



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



**BULANIK ÖĞRENME ETKİLİ AKIŞ TİPİ  
ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN  
PARALEL KANGURU ALGORİTMASI İLE  
ÇÖZÜMÜ**

**Ahmet Sezer KÜPELİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ekim-2017**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet Sezer Küpeli tarafından hazırlanan ‘‘Bulanık  ğrenme Etkili Akış Tipi  zelgeleme Problemlerinin Paralel Kanguru Algoritması İle  z m ’’ adlı tez çalışması 23/10/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliğı / ~~oy  okluğı~~ ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri  yeleri

#### Başkan

Prof. Dr. Mehmet AKTAN

#### Danışman

Prof. Dr. Orhan ENGİN

####  ye

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin BAYSAL

### İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ  
FBE Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

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

## DECLARATION PAGE

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

*Sezi*  
Ahmet Sezer KÜPELİ

Tarih: 23.10.2017

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### BULANIK ÖĞRENME ETKİLİ AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN PARALEL KANGURU ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ

Ahmet Sezer KÜPELİ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Orhan ENGİN

2017, 40 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Orhan ENGİN

Prof. Dr. Mehmet AKTAN

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin BAYSAL

Öğrenme etkili çizelgeleme problemlerinin çözümlerinin daha gerçekçi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bu çalışmada, insan faktöründen kaynaklanan öğrenme etkisini göz önüne alan akış tipi çizelgeleme problemleri ele alınmıştır. Belirsiz işlem sürelerine çizelgeleme problemlerinde sıklıkla karşılaşılır. Bu nedenle işlem süreleri bulanıklaştırılmıştır. Bulanık mantık, literatürde bu problemlerin çözümü için sıkça kullanılan bir yöntemdir. Paralel Kanguru Algoritması çözüm metodu olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, literatürde yer alan kıyaslama problemleri, Bulanık Öğrenme Etkili Paralel Kanguru Algoritması ile çözümlenmiş, elde edilen sonuçlar literatürle kıyaslanmış, sonuçların başarılı olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Akış tipi çizelgeleme, Bulanık işlem süreleri, Öğrenme etkisi, Paralel Kanguru Algoritması.

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**USING PARALLEL KANGAROO ALGORITHM TO SOLVE FLOW SHOP  
SCHEDULING PROBLEMS WITH FUZZY LEARNING EFFECT**

**Ahmet Sezer KÜPELİ**

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

**Advisor: Prof. Dr. Orhan ENGİN**

**2017, 40 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. Orhan ENGİN**

**Prof. Dr. Mehmet AKTAN**

**Asst. Prof. Dr. Mehmet Emin BAYSAL**

It is known that the solutions of scheduling problems with learning effects can give more realistic results. This paper deals with flow shop scheduling problem considering learning effects due to the human factor. Uncertain processing time is frequently encountered in scheduling problems. Therefore the processing times are fuzzyed. Fuzzy logic is a common method to handle this problem in the literature. Parallel Kangaroo Algorithm is used as a solution algorithm. Solutions which are reached by Parallel Kangaroo Algorithm with Fuzzy Learning Effect are compared with benchmark problems in literature and results showed that it is successful.

**Keywords:** Flow shop scheduling, Fuzzy processing times, Learning effects, Parallel Kangaroo Algorithm.

## ÖNSÖZ

Çizelgeleme, imalat çevresindeki belirsizlikler nedeniyle gerçeğe yakın sonuçların alınması zor olan problemlerdir. Bu sıkıntıları aşmak için geliştirilen yöntemleri kullanarak gerçeğe yakın sonuçlar almak mümkün olabilmektedir.

Bu araştırma insan faktörü, değişkenlik gösteren işlem süreleri gibi farklı parametrelerin de değerlendirilmesi ile gerçeğe yakın sonuçlar bulmak amacı ile hazırlanmıştır.

Üniversite hayatımda yaptığım diğer çalışmalar ve bu çalışma da dahil olmak üzere beni destekleyen, yardımcı olan değerli hocam Prof. Dr. Orhan ENGİN'e, tez çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Batuhan Eren Engin hocama ve her konuda destekçim olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet Sezer KÜPELİ  
KONYA-2017

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>2</b>
2.1. Bulanık Çizelgeleme .....	2
2.2. Bulanık Öğrenme Etkisi.....	14
2.3. Paralel Kanguru Algoritması .....	19
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>22</b>
3.1. Materyal .....	22
3.1.1. Bulanık Öğrenme Etkili Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri .....	22
3.2. Yöntem.....	23
3.2.1. Paralel Kanguru Algoritması .....	23
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA</b> .....	<b>26</b>
4.1. Hesaplama Ortamı .....	26
4.2. Bulgular .....	26
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>35</b>
5.1. Sonuçlar .....	35
5.2. Öneriler .....	35
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>36</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>40</b>

## 1. GİRİŞ

İmalat ortamında verimlilik, işletmeler için çok önemli ve hayatta kalmaları için bir gereklilik haline gelmiştir. Verimlilik, rekabette ciddi avantaj sağlamaktadır. Günümüzdeki rekabet koşulları göz önüne alındığında işletmelerin piyasa üzerindeki paylarını muhafaza edip, bu payı arttırmak için verimliliği arttırmaları şart olmuştur.

İş çizelgeleme, işlerin makinelere atanmasını içermektedir. İşleri çizelgelerken de en önemli etken israfı minimum düzeyde tutmaktır. Bu da elde edilen verimi arttırmak maksadını taşımaktadır.

Bulanık mantık kavramı da son yıllarda çok kullanılan bir yöntemdir. Çalışmada da görüleceği gibi bir çok araştırmacı bulanık mantık ile iş çizelgelemeyi entegre ederek başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Bulanık mantık kavramıyla iş çizelgeleme kullanımı ile birlikte ortaya pek çok çalışma çıkmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak akış tipi çizelgeleme, atölye tipi çizelgeleme ve açık atölye tipi çizelgeleme yer almaktadır.

Farklı çizelgeleme problemleri üzerinde farklı metotlar uygulanarak çözümler elde edilmiştir. Bu çözümler birbirleriyle kıyaslanarak başarı seviyesi belirlenen başarı ölçütüyle tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çizelgeleme problemlerinin en büyük sorunu gerçek hayatta karşımıza çıkan değişkenlik unsuru olmuştur. Bulanık mantık da tam bu noktada devreye girmiştir. Gerçek hayatta meydana gelebilecek değişkenlikleri taklit edip, gerçeğe yakın sonuçlar ortaya koymuştur. Örnek olarak işlerin işlem süreleri, teslim zamanları, gecikmeler, erken tamamlanma süreleri bir belirsizlik içerir. Bu belirsizlikle başa çıkmak için kullanılan en iyi yöntemlerden biri bulanık mantık yöntemi olmuştur.

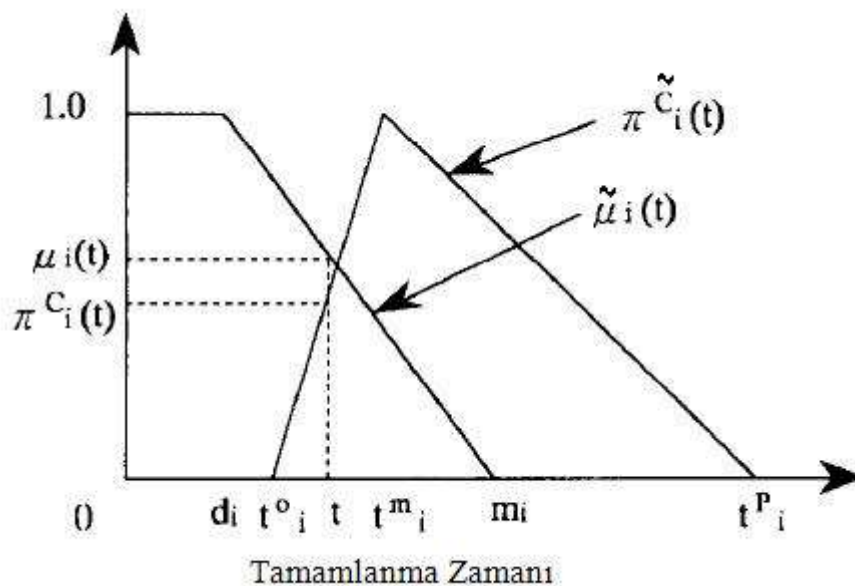
İmalat içerisindeki insan etkisi de belirsizliklerden biri olarak görülmektedir. Çoğu gerçek hayat probleminde çalışanların deneyimleri doğrultusunda kazandıkları yetenekler verimliliğini arttırdığını göstermiştir(Janiak ve Rudek, 2010). İmalat hattındaki operatörler yeteneklerini geliştirerek işlerini daha az sürelerde yapabilmektedir. Bu akım öğrenme etkisi olarak adlandırılmaktadır(Rostami ve ark., 2015). Öğrenme etkisinin de probleme katılması ile birlikte gerçek hayata daha da yakın sonuçların elde edilmesi gerektiği düşünülmektedir.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Bulanık Çizelgeleme

Mitsuru Kuroda(1996) çalışmasında problemdeki doğal bulanıklıkla başa çıkma açısından atölye tipi çizelgelemeyi incelemiştir. Operasyon süreleri ve/ve ya teslim tarihlerine ilişkin bulanık bilgileri olan bazı statik problemler dal-sınır algoritması kullanılarak çözülmüştür. Bulanık atölye tipi simülasyon gibi, bulanık bilgileri olan dinamik problemleri ele alan metod aynı zamanda bulanık teoriyi gerçek hayat atölye tipi çizelgelemeye uygulama niyetiyle incelemektedir. Bu çalışmada girdi parametreleri olarak teslim tarihi ve işlem süreleri alınmıştır. Çıktı parametresi ise tamamlanma zamanı olarak belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonları işlem süreleri için üçgen, teslim zamanları için yamuk seçilmiştir. Şekil 1'de bulanık işlem süresinin ve bulanık teslim zamanının yer aldığı grafik gösterilmiştir.



Şekil 1. Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları grafiği (Mitsuru Kuroda, 1996)

Lowe ve Tedford(1997) çalışmalarında Tam Zamanında Üretim için bulanık üretim çizelgelemesini ele almaktadırlar. Tam zamanında üretim altındaki esnek imalat çevresi işletimi için üretim çizelgeleme, geleneksel atölye tipi modelleri ile kıyaslandığında farklı kriter kümeleri için çözümler içerir. Günümüzde modern imalatçılar ürünlerin mümkün olduğunca zamanında teslim edilmesini ve kaynakların etkili kullanılmasını sağlamaktadır. Çoklu kriter problemini mevcut sezgisellerle çözmek çok zordur. İdeal çizelgeleme, optimal işlem planında yardımcı olmak için

makine ve bileşenler arasındaki etkileşimi göz önüne almaktadır. Ek olarak, sistem hedefteki organizasyonların karakteristiklerine uymasına, bulanık sistemlerin kullanımına, yazılım araçlarının kolayca kullanılabilmesine imkân tanır. Çalışmada üç farklı performans kriteri belirlenmiştir. Bunlar; en kısa işlem süresine sahip olan iş öncelikli, teslim süresine en yakın olan iş öncelikli ve ilk giren ilk çıkar olarak görülür. Üyelik fonksiyonları ise ortalama hata süresi, hatalar arası ortalama zaman, tahmini çalışma zamanı ve tahmini hazırlık zamanı olarak belirlenmiştir.

Dong(2003) çalışmasında  $n$  adet işin olduğu tek makineli çizelgeleme problemini dikkate almıştır. Kesin iş işlem süreleri bilinmemektedir ve normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar olarak sunulmuştur. Problemin çözümü için iki aşamalı bulanık çizelgeleme yaklaşımı önerilmiştir. Problem iki aşamalı kararlar ve işlem sürelerinin bulanıklığının etkisi başvuru maliyeti olarak yansıtılarak çözülmüştür. Önerilen yaklaşım özellikle bulanık işlem sürelerinin yayılmasının nispeten daha geniş ve daha yüksek başvuru maliyeti, işlem sürelerinin etkisi/belirsizliği ile başa çıkmakta ödenmesi gereken durumlarda anlamlı ve etkilidir. Önerilen yöntem tek aşamalı bulanık çizelgeleme yaklaşımına göre hesaplanması daha avantajlıdır, ikincisi ise normalize olmayan bulanık sayıların karşılaştırılmaları ve hesaplamaların karmaşıklığı ile yüzleşir. Çalışmada parametre olarak teslim zamanı, tamamlanma zamanı, erken bitirme ve geç bitirme belirlenmiştir. Bu parametrelerin üyelik fonksiyonları üçgen olarak seçilmiştir.

Peng ve Iwamura(2003) çalışmalarında rassal bulanık çevrede tek makineli çizelgeleme problemini ele almışlardır. Üç tip rassal bulanık programlama modeli, rassal bulanık işlem süreli tek makineli çizelgeleme problemi için kullanılmıştır. Melez zeki algoritma önerilen modelleri çözmek için tasarlanmıştır ve etkinliği sayısal deneylerle gösterilmiştir.

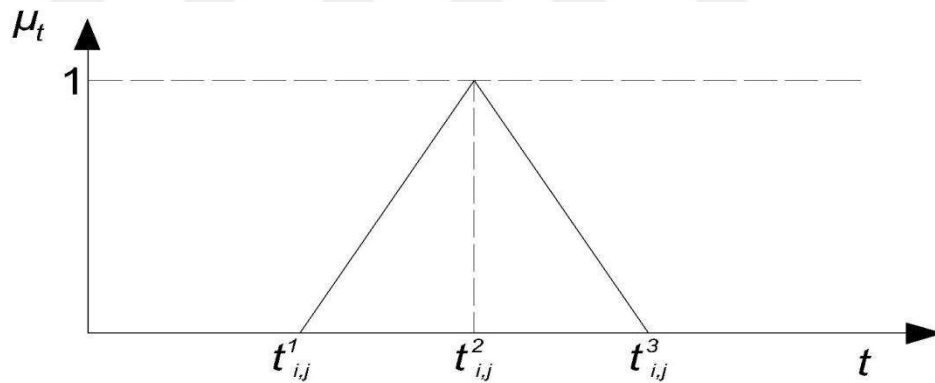
Petrovic ve ark.(2008) çalışmalarında makine ve işlerin sayısının çok olduğu, işlerin belirsiz işlem zamanları olan, ortalama ağırlıklı gecikme, geciken işlerin sayısı, toplam hazırlık zamanları, makinelerin toplam boş zamanları, işlerin toplam akış süresi gibi çoklu çizelge performans ölçütleri tarafından karakterize edilen karmaşık atölye tipi çizelgeleme problemleri sınıfının duyarlılık analizini ele almışlardır. Temel çizelge makinelerin yükleme dengesi, işlerin parti büyüklükleri ve benzer tipteki işlerin bir araya getirilmesini dikkate alan yeni bulanık çok amaçlı genetik algoritma uygulanarak oluşturulmuştur. Oluşturulan çizelgelerin önerilen duyarlılık analizinin amacı çizelge performans ölçütü üzerinde işin işlem sürelerinin uzamasının sonuçlarını araştırmaktır. İşlem süreleri üçgensel dağılımla tanımlanır ve uzamaları bulanık sayıların desteğinin

genişletilmesiyle yapılır. Duyarlılık analizi doğrudan sayısal deneyler dizisiyle gerçekleşir. Üretilen çizelgenin performansının ölçütleri üzerindeki işin işlem süresinin uzamasının etkileri kaydedilip analiz edilmiştir. Bu da duyarlılık analizinin oluşturulan çizelgelerin kalitesinin değerlendirilmesinde ön seçimler arasında olduğunu göstermiştir. Duyarlılık analizi; işlem sürelerinin uzamalarının ürettiği, oluşturulan çizelgelerin genel kalitesi ve performans ölçütlerinde büyük bozulmalara sebep olan özelliklere sahip olan kritik makineler ve kritik işleri tanımlamada kullanılmaktadır. Bu çalışmada parametre olarak işi serbest bırakma zamanı, işlem süreleri, teslim süreleri, işlerin öncelikleri ve makine hazırlık zamanları seçilmiştir. Üyelik fonksiyonları üçgen olarak seçilmiştir.

