



## Esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinin meta sezgisel yöntemler ile çözümüne yönelik bir inceleme

Serkan Kaya<sup>1\*</sup>, Nilgün Fığlalı<sup>2</sup>

03.06.2015 Geliş/Received, 26.01.2016 Kabul/Accepted

### ÖZ

Gerçek yaşam uygulamaları arasında yer alan esnek atölye tipi çizelgeleme (EATÇ) problemleri, klasik atölye tipi çizelgeleme (ATÇ) probleminin genişletilmiş halidir. ATÇ problemlerinde paralel makineler yoktur. Atölyede işlerin paralel makinelerde işlenmesi söz konusu olduğunda EATÇ problemi ortaya çıkar. EATÇ problemlerinde işlerin rotaları birbirinden farklıdır ve her iş en az bir operasyondan oluşmaktadır. Bu operasyonlar, birbirine paralel makine setlerinden herhangi birinde işlem görürler. Literatürde ATÇ problemlerine göre EATÇ problemleri üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlı kalmıştır. Bu çalışmada, EATÇ problemleri üzerine son yıllarda yapılmış ve literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir. Bu problemlerin meta sezgisel yöntemler ile çözümü üzerine elde edilen bulgular ve öneriler sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** esnek atölye tipi çizelgeleme, makine atama, operasyon sıralama, hiyerarşik yaklaşım, bütünlük yaklaşım

## A review on meta-heuristic approaches to solving flexible job shop scheduling problem

### ABSTRACT

Flexible job shop scheduling (FJSS) problems which are parts of real life applications are the extended case of classical job shop scheduling (JSS) problems. There are no parallel machines at JSS problems. FJSS Problems arise when works need to be done on parallel machines in the workshop. In FJSS problems, jobs have different routes and each job is consisted of at least one operation. These operations are processed by any of the machine sets which are parallel to each other. In literature; the number of studies on FJSS problems are more limited than the one on JSS problems. In this paper, recent studies in the literature on the topic of FJSS problems are reviewed. The findings and recommendations on the solution of this kind of problems by using meta-heuristic methods are presented.

**Keywords:** flexible job shop scheduling, machine assignment, operation sequence, hierarchical approach, integrated approach

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

<sup>1</sup> Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Şanlıurfa- serkankaya@harran.edu.tr

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Kocaeli - figlalin@kocaeli.edu.tr

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çizelgeleme problemleri kombinatoriyal eniyileme problemleri sınıfından olduğu için en iyi çözümlerini bulmak oldukça zordur. Genellikle küçük boyutlu problemler için en iyi çözümler bulunabilir [1]. Genel ATÇ problemleri klasik kombinatoriyal optimizasyon problemidir ve genellikle NP-Zor sınıfında kabul edilir. ATÇ problemlerinde,  $n$  iş sayısı ve  $m$  makine sayısını temsil etmek üzere  $(n!)^m$  adet mümkün çizelge sayısı vardır [2]. EATÇ problemlerinde, ATÇ problemlerinin tüm zorluklarının olmasının yanı sıra işlerin makinelere atanması alt problemini de barındırdığından dolayı daha zor bir hale gelmektedir.

EATÇ Problemi, operasyonların aday makinelerden herhangi birisine atanması ve bu makine grubunda işlerin sıralanması alt problemlerinden oluşmaktadır. Araştırmacılar atama ve sıralama problemleri için bütünlük ve hiyerarşik olmak üzere iki çeşit çözüm yaklaşımı geliştirmiştir. Pezzella vd. [3] bütünlük çözüm yaklaşımının hiyerarşik çözüm yaklaşımına göre daha zor olmasına rağmen bütünlük çözüm yaklaşımının daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Hiyerarşik yaklaşımda problem zorluğunu azaltmak için problem sıralama ve atama alt problemlerine ayrılır. Atama ve sıralama işlemlerinin gerçekleştirilmesinde birbirine müdahale olmamaktadır. Bu yaklaşımı literatürde ilk kullanan Brandimarte [4] olmuştur. Brandimarte [4], Paulli [5], Barnes ve Chambers [6] hiyerarşik olarak EATÇ problemlerini çözmek için önce makine atamalarını gerçekleştirmiş sonrada problemi ATÇ problemi haline dönüştürerek tabu arama (TA) yöntemini kullanmışlardır. Saidi-Mehrabad ve Fattahi [7], EATÇ problemine hiyerarşik yaklaşımlı TA algoritması geliştirmişlerdir. Yazarlar, önce operasyonları işleme kabiliyetine sahip makine grubu içinden uygun makinelere atamayı daha sonra da atan işlerin maksimum tamamlanma zamanını (makespan) minimize edecek şekilde sıralamayı gerçekleştirmişlerdir.

Bütünlük yaklaşımda sıralama ve atama alt problemleri birbirinden bağımsız değildir ve çözümleri eş zamanlı gerçekleştirilir. Bu yaklaşımda öncelikle işlerin sıralanması gerçekleştirilmekte hemen ardından bu işleri işleyecek makineler belirlenmektedir. Vaessens vd. [8], Dauzere-Peres ve Paulli [9], Hurink vd. [10], Mastrolilli ve Gambardella [11] TA algoritması ile EATÇ problemlerini bütünlük çözüm yaklaşımı ile çözmüşlerdir. Chen vd. [12], Jia vd. [13], Ho ve Tay [14] ile Kacem vd. [15] aynı problemin çözümü için bütünlük genetik algoritma (GA) yaklaşımlarını sunmuşlardır.

Literatürde EATÇ Problemleri; toplam ve kısmi esnekliğe sahip olmak üzere iki alt grupta incelenmiştir. Toplam esneklik durumunda her bir operasyon sistemde yer alan makine grubundaki tüm makineler içerisinde herhangi birinde işleme tabi tutulabilirken, kısmi esneklik durumunda ise sistemdeki makinelerin bir alt grubunda yer alan belirli makinelerde işlem görebilir. Kacem vd. [16,17], kısmi EATÇ problemlerinin çözümünün toplam EATÇ problemleri çözümüne göre daha zor olduğunu belirtmişlerdir.

Kaya ve Fıglalı [16] çok amaçlı EATÇ problemlerinin optimize edilmesine yönelik yapılan çalışmaları incelemişlerdir. Bu çalışmada tek amaçlı EATÇ problemleri ele alınmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde EATÇ problemlerinin matematiksel modeli, üçüncü bölümünde ise kapsamlı bir şekilde literatür taraması sunulmuştur. Literatürde yapılmış çalışmalarda yazarların kullandıkları çözüm yöntemleri ayrıntılı irdelenip, bu yöntemlerle çözümleri nasıl başardıkları, yazarlar tarafından kullanılan problem setleri, elde ettikleri sonuçları ve sonuçlarını literatürde karşılaştırdıkları diğer yazarların sonuçları ayrıntılı olarak tespit edilmiştir. İncelenen çalışmalar öncelikle amaç fonksiyonu bazında bölümlere ayrılmış daha sonra tarih sırasına göre geriye doğru gidilerek verilmiştir. Son bölümde bu çalışmadan elde edilen bulgular sunulmuştur.

## 2. PROBLEM TANIMI (PROBLEM DEFINITION)

Klasik ATÇ problemi, makine seti üzerinde işlerin sıralanması ile ilgilidir. EATÇ Problemi, ATÇ problemindeki bir operasyonun bir makine üzerinde işlenebilme kısıtının birden fazla makine üzerinde işlenebilme durumunun söz konusu olduğundan genişletilmiş halidir. EATÇ Probleminde her bir işin her bir operasyonu en az bir makine üzerinde işlenebilme durumu söz konusudur. Yani her operasyon için alternatif makine seçimi vardır. EATÇ Probleminde varsayımlar ve başlangıç koşulları aşağıdaki gibidir:

- Her bir iş farklı operasyonlardan oluşabilir.
- Her bir operasyon için en az bir tane olmak üzere birden fazla makine alternatifi vardır.
- Her bir operasyonun bütün makine alternatiflerindeki işlem süreleri farklıdır ve önceden belirlidir.
- İşlere ait operasyonlar tüm makine grubunda işlenebiliyorsa tam esneklik, aksi halde kısmi esneklik söz konusudur.
- Bir operasyonun bir makine üzerinde işlenemeyeceği durumda, o makine için ilgili operasyonun işlem zamanı çok büyük bir değer atanır.

Parametreler:

$n$ : Toplam iş sayısı

$m$ : Toplam makine sayısı

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

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

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

$h$ : Öncelik indisi  $h = 1, 2, \dots, h_i$

$J_i$ :  $i$ . İş

$k_i$ :  $J_i$  İşine ait toplam operasyonların sayısı

$O_{ik}$ :  $i$  İşinin  $k$ . operasyonu

$M_j$ :  $j$ . Makine

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

$t_{ik}$ :  $O_{ik}$  Operasyonunun başlama zamanı

$Tm_{jh}$ :  $h$ . Önceliğe sahip  $j$ . makinenin başlama zamanı

$U$ :  $m$  Boyutundaki makine seti

$U_{ik}$ :  $O_{ik}$  Operasyonu için kullanılabilir makine seti

$PS_{ik}$ :  $O_{ik}$  Operasyonun makine seçildikten sonraki işlem süresi

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

$C_{max}$ : En son biten operasyonunun tamamlanma zamanı

Karar Değişkenleri:

$$y_{jik} = \begin{cases} 1 & \text{Oik operasyonu için j makinesi seçilecekse} \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

$$x_{jikl} = \begin{cases} 1 & \text{Oik operasyonun l sırada işlenmesi için j makinesi seçilecekse} \\ 0 & \text{Aksi halde} \end{cases}$$

EATÇ Problemi matematiksel modeli aşağıdaki gibidir:

Amaç Fonksiyonu:

$$\min C_{max} = \max_j \max_k \{C_{ik}\} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_j y_{jik} \cdot P_{jik} = PS_{ik} \quad i=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, k_j \quad (2)$$

$$t_{ik} + PS_{ik} \leq t_{i,k+1} \quad i=1, 2, \dots, n; h=1, 2, \dots, h_{i-1} \quad (3)$$

$$Tm_{j,h} + PS_{ik} \cdot x_{jikh} \leq Tm_{j,h+1} \quad (4)$$

$$Tm_{j,h} \leq t_{i,k} + (1 - x_{j,i,k,h}) \cdot L \quad (5)$$

$$Tm_{j,h} + (1 - x_{j,i,k,h}) \cdot L \quad (6)$$

$$Y_{j,i,k} \leq a_{j,i,k} \quad (7)$$

$$\sum_k x_{j,i,k,h} = 1 \quad (8)$$

$$\sum_j y_{j,i,k} = 1 \quad (9)$$

$$\sum_h x_{j,i,k,h} = y_{j,i,k} \quad (10)$$

$$t_{i,k} \geq 0 \quad (11)$$

$$PS_{i,k} \geq 0 \quad (12)$$

$$Tm_{j,h} \geq 0 \quad (13)$$

$$x_{j,i,k,h} \in \{0,1\} \quad (14)$$

$$y_{j,i,k} \in \{0,1\} \quad (15)$$

Amaç fonksiyonu olarak; eşitlik (1)  $C_{max}$ , son işin sistemi terk ettiği süreyi, Makespan zamanını vermektedir. Eşitlik (2),  $O_{ik}$  operasyonunun işlenmek üzere seçilen  $k$  makinesindeki işlem süresini belirleyen kısıttır. Eşitlik (3) her işe ait operasyonlar arasındaki öncelik kısıttır. Eşitlik (4) her makineye aynı anda sadece bir operasyon

atanacağını belirleyen kısıttır. Eşitlik (5),  $O_{ik}$  operasyonunun atandığı  $k$  makinesi boşa çıktığında işleme tabi tutulacağını belirler. Eşitlik (6),  $O_{ik}$  operasyonunun kendinden önce gelen aynı işe ait  $O_{i,k-1}$  operasyonunun tamamlandıktan sonra işleme tabi tutulacağını belirler. Eşitlik (7) operasyonun işlenebilecek makineler tarafından işlenmesini sağlarken, Eşitlik (8) operasyonun makineye atanmasını ve işlerin makine üzerindeki sırasını belirlemektedir. Eşitlik (9) operasyonun bir makinede işleneceğini sınırlayan kısıttır. Eşitlik (10) her işe ait operasyonların öncelik kısıtını da işlenmesini sağlar. Eşitlik (11), (12) ve (13) değişkenlerin 0'dan büyük veya 0'a eşit olmasını garanti eden kısıtlardır. Eşitlik (14) ve (15), operasyonların makine atama ve sıralamasını belirleyen değişkenlerini 0 veya 1 olmaya zorlayan kısıtlardır.

### 3.LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Çizelgeleme problemlerinde kullanılan çözüm yöntemlerinin ne kadar başarılı olduğunu ölçmek için performans kriterleri tanımlanmalıdır. Bu performans kriterleri çizelgeleme problemlerinde amaç fonksiyonu olarak değerlendirilir. Performans ölçütlerine göre çizelgeleme problemleri üç ana başlık altında toplanabilir. Bunlar; tamamlanma zamanına dayalı performans ölçütleri, teslim zamanına dayalı performans ölçütleri ve makine kullanım maliyetine bağlı performans ölçütleridir [17]. Tamamlanma zamanına dayalı performans ölçütleri; en büyük akış süresi, ortalama akış süresi, maksimum tamamlanma zamanı, ortalama tamamlanma zamanı, toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı gösterilebilir. Teslim zamanına dayalı performans ölçütleri; en büyük gecikme, ortalama gecikme, en büyük teslim gecikme süresi, ortalama teslim gecikme süresi, toplam ağırlıklı gecikme süresi, geciken iş sayısı şeklindedir. Stok ve makine kullanım maliyetine dayalı performans ölçütleri; işlenmek üzere bekleyen iş sayısı, tamamlanmış iş sayısı, tamamlanmış ortalama iş sayısı, makine boş zamanı, ortalama makine boş zamanı ve en büyük makine boş zamanı ölçütleridir.

