



**Review Paper / Derleme Makalesi**  
**MULTI OBJECTIVE FLEXIBLE JOB SHOP SCHEDULING PROBLEMS**

**Serkan KAYA<sup>\*1</sup>, Nilgün FIĞLALI<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, ŞANLIURFA

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, KOCAELİ

Received/Geliş: 28.03.2013 Revised/Düzeltilme: 09.09.2013 Accepted/Kabul: 29.09.2013

---

**ABSTRACT**

Flexible job shop scheduling problem, is an extension of the classical job shop scheduling problem. In Flexible job shop scheduling problem, there are more than one machine with the same features for the same purpose. The problem can be defined as appointing the jobs to the machines (assignment) and ordering the jobs at each machine (sequencing) to serve the desired purpose. Multi-objective flexible job shop scheduling problem is of great importance in production management and combinatorial optimization. Because of the calculation complexity, finding the optimal solution for the actual situation of medium-sized problems is very difficult with traditional optimization methods. In this study, recent works on multi-objective flexible job shop scheduling problems is examined and a comprehensive literature review is presented. Especially, the meta-heuristic methods used by researchers are rigorously investigated; and meta-heuristic methods for solving multi-objective flexible job shop scheduling problems are suggested.

**Keywords:** Flexible job shop scheduling, multi objective scheduling.  
**MSC numbers/numaraları:** 90B35, 90B50, 90C29, 90C27, 78M50.

**ÇOK AMAÇLI ESNEK ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ**

**ÖZET**

Esnek atölye tipi çizelgeleme (EATÇ) problemi, klasik atölye tipi çizelgeleme probleminin genişletilmiş halidir. EATÇ Problemünde aynı amaç için aynı özelliklere sahip birden fazla makine bulunmaktadır. Problem, işlerin makinelere atanması (rotalama) ve işlerin istenilen amaçlara hizmet edecek şekilde makinelerde sıralanması (sıralama) şeklinde tanımlanabilir. Çok amaçlı EATÇ problemi hem üretim yönetimi hem de kombinatoriyel optimizasyon alanlarında büyük öneme sahiptir. Hesaplama karmaşasından dolayı, geleneksel optimizasyon yöntemleri ile orta büyüklükteki ve gerçek durum problemlerinde optimal çözümü bulmak oldukça zordur. Bu çalışmada, çok amaçlı EATÇ problemleri üzerine son yıllarda literatürde yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Araştırmacıların özellikle kullandıkları meta sezgisel yöntemler ayrıntılı incelenmiş, çok amaçlı EATÇ problemlerinin meta sezgisel yöntemler ile çözümü için önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar Sözcükler:** Esnek atölye tipi çizelgeleme, çok amaçlı çizelgeleme.

---

**1. GİRİŞ**

Modern üretim sistemlerinde, etkin üretim planlama faaliyetleri önemlidir. Atölye tipi çizelgeleme problemi popüler çizelgeleme problemleri arasında yer almaktadır. Esnek atölye tipi

---

\*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: serkankaya@harran.edu.tr, tel: (414) 318 32 16

çizelgeleme (EATÇ), gerçek yaşam problemleri sınıfında yer alan, atölye tipi çizelgeleme problemlerinin kısıtlı makine atamalarını esnekleştiren problem türüdür. EATÇ Problemi, her operasyonun bir grup makine üzerinde işlem gördüğü klasik atölye tipi çizelgeleme problemlerinin bir türüdür. Bu model gerçek üretim sistemlerinde geniş kullanıma sahip bir problem türüdür.

EATÇ Problemi  $n$  sayıda işin  $m$  adet paralel makine üzerinde çizelgelenmesidir. Her makine bir anda sadece bir iş işleyebilir ve süreç işin bitimine kadar devam eder. Amaç genellikle toplam tamamlanma zamanının minimize edilmesidir. Çizelgeleme çevresi dinamik veya statik olabilir. Statik çevre, çizelgeleme başladığında sistemde herhangi bir değişiklik söz konusu değildir. Makine arızalanması, işin iptal edilmesi v.b. durumlar söz konusu olamaz. Dinamik çevre, Makine arızalanması veya yeni bir işin üretim sürecine dâhil edilmesi gibi, durumların söz konusu olduğu deterministik veya stokastik olabilir.

Genel olarak EATÇ Problemleri; toplam ve kısmi esnekliğe sahip olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Toplam esneklikte her bir operasyon tüm makineler üzerinde işleme tabi tutulabilirler. Kısmi esneklik durumunda ise işlerin bir kısmı sadece bir grup makine üzerinde işleme tabi tutulabilirler.

## **2. ÇOK AMAÇLI ESNEK ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ**

EATÇ Problemi klasik atölye tipindeki işlerin sadece bir makine yerine, birden fazla makinede işlenebilme durumunun olduğu problem tipini belirtmektedir. Yani klasik atölye tipi çizelgeleme probleminin daha da genelleştirilmiş halidir. EATÇ Problemi işlerin en iyi şekilde sıralanmasının yanı sıra, bu işlere en iyi makinelerin atanması kararını da içerir.

Atölye tipi çizelgeleme probleminde her bir iş  $m$  adet makine üzerinde önceden belirlenmiş rotayı takip edecek şekilde işlem görür. EATÇ Problemleri, atölye tipi ve paralel makineli üretim ortamlarının birleştirilmiş halidir. Bu ortamlarda her birinde benzer makinelerin olduğu iş istasyonları yer almakta ve her işin kendi rotası bulunmaktadır.[1]

EATÇ Problemlerinde iki ana zorluk vardır. Birincisi, işlemlerin makinelere atanması, ikincisi ise önceden tanımlanan amaç fonksiyonunu eniyilemek için en uygun iş sıralamasının bulunmasıdır. Bu nedenle EATÇ problemi, klasik atölye tipi çizelgeleme probleminin bütün zorluklarını ve karmaşıklığını barındırmanın yanı sıra işlerin makinelere atanması sorunu da söz konusu olduğundan çok daha karmaşık bir problemdir[2]. Literatürdeki problem tiplerine bakıldığında, işlerin daha önce işlendiği makineye bir daha uğramadığı durumlar daha çok ele alınmıştır. Eğer işlerin işlendiği makineye ileride tekrar uğraması yani tekrar işleme söz konusu ise problemin zorluk derecesi daha da artmaktadır[3].

Kacem ve diğerleri [4,5], EATÇ Problemini iki alt grupta incelemiştir. Birincisi, işlerin her birinin, atölyedeki  $m$  adet makinelerden herhangi birinde işlenebildiği Toplam EATÇ Problemidir. Diğeri ise işlerin, atölyedeki  $m$  adet makinenin alt kümesi olarak tanımlanabilecek makinelerden birinde işlenebildiği Kısmi EATÇ Problemidir. Kacem ve diğerlerine göre aynı makine sayısı ve operasyon sayısı için kısmi EATÇ probleminin çözümü, toplam EATÇ probleminin çözümüne göre daha zordur.

EATÇ Problemlerinin çözümünde karşılaşılan en temel problemlerden birincisi; işlerin hangi sırayla işleneceği, diğeri ise; her işin işlenebileceği birden fazla aday makine olması nedeniyle, bu işlerin hangi makinelerde işleneceğidir. Bu iki temel alt problemin nasıl çözüldüğüne bağlı olarak çözüm yaklaşımları, hiyerarşik yaklaşım ve bütünlük yaklaşım olmak üzere ikiye ayrılır. Bütünlük yaklaşımın uygulanması diğeri göre daha zor olmasına rağmen, genel olarak daha iyi sonuçlara ulaşabilmektedir[6].

Çizelgeleme literatüründe, tek amaç ölçütlü çalışmalar ile kıyaslandığında çok daha az olan çok amaç ölçütlü çizelgeleme çalışmalarına son dönemlerde ilgi gittikçe artmıştır. Bu tür problemlerin çözümü tek amaç ölçütlü problemler kadar kolay olmamaktadır. Çünkü birbirleri ile çelişen amaçlar aynı anda en iyileştirildiğinden tek bir çizelgeyi oluşturmak oldukça zordur. Bu

durumda, çok amaçlı problemlerde karar vericilerin çözümler üzerindeki tercihi önem kazanmakta olup, tüm çözüm uzayını temsil edebilecek uygun çözümlerin oluşturulmasında değişik modeller literatürde yer almaktadır.

Genel olarak  $n \times m$  boyutunda EATÇ problemi aşağıdaki gibi ifade edilir;

- Bir işin operasyonları arasındaki ilişki önceliği önceden belirlenmiştir.
- Her operasyon herhangi bir makine üzerinde işlenebilir. Bir operasyonun bir makine üzerinde işlenemeyeceği durumda, o makine için ilgili operasyonun işlem zamanı çok büyük bir değer atanır.
- Operasyon işlem sırasında yarı kesilemez.
- Her makine aynı anda sadece bir operasyon işleyebilir.
- Operasyonların hazırlık zamanları makinelerden bağımsızdır ve işlem zamanının içindedir.

