1	2	4	3	3	2	4	2	2	4	3	2	1	4	1	2

Toplam işlem sayısı L olmak üzere; (Örnekte, L:16)

- $0 < \text{rassal sayı} < 1$ olmak üzere bir rassal sayı belirlenir. (Örnekte, RS: 0,8)
- P1 kromozomu rassal sayı değerine göre kesilir ve kesilen yer yeni bireye aynen aktarılır. 1. Kromozomdan seçilen genler p2 kromozomundan çıkartılarak kalan genler sırasıyla yeni bireye aktarılır.

c. Operasyon sıra değişikliği yöntemi

Bu yöntemde bir tek kromozom üzerinde işlem yapılmaktadır. Tek bir kromozom üzerinden rastsal olarak iki iş bütün işlemleri ile beraber seçilmektedir. Seçilen işler aynı kromozom üzerinde yer değişikliği yapılarak uygulanmaktadır. Çizelge 3.9.'da operasyon sıra değişikliği metodu bir örnek üzerinde anlatılmıştır.

Çizelge 3.10. Operasyon sıra değişikliği yöntemi

p1	4-1	3-1	1-1	1-2	2-1	4-2	1-3	3-2	2-2	4-3	1-4	3-3	2-2	2-4	3-4	4-4
	1	2	4	3	3	2	4	2	1	3	2	4	1	2	3	1
c1	1-1	3-1	4-1	4-2	2-1	1-2	4-3	3-2	2-2	1-3	4-4	3-3	2-2	2-4	3-4	1-4
	4	2	1	2	3	3	3	2	1	4	1	4	1	2	3	2

- Operasyon sayıları $j_1 \leq j_2$ olmak üzere rastsal iki iş aynı kromozom üzerinden seçilir. (Örnekte 1. ve 4. işler seçilmiş)
- Seçilen işlerin gen indeksleri kaydedilir.
- İki işin işlemlerinin yerleri karşılıklı olarak yer değiştirir.

İkinci işin işlem sayısının büyük olduğu durumlarda eşleştirme sonucunda eşleşmeye girmeyen işlemlerin yeri sabit kalır. Yukarıdaki örnekte işlem sayıları eşit olduğu için aynı indeksli genler karşılıklı yer değiştirmiştir.

d. Alternatif makine değişikliği yöntemi

Bu çaprazlama yönteminde, birinci kromozomdan rastsal olarak genler seçilir. Seçilen genlerin aynısı ikinci kromozomdan da seçilir. Birinci kromozomdaki seçilen genlere ikinci kromozomdaki seçilen genlerin makineleri atanır. Kısacası aynı genlerin makine atama kısımları değiştirilerek yöntem uygulanmaktadır.

Çizelge 3.11. Alternatif makine değişikliği yöntemi

p1	4-1	3-1	1-1	1-2	2-1	4-2	1-3	3-2	2-2	4-3	1-4	3-3	2-2	2-4	3-4	4-4
	1	2	4	3	3	2	4	2	1	3	2	4	1	2	3	1
p2	1-1	1-2	3-1	2-1	2-2	4-1	3-2	2-3	4-2	1-3	2-4	1-4	3-3	4-3	3-4	4-4
	3	2	4	3	2	1	2	4	1	2	3	2	1	4	1	2
c1	4-1	3-1	1-1	1-2	2-1	4-2	1-3	3-2	2-2	4-3	1-4	3-3	2-2	2-4	3-4	4-4
	1	4	3	3	3	1	4	2	2	4	2	4	1	3	3	1

3.2.4. Mutasyon

Mutasyon işlemi çaprazlama işleminden sonra uygulanır. Popülasyonda çeşitliliği sağlamak amacıyla kullanılan mutasyon, genellikle küçük oranlarda kullanılır. Mutasyon oranının yüksek olması iyi kromozomları yok edebilir. Mutasyonda tek bir bireyin genleri üzerinde değişiklik yapılmaktadır. Belirlenen bir olasılık değerine göre birey üzerinde mutasyon yapıp yapılmayacağına karar verilir (Meto, 2013).

a. Rastsal makine ataması

Kromozomdan rastsal olarak seçilen bir işlemin işleneceği makine rastsal olarak değiştirilir. Burada makine üzerindeki işlem süresine bakılmaksızın bu işlem yapılır. Örneğin 2-3 numaralı işlemin işleneceği makine mutasyondan önce 1 nolu makine iken mutasyon sonucu 4. Makine olarak değişmiştir.

Çizelge 3.12. Rastsal makine ataması

MUTASYONDAN ÖNCE	1-1	2-1	1-2	2-2	3-1	3-2	1-3	2-3
	2	1	3	4	3	2	3	1
MUTASYONDAN SONRA	1-1	2-1	1-2	2-2	3-1	3-2	1-3	2-3
	2	1	3	4	3	2	3	4

b. Operasyon yer değişikliği

Kromozom üzerinden rastsal olarak bir işlem seçilir. Seçilen bu işlem kendinden önceki ve sonraki işlemler göz önünde bulundurularak işlem yeri değiştirilir. Aşağıdaki örnekte 1-2 işlemi rastsal olarak seçilerek 1-1 ve 1-3 işlemleri arasında rastsal olarak bir yer ile değişiklik yapılmıştır.

Çizelge 3.13. Operasyon yer değişikliği

MUTASYONDAN ÖNCE	1-1	2-1	1-2	2-2	3-1	3-2	1-3	2-3
	2	1	3	4	3	2	3	1
MUTASYONDAN SONRA	1-1	2-1	2-2	3-1	1-2	3-2	1-3	2-3
	2	1	4	3	3	2	3	4

c. En iyi makine değişikliği

Rastasal olarak seçilen bir işlemin gerçekleşeceği makine işlem süresi göz önünde bulundurularak değiştirilir. Örneğin 2-3 nolu işlemin en kısa sürede işleneceği makine tespit edilerek değiştirilir. (Mevcut işlendiği makine 1. makine iken en kısa işlem gördüğü makine olan 3. makine olarak değiştirilmiştir.)

Çizelge 3.14. En iyi makine ataması

MUTASYONDAN ÖNCE	1-1	2-1	1-2	2-2	3-1	3-2	1-3	2-3
	2	1	3	4	3	2	3	1
MUTASYONDAN SONRA	1-1	2-1	1-2	2-2	3-1	3-2	1-3	2-3
	2	1	3	4	3	2	3	3

d. Son Operasyon yer değişikliği

Rastasal olarak seçilen ve mutasyona uğrayacak kromozomda yer alan en son işlem tespit edilir. Tespit edilen son işlemin yeri, kendinden önceki işleminde yeri dikkate alınarak kromozom üzerinde rastasal olarak değiştirilir.