Literatürde EATÇ Problemleri ile ilgili yapılmış çalışmalar, tamamlanma zamanına dayalı ve teslim zamanına dayalı performans ölçütleri olarak iki ana başlık altında incelenmiştir. EATÇ Problemlerinde stok ve makine kullanım maliyetine dayalı performans ölçütlü çalışmalar genelde çok amaçlı olarak çalışıldığından bu kısma alınmamıştır. Tamamlanma zamanına bağlı performans ölçütlü çalışmalar başlığında öncelikle Makespan ölçütlü çalışmalar alt başlığı altında tarih sırasına göre geriye doğru giderek, daha sonra akış zamanına dayalı çalışmalar verilmiştir. Bu bölümün ikinci alt başlığında teslim zamanına dayalı performans ölçütlü çalışmalar grubunda, toplam gecikme, toplam

ağırlıklı gecikme, ortalama gecikme, E/G teslim ve teslim tarihli çalışmalar alt başlıkları altında incelenmiştir.

### **3.1. Tamamlanma Zamanına Dayalı Performans Ölçütlü Çalışmalar (Performance Criteria Studies Based On Completion Time)**

#### **3.1.1 Makespan Ölçütlü Çalışmalar (Makespan Criteria Studies)**

Gonzalez vd. [18] EATÇ problemlerinin çözümü için hızlı yakınsama özelliğine sahip etkin komşuluk yapısını dağınık arama algoritması ile birleştirerek yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Yazarlar dağınık arama algoritmasının başlangıç popülasyonunun oluşturulması için TA algoritmasını kullanmışlardır. Makespan amaç fonksiyonunu ele aldıkları problem setlerinde bilinen en iyi sonuçları elde etmekle beraber, bazı problemlerde de daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Gao vd. [19] yeni bir işin üretime girdiği çizelgeleme ve yeniden çizelgeleme olmak üzere iki aşamalı EATÇ problemini çalışmışlardır. Yazarlar bu tür problemlerin çözümü için iki aşamalı arı kolonileri algoritması sunmuşlardır. Başlangıç popülasyonu oluşturmak için yeni bir kural, algoritmanın performansını geliştirmek için yerel arama (YA) algoritmasını eklemişlerdir. Üç adet yeniden çizelgeleme stratejisi sunmuşlar ve kıyaslamışlardır. Diğer bir çalışmada Gao vd. [20] bulanık işlem süreli EATÇ problemlerinin çözümü için ayrık harmoni arama algoritması (HAA) geliştirmişlerdir. Algoritmanın başlangıç popülasyonunu oluşturmak için etkin ve basit kuralları tanımlamışlardır. Bu kurallar rassal, yerel en düşük işlem zamanı ve global en düşük işlem zamanı kuralları operasyonları makine atamalarında, rassal, en çok kalan iş ve en çok kalan operasyon kuralları ise operasyonların sıralanmasında kullanılmıştır. Yazarlar algoritmalarının daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Bir üretim sisteminde esneklik, kaynakların etkin kullanımı ve hızla değişen talebe cevap verebilmek için önemlidir. Üretim sistemlerinde farklı esneklik seviyeleri vardır. Dosdoğru vd. [21] EATÇ problemlerinde atölye ortamında yükleme esnekliğinin ölçülmesini ele almışlardır. Bunun için GA ve Monte Carlo yöntemlerinin melezlenmesiyle bütünleşik çözüm yaklaşımı sunmuşlardır. Problemi daha gerçekçi hale getirmek için işlem zamanı, operasyonların sıralanması gibi sistem parametrelerini Monte Carlo yöntemi ile rassal olarak üretmişlerdir. Yazarlar, GA ile EATÇ problemlerinde sistemdeki iş sayısı, makine sayısı, operasyon sayısı ve esneklik seviyeleri gibi faktörler arasındaki etkileşim ve analizleri yapmak için deney tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Sundukları GA başlangıç

popülasyonuna daha iyi ve daha kısa sürede çözümlere ulaşabilmek için çeşitli stratejiler dâhil etmişlerdir. Yazarlar bu tip problemlerin çözümünde önerilerde bulunmuşlardır.

Sirkeci [22] EATÇ probleminin matematiksel modelini, YA ve TA algoritmalarını kullanarak çözüm yaklaşımları sunmuştur. Savunma sanayi sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede gerçek yaşam problemine uyguladığı çalışmada kullanılacak yöntemi seçmek için deney tasarımı gerçekleştirmiştir. Ayrıca TA algoritmasında kullanacağı parametreleri tespit etmek için literatürdeki problem setleriyle parametre analizi yapmıştır. Yazar çalışmasının sonunda karar verilen yöntemle gerçek yaşam problemini çözmüş ve eski duruma göre elde edilen kazancı göstermiştir.

Direkli [23] bakım aktiviteli EATÇ problemini incelemiştir. Bakım aktivitelerini periyodik olmayarak düşünmüş, makine tarafından işlenen bütün işlerin ağırlıklarına bağlı olarak ortaya çıktığını ve herhangi bir işin ağırlığının o işin işleme zamanından bağımsız olduğunu kabul etmiştir. Bu tür EATÇ probleminin çözümü için parçacık sürü optimizasyonuna dayalı sezgisel bir yaklaşım sunmuştur. Yazar algoritmasını bazı örnek problemler üzerinde test etmiş ve elde ettiği sonuçlar ile algoritmanın problem için alternatif ve etkili bir yaklaşım verdiğini göstermiştir.

Tayebi Araghi vd. [24] öğrenme etkili, sıra bağımlı kurulum zamanlı EATÇ problemini ele almışlardır. Problemin çözümü için GA ve değişken komşuluk arama (DKA) algoritmalarından melez bir algoritma geliştirmişlerdir. Algoritmalarında kullandıkları en iyi parametre değerlerini bulmak için taguchi metodunu kullanan yazarlar, literatürde yer alan problem setleriyle daha iyi sonuçlar aldıklarını göstermişlerdir.

Demir ve İşleyen [25] EATÇ' de her bir işe ait operasyonların örtüştüğü problemin çözümü için matematiksel model ve GA geliştirmişlerdir. Yazarlar, problemin Np-zor yapısından dolayı küçük boyutlu problemleri matematiksel model ile büyük boyutlu problemleri ise GA ile çözmüşler ve daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Lei ve Guo [26] literatürde az çalışılmış olan iki kaynak kısıtlı EATÇ probleminin çözümü için etkin DKA algoritması sunmuşlardır. Atama ve sıralama alt problemleri için iki komşuluk arama prosedürü geliştirmişlerdir. Yazarlar algoritmalarını Brandimarte [4] ve Dauzere Peres ve Paulli [9] test problemleriyle test etmiş, Pezzella vd. [3] ve Lei [27] çalışmalarına göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Gholami ve Sotskov [28] karmaşık grafik model kullanarak hızlı bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Yazarların algoritması iki modül üzerinde çakışma çözümü stratejisini gerçekleştirmektedir. Algoritmanın birinci modülünde sıralama ikinci modülünde ise operasyonların makinelere atanması işlemi gerçekleştirilmektedir. Yazarlar algoritmalarını literatürdeki ve kendi ürettikleri problem setleriyle test etmiş, diğer sezgisel yöntemlere göre daha hızlı ve daha iyi sonuçlar aldıklarını göstermişlerdir.

Ziaee [29] EATÇ problemlerinin çözümü için basit, kolay uygulanabilir ve hızlı bir şekilde kaliteli sonuçlara ulaşabilen sezgisel bir yöntem sunmuştur. Geniş esnekliğe sahip algoritmanın diğer yöntemlere göre çok kısa sürede kabul edilebilir çözümler ürettiğinden dolayı bu tür problemlerin çözümünde kullanılacak meta sezgisel yöntemlerin başlangıç popülasyonlarının oluşturulmasında bu algoritmanın kullanılmasıyla kısa sürede daha iyi sonuca ulaşabileceğini belirtmiştir. Literatürde yer alan kıyaslama problemleri ile algoritmanın çok kısa sürede daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Thammano ve Phu-ang [30] arı kolonileri ile YA algoritmalarından melezlenmiş yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Operasyonların en iyi şekilde sıralanması ve en iyi makine atamalarını gerçekleştirmek üzere hiyerarşik çözüm yaklaşımı sunmuşlardır. Başlangıç çözümlerinde çeşitliliği arttırmak için HAA'ı daha sonra komşuluk yapısından değişik çözümler elde edebilmek içinde çeşitli YA algoritmalarını adapte etmişlerdir. Arama uzayında yerel optimumlara takılmamak için tavlama benzetimi (TB) algoritmasını kullanmışlar ve sunulan algoritmanın arama kabiliyetini daha da geliştirmek için çaprazlama operatörü sunmuşlardır.

Yuan vd. [31] bütünlük çözüm yaklaşımını melez HAA geliştirmişlerdir. Atama ve sıralama alt problemleri için tanımlanan iki vektörü arama uzayını büyük ölçüde daraltan harmoni hareketine dönüştürmüşlerdir. Başlangıç popülasyonunda iyi çözüm ve çeşitliliği arttırmak için çeşitli sezgiselleri adapte ederek çözümler elde etmişlerdir. Algoritmalarına arama kabiliyetini geliştirmek için komşuluk yapısını kullanan YA algoritmasını adapte etmişlerdir.

Wang vd. [32] gerçek yaşam uygulamaları içinde yer alan makine arızalanması gibi durumların olduğu EATÇ problemleri için özel kromozom yapısına sahip GA geliştirmişlerdir. Problemin atama alt problemi için dört kural, sıralama alt problemi için dokuz kural adapte etmişlerdir. Yazarlar bu kuralları her bir kromozomun her bir elemanı için kullanmışlardır. Diğer yazarların her bir kromozoma uyguladıkları kuralları yerine Wang vd.

[34] her bir kromozomun her bir bireyine yani her bir işin her bir operasyonuna uygulamışlardır.

Yuan ve Xu [33] çalışmalarında melez HAA ve büyük komşuluk arama algoritması geliştirmişlerdir. Melez HAA, memetik algoritma tabanlı, büyük komşuluk arama algoritmaları ise kısıt tabanlı bir yaklaşımdır. Yazarlar bu iki algoritmayı birleştirerek kuvvetli arama mekanizmasına sahip problemi bütünlük olarak çözen algoritma sunmuşlardır. Algoritmalarını literatürde yer alan Brandimarte [4], Dauzere Peres ve Paulli [9], Barnes ve Chambers [6], Hurink vd. [10] problem setleriyle verimliliğini ölçmüşlerdir. Algoritmalarının büyük boyutlu EATÇ problemlerinin çözümünde iyi sonuçlar verdiğini, ayrıca literatürdeki bazı problemlerin de üst sınırlarını bulduklarını göstermişlerdir.

Demir ve İşleyen [34] literatürde en çok kullanıma sahip dört adet EATÇ problemleri matematiksel modelini derlemişler ve bir tane zaman indeksli model geliştirmişlerdir. Sunulan modeller, sıralama pozisyon değişkenli, öncelik değişkenli ve zaman indeksli değişkenli olmak üzere üç kategoride değerlendirilmiştir. Yazarlar beş modeli makespan, CPU time, değişken ve kısıt sayıları amaçları altında karşılaştırmışlar ve sonuçlarını sunmuşlardır.

Meto [35], çalışmada EATÇ problemlerinin çözümünde daha hızlı ve iyi sonuçlar veren melez bir meta sezgisel algoritma sunmuştur. Yazarın algoritması, problem rassal değişim sezgiseli, GA ve lokal iyileştirme aşaması olmak üzere üç temel aşamadan oluşmaktadır. Problemden rassal değişim sezgiseli, GA'da kaliteli ilk nesil çözümlerinin bulunması için kullanılmıştır. İlk nesil oluşturulurken rassal değişim sezgiseli ile operasyonların işlenme zamanları üzerinde eksi ve artı yönde yüzdesel değişiklikler yapılarak seçtiği öncelik bazlı kuralları yardımıyla çizelgeler oluşturmuştur. GA ile iyileştirilen çözüm nesillerini son aşamada lokal olarak daha da iyileştirmeye çalışmıştır. Yazar, algoritmasını literatürdeki test problemleri üzerinde denemiş ve etkin bir şekilde çalıştığını göstermiştir.

Wang vd. [36] global ve yerel arama arasında ayarlama özelliğine sahip iki popülasyonlu dağılım algoritması (BEDA) geliştirmişlerdir. Kullanılan iki popülasyon makine atamaları ve sıralama işlemlerini temsil etmektedir. Başlangıç popülasyonu birden fazla stratejinin kombinasyonu göz önünde bulundurularak oluşturulmaktadır. Global arama stratejisi, daha iyi yeni bireyler elde etmek için olasılık modeli olarak, YA ise kritik yol üzerinde komşu bireylerde daha iyi iki alt probleme ait çözümler elde etmek için kullanılmıştır. Ayrıca yazarlar Taguchi deney tasarımı ile uygun parametreleri belirlemiş ve literatürdeki problem setleriyle yaptıkları karşılaştırmalara göre tek

popülasyonlu algoritmalarla göre daha iyi sonuçlar aldıklarını göstermişlerdir.

Karimi vd. [37] yerel optimumlardan kaçınma özelliğine sahip sistematik olarak komşuluk yapılarını inceleyen DKA algoritması geliştirmişlerdir. DKA algoritmasında tamamen rassal üretilen komşuluk yapılarında yerel ve global tıkanmalardan kaçınmak için yazarlar algoritmalarına bilgi modülü eklemişlerdir. Yazarlar DKA algoritmasını çözüm uzayında iyi sonuçlara ulaşmak için bilgi modülünü ise geri beslemede kullanmışlardır.