$i$ : İşlerin indisi  $i, h = 1, 2, \dots, n$ ;

$j$ : Makine indisi,  $j = 1, 2, \dots, m$ ;

$k$ : Operasyonların indisi  $k = 1, 2, \dots, K_i$

$n$ : Toplam iş sayısı

$m$ : Toplam makine sayısı

$K_i$ :  $J_i$  işine ait toplam operasyonların sayısı

$J_i$ :  $i$ . iş

$O_{ik}$ :  $i$  işinin  $k$ . Operasyonu

$M_j$ :  $j$ . Makine

$P_{ikj}$ :  $O_{ik}$  operasyonunun  $j$ . makine üzerindeki işlem süresi

$U$ :  $m$  boyutundaki makine seti

$U_{ik}$ :  $O_{ik}$  operasyonu için kullanılacak makine seti

$W_j$ :  $M_j$  makinesinin iş yükü (toplam işlem süresi)

#### KARAR DEĞİŞKENLERİ

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{Oik işi için j makinesi seçilecekse} \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

$C_{ik}$ :  $O_{ik}$  operasyonunun tamamlanma zamanı

EATÇ Problemi modeli aşağıdaki gibidir:

$$\min t_M = \max_i \max_k \{c_{ik}\} \quad (2.1)$$

$$\min W_M = \max_j \{W_j\} \quad (2.2)$$

$$\min W_T = \sum_{j=1}^m W_j \quad (2.3)$$

$$s.t. c_{ik} - t_{ikj}x_{ikj} - c_{i(k-1)} \geq 0, k=2, \dots, K_i; \forall i, j \quad (2.4)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ikj} = 1, \forall k, i \quad (2.5)$$

$$X_{ikj} \in 0,1, \forall j, k, i \quad (2.6)$$

$$C_{ik} \geq 0, \forall k, i \quad (2.7)$$

Amaç fonksiyonu olarak; formül 2.1 toplam tamamlanma zamanını ( $C_{max}$ ), formül 2.2 maksimum iş yükünü ( $W_m$ ), formül 2.3 ise toplam iş yükünü ( $W_j$ ) hesaplar. Formül 2.2 ve 2.3 göz önüne alındığında amaç, tüm makinelerin iş yükünü dengelemektir. Formül 2.4 sıradaki işin kendisinden önceki işin tamamlanmasından sonra başlayacak operasyonun öncelik kısıtını temsil eder. Formül 2.5. her operasyon için bir makine seçilmesi gerektiği eşitliktir. Formül 2.6  $i$ . işin  $k$ . operasyonu  $j$  makinesinde işlendiğinde 1, aksi halde 0 olduğunu gösterir.  $O_{ij}$  operasyonunun atandığı makineyi verir. Formül 2.7  $i$ . işin  $k$ . operasyonunun bitiş süresini gösterir.

### 3.ÇOK AMAÇLI ESNEK ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ: LİTERATÜR TARAMASI

Bir konu üzerinde literatür taramasının amacı, araştırma konusuyla ilgili o ana kadar yapılmış çalışmaları belirlemek ve incelemektir. Bu inceleme araştırmacının, konuyu daha iyi anlamasının yanı sıra daha önceden yapılmış bir çalışmayı tekrarlamasından korur. Literatür taraması araştırmacıya, konu ile ilgili temel sağlar ve araştırma konusunun eksik kalan kısımlarının tespit edilmesinde vazgeçilmez bir gerekliliktir. Bu çalışmada çok amaçlı EATÇ problemleri üzerine literatürde yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Aşağıda yer alan çalışmalar öncelikle amaç fonksiyonu bazında irdelenmiş, aynı amaç fonksiyonlarına sahip çalışmalar tarih bazında geriye doğru gidilerek sıralanmıştır.

Chiang ve Lin [7], toplam tamamlanma zamanı ( $C_{max}$ ), toplam makine iş yükü ( $W_t$ ) ve max iş yüküne sahip makinenin iş yükü ( $W_m$ ) olmak üzere 3 amaçlı EATÇ problemini çalışmışlardır. Etkin genetik operatörü ve populasyon çeşitliliği olan evrimsel bir algoritma geliştirmişler ve pareto sonuçlarını incelemiştir. Algoritmalarının ana özelliğinin, populasyon büyüklüğü ve iterasyon olmak üzere sadece 2 parametreye ihtiyacı olduğunu belirtmişlerdir. Yazarlar algoritmalarını literatürde yer alan problem setleriyle ölçmüşler ve her problem seti için %70 oranında daha etkin sonuçlar aldıklarını göstermişlerdir.

Li ve diğerleri [8] çok amaçlı EATÇ problemi için genetik ve parçacık sürü optimizasyonu yöntemlerinin birleşimi ile elde edilen melez sıçrayan kurbağa algoritması geliştirmişlerdir. Yazarlar çalışmalarında eş zamanlı olarak;  $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$ 'i minimize etmeyi amaçlamışlardır. Başlangıç populasyonuna kurallar ilave etmişlerdir. Ele aldıkları problemi çok amaçlı düşündüklerinden algoritmalarını da çok amaçlı hale getirmişler ve yerel arama algoritmasını ilave etmişlerdir. Yazarlar algoritmalarını Kacem ve diğerlerinden [4,5] aldıkları 3 adet problem, Brandimarte [48] aldıkları 10 adet problem setleriyle değerlendirmişler ve literatürdeki mevcut çözümlere göre etkin sonuçlar aldıklarını söylemişlerdir.

Li ve Pan [9] bakım kısıtı altında çok amaçlı EATÇ problemlerinin çözümü için etkin ayrık kimyasal reaksiyon algoritması sunmuşlardır. Yazarlar bu problem alanında en çok kullanılan  $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$  olmak üzere üç amacı optimize etmeyi hedeflemişlerdir. Algoritmalarındaki her bir çözüm bir kimyasal molekül olarak temsil edilmiştir. Dört adet temel reaksiyon çaprazlama fonksiyonu tanımlamışlardır. Yazarlar algoritmalarını yerel arama tabanlı tabu aramaları yöntemiyle melezlemişlerdir. Algoritmadaki yerel aramayı daha da geliştirebilmek için çeşitli komşuluk yaklaşımı geliştirmişlerdir. Yazarlar algoritmalarını literatürde yer alan çalışmalar ile ölçmüşler ve algoritmalarının etkin sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Wang ve diğerleri [10] çok amaçlı EATÇ problemlerinin çözümü için pareto tabanlı yapay arı kolonileri algoritması geliştirmişlerdir. Amaç fonksiyonu olarak;  $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$  olmak üzere 3 amaçlı ele almışlardır. Başlangıç çözümlerinde çeşitliliği arttırmak için çeşitli stratejilerden oluşan bir kombinasyon adapte etmişlerdir. Daha sonra değişik komşuluk yapıları tanımlamışlardır. Algoritmalarına üçüncü olarak çözümleri geliştirebilmek için çaprazlama operatörü eklemişlerdir. Algoritmalarını literatürde yer alan kıyaslama problemleri ile ölçmüşler ve etkin sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

EATÇ Problemi hem üretim yönetimi hem de kombinatoriyel optimizasyonu alanlarında önemli konulardan bir tanesidir. Bu problem türü atama ve sıralama iki alt problemini içerdiğinden Np-Zor sınıfına girmektedir. Davarzani ve diğerleri [11] çok amaçlı yapay bağıksıklık algoritması geliştirmişlerdir. Problemi,  $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$  olmak üzere üç amaçlı ele almışlardır. Sundukları algoritma populasyonun çeşitliliğini ve yakınsama hızını arttırmaktadır. Yazarlar, literatürde yer alan problem setleriyle algoritmalarını test etmişler ve etkin sonuçlar almışlardır.

Xiong ve diğerleri [12] melez çok amaçlı evrimsel algoritma geliştirmişlerdir. Amaç fonksiyonu olarak,  $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$  olmak üzere çok amaçlı düşünölmüştür. Algoritmaya, genetik algoritma kromozomu ve operatörleri dâhil edilmiştir. Ayrıca evrimsel algoritmaya yerel arama

algoritmasını melezlemişlerdir. Pareto optimal sonuçlarının literatürde diğer yazarların algoritma sonuçlarına göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Moslehi ve Mahnam [13] yerel arama algoritması ve parçacık sürü optimizasyonu tabanlı melez bir yaklaşım sunmuşlardır. Çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu algoritması, öncelik tabanlı EATÇ problemine uygulanmıştır. Yazarlar sundukları algoritmayı, Pareto optimal ve toplam ağırlıklı çok amaçlı diğer algoritmalar ile karşılaştırmışlardır. Kendi algoritmalarının diğer algoritmalara göre tatmin edici sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Li ve diğerleri [14] melez pareto tabanlı ayırık yapay arı kolonisi algoritması sunmuşlardır. Yazarlar melez algoritmalarında etkin bir çaprazlama operatörü geliştirmişlerdir. Şimdiye kadar bulunan etkin olmayan çözümleri hafızada tutmak ve çözüm aşamasında işlem süresini azaltmak için dışsal pareto geliştirmişlerdir. Algoritmanın arama kabiliyetini geliştirebilmek için çeşitli yerel arama yaklaşımları sunmuşlardır. Amaç fonksiyonu olarak,  $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$  olmak üzere 3 amaçlı düşünülmüştür. Yazarlar algoritmalarını literatürde yer alan kıyaslama problemleriyle test etmiş ve diğer algoritmalara göre daha etkin sonuçlar elde etmişlerdir.

EATÇ Problemi, gerçek yaşam çizelgeleme problemlerine daha yakın ve atölye tipi çizelgeleme problemlerinin uzantısıdır. Wang ve diğerleri [15], EATÇ problemlerinin çözümü için bağışıklık ve entropi tabanlı çok amaçlı genetik algoritma yaklaşımı sunmuşlardır. Amaç fonksiyonu olarak,  $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$  olmak üzere çok amaçlı çalışmışlardır. Özel kromozom yapısı için etkin çaprazlama ve mutasyon operatörleri geliştirmişlerdir. Yazarlar algoritmalarını mevcut diğer algoritmalar ile karşılaştırmış ve etkin sonuçlar elde etmişlerdir.

Bagheri ve diğerleri [16] yapay bağışıklık tabanlı tümleşik bir algoritma sunmuşlardır. Algoritmanın başlangıç popülasyonuna çeşitli stratejiler adapte etmişlerdir. Aynı zamanda yeni bireyler oluşturmak için farklı mutasyon operatörleri tanımlamışlardır. Yazarlar algoritmalarını literatürdeki problem setleriyle çözmüş ve algoritmalarının etkin sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Unachak [17], çalışmasında EATÇ problemini gerçek yaşam üretim problemlerine uyarlamış ve bu problemin çözümünde genetik algoritmayı kullanmıştır. Tam zamanında üretim felsefesinde işlerin makinelere atanması ve çizelgeleme kurallarını uyarlayarak, sunduğu genetik algoritma yaklaşımıyla esnekliği başarabileceğini vurgulamıştır. Bu uyarlamalı gösterimleri hem statik hem de dinamik ortamda test edilmiştir. Statik EATÇ problemlerini literatürde yer alan kıyaslama problemleri ile çözmüş ve elde edilen sonuçları diğer algoritma sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Diğer yaklaşımların çoğu, EATÇ problemlerini tek amaçlı olarak optimize ederken, yazarın yaklaşımı çok amaçlı EATÇ problemi için sürekli olarak tatmin edici sonuçlar vermiştir. Makine arızalanması gibi kısıtların oluştuğu dinamik model için yazar, kendi algoritmasını literatürdeki, sağa kaydırmalı yeniden çizelgeleme ve ön çizelgeleme olmak üzere iki tane kıyaslama algoritmasıyla karşılaştırmıştır. Yazar, kayıp zamanı minimize etmek performans ölçütü olarak etkin sonuçlar elde etmiştir.