Çizelge 3.14. Son operasyon yer değişikliği

MUTASYONDAN ÖNCE	1-1	2-1	1-2	2-2	3-1	3-2	1-3	2-3
	2	1	3	4	3	2	3	1
MUTASYONDAN SONRA	1-1	2-1	1-2	2-2	3-1	2-3	1-3	3-2
	2	1	3	4	3	4	3	2

3.2.6. Yerel arama ve referans kümesi güncelleme prosedürü

Yerel arama prosedüründe belirlenen işlem sırasına göre işlemlerin en kısa sürede işleneceği makine atamasının yapılabilmesi için çaprazlamaya tabi tutulacak iki kromozom çaprazlama işlemine tabi tutulmadan, mevcut makine atamasına göre Cmax değeri hesaplanır ve kaydedilir. Ardından makine kısımları sıfırlanır. Makine kısmı sıfırlanan kromozomların işlem sıraları dikkate alınarak çaprazlamaya tabi tutulur.

Çaprazlama sonucunda ortaya çıkan yeni kromozomlar yerel arama prosedürü ile kromozomun başından başlayarak en erken tamamlanma suresi olan makineye atanır. Yerel arama prosedüründe algoritma, atama yapacağı işlem için alternatif makinelerin hepsini tarayarak en erken tamamlanma zamanı olan makineyi atar.

Yerel arama prosedürü adımları aşağıda verilmiştir:

1. Kromozomlardaki makine kısımlarını sıfırla,
2. Kromozomdan sıraya bağlı kalarak operasyonları seç,
3. Seçilen operasyonun işlenebileceği alternatif makinelerdeki işlem sürelerini belirle,
4. Seçilen operasyondan önceki operasyonun tamamlanma zamanını bul,
5. Alternatif makinelerdeki işlem süreleri ve aylak zaman aralığına göre yeterli zaman aralığını bul,
6. En erken başlama zamanı, aynı işin bir önceki operasyonunun bitiş zamanı olmak üzere; yeterli zaman aralığı bulunan ve en erken tamamlanma zamanına imkan veren makineyi operasyonun işleneceği makine olarak ata,
7. Tüm işlemler seçilinceye kadar 2. Adıma git.

Yerel arama prosedüründeki temel husus, çaprazlama ve mutasyon sonucunda ortaya çıkan işlem sırasına sahip kromozomdaki işlemler için en erken işlenebileceği aralığı, dolayısıyla makineyi bulmaktır. Bundan dolayı, atama yapılırken bir önceki işlemin bitiş zamanı alt sınır olmak üzere en erken işlenebileceği aralığı bulmak için bütün alternatif makinelerin taranması gerekmektedir.

Yerel arama prosedürü sonucunda ortaya çıkan çözümler, referans kümesindeki çözümler ile karşılaştırılır ve yeni çözümler referans kümesine dahil edilerek referans kümesindeki en kötü çözümler çıkartılır.

3.2.7. Referans kümesi popülasyon güncelleme ve sonlandırma kriterleri

Mutasyon sonucunda ortaya çıkan Cmax değerleri referans kümesindeki değerler ile karşılaştırılır, daha iyi çözümse referans kümesine dahil edilerek referans kümesindeki

en kötü sonuç kümeden atılır böylece referans kümesi güncellenir. Yeni bir referans kümesi gerekinceye kadar bu döngü çalıştırılır.

Dağılık arama metodu içinde yer alan popülasyon oluşturma ve güncelleme prosedürü ve referans küme oluşturma ve güncelleme prosedürü üç tane sonlanma kriteri içermektedir. Bunlar (Cano ve ark 2004);

1. **Yeni Referans Küme Kriteri;** popülasyondan ne zaman yeni referans kümesinin oluşturulacağı kararını içerir.
2. **Yeni Popülasyon Kriteri;** yeni başlangıç popülasyonunun ne zaman oluşturulacağı kararını içerir.
3. **Sonlanma Kriteri;** tüm arama işleminin ne zaman sonlanacağı kararını içerir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada geliştirilen algoritma ile çizelgelemede toplam tamamlanma süresinin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Algoritma literatürde yer alan problemler üzerinde test edilmiştir. Bu çalışma kapsamında Fattahi ve ark. (2009) tarafından literatüre kazandırılan problem grubu üzerinde ilk testler yapılmıştır. Ayrıca Fattahi ve ark. (2007) ve Kacem ve ark. (2002) tarafından oluşturulan problem grupları içinde algoritma çalıştırılmıştır.

Dağılık arama metodu üzerinde kullanılan parametreler bütün problemlerde sabit olarak kullanılmıştır. Söz konusu değerler tam faktöriyel deney tasarım metodu kullanılarak yapılan parametre optimizasyonu sonucunda algoritmayı problemin en iyi sonucuna en kısa sürede ulaştıran değerler olarak belirlenmiştir. Tam faktöriyel deney tasarımı yöntemi tüm parametrelerin ve bu parametrelere bağlı olan tüm seviyelerin birbirleriyle eşleşmesi durumudur (Çandar ve ark 2012). Tüm seviyelerin test edildiği optimizasyon; Intel Xenon CPU E5-1650 3Ghz ve 8Gb RAM'e sahip 2 adet bilgisayarda 20 parçaya bölünerek yapılmıştır. Optimizasyonda kullanılan parametre ve oranlar (seviyeler) çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.1. Parametre optimizasyonu verileri

Parametre	Oran									
Başlangıç popülasyonu büyüklüğü	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Referans kümesi büyüklüğü	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Alt küme sayısı	2	4	6							
Referans kümesi güncelleme sayısı	50	100	150	200	250					
Popülasyon kümesi güncelleme sayısı	50	100	150	200	250					
Çaprazlama Yöntemleri Oranları										
Öncelik bazlı sıralı çaprazlama	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
Tek nokta çaprazlama	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
Alternatif makine değişikliği	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
Operasyon yer değişikliği	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
Mutasyon Yöntemleri Oranları										
Rastsal makine ataması	0,05	0,1	0,15							
Operasyon yer değişikliği	0,05	0,1	0,15							
En iyi makine ataması	0,05	0,1	0,15							
Son operasyon yer değişikliği	0,05	0,1	0,15							

Aşağıda optimizasyon sonucunda ortaya çıkan parametre değerleri verilmiştir:

Başlangıç popülasyonu büyüklüğü	: 40
Referans kümesi büyüklüğü	: 30
Alt küme sayısı	: 6
Referans kümesi güncelleme sayısı	: 200
Popülasyon kümesi güncelleme sayısı	: 40

Çaprazlama Yöntemleri Oranları

Öncelik bazlı sıralı çaprazlama	: 0,6
Tek nokta çaprazlama	: 0,2
Alternatif makine değişikliği	: 0,7
Operasyon yer değişikliği	: 0,2

Mutasyon Yöntemleri Oranları

Rastsal makine ataması	: 0,05
Operasyon yer değişikliği	: 0,1
En iyi makine ataması	: 0,1
Son operasyon yer değişikliği	: 0,05

64.1. Test Problemleri ve Sonuçları

Geliştirilen algoritma tüm işlerin tamamlanma zamanını (C_{max}) en küçüklemeyi amaçlamaktadır. Algoritma literatürde yer alan ve diğer çalışmaların birçoğunda test için kullanılan 3 ayrı problem grubu üzerinde test edilmiştir.