Roshanaei [38], EATÇ problemi matematiksel modelini sunmuştur. Yazar çalışmasında, üç sıralama ve bir pozisyon tabanlı tam sayılı doğrusal programlama modeli (MILPs), büyük boyutlu problemlerin çözümü için ise yapay bağışıklık sistemi (YBS) ve TB algoritmalarından melez bir algoritma (AISA) geliştirmiştir. Yazar her iki çalışmasını da kıyaslama problemleri ile test etmiş ve daha iyi sonuçlar aldığını göstermiştir.

Ak [39] savunma sanayiine üretim yapan, esnek atölye tipi üretim ortamına sahip bir üretim tesisinde çizelgeleme problemini çalışmıştır. Bu çalışmada, parçaların üretiminde CNC tezgâhlar, frezeler, matkaplar, broşlar v.b. makineler kullanılmakta ve toplamda yirmi üç makine bulunmaktadır. Yazar, problemi GA çözüm yöntemine adapte ederek çözmüştür. Çalışmada ele alınan üç parçanın mevcut üretim zamanından daha kısa üretim zamanına sahip olan çizelge elde edilerek firmanın üretim zamanlarında iyileştirme yapılmıştır. Elde edilen çizelgeden, makine boş bekleme süreleri en aza indirilecek şekilde makine sayılarında düzenlemeye gidilmiş, bu duruma göre yeni bir fabrika yerleşim düzeni hazırlanmıştır. Yeni fabrika yerleşim düzenine göre makineler arası parça taşınmalarının en az olması sağlanarak, zaman kayıpları minimize edilmiştir.

Kafile aktarımı, ürün kafilesinin küçük partilere (aktarma kafilelerine) bölerek kafilenin tamamının bir aşamadaki işlemi tamamlamadan bir sonraki aşamaya gönderilmesi yoluyla makespanın minimize edilmesini amaçlayan bir yaklaşımdır. Demir [40] çalışmasında, EATÇ problemine dayanan ve kafile aktarımı stratejisinin uygulandığı, otomotiv yan sanayinde faaliyet gösteren bir firmanın pres atölyesinin çizelgeleme problemini ele almıştır. Bu doğrultuda problemin önce matematiksel modelini oluşturmuştur. Önerilen model, literatürde bu problem için önerilen bir başka modelle karşılaştırılmış ve daha iyi sonuçlar alındığını göstermiştir. Ancak problemin NP-zor yapısı nedeni ile ancak küçük boyutlu problemler için sonuç alabilmiştir. Büyük boyutlu problemlerin çözümü için bir GA geliştirmiştir.

Geliştirilen bu algoritmayla, literatürde sıkça kullanılan test problemlerini çözmüş ve sonuçları daha önce önerilen algoritmalarla karşılaştırarak şimdiye kadar elde edilen en iyi sonuçlara ulaştığını göstermiştir.

Zhang vd. [41] etkin bir GA önermişlerdir. Önerdikleri GA, global ve yerel seçim yaparak, yüksek kalitede başlangıç popülasyonu oluşturmaktadır. Geliştirdikleri GA'ya farklı çaprazlama ve mutasyon operatörleri adapte etmişlerdir. Yazarlar algoritmalarını literatürde yer alan kıyaslama problem setleriyle test etmiş ve algoritmalarının EATÇ problemlerinin çözümü için daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Xing vd. [42] birbirinden farklı ve bağımsız popülasyonlardan oluşan karınca kolonileri algoritması (KKA) ve GA tabanlı bir yaklaşım sunmuşlardır. Yazarlar bu çalışmalarında popülasyonların birbirleriyle etkileşim içinde olmasını sağlayacak bir mekanizma ile yeni popülasyonlar elde etmiş, elde edilen bu popülasyon hem GA hem de KKA'nda kullanılarak optimal çözümü bulmaya çalışmışlardır. Algoritmalarını literatürde yer alan kıyaslama problemleriyle test eden yazarlar, daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Gutierrez ve Garcia-Magarino [43], EATÇ problemlerinde kullanılan sezgisel yöntemler üzerine araştırma yapmışlardır. Yazarlar öncelikle problemin optimal olmayan çözümlerini elde etmek için GA kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçları iyileştirmek için yenileyici sezgiseller uygulamışlardır. Problem kısıtlarının farklı türleri için farklı sezgisel metotlar sunmuşlardır. Yazarların yaklaşımı EATÇ problemine çözüm algoritmasının uyarlanabilirliğini geliştirmiştir.

Özdöl [44] sıra bağımlı hazırlık zamanlı EATÇ probleminin çözümü için GA sunmuştur. Problemin makine atama alt problemi için üç yöntem kullanmıştır. Bu yöntemlerden birincisi her bir operasyonu makinelere atarken makine yüklerini ve iş sürelerini göz önünde bulundurarak atama yapan Kacem vd. [16,17] tarafından geliştirilen yöntemdir. Bu yöntem makine hazırlık zamanlarını göz önünde bulundurmamaktadır. İkinci yöntem, birinci yöntemin sıra bağımlı hazırlık zamanlarını da makine yükleri ve iş süreleri ile birlikte göz önünde bulundurarak modifiye edildiği yöntemdir. Üçüncü yöntem ise karşılaştırma amaçlı kullanılan, makine atamalarının rastgele yapıldığı yöntemdir. EATÇ problemlerinin sıralama alt probleminin çözümü için en kısa hazırlık zamanı, en kısa işlem zamanı, en uzun işlem zamanı, en uzun kalan süre ve rasgele öncelik dağıtım kurallarını kullanmıştır. Çalışmasında, makine atamaları ve makine önündeki sıralamaları yaparken, sıra bağımlı hazırlık zamanları iş süreleri ve makine yükleri ile birlikte ele almıştır. Farklı problem büyüklüklerinde başlangıç popülasyonu oluşturma, sistemde kalma süresi

hesaplama, seçme ve mutasyon yöntemlerinin GA performansı üstündeki etkilerini araştırmıştır.

Amiri vd. [45] EATÇ probleminin çözümü için sundukları komşuluk yapısını esas alan algoritmaları, mevcut çizelge üzerindeki sıralı komşu işlerin yerlerini değiştirerek daha iyi sonuçları veren çizelgelemeyi bulmak şeklindedir. Çalışmalarında iki tür komşuluk yapısını esas alan yöntem geliştirmişlerdir. Yazarlar kendi algoritmalarını literatürdeki problem setiyle çözmüşler ve EATÇ problemlerinin en iyi bilinen çözümlerine tamamen yakın sonuçlar elde etmişlerdir.

De Giovanni ve Pezzella [46], dağıtık ve EATÇ probleminin çözümü için geliştirilmiş bir GA sunmuşlardır. Algoritmanın her iterasyonunda daha iyi bireyler elde edebilmek için geleneksel mutasyon ve çaprazlama kurallarına YA algoritmasını adapte etmişlerdir. Algoritmalarını literatürde yer alan kıyaslama problemleri ile değerlendirmiş ve kendi yöntemlerinin tatmin edici sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Bagheri vd. [47] YBS tabanlı bütünleşik bir algoritma sunmuşlardır. Algoritmanın başlangıç popülasyonuna çeşitli stratejiler adapte etmişlerdir. Başlangıç popülasyonunda operasyonların makine atamalarını gerçekleştirmek için Kacem vd. [16,17] tarafından geliştirilen yerini belirleme algoritmasını modifiye ederek iki atama kuralı geliştirmişlerdir. Başlangıç popülasyonu oluşturulurken sıralama alt problemi için ise rassal, en çok kalan iş ve en çok kalan operasyon olmak üzere üç kural adapte etmişlerdir. Yeni bireyler elde etmek için farklı mutasyon operatörleri tanımlayan yazarlar algoritmalarını literatürdeki problem setleriyle çözmüş ve daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Aladağ [48], tekrar işlemeli (geri dönüşlü) EATÇ problemi için YBS algoritmasını kullanan bir çözüm yaklaşımı geliştirmiştir. Önerilen yaklaşımın başarılı sonuçlar verdiği literatürdeki test problemleri kullanılarak gösterilmiştir. Ayrıca önerilen yaklaşım ile büyük boyutlu bir gerçek yaşam problemi de başarıyla çözülmüştür.

Özgülven vd. [49] sıralama ve yükleme alt problemleri ile alternatif süreç seçimli esnek süreç planlarına sahip alt problemlerini kapsayan ve NP-zor problem sınıfında yer alan iki tür EATÇ problemlerinin çözümü üzerine çalışmışlardır. Çalışma iki adımda gerçekleştirilmiştir. Birinci adımda, EATÇ probleminin çözümü için karmaşık tam sayılı programlama modeli sunmuşlar ve literatürde bulunan diğer çözümler ile karşılaştırmışlardır. Çalışmalarının ikinci adımında, birinci adımda sundukları algoritmalarını alternatif süreç planlarına sahip EATÇ problemlerine yeniden

uyarlayarak algoritmalarını test etmişlerdir. Yazarlar test ettikleri problem setlerinin çoğunluğunda karşılaştırdıkları algoritmalara göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Defersha ve Chen [50], sıra bağımlı hazırlık zamanlı EATÇ problemlerinin matematiksel modelini ve bu tür problemlerin çözümü için etkin sonuçlar veren paralel GA yaklaşımı sunmuşlardır. Yazarların sundukları model aynı zamanda EATÇ problemini, makine gevşek zamanı ve gecikme şartları altında da incelemektedir. Yazarlar algoritmalarını orta ve büyük ölçekli problem setleriyle ölçmüşler ve daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Lei [51], bulanık işlem süreli EATÇ problemlerinin çözümü için etkin bir GA sunmuştur. İş sıralamalarının ve makine atamalarının birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirildiği ikili temsili kodlama tanımlamıştır. Yazar kendi algoritmasının literatürdeki diğer algoritmalara göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Fahmy vd. [52], EATÇ problemleri için sundukları yaklaşımda, makine arızalanması, işlem sürelerindeki değişimler, acil işlerin devreye konulması, iptal edilen işlerin olması gibi gerçek yaşam varyasyonları göz önünde bulundurularak, serbest kilitlemeli reaktif bir yaklaşım (GDRS) algoritması geliştirmişlerdir. Yazarlar, algoritmalarının daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Girish ve Jawahar [53] çoklu iş rotasına sahip EATÇ problemlerinin çözümü için KKA ve GA meta sezgisel yöntemlerini sunmuşlardır. Yazarlar, işlerin makinelere optimum atanmasını sağlamak üzere iki yöntem geliştirmişlerdir. Literatürde yer alan kıyaslama problem setleriyle çözüm yapmışlar ve kendi sundukları KKA'nın literatürde bulunan en iyi sonuçlara yakın veya eşit sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Yazdani vd. [54] TB algoritması geliştirmişlerdir. Algoritmalarına yerel tıkanmalardan kaçma özelliğine sahip çözüm uzayındaki aramaları geliştirmek için YA algoritmasını adapte etmişlerdir. Diğer bir çalışmada Yazdani vd. [55], aynı problemin aynı amaç fonksiyonu için paralel DKA algoritması geliştirmişlerdir. Algoritmadaki paralellik yapı arama uzayında bağımsız aramaları çoğaltmak için kullanılmıştır. Yazarlar literatürdeki problem setleriyle algoritmalarının daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Pezzella vd. [3] GA yaklaşımı sunmuşlardır. Başlangıç popülasyonu ve yeni bireylerin üretilmesinde farklı stratejileri algoritmaya entegre etmişlerdir. Yazarlar global arama yapabilmek ve daha iyi sonuçlara ulaşabilmek için makine atama alt probleminin

çözümüne Kacem vd. [16,17] tarafından geliştirilen yerini belirleme yaklaşımını adapte etmişlerdir. Ayrıca sıralama alt problemi için başlangıç popülasyonuna en çok kalan iş, en çok kalan operasyon, rassal seçim kurallarını adapte etmişlerdir. GA Adımlarına farklı çaprazlama ve mutasyon operatörleri dâhil etmişlerdir. Algoritma, TA ve diğer GA sonuçları ile karşılaştırılmış, GA sonuçlarına göre daha iyi sonuçlar alınmış, TA sonuçlarına yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Xing vd. [56] bilgi tabanlı iki katmanlı KKA geliştirmişlerdir. Yazarların sundukları algoritma, bilgi modeli ile KKA optimizasyon modelinin entegrasyonundan oluşmaktadır. Yazarlar, atama ve sıralama alt problemlerini hiyerarşik yaklaşımla çözmüşlerdir. Yazarların algoritma sonuçları, mevcut bazı yaklaşımlara göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Chen vd. [57], paralel makineli ve tekrar işlemeli durumlar için EATÇ problemleri üzerine çalışmışlardır. Yazarlar, iki tip EATÇ probleminin varlığından bahsetmişlerdir. Birinci tip problemlerde, işler alternatif işlem sıralamasına sahiptir ve her iş için alternatif özdeş veya özdeş olmayan makineler söz konusudur. Burada problem, işlerin sıralanması ve makinelerdeki işlem sırasının belirlenmesidir. İkinci tip problemde, işler sadece belli bir işlem sıralamasında işlenebilmekte fakat her işlem için özdeş veya özdeş olmayan makine alternatifleri vardır. Problem, işleri kendi işlem sıralamalarını bozmadan makinelere atayabilmektir. Çizelgeleme, makine seçim modülü ve işlem çizelgeleme modülü olarak iki aşamada hiyerarşik olarak gerçekleştirilmektedir. Makine seçiminde çeşitli öncelik kuralları kullanılmış ve daha sonra işlerin sıralaması da öncelik kurallarına göre en iyi çizelgeyi sağlayacak şekilde yapılmıştır. Uygulama bir silah fabrikasında gerçekleştirilmiş ve geliştirilen en erken teslim zamanı, malzeme listesindeki en düşük seviyeli kod ve en uzun işlem süresinin kombinasyonuna dayanan yöntem oldukça başarılı olmuştur.