Li ve diğerleri [18] etkin melez bir tabu aramaları algoritması sunmuşlardır. Çalışmalarında yazarlar,  $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$  olmak üzere üç amaçlı problem ele almışlardır. İki uyarlamalı kural kombinasyonlu etkin komşuluk yapısına sahip tabu aramaları algoritması tanımlanmıştır. Yazarlar algoritmalarını kıyaslama problem setleriyle çözmüşlerdir. Literatürde yer alan, Kacem ve diğerleri [5], Xia ve Wu [29] ve Zhang ve diğerleri [21] tarafından sunulan algoritmalar ile karşılaştırmışlar ve daha etkin sonuçlar almışlardır.

Rajkumar ve diğerleri [19], bakım kısıtı altında çok amaçlı EATÇ problemlerinin çözümü için Açgözlü rastsal uyarlamalı arama algoritması geliştirmişlerdir. Performans ölçütü olarak,  $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$  olmak üzere üçlü amaç fonksiyonu almışlardır. Kendi yöntemlerini literatürde yer alan problem setleriyle çözmüş ve etkin sonuçlar almışlardır.

EATÇ Problemleri dâhil üretim çizelgeleme problemlerinin çoğunluğu makinelerin sürekli olarak kullanılabilir olduğu varsayımı altında çalışılmıştır. Ancak gerçek yaşam problemlerinde makinelerin koruyucu bakım gibi faaliyetlerinden dolayı çalışmaya ara vermek

zorunda oldukları durumlar vardır. Wang ve Yu [20], bakım kısıtı altında EATÇ probleminin çözümü için sezgisel bir yaklaşım sunmuşlardır. Amaç fonksiyonu olarak;  $C_{max}$ ,  $W_1$  ve  $W_m$  olmak üzere çok amaçlı düşünülmüştür. Yazarlar algoritmalarını literatürdeki problem setleriyle çözmüş ve algoritmalarının memnun edici sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Zhang ve diğerleri [21] çok amaçlı EATÇ problemlerinin çözümü için parçacık sürü optimizasyonu ve tavlama benzetimi yöntemlerinin kombinasyonu olan melez bir yaklaşım sunmuşlardır. Amaç Fonksiyonu olarak;  $C_{max}$ ,  $W_1$  ve  $W_m$  olmak üzere 3 amaçlı düşünülmüştür. Yazarlar yaklaşımlarının özellikle büyük boyutlu problem setleri için etkin sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Xing ve diğerleri [22], çok amaçlı EATÇ probleminin çözümü için bir simülasyon model önermişlerdir. Amaç fonksiyonu olarak;  $C_{max}$ ,  $W_1$  ve  $W_m$  minimize eden çok amaçlı problemi çalışmışlardır. Diğer bir çalışmalarında, Xing ve diğerleri [23] aynı problemin çözümü için etkin bir yerel arama metodu sunmuşlardır. Yazarlar 2009 yılında yaptıkları her iki çalışmalarını da literatürde yer alan kıyaslama problemleriyle test etmişler ve etkin sonuçlar almışlardır. Bu iki çalışmalarından bir yıl önce Xing ve diğerleri [24], aynı problemin çözümü için çift katmanlı karınca kolonileri algoritması sunmuşlardır. Problemin çözümü için iki farklı algoritma geliştirmişlerdir. Birinci algoritma, işlerin makinelere en uygun şekilde atanmasını sağlamaktadır. İkinci algoritmada bireyler arasındaki arama yeteneğini geliştirmek amacıyla, iki etkinmektedir. Aynı amaç fonksiyonunun alındığı bu çalışmada da yazarlar sayısal sonuçlarla, kendi algoritmalarının literatürdeki diğer algoritmalara göre daha etkin sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Gao ve diğerleri [25],  $C_{max}$ ,  $W_1$  ve  $W_m$  olmak üzere 3 fonksiyonunun minimize edilmesi amaçlı, EATÇ problemlerinin çözümü için melez genetik algoritma sunmuşlardır. Yazarlar, çözümleri temsil etmek üzere iki vektör kullanmışlardır. Gelişmiş çaprazlama ve mutasyon operatörleri, problemin karakteristikleri ve özel kromozom yapısına adapte etmek için kullanılmıştır. Genetik algoritmada bireyler arasındaki arama yeteneğini geliştirmek amacıyla, iki yerel arama prosedürü tanımlanmıştır. En erken ve en geç zamanlı operasyonların belirli zaman aralığında atamasını bulabilmek için etkin bir metod geliştirilmiştir. Algoritma literatürde yer alan kıyaslama problemlerine uygulanmış ve algoritmalarının etkin sonuçlar verdiğini gözlenmiştir.

Ho ve Tay [3] güdümlü yerel arama ve evrimsel algoritma yöntemlerinin birleştirilmesiyle oluşturdukları etkin bir yaklaşım sunmuşlardır. Komşu çözümleri bulmak için kullanılan rastgele yerel arama yerine, Pareto optimal çözümleri için yakınsama sürecini hızlandıran güdümlü yerel arama algoritmalarını geliştirmişlerdir. Aynı zamanda, çok amaçlı çözümlerin alt sınırını bulmak için dal sınır algoritması önermişlerdir. Yazarlar performans ölçütü olarak;  $C_{max}$ ,  $W_1$  ve  $W_m$  olmak üzere üç amaçlı çalışmışlardır. Deneysel sonuçlar, algoritmalarının çok amaçlı pareto optimal çözümlerinin karşılaştırdıkları algoritmalara göre daha etkin sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Shi-Jin ve diğerleri [26],  $C_{max}$ ,  $W_1$  ve  $W_m$  minimize etmek üzere çok amaçlı EATÇ problemlerinin çözümü için sezgisel bir yöntem sunmuşlardır. Üç amaçlı bu problemin her bir amacı için bir ağırlık değeri tanımlamışlar, çözüm için dal sınır algoritmasından esinlenerek sezgisel yöntem sunmuşlardır. Yazarlar, kendi algoritmalarını literatürde yer alan diğer çözümlerle karşılaştırmışlar ve kendi yöntemlerinin daha etkin sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Jia ve diğerleri [27], çok amaçlı EATÇ problemlerinin çözümü için, yerel optimum tıkanmalarından kaçma özelliğine sahip ve geliştirilmiş global arama kabiliyetini kullanabilen parçacık sürü optimizasyonu yöntemini sunmuşlardır. Amaç fonksiyonu eşzamanlı olarak,  $C_{max}$ ,  $W_1$  ve  $W_m$  olmak üzere 3 amaç optimize edilmeye çalışılmıştır. Yazarlar yeni yaklaşımlarında performansı arttırmak için iki düzenleme yapmışlardır. Öncelikle, parçacık sürü optimizasyonu parametreleri, etkili kullanılabilir ve araştırma yapabilmek için geliştirilmiştir. Yerel tıkanmalardan kaçınmak için algoritmaya yerel arama algoritması adapte edilmiştir. Sunulan algoritma kıyaslama problem setleriyle test edilmiş ve etkin sonuçlar verdiğini gösterilmiştir.

EATÇ Problemleri, gerçek yaşam çizelgeleme problemlerine en yakın özelliği ile klasik atölye tipi çizelgeleme probleminin uzantısıdır. Gao ve diğerleri [28],  $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$  olmak üzere üç amaçlı EATÇ problemi için yenilikçi yerel arama prosedürü içeren melez genetik algoritma önermişlerdir. Yazarlar, önerdikleri algoritmayı, Kacem ve diğerleri [4,5], Xia ve Wu [29], ve Zhang ve Gen [30] çözümleri ile karşılaştırmışlardır. Yazarlar karşılaştırdıkları yöntemlere göre daha iyi sonuçlar almışlardır.

EATÇ Problemlerinin çok amaçlı hale gelmesi problemin karmaşıklığını daha da arttırmaktadır. Parçacık sürü optimizasyonu kuşların uçuşa alışkanlıklarını ve bilgi alışverişlerini taklit eden evrimsel bir optimizasyon tekniğidir. Bu yöntem lokal ve yerel aramayı bir arada kullanır. Tavlama Benzetimi çizelgeleme ve sıralama problemlerinde çeşitli durumlar için etkili sonuçlar verdiği ispatlanmış diğer bir yöntemdir. Xia ve Wu [29], çok amaçlı EATÇ problemi için, parçacık sürü optimizasyonu ve Tavlama benzetimi metodlarının melez bir yaklaşımını sunmuşlardır. Amaç fonksiyonu olarak,  $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$  olmak üzere çok amaçlı düşünülmüştür. Yazarlar önerdikleri algoritmayı, Kacem ve diğerleri [4,5] çözümleri ile karşılaştırmışlar ve algoritmalarının etkin sonuçlar veren uygulanabilir bir yaklaşım olduğunu göstermişlerdir.