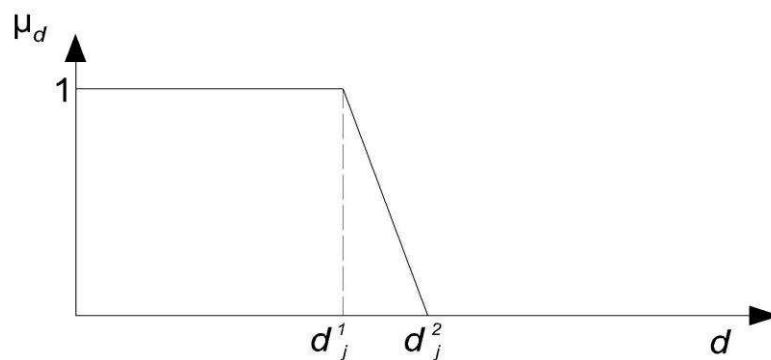
Yimer ve Demirli(2009) çalışmalarında, toplu uyarlanmış mobilya sanayisinde müşteri siparişlerinin çizelgeleme problemi için çözüm tabanlı genetik algoritma ve karma tamsayılı bulanık programlama modelini sunmuşlardır. Bağımsız iş emirleri benzerliklerine göre birden çok sınıfa gruplanmıştır böylece gerekli hazırlıkların sayısı minimize edilmiştir. İş aileleri, her bir partinin benzer sınıftan ardışık işlenmiş işlerin kümesinden oluşan partilere bölünebilir. Eğer parti uygun paralel makinelerden birine atandıysa, partideki ilk işin başlangıcında hazırlık gerekir. Çizelge, partilerin nasıl bağımsız işlerden oluşturulduğunu ve partilerin ve partilerdeki işlerin işlem sıralarını belirler. Bir makine aynı anda sadece bir işi işleyebilir ve hazırlık aşamasında hiçbir işlem gerçekleştirmez. Önerilen formülizasyon teslim tarihi şartlarını yerine getirirken toplam ağırlıklı akış zamanını minimize eder. İşlem ve hazırlık zamanlarının tahminiyle ilişkili belirsizlik bulanık kümelerle sunulmuştur. Çalışmada simetrik üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. Parametre olarak hazırlık zamanı, işlem süreleri, toplam akış süresi belirlenmiştir.

Engin ve ark.(2009) çalışmalarında çok amaçlı bulanık permütasyon akış tipi çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışmada ortalama gecikme ve geciken işlerin sayısı minimize edilmeye çalışılmıştır. Sabit durumdaki permütasyon akış tipi çizelgelemede işlem zamanlarının, teslim zamanlarının tam olarak bilindiği kabul edilir fakat gerçek hayatta durum bu şekilde gelişmez. Literatürde belirsiz işlem zamanları ve teslim zamanları için bulanık kümeler kullanılmıştır. Öncelikle bu çalışmada çok amaçlı bulanık permütasyon akış tipi çizelgeleme problemi için varsayımlarda bulunulmuştur. Bu varsayımlardan ilki çizelge boyunca makine ve iş sayısının belli olmasıdır. İkinci olarak tüm işlem zamanları ve teslim zamanları pozitif bulanık tam sayılardan oluşur. Üçüncü varsayım bir makinenin tek seferde sadece bir işi işleyebileceğidir. Dördüncü

varsayım işlerin yarıda kesilmesine müsaade edilmeyeceğidir. Beşinci varsayım işlerin işlem zamanlarının tüm operasyonlardaki hazırlık zamanlarını içermesidir. Son olarak altıncı varsayım ise işleri yürütmek için makinelerin sürekli olarak uygun durumda olacağıdır. Problemin çözümü için dağılım arama yöntemi seçilmiştir. Çalışmada kullanılan bu algoritma beş adıma sahiptir. İlk adım başlangıç popülasyonunun rassal olarak oluşturulmasıdır. İkinci adımda başlangıç popülasyonundaki kromozom çiftine iki nokta çaprazlama uygulanır. Üçüncü adımda popülasyondaki tüm kromozomlara komşu tabanlı mutasyon uygulanır. Dördüncü adımda uygunluk fonksiyonu değerine bağlı olarak artan kromozomlar ayrıştırılır. Son adımda başlangıç popülasyonu boyutundaki kadar kromozom seçilir. Sonuçlar incelendiğinde dağılım arama yönteminin daha esnek olduğu görülmüştür. Çalışmada gerçek hayattaki dinamik durumlarla başa çıkmak için bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. İşlerin işlem zamanları ve teslim zamanlarında bulanık sayılardan yararlanılmıştır. Bulanık işlem zamanları için üçgensel bulanık sayılar seçilmiştir. Bulanık teslim zamanları için ikizkenar yamuk bulanık kümesi seçilmiştir. Şekil 2 ve 3'te bu üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.



Şekil 2. İşlem zamanı için üyelik fonksiyonu grafiği (Engin ve ark., 2009)



Şekil 3. Teslim zamanı için üyelik fonksiyonu grafiği (Engin ve ark., 2009)

Bir başka çalışmada Kahraman ve ark.(2009) yapay bağışıklık sistemi algoritmasını çok amaçlı bulanık akış tipi çizelgeleme problemini çözmek için önermişlerdir. Çalışmada yine ortalama gecikme ve geciken işlerin sayısını minimize etmek amaçlanmıştır. Yapay bağışıklık sistemi algoritması teorik olarak bağışıklık sisteminde yapılan gözlemlerden doğmuştur. Bağışıklık sisteminin fonksiyonları, prensipleri ve modelleri problemleri çözmek için uygulanmıştır. Algoritma klonal seçim, öğrenme yeteneği, hafıza, sağlamlık ve esneklik gibi etkili mekanizmalara sahiptir. Çalışmada önerilen yapay bağışıklık sistemi algoritması klonal seçim ve benzeşme olgunlaşma ilkeleri üzerine kurulmuştur. Bulanık işlem süreleri üçgen üyelik fonksiyonuyla modellenmiştir. Her işin teslim süreleri ikizkenar yamuk bulanık kümesiyle modellenmiştir. Bulanık çok amaçlı akış tipi çizelgeleme problemi için Engin ve ark.(2009) çalışmalarında yaptıkları varsayımlar bu çalışmada da geçerli olmuştur. Yapay bağışıklık sistemi algoritması ile genetik algoritma sonuçları karşılaştırılarak başarısı ortaya konulmuştur.

Engin ve ark.(2011) çalışmalarında kullanılabilirlik kısıtlı bulanık atölye tipi çizelgeleme problemi üzerinde durmuşlardır. Çözüm yöntemi olarak dağılım arama algoritması seçilmiştir. Bu algoritmanın başarısını anlayabilmek için melez genetik algoritma ile kıyas yapılmıştır. Çalışmada,  $m$  makine ve  $n$  işten oluşan klasik atölye tipi çizelgeleme problemlerinde her iş önceden belirlenmiş iş sırasını takip eder ve amaç tamamlanma zamanının minimizasyonudur. Bu problem ciddi miktarda dikkat gerektirir. Klasik atölye tipi çizelgeleme problemlerinde her iş için işlem zamanlarının ve teslim zamanlarının bilindiği kabul edilir. Ancak çoğu gerçek hayat uygulamalarında insan ve makine kaynağı faktörü nedeniyle işlem zamanları ve teslim zamanları çok dinamiktir. Sonuç olarak geçmiş yıllarda bulanık kümeler, literatürdeki atölye tipi çizelgeleme problemleri için belirsiz işlem zamanları ve teslim zamanlarını modellemede kullanılmıştır. Problemdeki makine uygunluğu kısıtı, makineler önleyici bakım, periyodik tamir ya da rassal arızalar için uygun olmayabileceği anlamını taşımaktadır(Lei, 2010). Gerçek hayat uygulamalarında görevin kesin süresi bilinmemektedir. Dolayısıyla klasik atölye tipi çizelgeleme problemi bu gibi durumlarda yetersiz kalmaktadır. Bulanık kümeler bu tip problemleri çözmek için çok popüler bir hal almıştır. Engin ve ark.(2011) çalışmalarında bulanık işlem zamanını üçgen üyelik fonksiyonu ile modellemişlerdir. Bulanık teslim zamanları için ise ikizkenar yamuk bulanık kümesi kullanılmıştır. Görevlerin tamamlanma zamanı başlangıç zamanına görev süreleri eklenerek bulunmuştur. Kıyaslamada kullanmak

üzere anlaşma endeksi seçilmiştir. Amaç minimum uyum endeksini maksimize etmektir. Bir diğer durum ise gecikme ve erken tamamlamanın memnuniyet seviyesini azaltmasıdır. Planlama ufku boyunca her makineye bazı bakım işlemleri yapılır. Her bakım işlemi önceden belirlenmiş zaman aralığında gerçekleşir. Eğer işteki operasyon bakım işleminden sonra tamamen tekrar işlenmeliyse, işin yarıda kesilmesine müsaade edilmez. Fakat işteki operasyon bakım işleminden sonra işleme devam edebilecekse iş yarıda kesilmeye müsaade eder. Bu çalışmada sadece yarıda kesilebilen işler dikkate alınmıştır. Çalışmayı değerlendirmek amacı ile 6 adet problem hazırlanmıştır. Bu problemlerin altısının sonucu da önerilen dağılım algoritmasının uyum endeksi için en iyi sonuçları verdiği gözlenmiştir.

Balin(2011) çalışmasında bulanık işlem süreli paralel makine çizelgeleme problemi çalışmıştır. Bir simülasyon modeline gömülü güçlü genetik algoritma, tamamlanma zamanını minimize etmek için önerilmiştir. Sonuçlar, böyle problemler için en uygun sevkiyat kuralı olarak bilinen “en uzun işlem süresi” kuralı kullanılarak saptanmasıyla karşılaştırılmıştır. Bu uygulama bulanık paralel makine çizelgeleme problemini çözmek için etkin ve verimli sezgisellerin gerektiğini göstermiştir. Önerilen genetik algoritma yaklaşımı bir çalışmada birkaç kez ve hızlıca iyi sonuçlar verir. Çünkü bu bir arama algoritmasıdır, aynı sonuçları veren alternatif çizelgeleri de tarayabilir. Simülasyon modeli sayesinde birkaç sağlamlık testi farklı rassal sayı kümeleri kullanılarak yapılmıştır ve önerilen yaklaşımın sağlamlığı gösterilmiştir. Çalışmada üçgensel üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Çıktı parametresi tamamlanma zamanı olarak seçilmiştir. Girdi parametresi olarak da işlem süreleri belirlenmiştir.

Lei ve Guo(2012) çalışmalarında bulanık esnek atölye tipi çizelgeleme için parçacık tabanlı komşu arama algoritmasını incelemişlerdir. Bulanıklık ve esneklik çoğu üretim prosesinin özelliğidir, ancak bulanık proses şartları ve esnek proses planlarının her ikisi olan çizelgeleme problemleri yüksek karmaşıklığından dolayı tam olarak araştırılmamıştır. Bu çalışmada bulanık esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için etkili bir parçacık tabanlı komşu arama algoritması önerilmiştir. Parçacık tabanlı komşu arama algoritmasında sipariş işlemi tabanlı sunumu, problemi alt problemlere ayırmakta kullanılmıştır ve makine atama alt problemi makinelerin hücreler halinde olduğu ve operasyonların bu hücrelere tahsis edildiği hücre formasyonuna çevrilmiştir. Her nesilde iki değiş tokuş yani ekleme ve turnuva eleme değiş tokuşların güncellenmesine uygulanmıştır. Bazı sayısal deneyler parçacık tabanlı komşu arama algoritmasının etkinliğinin gösterilmesi için bazı örnekler kullanılarak yapılmıştır.

Hesaplama sonuçları parçacık tabanlı komşu arama algoritmasının literatürdeki mevcut algoritmalarından daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Çalışmada konveks ve normalize edilmiş bulanık sayı kümesi kullanılmıştır. Konveks durumlardan  $\alpha$ -kesim seçilmiştir. Parametre olarak yeniden işleme süresi, hazırlık süresi, işlem süresi, tamamlanma süresi seçilmiştir.