Lei ve Guo [58], bulanık EATÇ probleminin çözümü için iki popülasyonlu GA önermişlerdir. Yazarların algoritmaları iki dizi ve optimal çizelgeyi bulmak için iki popülasyon kullanmaktadır. Her bir neslin popülasyonları içinde uygulanan çaprazlama ve mutasyon işlemleri, kromozomun sadece bir kısmına uygulanır ve bu popülasyonlar birleştirilmiş popülasyonlar içindeki en büyük performans ölçütü değerine sahip diğer bireylerin yarısı kullanılarak iyileştirmeler yapılır. Yazarlar algoritma performanslarını ölçmek için problem setleriyle çözüm yaparak, üç değişik algoritma ile karşılaştırmışlardır. Algoritmalarının daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Zribi vd. [59], EATÇ problemi için yeni bir hiyerarşik metod sunmuşlardır. Yaklaşımlarını yüksek esnekliğe sahip ATÇ problemine adapte etmişlerdir. Öncelikle yerel bir arama ve sezgisel bir yaklaşım olan DSA' nı sunmuşlar, daha sonra melez bir GA geliştirmişlerdir. Yazarlar, yaklaşımlarının iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Fattahi vd. [60], EATÇ probleminin çözümü için matematiksel model ve iki sezgisel yöntem sunmuşlardır. Matematiksel model, küçük boyutlu problemlerde optimal çözümü bulmak için kullanılmıştır. Büyük boyutlu EATÇ problemlerini çözmek için bütünlük ve hiyerarşik olmak üzere iki tane sezgisel metod geliştirmişlerdir. Sunulan sezgisel yaklaşımlarda TB ve TA yöntemleri kullanılmıştır. İki algoritmaya bağlı olarak, altı farklı melez arama yapısı sunmuşlardır. Matematiksel model için küçük boyutlu, diğer iki sezgisel yaklaşım için orta ve büyük boyuttaki problem setleriyle çözümler yapılmış ve yaklaşımlarının daha iyi sonuçlar verdiğini gösterilmiştir.

Ho vd. [61] EATÇ problemleri için evrimleşme ve öğrenme arasındaki etkileşimi sağlayan öğrenebilir genetik mimari algoritması (LEGA) önermişlerdir. Yazarların sunduğu algoritma seçim ve mutasyona dayalı klasik evrimsel algoritmaların tersine, önceki nesillerden öğrenme modülü yardımıyla bilgi toplamakta ve bu bilgiyi gelecek nesillerin çeşitliliğini ve kalitesini artırmada kullanmaktadır. Literatürde yer alan büyük boyutlu problem setleriyle yaptıkları çözümlerde, bu yaklaşımın klasik evrimsel yaklaşımlara göre daha başarılı olduğunu göstermişlerdir.

Liouane vd. [62], esnek üretim sistemlerinde kullanılan EATÇ problemlerinin çözümü için iki yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşımlar YA metodunu içeren KKA ve TA'dır. Yazarlar önerdikleri algoritmaları, Brandimarte [4] ve Kacem vd. [15] algoritmalarıyla karşılaştırmışlar ve daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Saidi-Mehrabad ve Fattahi [7] TA algoritması geliştirmişlerdir. Yazarların algoritması operasyonların en iyi sıralamada yapılmasını sağlayan ve bu operasyonların en iyi makinelere atanmasını sağlayan iki alt gruptan oluşmaktadır. Algoritma performansını ölçmek için kendi rassal ürettikleri problem setlerini kullanmışlardır. Kendi problem setlerini DSA ile çözerek algoritmalarının etkinliğini değerlendirmişlerdir. Yazarlar, algoritmalarının küçük ve orta boyuttaki problem setleri için kısa sürede iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Zribi vd. [63], çalışmalarında EATÇ problemleri için ilk aşamada atamaların sezgisel YA ile yapıldığı, algoritmanın ilerlemesinin ise GA yardımıyla sağlandığı



optimizasyon tekniği geliştirmişler, sonuçları bazı problemlerin alt sınırları ile karşılaştırmışlar ve tatmin edici sonuçlara ulaşmışlardır.

Baykasoğlu [64], EATÇ problemlerinin çözümü için TB tabanlı bir meta sezgisel çözüm yaklaşımı sunmuştur. Yazarın sunduğu model, EATÇ probleminin süreç modelini daha basit hale getirmekte ve ATÇ probleminin var olan çözüm algoritmalarının kullanımını sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar bu tür kompleks problemlerin önerilen algoritma ile makul süre içinde daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Mastrolilli ve Gambardella [11] YA ve iki yeni komşuluk yapısının olduğu TA yöntemini sunmuşlardır. Yazarlar literatürde yer alan kıyaslama problemleri ile TA algoritmalarının daha hızlı ve iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Brandimarte [4] hiyerarşik çözüm yaklaşımı TA algoritması sunmuştur. Yazar algoritmasında, iki farklı hiyerarşik yöntem kullanmış ve bu yöntemlerin zorluk derecelerini karşılaştırmıştır. Ayrıca TA algoritmasında hafıza yapısı oluşturulurken atama ve sıralama alt problemleri arasında bağlantı kurmuştur. Amaç fonksiyonu olarak, öncelikle makespan ele almış daha sonra toplam ağırlıklı gecikmeyi minimize etmeye çalışmıştır.

EATÇ problemlerinin makespan amaç ölçütü üzerine yapılan çalışmalar Tablo 1.' de toplu halde verilmiştir. İlk sütunda çalışmayı yapan yazarlar, ikinci sütunda kullanılan yöntem, üçüncü sütunda yazarların kullandığı problem setleri, dördüncü sütunda yazarların kendi sonuçlarını karşılaştırdığı diğer yazarlar, beşinci sütunda çalışmanın yılı ve son sütunda ise çalışmanın yayınlandığı dergi ismi gösterilmiştir.

Araştırmacılar, 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 edere algoritmalarını geliştirdikleri görülmektedir. Melez algoritmalar özellikle çok amaçlı problemlerde üç amaç gerçekleştirilmeye çalışıldığında kullanıldığı görülmektedir [18]. Makespan amaçlı EATÇ problemlerinin çözümünde de yazarlar kullandıkları meta sezgisel yöntemi doğal halinden ziyade ya diğer bir meta sezgisel yönteme melezleyerek veya YA ve sıralama kurallarını adapte ederek çözümler sunmuşlardır. Araştırmacıların melezlemek için en çok kullandıkları yöntemin YA algoritması olduğu gözlenmiştir. Ancak kısmen de olsa sadece bir meta sezgisel yöntemi doğal haliyle kullanarak çözümler elde eden yazarlar da vardır.

Tablo 1. Makespan amaç ölçütlü çalışmalar (Makespan objective criteria studies)

Yazarlar	Algoritma	Kıyaslama Problemleri	Karşılaştırılan çalışmalar	Yıl	Dergi
Gonzalez vd. [20]	Dağınık Arama + Tabu Arama	[4] [6] [10] [9]	[11] [35] [45] [65] [66] [67] [68]	2015	European J. of Operational Research
Gao vd. [21]	Yapay Arı Kolonileri + Yerel Arama	[16] [17] [4]	[57] [58] [69]	2015	Expert Systems with Applications
Gao vd. [22]	Harmoni Arama Algoritması	Kendi Problem Setleri	[3] [29] [53] [70] [71] [72]	2015	Int. J. of Production Research
Dosdoğru vd. [23]	Genetik Alg. + Monte Carlo	Kendi Problem Setleri		2015	Int. J. Advanced Manufacturing Technology
Sirkeci [24]	Tabu Arama +Yerel Arama	Gerçek Yaşam Problemi		2015	Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi
Direkli [25]	Parçacık Sürü Optimizasyonu			2015	Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi
Tayebi Araghi vd [26]	Genetik Alg. + Değişken Komşuluk Arama	Kendi Problem setleri	[3] [47]	2014	Int. J. of Computer Integrated Manufacturing
Demir ve İşleyen [27]	Matematiksel model + Genetik Alg.	[75] [6]	[73] [7] [74]	2014	Int. J. of Production Research
Lei ve Guo [28]	Değişken Komşuluk Arama	[4] [9]	[3] [29]	2014	Int. J. of Production Research
Gholami ve Sotskov [30]	Sezgisel Yaklaşım	Kendi Problem Setleri [75] [76]	[77]	2014	Int. J. Advanced Manufacturing Technology

Tablo 1. (devamı) Makespan amaç ölçütlü çalışmalar ((continued) Makespan objective criteria studies)

Yazarlar	Algoritma	Kıyaslama Problemleri	Karşılaştırılan çalışmalar	Yıl	Dergi
Ziaee [31]	Sezgisel Yaklaşım	[4] [16] [17]	[11] [78] [49] [81] [82] [33] [38] [79]	2014	Int. J. Advanced Manufacturing Technology
Thammano ve Phu-ang [32]	Arı Kolonileri Alg. + Yerel Arama	[4]	[80] [81] [82]	2013	Procedia Computer Science
Yuan vd. [33]	Harmoni Arama Alg. + Yerel Arama	[15] [62] [4] [9] [6] [10]	[15] [74] [80] [49] [57]	2013	Applied Soft Computing
Wang vd. [34]	Genetik Alg.	[4]	[83]	2013	Int. J. Advanced Manufacturing T.
Yuan ve Xu [35]	Harmoni Arama Alg. + Büyük Komşuluk Arama	[4] [9] [6] [10]	[3] [82] [49] [80]	2013	Computers & Operations Research
Demir ve İşleyen [36]	Matematiksel Model + Sezgisel Yöntem	[62]		2013	Applied Math Modelling
Meto [37]	Genetik Alg.	[4]	[3] [84] [85]	2013	Yüksek Lisans Tezi
Wang vd. [38]	Dağılım Alg.	[4] [15]	[57] [80] [82]	2012	Computers & Industrial Eng.
Karimi vd. [39]	Değişken Komşuluk Arama	[4] [15]	[3] [63] [86] [82]	2012	Knowledge-Based Systems
Roshanaei [40]	Yapay Bağışıklık + Tavlama Benzetimi + Tam Sayılı Doğrusal P.	[62]	[49]	2012	Yüksek Lisans Tezi
Ak [41]	Genetik Alg.	Gerçek Yaşam Problemi		2012	Yüksek Lisans Tezi
Demir [42]	Matematiksel Model + Genetik Alg.	[62] [75] [6] Gerçek Yaşam Problemi	[62] [75] [76]	2012	Yüksek Lisans Tezi
Zhang vd. [43]	Genetik Alg.	[4] [6] [9]	[11]	2011	Expert System with applications
Xing vd. [44]	Karınca Kolonileri Alg. + Genetik Alg.	[4] [16] [17]	[16] [17] [74] [4] [63]	2011	Computational Optimization and Applications
Gutierrez ve Garcia-Magarino [45]	Genetik Alg.	[4]	[3] [11] [36] [67]	2011	Knowledge-Based Systems
Özdöl [46]	Genetik Alg.	Kendi Problem Setleri		2011	Yüksek Lisans Tezi
Amiri vd. [47]	Değişken Komşuluk Arama	[4] [16] [17] [6] [9] [10]	[16] [17] [74] [67] [87]	2010	Int. J. of Production Research
De Giovanni ve Pezzella [48]	Genetik Alg. + Yerel Arama	[13] [92] [93] [94]	[13] [88] [89] [90]	2010	European J. of Operational Research
Bagheri vd. [49]	Yapay Bağışıklık Alg.	[4] [62] [10]	[13] [3] [91] [62]	2010	Future Generation Computer System
Aladağ [50]	Yapay Bağışıklık Alg.	[4] Gerçek Yaşam Problemi	[49] [3] [14] [13]	2010	Yüksek Lisans Tezi
Özguven vd. [51]	Karmaşık Tamsayı Prog. Modeli	[62]	[62]	2010	Applied Math. Modelling
Defersha ve Chen [52]	Genetik Alg. + Karmaşık Tamsayı Prog. Modeli	Kendi Problem Setleri		2010	Int. J. Advanced Manufacturing Technology
Lei [53]	Genetik Alg.	Kendi Problem Setleri	[74] [3]	2010	Int. J. of Production Research
Fahmy vd. [54]	Reaktif Yaklaşım	Kendi Problem Setleri	[92] [93]	2009	Int. J. of Production Research

Tablo 1. (devamı) Makespan amaç ölçütlü çalışmalar ((continued) Makespan objective criteria studies)

Yazarlar	Algoritma	Kıyaslama Problemleri	Karşılaştırılan çalışmalar	Yıl	Dergi
Girish ve Jawahar [55]	Karınca Kolonileri Alg. + Genetik Alg.	[4]	ILOG Solver	2009	Int. J. of Pro. Research
Yazdani vd. [56]	Tavlama Benzetimi	[62]	[62]	2009	Journal of Applied Science
Yazdani vd. [57]	Değişken Komşuluk Arama	[15] [4] [6] [9] [10]	[3] [15] [67] [74] [91]	2010	Expert System with Applications
Pezzella vd. [3]	Genetik Alg.	[4] [6] [9] [10]	[12] [14] [13]	2008	Computers & Operations Research
Xing vd. [58]	Karınca Kolonileri Alg.	[4] [15]	[15] [74]	2008	New Generation Computing
Chen vd. [59]	Sezgisel Yöntem	Gerçek Yaşam Problemi		2008	Int. J. of Adv. Manufacturing Technology
Lei ve Guo [60]	Genetik Alg.	Kendi Problem Setleri		2008	7th Int. Conf. on Machine Learning and Cybernetics
Zribi vd. [61]	Dal Sınır Alg. + Genetik Alg. + Yerel Arama	[4] [9]	[4] [15]	2007	Transaction on Systems, Man, and Cybernetics
Fattahi vd. [62]	Tavlama Benzetimi Tabu Arama	Kendi Problem Setleri		2007	Journal Intelligent Manufacturing
Ho vd. [63]	Genetik Alg.	[4] [15]	[4] [15]	2007	European J. of Operational Research
Liouane vd. [64]	Karınca Kolonileri Alg. + Tabu Arama	[4] [15]	[4] [15]	2007	Int. J. of Comp. Communications
Saidi-Mehrabad ve Fattahi [7]	Tabu Arama	Kendi Problem Setleri		2007	Int. J. of Adv. Manufacturing Technology
Zribi vd. [65]	Genetik Alg. + Yerel Arama	[98]	[94]	2004	In The fifth Asian control conference
Baykasoğlu [66]	Tavlama Benzetimi	Kendi Problem Setleri		2002	Int. J. of Production Research
Mastrolilli ve Gambardella [11]	Tabu Arama + Yerel Arama	[4] [9] [6] [10]	[95]	2000	Journal of Scheduling
Brandimarte [4]	Tabu Arama	Kendi Problem Setleri		1993	Annals of Operations Research

### 3.1.2. Akış Zamanı Ölçütlü Diğer Çalışmalar (Other Studies On Flow Time Criteria)

Dosdoğru [96] bir dinamik esnek atölye tipi üretim ortamında, sırasıyla hem her bir parça için en iyi proses planı hem de her bir operasyon için en iyi makinenin belirlenmesi amaçlı GA tabanlı bir algoritma geliştirmiştir. Yazarın geliştirdiği algoritma çözüm metodolojisinin optimizasyon aşamasını oluşturmaktadır. Elde edilen makine-operasyon ikilileri, performanslarının tahmini amacıyla, kesikli olay sistem simülasyonu modeline beslenmiştir. Çalışmasının bu iki aşaması birbirini ardışık bir şekilde izlemektedir. Önerilen metodolojinin amacı tüm parçalar için ortalama akış süresini minimize eden çözümü bulmaktır. Yazarın sonuçları, amaç fonksiyonunun göz önüne alınan esneklik seviyesinin artan değerleri için iyileştğini göstermiştir.