İlk testlerin yapıldığı Fattahi ve ark. (2009) problem grubu içerisinde 20 tane problem vardır. Bu problemler SFJS ve MFJS olarak adlandırılmış, kolay ve orta olmak üzere iki grupta toplanmıştır. Verilerin alındığı çalışmada örtüşen işlemler de dikkate alınarak tavlama benzetimi (TB) algoritması kullanılarak testler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ortaya konmuştur. Çalışmada ayrıca, örtüşme olmadan da elde edilen C_{max} değerleri de verilmiştir. Önceki bölümde verilen parametre değerleri ile 5 kez çalıştırılan algoritma tarafından elde edilen sonuçlar ve verilerin alındığı çalışmadaki örtüşmesiz hesaplanan sonuçlar aşağıdaki çizelgede karşılaştırmalı olarak verilmiştir:

Çizelge 4.2. Birinci grup problemlerin sonuçlarının karşılaştırılması

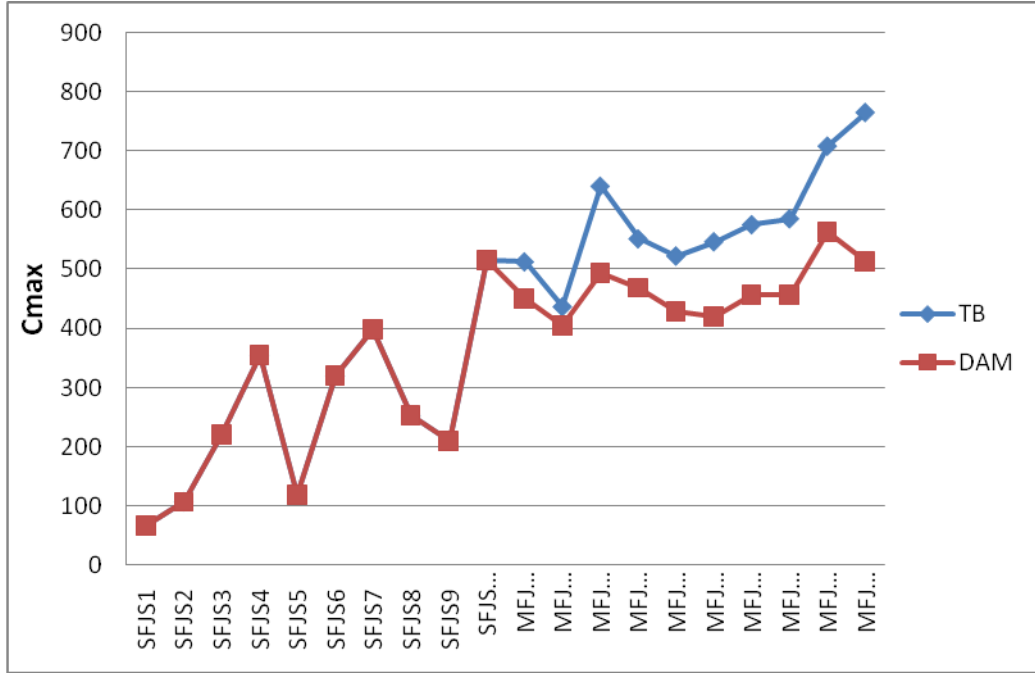
Problem	i,j,k	DAM - Cmax					Fattahi ve Mebrahad (2009) TB		DAM		İyileşme (%)
		1	2	3	4	5	Cmax	İşlem Süresi (s)	Cmax	İşlem Süresi (s)	
SFJS1	2*2*2	66	66	66	66	66	66	14	66	0	-
SFJS2	2*2*2	107	107	107	107	107	107	15	107	0	-
SFJS3	3*2*2	221	221	221	221	221	221	13	221	0	-
SFJS4	3*2*2	355	355	355	355	355	355	12	355	0	-
SFJS5	3*2*2	119	119	119	119	119	119	14	119	0	-
SFJS6	3*3*2	320	320	320	320	320	320	15	320	0	-
SFJS7	3*3*5	398	398	398	398	398	398	14	398	0	-
SFJS8	3*3*4	253	253	253	253	253	253	15	253	32	-
SFJS9	4*3*5	210	210	210	210	210	210	14	210	48	-
SFJS10	5*3*5	516	516	516	516	516	516	38	516	54	-
MFJS1	3*3*2	451	451	451	451	451	513	32	451	62	12,1
MFJS2	4*3*5	405	405	405	405	405	437	37	405	71	7,3
MFJS3	4*3*5	494	494	494	494	494	641	38	494	84	22,9
MFJS4	5*3*6	469	469	469	469	469	552	75	469	96	15,0
MFJS5	5*3*6	429	429	431	429	429	523	190	429	360	18,0
MFJS6	5*3*7	420	420	420	420	420	547	195	420	600	23,2
MFJS7	6*3*7	457	457	469	457	469	576	237	457	600	20,7
MFJS8	6*3*7	466	457	468	457	457	586	235	457	600	22,0
MFJS9	7*3*7	564	565	565	569	564	709	294	564	600	20,5
MFJS10	7*3*7	514	519	519	514	519	766	293	514	600	32,9
Ortalama % iyileşme											9,73

İyileşme yüzdesi ise aşağıdaki formülasyon ile hesaplanmıştır:

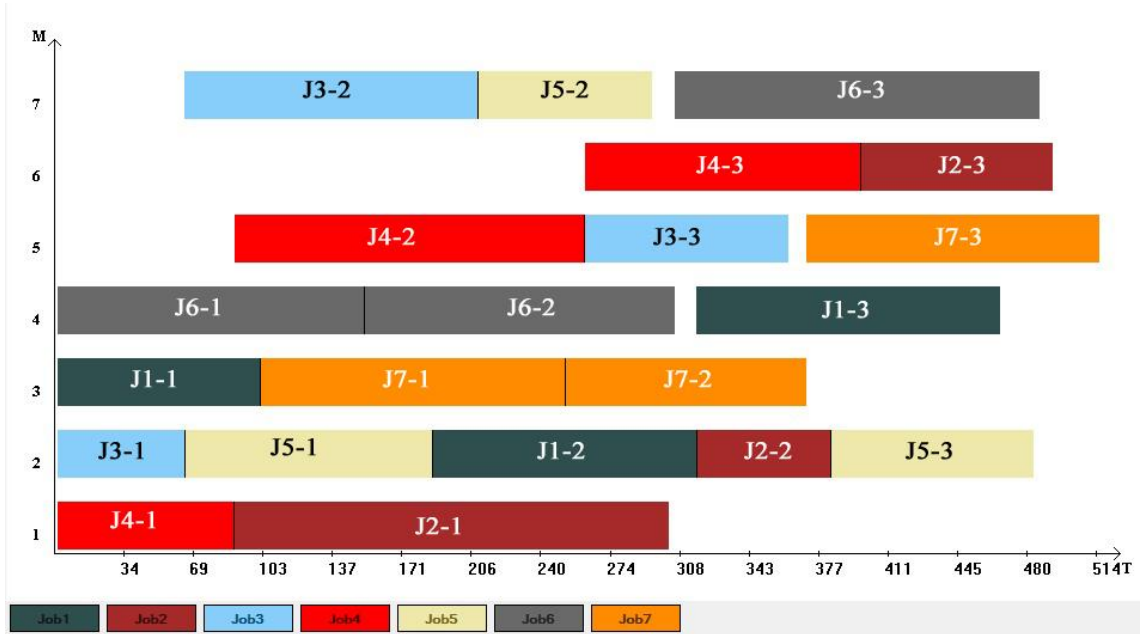
$$\text{İyileşme Yüzdesi} = ((\text{TB} - \text{DAM}) / \text{TB}) * 100 \quad (4.1)$$

Yukarıdaki çizelgedeki sonuçlara bağlı olarak iki çalışmadan elde edilen sonuçları grafik üzerinden de incelediğimizde, MFJS problem grubu içerisinde çalışmamızın daha iyi sonuçlar ortaya koyduğu görülmektedir.

Algoritmanın beş kere ayrı çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçların en iyisi ile problem verilerinin alındığı çalışmada elde edilen verilerin karşılaştırıldığı grafik ve MFJS10'a ait en iyi çözümün Gantt şeması aşağıda verilmiştir:



Şekil 4.1. Birinci grup problemlerinin sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.2. MFJS10'a ait Gantt şeması

İkinci test grubu problemlerimiz Fattahi ve ark. (2007) tarafından oluşturulan ve 10 problemin yer aldığı MFJS problem grubudur. İlk test grubu ile bu test grubunun problem isimleri farklı çalışma olmasına rağmen aynı, fakat büyüklük ve içerikleri farklıdır. Bizim çalışmamızda karışıklığı önlemek amacıyla ikinci grup problemleri farklı ifade edeceğiz (MFJS10 gibi). Bu problem grubu daha büyük işlerden oluşmaktadır ve diğer birçok çalışmada algoritmaların test edilmesinde kullanılmıştır.

Çizelge 4.3. İkinci grup problemlerin sonuçlarının karşılaştırılması

Problem i,j,k	Fatahi ve ark. (2007)			Fatahi ve ark. (2007)			Fatahi ve ark. (2007)			Fatahi ve ark. (2007)			Fatahi ve ark. (2007)			Fatahi ve ark. (2007)			Ortalama % iyileşme
	DAM	İşlem Süresi (sn)	% İyileşme	DAM	İşlem Süresi (sn)	% İyileşme	DAM	İşlem Süresi (sn)	% İyileşme	DAM	İşlem Süresi (sn)	% İyileşme	DAM	İşlem Süresi (sn)	% İyileşme	DAM	İşlem Süresi (sn)	% İyileşme	
MEJS10 5*3*6	C _{max} 468	İS 7	2,3	C _{max} 468	İS 7	4,7	C _{max} 468	İS 7	0,2	C _{max} 468	İS 7	0,2	C _{max} 468	İS 7	0,2	C _{max} 468	İS 7	0,2	
MEJS20 5*3*7	C _{max} 446	İS 24	9,9	C _{max} 446	İS 24	7,5	C _{max} 446	İS 24	7,5	C _{max} 469	İS 15	7,5	C _{max} 446	İS 24	7,5	C _{max} 469	İS 15	7,5	
MEJS30 6*3*7	C _{max} 466	İS 32	15,7	C _{max} 466	İS 32	13,4	C _{max} 466	İS 32	12,6	C _{max} 466	İS 32	12,6	C _{max} 466	İS 32	12,6	C _{max} 466	İS 32	12,6	
MEJS40 7*3*7	C _{max} 554	İS 253	15,5	C _{max} 554	İS 253	14,8	C _{max} 554	İS 253	12,6	C _{max} 554	İS 253	12,6	C _{max} 554	İS 253	12,6	C _{max} 554	İS 253	12,6	
MEJS50 7*3*7	C _{max} 514	İS 219	20,9	C _{max} 514	İS 219	22,4	C _{max} 514	İS 219	17,8	C _{max} 514	İS 219	17,8	C _{max} 514	İS 219	17,8	C _{max} 514	İS 219	17,8	
MEJS60 8*3*7	C _{max} 634	İS 180	16,8	C _{max} 634	İS 180	19,2	C _{max} 634	İS 180	11,6	C _{max} 634	İS 180	11,6	C _{max} 634	İS 180	11,6	C _{max} 634	İS 180	11,6	
MEJS70 8*4*7	C _{max} 879	İS 6000	13,8	C _{max} 879	İS 6000	18,7	C _{max} 879	İS 6000	8,8	C _{max} 879	İS 6000	8,8	C _{max} 879	İS 6000	8,8	C _{max} 879	İS 6000	8,8	
MEJS80 9*4*7	C _{max} 884	İS 7200	14,2	C _{max} 884	İS 7200	21,2	C _{max} 884	İS 7200	8,9	C _{max} 884	İS 7200	8,9	C _{max} 884	İS 7200	8,9	C _{max} 884	İS 7200	8,9	
MEJS90 11*4*8	C _{max} 1094	İS 7200	7,3	C _{max} 1094	İS 7200	12,0	C _{max} 1094	İS 7200	1,0	C _{max} 1094	İS 7200	1,0	C _{max} 1094	İS 7200	1,0	C _{max} 1094	İS 7200	1,0	
MEJS100 12*4*8	C _{max} 1258	İS 7200	18,2	C _{max} 1258	İS 7200	22,1	C _{max} 1258	İS 7200	10,4	C _{max} 1258	İS 7200	10,4	C _{max} 1258	İS 7200	10,4	C _{max} 1258	İS 7200	10,4	
			13,47				15,59				9,13				8,10				17,82