Noori-Darvish ve ark.(2012) çalışmalarında sıra bağımlı hazırlık süresi olan açık atölye tipi çizelgeleme problemini dikkate almışlardır. Yeni çift amaçlı olasılıklı karma tamsayılı lineer programlama modeli sunulmuştur. Üçgensel olasılık dağılımına sahip bulanık teslim tarihi, bulanık işlem süresi ve sıra bağımlı hazırlık süresi bu modelin temel kısıtlarıdır. Bu hususlardaki bir açık atölye tipi çizelgeleme problemi gerçek üretim çizelgeleme şartlarına yakındır. Amaç fonksiyonu, toplam ağırlıklandırılmış gecikme ve toplam ağırlıklandırılmış tamamlanma zamanını minimize etmektir. Pareto optimal çözümleri için küçük boyutlu örnekleri çözme amacıyla interaktif bulanık çok amaçlı karar verme yaklaşımı uygulanmıştır. Bu metodun kullanımıyla, eş değer yardımcı tek görevli kesin model belirlenmiş ve Lingo yazılımı ile optimal çözüm saptanmıştır. Orta ve büyük boyutlu örnekler için çok amaçlı parçacık sürüsü optimizasyon algoritması önerilmiştir. Bu algoritma çözüm uzayındaki arama alanını azaltmak için permütasyon listeleri kullanarak şifre çözme işleminden oluşturulmuştur. Ayrıca yerel arama algoritması iyi başlangıç sürü pozisyonları oluşturmak için uygulanmıştır. Son olarak çok amaçlı parçacık sürüsü optimizasyon algoritmasının etkinliğini değerlendirmek için bilinen metotlardan birisi ile kıyaslanmıştır. Çalışmada bulanık parametreler için üçgensel üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Hazırlık süreleri, geç tamamlama, işlem süresi ve tamamlanma süresi parametre olarak belirlenmiştir. Açık atölye tipi çizelgeleme problemine sıra bağımlı hazırlık süreleri, bulanık işlem süreleri ve bulanık teslim tarihleri eklemiştir. Açık atölye tipi çizelgeleme problemleri  $n$  adet işin birden çok makine tarafından işlem gördüğü çok aşamalı çizelgeleme problemleridir. Her makinedeki operasyon sıraları ve her işin işlem rotası bu problemde belirtilmesi gereken iki ana elementtir. Açık atölye tipi çizelgeleme probleminde operasyonların işleme sıraları isteğe bağlıdır. Böylece açık atölye tipi çizelgeleme probleminin çözüm alanı atölye tipi ve akış tipi çizelgeleme problemlerine göre daha geniştir. Makine sayısı ikiden fazla ise açık atölye tipi çizelgeleme problemi NP-Zor sınıfında olmaktadır. Orta ve büyük boyutlu problemlerde kesin metotlar kullanarak optimal çözümü tayin etmek genellikle elverişsizdir ve etkili metasezgisel metotların uygulanması gerekmektedir. Problemi çözmek için çift amaçlı model

oluşturulmuştur. Problemin varsayımları şu şekildedir; her iş en fazla  $m$  adet makinede işlem görebilir, her işin işlem rotası isteğe bağlıdır, herhangi bir zamanda her makinede en fazla bir iş işlenebilir, işlerin operasyonlarının üst üste gelmesine izin verilmez, işlerin önem ve ceza seviyeleri farklıdır ve 1'den daha küçük olması gerekmez, 0 zamanında tüm işler uygundur, yarıda kesmeye müsaade edilmez, makine bağımlı ve sıra bağımlı hazırlık süreleri her operasyon için dikkate alınmıştır, tüm işlem süreleri ve teslim tarihleri üçgensel olasılık dağılımlı bulanık parametreler olarak belirlenmiştir. Çift amaçlı modelde birinci amaç toplam ağırlıklandırılmış gecikmenin minimizasyonu, ikinci amaç ise toplam ağırlıklandırılmış tamamlanma zamanıdır. Problemden orta ve büyük boyuttaki örnekler için parçacık sürüsü optimizasyonu kullanılmıştır.

Torabi ve ark.(2013) çalışmalarında teslim tarihleri ve işlem zamanlarında doğal belirsizliğin dikkate alındığı bağlantısız paralel makine çizelgeleme problemi için yeni çok amaçlı model önermişlerdir. Problem işler için ikincil kaynak kısıtları, sıra ve makine bağımlı hazırlık süreleri, sıfıra eşit olmayan süreler tarafından karakterize edilmiştir. Her iş sadece gereken makine ve ikincil kaynak aynı anda uygun olduğunda işlenebilmektedir. Kesin optimizasyon araçları kullanarak uygun sürelerde bu karmaşık problem için optimal çözüm bulmak engelleyicidir. Bu çalışmada toplam ağırlıklandırılmış akış süresi, toplam ağırlıklandırılmış gecikme ve toplam makine yüklemeye varyasyonunu sırasıyla minimize eden Pareto sınırının iyi bir tahmin bulması için etkili çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu algoritması sunulmaktadır. Önerilen çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu küresel muhafazanın yanı sıra kişisel en iyi çözüm için yeni seçim rejimleri kullanılmaktadır. Bulanık çevrede genelleştirilmiş baskınlık kavramı lokal olarak Pareto-optimal sınırı bulmak için kullanılmıştır. Önerilen çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonunun performansı rassal olarak oluşturulmuş test problemleri üstünde geleneksel çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu algoritmasına karşı kıyaslanmıştır. Her amaç aralığında her algoritmanın etkisine göre istatistiksel analiz; kalite, çeşitlilik ve aralık ölçümleri açısından önerilen çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonunun, geleneksel çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonundan daha üstün olduğunu göstermiştir. Çalışmada, parametrelere üçgensel üyelik fonksiyonları uygulanmıştır. İşlem süreleri ve teslim zamanları girdi parametresi olarak belirlenmiştir. Tamamlanma zamanı ise çıktı parametresidir.

Huang ve ark.(2013) çalışmalarında faaliyet sürelerinin bulanık küme formlarında sunulduğu bulanık süre bağımlı proje çizelgeleme problemini araştırmışlardır. Süreler aynı zamanda süre bağımlı olarak da belirlenmiştir. Bu koşullar



altında ortaya çıkan bulanık süre bağımlı proje çizelgeleme problemi var olan proje çizelgeleme problemleriyle kıyaslandığında çok daha karmaşık bir hale gelir. Bu karmaşıklık tüm projenin tamamlanma zamanının hesaplanmasından kaynaklanır. İlk olarak tamamlanma zamanının hesaplanmasındaki zorluklar üzerinde durulmuştur. Daha sonra bulanık süre bağımlı proje çizelgeleme probleminin ortalama tamamlanma zamanının tahmini için hesaplama formülü geliştirilmiştir. Bulanık süre bağımlı proje çizelgeleme formülize edilmiş ve üç bulanık programlama modeli önerilmiştir. Önerilen modeller; genetik optimizasyon ve bulanık simülasyon mekanizmalarının birleşmesi gibi teknikleri ele alır. Bulanık simülasyon geleneksel kesin proje çizelgeleme problemlerinde olmayan belirsiz fonksiyonların değerini tahmin etmek için kullanılmıştır. Sayısal deneylere, algoritmanın etkinliğini göstermek amacı ile çalışmada yer verilmiştir. Çalışmada bulanık parametre olarak akış süresi, işlem süresi, işlerin gecikmesi ve tamamlanma zamanları belirlenmiştir.

Wang ve ark.(2013a) çalışmalarında bulanık atölye tipi çizelgeleme problemini çözmek için melez yapay arı kolonisi algoritmasını önermişlerdir. İlk olarak melez yapay arı kolonisi yiyecek kaynaklarındaki gibi kesin kalite ve çeşitlilikle başlangıç çözümleri üretmek için çoklu strateji kullanır ve aktif çizelgelerin çözümlere dönüştürülmesi için sola kaydırma çözümlene şeması uygulanmıştır. İkinci olarak kullanılan arı aşamasındaki operasyon sırası ve makine ataması için çaprazlama operatörüne bağlı işleme arama prosedürü yeni komşu yiyecek kaynakları üretmek için tasarlanmıştır. Üçüncü olarak işleme arama prosedürü komşu kaynaklar yerine şimdiye kadar bulunan en iyi kaynağa bağlı yeni kaynakla izleyici arı aşamasındaki eski yiyecek kaynaklarını güncellemekte kullanılmıştır. Deney tasarımının Taguchi metoduna bağlı parametre ayarlarının etkisi araştırılmıştır ve uygun parametre değerleri önerilmiştir. Sayısal test sonuçları ve bazı mevcut algoritmalar ile melez yapay arı kolonisi arasında yapılan karşılaştırmalar, önerilen melez yapay arı kolonisinin etkinliğini göstermiştir. Yerel arama içeren değişken komşu arama tabanlı melez yapay arı kolonisi, yerel arama içermeyene göre üstünlüğünü göstermiştir. Çalışmada üçgensel üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Parametreler ise tamamlanma zamanı ve işlem süreleri olarak tanımlanmıştır.

Abdullah ve Abdolrazzagh-Nezhad(2014) çalışmalarında bulanık atölye tipi çizelgeleme problemlerini araştırmışlardır. Bulanık atölye tipi çizelgeleme problemleri deterministik olmayan polinomial-zor problemler olarak bilinen kombinatoriyel optimizasyon problemi sınıfındadır. Geçmiş yıllarda araştırmacıların sayısının

artmasıyla bulanık atölye tipi çizelgeleme problemlerin teorik modelleri de artış göstermiştir ve bu problemleri çözmek için algoritmalar tanıtılmıştır. Bu çalışma bulanık atölye tipi çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılmasını incelemiştir ve bulanık atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözülmesi için metodolojiler uygulamıştır. Çalışma bulanık atölye tipi çizelgeleme problemleri için teknoloji harikası algoritmalar gibi metasezgisel algoritmaların incelenmesine odaklanır. Bu algoritmalar üç adımda, yani işlem öncesi, başlangıç işlemleri ve geliştirme algoritmaları olarak analiz etmiştir.

Behnamian ve Fatemi Ghomi(2014) çalışmalarında bulanık işlem zamanı, teslim tarihi ve sıra bağımlı hazırlık zamanı olan çift görevli melez akış tipi çizelgeleme problemlerini ele almaktadırlar. Bu problemi çözmek için sırasıyla tamamlanma zamanı ve erken tamamlanma-gecikmelerin toplamı olarak iki kriteri minimize etmek için çift seviyeli algoritma önerilmektedir. İlk seviyede popülasyon paralel olarak birkaç alt popülasyona ayrılır ve her alt popülasyon sayısal çift görev için tasarlanır. İkinci seviyede dominant olmayan çözümler ilk seviye büyük bir popülasyon olarak birleştirileceğinde alt popülasyon çift görevli rassal anahtar genetik algoritmadan belirlenir. İkinci seviyede alt popülasyon çift görevli rassal anahtar genetik algoritma tarafından belirlenen Pareto geliştirilmesi için Pareto uzay konseptinde aramaya dayalı parçacık sürü optimizasyonu önerilmiştir. Durulaştırma fonksiyonu çan biçimli bulanık sayıları, kıyaslanmış bir algoritma ile ve her seviyeden belirlenmiştir. Hesaplama sonuçları parçacık sürü optimizasyonunun üstün sonuçlar ve diğerlerinden daha iyi bir performans sergilediğini göstermiştir. Çalışmada çan eğrisi bulanık sayılar kullanılmıştır.

Yeh ve ark.(2014) çalışmalarında öğrenme etkili paralel makine çizelgelemeyi araştırmışlardır. Amaç tamamlanma zamanını minimize etmektir. Gerçek hayattaki sonuçlara yakın olması için işlem süreleri bulanık sayılar olarak seçilmiştir. Olasılık ölçüsü bulanık sayıları sıralamada kullanılacaktır. İki sezgisel algoritma; tavlama benzetimi algoritması ve genetik algoritma önerilmiştir. Hesaplama deneyleri performansları değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ikizkenar yamuk üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Parametreler tamamlanma zamanı ve işlem süresi olarak belirlenmiştir.

Liu ve ark.(2015) çalışmalarında dinamik bulanık esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için dağıtım algoritmasının hızlı tahmini konusu üzerinde durmuşlardır. Atölyedeki karmaşık koşullar nedeniyle geleneksel çizelgeleme algoritmalarının çoğu

atölye tipi çizelgeleme problemlerindeki anındalık, karmaşıklık ve dinamikliğin gereksinimlerini karşılamakta başarısız olur. Statik algoritmalarla kıyaslandığında, dinamik çizelgeleme algoritması gerçek durumlardaki gereklilikleri daha iyi yerine getirir. Esneklik ve bulanık işlem sürelerinin her ikisi de gerçek hayatta ortaktır, bu çalışma bulanık işlem süreli dinamik esnek atölye tipi çizelgeleme problemi üzerinde yoğunlaşmıştır. Bir dizi dönüşüm işlemi ile orijinal bulanık işlem süreli dinamik esnek atölye tipi çizelgeleme problemi, mevcut algoritmaların avantajlarını alarak daha uygun olan geleneksel statik bulanık esnek atölye tipi problemde olduğu gibi basitleştirilmiştir. Bu çalışmada dağıtım algoritmasının tahmini sonradan dönüşüm problemi haline getirilir. Gelişmiş bir dağıtım algoritmasının tahmini, standartlaştırılmış çözüm vektörleri ve tarihsel optimal çözümleri de içeren orijinal dağıtım algoritmasının tahmininde ihmal edilmiş birkaç öğenin kullanılmasıyla geliştirilmiştir. Gelişmiş algoritma; yakınsama hızı ve hesaplama hassasiyeti, dağıtım algoritmasının tahmini ile kıyaslandığında daha iyi olduğundan ismi dağıtım algoritmasının hızlı tahmini olarak konulmuştur. Dinamik durumlar gerçek hayat durumlarıyla ele alınmalıdır. Bu çalışmada tek amaçlı bulanık işlem süreli dinamik esnek atölye tipi çizelgeleme problemi üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak gerçek hayatta birçok çok amaçlı durum vardır. Çalışmada üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. Tamamlanma zamanı, işlem süresi bulanık parametreler olarak seçilmiştir.

Lin(2015) çalışmasında göçmenliği taklit eden yeni çıkmış evrimsel bir algoritma sunmuştur. Bu çalışmada biyocoğrafya tabanlı optimizasyon bulanık esnek atölye tipi çizelgeleme problemini çözmek için etkili melez algoritma oluşturulup bazı sezgisellerle birleştirilmiştir. İlk olarak yol yeniden bağlama tekniği ile yeni çözüm üretmek için göç operasyonu kullanılır. Sonra ekleme tabanlı yerel arama sezgiseli tanıtilmiş ve mutasyon operatörünü değiştirmek için biyocoğrafya tabanlı optimizasyona yerleştirilmiştir. Dahası, etkili bir makine atama kuralı, operasyon sırası tabanlı gösterimi deşifre etmek için önerilmiştir. Sonuç olarak melez algoritmanın keşif ve kullanma becerileri geliştirilmiştir ve dengelenmiştir. Hesaplama sonuçları ve var olan bazı algoritmalarla yapılan kıyaslamalar önerilen melez düzenin etkinliğini gösterir. Çalışmada üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. Parametre olarak tamamlanma zamanı, işlem süreleri ve operasyon başlangıç zamanı kullanılmıştır.

Xu ve ark.(2015) çalışmalarında etkili öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmasını bulanık işlem süreli esnek atölye tipi çizelgeleme problemini çözmek için önermişlerdir. İlk olarak özel kodlama şeması, çözümleri sunmak için kullanılmıştır ve

şifre çözme metodu bulanık anlamdaki çözümü uygun çizelgeye aktarmada kullanılmıştır. İkinci olarak özel yerel arama operatörleri ve öğretim-öğrenme mekanizması bazlı çift fazlı çaprazlama düzeni araştırma ve kullanım yeteneklerini dengelemek için öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmasının arama çerçevesinde birleştirilmiştir. Dahası, öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmasındaki anahtar parametrelerin etkisi Taguchi metodu kullanılarak araştırılmıştır. Son olarak bazı kıyaslama örnekleri ve mevcut olan bazı algoritmaların kıyaslamalarından sonra sayısal sonuçlar elde edilmiştir. Kıyaslamalı sonuçlar önerilen öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmasının bulanık işlem süreli esnek atölye tipi çizelgeleme problemini çözmedeki etkililik ve verimliliğini göstermiştir. Çalışmada üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. Parametreler ise tamamlanma zamanı ve işlem süreleridir.