Süer [97], esnek atölyelere sahip siparişe üretim yapan firmalar için bir operasyonel (kısa vadeli) esneklik yönetimi yaklaşımı önermiştir. Bu yöntemde, sipariş inceleme ve sürme teknikleri ile tipik esnek imalat sistemi kararları birleştirilmiştir. Önerilen yöntem, her üretim döneminde atölyeye farklı seviyelerde işlem ve rotalama esneklikleri tahsis edilmesiyle bir atölye ortamı hazırlamaktadır. Sipariş havuzunda bulunan ve gelmesi öngörülen parça tiplerinin çeşitliliği, hacmi ve kritikliği, esneklik tahsisi için ana girdileri oluşturmaktadır. Bir esneklik yönetimi politikası tanıtılmış ve uygun politikanın belirlenmesi matematiksel programlama ve benzetim modellemesinin ortak kullanımı yoluyla gerçekleştirilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak ağırlıklı akış zamanı ele alınmıştır. Deneysel bir çalışma yapılarak, önerilen yöntemin kuramsal bir esnek atölye üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, uygun bir politika izlenen dönemsel ve çevrimiçi esneklik

yönetiminin, sipariş inceleme ve sürme teknikleri ile birleştirildiğinde talepteki belirsizlik ile başa çıkmak konusunda etkin bir araç olabileceğine işaret etmektedir.

Büyükköprü [98], sıraya dayalı kurulum zamanlarının sistem performansları üzerindeki etkilerinin gözlenmesi üzerine iki sezgisel grubu karşılaştırmıştır. Bir grupta kurulum, çizelgeleme sürecinde göz önünde tutulurken diğer grupta göz ardı edilmiştir. Bu kısıtlar altında ve sık ve uzun kurulum zamanlarının tehdidi altında kurulum zamanının düşürülmesine ve üretim zamanının etkin kullanımına katkısı olacak etkin bir çözüm sunmuştur. Akış zamanı, ortalama gecikme, gecikme oranı ve süreç içerisindeki parça sayısı gibi performans değişkenleri

üzerinde kurulum zamanının ne gibi etkilerinin olduğunu gözlemek için deneysel dizayn uygulamıştır. Tanımlanan çizelgeleme algoritmalarının kurulum zamanlarındaki değişimlere karşı gösterdiği tepkiye ve kurulum zamanlarının parça işleme zamanlarından ayrı olarak amaç fonksiyonunda ek bir kısıt olarak değerlendirilmesinin önemine vurgu yapmıştır.

Tablo 2.'de akış zamanı ölçütlü çalışmalar başlığı altında incelenen çalışmalar toplu halde gösterilmiştir. Tamamlanma zamanına dayalı performans ölçütlü çalışmalarda araştırmacıların çok büyük oranda Makespan amaç ölçütünü tercih ettikleri gözlenmiştir.

Tablo 2. Akış zamanı ölçütlü diğer çalışmalar (Other studies on flow time criteria)

Yazarlar	Algoritma	Amaç Fonksiyonu	Kıyaslama Problemleri	Karşılaştırılan çalışmalar	Yıl	Dergi
Dosdoğru [100]	Genetik Alg.	Ortalama Akış zamanı	[4]	[11] [14] [56]	2012	Yüksek Lisans Tezi
Süer [101]	Matematiksel Prog. + Simulasyon Model	Ağırlıklı Akış zamanı	[99] [100]	[101]	2009	Yüksek Lisans Tezi
Büyükköprü [102]	Dağıtım Kuralları	Akış Zamanı / Ortalama Gecikme / Gecikme Oranı / Parça Sayısı	Gerçek Yaşam Problemi		2005	Yüksek Lisans Tezi

### 3.2. Teslim Zamanına Dayalı Performans Ölçütlü Çalışmalar (Performance Criteria Studies Based On Delivery Time)

#### 3.2.1. Toplam Gecikme Ölçütlü Çalışmalar (Total Tardiness Criteria Studies)

Türkyılmaz ve Bulkan [102] toplam gecikmenin en küçüklenmesi amaçlı EATÇ probleminin çözümü için GA ve DKA algoritmalarının melezlenmesiyle yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Gelişmiş mutasyon ve çaprazlama kurallarını problemin yapısına uygun olarak algoritmaya adapte etmişler, GA ile elde ettikleri çözümlere paralel çalışan DKA algoritmasını uygulamışlardır. DKA algoritmasında YA kuralını, operasyonların alternatif makine seti içindeki en uygun makineye atanmasını sağlamak üzere kullanmışlardır. Yazarlar algoritmaları ile literatürde yer alan problem setlerini çözmüşler ve daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Mousakhani [103] sıra bağımlı hazırlık zamanlı EATÇ problemlerinin toplam gecikme zamanı ölçütlü çözümü için önce karışık tamsayı programlama modeli sonra yinelemeli YA algoritması geliştirmiştir. YA algoritması, sabit iterasyon sayısı içerisinde elde edilen gelişmemiş çözümlerin üzerinde sürekli uygulandıktan sonra göç olarak adlandırdığı özellik ile çözüm uzayı içerisinde diğer çözümlere ulaşmak için algoritma çalışmaktadır. Yazar, deneysel sonuçlarla algoritmasının daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Zribi vd. [104] EATÇ problemlerinin çözümü için TA ve GA yöntemlerini melezleyerek yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Amaç fonksiyonu olarak tedarik zinciri ve üretim süreçlerinde önemli bir kriter olan toplam gecikme amacını en iyilemeye çalışmışlardır. Bu yaklaşımlarının ilk bölümü atama alt probleminin çözümünün yapıldığı TA, ikinci bölümü ise sıralama alt probleminin çözümünün gerçekleştirildiği GA tabanlı yaklaşımdan oluşmaktadır. Yazarlar, atama ve sıralama alt problemlerinin bütünleşik olarak çözülmesi ile daha iyi sonuçlar aldıklarını söylemişlerdir.

Jang vd. [105], çok düzeyli iş yapılarına sahip EATÇ problemi ile ilgilenmişlerdir. Yazarlar, karmaşık çizelgeleme problemi için montaj hattında işlemlerin seviye ve sıralamasını makine üzerinde gösteren yeni bir gen tabanlı GA çözümü sunmuşlardır. Toplam gecikme zamanını minimize eden amaç fonksiyonlu GA çözümleri ile literatürde yer alan kırk adet problem setinde kendi çözüm performanslarının yüksek çıktığını göstermişlerdir.

#### 3.2.2. Toplam Ağırlıklı Gecikme Ölçütlü Çalışmalar (Total Weighted Tardiness Criteria Studies)

Zhang ve Wu [106], toplam ağırlıklı gecikme zamanının en küçüklenmesi amaçlı ATÇ problemini çalışmışlardır. Öncelikle problemin matematiksel modelini ve dual modelini sunmuşlardır. Bu problemin çözümü için bir blok tabanlı komşuluk yapısı tanımlanmış ve bunun

özellikleri sunulmuştur. Son olarak bu komşuluğun özelliklerini direkt olarak kullanan TB algoritması sunmuşlar ve yüksek kalitedeki çözümlere yakınsayan sonuçlar elde etmişlerdir.

Tekbaş [107] paralel işleme özellikli, sıraya bağlı hazırlık süreli, “sipariş-ürün-işlem” üçlüsü olan EATÇ probleminin yayılma suresinin ve ortalama sipariş teslim gecikmesi süresinin ağırlıklı toplamının en küçüklenme amaçlı çözümü için TB algoritması sunmuştur. Geliştirilen algoritma, çift TB algoritmasını hiyerarşik yapılanmayla bağlamıştır. Her iki algoritma, gerek yükleme gerekse sıralama alt problemlerini aynı anda çözerken iki farklı komşu çözüm oluşturma yöntemini kullanmaktadır. Ayrıca komşu çözüm oluşturmada kritik yolun değişik kullanımları algoritmaya uyarlanmıştır. Çalışmada önerilen algoritmanın performansının sınanması için deneysel ve gerçek yaşam uygulaması yapmıştır. Deneysel uygulamada literatürde sipariş-ürün-işlem üçlüsünü içeren EATÇ veri kümesi olmadığından 36 problem üretmiş ve Fattahi vd. [62] tarafından sunulan TB algoritması sonuçlarıyla performans farklarını irdelemiştir. Ambalaj fabrikasında gerçekleştirilen gerçek yaşam uygulamasında ise önerilen algoritmanın performansını işletmenin üretim programlama yazılımıyla karşılaştırmış ve daha iyi sonuçlar aldığını göstermiştir.

Kunadilok [108], toplam ağırlıklı gecikme zamanını minimize etme amaçlı, kompleks ATÇ problemi üzerine çalışmıştır. Kompleks ATÇ, bir veya daha fazla sayıda özdeş paralel makineden oluşan farklı iş merkezlerinde, işin akışı olarak tanımlanmaktadır. Süreç kısıtlarına sıfırdan farklı hazırlık zamanı ve bir dizi bağımlı hazırlık zamanları dâhildir. Yazar, kompleks atölye çizelgelemeyi; sınırsız ve sınırlı tampon kapasiteler olmak üzere iki sınıfta toplamıştır. Sınırsız tampon kapasiteli problemin çözümü için karışık tamsayı programlama, rassal kodlama tabanlı bir GA ve TA olmak üzere üç yöntem sunmuştur. Sınırlı tampon kapasiteli kompleks ATÇ’ de özellikle küçük boyutlu problemlerin çözümü için ise yine karışık tamsayı programlama modeli geliştirmiştir. Son olarak, tampon kullanılabilirlik ve serbest iş planı kısıtları altında, atandıkları iş merkezleri boyunca iş akışını çizelgelemek için rassal popülasyonlu GA sunmuştur. Yazar kendi algoritmalarını sezgisel yaklaşımlar ile karşılaştırmış ve sınırlı ve sınırsız tampon kapasiteli kompleks problemler için algoritmasının daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Boran [109] atölye tipi üretim yapısına sahip bir gerçek hayat sisteminde her iş merkezinde işlem görececek olan işlerin sırasını belirlemeyi içeren operasyon çizelgeleme problemini ele almıştır. Yazar ağırlıklı iş gecikmelerinin en küçüklenmesi amaçlı olarak ele aldığı problemin

çözümü için sezgisel yöntemler arasında yer alan öncelik dağıtım kurallarını kullanmıştır. Klasik dağıtım kurallarının yanı sıra bir veya birden fazla kuralın birleşimleri ve karmaşık yapıları bir kural olan darboğaz dinamiklerini de ele almıştır. Altı haftalık planlama dönemine yönelik en uygun kuralın seçimi için belirli benzetim kullanmıştır. Hazırlık süreleri, vardiya şekilleri ve kaynakların başlangıç uygunlukları gibi daha gerçekçi kısıt koşullarını ele almıştır. Bu planlama dönemine yönelik çizelgeleme problemi için farklı parti hacmi büyüklüklerinin kullanım etkisini de değerlendirmiştir.

### 3.2.3. Ortalama Gecikme Ölçütlü Çalışmalar (Mean Tardiness Criteria Studies)

Baykasoğlu ve Özbakır [110] farklı esneklik seviyelerine sahip EATÇ performansı üzerine dağıtım kurallarının etkilerini analiz etmişlerdir. Operasyonlar için dört farklı esneklik seviyesi tanımlanmıştır. Bu makineler sıfır, düşük, orta ve yüksek esnekliğe sahip olarak seçilmiştir. Çizelgeleme performans ölçütü olarak ortalama gecikme zamanı kabul edilmiş olup en kısa işlem zamanı, en erken teslim tarihi, en çok kalan iş zamanı, toplam kalan işlem zamanı ve minimum aylak zaman olmak üzere beş dağıtım kuralı alınmıştır. Sunulan beş kural için performans değişimleri, farklı esnekliğe sahip makineler üzerinde belirlenmiş ve istatistiksel analiz yapılmıştır. Dağıtım kurallarının etkilerinin detaylı analizi için üç farklı boyutta problem seti ile çalışılmıştır. Yazarlar tarafından sonuç olarak, atölye çizelgeleme esnekliği artarken atölye çizelgeleme performansının azaldığı gösterilmiştir.