Zhang ve Gen [30], toplam ve kısmi esnekliklere sahip EATÇ problemlerinin çözümü için genetik algoritma sunmuşlardır. Amaç fonksiyonu olarak,  $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$  minimize edilmesi düşünülmüştür. Yazarlar, büyük boyutlu problem setleri için sundukları genetik algoritmanın etkin sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Kacem ve diğerleri [4], kısmi ve toplam esneklik altında EATÇ problemlerinin çözümü için iki yeni yaklaşım sunmuşlardır. Birinci yaklaşımları, ideal bir atama modeli, ikinci yaklaşımları ise, evrimsel bir genetik algoritma yaklaşımıdır. Diğer bir çalışmalarında Kacem ve diğerleri [5], EATÇ problemlerinin çözümü için, evrimsel algoritmalar ve melez bulanık mantık tabanlı bir Pareto yaklaşımı sunmuşlardır. Bu melez yaklaşım, bulanık mantık bilgi gösterimi ve evrimsel algoritmaların uyarlama yeteneğini kullanmaktadır. Yazarlar her iki çalışmalarında da amaç fonksiyonu olarak,  $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$  göz önünde bulundurarak, çok amaçlı düşünülmüşlerdir. Sonuçlar, yazarların önerdiği algoritmaların kısa işlem zamanı içerisinde tatmin edici sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Buraya kadar incelenen çalışmaların tümü,  $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$  olmak üzere 3 amaç fonksiyonu bazında yapılmış çalışmalardır. Bu çalışmalar en yeni çalışmadan başlanarak verilmiştir. Toplu olarak bu çalışmalar çizelge 1.'de görülmektedir. Bundan sonraki incelenecek çalışmalar yine çok amaçlı olmak üzere değişik amaç fonksiyonları kullanılarak yapılmış çalışmalardır. Bundan sonraki çalışmalar farklı amaç fonksiyonları olduğundan sıralama, çalışma tarihi gözetilmeden amaç fonksiyonu bazında birbirine yakın çalışmalar arka arkaya gelecek şekilde verilmiştir. Bu çalışmalarda toplu olarak çizelge 2.'de görülmektedir.

Vilcot ve Billaut [31] çok kısıtlı EATÇ problemi üzerine çalışmışlardır. Amaç fonksiyonu olarak;  $C_{max}$  ve maksimum gecikmenin en küçüklenmesi olmak üzere iki amaçlı düşünülmüştür. Problemin çözümü için genetik algoritma ve tabu aramaları tabanlı iki çözüm yaklaşımı sunmuşlardır. Sunulan her iki yaklaşım literatürde kıyaslama problem setleriyle analiz edilmiş ve algoritmalarının etkin sonuçlar verdiğini gösterilmiştir.

Tamaki ve diğerleri [32], EATÇ problemlerinin karma tamsayılı doğrusal programlama yaklaşımlarıyla çözülebilmesi için bir model geliştirmişler ve aynı zamanda bu modelin büyük boyutlu problemlerde çok fazla hesaplama zamanı gerektireceğinden problem için genetik algoritma geliştirmişlerdir. Yazarlar amaç fonksiyonu olarak  $C_{max}$  ve toplam gecikmenin minimize edilmesini ele almışlardır. Algoritmalarından kısa süre içerisinde optmale yakın iyi sonuçlar elde ettiklerini göstermişlerdir.

Baykasoğlu ve diğerleri [33], çok amaçlı EATÇ problemlerinin çözümü için tabu aramaları algoritması ve çözüm yaklaşımı sunmuşlardır. Problemi, önceden tanımlanmış performans ölçütünü optimize etmek için rotalama ve sıralama işlemlerini bulmak üzere ele almışlardır. Problem kapsamı, her kısım için alternatif işlem planları hesaba katılarak genişletilmiştir. Alternatif işlem planları ve makinelerin olasılıksal seçimi dikkate alınmıştır.

Yazarlar, problemin çözümü için çok amaçlı tabu aramaları ve dağıtım kural tabanlı sezgisel yöntemin temel prensiplerini sunmuşlardır. Amaç fonksiyonu olarak,  $C_{max}$ , toplam gecikme ve yük dengesi olmak üzere üç amaçlı ele almışlardır. Yazarlar önerdikleri modelin EATÇ problemlerinin çözümünde daha hızlı ve etkin sonuç bulduklarını göstermişlerdir.

Fattahi [34], çok amaçlı EATÇ problemi çözümü için Pareto tabanlı melezi bir yaklaşım sunmuştur. Amaç fonksiyonu olarak  $C_{max}$  ve toplam ağırlıklı gecikmeyi minimize etmek üzere çok amaçlı hedeflemiştir. Problemin çözümü için etkin bir tavlama benzetimi algoritması geliştirmiştir. Algoritmanın gerçek endüstri problemleri ve büyük boyutlu problemler için kolay uygulanabilir olduğu ve optimale yakın sonuçlar bulduğu gösterilmiştir.

Gholami ve Zandieh [35], dinamik EATÇ problemleri için benzetim ve genetik algoritma yaklaşımlarını bütünleştirmiştir. Çalışmalarında, 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 dâhil edilmiştir. Yazarlar amaç fonksiyonu olarak,  $C_{max}$  ve ortalama gecikme zamanının en küçükleme olarak ele almışlardır. Sundukları algoritmalarını çeşitli büyüklükteki problem setleriyle test etmişler ve makinelerin ortalama tamir süresinin ve makinelerin ortalama arızalanma seviyesinin çözelgeleme verimi üzerinde önemli etkiye sahip olduklarını tespit etmişlerdir.

Grobler ve diğerleri [36], bağımlı set-up zamanlı, yedek kaynaklı ve makine arızalı çok amaçlı EATÇ problemlerinin çözümü için parçacık sürü optimizasyonu sunmuşlardır. Amaç fonksiyonu olarak;  $C_{max}$ , erken/geç teslim ve kuyrukta bekleme süresi olmak üzere üç amaçlı düşünülmüşlerdir. Önerilen algoritma kıyaslama problem setleriyle çözülmüş ve akademik çalışmalara katkısının yanı sıra maliyetleri düşürme, kârlılığı artırma ve rekabet üstünlüğü sağlamaya yardımcı olduğu gösterilmiştir.

Jian-jun ve diğerleri [37] çok amaçlı EATÇ problemlerinin çözümü için bağımsızlık sistemine dayalı bir algoritma geliştirmiştir. Bu çalışmada her antikorun en mükemmel bölgeleri belirlenerek, diğer antikora aşılanaştırılmaktadır. Yazarlar performans ölçütü olarak;  $C_{max}$ , akış zamanı, makine kullanım oranı, erken ve geç ceza maliyeti, öncelik bağlantılı işlerin derecesi, setup miktarı, makine iş yükü şeklinde 8 tane amaç değerini farklı ağırlandırmak üzere göz önünde bulundurmışlardır. Algoritmanın uygulaması Çin'de havacılık endüstrisinde faaliyet gösteren bir tesiste test edilmiştir. Sonuçta, mükemmel bölgelerin belirlenerek aşılanaştırılması yönteminin, algoritmanın yakınsama hızını artırdığı tespit edilmiştir.

Lin ve Jia-Zhen [38] EATÇ problemleri içinde yer alan çelik boru üretim tesisinde üretim çözelgeleme problemini çalışmışlardır. Paralel makineler, kapasite ve hız kısıtları altında çalışmakta, makine bakım faaliyetleri orta düzeydedir. İşlerin optimum sıralanması ve her iş için esnek rotaların belirlenmesi için karışık tamsayı programlama modeli önermişlerdir. Amaç fonksiyonu olarak, teslimat gecikmelerini azaltmak, üretim aksamalarını ve makinelerin boş bekleme sürelerini minimize etmek üzere çok amaçlı olarak ele alınmıştır. NP-zor sınıfında gösterilen problemin çözümü için bir genetik algoritma sunulmuştur. Geliştirilen sistem işletmede bir yıl başarıyla uygulanmıştır. Sistem manüel olarak hazırlanan çözelgelemeye göre ortalama %10 daha etkin sonuçlar vermiştir. Ayrıca boş süre azalmış ve çözelgeleme sonucunda etkinlik artmıştır.

Liu ve diğerleri [39], çok amaçlı EATÇ problemlerinin çözümü için çoklu parçacık sürü optimizasyonu yaklaşımı sunmuşlardır. Yazarlar çalışmalarının başında EATÇ problemleri için literatürde yer alan çalışmalar hakkında bilgiler vermiş, daha sonra çok amaçlı EATÇ probleminin ana faktörleri ve matematiksel modelini sunmuşlardır. Çalışmalarının devamında, tanımlanan problemin çözümü için geliştirilen çoklu parçacık sürü optimizasyonunu tanımlamış ve algoritmayı analiz etmişlerdir. Performans ölçütü olarak, akış zamanı ve  $C_{max}$  olmak üzere iki amaçlı ele almışlardır. Yazarlar özellikle büyük boyutlu problem setleri için sundukları yaklaşımın etkin sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.



Liu ve diğerleri [40], değişken komşuluk arama ve parçacık sürü optimizasyonu algoritmalarının bileşimi olan, değişken komşuluk parçacık sürü optimizasyonu olarak adlandırdıkları, melez bir meta sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Performans ölçütü olarak, akış zamanı ve  $C_{max}$  olmak üzere iki amaçlı ele alınmıştır. Yazarlar kendi algoritmalarını test etmek için, literatürde yer alan kıyaslama problem setleriyle çözüm yapmışlar ve Kacem ve diğerleri [4,5] tarafından sunulan algoritma sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Sunulan algoritmanın diğer algoritmalara göre daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Frutos ve diğerleri [41], çok amaçlı EATÇ probleminin çözümü için; tavlama benzetimi tabanlı yerel arama prosedürü ile genetik algoritmadan oluşan memetic algoritma sunmuşlardır. Amaç fonksiyonu olarak,  $C_{max}$  ve toplam işleme maliyeti ele alınmıştır. Yazarlar algoritmalarını önce tek amaçlı ( $C_{max}$ ) daha sonra da iki amaçlı çözümler elde ederek diğer algoritmalarla karşılaştırmışlar ve etkin sonuçlar elde etmişlerdir.

Rabiee ve diğerleri [42]  $C_{max}$  ve toplam operasyon maliyeti minimize amaçlı kısmi EATÇ problemi üzerine çalışmışlardır. Çözüm için üç çeşit genetik algoritma ve bir tane de evrimsel strateji geliştirmişlerdir. Sundukları 4 algoritma içinde pareto sonuçları almışlardır. İki amaç fonksiyonu üzerine odaklanan yeni bir çözüm kromozomu oluşturmuşlardır. Algoritmalarını kendi ürettikleri problem seti ve literatürde yer alan problem setleriyle ölçmüşlerdir.