Palacios ve ark.(2015) çalışmalarında belirsiz işlem zamanlı esnek atölye tipi çizelgeleme problemini araştırmışlardır. İşlem zamanları bulanık sayılardan oluştuğundan adı bulanık esnek atölye tipi çizelgeleme problemi olarak geçmiştir. Tamamlanma zamanını minimize etmek için sezgisel tohumlama ve tabu aramasıyla melezlenmiş etkili genetik algoritma önerilmiştir. Yüksek kaliteli ve çeşitli başlangıç çözümleri kümesi elde etmek için problemin esnek doğasından yararlanan sezgisel metot sunulmuştur. Bu başlangıç popülasyonu, sonrasında oluşturulmuş her kromozom için tabu arama uygulayan genetik algoritma için başlangıç noktası olacaktır. Tabu arama algoritması, uygulanabilirlik ve bağlanabilirlik gibi ispatlanan bazı ilginç özellikler bu çalışmada analiz edilen ve önerilen komşu yapılara dayanır. Yeni kromozomların değerlendirilmesini hızlandıran metot ve komşu boyutunu azaltmak için süzme mekanizması dahil edilmiştir. Elde edilen metodun performansını değerlendirmek ve en gelişkin teknolojiyle karşılaştırmak için, çalışmanın önemini arttırmak amacıyla bulanık ve deterministik örneklerin her ikisini de içeren 205 örnekle kapsamlı hesaplama çalışması sunulmuştur. Deneyle sonuçları melez algoritmanın sadece bileşenler arasındaki sinerjiden faydalanmakla kalmadığını, ayrıca test örneklerinin sayıları için yeni en iyi çözüm sağladığı, kesin ve bulanık örneklerin her ikisi de çözüldüğünde en gelişkin teknoloji ile oldukça rekabetçi olduğu açıkça görülmüştür. Çalışmada üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. Dolayısıyla üçgensel üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Klasik atölye tipi çizelgeleme problemlerinde işlerin kümesi makinelerin kümesinde işlem görür ve her işin ardışık işlemler sırası bulunur. İşlem zamanları ise önceden bilinmektedir. Performans ölçütü ise tamamlanma zamanıdır. Gerçek hayatta

karşılaşılan belirsizlik durumlarını önlemek için en iyi bilinen yöntem belirsiz işlem sürelerinin stokastik değişkenlerden alındığı stokastik çizelgelemedir. Alternatif ve tamamlayıcı yöntem olarak bulanık sayılar kullanılmaktadır. Gerçek hayat problemlerinin başka bir karakteristiği de esnekliktir. Esnek atölye tipi çizelgeleme problemi, birden çok makinenin aynı operasyonu gerçekleştirebildiği klasik çizelgeleme probleminin bir çeşididir. Bu esneklik makinelerin performansında ya da iş talebindeki değişiklikleri sistemin absorbe edebilmesine imkan tanır. Bu da problemin zorluğunu arttırmaktadır. Çalışmada bulanık sayıların kullanılması ve esnekliğin ilave edilmesi ile problem bulanık esnek atölye tipi çizelgeleme problemi haline gelmiştir. Çözüm metodu olarak da genetik algoritma ile yerel arama stratejisinin birleşmesinden oluşan melez algoritma kullanılmıştır. Bu melezleştirme sayesinde hazırlık süreli atölye tipi çizelgeleme problemleri gibi çeşitli problemler de çözülebilir. Sezgisel strateji ile başlangıç çözümleri üretmek için memetik algoritma ile birleştirilen etkili melez algoritma önerilmiştir. Problemden kapasite kısıtlamaları ve öncelik kısıtları bulunmaktadır. İşlem süreleri bulanık sayılar olarak belirlenmiştir. Bulanık aralığın en basit modeli üçgensel bulanık sayılardır. Çalışmada işlem süreleri üçgensel bulanık sayılardan yararlanılarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda melez algoritmanın iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Gao ve ark.(2016a) bulanık işlem süreli esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri için geliştirilmiş yapay arı kolonisi algoritması üzerinde çalışmışlardır. En büyük bulanık tamamlanma süresini ve en büyük bulanık makine yüklemesini minimize etmek amaçlanmıştır. Gao ve ark.(2016b) yapay arı kolonisi algoritmasını kullanarak bulanık esnek atölye tipi çizelgeleme problemini çalışmışlardır. Çalışmada çizelgelenen sıraya yeni bir iş eklenmesi durumunda yeniden çizelgeleme yapmışlardır. Liu ve ark.(2017) enerji harcamasını ve gecikmeyi minimize eden durum bağımlı hazırlık süreleri olan bulanık akış tipi çizelgeleme üzerinde çalışmışlardır. Problemi çözmek için bazı sezgisellerle güçlendirilen klasik genetik algoritma kullanmışlardır. Liao ve Su (2017) bulanık yayılımın göz önünde bulundurulduğu bulanık sayı sıralama yöntemlerinin karşılaştırmasını içeren melez karınca kolonisi optimizasyonlu paralel makine çizelgeleme problemi üzerinde durmuşlardır.

## 2.2. Bulanık Öğrenme Etkisi

Biskup(1999) çalışmasında tek makineli çizelgeleme problemlerinde öğrenmeyi analiz etmiştir. Çok iyi bilinen öğrenme etkisinin çizelgeleme problemleriyle bağlantısı

daha önce hiç düşünülmemiştir. Bu çalışmada polinomiyeel çözüm içeren tek makine probleminin iki önemli tipi kullanılarak, öğrenmenin işlem zamanlarıyla olan bağına giriş yapılmıştır.

Mosheiov(2001) çalışmasında çeşitli çizelgeleme problemlerinin durumlarında öğrenme etkisini incelemiştir. Çoğu gerçekçi durumda üretim tesisi bazı benzer veya aynı hareketlerin tekrarlanması sonucu sürekli gelişmiştir. Bundan dolayı verilen bir sonraki ürün çizelgede daha kısa işlem zamanı ile yer almıştır. Birkaç örnekte de gösterildiği gibi, optimal çizelge problemin klasik versiyonundan çok daha farklı olabilmesine ve hesaplama çabalarının öneminin daha da artmasına rağmen polinomiyeel zamanlı çözümler bulunmaktadır. Tek makineli tamamlanma zamanının minimizasyonu problemi için polinomiyeel çözümler bulunmuştur. Paralel özdeş makinelerde minimum akış zamanı problemi ve çok kriterli tek makine problemleri için iki polinomiyeel çözüm bulunmuştur.

Bachman ve Janiak(2004) çalışmalarında pozisyonlarındaki sırada, fonksiyonlara bağımlı olarak belirlenen işlem süreleri olan bazı tek makine çizelgeleme problemlerine bağılı kalmışlardır. Her işin hazır olma zamanı olduğu ve işlem görmek için bu zamanda uygun olacağı varsayılmıştır. Tamamlanma zamanı, toplam tamamlanma zamanı ve toplam ağırlıklandırılmış tamamlanma zamanı optimizasyon kriterleri için problemlerin özel durumlarının bazı özellikleri ispatlanmıştır. İşlerin işlem zamanlarının iki farklı modeli için tamamlanma zamanı minimizasyon probleminin güçlü NP-Zor olduğu ispatlanmıştır.

Biskup(2008) çalışmasında öğrenme etkili çizelgeleme problemi üzerinde durmuştur. Daha önce öğrenme etkili çizelgelemeye literatürde dikkat edilmiştir. Verilen örneklerden biri, yaptıkça öğrenme varsayımına dayanmıştır. Buna rağmen bilgi birikimi(know how) sistemindeki önleyici yatırımlar görüşün pratik noktasından daha önemlidir. Öncelikle öğrenme etkili çizelgeleme çevresinin ne zaman ve neden oluşabileceği, planlama bakımından dikkat edilmesi gerektiği tartışılmıştır. Daha sonra öğrenme etkili çizelgeleme problemlerinin literatürdeki örnekleri verilmiştir.

Wang ve ark.(2008) çalışmalarında süre bağımlı öğrenme etkili tek makineli çizelgeleme problemini dikkate almışlardır. İşlerin süre bağımlı öğrenme etkisi, işin önünde çizelgelenen işlerin toplam normal işlem sürelerinin fonksiyonu olarak varsayılmıştır. Problemin klasik versiyonu için optimal olan çizelge, toplam ağırlıklandırılmış tamamlanma zamanı, maksimum gecikme ve geciken işlerin sayısı için süre bağımlı öğrenme etkili problem için optimal değildir. Ama bazı özel durumlar

için, ağırlıklandırılmış en küçük işlem süresi kuralı, en erken teslim tarihi kuralı ve Moore algoritmasının amaç fonksiyonunun minimizasyonu problemi için optimal çizelgeyi verebileceği ispatlanmıştır. En kötü durum hata sınırı analizi ve genel durumlar için bu üç kural sezgisel olarak kullanılmıştır. Sezgisellerin performanslarının değerlendirilmesi için hesaplamalı çözümler uygulanmıştır.

Cheng ve ark.(2008) çalışmalarında gerçek işlem zamanlarının sadece hali hazırda işlenmiş işlerin toplam normal işlem sürelerinin bir fonksiyonu olmasının yanında işin çizelgelendiği pozisyonun da bir fonksiyonu olduğunu dikkate alan öğrenme etkili yeni bir çizelgeleme modeli geliştirmişlerdir. Toplam tamamlanma zamanı ve tamamlanma zamanını minimize eden tek makine probleminin polinomiye olarak çözülebildiği gösterilmiştir. Maksimum gecikme ve toplam ağırlıklandırılmış tamamlanma zamanını minimize eden problemler belirli uygun durumlar altında polinomiye olarak çözülebilmektedir. Son olarak tamamlanma zamanı ve toplam tamamlanma zamanını minimize eden  $m$  makineli akış tipi problemlerin bazı özel durumları için optimal çözümü polinomiye sürelerde elde etmişlerdir.

Yin ve ark.(2009) çalışmalarında genel pozisyona dayalı ve süre bağımlı öğrenme etkili bazı çizelgeleme problemlerini araştırmışlardır. Öğrenme etkili çizelgeleme problemlerinde yapılan çoğu araştırma spesifik öğrenme fonksiyonlarına dayanmıştır. Bu çalışmada gerçek işlem zamanlarının sadece hali hazırda işlenmiş işlerin toplam normal işlem sürelerinin bir fonksiyonu olmasının yanında işin çizelgelendiği pozisyonun da bir fonksiyonu olduğunu dikkate alan öğrenme etkili genel bir model geliştirilmiştir. Bazı tek makineli çizelgeleme problemleri ve  $m$  makineli permütasyon akış tipi çizelgeleme problemleri önerilen modelle polinomiye olarak çözülmüştür.

Janiak ve Rudek(2010) çalışmalarında çok amaçlı öğrenme etkili tamamlanma zamanını minimize etme amacı taşıyan problemi incelemişlerdir. Çizelgeleme problemleri literatüründe öğrenme etkisi, bir yetenekte işlemci tarafından deneyim kazanma işlemi olarak algılanmıştır. Birçok gerçek hayat probleminde işlemci işlerin uygulanması boyunca deneyimi farklı olarak artar. Bu da işlemcinin etkinliğinin ortalama büyümesi ile sonuçlanır. Bu gözleme göre bu çalışmada gerçek hayat şartlarına daha uygun modeller ve birden çok öğrenme olarak nitelendirilen yeni yaklaşım, çizelgelemeye getirilmiştir. Özel durumlar için optimal polinomiye zaman algoritmaları ve önerilen öğrenme modeli ile tamamlanma zamanı minimize edilmeye çalışılmıştır.

Lai ve Lee(2011) çalışmalarında gerçek işlem sürelerinin, çizelgelendiği pozisyon ve zaten işlenmiş olan işlerin normal işlem sürelerinin genel fonksiyonu olduğu yeni öğrenme etkili model önermişlerdir. Bu modelin avantajı farklı öğrenme eğrilerinin kolayca düzenlenebilmesi olmuştur. Literatürdeki çoğu modelin bu çalışmada önerilen modelin özel durumu olduğu belirlenmiştir. Bazı tek makine problemleri için optimal sıra saptanmıştır.

Zhang ve ark.(2012) çalışmalarında logaritma işlem süreleri toplamına dayalı ve pozisyona dayalı öğrenme etkili çizelgeleme problemini çalışmışlardır. Biskup(2008) çalışmasında çizelgeleme çevresindeki öğrenme etkili model iki çeşit olarak açıklanmıştır. Bunlar pozisyona dayalı ve işlem zamanları toplamına dayalıdır. Toplam tamamlanma zamanı ve tamamlanma zamanını minimize eden tek makineli çizelgeleme probleminin her ikisinin de en küçük işlem zamanı önceliği (SPT) kuralı ile çözülebileceği gösterilmiştir. Toplam gecikme, toplam ağırlıklandırılmış tamamlanma zamanı ve en büyük gecikme zamanını minimize etme probleminin ağırlıklandırılmış en küçük işlem zamanı önceliği ve en erken teslim zamanı önceliği kuralı ile polinomiye zamanlarda çözülebildiği gösterilmiştir. Ek olarak öğrenme, önerilen öğrenme modeli  $m$  makineli permütasyon akış tipi çizelgeleme probleminin polinomiye olarak çözülebileceği gösterilmiştir.

Ahmadizar ve Hosseini(2012) çalışmalarında tamamlanma zamanının minimize edilmesi amaçlanan pozisyona dayalı öğrenme etkili ve bulanık işlem zamanlı tek makine çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Öğrenme etkili çizelgeleme problemindeki çoğu çalışmada işlem zamanlarının deterministik olduğu varsayılmıştır. Pozisyona dayalı öğrenme etkili iş, pozisyonunun fonksiyonu olarak varsayılmıştır. İşlem zamanları üçgensel bulanık sayılar olarak dikkate alınmıştır. Bu problem için iki farklı polinomiye zamanlı algoritma geliştirilmiştir. İlk çözüm metodolojisi bulanık şans kısıtlı programlamaya dayalıdır. İkincisi ise bulanık sayıları sıralama metoduna dayalıdır. Algoritmanın performansını değerlendirmek amacıyla hesaplamalı deneyler yapılmıştır.

Vahedi Nouri ve ark.(2013) esnek bakım faaliyetleri ve öğrenme etkisinin olduğu akış tipi çizelgeleme problemleri için melez ateş böceği tavlama benzetimi algoritmasını kullanmışlardır. Problemi formüle etmek için karma tamsayı doğrusal programlama modeli kullanılmıştır. Daha sonra sonuçlar önerilen algoritmanın değerleri ile kıyaslanmıştır.