### 3.2.4. Erken Geç (E/G) Teslim Ölçütlü Çalışmalar (Earliness Tardiness Delivery Time Criteria Studies)

Weng vd. [111], tam zamanında üretim ile ilişkili olarak, teslim tarihli ve iş yükü kontrolü tabanlı, iki yeni kural geliştirmişlerdir. Yazarlar bu iki kurala geri besleme mekanizmasını da ilave etmişlerdir. Amaç fonksiyonu olarak ağırlıklı E/G teslim performans ölçütünü ele almışlardır. Sundukları yöntemlerini esnek atölye ortamına uygulamış ve elde edilen sonuçlarla, kendi yöntemlerinin tam zamanında üretim yapan işletmelerin üretim planlama ve kontrol faaliyetleri için daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Gomes vd. [112], EATÇ problemi için tam sayılı lineer programlama modeli sunmuşlardır. Model, paralel özdeş makine gruplarını ve makine hazırlık zamanlarını ihmal edilebilir olarak kabul etmektedir. Amaç fonksiyonu olarak E/G teslim ele almışlardır. Model, gerçek yaşam problemlerinde çözülmüş ve gerçek yaşam problemlerinde bu model ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği gösterilmiştir.

EATÇ problemleri ek karmaşıklıklar getiren klasik ATÇ problemlerinin bir uzantısıdır. Wu ve Weng [113] esnek atölye ortamında E/G teslim tarihi amaçlı sezgisel algoritma sunmuşlardır. E/G Teslim amaçlı problem tam zamanında üretim felsefesi içerisinde ayrı bir öneme sahiptir. Yazarlar algoritmalarında yeni bir iş rota ve sıralaması sunmuşlardır. Yazarlar sundukları algoritmayı beş iş merkezi bulunan esnek atölye ortamında denemiş ve algoritmalarının mevcut olan diğer algoritmalar içinde iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

### 3.2.5. Teslim Tarihi Ölçütlü Çalışmalar (Due Date Criteria Studies)

Alvarez-Valdes vd. [114], bazı özel karakteristiklerle esnek üretim sistemine sahip bir cam fabrikasında

çizelgeleme sisteminin uygulamasına yönelik sezgisel bir yaklaşım sunmuşlardır. Sıcak sıvı camlar beklemeksizin bazı operasyonlara tabi tutulması gerekmektedir. Diğer yandan, kalifiye işçiler, el ile yapılan işleri bazı özel tezgâhlarda işlemektedir. Yazarların sunduğu algoritma, kısa süre içerisinde, belirli olmayan kısıtlamalar altında, teslim tarihi minimize amaçlı problemi çözüme amaçlıdır.

Jansen vd. [115], EATÇ probleminin çözümü için teslim tarihi amaçlı bir doğrusal yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşımları aynı zamanda  $m$  adet makine ve  $n$  adet işin sabit olduğu problemin öncelik versiyonu üzerinedir. Ayrıca EATÇ problemlerinin öncelikli versiyonu için bir doğrusal yaklaşım sunmuşlardır.

Tablo 3. Teslim zamanına dayalı performans ölçütlü çalışmalar (Performance Criteria Studies Based On Delivery Time)

Yazarlar	Algoritma	Amaç Fonksiyonu	Kıyaslama Problemleri	Yıl	Dergi
Türkyılmaz ve Bulkan [106]	Genetik Alg. + Değişken Komşuluk Arama	Toplam Gecikme	[4] [10] [108]	2015	Int. Journal of Production Research
Mousakhani [107]	Tamsayılı Prog. + Yerel Arama	Toplam Gecikme	Kendi Problem Setleri	2013	Int. Journal of Production Research
Zribi vd. [108]	Tabu Arama + Genetik Alg.	Toplam Gecikme	[4]	2006	Computational Eng. in Systems Applications
Jang vd. [109]	Genetik Alg.	Toplam Gecikme	[77]	2003	JSME Int. Journal Series
Zhang ve Wu [110]	Tavlama Benzetimi	Toplam Ağırlıklı Gecikme	Kendi Problem Setleri	2011	Computers & Operations Research
Tekbaş [111]	Tavlama Benzetimi	Toplam Ağırlıklı Gecikme	Kendi Problem Setleri Gerçek Yaşam Problemi	2011	Doktora Tezi
Kunadilok [112]	Tamsayılı Prog. Genetik Alg. Tabu Arama	Toplam Ağırlıklı Gecikme	Kendi Problem Setleri	2007	Doktora Tezi
Boran [113]	Dağıtım Kuralları	Toplam Ağırlıklı Gecikme		2000	Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi
Baykasoğlu ve Özbakır [114]	Dağıtım Kuralları	Ortalama Gecikme	Kendi Problem Setleri	2010	Int. J. Production Economics
Weng vd. [115]	Çok Temsilcili İş yükü Kontrol Alg.	Ağırlıklı E/G Teslim	Kendi Problem Setleri	2008	Int. Journal of Prod. Research
Gomes vd. [116]	Tamsayılı Lineer Prog. Modeli	E/G Teslim	Gerçek Yaşam Problemi	2005	Int. Journal of Prod. Research
Wu ve Weng [117]	Sezgisel Yöntem	E/G Teslim	Kendi Problem Setleri	2005	Transaction on Systems, Man, and Cybernetics
Alvarez-Valdes vd. [118]	Sezgisel Yöntem	Teslim Tarihi	Gerçek Yaşam Problemi	2005	European J. of Operational Research
Jansen vd. [119]	Doğrusal Yaklaşım	Teslim Tarihi		2005	Int. J. of Found of Comp.

Tablo 3.'te teslim zamanına dayalı performans ölçütlü çalışmalar başlığı altında incelenen çalışmalar toplu halde sunulmuştur. Tamamlanma zamanına dayalı performans ölçütlü çalışmaların büyük çoğunluğunu makespan amaç ölçütü oluştururken, teslim zamanına

dayalı performans ölçütlü çalışmalar da optimize edilmeye çalışılan amaçlar çeşitlilik göstermiştir.

Çizelgeleme problemlerinde performans ölçütü, çizelgeleme problemlerinin amacını ifade eder. Tek

amaçlı çizelgelemede, çizelgeleme performansı tek yönüyle ele alınır. Bir üretim sisteminde, sipariş çevrim hızının artırılması oldukça önemlidir. Sipariş çevrim hızının artması ile üretimin daha erken bitirilmesi, yeni siparişlerin üretime daha çabuk alınması mümkün olmaktadır. Aynı zamanda yarı mamul stoklarında da azalma sağlamaktadır. Üretim sistemlerindeki bu amaçlar çizelgelemede toplam tamamlanma zamanı ve makespan ölçütleri olarak ifade edilmektedir. Makespan, iş merkezinin ilgili işlere tahsis edilmesinden oluşan maliyetlerle ilişkilidir. En büyük akış süresi atölyede en fazla kalan işin süresi ile ilişkilidir. Ortalama tamamlanma ve ortalama akış sürelerini minimize etmek ile işlerin atölyede kalma süreleri en küçükleneceğinden erken bitirmenin üstünlük sağlayacağı durumlarda performans ölçütü olarak kullanılabilir. İşlerin gecikmesi ile de müşteri memnuniyetlerinde azalma ve işlerin kaybedilmesine sebep olabilmektedir. Tam zamanında

üretim yapılan bir sistemde işlerin gecikmesi, montajın gecikmesine dolayısı ile ekstra maliyetlere sebep olabilmektedir. Bu durumda çizelgeleme gecikme ölçütü olarak ifade edilmektedir. Stok ve makine kullanım maliyetine dayalı performans ölçütlerinin amacı; mamul ve yarı mamul stok seviyesini en alt düzeye indirmek ve makinelerin etkin kullanım oranını arttırmaktır. Şekil 1. toplam incelenen altmış yedi adet çalışma içerisinde amaç fonksiyonu bazında yapılan çalışmalar sayısını göstermektedir. Yazarlar çalışmalarında büyük oranda makespan amaç fonksiyonunu tercih etmişlerdir. Şekil 2. EATÇ problemleri üzerine incelenen çalışmaların yıllara göre dağılımını göstermektedir. Konu üzerine yapılmış çalışmalar burada incelenenlerle sınırlı olmamakla beraber araştırmacıların son yıllarda EATÇ problemlerine olan ilgisinin arttığı gözlenmiştir.



Şekil 1. Çalışmaların amaç fonksiyonu bazında dağılımı (Distribution of the objective function in the studies)



Şekil 2. İncelenen çalışmaların yıllara göre dağılımı (Distribution of the publishing year of the reviewed studies)

Tablo 4.'de incelenen çalışmaların amaç fonksiyonu bazında yayımlandığı dergiler görülmektedir. Sadece bir çalışmanın yer aldığı dergiler Tablo 4.'ün diğer dergiler satırında toplu halde verilmiştir. Araştırmacılar tek amaçlı EATÇ problemleri ile ilgili çalışmalarında

International Journal of Production Research dergisini tercih etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar özellikle yüksek lisans ve doktora çalışmalarında tez konusu olarak EATÇ problemlerini tercih ettikleri gözlenmiştir.

Tablo 4. Dergilerde yayınlanan çalışma sayısı (The number of studies published in journals)

Dergi İsmi	Makespan Ölç. Çal.	Akış Zamanı Ölç. Diğer Çal.	Toplam Gecikme Ölç. Çal.	Toplam Ağırlıklı Gecikme Ölç. Çal.	Ortalama Gecikme Ölç. Çal.	Erken Geç (E/G) Teslim Ölç. Çal.	Teslim Tarihini Ölç. Çal.	Toplam
Int. Journal of Production Research	8		2			2		12
Yüksek Lisans / Doktora Tezi	8	3		3				14
Int. Journal Advanced Manufacturing Technology	6							6
Computers & Operations Research	2			1				3
European J. of Operational Research	3						1	4
Konferans yayınları	2		1					3
Applied Mathematical Modelling	2							2
Knowledge-Based Systems	2							2
Expert System with Applications	3							3
Transaction on Systems, Man, and Cybernetics	1					1		2
Diğer Dergiler	13		1		1		1	16

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Literatüre bakıldığında çizelgeleme alanında EATÇ problemlerine göre ATÇ problemlerinde daha çok çalışıldığı görülmektedir. EATÇ Problemlerinde işlerin uygun makineye atanmasının sağlanmasının yanı sıra en iyi iş sırasının belirlenmesi gerektiğinden konu üzerinde yapılan araştırmalar sınırlı kalmıştır. EATÇ problemini ilk olarak Bruker ve Schlie [116] çalışmışlardır[83]. EATÇ Problemleri son zamanlarda araştırmacıların ilgisini çekmeye başlamıştır. Bu çalışmada tek amaçlı EATÇ problemleri üzerine literatürde yapılmış çalışmalar ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

Çizelgeleme problemlerinin en iyi çözümü, dal-sınır, dinamik programlama veya tam sayılı programlama gibi yöntemler ile bulunabilir. Ancak bu yöntemler güçlü bir bilgisayara ve çok fazla hesaplama zamanına ihtiyaç duymaktadır ve büyük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılmaları uygun olmamaktadır. Son yıllarda yeni meta sezgisel teknikler geliştirilmiştir [117]. Araştırmacıların özellikle EATÇ orta ve büyük boyutlu problemlerinin çözümünde meta sezgisel yöntemleri tercih ettikleri gözlenmiştir. İncelenen çalışmalarda en çok kullanılan meta sezgisel yöntemin GA olduğu görülmüştür. Toplamda GA'nın kullanıldığı yirmi beş çalışmanın on yedi tanesinde sadece GA kullanılırken beş tanesinde diğer meta sezgisel yöntem ile üç tanesinde ise YA algoritması ile melezlenerek kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu tür problemlerin çözümü için en çok kullanılan yöntemler sıralamasında TA, TB ve KKA yöntemlerinin en çok tercih edilen yöntemler olduğu belirlenmiştir. Melez kullanılan yöntemlerde yazarların çözüm yöntemlerine melezlemek için en çok YA ve DKA algoritmalarını tercih ettikleri görülmüştür. Ayrıca çalışma sonunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

İncelenen altmış yedi çalışma içerisinde, elli tanesi makespan ve üç tanesi akış zamanlı olmak üzere toplam elli üç çalışma tamamlanma zamanına dayalı performans ölçütlü çalışmalardır. Geriye kalan çalışmalardan, dört tanesi toplam gecikme, iki tanesi toplam ağırlıklı gecikme, bir tanesi ortalama gecikme, üç tanesi E/G teslim ve iki tanesi teslim tarihli olmak üzere on dört tanesi de teslim zamanına dayalı performans ölçütlü çalışmalardır. Araştırmacıların problem çözümünde makespan amaç ölçütünü en çok tercih ettiği görülmüştür.

Atölye ortamında hiçbir belirsizlik durumunun olmaması statik, belirsizlik durumunun olması ise dinamik model olarak tanımlanır. Statik modeller gerçekçi olmayan kısıtlar içerdiğinden pratiğe geçirilmesi, gerçek hayatta uygulanması zordur. Çok sayıda ürün ve sürece sahip gerçek üretim sistemleri dinamik yapıdadır. İncelenen araştırmalar içerisinde elli üç tanesi statik durumlar on dört tanesi dinamik durumlar olarak ele alınmıştır. Literatürde diğer çizelgeleme problemlerinde olduğu gibi EATÇ problemlerinde de araştırmacılar statik durumları göz önünde bulundurarak çalışmışlardır. Ancak gerçek yaşam uygulamalarına en yakın olma özelliğiyle EATÇ problemlerinin dinamik durumları için çalışılması gerekmektedir.