^a : Atama problemi için hiyerarşik yaklaşım ve tavlama benzetimi, sıralama problemi için tavlama benzetimi metodu

^b : Atama problemi için hiyerarşik yaklaşım ve tavlama benzetimi, sıralama problemi için tabu arama metodu

^c : Atama problemi için hiyerarşik yaklaşım ve tabu arama, sıralama problemi için tabu arama metodu

^d : Atama problemi için hiyerarşik yaklaşım ve tabu arama, sıralama problemi için tavlama benzetimi metodu

^e : Atama problemi için hiyerarşik yaklaşım, sıralama problemi için tavlama benzetimi metodu

^f : Atama problemi için hiyerarşik yaklaşım, sıralama problemi için tabu arama metodu

^g : Dal sınır metodu ile karma tamsayılı doğrusal programlama

^h : Yapay bağışıklık algoritması

ⁱ : En erken başlama süresi öncelikli karma tamsayılı doğrusal programlama

Çizelge 4.3. İkinci grup problemlerin sonuçlarının karşılaştırılması (Devamı)

Problem i,j,k	DAM	İşlem Süresi (sn)	Fatıh ve ark. (2007) BY - TA ^a	İşlem Süresi (sn)	% İyileşme	DAM	İşlem Süresi (sn)	Özgen ve ark. (2010) DSM-KTDP ^b	İşlem Süresi (sn)	% İyileşme	DAM	İşlem Süresi (sn)	YBA ^b Bağheri ve ark. (2010)	İşlem Süresi (sn)	% İyileşme	DAM	İşlem Süresi (sn)	Birgin ve ark. (2013) EEBS-KTDP ^M	İşlem Süresi (sn)	% İyileşme
MFJS10 5*3*6	C _{max} 468	İS 7	C _{max} 548	İS 9	14,6	C _{max} 468	İS 7	C _{max} 468	İS 0,44	-	C _{max} 468	İS 7	C _{max} 468	İS 9,23	-	C _{max} 468	İS 7	C _{max} 468	İS 0,26	-
MFJS20 5*3*7	446	24	457	8	2,4	446	24	446	6,49	-	446	24	448	9,35	0,4	446	24	446	0,87	-
MFJS30 6*3*7	466	32	606	8	23,1	466	32	466	4,14	-	466	32	468	10,06	0,4	466	32	466	1,66	-
MFJS40 7*3*7	554	253	870	9	36,3	554	253	564	1779,03	1,8	554	253	554	10,54	-	554	253	554	27,43	-
MFJS50 7*3*7	514	219	729	10	29,5	514	219	514	50,98	-	514	219	527	10,61	2,5	514	219	514	4,55	-
MFJS60 8*3*7	634	180	816	50	22,3	634	180	635	3600	0,2	634	180	635	22,18	0,2	634	180	634	52,48	-
MFJS70 8*4*7	879	6000	1048	240	16,1	879	6000	935	3600	6,0	879	6000	879	24,82	-	879	6000	879	1890	-
MFJS80 9*4*7	884	7200	1220	370	27,5	884	7200	905	3600	2,3	884	7200	884	26,94	-	884	7200	884	3600	-
MFJS90 11*4*8	1094	7200	1124	680	2,7	1094	7200	1192	3600	8,2	1094	7200	1088	30,76	-0,6	1094	7200	1137	3600	3,8
MFJS100 12*4*8	1258	7200	1737	763	27,6	1258	7200	1276	3600	1,4	1258	7200	1267	30,94	0,7	1258	7200	1251	3600	-0,6
Ortalama % İyileşme					20,21					3,31					0,61					1,61

^a : Atama problemi için hiyerarşik yaklaşım ve tavlama benzetimi, sıralama problemi için tavlama benzetimi metodu

^b : Atama problemi için hiyerarşik yaklaşım ve tavlama benzetimi, sıralama problemi için tabu arama metodu

^c : Atama problemi için hiyerarşik yaklaşım ve tabu arama, sıralama problemi için tabu arama metodu

^d : Atama problemi için hiyerarşik yaklaşım ve tabu arama, sıralama problemi için tavlama benzetimi metodu

^e : Atama problemi için bütünlük yaklaşım, sıralama problemi için tavlama benzetimi metodu

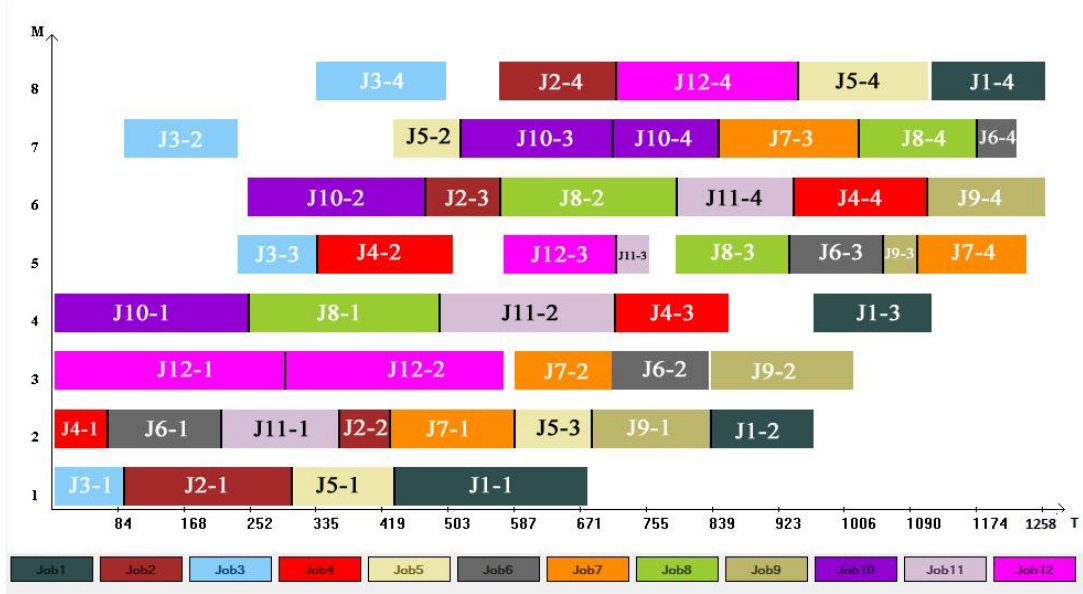
^f : Atama problemi için bütünlük yaklaşım, sıralama problemi için tabu arama metodu