Vahedi-Nouri ve ark.(2014) çoklu uygunluk kısıtları ve pozisyona dayalı öğrenme etkisinin olduğu akış tipi çizelgeleme problemleri üzerinde çalışmışlardır. Toplam akış süresinin minimizasyonunu amaçlamışlardır. Problem karma tam sayılı programlama modeli ile çözülmüştür. Buradan elde edilen sonuçlarla tavlama benzetimi algoritması ile bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yeh ve ark.(2014) çalışmalarında öğrenme etkili paralel makineli çizelgeleme problemine yer vermiştir. Amaç tamamlanma zamanının minimizasyonudur. Gerçekliği sağlayabilmek için işlem zamanları bulanık sayılar olarak dikkate alınmıştır. Bilinen kadarıyla öğrenme etkili ve bulanık işlem zamanlı paralel makineli çizelgeleme problemi daha önce hiç çalışılmamıştır. Olasılık ölçütü olarak bulanık sayıların sıralanması kullanılmıştır. Tavlama benzetimi algoritması ve genetik algoritma önerilmiştir. Performanslarını değerlendirmek için hesaplamalı deneyler uygulanmıştır.

Ji ve ark.(2015) çalışmalarında kötüleşen işleri ve De Jong'un öğrenme etkisini paralel makine problemi için düşünmüşlerdir. Toplam tamamlanma zamanı ve tamamlanma zamanını minimize etmek üzerine yoğunlaşmıştır. Önceki çalışmalar polinomiyele olarak çözülebilirken, sonrakiler bu çalışmada olduğu gibi tam olarak polinomiyele zaman yaklaşım şeması sağlamak için NP-Zor kategorisinde olmuştur.

Rostami ve ark.(2015) çalışmalarında öğrenme etkisi ve kötüleşmenin her ikisinin de düşünüldüğü özdeş olmayan paralel makineli çok amaçlı çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Gerçek hayat sistemlerindeki parametrelerin belirsizliği nedeniyle, işlerin teslim zamanları ve işlem zamanları üçgensel bulanık sayılar olarak sunulmuştur. Güvenilirlik ölçütü kullanılarak işlerin maksimum tamamlanma zamanı ve toplam erken tamamlanma/gecikme zamanlarını minimize etmeyi amaçlayan iki amaç fonksiyonuyla bulanık şans kısıtlı programlamaya dayalı lineer olmayan matematiksel model sağlanmıştır. Karma tamsayı matematiksel modelde global optimumun bulunacağına garanti yoktur. Bu nedenle çok amaçlı dal sınır algoritması ön Pareto optimali belirlemek amacıyla etkili alt sınır sağlamıştır. Hesaplama sonuçları, algoritmanın özellikle geniş ölçekli problemleri çözmek için çok kullanışlı olduğunu göstermiştir.

Lu(2015) çalışmasında işlerin kötüleştüğü ve süre bağımlı öğrenme etkili boşluksuz permütasyon akış tipi çizelgeleme problemini incelemiştir. Amaç fonksiyonları tamamlanma zamanının ve toplam ağırlıklandırılmış tamamlanma zamanının minimizasyonu olarak seçilmiştir. Low ve Lin(2013) çalışmalarında bu problemler için optimal sıranın polinomiyele zamanlarda çözülebildiğini göstermişlerdir.

Baskın makineler serisinin artmasıyla boşluksuz permütasyon akış tipi çizelgeleme problemleri için karşı örneklerle doğru olmadığı gösterilmiştir. Daha sonra bu problemleri polinomial olarak çözen yeni kesin çözüm algoritması tanıtılmıştır.

He (2016) genel üstel öğrenme etkili  $m$  makineli permütasyon akış tipi çizelgeleme probleminde maksimum gecikmenin minimizasyonu üzerine çalışmıştır. Çalışmada dal sınır kesme algoritması ile iç içe bölme tabanlı çözüm yaklaşımı kullanmıştır.

Asadi(2017) çalışmasında bulanık işlem süreli ve bulanık öğrenme etkili tek makineli çizelgeleme problemi çalışmıştır. Pozisyona dayalı öğrenme etkisi kullanmıştır. Makespan, toplam tamamlanma süresi ve toplam ağırlıklandırılmış tamamlanma süresinin minimizasyonunu amaçlamıştır. Bu üç amaç için bulanık karma tamsayı doğrusal olmayan programlama modeli kullanmıştır.

### 2.3. Paralel Kanguru Algoritması

Pollard(2000) çalışmasında değer aralığı belirli, isteğe bağlı bir devir grubu içindeki kesikli bir logaritmayı, kesin işlem süresi içinde hesaplamıştır. Çalışmada işlem süresi analiz edilmiştir. Bu nedenle programlar seri ve paralel bilgisayarlar için geliştirilmiştir. İşlem sürelerindeki farklılaşma, kanguruların zıplamalarıyla ilişkilendirilmiştir. Kruskal algoritmasına dayanan bir kart oyunu ve bazı tekel oyunları üzerinden yöntem örneklendirilmiştir.

Jellouli ve Chatelet (2001) stokastik talepler ve teslimat süreleri olan tedarik zincirini incelemişlerdir. Çözüm yöntemi olarak Monte Carlo simülasyonu ve iki metasezgisel yöntem kullanmışlardır. Bu metasezgisellerden biri kanguru algoritması, diğeri ise tabu arama algoritmasıdır. Sonuç olarak kanguru algoritmasının tabu arama algoritmasına göre üstün olduğu sonucuna varılmıştır.

Stein ve Teske (2002) kuadratik fonksiyon alanlarındaki değişmezlerin hesaplanmasında paralel kanguru algoritması kullanmışlardır. Bu alanlara paralel kanguru algoritmasının nasıl uygulanacağını göstermişlerdir. Paralel kanguru algoritması sayesinde çözümü bulmayı hızlandırmışlardır.

Teske(2003) çalışmasında paralize kanguru yöntemli kesikli logaritma hesaplaması incelenmiştir. Pollard kanguru yöntemi keyfi periyodik gruplarda kesikli logaritmayı hesaplar. Seri çok küçük bir alan kullanmıştır. Doğrusal hızlanma ile paralize edilebilir ve paralize versiyonunda alan gereksinimi etkili bir şekilde

izlenebilmiştir. Bu, kanguru yöntemini bu durumdaki kesikli logaritma problemlerinin çözümü için daha güçlü bir yöntem yapmıştır.

Serbencu ve ark.(2007) çalışmalarında kanguru olarak bilinen stokastik nesil algoritması ve karınca kolonisi sistemini birleştirip, tek makineli çizelgeleme probleminin çözümü için metasezgisel önermişlerdir. Melez sistem, sosyal tip çok etmenli sistem ve iteratif çözüm geliştirme yöntemi arasındaki işbirliğine dayalıdır.

Minzu ve Beldiman(2007) çalışmalarında kesikli optimizasyon sistemine paralel melez metasezgisel uygulamasını sunmuşlardır. Bu da kanguru yöntemi ve genetik algoritmanın katılımıyla belirlenmiştir. İmalat alanındaki iki gerçek problem önerilen metasezgisel ile çözülmüştür. Genetik operatörlerin(mutasyon, çaprazlama) uygulanması üzerine öncelik kısıtlamasının etkisi de dikkate alınmıştır.

Kökçam ve Engin(2010) çalışmalarında bulanık proje çizelgeleme problemlerinin meta sezgisel yöntemlerle çözümünü araştırmışlardır. Günümüzde şirketler artık sadece kendi bölgelerinde değil, küreselleşmenin getirdiği küresel pazarlarda rekabet etmek durumundadırlar. Bu rekabetin bir neticesi olarak, gün geçtikçe ürünlerin ömürleri azalırken ürün çeşitliliği artmakta, bu da belirsizliğin artmasına ve planlamanın güçleşmesine yol açmaktadır. Böyle bir ortamda ayakta kalabilmek için şirketlerin doğru kararlar alarak doğru planlar yapması gerekmekte ve bu durum da proje çizelgelemenin önemini artırmaktadır. Bu problemin çözümünde kesin çözüm veren yöntemlerin kullanılması hem gerçekçilik açısından hem de hesaplanması için gerekli süre açısından uygun olmamaktadır. Belirsizliğin çözümünde en doğal yöntem, bulanık küme teorisidir. Bu yöntemin, proje çizelgelemede kullanılmasıyla daha etkili ve verimli çizelgeler oluşturmak mümkün olmaktadır.

Soltani ve ark.(2010) çok kriterli tek makinedeki çok iş sınıflı çizelgeleme için iki güçlü metasezgisel önermişlerdir. İki farklı iş grubu oluşturulmuştur. İş gruplarından birinde toplam ağırlıklandırılmış tamamlanma süresini ve diğerinde ise en büyük gecikmeyi minimize etmeyi amaçlamışlardır. Metasezgisel yöntem olarak melez kanguru tavlama benzetimi algoritmasından yararlanılmıştır. Diğer yöntem ise genetik algoritmadır.

Erdem ve Keskinürk'ün(2011) çalışmalarında iteratif çözüm geliştirme algoritmalarından olan kanguru algoritması anlatılmış, simetrik ve asimetric gezgin satıcı problemlerine uygulanmıştır. Kanguru algoritması, kanguruların zıplama davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiş bir sezgisel yöntemdir. Gezgin satıcı problemlerine uygulanması ilk defa bu çalışmada ele alınmıştır. Çalışmada kanguru

algoritmasının tanıtılması amaçlanmıştır. Algoritma, MATLAB programlama diliyle kodlanmış ve literatürde optimumları bilinen test problemleri üzerinde denenmiştir. Performans kriteri olarak optimum değerleri bulmadaki başarı dikkate alınmıştır. Küçük boyuttaki problemler için oldukça iyi sonuçlar veren algoritma, problem boyutu büyüdükçe optimumdan uzaklaşmaktadır.

Baysal ve ark.(2012) çalışmalarında açık atölye tipi çizelgeleme problemlerinin paralel kanguru algoritması ile çözümünü ele almışlardır. Açık Atölye Tipi Çizelgeleme problemi temelde, her bir işin her makinede işlem görmesi gereken sadece bir işleminin bulunduğu ve işlem sırasının önemli olmadığı bir çizelgeleme problemidir. Çoğunlukla benzer ürün gruplarının üretildiği tesislerde görülmektedir. Bu çalışmada, Açık Atölye Tipi Çizelgeleme problemleri toplam tamamlanma zamanının minimizasyonuna yönelik, rassal zıplama tekniği ile işleyen Paralel Kanguru Algoritması ile çözülmüştür. Paralel Kanguru Algoritması, sürekli daha iyi çözümlere ulaşmaya çalışan meta-sezgisel bir yöntemdir. Literatürde yer alan Açık Atölye Tipi Çizelgeleme; kıyas problemleri, vahşi ve evcil iki kanguru operatörünün paralel çalıştırıldığı, Kanguru Algoritması ile çözülmüştür. Elde edilen değerler, literatürde daha önce ulaşılan en iyi sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Paralel Kanguru Algoritması'nın Açık Atölye Tipi Çizelgeleme problemlerinin çözümünde etkin bir yöntem olduğu belirlenmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Bulanık Öğrenme Etkili Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri

Literatürde  $n/m/C_{max}$  olarak geçen genel akış tipi çizelgeleme problemleri aynı sırayla  $m$  makinede operasyon görmesi gereken  $n$  adet iş içermektedir. Her işin işlem süresi, işlerin kümesi  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$  ve makinelerin kümesi  $j \in \{1, 2, \dots, m\}$  olmak üzere  $p_{ij}$  ile gösterilmiştir. Problem işlerin yarıda kesilmesine müsaade edilmeksizin  $n$  adet işi en küçük tamamlanma zamanını yakalayacak şekilde sıralamaktır. En basit durumda tüm işler sıfır zamanında işlenmeye hazırdır ve hazırlık süreleri  $p_{ij}$ 'nin içinde ve sıra bağımsızdır. Daha gerçekçi durumlarda işler farklı zamanlarda serbest kalır. Böylece dinamik çizelgeleme gerekir ve hazırlık süreleri sıra bağımlıdır. Genel çizelgeleme problemleri  $m > 2$  için NP-Zor kategorisindedir (Agarwal ve ark., 2006).

Çizelgeleme problemleri yıllarca dikkat çekmiştir. Geleneksel çizelgeleme problemlerinde çoğu çalışmada işlerin işlem zamanlarının başlangıçta bilindiği kabul edilse de daha gerçekçi ayarlamalar mevcuttur çünkü firmalar ve çalışanlar her defasında kendilerini geliştirmektedirler. Üretim tesisi zamanla sürekli geliştirilir. Sonuç olarak elde edilen ürünün üretim süresi, çizelgelendiği sıra başlarda değilse daha kısa sürecektir. Bu da üretilen ürünler boyunca deneyim kazanmanın bir sonucu olmaktadır. Bu düşünce literatürde “öğrenme etkisi” olarak bilinmektedir (Wang ve ark., 2013b).

Çizelgeleme problemlerinde işlerin işlem süreleri çalışanın performansı ya da makinenin çalışma hızı gibi faktörlerden etkilenebilir. İşlem süreleri kötümser, normal ve iyimser olarak üç farklı değerden oluşan üçgensel bulanık sayılardan oluşabilir. Öğrenme etkisinin tanımı ise işçinin aynı işi zaman içerisinde sürekli tekrarlaması nedeniyle bir sonraki işi bir öncekinden daha kısa sürede yaptığı bir sistem olarak ifade edilebilir. Bir makinedeki aynı işin her bir tekrarının işlem süresindeki etkisi azaltıcı yöndedir. Yani her bir tekrar işçiye tecrübe kazandıracaktır ve bunun sonucunda işi daha kısa sürede yapacaktır. Bu durum literatürde öğrenme etkisi olarak bilinmektedir. Literatürdeki araştırmacıların çoğu öğrenme etkisini  $[-1, 0]$  aralığında negatif kesin bir değer olarak tanımlamıştır. Literatürde genel olarak iki tür öğrenme etkisi kullanılmıştır. Bunlar iş bağımlı öğrenme etkisi ve sıra bağımlı öğrenme etkisidir. Üçgensel bulanık

sayılardan oluşan işlem sürelerindeki üç değer de öğrenme etkisinden etkilenecektir(Asadi, 2017).

Akış tipi çizelgeleme problemlerinde, üçgensel bulanık sayılardan oluşan işlem süreleri öğrenme etkisinden etkilenip yeni bir bulanık sayıya dönüşür. Bu dönüşümden sonra iş sırasına göre işlerin tamamlanma sürelerini hesaplarken sıralama metodu kullanılmaktadır. Bu metot sayesinde iki bulanık sayı arasında hangisinin daha büyük olduğu öğrenilmektedir.

Öğrenme etkisinin olduğu birçok gerçek durumda, insan eliyle gerçekleşen işlerde, işlerin işlem süreleri belirsiz olabilir ve bulanık sayılarla sunulması daha iyi olacaktır(Ahmadizar ve Hosseini, 2012).