İncelenen çalışmalar içerisinde elli sekiz tanesi literatürde yer alan problem setleriyle çözülmüş, sadece dokuz çalışmada bir işletmenin çizelgeleme problemi ele alınarak gerçek yaşam problemlerine uygulanmıştır. Gerçek yaşam problemlerinin çözümü son yıllarda gerçekleştirilmekle beraber bunların altı tanesi yüksek lisans ve doktora tezi olarak çalışılmıştır. Literatürde araştırmacılar genelde on adet problem seti içeren Brandimarte (BRdata) [4], yüz yirmi sekiz adet problem



seti içeren Hurink vd. (HUdata) [10] ve on sekiz adet problem seti içeren Dazere Peres ve Paulli (DPdata) [9] problemlerini kullandıkları gözlenmiştir. Ayrıca çok amaçlı EATÇ problemlerinin çözümünde en çok kullanılan Kacem vd. [16,17] tarafından sunulan beş adet problem setinin de bazı araştırmacılar tarafından tek amaçlı problemlerin çözümünde kullanıldığı gözlenmiştir.

Detaylı yapılan literatür taramasında EATÇ problemlerinin çözümü için hiyerarşik veya bütünleşik yaklaşımlardan hangisinin daha etkin sonuçlar verdiği üzerine çeşitli görüşler bulunmaktadır. Dazere-Peres ve Paulli [9], Mastrolilli ve Gambardella [11] ve Zribi vd. [108] çalışmalarında, bütünleşik çözüm yaklaşımının daha iyi sonuçlar verdiğini belirtirken, Fattahi vd. [62], Pezzella vd. [3] hiyerarşik çözüm yaklaşımının daha iyi sonuçlar verdiğini söylemişlerdir. İki çözüm yaklaşımından hangisinin daha iyi sonuçlar verdiği üzerine çalışmalar yapılabilir. Ayrıca bütünleşik ve hiyerarşik çözüm yaklaşımlarının hangi performans ölçütü üzerinde daha iyi sonuçlar verdiği üzerine çalışmalarda yapılabilir.

#### KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] T. Eren ve E. Güner, "A literature survey for multicriteria scheduling problems on single and parallel machines" *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, cilt 17, no. 4, pp. 37-69, 2002.
- [2] H. Liu, A. Abraham ve Z. Wang, "A multi-swarm approach to multi-objective flexible Job-shop scheduling problems", *Fundamental Informatics*, cilt 95, pp. 465-489, 2009.
- [3] F. Pezzella, G. Morganti ve G. Ciaschetti, "A genetic algorithm for the flexible job-shop scheduling problem", *Computers & Operations Research*, cilt 35, pp. 3202-3212, 2008.
- [4] P. Brandimarte, "Routing and scheduling in a flexible job-shop by tabu search", *Annals of Operations Research*, cilt 41, pp. 157-183, 1993.
- [5] J. Paulli, "A hierarchical approach for the FMS scheduling problem" *European Journal of Operational Research*, cilt 86, no. 1, pp. 32-42, 1995.
- [6] J. Barnes ve J. Chambers, "flexible job shop scheduling by tabu search", *Graduate Program In Operations Research And Industrial Engineering, University of Texas, ORP96-09, Austin, 1996.*
- [7] M. Saidi-Mehrabad ve P. Fattahi, "Flexible job shop scheduling with tabu search algorithms," *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, cilt 32, pp. 563-570, 2007.
- [8] R. Vaessens, E. Aarts ve J. Lenstra, "Job shop scheduling by local search" *Inform Journal on Computing*, cilt 8, no. 3, pp. 302-317, 1996.
- [9] S. Dazere-Peres ve J. Paulli, "An integrated approach for modeling and solving the general multiprocessor job-shop scheduling problem using tabu search", *Annals of Operation Research*, cilt 70, no. 3, pp. 281-306, 1997.
- [10] E. Hurink, B. Jurisch ve M. Thole, "Tabu search for the job shop scheduling problem with multi-purpose machine", *Operations Research Spectrum*, cilt 15, pp. 205-215, 1994.
- [11] M. Mastrolilli ve L. Gambardella, "Effective neighborhood functions for the flexible job shop problem", *Journal of Scheduling*, cilt 3, pp. 3-20, 2000.
- [12] H. Chen, J. Ihlow ve C. Lehmann, "A genetic algorithm for flexible Job-shop scheduling", *IEEE International Conference On Robotics And Automation*, pp. 1120-1125, 1999.
- [13] H. Jia, A. Nee, J. Fuh ve Y. Zhang, "A modified genetic algorithm for distributed scheduling problems", *International Journal of Intelligent Manufacturing*, cilt 14, pp. 351-362, 2003.
- [14] N. Ho ve J. Tay, "GENACE: an efficient cultural algorithm for solving the Flexible Job-Shop Problem", *Congress On Evolutionary Computation CEC2004*, pp. 1759-1766, June 2004.
- [15] I. Kacem, S. Hammadi ve P. Borne, "Approach by localization and multiobjective evolutionary optimization for flexible job-shop scheduling problems", *Systems, Man, and Cybernetics-Part c: Applications and Reviews*, cilt 32, no. 1, pp. 1-13, 2002.
- [16] S. Kaya ve N. Fırlalı, "Multi objective flexible job shop scheduling problems", *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, cilt 31, no. 4, pp. 605-623, 2013.
- [17] N. Kundakçı, "Üretim Sistemlerinde Dinamik İş Çizelgeleme Problemlerinin Sezgisel Yöntemlerle Çözülmesi", *Ph.D. Thesis, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli, 2013.*
- [18] M. Gonzalez, C. Vela ve R. Varela, "Scatter search with path relinking for the flexible job shop scheduling problem", *European Journal of Operational Research*, cilt 245, pp. 35-45, 2015.
- [19] K. Gao, P. Suganthan, T. Chua, C. Chong, T. Cai ve Q. Pan, "A two-stage artificial bee colony algorithm scheduling flexible job-shop

- scheduling problem with new job insertion”, Expert Systems with Applications, cilt 42, pp. 7652-7663, 2015.
- [20] K. Gao, P. Suganthan, Q. Pan ve M. Taşgetiren, “An effective discrete harmony search algorithm for flexible job shop scheduling problem with fuzzy processing time”, International Journal of Production, cilt 53, no. 19, pp. 5896-5911, 2015.
- [21] A. Dosdoğru, M. Göçken ve F. Geyik, “Integration of genetic algorithm and Monte Carlo to analyze the effect of routing flexibility”, International Journal Advanced Manufacturing Technology, cilt 81, pp. 1379-1389, 2015.
- [22] E. Sirkeci, “Esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için çözüm yaklaşımları: Savunma sanayinde bir uygulama”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [23] M. Direkli, “A heuristic approach on flexible job-shop scheduling problem with maintenance activities by considering weight of the jobs”, Master Thesis, University Of Gaziantep, Graduate School Of Natural & Applied Sciences, 2015.
- [24] M. Tayebi Araghi, F. Jolai ve M. Rabiee, “Incorporating learning effect and deterioration for solving a SDST flexible job-shop scheduling problem with a hybrid meta-heuristic approach”, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, cilt 27, no. 8, pp. 733-746, 2014.
- [25] Y. Demir ve S. İşleyen, “An effective genetic algorithm for flexible job-shop scheduling with overlapping in operations”, International Journal of Production Research, cilt 52, no. 13, pp. 3905-3921, 2014.
- [26] D. Lei ve X. Guo, “Variable neighbourhood search for dual-resource constrained flexible job shop scheduling”, International Journal of Production Research, cilt 52, no. 9, pp. 2519-2529, 2014.
- [27] D. Lei, “Co-evolutionary genetic algorithm for fuzzy flexible job shop scheduling”, Applied Soft Computing, cilt 12, no. 8, pp. 2237-2245, 2012.
- [28] O. Gholami ve Y. Sotskov, “A fast heuristic algorithm for solving parallel-machine job-shop scheduling problems”, International Journal Advanced Manufacturing Technology, cilt 70, pp. 531-546, 2014.
- [29] M. Ziaee, “A heuristic algorithm for solving flexible job shop scheduling problem”, International Journal Advanced Manufacturing Technology, cilt 71, pp. 519-528, 2014.
- [30] A. Thammano ve A. Phu-ang, “A Hybrid Artificial Bee Colony Algorithm with Local Search for Flexible Job-Shop Scheduling Problem”, Procedia Computer Science, cilt 20, pp. 96-101, 2013.
- [31] Y. Yuan, H. Xu ve J. Yang, “A hybrid harmony search algorithm for the flexible job shop scheduling problem”, Applied Soft Computing, cilt 13, pp. 3259-3272, 2013.
- [32] Y. Wang, H. Yin ve K. Qin, “A novel genetic algorithm for flexible job shop scheduling problems with machine disruptions”, International Journal Advanced Manufacturing Technology, cilt 68, pp. 1317-1326, 2013.
- [33] Y. Yuan ve H. Xu, “An integrated search heuristic for large-scale flexible job shop scheduling problems”, Computers & Operations Research, cilt 40, pp. 864-877, 2013.
- [34] Y. Demir ve S. İşleyen, “Evaluation of mathematical models for flexible job-shop scheduling problems”, Applied Mathematical Modelling, cilt 37, pp. 977-988, 2013.
- [35] B. Meto, “Esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için bir hibrid genetik algoritma yaklaşımı”, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [36] L. Wang, S. Wang, Y. Xu, G. Zhou ve M. Liu, “A bi-population based estimation of distribution algorithm for the flexible job-shop scheduling problem”, Computers & Industrial Engineering, cilt 62, pp. 917-926, 2012.
- [37] H. Karimi, S. Rahmati ve M. Zandieh, “An efficient knowledge-based algorithm for the flexible job shop scheduling problem”, Knowledge-Based Systems, cilt 36, pp. 236-244, 2012.
- [38] V. Roshanaei, “Mathematical modelling and optimization of flexible job shops scheduling problem, degree of master of science”, University of Windsor, Industrial Manufacturing Systems Engineering, 2012.
- [39] B. Ak, “Seçilmiş bir endüstriyel tesiste üretim çizelgeleme problemi ve genetik algoritma yöntemi ile optimizasyon”, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [40] Y. Demir, “Esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri için kafiye aktarımı stratejisi: otomotiv sektöründe bir uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.

- [41] G. Zhang, L. Gao ve Y. Shi, "An effective genetic algorithm for the flexible job-shop scheduling problem", *Expert Systems with Applications*, cilt 38, pp. 3563-3573, 2011.
- [42] L. Xing, Y. Chen ve K. Yang, "Multi-population interactive coevolutionary algorithm for flexible job shop scheduling problems", *Computational Optimization and Applications*, cilt 48, pp. 139-155, 2011.
- [43] C. Gutierrez ve I. Garcia-Magarino, "Modular design of a hybrid genetic algorithm for a flexible job-shop scheduling problem", *Knowledge-Based Systems*, cilt 24, pp. 102-112, 2011.
- [44] E. Özdöl, "A genetic algorithm for a flexible job shop scheduling problem with sequence dependent setup times", *Master Thesis, Dokuz Eylül University, Graduate School Of Natural And Applied Sciences*, 2011.
- [45] M. Amiri, M. Zandieh, M. Yazdani ve A. Bagheri, "A variable neighbourhood search algorithm for the flexible job-shop scheduling problem", *International Journal of Production Research*, cilt 48, pp. 5671-5689, 2010.
- [46] L. De Giovanni ve F. Pezzella, "an improved genetic algorithm for the distributed and flexible job-shop scheduling problem", *European Journal of Operational Research*, cilt 20, pp. 395-408, 2010.
- [47] A. Bagheri, M. Zandieh, I. Mahdavi ve M. Yazdani, "An artificial immune algorithm for the flexible job-shop scheduling problem", *Future Generation Computer Systems*, cilt 26, pp. 533-541, 2010.
- [48] A. Aladağ, "Tekrar işlemeli esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için yapay bağışıklık sistemi ile bir çözüm yaklaşımı", *Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2010.
- [49] C. Özgüven, L. Özbakır ve L. Yavuz, "Mathematical models for job-shop scheduling problems with routing and process plan flexibility", *Applied Mathematical Modelling*, cilt 34, pp. 1539-1548, 2010.
- [50] F. Defersha ve M. Chen, "A parallel genetic algorithm for a flexible job-shop scheduling problem with sequence dependent setups", *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, cilt 49, pp. 263-279, 2010.
- [51] D. Lei, "A genetic algorithm for flexible job shop scheduling with fuzzy processing time", *International Journal of Production Research*, cilt 48, pp. 2995-3010, 2010.
- [52] S. Fahmy, S. Balakrishnan ve T. ElMekkawy, "A generic deadlock-free reactive scheduling approach", *International Journal of Production Research*, cilt 47, pp. 5657-5676, 2009.
- [53] B. Girish ve N. Jawahar, "Scheduling job shop associated with multiple routings with genetic and ant colony heuristics", *International Journal of Production Research*, cilt 47, pp. 3891-3917, 2009.
- [54] M. Yazdani, M. Gholami, M. Zandieh ve M. Mousakhani, "A simulated annealing algorithm for flexible job-shop scheduling problem", *Journal of Applied Sciences*, cilt 9, pp. 662-670, 2009.
- [55] M. Yazdani, M. Amiri ve M. Zandieh, "Flexible job-shop scheduling with parallel variable neighborhood search algorithm", *Expert Systems with Applications*, cilt 37, pp. 678-687, 2010.
- [56] L. Xing, Y. Chen ve K. Yang, "Double layer ACO algorithm for the multi-objective FJSSP", *New Generation Computing*, cilt 26, pp. 313-327, 2008.
- [57] J. Chen, K. Chen, C. Wu ve W. Chen, "A study of the flexible job shop scheduling problem with parallel machines and reentrant process", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, cilt 39, pp. 344-354, 2008.
- [58] D. Lei ve X. Guo, "Solving fuzzy flexible job shop scheduling problems using genetic algorithm", *Seventh International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, pp. 1014-1019, 12-15 July 2008.
- [59] N. Zribi, I. Kacem, A. El Kamel ve P. Borne, "Assignment and scheduling in flexible job-shops by hierarchical optimization", *Systems, Man, And Cybernetics-Part C: Applications And Reviews*, cilt 37, pp. 652-662, 2007.
- [60] P. Fattahi, M. Mehrabad ve F. Jolai, "Mathematical modeling and heuristic approaches to flexible job shop scheduling problems", *Journal of Intelligent Manufacturing*, cilt 18, pp. 331-342, 2007.
- [61] N. Ho, J. Tay ve E. Lai, "An effective architecture for learning and evolving flexible job-shop schedules", *European Journal of Operational Research*, cilt 179, pp. 316-333, 2007.
- [62] N. Liouane, I. Saad, S. Hammadi ve P. Borne, "Ant systems & local search optimization for flexible job shop scheduling production", *int. journal of computers, Communications & Control*, cilt 2, no. 2, pp. 174-184, 2007.
- [63] N. Zribi, I. Kacem, A. El Kamel ve P. Borne, "Optimization by phases for the flexible job shop