^g : Dal sınır metodu ile karma tamsayılı doğrusal programlama

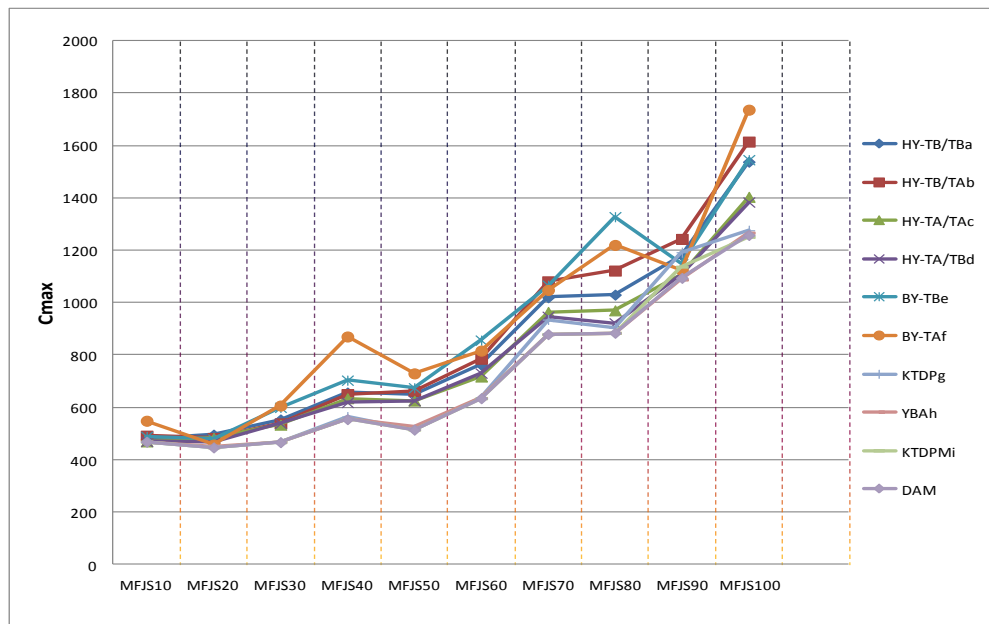
^h : Yapay bağışıklık algortiması

ⁱ : En erken başlama süresi öncelikli karma tamsayılı doğrusal programlama

Çizelge 4.3.'te bu problem grubu ile yapılan diğer dört farklı çalışmadaki dokuz değişik yöntemin sonuçları ile DAM'ın sonuçları ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu dokuz metodun sonuçları ile bu çalışmada geliştirilen DAM'ın sonuçları karşılaştırılmış ve her bir problem için ve bütün problemlerin ortalaması olarak iyileşme oranları belirlenmiştir. İyileşme oranlarına bakıldığında önerilen algoritmanın diğer bütün çalışmalardan daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu problem grubu içerisinde MFJS10'a ait Gantt şeması aşağıda verilmiştir:



Şekil 4.3. MFJS100'a ait Gantt şeması

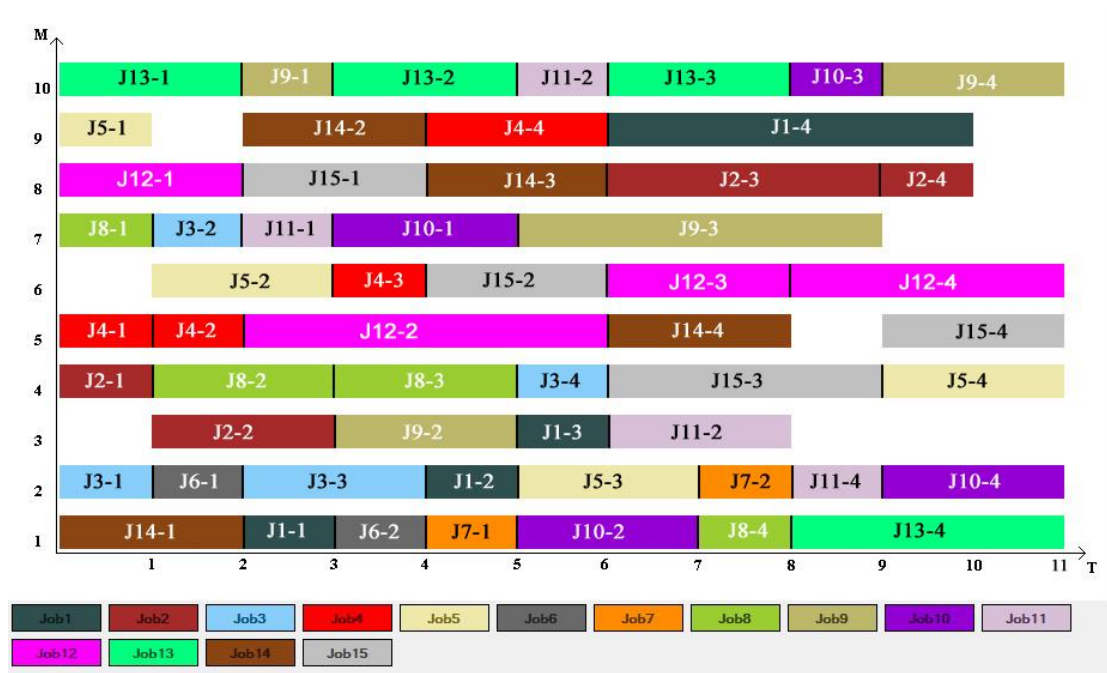


Şekil 4.4. İkinci grup problemlerinin sonuçlarının karşılaştırılması

Üçüncü test grubumuz, Kacem ve ark. (2002) tarafından oluşturulan ve üç farklı problemten oluşan problem grubudur. Bu problemler de literatürde birçok çalışma tarafından algoritmaların test edilmesinde kullanılmıştır. Aşağıda bu problem grubu problemleri için çalışmaların sonuçları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Üçüncü grup problemlerin sonuçlarını içeren çizelge incelendiğinde çalışmamızın diğer çalışmalar tarafından elde edilen ve bilinen en iyi değerlere ulaştığı görülmektedir. Bu problem grubu içerisindeki K-B1 problemine ait Gantt şeması da aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.4. Üçüncü grup problemlerinin sonuçlarının karşılaştırılması

Problem	i*k	j	DAM Kacem ve ark. (2002a,b) % İyileşme			DAM Xia ve Wu (2005) % İyileşme			DAM Gao ve ark (2008) % İyileşme			DAM Bagheri ve ark (2010) % İyileşme		
			C_{max}	C_{max}		C_{max}	C_{max}		C_{max}	C_{max}		C_{max}	C_{max}	
K-A1	8*8	27	14	14	-	14	15	6,67	14	14	-	14	14	-
K-A2	10*10	30	7	7	-	7	7	0,00	7	7	-	7	7	-
K-B1	15*10	56	11	11	-	11	12	8,33	11	11	-	11	11	-
Ortalama % İyileşme			-			5,00			-			-		



Şekil 4.5. K-B1'e ait Gantt şeması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için dağınık arama metodu kullanılarak bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Kullanılan metot genetik algoritmaya benzerliği ile dikkat çekse de referans ve farklılaştırma kümelerinin olması sebebiyle popülasyona verimli bireylerin katılmasına olanak sağlamaktadır. Başlangıç popülasyonu oluşturmada kullanılan yöntemin avantajı, popülasyonun kaliteli bireylerden oluşmasına vesile olurken çözüme ulaşmadaki süreye de olumlu yönde etkisi olmasıdır.