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Paralel Kanguru Algoritması

Kanguru algoritması, adından da anlaşıldığı gibi zıplayarak hareket eden kangurulardan esinlenilerek geliştirilmiş bir algoritmadır. Kanguru algoritması, literatürde Pollard'ın Kangurusu, Pollard'ın Rho algoritması veya Pollard'ın Lambda algoritması olarak da bilinmektedir. Kanguru algoritmasını ilk defa 1978 yılında Pollard ortaya atmıştır(Kökçam ve Engin, 2010).

Kanguru algoritması tavlama benzetimine benzese de kullandığı arama tekniği farklılık ortaya koyar. Kanguru algoritması daha farklı arama tekniği kullanan rassal kökenli bir yakınsama metodudur(Serbencu ve ark., 2007).

Kanguru yöntemi, minimizasyon amaçlı bir  $f(u)$  fonksiyonunun tekrarlı sürecine yerleştirilerek uygulanır. Çözüm sürecinde iyileşme olmuyorsa, zıplama yapılarak yerel minimumun çekim alanından uzaklaşmaya çalışılır. Kısa sürede karşılaşılabile de eldeki çözümden daha iyiye ulaşılması, bu safhada beklenmemektedir. Durma kriteri, maksimum iterasyon sayısı veya amaç fonksiyonunun alt sınırı olabilir(Durmaz, 2011).

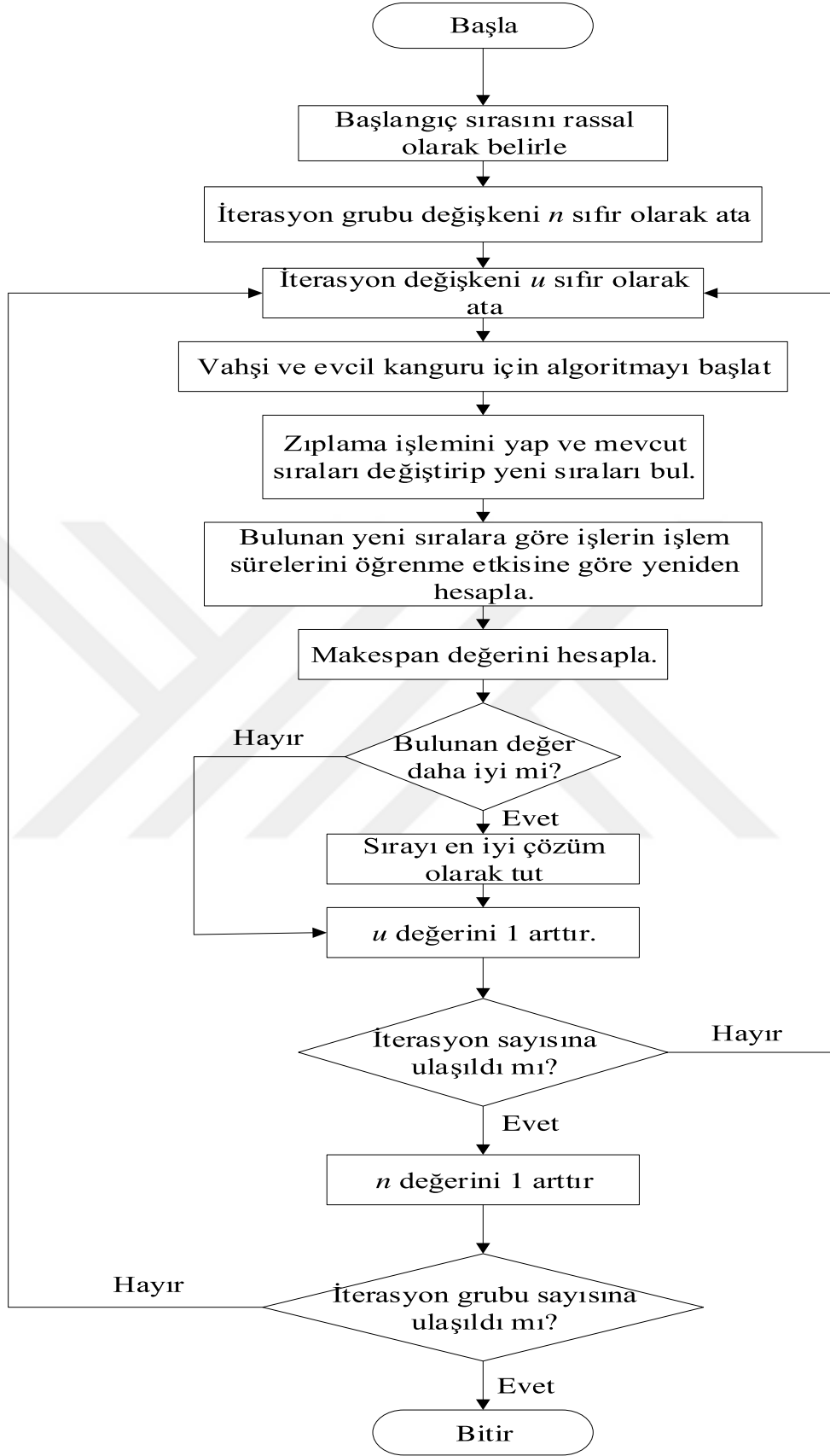
Kanguru algoritmasının uygulaması  $N(u)$  komşuluğu tarzında işlenmiştir;  $i$  ile  $i+1$  konumundaki işlerin yer değiştirmesi ile  $u$ 'dan elde edilen  $u'$  çözüm kümesine ulaşılmıştır. Örneğin; eğer  $u = [1 4 3 2 5]$  ise;

$N(u) = \{[4 1 3 2 5], [1 3 4 2 5], [1 4 2 3 5], [1 4 3 5 2], [5 4 3 2 1]\}$  değerini almaktadır(Minzu ve Beldiman, 2007).

Kanguru yöntemi, aynı zamanda “lambda” yöntemi olarak da bilinmekte, fakat “rho” yönteminin paralelleştirilmesinin popülerleşmesiyle birlikte, “rho” yöntemi “lamda” yöntemi olarak ifade edilmekte ve yöntemler birbirine karıştırılmaktadır. Pollard’ın kesikli logaritmalaraın çözümü için geliştirdiği “rho” yönteminde,  $G$  içinde bir sıralama  $(y_k)$  oluşturulur. Başlangıç terimi  $y_0 \in G$  seçilir, takip eden kural şöyledir:  $y_{k+1} = F(y_k), k \in \mathbb{N}, F: G \rightarrow G$ . Bu periyodik sıralama, boş bir kâğıt üzerine çizilirse, alt köşeden başlayıp bir daireyle sonlanarak Yunan alfabesindeki rho karakterinin şeklini alır. Kanguru yöntemi, kâğıt üzerine aktarılırsa; evcil kanguru sol alttan, vahşi kanguru sağ alttan başlar ve yolları bir süre sonra kesişir. Bu grafik de Yunan alfabesindeki “lambda” karakteriyle aynıdır. Paralleleştirilmiş “rho” yönteminde, farklı “rho” sıralamaları bulunur ve bunların kesiştiği yerlerde lambda görünümü oluşur (Teske, 2003).

Paralel kanguru algoritmasında, adından da anlaşılabilceği gibi, aynı zaman diliminde birbirinden bağımsız zıplayan iki operatör (kanguru) bulunmaktadır. Evcil kanguru küçük adımlarla zıplayarak daha yerel aramalar sağlar. Vahşi kanguru ise daha büyük adımlara sahiptir ve farklı çözüm bölgelerine ulaşmaya çalışır. Uygulamada her iki kanguru hareketlerine aynı anda, farklı başlangıç sıralamaları ile başlarlar ve hedef değere ulaşınca ya kadar veya maksimum iterasyon sayısına ulaşınca ya kadar zıplamaya devam ederler. Her bir zıplayışın ardından amaç fonksiyonu tekrar hesaplanır, elde edilen sonuç, öncekinden daha iyiye yeni sıralama üzerinden devam edilir. Maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında, evcil ve vahşi kangurunun hangisinin ulaştığı sonuç daha iyiye, diğer kanguru da sıradaki iterasyon grubuna o dizilim ile başlar. Bu süreç, hedef değere veya maksimum iterasyon sayısına ulaşılınca ya kadar devam eder (Baysal ve ark., 2012).

Paralel kanguru algoritmasının aşamaları şekil 4’teki gibidir.



Şekil 4. Paralel kanguru algoritmasının iş akış diyagramı



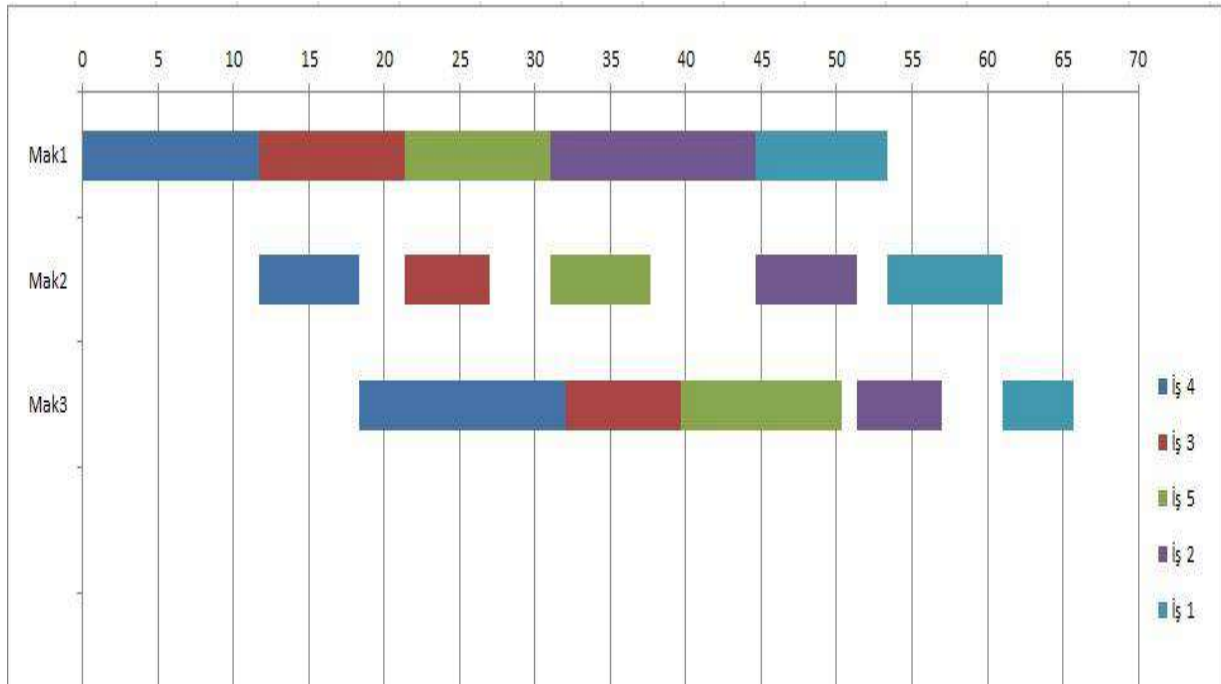
## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Hesaplama Ortamı

Çalışmadaki hesaplamalar, Intel Core i7 6700HQ modeli 2,5 Ghz işlemcili 16 GB belleği olan bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma içerisindeki kodlamalar C# programlama dili ile kodlanmıştır.

### 4.2. Bulgular

Ambika ve Uthra(2014) çalışmalarında işlem süreleri bulanık sayılardan oluşan akış tipi çizelgeleme problemini dal sınır tekniği ile çözmüşlerdir. İşlem süreleri üçgensel bulanık sayı olarak seçilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak toplam geçen süreyi minimize etmek seçilmiştir. Hesaplamalar yapılırken 3 aşamalı akış tipi çizelgeleme problemi örnek olarak alınmıştır. 5 iş ve 3 makineli akış tipi çizelgeleme problemi seçilmiştir. Hesaplamalar sonucunda optimal sıra 4-3-5-2-1 olarak bulunmuştur ve toplam geçen süre üçgensel bulanık sayı olarak (54, 62, 70) olarak saptanmıştır. Bu sıralamanın Gantt diyagramı Şekil 5'teki gibidir. Çalışmadaki paralel kanguru algoritması da Ambika ve Uthra(2014) çalışmalarındaki verileri kullanarak iki farklı alternatif sonuç daha bulmuştur. İlk iki örnek için öğrenme katsayısı 0 olarak seçilmiştir. İlk örnek için parametreler Şekil 6'da program ara yüzünde de göreceğiniz şekilde ayarlanmıştır. Bulunan 3-4-5-2-1 sırasının tamamlanma süresi bulanık sayı değeri olarak (54, 62, 70) tayin edilmiştir. Şekil 5'te 3-4-5-2-1 sırasının Gantt diyagramı yer almaktadır. İkinci örnekte de ilk örnekten farklı olarak adım büyüklüğü parametreleri değiştirilmiştir. Bu örnekte 4-5-3-1-2 sırası bulunmuştur ve tamamlanma süresi aynıdır.



Şekil 5. Ambika ve Uthra (2014) çalışmalarındaki 4-3-5-2-1 sırası için Gantt şeması

Parametre	Değer
İterasyon Sayısı	100
İterasyon Grubu Sayısı	100
Vahşi Kanguru Adım Sayısı	2
Evcil Kanguru Adım Sayısı	1
Öğrenme Katsayısı	0
Cmax	65,6666666666667

Sıra No.	İş No.
1	3
2	4
3	5
4	2
5	1

Şekil 6. Örnek için program ara yüzü

Ambika ve Uthra'nın(2014) çalışmalarında buldukları tamamlanma süresi optimaldir. Mosheiov (2001) çalışmasında kullanılan öğrenme etkisi katsayısı kullanılarak başka bir örnek hazırlanmıştır. Öğrenme etkisinin de işin içine dahil olması sonucu programın bulduğu tamamlanma süresi değeri daha düşük çıkmıştır. Bunu göz

ardı edip, bulunan sırayı öğrenme etkisi olmadan değerlendirildiğinde optimal tamamlanma süresi değerinin elde edildiği görülmektedir.

Bulanık akış tipi çizelgeleri üzerinde yapılan araştırmalardan birisi de Sathish ve Ganesan'ın yaptıkları çalışmadır. Sathish ve Ganesan (2012) çalışmalarında işlerin işlem zamanlarının tam olarak belli olmadığı bulanık akış tipi çizelgeleme problemleri üzerine yeni bir algoritma önermişlerdir. Bu belirsiz parametreler üçgensel bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Bulanık sayıları klasik sayılara dönüştürmeden belirlenen, makine kira politikaları altında yeni tipte bir bulanık aritmetiği ve bulanık sıralama metodu kullanarak makinelerin kiralama maliyetlerinin minimize edildiği bir yöntem sunmuşlardır. Çalışmada 5 iş ve 3 makineli sistem için işlem süreleri üçgensel bulanık sayılar halinde Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Sathish ve Ganesan (2012) çalışmalarındaki bulanık işlem süreleri

<b>Makine</b> <b>İş</b>	M1	M2	M3
1	(7,8,9)	(6,7,8)	(3,4,5)
2	(12,13,14)	(5,6,7)	(4,5,6)
3	(8,10,12)	(4,5,6)	(6,7,8)
4	(10,11,12)	(5,6,7)	(11,12,13)
5	(9,10,11)	(5,6,8)	(8,9,10)

Çalışmada optimal sıranın 4-5-3-2-1 olarak bulunduğu görülmektedir. Buna göre Tablo 1'deki verileri kullandığımız zaman bulanık üçgensel sayılarla tamamlanma süresi Tablo 2'deki gibi olacaktır.