Wu [43] erken ve geç tamamlanmalı işlerin çizelgelenmesi ve teslim tarihini eş zamanlı optimize etmek amaçlı çok temsilcili iş yükü kontrol yaklaşımı sunmuştur. Tam zamanında üretim yapan işletmelerin önemli bileşenleri arasında yer alan erken ve geç tamamlanma zamanlı işler hem endüstride hem de akademik ortamda büyük ilgi görmektedir. Yazarın sunduğu yaklaşım, işin çok temsilciliye girişi, rotalanması, sıralanması ve bilgi geri beslemeyi sağlamaktadır. Yazar, iki yeni teslim tarihli kural geliştirmiştir. Teslim tarihini ayarlamak için bir geri besleme mekanizması tanıtmıştır. Her iki kuralda parametrik olmayan ve pratikte kolaylıkla uygulanabilir yöntemlerdir. Uygulama sonucunda yazarın önerdiği yöntem sayesinde, işlerin akış zamanında %20,3 ve iş süresinde %33,1 oranında iyileştirme sağlanmıştır.

Prakash ve diğerleri [44] esnek üretim sistemlerinde kompleks çizelgeleme probleminin çözümü için bilgi tabanlı genetik algoritma olarak adlandırdıkları yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Esnek üretim sistemlerindeki kombinatoriyel karar verme problemleri için meta sezgisel yöntemler ve bu yöntemlerden genetik algoritmalar kullanıldığı görülmektedir. Yazarlar yeni yaklaşımlarında, bilgi tabanlı geliştirdikleri genetik algoritma ile esnek üretim sistemlerinde biten iş sayısı ve ortalama akış süresi olmak üzere iki amaçlı problem çalışmışlardır. Kendi sonuçlarını literatürde yer alan diğer genetik algoritma çözüm sonuçları ile karşılaştırmışlar ve büyük boyuttaki problemlerin çözümünde kendi yöntemlerinin daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Tanev ve diğerleri [45] gerçek yaşam EATÇ problemi olarak, Plastik enjeksiyon makineleri üreten bir fabrikada müşteri siparişlerinin çizelgelenebilmesi için bir yaklaşım sunmuşlardır. Yazarların algoritmaları, genetik algoritma ve öncelik dağıtım kurallarının birleşiminden oluşturulmuş melez evrimsel bir yaklaşımdır. Algoritmanın performansı, fabrika data bankasında depolanmış 400 müşteri siparişi kullanılarak ölçülmüştür.

Chan ve diğerleri [46], kaynak kısıtlı EATÇ problemleri için genetik algoritma tabanlı bir yaklaşım sunmuşlardır. Amaç fonksiyonu olarak;  $C_{max}$  ve makine aylak süresinin minimize edilmesi amaçlanmıştır.

Karışık model montaj hattı dengeleme, talep çeşitliliğinin çok olduğu üretim yönetimi alanında önemli strateji problemlerinden biridir. Rahimi-Vahed ve diğerleri [47] çalışmalarında, toplam iş faydası, toplam üretim hızı değişimi ve toplam hazırlık zamanı olmak üzere çok amaçlı problemi çözmek için, parçacık sürü optimizasyonu ve tabu aramaları tabanlı melez çok amaçlı algoritma geliştirmişlerdir. Algoritma, literatürde yer alan üç tane çok amaçlı genetik algoritma sonuçları ile karşılaştırılmış ve önerilen yöntemin büyük boyutlu problemler için önemli derecede daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Çok amaçlı EATÇ probleminin çözümü için kullanılan yöntemlerde, amaç fonksiyonu olarak  $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$  olarak yapılmış çalışmalar Çizelge 1.'de, bu üç amacın dışında kalan diğer çok amaçlı çalışmalar ise Çizelge 2'de görülmektedir. Çizelge 1.'in birinci sütununda çalışmayı yapan yazarlar, ikinci sütunda problemin çözümü için kullandıkları algoritma, üçüncü sütunda çalışmalarında kullandıkları problem boyutları, dördüncü sütunda yazarların kendi algoritmalarını karşılaştırdıkları diğer yazarların çalışmaları, beşinci sütunda çalışmalarının yayınlanma tarihi ve son sütunda ise çalışmanın yayımlandığı dergi görülmektedir. Üçüncü sütunda yer alan problem boyutlarını gösterim şeklinde ilk değer iş sayısını, ikinci değer makine üçüncü değer ise operasyon sayısını temsil etmektedir. Çok amaçlı EATÇ çalışmalarında en çok gerçekleştirilmeye çalışılan amaç;  $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$  olmak üzere üç amaçlı fonksiyonlar olduğu görülmektedir. İncelenen 44 çalışmanın 27 tanesi üç amaçlı olmak üzere ( $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$ ) diğer 17 tanesi ise yine çok amaçlı olmak üzere değişik amaçlar gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

Araştırmacılar çalışmalarında problem boyutlarını küçük, orta ve büyük boyutlu olmak üzere üç boyutlu ele almışlardır. Çalışmalarda en çok kullanılan problemler arasında küçük boyutlu problem sınıfından, 4 iş 5 makine ve 12 operasyondan oluşan ( $4 \times 5 \times 12$ ) toplam esnekliğe sahip problem, orta boyutlu problem sınıfından 10 iş 10 makine ve 30 operasyondan oluşan ( $10 \times 10 \times 30$ ) toplam esnekliğe sahip problem, 8 iş 8 makine ve 27 operasyondan oluşan ( $8 \times 8 \times 27$ ) kısmi esnekliğe sahip problem ve büyük boyutlu problem sınıfından ise 15 iş 10 makine ve 56 operasyondan oluşan ( $15 \times 10 \times 56$ ) toplam esnekliğe sahip problem boyutlarını kullanmışlardır. Yukarıda geçen problemlerin dataları mevcuttur. Tek amaç fonksiyonlu çalışmalarda, toplam tamamlanma zamanını en küçüklemek üzere genelde Brandimarte (BRdata) [48], 10 adet problem seti, Hurink ve diğerleri (HUdata) [49], 128 adet problem seti, Dauzere Peres ve Paulli (DPdata) [50], 18 adet problem setini kullanmışlardır.

Çizelge 1. incelendiğinde yazarlar çok amaçlı EATÇ problemlerinin çözümü için meta sezgisel yöntemler ile çözüm yaparken sadece bir algoritma kullanma yerine iki meta sezgisel yöntemi melezleyerek veya kullandıkları meta sezgisel yönteme sıralama kurallarını adapte ederek algoritmalarını geliştirdikleri görülmektedir. Melez algoritmalar özellikle çok amaçlı problemlerde üç amaç gerçekleştirilmeye çalışıldığında kullanıldığı görülmektedir. İki amaçlı problemi göz önünde bulunduran yazarlar sadece bir meta sezgisel yöntem kullanarak çözüm elde ettikleri de görülmektedir.

Çizelge 2.'de çok amaçlı EATÇ problemlerinde Çizelge 1.'in dışında kalan çalışmalar özetlenmiştir. İlgili çizelgenin birinci sütununda çalışmayı yapan yazarlar, ikinci sütunda problemde ele aldıkları amaç fonksiyonları, üçüncü sütunda yazarların çözüm için geliştirdikleri algoritma, dördüncü sütunda kullanılan problem boyutları, beşinci sütunda çalışmanın yılı ve altıncı sütunda ise çalışmanın yayımlandığı dergi görülmektedir. Çizelge 2'de yazarlar özellikle iki amaç fonksiyonunu göz önünde bulundurduklarında Çizelge 1.'in aksine tek yöntemle de çözümler elde ettikleri görülmektedir.

Çizelge 1. Çok amaçlı EATÇ problemlerinin çözümü için kullanılan yöntemler.

| Yazarlar               | Kullanılan Algoritma                                   | Kullanılan Problemler   | Karşılaştırılan Çalışmalar  | Yayın Yılı | Dergi  |
|------------------------|--|---|---|------------|--|
| Chiang ve Lin [7]      | Evrimsel Algoritma                                     | 4*5*12<br>8*8*27<br>10*7*29<br>10*10*30<br>15*10*56<br>BRdata [48]          | Ho ve Tay.[3]<br>Xing ve diğ. [22]<br>Li ve diğ. [18]<br>Wang ve diğ.[15]<br>Li ve diğ.[14]<br>Bagheri ve diğ.[16]  | 2012       | Int. Journal of Production Economics           |
| Li ve diğ. [8]         | Sıçrayan Kurbağa Alg.                                  | 4*5*12<br>10*7*29<br>15*10*56<br>BRdata [48]                                | Kacem ve diğ. [4,5]<br>Xia ve Wu [29]<br>Pezzella ve diğ. [6]<br>Ho ve Tay [3]<br>Zhang ve diğ. [21]<br>Xing ve diğ. [8,24]<br>Wang ve diğ. [15]<br>Bagheri ve diğ.[16] | 2012       | Applied Mathematics and Comp.                  |
| Li ve Pan [9]          | Kimyasal Reaksiyon Alg. + Tabu Aramaları + Yerel arama | 4*5*12<br>15*10*56<br>8*8*27<br>10*7*29<br>10*10*30                         | Xia ve Wu [29]<br>Zhang ve diğ. [21]<br>Xing ve diğ [23]<br>Li ve diğ. [18]<br>Moslehi ve Mahnam[13]  | 2012       | Applied Soft Computing                         |
| Wang ve diğ. [10]      | Arı kolonileri Alg. + Yerel arama                      | 4*5*12<br>15*10*56<br>8*8*27<br>10*7*29<br>10*10*30                         | Kacem ve diğ. [4,5]<br>Xia ve Wu [29]<br>Zhang ve diğ.[21]<br>Bagheri ve diğ.[16]<br>Li ve diğ. [14]  | 2012       | Int. Journal Advanced Manufacturing Technology |
| Davarzani ve diğ. [11] | Yapay bağışıklık sistemi                               | 8*8*27<br>10*10*30<br>15*10*56<br>BRdata [48]                               | Kacem ve diğ.[4]<br>Xia ve Wu [29]  | 2012       | Int. Journal of Hybrid Information Technology  |
| Xiong ve diğ. [12]     | Evrimsel Alg. + Yerel arama                            | 4*5*12<br>15*10*56<br>8*8*27<br>10*7*29<br>10*10*30                         | Kacem ve diğ. [4]<br>Xia ve Wu. [29]<br>Gao ve diğ. [28]<br>Ho ve Tay [3]<br>Wang ve diğ. [15]<br>Zhang ve diğ. [21]<br>Bagheri ve diğ [16]                             | 2012       | Mathematical Problems in Eng.                  |
| Moslehi ve Mahnam [13] | Parçacık sürü Opt. + Yerel Arama Alg. (MOPSO+LS)       | 8*8*27<br>10*10*30<br>15*10*56<br>4*5*12<br>10*7*29<br>10*10*30<br>15*10*56 | Kacem ve diğ.[4]<br>Xia ve Wu [29]<br>Gao ve diğ.[25]<br>Zhang ve diğ. [21]<br>Xing ve diğ. [22]<br>Xing ve diğ. [23]<br>Kacem ve diğ. [5]                              | 2011       | Int. Journal of Production Economics           |
| Li ve diğ. [14]        | Melez Karınca Kolonileri Alg. (P-DABC)                 | 4*5*12<br>8*8*27<br>10*7*29<br>10*10*30<br>15*10*56                         | Kacem ve diğ.[4]<br>Xia ve Wu [29]<br>Zhang ve diğ. [21]  | 2011       | Int. Journal Advanced Manufact Techn.          |
| Wang ve diğ. [15]      | Genetik Algoritma                                      | 4*5*12<br>8*8*27<br>10*10*30<br>15*10*56                                    | Xia ve Wu[29]<br>Zhang ve diğ[21]<br>Xing ve diğ.[23]   | 2010       | Int. Journal Adv Man. Techn.                   |