- scheduling problem”, In The fifth Asian control conference, cilt 3, pp. 1889-1895, 2004.
- [64] A. Baykasoğlu, “Linguistic-based meta-heuristic optimization model for flexible job shop scheduling”, International Journal of Production Research, cilt 40, pp. 4523-4543, 2002.
- [65] J. Gao, L. Sun ve M. Gen, “A hybrid genetic and variable neighborhood descent algorithm for flexible job shop scheduling problems”, Computers & Operations Research, cilt 35, pp. 2892-2907, 2008.
- [66] A. Hmida, M. Haouari, M. Huguet ve P. Lopez, “Discrepancy search for the flexible job shop scheduling problem”, Computers & Operations Research, cilt 37, pp. 2192-2201, 2010.
- [67] M. Gonzalez, C. Vela ve R. Varela, “An efficient memetic algorithm for the flexible job shop with setup times”, ICAPS, pp. 91-99, 2013.
- [68] W. Bozejko, M. Uchroński ve M. Wodecki, “Parallel hybrid meta heuristics for the flexible job shop problem”, Computers & Industrial Engineering, cilt 59, no. 2, pp. 323-333, 2010.
- [69] T. Chiang ve H. Lin, “A simple and effective evolutionary algorithm for multi-objective flexible job shop scheduling”, International Journal of Production Economics, cilt 141, no. 1, pp. 87-98, 2013.
- [70] S. Wang, L. Wang, Y. Xu ve M. Liu, “An effective estimation of distribution algorithm for the flexible job shop scheduling problem with fuzzy processing time”, International Journal of Production Research, cilt 51, no. 12, pp. 3778-3793, 2013.
- [71] L. Wang, G. Zhou, Y. Xu ve M. Liu, “A hybrid artificial bee colony algorithm for the fuzzy flexible job shop scheduling problem”, International Journal of Production Research, cilt 51, no. 12, pp. 3593-3608, 2013.
- [72] W. Xia ve Z. Wu, “An effective hybrid optimization approach for multi-objective flexible job-shop scheduling problems”, Computers & Industrial Engineering, cilt 48, pp. 409-425, 2005.
- [73] F. Fattahi, F. Jolai ve J. Arkat, “Flexible job shop scheduling with overlapping in operations”, Applied Mathematical Modeling, cilt 33, pp. 3076-3087, 2009.
- [74] H. Farughi, B. Yegane, H. Soltanpanah, F. Zaheri ve F. Naseri, “Considering the flexibility and overlapping in operation in job shop scheduling based on meta-heuristic algorithms” Australian Journal of Basic and Applied Sciences, cilt 5, no. 11, pp. 526-533, 2011.
- [75] S. Lawrence, “Supplement to resource constrained project scheduling: an experimental investigation of heuristic scheduling techniques”, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, 1984.
- [76] J. Muth ve G. Thompson, “Industrial scheduling”, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1963.
- [77] O. Gholami ve Y. Sotskov, “Solving parallel machines jobshop scheduling problems by adaptive algorithm”, International Journal of Production Research, cilt 52, no. 13, pp. 3888-3904, 2014.
- [78] J. Li, Q. Pan, P. Suganthan ve T. Chua, “A hybrid tabu search algorithm with an efficient neighborhood structure for the flexible job shop scheduling problem”, Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology, cilt 52, pp. 683-697, 2011.
- [79] L. Wang, G. Zhou, Y. Xu ve M. Liu, “An enhanced pareto-based artificial bee colony algorithm for the multi-objective flexible job-shop scheduling”, International Journal Advanced Manufacturing Technology, cilt 60, pp. 1111-1123, 2012.
- [80] N. Najid, S. Dauzere-Peres ve A. Zaidat, “A modified simulated annealing method for flexible job shop scheduling problem”, International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, cilt 5, no. 6, pp. 89-94, 2002.
- [81] K. Gao, P. Suganthan ve T. Chua, “Pareto-based discrete harmony search algorithm for flexible job shop scheduling”, 12th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, pp. 953-956, 2012.
- [82] S. Habib, A. Rahmati ve M. Zandieh, “A new biogeography-based optimization (BBO) algorithm for the flexible job shop scheduling problem”, Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology, cilt 58, pp. 1115-1129, 2012.
- [83] R. Abumaizar ve J. Svestka, “Rescheduling job shops under random disruptions”, International Journal Production Research, cilt 35, no. 7, pp. 2065-2082, 1997.
- [84] J. Tang, G. Zhang, B. Lin ve B. Zhang, “A hybrid algorithm for flexible job-shop scheduling problem”, Procedia Engineering, cilt 15, pp. 3678-3683, 2011.
- [85] A. Nasr ve T. ElMekkawy, “An efficient hybridized genetic algorithm architecture for the flexible job shop scheduling problem” Flexible Services & Manufacturing Journal, cilt 23, no. 1, pp. 64-85, 2011.

- [86] G. Zhang, L. Gao, X. Li ve P. Li, "Variable neighborhood genetic algorithm for the flexible job shop scheduling problems", Intelligent Robotics and Applications, First International Conference, ICIRA 2008, pp. 503-512, 1 October 2008.
- [87] H. Zhang ve M. Gen, "Multistage-based genetic algorithm for flexible job-shop scheduling problem", International Journal of Complexity, cilt 11, pp. 223-232, 2005.
- [88] F. Chan, S. Chung ve P. Chan, "An adaptive genetic algorithm with dominated genes for distributed scheduling problems", Expert Systems with Applications, cilt 29, pp. 364-371, 2005.
- [89] F. Chan, S. Chung, L. Chan, G. Finke ve M. Tiwari, "Solving distributed FMS scheduling problems subject to maintenance: Genetic algorithms approach", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, cilt 22, pp. 493-504, 2006.
- [90] F. Chan, S. Chung ve P. Chan, "Application of genetic algorithms with dominated genes in a distributed scheduling problem in flexible manufacturing", Int. Journal of Production Research, cilt 44, pp. 523-543, 2006.
- [91] Z. Ong, J. Tay ve C. Kwah, "Applying the clonal selection principle to find flexible job-shop schedules", Lecture Notes in Computer Science, cilt 3627, pp. 442-455, 2005.
- [92] S. Fahmy, T. ElMekkawy ve S. Balakrishnan, "Job shop deadlock-free scheduling using mixed integer programming and rank matrices", International Systems, Man, and Cybernetics, cilt 47, pp. 2776-2781, 2007.
- [93] V. Subramaniam ve A. Raheja, "maOR: a heuristic-based reactive repair mechanism for job shop schedules", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, cilt 22, pp. 669-680, 2003.
- [94] R. Sarker, H. Abbas ve C. Newton, "Solving multi-objective optimization problems using evolutionary algorithm", Proceedings of International CIMCA Conference, 9-11 July 2001.
- [95] B. Jurisch, "Scheduling jobs in shops with multi-purpose machines", Ph.D. Thesis, Universität Osnabrück, Fachbereich Mathematik/Informatik, 1992.
- [96] A. Dosdoğru, "Dynamic flexible job shop scheduling with simulation optimization by Using genetic algorithm", Master Thesis, University Of Gaziantep, Graduate School Of Natural & Applied Sciences, 2012.
- [97] B. Süer, "Order-driven flexibility management in make-to-order companies with flexible shops", Master Thesis, Middle East Technical University, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, 2009.
- [98] E. Büyükköprü, "Flexible job shop scheduling via simulation under sequence dependent setup times", Master Thesis, Dokuz Eylül University, Graduate School Of Natural And Applied Sciences, 2005.
- [99] K. Shanker ve Y. Tzen, "A loading and dispatching problem in a random flexible manufacturing system", International Journal of Production Research, cilt 23, no. 3, pp. 579-595, 1985.
- [100] M. Goswami, M. Tiwari ve S. Mukhopadhyay, "An integrated approach to solve tool-part grouping, job allocation and scheduling problems in a flexible manufacturing system", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, cilt 35, no. 11, pp. 1145-1155, 2008.
- [101] M. Montazeri ve L. Van Wassenhove, "Analysis of scheduling rules for an FMS", International Journal of Production Research, cilt 28, no. 4, pp. 785-802, 1990.
- [102] A. Türkyılmaz ve S. Bulkan, "A hybrid algorithm for total tardiness minimisation in flexible job shop: genetic algorithm with parallel VNS execution", International Journal of Production Research, cilt 53, no. 6, pp. 1832-1848, 2015.
- [103] M. Mousakhani, "Sequence-dependent setup time flexible job shop scheduling problem to minimise total tardiness", International Journal of Production Research, cilt 51, no. 12, pp. 3476-3487, 2013.
- [104] N. Zribi, A. El Kamel ve P. Borne, "Total tardiness in a flexible job-shop", IMACS Multiconference on Computational Engineering in Systems Applications (CESA), pp. 1543-1549, 4-6 October 2006.
- [105] Y. Jang, K. Kim, S. Jang ve J. Park, "Flexible job shop scheduling with multi-level job structures", JSME International Journal Series, Special Issue on Advanced Production Scheduling, cilt 46, pp. 33-38, 2003.
- [106] R. Zhang ve C. Wu, "A Simulated annealing algorithm based on block properties for the job shop scheduling problem with total weighted tardiness objective", Computers & Operations Research, cilt 38, pp. 854-867, 2011.

- [107] H. Tekbaş, “Esnek Sipariş Tipi Üretim Sistemlerinde Müşteri Siparişlerinin Çizelgenmesi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- [108] J. Kunadilok, “Heuristics For Scheduling Reentrant Flexible Job Shops With Sequence-Dependent Setup Times and Limited Buffer Capacities”, Ph.D. Thesis, Clemson University, A Dissertation Presented to the Graduate School of Clemson University, USA, 2007.
- [109] M. Boran, “Heuristic operations scheduling in a flexible job shop environment using priority dispatching rules”, Ph.D. Thesis, Dokuz Eylül University, Graduate School Of Natural And Applied Sciences, 2000.
- [110] A. Baykasoglu ve L. Özbakır, “Analyzing the effect of dispatching rules on the scheduling performance through grammar based flexible scheduling system”, *Int. Journal Production Economics*, cilt 124, pp. 369-381, 2010.
- [111] M. Weng, Z. Wu, G. Qi ve L. Zheng, “Multi-agent-based workload control for make-to order manufacturing”, *International Journal of Production Research*, cilt 46, pp. 2197-2213, 2008.
- [112] M. Gomes, A. Barbosa-Povoa ve A. Novais, “Optimal scheduling for flexible job shop operation”, *International Journal of Production Research*, cilt 43, pp. 2323-2353, 2005.
- [113] Z. Wu ve M. Weng, “Multiagent scheduling method with earliness and tardiness objectives in flexible job shops”, *Transactions On Systems, Man, And Cybernetics-Part B: Cybernetics*, cilt 35, no. 2, pp. 293-301, 2005.
- [114] R. Alvarez-Valdes, A. Fuertes, J. Tamarit, G. Gimenez ve R. Ramos, “A heuristic to schedule flexible job-shop in a glass factory”, *European Journal of Operational Research*, cilt 165, pp. 525-534, 2005.
- [115] K. Jansen, M. Mastrolilli ve R. Solis-oba, “Approximation algorithms for flexible job shop problems”, *International Journal of Foundations of Computer Science*, cilt 16, pp. 361-379, 2005.
- [116] P. Bruker ve R. Schlie, “Job-shop scheduling with multi-purpose machines”, *Computing*, cilt 45, no. 4, pp. 369-375, 1990.
- [117] T. Eren ve E. Güner, “Çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemleri için bir literatür taraması”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 10, no. 1, pp. 19-30, 2004.
- [118] I. Kacem, S. Hammadi ve P. Borne, “Pareto-optimality approach for flexible job-shop scheduling problems: hybridization of evolutionary algorithms and fuzzy logic”, *Mathematics and Computers in Simulation*, cilt 60, pp. 245-276, 2002.
- [119] I. Kacem, S. Hammadi ve P. Borne, “Approach by localization and genetic manipulation algorithm for flexible job-shop scheduling problem”, *Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 2599-2604, 7-10 October 2001.
- [120] W. Bozejko, M. Uchroński ve M. Wodecki, “The new golf neighborhood for the flexible job shop problem”, *Procedia Computing*, cilt 1, pp. 289-296, 2010.
- [121] L. Xing, Y. Chen, P. Wang, Q. Zhao ve J. Xiong, “A knowledge-based ant colony optimization for flexible job shop scheduling problems”, *Applied Soft Computing*, cilt 10, pp. 888-896, 2010.