**Tablo 2.** Sathish ve Ganesan (2012) çalışmalarında bulunan optimal sıranın tamamlanma süresi tablosu

	GİRİŞ			ÇIKIŞ			
4. İş	0	0	0	10	11	12	1. Makine
	10	11	12	15	17	19	2. Makine
	15	17	19	26	29	32	3. Makine
5. İş	10	11	12	19	21	23	1. Makine
	19	21	23	24	27	31	2. Makine
	24	27	31	32	36	41	3. Makine
3. İş	19	21	23	27	31	35	1. Makine
	27	31	35	31	36	41	2. Makine
	31	36	41	37	43	49	3. Makine
2. İş	27	31	35	39	44	49	1. Makine
	39	44	49	44	50	56	2. Makine
	44	50	56	48	55	62	3. Makine
1. İş	39	44	49	46	52	58	1. Makine
	46	52	58	52	59	66	2. Makine
	52	59	66	55	63	71	3. Makine

Tablo 2’de görüldüğü gibi sıralamadaki son iş 1 numaralı iştir ve son makine olan 3 numaralı makineden çıktığı süre (55, 63, 71) olarak belirlenmiştir.

Tablo 1’de yer alan bilgiler kullanılıp paralel kanguru algoritması ile çözülmüştür. İş sırası 1-5-3-4-2 olarak tespit edilmiştir. Bu sıra kullanılarak Tablo 2’de yapılan hesaplama metodunu kullanılarak Tablo 3’deki değerler elde edilmiştir.

**Tablo 3.** Öğrenme Etkili Paralel Kanguru Algoritması ile bulunan optimal sıranın tamamlanma süresi tablosu

	GİRİŞ			ÇIKIŞ			
1. İş	0	0	0	7	8	9	1. Makine
	7	8	9	13	15	17	2. Makine
	13	15	17	16	19	22	3. Makine
5. İş	7	8	9	16	18	20	1. Makine
	16	18	20	21	24	28	2. Makine
	21	24	28	29	33	38	3. Makine
3. İş	16	18	20	24	28	32	1. Makine
	24	28	32	28	33	38	2. Makine
	28	33	38	34	40	46	3. Makine
4. İş	24	28	32	34	39	44	1. Makine
	34	39	44	39	45	51	2. Makine
	39	45	51	50	57	64	3. Makine
2. İş	34	39	44	46	52	58	1. Makine
	46	52	58	51	58	65	2. Makine
	51	58	65	55	63	71	3. Makine

Tablo 3'e göre sıralamadaki son iş olan 2 numaralı işin, son makine olan 3 numaralı makinede tamamlanma zamanı (55, 63, 71) olarak görülmektedir. Sathish ve Ganesan (2012) çalışmalarında bulunan optimal sıranın tamamlanma süresi ile eşit olduğu görülmüştür. Bulunan bu sıranın optimal olduğu ve alternatif sıra olduğu görülmüştür.

Aynı şekilde paralel kanguru algoritması öğrenme etkisini dikkate almadan çalıştırılmıştır. Makespan değeri (55, 63, 71) olarak tespit edilmiştir. İş sırası ise 2-5-4-3-1 olarak elde edilmiştir. Tablo 4'te bu sıra, kullanılan hesaplama metodu ile ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Paralel Kanguru Algoritması ile bulunan optimal sıranın tamamlanma süresi tablosu

	GİRİŞ			ÇIKIŞ			
2. İş	0	0	0	12	13	14	1. Makine
	12	13	14	17	19	21	2. Makine
	17	19	21	21	24	27	3. Makine
5. İş	12	13	14	21	23	25	1. Makine
	21	23	25	26	29	33	2. Makine
	26	29	33	34	38	43	3. Makine
4. İş	21	23	25	31	34	37	1. Makine
	31	34	37	36	40	44	2. Makine
	36	40	44	47	52	57	3. Makine
3. İş	31	34	37	39	44	49	1. Makine
	39	44	49	43	49	55	2. Makine
	43	49	55	49	56	63	3. Makine
1. İş	39	44	49	46	52	58	1. Makine
	46	52	58	52	59	66	2. Makine
	52	59	66	55	63	71	3. Makine

Sonuç olarak paralel kanguru algoritmasının Sathish ve Ganesan (2012) çalışmalarındaki gibi başarılı çıktılar elde ettiği görülmüştür.

Lee ve Chung (2013) çalışmalarında öğrenme etkili, toplam gecikmeyi minimize eden permütasyon akış tipi çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Öğrenmeye bağlı olarak işlerin sıralamasına göre işlem zamanlarının değiştiği kabul edilmiştir. Çözümüne ulaşmak amacı ile dal sınır algoritmasını kullanmışlardır. Lee ve Chung (2013) çalışmalarında 3 problem verisi paylaşmıştır ve bunlar üzerinde çözümlere gitmiştir. İlk problemin işlerin işlem süreleri ve teslim zamanlarını içeren veriler Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Lee ve Chung (2013) çalışmalarındaki 1. problem verileri

	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Teslim Zamanı
1. İş	92	29	5	245
2. İş	71	42	4	491
3. İş	32	74	50	373
4. İş	81	93	70	315
5. İş	74	67	99	386

Lee ve Chung (2013) çalışmalarında problem 1 için buldukları optimal sıra 3-4-1-5-2 sırasındır ve minimum toplam gecikme de 11,93 olarak görülmektedir. Bu sıralamaya göre oluşan toplam gecikme Tablo 6’da gösterilmiştir. Sonuç olarak toplamda 11,93 gecikme yaşanmıştır.

**Tablo 6.** Lee ve Chung (2013) çalışmalarındaki 1. problem için toplam gecikme

	Tamamlanma	Teslim Tarihi	Gecikme
1. İş	256,9313589	245	11,93136
2. İş	380,2841678	491	0
3. İş	156	373	0
4. İş	252,7003146	315	0
5. İş	377,1522053	386	0
		Toplam Gecikme	11,93136

Paralel kanguru algoritması aynı veriler için çalıştığında problem 1 için elde edilen sıra 3-4-1-5-2 sırasındır. Bu sıra Lee ve Chung (2013) çalışmalarındaki sıra ile aynıdır.

Lee ve Chung (2013) çalışmalarındaki 2. problemde kullanılan veriler Tablo 7’deki gibidir. Bu veriler kullanılarak çalışmada elde edilen optimal sıra ise 3-4-2-5-1 sırasındır. Bulunan toplam gecikme ise 54,26 olarak görülmektedir.

**Tablo 7.** Lee ve Chung (2013) çalışmalarındaki 2. problem verileri

	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Teslim Zamanı
1. İş	22	90	33	265
2. İş	1	64	28	279
3. İş	1	14	52	284
4. İş	62	3	77	121
5. İş	99	58	42	196

Paralel kanguru algoritmasında Tablo 7’deki veriler kullanılarak Lee ve Chung (2013) çalışmalarındaki ile aynı sıra olan 3-4-2-5-1 optimal sırası bulunmuştur.

Son olarak Lee ve Chung (2013) çalışmalarındaki 3. problemde kullanılan veriler Tablo 8’deki gibidir. Bu veriler kullanılarak çalışmada elde edilen optimal sıra ise 2-3-4-5-1 sırasındır. Bulunan toplam gecikme ise 13,69 olarak görülmektedir.

**Tablo 8.** Lee ve Chung (2013) Çalışmalarındaki 3. Problem Verileri

	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Teslim Zamanı
1. İş	88	84	77	437
2. İş	1	36	75	167
3. İş	64	1	87	238
4. İş	9	54	95	257
5. İş	34	41	66	376

Paralel kanguru algoritmasında Tablo 8'deki veriler kullanılarak Lee ve Chung (2013) çalışmalarındaki ile aynı sıra olan 2-3-4-5-1 optimal sırası bulunmuştur.

McCahon ve Lee (1990) çalışmalarında akış tipi çizelgeleme problemlerinde bulanık işlem zamanlarıyla iş sıralama çalışmışlardır. Johnson algoritması ile Ignall ve Schrage algoritmaları bulanık işlem sürelerini kabul edecek şekilde düzenlenmiştir. Çalışmada örnek olarak hazırlanmış 2 makine ve 6 işten oluşan işlerin işlem süreleri üçgensel bulanık sayılar olan bir akış tipi çizelgeleme problemi olarak irdelenmiştir. Bu problemin çözümünden tamamlanma süresini minimize eden 3-1-2-6-5-4 sırası elde edilmiştir. Elde edilen tamamlanma zamanı ise (38, 62, 173) olmuştur. Çalışmada hazırlanan program 3-2-1-6-5-4 sırasını bulmuştur. Bu sıra alternatif bir sıradır ve aynı tamamlanma zamanı değerini vermektedir.

Amirian ve Sahraeian (2015) desteklenmiş  $\epsilon$ -kısıt metodu kullanarak geçmiş sıra bağımlı hazırlık sürelerinin ve düzenlenmiş öğrenme etkisinin olduğu çok amaçlı akış tipi çizelgeleme problemini çözmüşlerdir. Çalışmada permütasyon olmayan akış tipi çizelgeleme problemi kullanılmıştır. Her bir işin serbest kalma zamanı bulunmaktadır. Tüm işler başlangıçta hazır değildir. Tüm makineler ise başlangıçta hazır durumdadır. Hazırlık süreleri ve bakım süreleri bulunmaktadır. İşlerin işlem süreleri öğrenme etkisine bağlı olarak pozisyona dayalı olarak değişmektedir. Dejong'un öğrenme etkisi tekrar düzenlenip kullanılmıştır. Problemin matematiksel modeli oluşturulup karma tamsayılı doğrusal programlama modeli ile çözülmüştür. Bulunan sonuçlar, önerilen sezgisel ile bulunan sonuçlarla kıyaslanmıştır.

Amirian ve Sahraeian (2015) önerdikleri sezgisel ile Paralel Kanguru Algoritmasını kıyaslayabilmek için düzenlemeler yapılmıştır. Toplamda 13 örnek problem çözülmüştür. Yapılan düzenlemeler sonrasında bulunan makespan değerleri Tablo 9'da karşılaştırılmıştır.



**Tablo 9.** Karşılaştırma Tablosu

Makine x İş x Bakım	$\alpha$ (Öğrenme Yüzdesi %)	Sapma(%)	$\epsilon$ -Kısıt Sezgiseli İşlemci Süresi ortalaması(dk)	Paralel Kanguru Algoritması İşlemci Süresi ortalaması(dk)
<b>3 x 3 x 2</b>	70	<b>0,00</b>	0,50	<b>0,002</b>
	80	<b>0,00</b>	0,52	<b>0,002</b>
	90	<b>0,00</b>	0,56	<b>0,003</b>
<b>7 x 3 x 3</b>	70	0,70	14,80	<b>0,003</b>
	80	0,61	10,04	<b>0,004</b>
	90	0,34	9,18	<b>0,004</b>
<b>2 x 5 x 1</b>	70	<b>0,00</b>	49,94	<b>0,002</b>
	80	0,05	33,43	<b>0,002</b>
	90	<b>0,00</b>	50,99	<b>0,002</b>
<b>4 x 4 x 3</b>	70	0,15	46,37	<b>0,004</b>
	80	0,06	44,42	<b>0,003</b>
	90	<b>0,00</b>	51,68	<b>0,003</b>
<b>3 x 2 x 2</b>	80	<b>0,00</b>	-	-

Çözülen bu 13 örnekten 7 tanesinde başarılı sonuçlar bulunmuştur. Kalan örneklerdeki yüzde sapmalar Tablo 9’da da görüldüğü gibi çok düşüktür. Tablodaki koyu renkli değerler daha iyi sonuçları ifade etmektedir. Süre olarak da Paralel Kanguru Algoritması’nın daha kısa olduğu görülmektedir. Özellikle iş çevresindeki zaman kısıtı, düşük sürelerde sonuca ulaşma ihtiyacı doğurmaktadır. Bu nedenle geçen sürenin önemli bir etken olduğu söylenebilir. Dolayısı ile Paralel Kanguru Algoritması’nın başarılı sonuçlar çıkardığı görülmektedir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Araştırmada akış tipi çizelgeleme problemlerine, bulanık mantık ve öğrenme etkisi uygulanmıştır. Problemden tamamlanma zamanının minimizasyonu amaçlanmıştır. Söz konusu problem NP-Zor kategorisinde olduğu için sezgisel yöntemlerle çözülmesi daha kısa süre alacaktır. Çözüm yöntemi olarak da sezgisel bir yöntem olan Paralel Kanguru Algoritması önerilmiştir. Araştırma sonuçları literatürdeki farklı çalışmalarla kıyaslanmıştır.

Araştırma literatürdeki 5 iş ve 3 makineden oluşan bulanık işlem süreli akış tipi çizelgeleme problemlerini inceleyen Ambika ve Uthra(2014) çalışmalarıyla kıyaslanmıştır. Çalışmada bulunan optimal tamamlanma zamanı ile aynı sonuca ulaşılmıştır.

Literatürdeki Sathish ve Ganesan (2012) çalışmalarındaki verilere, öğrenme etkisi de eklenerek çözüm sağlanmıştır. Bu çözüm sonucunda optimum tamamlanma süresi bulunmuş ve alternatif iş sırası elde edilmiştir.

Araştırmada kullanılan amaç fonksiyonu tamamlanma zamanının minimizasyonudur. Fakat literatürdeki Lee ve Chung (2013) çalışmalarında amaç fonksiyonu toplam gecikmenin minimizasyonu olarak belirlendiğinden, kıyaslama yapılabilmesi açısından algoritmadaki amaç fonksiyonu tekrar düzenlenmiştir. Bu şartlar altında verilen üç örnekte de optimal sonuçlara ulaşılmıştır.

Literatürdeki bir diğer çalışma olan Amirian ve Sahraeian (2015) verileri kullanılarak çözüm sağlanmıştır. Sonuçlara bakıldığında, işlemci süresi olarak 13 problemden 7 tanesinde büyük başarı elde edilmiştir ve optimal çözüme daha kısa sürelerde ulaşılmıştır. Kalan 6 problemde ise optimale yakın sonuçlar bulunmuştur. Ancak işlemci süresi olarak bakıldığında yine çok düşük olduğu görülmüştür.