Çizelge 1. Çok amaçlı EATÇ problemlerinin çözümü için kullanılan yöntemler(devamı).

| Yazarlar              | Kullanılan Algoritma                                 | Kullanılan Problemler  | Karşılaştırılan Çalışmalar   | Yayın Yılı | Dergi  |
|-----------------------|--|--|--|------------|--|
| Bagheri ve diğ. [16]  | Yapay Bağışıklık Alg.                                | 8*8*27<br>10*10*30<br>15*10*56<br>BRdata [48]<br>Hurink ve diğ. [49] | Kacem ve diğ. [4]<br>Xia ve Wu [29]<br>Zhang ve Gen [30]                       | 2010       | Future Generation Computer Systems                 |
| Unachak. [17]         | Genetik Algoritma                                    | 8*8*27<br>10*10*30<br>15*10*56                                       | Lower Bounds   | 2010       | PhD Thesis   |
| Li ve diğ. [18]       | Tabu Aramaları                                       | 4*5*12<br>8*8*27<br>10*7*29<br>10*10*30<br>15*10*56                  | Kacem ve diğ. [4]<br>Xia ve Wu [29]<br>Zhang ve diğ. [21]<br>Xing ve diğ. [23] | 2010       | Computers & Industrial Engineering                 |
| Rajkumar ve diğ. [19] | Açgözlü rastsal uyarlamalı arama algoritması (GRASP) | 4*5*12<br>8*8*27<br>10*10*30<br>15*10*56                             | Gao ve diğ. [28]   | 2010       | Int. Journal of Production Research                |
| Wang ve Yu [20]       | Süzülmüş Işın Arama Sezgiseli (FBS)                  | 8*8*27<br>10*10*30   | Gao ve diğ. [28]   | 2010       | Computers & Industrial Eng.                        |
| Zhang ve diğ. [21]    | Parçacık sürü Opt + Tabu Aramaları (PSO+TS)          | 4*5*12<br>8*8*27<br>10*10*30<br>15*10*56                             | Kacem ve diğ. [5]<br>Xia ve Wu [29]  | 2009       | Computers & Industrial Eng.                        |
| Xing ve diğ. [22]     | Simulasyon Model                                     | 4*5*12<br>8*8*27<br>10*7*29<br>10*10*30<br>15*10*56                  | Kacem ve diğ. [4]<br>Xia ve Wu [29]  | 2009       | Applied Soft Computing                             |
| Xing ve diğ. [23]     | Yerel arama Metodu                                   | 4*5*12<br>8*8*27<br>10*7*29<br>10*10*30<br>15*10*56                  | Kacem ve diğ. [4]<br>Kacem ve diğ. [5]<br>Xia ve Wu [29]                       | 2009       | Journal Intelligent Manufacturing                  |
| Xing ve diğ. [24]     | Çift Katmanlı Karınca Kolonileri                     | 4*5*12<br>8*8*27<br>10*7*29<br>10*10*30<br>15*10*56                  | Kacem ve diğ. [4]<br>Kacem ve diğ. [5]<br>Xia ve Wu [29]                       | 2008       | New Generation Computing                           |
| Gao ve diğ. [25]      | Genetik Alg. + Değişken Komşuluk Arama (GA+VND)      | 8*8*27<br>10*10*30<br>15*10*56                                       | Kacem ve diğ. [4]<br>Zhang ve Gen [30]<br>Xia ve Wu [29]                       | 2008       | Computers & Operations Research                    |
| Ho ve Tay. [3]        | Evrimsel Alg. + Yerel Arama Alg. (MOEA-GLS)          | 4*5*12<br>8*8*27<br>10*7*29<br>10*10*30<br>15*10*56                  | Kacem ve diğ. [4]<br>Xia ve Wu [29]  | 2008       | IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics |

**Çizelge 1.** Çok amaçlı EATÇ problemlerinin çözümü için kullanılan yöntemler(devamı).

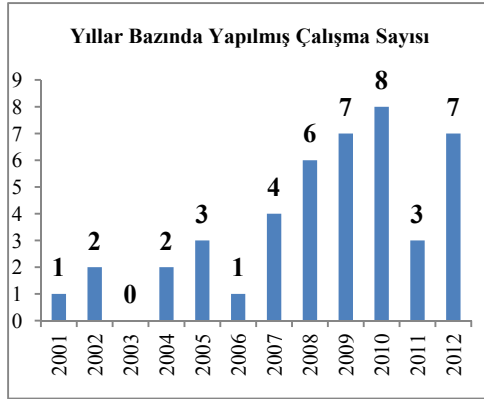
| Yazarlar          | Kullanılan Algoritma                                    | Kullanılan Problemler                     | Karşılaştırılan Çalışmalar                              | Yayın Yılı | Dergi   |
|-------------------|---|---|---|------------|---|
| Jia ve diğ. [27]  | Parçacık Sürü Opt.                                      | 8*8*27<br>10*10*30                        | Kacem ve diğ. [4]<br>Kacem ve diğ. [5]                  | 2007       | Int. Conference on Grey Systems                     |
| Gao ve diğ. [28]  | Genetik Alg. + Yerel Arama Alg.                         | 8*8*27<br>10*10*30<br>15*10*56            | Kacem ve diğ. [4]<br>Zhang ve Gen [30]<br>Xia ve Wu[29] | 2007       | Computers & Industrial Engineering                  |
| Xia ve Wu [29]    | Parçacık Sürü Opt +Tavlama Benzetimi (PSO+SA)           | 8*8*27<br>10*10*30<br>15*10*56            | Kacem ve diğ. [4]                                       | 2005       | Computers & Industrial Engineering                  |
| Zhang ve Gen [30] | Genetik Alg.  | 3*4*8<br>8*8*27<br>10*10*30               | Heuristic (SPT)<br>Klasik GA<br>Kacem ve diğ. [4]       | 2005       | Complexity International                            |
| Kacem ve diğ. [4] | Genetik Algoritma + Yerini Belirleme Yaklaşımı (AL+CGA) | 3*4 *8<br>8*8 *27<br>10*10*30             | Lower Bounds  | 2002       | IEEE transactions on Systems, Man, and, Cybermetics |
| Kacem ve diğ. [5] | Evrimsel Algoritma + Bulanık Mantık (FL+EA)             | 4*5*12<br>10*7*29<br>10*10*30<br>15*10*56 | Lower Bounds  | 2002       | Mathematics and Computers in Simulation             |

**Çizelge 2.** Çok amaçlı EATÇ problemlerinin çözümü için amaç fonksiyonu bazında yapılmış diğer çalışmalar.

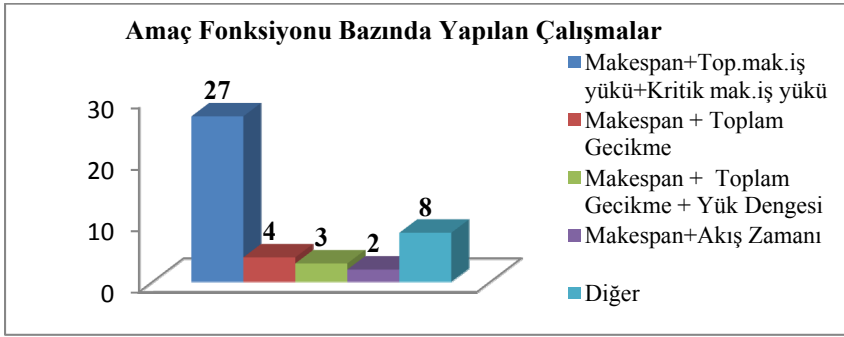
| Yazarlar                | Amaç Fonksiyonu                         | Kullanılan Algoritma                 | Kullanılma Problem Boyutları                                      | Yayın Yılı | Dergi                                    |
|-------------------------|---|--------------------------------------|---|------------|--|
| Vilcot ve Billaut [31]  | Makespan + Toplam Gecikme               | Genetik Alg + Tabu Aramaları (GA+TS) | 5*10<br>5*15<br>5*20<br>10*10<br>10*15<br>10*20<br>10*30<br>15*15 | 2008       | European Journal of Operational Research |
| Tamaki ve diğ. [32]     | Makespan + Toplam Gecikme               | Genetik Algoritma                    | ---   | 2001       | IEEE International Conference            |
| Baykasoğlu ve diğ. [33] | Makespan + Toplam Gecikme + Yük Dengesi | Tabu Aramaları                       | ---   | 2004       | Journal of Intelligent Manufacturing     |
| Fattahi [34]            | Makespan + Toplam Ağırlıklı Gecikme     | Tavlama Benzetimi                    | ---   | 2009       | Proceedings Of World Academy Of Science  |

**Çizelge 2.** Çok amaçlı EATÇ problemlerinin çözümü için amaç fonksiyonu bazında yapılmış diğer çalışmalar. (devamı)

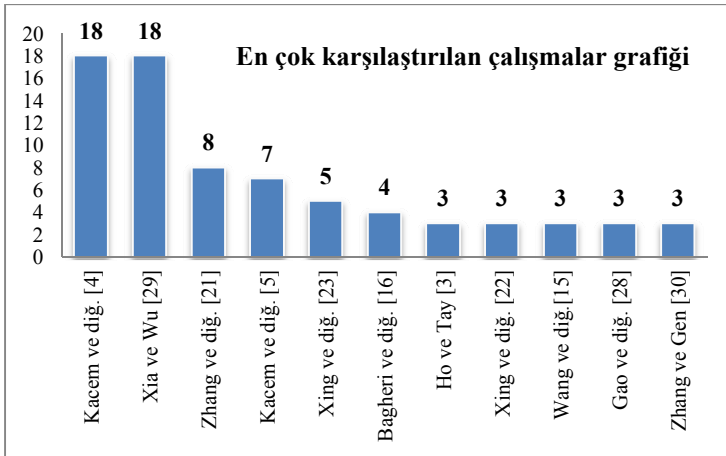
| Yazarlar                  | Amaç Fonksiyonu  | Kullanılan Algoritma                                  | Kullanılma Problem Boyutları         | Yayın Yılı | Dergi                                       |
|---------------------------|--|---|--------------------------------------|------------|---|
| Grobler ve diğ. [36]      | Makespan + E/G Teslim + Kuyruk zamanı  | Parçacık Sürü Optimizasyonu                           | ---                                  | 2010       | Ann Oper ation Research                     |
| Jian-jun ve diğ. [37]     | Makespan + Akış zamanı + Mak. kul. oranı + E/G Ceza + İş derecesi + Setup + Mak. iş yükü | Yapay Bağışıklık Sistemi                              | ---                                  | 2008       | IEEE, Int. Conf. Man. Science & Engineering |
| Lin ve Jia-Zhen [38]      | Makespan+Toplam Gecikme+toplam makine boş zamanı   | Genetik Alg. + Karışık Tamsayılı programlama Modeli   | ---                                  | 2009       | Systems Engineering — Theory & Practice     |
| Liu ve diğ. [39]          | Makespan + Akış Zamanı   | Parçacık Sürü Optimizasyonu                           | 8*8<br>10*10<br>15*10                | 2009       | Fundamenta Informaticae                     |
| Liu ve diğ. [40]          | Makespan + Akış Zamanı   | Parçacık Sürü Optimizasyonu+ Değişken Komşuluk Arama  | 8*8<br>10*10<br>15*10                | 2007       | IEEE  |
| Frutos ve diğ. [41]       | Makespan + Topl İşleme Maliyeti  | Tavlama Benzetimi + Genetik Algoritma                 | 3*4<br>4*5<br>10*7<br>10*10<br>15*10 | 2010       | Ann Operation Research                      |
| Rabiee ve diğ. [42]       | Makespan +Toplam Operasyon Maliyeti  | Genetik Alg. + Evrimsel Alg.                          | BRdata [48]                          | 2012       | Int. Journal of Production Research         |
| Wu [43]                   | Akış Zam.+E /G Teslim  | Çok Temsilcili İş yükü Kontrol Yaklaşımı              | ---                                  | 2005       | Ph. D. Thesis                               |
| Prakash ve diğ. [44]      | Ort.Akış Zamanı + Biten İş Sayısı  | Genetik Algoritma                                     | --                                   | 2011       | Expert Systems with Applications            |
| Tanev ve diğ. [45]        | Yüksek İş Hızı   | Genetik Algoritma + Öncelik Kuralları                 | ---                                  | 2004       | Applied Soft Computing                      |
| Chan ve diğ. [46]         | Makespan + Makine Aylak Zamanı   | Genetik Algoritma                                     | ---                                  | 2006       | Int. Journal of Production Res.             |
| Rahimi-Vahed ve diğ. [47] | toplam iş faydası + toplam üretim hızı + toplam hazırlık maliyeti                        | Parçacık Sürü Optimizasyonu + Tabu Aramaları (PSO+TS) | --                                   | 2007       | Engineering Optimization                    |



Şekil 1. Çok amaçlı EATÇ problemleri yıllar bazında yapılmış çalışmalar grafiği.



Şekil 2. Çok amaçlı EATÇ problemleri amaç fonksiyonu bazında yapılmış çalışmalar grafiği.



Şekil 3. Çok amaçlı EATÇ problemlerinde en çok karşılaştırılan çalışmalar grafiği.

Şekil 1. Çok amaçlı EATÇ problemleri üzerine incelenen toplam 44 makale içerisinde, yıllar bazında yapılan çalışmaları göstermektedir. Gerçek yaşam problemleri arasında yer alan EATÇ problemlerine olan ilgi zamanla artmıştır. Şekil 2. Çok amaçlı EATÇ problemlerinde amaç fonksiyonu bazında yapılan çalışmaları göstermektedir. Araştırmacılar genelde üç amaç fonksiyonu olmak üzere  $C_{max}$ ,  $W_t$  ve  $W_m$  üzerinde daha çok yoğunlaşmışlardır. Yazarlar, Çok amaçlı çalışmalarında genelde pareto optimal kullanarak, bazen de amaçları ağırlıklandırarak sonuçlar elde etmiş ve diğer çözüm sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Şekil 3. Çok amaçlı EATÇ problemleri üzerine yapılan çalışmalarda yazarların kendi algoritma sonuçlarını literatürde diğer sonuçlardan hangisiyle en çok karşılaştırdıklarını göstermektedir. Grafikten görüleceği üzere, literatürde en çok karşılaştırılan çalışma Kacem ve diğerleri [4] ve Xia ve Wu [29] sonuçlarıdır.

#### 4. SONUÇLAR

EATÇ Problemi hem üretim yönetimi hem de kombinatoriyel optimizasyon alanlarında büyük öneme sahiptir. Hesaplama karmaşasından dolayı, geleneksel optimizasyon yöntemleri ile, orta büyüklükteki ve gerçek durum problemlerinde optimal çözümü bulmak oldukça zordur.

Günümüzün artan rekabet koşullarında şirketlerin hem kendilerini hem de müşterilerini memnun edecek sonuçlara ulaşmak için birden çok sayıda amacı optimize etmeye çalışmaları zorunluluktur. Bu sebeple çok amaçlı çözümler yöntemleri de giderek önem kazanmaktadır. Farklı amaçları bir arada ele alan farklı çözümler problemleri üzerinde çalışılmaya devam edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda genelde literatürde yer alan problem setleriyle çözümler elde etmişler ve literatürde yer alan diğer çalışmalar ile kıyaslama yapmışlardır. İncelenen 44 çalışma arasından sadece 3 tanesi (Jian-jun ve diğerleri [37], Lin ve Jia-Zhen [38], Tanev ve diğerleri [45]) çok amaçlı EATÇ problemlerini gerçek yaşam problemlerine uygulayarak bir işletmenin çözümler verimliliğini arttırmak için çalışmışlardır. Araştırmacıların bu tür gerçek yaşam problemlerine özellikle işletme problemlerine uygulamada eksik kaldıkları görülmektedir.

EATÇ Problemlerinde araştırmacılar, orta ve büyük boyuttaki problemlerin çözümleri için meta sezgisel yöntemleri diğer bir meta sezgisel yöntemle melezleyerek veya kullandıkları meta sezgisel yönteme geleneksel optimizasyon metodlarını (sıralama kuralları v.b.) adapte ederek kısa zamanda optimale yakın çözümlere ulaşmışlardır. Çoğu zaman birden fazla amacın birbiriyle eş zamanlı optimize edilmesi, bütün amaçları optimize eden tek bir çözümün elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Bu durumda çok amaçlı problemlerde karar vericilerin çözümler üzerindeki tercihi önem kazanmakta ve tüm çözüm uzayını temsil edebilecek sonuçlar elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu durumda araştırmacılar gerçekleştirmeye çalıştıkları amaçlarını tercih sıralarına göre ağırlıklar vererek veya pareto optimal yöntemini kullanarak çözümler elde etmişlerdir.

#### REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Pinedo, M.L., "Scheduling Theory, Algorithms, and Systems", ISBN: 978-0-387-78934-7 e-ISBN: 978-0-387-78935-4, DOI: 10.1007/978-0-387-78935-4, 2008.
- [2] Fattahi, P., Mehrabad, M.S., Jolai F., "Mathematical modeling and heuristic approaches to flexible job shop scheduling problems", J Intell Manuf, 18:331–342, DOI 10.1007/s10845-007-0026-8, 2007.
- [3] Ho, N.B., Tay, J.C., "Solving Multiple-Objective Flexible Job Shop Problems by Evolution and Local Search", IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics—Part C: Applications And Reviews, Vol. 38, No. 5, 1094-6977, 2008.
- [4] Kacem, I., Hammadi, S., Borne, P., "Approach by Localization and Multiobjective Evolutionary Optimization for Flexible Job-Shop Scheduling Problems", IEEE



- transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part c: Applications and Reviews, Vol. 32, No. 1, 2002.
- [5] Kacem, I., Hammadi, S., Borne, P., “Pareto-optimality approach for flexible job-shop scheduling problems: hybridization of evolutionary algorithms and fuzzy logic”, *Mathematics and Computers in Simulation* 60, 245–276, 2002.
  - [6] Pezzella, F., Morganti, G., Ciaschetti, G., “A genetic algorithm for the Job-Shop Scheduling Problem”, *Computers & Operations Research* 35, 3202 – 3212, 2008.
  - [7] Chiang, T.C., Lin, H.J., “A simple and effective evolutionary algorithm for multiobjective flexible job shop scheduling”, *International Journal of Production Economics*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.034>, (2012).
  - [8] Li, J., Pan, Q., Xie, S., “An effective shuffled frog-leaping algorithm for multi-objective flexible job shop scheduling problems”, *Applied Mathematics and Computation*, 218, 9353-9371, (2012).
  - [9] Li, J., Pan, Q., “Chemical-reaction optimization for flexible job-shop scheduling problems with maintenance activity”, *Applied Soft Computing* 12, 2896–2912, <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2012.04.012>, (2012).
  - [10] Wang, L., Zhou, G., Xu, Y., Liu, M., “An enhanced Pareto-based artificial bee colony algorithm for the multi-objective flexible job-shop scheduling”, *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, 60:1111–1123, DOI 10.1007/s00170-011-3665-z, (2012).
  - [11] Davarzani, Z., Akbarzadeh, M., Khairdoost, N., “Multiobjective Artificial Immune Algorithm for Flexible Job Shop Scheduling Problem”, *International Journal of Hybrid Information Technology*, Vol. 5, No. 3, July, (2012).
  - [12] Xiong, J., Tan, X., Yang, K., Xing, L., Chen Y., “A Hybrid Multiobjective Evolutionary Approach for Flexible Job-Shop Scheduling Problems”, Hindawi Publishing Corporation, *Mathematical Problems in Engineering*, Volume 2012, Article ID 478981, 27 pages, doi:10.1155/2012/478981, (2012).
  - [13] Moslehi, G., Mahnam, M., “A Pareto approach to multi-objective flexible job-shop scheduling problem using particle swarm optimization and local search”, *Int. J. Production Economics* 129, 14–22, 2011.
  - [14] Li, J.Q., Pan, Q.K., Gao, K.Z., “Pareto-based discrete artificial bee colony algorithm for multi-objective flexible job shop scheduling problems”, *Int J Adv Manuf Technol*, DOI 10.1007/s00170-010-3140-2, 2011.
  - [15] Wang, X., Gao, L., Zhang, C., Shao, X., “A multi-objective genetic algorithm based on immune and entropy principle for flexible job-shop scheduling problem”, *Int J Adv Manuf Technol*, 51:757–767, DOI 10.1007/s00170-010-2642-2, 2010.
  - [16] Bagheri, A., Zandieh, M., Mahdavi, I., Yazdani, M., “An artificial immune algorithm for the flexible job-shop scheduling problem”, *Future Generation Computer Systems* 26, 533-541, (2010).
  - [17] Unachak, P., “An Adaptive Representation For A Genetic Algorithm In Solving Flexible Job-Shop Scheduling And Rescheduling Problems”, Ph.D. Thesis, Michigan State University, UMI Number: 3435155, 2010.
  - [18] Li, J., Pan, Q., Liang, Y.C., “An effective hybrid tabu search algorithm for multi-objective flexible job-shop scheduling problems”, *Computers & Industrial Engineering* 59, 647–662, 2010.
  - [19] Rajkumar, M., Asokan, P., Vamsikrishna, V., “A GRASP algorithm for flexible job-shop scheduling with maintenance constraints”, *International Journal of Production Research*, 48: 22, 6821-6836, 2010.
  - [20] Wang, S., Yu, J., “An effective heuristic for flexible job-shop scheduling problem with maintenance activities”, *Computers & Industrial Engineering* 59, 436–447, 2010.

- [21] Zhang, G., Shao, X., Li, P., Gao, L., “An effective hybrid particle swarm optimization algorithm for multi-objective flexible job-shop scheduling problem”, *Computers & Industrial Engineering* 56, 1309–1318, 2009.
- [22] Xing, L.N., Chen, Y.W., Yang, K.W., “Multi-objective flexible job shop Schedule: Design and evaluation by simulation modeling”, *Applied Soft Computing*, 9, 362–376, 2009.
- [23] Xing, L.N., Chen, Y.W., Yang, K.W., “An efficient search method for multi-objective flexible job shop scheduling problems”, *J Intell Manuf* 20, 283–293, 2009.
- [24] Xing, L.N., Chen, Y.W., Yang, K.W., “Double Layer ACO Algorithm for the Multi-Objective FJSSP”, *New Generation Computing*, Ohmsha, Ltd. and Springer, 26, 313-327, 2008.
- [25] Gao, J., Sun, L., Gen, M., “A hybrid genetic and variable neighborhood descent algorithm for flexible job shop scheduling problems”, *Computers & Operations Research* 35, 2892 – 2907, 2008.
- [26] Shi-Jin, W., Bing-Hai, Z., Li-Feng, X., “A filtered-beam-search-based heuristic algorithm for flexible job-shop scheduling problem”, *International Journal of Production Research*, 46: 11, 3027- 3058, 2008.
- [27] Jia, Z., Chen, H., Tang, J., “An Improved Particle Swarm Optimization for Multi-objective Flexible Job-shop Scheduling Problem”, *IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services*, 1-4244-1294-3, 2007.
- [28] Gao, J., Gen, M., Sun, L., Zhao, X., “A hybrid of genetic algorithm and bottleneck shifting for multiobjective flexible job shop scheduling problems”, *Computers & Industrial Engineering* 53, 149–162, 2007.
- [29] Xia, W., Wu, Z., “An effective hybrid optimization approach for multi-objective flexible job-shop scheduling problems”, *Computers & Industrial Engineering* 48, 409–425, 2005.
- [30] Zhang, H., & Gen, M. “Multistage-based genetic algorithm for flexible job-shop scheduling problem” *Journal of Complexity International*, 11, 223–232, 2005.
- [31] Vilcot, G., Billaut, J.C., “A tabu search and a genetic algorithm for solving a bicriteria general job shop scheduling problem”, *European Journal of Operational Research* 190, 398–411, 2008.
- [32] Tamaki, H., Ono, T., Murao, H., Kitamura, S. “Modeling and genetic solution of a class of flexible job shop scheduling problems” *IEEE International Conference*, 0-7803-7241-7/01, 2001.
- [33] Baykasoglu, A., Özbakır, L., Sönmez, A.İ., “Using multiple objective tabu search and grammars to model and solve multi-objective flexible job shop scheduling problems”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 15,777-785, 2004.
- [34] Fattahi, P., “A Hybrid Multi Objective Algorithm For Flexible Job Shop Scheduling”, *Proceedings Of World Academy Of Science, Engineering And Technology Volume 38, Issn: 2070-3740*, 2009.
- [35] Gholami, M., Zandieh, M., “Integrating simulation and genetic algorithm to schedule a dynamic flexible job shop”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20:481–498, DOI 10.1007/s10845-008-0150-0, 2009.
- [36] Grobler, J., Engelbrecht, A.P., Kok, S., Yadavalli, S., “Metaheuristics for the multi-objective FJSP with sequence-dependent set-up times, auxiliary resources and machine down time”, *Ann Oper Res*, 180: 165–196, DOI 10.1007/s10479-008-0501-4, 2010.
- [37] Jian-jun, Y., Xu-jun, X., Fei, Y., “Study on Multi-objective Flexible Production Scheduling Based on Improved Immune Algorithm”, *IEEE, 15th International Conference on Management Science & Engineering*, September 10-12, 1-4244-2388-0/08, USA, 2008.

- [38] Lin, L., Jia-Zhen, H., “Multi-Objective Flexible Job-Shop Scheduling Problem in Steel Tubes Production”, *Systems Engineering — Theory & Practice*, Volume 29, Issue 8, 2009.
- [39] Liu, H., Abraham, A., Wang, Z., “A Multi-swarm Approach to Multi-objective Flexible Job-shop Scheduling Problems”, *Fundamenta Informaticae*, 95, 465–489, 2009.
- [40] Liu, H., Abraham, A., Grosan, C., “A Novel Variable Neighborhood Particle Swarm Optimization for Multi-objective Flexible Job-shop Scheduling Problems”, *IEEE.*, 1-4244-1476-8, 2007.
- [41] Frutos, M., Olivera, A.C., Tohme, F., “A memetic algorithm based on a NSGAI scheme for the flexible job-shop scheduling problem”, *Ann Oper Res*, 181: 745–765 DOI 10.1007/s10479-010-0751-9, 2010.
- [42] Rabiee, M., Zandieh, M., Ramezani, P., “Bi-objective partial flexible job shop scheduling problem: NSGA-II, NPGA, MOGA and PAES approaches”, *International Journal of Production Research*, 50:24, 7327-7342, DOI:10.1080/00207543.2011.648280, 2012.
- [43] Wu, Z., “Multi-Agent Workload Control and Flexible Job Shop Scheduling”, Ph. D. Thesis, Department of Industrial and Management Systems Engineering College of Engineering, University of South Florida, UMI Number: 3188440, 2005.
- [44] Prakash, A., Chan, F.T.S., Deshmukh, S.G., “FMS Scheduling with knowledge based genetic algorithm approach”, *Expert Systems with Applications*, 38, 3161–3171, 2011.
- [45] Tanev, I.T., Uozumi, T., Morotome, Y., “Hybrid evolutionary algorithm-based real-world flexible job shop scheduling problem: application service provider approach”, *Applied Soft Computing* 5, 87–100, 2004.
- [46] Chan, F. T. S., Wong, T. C., Chan, L. Y., “Flexible job-shop scheduling problem under resource constraints”, *International Journal of Production Research*, 44: 11, 2071—2089, 2006.
- [47] Rahimi-Vahed, A.R., Mirghorbani S.M., Rabbani, M., “A hybrid multi-objective particle swarm algorithm for a mixed-model assembly line sequencing problem”, *Engineering Optimization*, Vol. 39, No. 8, 877–898, 2007.
- [48] Brandimarte, P., “Routing and Scheduling in a Flexible Job-Shop by Tabu Search”, *Annals of Operations Research*, vol. 2, pp. 158-183, 1993.
- [49] Hurink, E., Jurisch, B., Thole, M., “Tabu search for the job shop scheduling problem with multi-purpose machine”, *Operations Research Spektrum* 15, 205\_215, 1994.
- [50] Dauzere-Peres S, Paulli J., ‘An integrated approach for modeling and solving the general multiprocessor job-shop scheduling problem using tabu search’. *Annals of Operation Research*, 70(3):281–306, 1997.