Geliştirilen yöntemin performansı literatürde yer alan problemler üzerinde test edilmiştir. Literatürde çeşitli büyüklükte birçok problem yer almaktadır. İlk olarak küçük ölçekteki problemler üzerindeki sonuçları görmek amacıyla Fattahi ve ark. (2009) tarafından geliştirilen ve 20 örnekten oluşan problem grubu üzerinde testler yapılmıştır. Sonuçları itibari ile bu problemler üzerinde aynı veya daha etkili sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada geliştirilen metodun daha büyük problemler üzerindeki sonuçlarını görmek amacıyla, literatürde birçok çalışma tarafından da kullanılan, Fattahi ve ark. (2007) tarafından geliştirilen ve 10 örnekten oluşan problem grubu ve Kacem ve ark. (2002) tarafından geliştirilen ve 3 farklı örnekten oluşan problem grubu üzerinde testler yapılmıştır. Bu testlerin sonuçları incelendiğinde geliştirilen metodun bu örnekler üzerinde etkin sonuçlar ortaya koyduğu görülmektedir.

Çalışmamızda amaç fonksiyonu olarak bütün işlerin tamamlanma zamanı olan C_{max} dikkate alınmıştır. Gerçek hayatta C_{max} amaç fonksiyonun yanında, en erken teslim süresi, toplam akış süresi, siparişler (işler) arasındaki öncelik kuralları gibi farklı amaçlara göre de üretim yapılabilmektedir. Çizelgeleme yaparken; tüm makinelerin başlangıçta boş ve hazır olduğu, makine arızalanmalarının olmadığı ve makineler arası taşımanın olmadığı varsayımları üzerinden işlemler gerçekleştirilmiştir. Oysa gerçek hayatta bu varsayımların yanında hammadde ve iş gücü gibi etkenler de üretimi etkilemektedir. Planlama yapılırken yukarıda bahsedilen varsayımların dikkate alınması çözümün gerçek hayata daha uygun olmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdulgaid, T.F., 2015, A neighborhood search function for flexible job shop scheduling with separable sequence-dependent setup times, *Applied Mathematics and Computation*, 260, 188-203.
- Aladağ, A., 2010, Tekrar işlemeli esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için yapay bağışıklık sistemi ile bir çözüm yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 1-33.
- Bagheri, A., Mahdevi, I., Yazdani, M. and Zandieh, M., 2010, An artificial immune algorithm for the flexible job-shop scheduling problem, *Future Generation Computer Systems*, 26, 4, 533-541.
- Baker, K.R., 1974, Introduction to sequencing and scheduling, *Wiley*, Hoboken, NJ.
- Birgin, G., E., Feofiloff, P., Fernandes, C., G., De Melo, E., L., Oshiro, M., T., I. and Ranconi, D., P., 2013, A milp model for an extended version of the flexible job shop problem, *Optimization Letters*, 8, 4, 1417-1431.
- Bitran, R. and Tirupati, D., 1989, Hierarchical production planning, *Cambridge*, Mass, MIT, 6-8.
- Brandimarte, P., 1993, Routing and scheduling in a flexible job shop by tabu search, *Annals of Operations Research*, 41, 157-184.
- Brucker, P., 2007, Scheduling algorithms, *Springer*, Berlin, 107-237.
- Brucker, P. and Schlie, R., 1990, Job-shop scheduling with multi-purpose machines, *Computing*, 45, 4, 369-375.
- Cano, D.B., Santana, J.B., Rodriguez, C.C., Del Amo, I.J.G., Torres, M.G., Garcia, F.J.M., Batista, B.M., Perez, J.A.M., Vega, J.M.M. and Martin, R.R., 2004, Nature-inspired components of the scatter search, *Technical Report*.
- Clifford, S., 2015, Production scheduling, Columbia University, <http://www.columbia.edu/~cs2035/courses/ieor4405.S13/index.html> [Ziyaret tarihi 31.11.2015].
- Çandar, H., Dere, M. ve Filiz, H., 2012, ASJ kesme işleminde tam faktöriyel ile taguchi deney tasarımı yöntemlerinin yüzey pürüzlülüğü tahmin modeli oluşturmadaki etkileri, 3. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara, 90-98.
- Demir, Y. and İşleyen, S. K., 2014, An effective genetic algorithm for flexible job-shop scheduling with overlapping in operations, *International Journal of Production Research*, 52:13, 3905-3921.

- Engin, O. ve Oktay, S., 2006, Endüstriyel problemlerin çözümü için dağınık arama metodu: literatür araştırması, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2006), 144-155.
- Fattahi, P., Jolai, F. and Arkat, J., 2009, Flexible job shop scheduling with overlapping in operations, *Applied Mathematical Modelling*, 33, 7, 3076-3087.
- Fattahi, P. and Mebrahad M.S., 2009, A New Approach in Job Shop Scheduling: Overlapping Operation, *Journal of Industrial Engineering*, 3, 25-32.
- Fattahi, P., Mehrabad M.S. and Jolai, F., 2007, Mathematical modeling and heuristic approaches to flexible job shop scheduling problems, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 18, 3, 331-342.
- Fleurent, C., Glover, F., Michelon, P. and Vali, Z., 1996, A scatter search approach for unconstrained continuous optimization, *IEEE*, 0-7803-2902-3, 643-648.
- Gao, J., Gen, M. and Sun, L., 2006, Scheduling jobs and maintenances in flexible job shop with a hybrid genetic algorithm, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17, 4, 493-507.
- Gao, J., Sun, L. and Gen, M., 2008, A hybrid genetic and variable neighborhood descent algorithm for flexible job shop scheduling problems, *Computers & Operations Research*, 35, 9, 2892-2907.
- Gen, M. and Cheng, R., 1997, Genetic algorithms & engineering design, *John Wiley & Sons*, New York.
- Gholami, M. and Zandieh, M., 2009, Integrating simulation and genetic algorithm to schedule a dynamic flexible job shop, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20 (4), 481-498.
- González, A.M., Vela, C.L. and Varela, R., 2015, Scatter search with path relinking for the flexible job shop scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 245, 35-45.
- Guo, Q. and Tang, L., 2015, An improved scatter search algorithm for the single machine total weighted tardiness scheduling problem with sequence-dependent setup times, *Applied Soft Computing*, 29, 184-195.
- Guohui, Z., Liang, G. and Yang, S.A., 2010, Genetic Algorithm and Tabu Search for Multi Objective Flexible Job Shop Scheduling Problems. *Computing, Control and Industrial Engineering (CCIE), 2010 International Conference on*, 251-254.
- Haq, A.N., Saravanan, M., Vivekraj, A.R. and Prasad, T., 2007, A scatter search approach for general flowshop scheduling problem, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31, 7-8, 731-736.
- Herrmann, J., 2007, The legacy of Taylor, Gantt, and Johnson: How to improve production scheduling, *The Institute for Systems Research*, 1-12.