Bu kıyaslama sonuçları dikkate alındığında, araştırmada önerilen Paralel Kanguru Algoritması'nın başarıya ulaştığı görülebilmektedir.

### 5.2. Öneriler

Çizelgeleme problemlerinin belirsizliklerinin en aza indirilmesi çözümü zorlaştırırsa da gerçeğe daha yakın sonuçlar alınmasını sağlamaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda gerçek hayattan bir problem farklı bir algoritma ile ele alınıp çözülebilir. Bu iki algoritmanın sonuçları gerçek hayatta çıkan sonuçlarla kıyaslanıp yüzde sapmaları bulunabilir.

## KAYNAKLAR

- Abdullah, S. ve Abdolrazzag-Nezhad, M., 2014, Fuzzy job-shop scheduling problems: A review, *Information Sciences*, 278, 380-407.
- Agarwal, A., Colak, S. ve Eryarsoy, E., 2006, Improvement heuristic for the flow-shop scheduling problem: An adaptive-learning approach, *European Journal of Operational Research*, 169 (3), 801-815.
- Ahmadizar, F. ve Hosseini, L., 2012, Minimizing makespan in a single-machine scheduling problem with a learning effect and fuzzy processing times, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 65 (1-4), 581-587.
- Ambika, G. ve Uthra, G., 2014, Branch and Bound Technique in Flow Shop Scheduling Using Fuzzy Processing Times, *Annals of Pure and Applied Mathematics*, 8 (2), 37-42
- Amirian, H. ve Sahraeian, R., 2015, Augmented  $\epsilon$ -constraint method in multi-objective flowshop problem with past sequence set-up times and a modified learning effect, *International Journal of Production Research*, 53 (19), 5962-5976.
- Asadi, H., 2017, Apply Fuzzy Learning Effect with Fuzzy Processing Times for Single Machine Scheduling Problems, *Journal of Manufacturing Systems*, 42, 244-261.
- Bachman, A. ve Janiak, A., 2004, Scheduling jobs with position-dependent processing times, *Journal of the Operational Research Society*, 55, 257-263.
- Balin, S., 2011, Parallel machine scheduling with fuzzy processing times using a robust genetic algorithm and simulation, *Information Sciences*, 181 (17), 3551-3569.
- Baysal, M. E., Durmaz, T., Sarucan, A. ve Engin, O., 2012, Açık atölye tipi çizelgeleme problemlerinin paralel kanguru algoritması ile çözümü, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27, 855-864.
- Behnamian, J. ve Fatemi Ghomi, S. M. T., 2014, Multi-objective fuzzy multiprocessor flowshop scheduling, *Applied Soft Computing*, 21, 139-148.
- Biskup, D., 1999, Single-machine scheduling with learning considerations, *European Journal of Operational Research*, 115, 173-178.
- Biskup, D., 2008, A state-of-the-art review on scheduling with learning effects, *European Journal of Operational Research*, 188 (2), 315-329.
- Cheng, T., Wu, C. ve Lee, W., 2008, Some scheduling problems with sum-of-processing-times-based and job-position-based learning effects, *Information Sciences*, 178 (11), 2476-2487.
- Dong, Y., 2003, One Machine Fuzzy Scheduling to Minimize Total Weighted Tardiness, Earliness, and Recourse Cost, *International Journal of Smart Engineering System Design*, 5 (3), 135-147.
- Durmaz, T., 2011, Açık Atölye Çizelgeleme Problemlerinin Paralel Kanguru Algoritması ile Çözümü, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*.
- Engin, O., Kahraman, C. ve Yılmaz, M. K., 2009, A Scatter Search Method for Multi Objective Fuzzy Permutation Flow Shop Scheduling Problem A Real World Application, *U.K. Chakraborty (Ed.): Comput. Intel. in Flow Shop and Job Shop Sched.*, SCI 230, 169-189.
- Engin, O., Yılmaz, M. K., Kahraman, C., Baysal, M. E. ve Sarucan, A., 2011, A Scatter Search Method for Fuzzy Job Shop Scheduling Problem with Availability Constraints, *Proceedings of the World Congress on Engineering*, Vol II, 1144-1148.

- Erdem, Y. ve Keskindürk, T., 2011, Paralel Kanguru Algoritması ve Gezgin Satıcı Problemine Uygulanması, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19, 51-63.
- Gao, K. Z., Suganthan, P. N., Pan, Q. K., Chua, T. J., Chong, C. S. ve Cai, T. X., 2016a, An improved artificial bee colony algorithm for flexible job-shop scheduling problem with fuzzy processing time, *Expert Systems with Applications*, 65, 52-67.
- Gao, K. Z., Suganthan, P. N., Pan, Q. K., Tasgetiren, M. F. ve Sadollah, A., 2016b, Artificial bee colony algorithm for scheduling and rescheduling fuzzy flexible job shop problem with new job insertion, *Knowledge-Based Systems*, 109, 1-16.
- He, H., 2016, Minimization of maximum lateness in an m-machine permutation flow shop with a general exponential learning effect, *Computers & Industrial Engineering*, 97, 73-83.
- Huang, W., Oh, S.-K. ve Pedrycz, W., 2013, A fuzzy time-dependent project scheduling problem, *Information Sciences*, 246, 100-114.
- Janiak, A. ve Rudek, R., 2010, A note on a makespan minimization problem with a multi-ability learning effect, *Omega*, 38 (3-4), 213-217.
- Jellouli, O. ve Chatelet, E., 2001, Monte Carlo simulation and stochastic algorithms for optimising supply chain management in an uncertain environment, *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. e-Systems and e-Man for Cybernetics in Cyberspace (Cat.No.01CH37236)*, 1840-1844 vol.1843.
- Ji, M., Tang, X., Zhang, X. ve Cheng, T. C. E., 2015, Machine scheduling with deteriorating jobs and DeJong's learning effect, *Computers & Industrial Engineering*, 91, 42-47.
- Kahraman, C., Engin, O. ve Yilmaz, M. K., 2009, A New Artificial Immune System Algorithm for Multiobjective Fuzzy Flow Shop, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 2 (3), 236-247.
- Kökçam, A. H. ve Engin, O., 2010, Solving the fuzzy project scheduling problems with metaheuristic methods, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi (Sigma)*, 28, 86-101.
- Lai, P.-J. ve Lee, W.-C., 2011, Single-machine scheduling with general sum-of-processing-time-based and position-based learning effects, *Omega*, 39 (5), 467-471.
- Lee, W.-C. ve Chung, Y.-H., 2013, Permutation flowshop scheduling to minimize the total tardiness with learning effects, *International Journal of Production Economics*, 141 (1), 327-334.
- Lei, D., 2010, Fuzzy job shop scheduling problem with availability constraints, *Computers & Industrial Engineering*, 58 (4), 610-617.
- Lei, D. ve Guo, X., 2012, Swarm-based neighbourhood search algorithm for fuzzy flexible job shop scheduling, *International Journal of Production Research*, 50 (6), 1639-1649.
- Liao, T. W. ve Su, P., 2017, Parallel machine scheduling in fuzzy environment with hybrid ant colony optimization including a comparison of fuzzy number ranking methods in consideration of spread of fuzziness, *Applied Soft Computing*, 56, 65-81.
- Lin, J., 2015, A hybrid biogeography-based optimization for the fuzzy flexible job-shop scheduling problem, *Knowledge-Based Systems*, 78, 59-74.
- Liu, B., Fan, Y. ve Liu, Y., 2015, A fast estimation of distribution algorithm for dynamic fuzzy flexible job-shop scheduling problem, *Computers & Industrial Engineering*, 87, 193-201.

- Liu, G.-S., Zhou, Y. ve Yang, H.-D., 2017, Minimizing energy consumption and tardiness penalty for fuzzy flow shop scheduling with state-dependent setup time, *Journal of Cleaner Production*, 147, 470-484.
- Low, C. ve Lin, W.-Y., 2013, Some scheduling problems with time-dependent learning effect and deteriorating jobs, *Applied Mathematical Modelling*, 37 (20-21), 8865-8875.
- Lowe, C. ve Tedford, J. D., 1997, Fuzzy Production Scheduling for JIT Manufacturing, *Intelligent Automation & Soft Computing*, 3 (4), 319-329.
- Lu, Y.-Y., 2015, Research on no-idle permutation flowshop scheduling with time-dependent learning effect and deteriorating jobs, *Applied Mathematical Modelling*, 3447-3450.
- McCahon, C. S. ve Lee, E. S., 1990, Job sequencing with fuzzy processing times, *Computers & Mathematics with Applications*, 19 (7), 31-41.
- Minzu, V. ve Beldiman, L., 2007, Some aspects concerning the implementation of a parallel hybrid metaheuristic, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 20 (7), 993-999.
- Mitsuru Kuroda, Z. W., 1996, Fuzzy Job Scheduling, *Int. J. Production Economics*, 44, 45-51.
- Mosheiov, G., 2001, Scheduling problems with a learning effect, *European Journal of Operational Research*, 132, 687-693.
- Noori-Darvish, S., Mahdavi, I. ve Mahdavi-Amiri, N., 2012, A bi-objective possibilistic programming model for open shop scheduling problems with sequence-dependent setup times, fuzzy processing times, and fuzzy due dates, *Applied Soft Computing*, 12 (4), 1399-1416.
- Palacios, J. J., González, M. A., Vela, C. R., González-Rodríguez, I. ve Puente, J., 2015, Genetic tabu search for the fuzzy flexible job shop problem, *Computers & Operations Research*, 54, 74-89.
- Peng, J. ve Iwamura, K., 2003, Three types of models for stochastic scheduling with fuzzy information, *Journal of Statistics and Management Systems*, 6 (3), 493-504.
- Petrovic, S., Fayad, C. ve Petrovic, D., 2008, Sensitivity analysis of a fuzzy multiobjective scheduling problem, *International Journal of Production Research*, 46 (12), 3327-3344.
- Pollard, J. M., 2000, Kangaroos, Monopoly and Discrete Logarithms, *Journal of Cryptology*, 13 (4), 437-447.
- Rostami, M., Pilerood, A. E. ve Mazdeh, M. M., 2015, Multi-objective parallel machine scheduling problem with job deterioration and learning effect under fuzzy environment, *Computers & Industrial Engineering*, 85, 206-215.
- Sathish, S. ve Ganesan, K., 2012, Flow Shop Scheduling Problem to minimize the Rental Cost under Fuzzy Environment, *Journal of Natural Sciences Research*, 2 (10), 62-68.
- Serbencu, A., Minzu, V. ve Serbencu, A., 2007, An Ant Colony System Based Metaheuristic for Solving Single Machine Scheduling Problem, *The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati Fascicle III*.
- Soltani, R., Jolai, F. ve Zandieh, M., 2010, Two robust meta-heuristics for scheduling multiple job classes on a single machine with multiple criteria, *Expert Systems with Applications*, 37 (8), 5951-5959.
- Stein, A. ve Teske, E., 2002, The parallelized Pollard kangaroo method in real Quadratic function fields, *Math. Comput.*, 71 (238), 793-814.

- Teske, E., 2003, Computing discrete logarithms with the parallelized kangaroo method, *Discrete Applied Mathematics*, 130 (1), 61-82.
- Torabi, S. A., Sahebjamnia, N., Mansouri, S. A. ve Bajestani, M. A., 2013, A particle swarm optimization for a fuzzy multi-objective unrelated parallel machines scheduling problem, *Applied Soft Computing*, 13 (12), 4750-4762.
- Vahedi-Nouri, B., Fattahi, P., Tavakkoli-Moghaddam, R. ve Ramezani, R., 2014, A general flow shop scheduling problem with consideration of position-based learning effect and multiple availability constraints, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 73 (5-8), 601-611.
- Vahedi Nouri, B., Fattahi, P. ve Ramezani, R., 2013, Hybrid firefly-simulated annealing algorithm for the flow shop problem with learning effects and flexible maintenance activities, *International Journal of Production Research*, 51 (12), 3501-3515.
- Wang, J. B., Ng, C. T., Cheng, T. C. E. ve Liu, L. L., 2008, Single-machine scheduling with a time-dependent learning effect, *International Journal of Production Economics*, 111 (2), 802-811.
- Wang, L., Zhou, G., Xu, Y. ve Liu, M., 2013a, A hybrid artificial bee colony algorithm for the fuzzy flexible job-shop scheduling problem, *International Journal of Production Research*, 51 (12), 3593-3608.
- Wang, X.-Y., Zhou, Z., Zhang, X., Ji, P. ve Wang, J.-B., 2013b, Several flow shop scheduling problems with truncated position-based learning effect, *Computers & Operations Research*, 40 (12), 2906-2929.
- Xu, Y., Wang, L., Wang, S.-y. ve Liu, M., 2015, An effective teaching-learning-based optimization algorithm for the flexible job-shop scheduling problem with fuzzy processing time, *Neurocomputing*, 148, 260-268.
- Yeh, W.-C., Lai, P.-J., Lee, W.-C. ve Chuang, M.-C., 2014, Parallel-machine scheduling to minimize makespan with fuzzy processing times and learning effects, *Information Sciences*, 269, 142-158.
- Yimer, A. D. ve Demirli, K., 2009, Fuzzy scheduling of job orders in a two-stage flowshop with batch-processing machines, *International Journal of Approximate Reasoning*, 50 (1), 117-137.
- Yin, Y., Xu, D., Sun, K. ve Li, H., 2009, Some scheduling problems with general position-dependent and time-dependent learning effects, *Information Sciences*, 179 (14), 2416-2425.
- Zhang, X., Yan, G., Huang, W. ve Tang, G., 2012, A note on machine scheduling with sum-of-logarithm-processing-time-based and position-based learning effects, *Information Sciences*, 187, 298-304.

**ÖZGEÇMİŞ****KİŞİSEL BİLGİLER**

**AdıSoyadı** : Ahmet Sezer KÜPELİ  
**Uyruğu** : T.C.  
**DoğumYeriveTarihi** : İSKENDERUN/ 27.02.1992  
**Telefon** :  
**Faks** :  
**e-mail** : [sezerkupeli@gmail.com](mailto:sezerkupeli@gmail.com)

**EĞİTİM**

<b>Derece</b>	<b>Adı, İlçe, İl</b>	<b>BitirmeYılı</b>
Lise	: İskenderun Cumhuriyet A.L. İskenderun/HATAY	2010
Üniversite	: SelçukÜniversitesi Selçuklu/KONYA	2014
YüksekLisans	: SelçukÜniversitesi Selçuklu/KONYA	-
Doktora	: -	-

**İŞ DENEYİMLERİ**

<b>Yıl</b>	<b>Kurum</b>	<b>Görevi</b>
2014-2016	Bizcanlı Redüktör A.Ş.	Endüstri Mühendisi
2016-	ASC Hidrolik A.Ş.	Endüstri Mühendisi

**UZMANLIK ALANI:** Endüstri Mühendisliği

**YABANCI DİLLER:** İngilizce, Rusça