- Ho, N.B., Lai, E. M. K. and Tay, J. C., 2007, An effective architecture for learning and evolving flexible job-shop schedules, *European Journal of Operational Research*, 179, 316–333.
- Jain, A.J. and Meeran, S., 1999, A state-of-the-art review of job-shop scheduling techniques, *European Journal of Operations Research*, 113, 390-434.
- Jensen, M.T., 2003, Generating robust and flexible job shop schedules using genetic algorithms, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2003, 7, 275- 288.
- Kacem, I., Hammadi, S. and Borne, P., 2002a, Approach by localization and multi-objective evolutionary optimization for flexible job-shop scheduling problems, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 32(2), 1-13.
- Kacem, I., Hammadi, S. and Borne, P., 2002b, Pareto-optimality approach for flexible job-shop scheduling problems: hybridization of evolutionary algorithms and fuzzy logic, *Mathematics and Computers in Simulation*, 60, 3–5, 245-276.
- Mansour, N., Isahakian, V. and Ghalayini, I., 2009, Scatter search technique for exam timetabling, *Applied Intelligence*, 34, 2, 299-310.
- Meto, B., 2013, Esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri için bir hibrit genetik algoritma yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, *TOBB Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-69.
- Naderi, B. and Ruiz, R., 2014, A scatter search algorithm for the distributed permutation flow shop scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 239, 323-334.
- Nasiri, M. and Kianfar, F., 2011, A hybrid scatter search for the partial job shop scheduling problem, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52, 9-12, 1031-1038.
- Nowicki, E. and Smutnicki, C., 2006, Some aspects of scatter search in the flow-shop problem, *European Journal of Operational Research*, 169, 654-666.
- Ong, Z.X., Tay, J.C. and Kwoh, C.K., 2005, Applying the clonal selection principle to find flexible job shop schedules, *Lecture Notes in Computer Sciences*, Springer Berlin Heidelberg, 3627, 442- 455.
- Özgüven, C., Özbakır, L. and Yavuz, Y., 2010, Mathematical models for job-shop scheduling problems with routing and process plan flexibility. *Applied Mathematical Modelling*, 34, 6, 1539-1548.
- Pendharkar, P. C., 2013, Scatter search based interactive multi-criteria optimization of fuzzy objectives for coal production planning, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26, 1503-1511.

- Pezzella, F., Morganti, G. and Ciaschetti, G., 2008, A genetic algorithm for the flexible job-shop scheduling problem, *Computers & Operations Research*, 35, 10, 3202-3212.
- Pinedo, M., 2011, *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems*, Springer, New York.
- Rao, A.R.M. and Lakshmi, K., 2008, Multi-objective Scatter Search Algorithm for Combinatorial Optimisation, *Advanced Computing and Communications 16th International Conference on, ADCOM 2008*, 303-308.
- Sadiq, A.T. and Mohammed, K.S., 2012, Improved scatter search for job shop scheduling problem, *International Journal of Research and Reviews in Soft and Intelligent Computing*, 2, 1, 104-107.
- Sagarna, R. and Lozano, J.A., 2006, Scatter Search in software testing, comparison and collaboration with Estimation of Distribution Algorithms, *European Journal of Operational Research*, 169, 2, 392-412.
- Sonuç, S.S., 2008, A scatter search approach for protein folding problem in 2d hp-model, Yüksek Lisans Tezi, Koç Üniversitesi, İstanbul.
- Tamaki, H., Ono, T., Murao, H. and Kitamura, S., 2001, Modeling and genetic solution of a class of flexible job shop scheduling problems, *Emerging Technologies and Factory Automation, 200, Proceedings, 2001 8th IEEE International Conference on*, France, 341-350.
- Tang, J., Zhang, J. and Pan, Z., 2010, A scatter search algorithm for solving vehicle routing problem with loading cost. *Expert Systems with Applications*, 37, 6, 4073-4083.
- Tay, J.C. and Wibowo, D., 2004, An effective chromosome representation for evolving flexible job shop schedules, *GECCO 2004, In: Lecture notes in computer science*, Berlin, Springer, 210-221.
- Wang, S. and Yu, J., 2010, An effective heuristic for flexible job-shop scheduling problem with maintenance activities, *Computers & Industrial Engineering*, 59, 436-447.
- Xia, W. and Wu, Z., 2005, An effective hybrid optimization approach for multi-objective flexible job-shop scheduling problems, *Computers & Industrial Engineering*, 48, 2, 409-425.
- Xing, L., Chen, Y., W, P., Zhao, Q., Xiong, j., 2009, A knowledge-based ant colony optimization for flexible job shop scheduling problems, *Applied Soft Computing*, 10(2010), 888-896.
- Yazdani, M., Amiri, M. and Zandieh, M., 2010, Flexible job-shop scheduling with parallel variable neighborhood search algorithm, *Expert Systems with Applications: An International Journal*, 37 (1), 678-687.

- Zhang, G., Gao, L. and Shi, Y., 2011, An effective genetic algorithm for the flexible job-shop scheduling problem, *Expert Systems with Applications*, 38, 4, 3563-3573.
- Zhang, G., Shao, X., Li, P. and Gao L, 2009, An effective hybrid particle swarm optimization algorithm for multi-objective flexible job-shop scheduling problem, *Computers & Industrial Engineering*, 56, 4, 1309-1318.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Safa Külahlı
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Sarayönü – 1988
Telefon : 0554 905 47 52
Faks : -
E-mail : safakulahli@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise :	Enderun Lisesi, Karatay, Konya	2004
Üniversite :	Osmangazi Üniversitesi, Merkez, Eskişehir	2008
Yüksek Lisans :	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	Devam ediyor
Doktora :		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010	Kompen PVC A.Ş.	Üretim Planlama Sorumlusu

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR