



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Hazırlık Zamanlı Ortak Teslim Tarihli Özdeş Paralel Makine Çizelgeleme Problemlerinin Çok Amaçlı Çözümü

Solving multi-objective identical parallel machine scheduling problems with a common due date and set-up times

Yazar(lar) (Author(s)): Serkan KAYA, İ. Hakan KARAÇİZMELİ

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): ;Kaya S., Karaçizmeli İ.H., “Hazırlık Zamanlı Ortak Teslim Tarihli Özdeş Paralel Makine Çizelgeleme Problemlerinin Çok Amaçlı Çözümü”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3): 205-213, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>

Hazırlık Zamanlı Ortak Teslim Tarihli Özdeş Paralel Makine Çizelgeleme Problemlerinin Çok Amaçlı Çözümü

Serkan KAYA¹, İ. Hakan KARAÇİZMELİ²

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

e-posta: serkankaya@harran.edu.tr

²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa.

e-posta: hkaracizmeli@harran.edu.tr

Geliş Tarihi: 04.12.2018

Kabul Tarihi: 29.12.2018

Özet

Paralel makine çizelgeleme problemi tek makine çizelgeleme probleminin genişletilmiş hâlidir. Aynı işi yapan birden fazla makinenin olduğu üretim ortamları, paralel makineli üretim ortamları olarak tanımlanır. Paralel makine çizelgeleme problemleri işlerin makinelere atanması ve sıralanması alt problemlerinden oluşmaktadır. Bu nedenle paralel makine çizelgeleme problemleri tek makine çizelgeleme problemlerine göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Öncelik kuralları çizelgeleme problemlerine kolaylıkla uygulanabilmelerinden dolayı tercih edilen klasik yöntemlerdir. Yerel arama algoritmaları genellikle diğer algoritmalar tarafından bulunmuş bir başlangıç çözümü ile çalışmaya başlar ve öncekinden daha iyi bir performans değerine ulaştığında sonlanır. Bu çalışmada, sıra bağımlı hazırlık zamanlı, ortak teslim tarihli özdeş paralel makine çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Ele alınan performans ölçütleri ortalama tamamlanma zamanı ve maksimum tamamlanma zamanıdır. Klasik öncelik kuralları ile elde edilen başlangıç çözümleri yerel arama algoritması ile geliştirilmiştir. Elde edilen pareto optimal sonuçlar literatürdeki diğer sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yerel arama algoritması ile elde edilen sonuçların klasik sıralama kurallarına ve karınca kolonileri algoritmasına göre daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Çok amaçlı çizelgeleme; Özdeş paralel makine; Yerel arama algoritması; öncelik kuralları.

Solving multi-objective identical parallel machine scheduling problems with a common due date and set-up times

Abstract

The parallel machine scheduling problem is an extension of the single machine scheduling problem. Production environments with multiple machines performing the same job are defined as parallel machine production environments. Parallel machine scheduling problems consist of sub problems of assigning jobs to machines and sequencing them. Therefore, parallel machine scheduling problems are more complex than single machine scheduling problems. Dispatching rules are the preferred classical methods for solving such problems since they can be easily applied. Local search algorithms usually start with an initial solution found by other algorithms and terminate when they reach a better performance value than before. In this study, the problem of identical parallel machine scheduling problem with sequence dependent set up time, common due date is discussed. The performance measures dealt are the mean and maximum completion time. The initial solutions obtained by classical dispatching rules are improved with the local search algorithm. The pareto optimal results were compared with the other results in the literature. It has been shown that the results obtained with the local search algorithm give better results than the classical dispatching rules and the ant colonies algorithm.

Keywords: Multi-objective scheduling; identical parallel machine; Local search algorithm; Dispatching rules.

1. Giriş

Çizelgeleme genel olarak, bir işletmede belirli bir dönem aralığında yapılacak işlerin sıralarının ve sürelerinin belirlenmesi ve bu işlerin yapılabilmesi için kaynakların tahsis edilerek optimum üretim hedeflerini yakalama çalışmaları olarak tanımlanabilir. Pinedo (2008) çizelgelemeyi, belirli bir zaman sürecinde kaynakların işlere tahsis edilmesini

ve bir veya daha fazla amacın optimizasyonunu hedefleyen, üretim ve hizmet sektörlerinin birçoğunda düzenli olarak kullanılan bir karar verme süreci olarak tanımlamıştır [1].

Çizelgelemenin temel amacı üretim kaynaklarının en verimli şekilde kullanılması, müşteri ihtiyaçlarına hızlı bir şekilde cevap verilmesi, ürün teslimatlarının gecikmemesi, işletmedeki yarı mamul stok ve fazla

mesai çalışmalarının azaltılması, maliyetlerin düşürülmesi olarak düşünülebilir. Bir işletmedeki yarı mamul yığılmaları, fazla mesai kararları, makineler arasındaki iş dağılımının üretim akışını sağlayacak şekilde olması çizelgeleme konusu olarak söylenebilir.

Çizelgeleme problemleri sınıflandırılırken temel alınan kriterlerden en önemlisi üretim ortamının türüdür. Günümüzde farklı yapı ve özelliklere sahip üretim ortamlarına rastlanmaktadır. Çizelgeleme probleminde ele alınan üretim ortamının türü, problemin kısıtlarını ve kaynakların özelliklerini etkileyecektir. Üretim ortamının çeşitliliğine göre çizelgeleme problemleri de çeşitlilik göstermektedir. Çizelgeleme problemi, tek makineli birden fazla işin sıralandığı problemlerden, çok makineli karmaşık atölye yapısının olduğu boyutlara kadar farklılıklar gösterebilmektedir.

Tek makineli çizelgeleme ortamı, sistemde sadece bir makinenin bulunduğu durumu ifade eder ve diğer çizelgeleme problemlerine göre en kolay problem sınıfı olarak tanımlanır. Tek makineli ortamda kullanılan yöntemler aynı zamanda daha karmaşık problemlerin çözümüne de ışık tutar. Paralel makine çizelgeleme problemleri işlerin sistemdeki m adet makine grubundan herhangi birinde işleme durumunun olduğu problem sınıfına girer. Paralel makine çizelgeleme problemleri aslında tek makine çizelgeleme problemlerinin genelleştirilmiş halidir.

Bu çalışmada ortak teslim zamanına sahip sıra bağımlı hazırlık zamanlı özdeş paralel makine çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problemin başlangıç çözümleri klasik sıralama kuralları ile yapıldıktan sonra elde edilen çözümleri geliştirmek için yerel arama algoritması kullanılmıştır. Yerel arama algoritmasının verimliliğini ölçmek için literatürdeki problem setleri ile çözümler gerçekleştirilmiş ve literatürdeki diğer sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde özdeş paralel makine çizelgeleme problemleri üzerine literatürde yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde özdeş paralel makine çizelgeleme problemine, çizelgeleme problemlerinde kullanılan klasik öncelik kurallarına ve yerel arama algoritmasına değinilmiştir. Dördüncü bölümde deneysel sonuçlar, çalışmanın son bölümünde ise sonuçlar verilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

2. Literatür Taraması

Literatürde paralel makine çizelgeleme problemlerinin değişik versiyonları için oldukça yapılmış çalışma söz konusudur. Ruiz-Torres ve diğ. [2] iki amaçlı paralel makine çizelgeleme problemlerinin çözümü için pareto tabanlı tavlama benzetimi algoritması sunmuşlardır. Min ve Cheng [3] paralel makine çizelgeleme problemini toplam tamamlanma zamanı amaçlı olarak optimize etmek için genetik algoritma sunmuşlardır. Silva ve diğ. [4] aynı probleminin aynı amaç fonksiyonu için karınca kolonileri algoritması sunmuşlardır. Rajakumar ve diğ. [5] rasgele, en kısa işlem zamanı ve en uzun işlem zamanı olmak üzere 3 farklı öncelik stratejisi tanımlamışlar ve çözümler elde etmişlerdir. Çalışmaları sonucunda en uzun işlem zamanı stratejisinin diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Sankar ve diğ. [6] karınca kolonileri algoritmasına yerel aramayı adapte ederek daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Toksarı ve Güner [7] paralel makinelerde erken geç tamamlanma amaçlı problemin çözümü için matematiksel model ve bir algoritma sunmuşlardır.

Chen ve diğ. [8] tekrar işlemeli paralel makine çizelgeleme probleminin maksimum tamamlanma zamanı amaçlı çözümü için sıralama kurallarının bulunduğu sezgisel bir yöntem önermişlerdir. Edis ve diğ. [9] işlerin ve operatörlerin paralel makineler boyunca çizelgelenmesini gerektiren gerçek yaşam problemini ele almışlardır. Maksimum tamamlanma zamanını minimize amaçlı problemin çözümü için tamsayı ve kısıt programlama modeli geliştirmişlerdir. Gomes ve diğ. [10] özdeş paralel makine çizelgeleme problemlerinin çözümü için tamsayılı lineer programlama modeli sunmuşlardır. Özdeş paralel makine çizelgeleme probleminin toplam gecikmeyi minimize amaçlı çözümü için Shim ve Kim [11] dal sınır algoritması, Anghinolfi ve Paolucci [12] melez tabu arama ve tavlama benzetimi algoritması sunmuşlardır. Kaya ve diğ. [13] maksimum tamamlanma zamanı ve ortalama tamamlanma zamanı amaç ölçütlü olmak üzere ortak teslim tarihli özdeş paralel makine çizelgelemenin problemlerinin çözümü için karışık tamsayılı programlama modeli ve parçacık sürü optimizasyonu algoritması sunmuşlardır.

Eren [15] sıra bağımlı hazırlık zamanlı özdeş paralel makine çizelgeleme probleminin çözümü için matematiksel programlama modeli önermiştir.

Problemi toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı ve toplam gecikme olmak üzere çok amaçlı olarak ele almıştır. Driessel ve Moench [16] aynı problemin toplam ağırlıklı gecikmenin minimizasyonu amaçlı çözümü için değişken komşuluk arama algoritması sunmuştur. Cota ve diğ. [17] sıra bağımlı hazırlık zamanlı paralel makine problemi için maksimum tamamlanma zamanını minimize amaçlı yerel arama algoritması sunmuştur. Chen [18] hazırlık zamanlı ve teslim süreli birbirinden bağımsız paralel makine çizelgeleme problemlerinin toplam gecikmeyi minimize amaçlı çözümü için tavlama benzetimi önermiştir.

Yılmaz Eroğlu ve diğ. [19] bölünebilir ve sıra bağımlı hazırlık süreli ilişkisiz paralel makine çizelgeleme probleminin maksimum tamamlanma zamanı amaçlı çözümü için genetik algoritma önermişlerdir. Araştırmacılar gerçek yaşam problemi çözmüş ve etkin sonuçlar almışlardır. Wang ve diğ. [20] işlerin bölünebilir olduğu öğrenme etkili paralel makine çizelgeleme problemini toplam tamamlanma zamanı amaçlı ele almışlardır. Küçük boyutlu problemlerin çözümü için dal sınır algoritması, büyük boyutlu problemlerin çözümü için sezgisel yöntem önermişlerdir. Yang [21] özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme probleminin maksimum tamamlanma zamanı amaçlı çözümü için yapay arı kolonisi algoritması önermişlerdir. Eren ve Güner [22] toplam akış zamanı amaçlı hazırlık ve taşıma zamanlarının öğrenme etkili olduğu paralel makine çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Yeh ve diğ. [23] bulanık öğrenme etkili özdeş paralel makine çizelgeleme probleminin maksimum tamamlanma zamanı amaçlı çözümü için tavlama benzetimi ve genetik algoritma sunmuşlardır.

3. Özdeş Paralel Makine Çizelgeleme Problemi

İşlerin sistemde mevcut olan m adet makine grubundan herhangi birinde yapılabileceği çizelgeleme problemleri paralel makineli çizelgeleme problemlerini oluşturur. Paralel makineli çizelgeleme problemleri aslında tek makine çizelgeleme problemlerinin genelleştirilmiş halidir. Paralel makinelerde işler her bir makinede değişik sürelerde işlenebilir. Bazı paralel makine çizelgeleme problemlerinde işlerin tamamı tüm makine setlerinde işlem görebilirken, bazı problemlerde işler m adet makinenin alt seti olan daha az makine grubunda işlem görebilir[14].

Paralel makineli çizelgeleme ortamları; özdeş, benzer ve birbirinden bağımsız olmak üzere 3 gruba ayrılır. Üretim ortamında, aynı hıza sahip aynı işi yapan makineler söz konusu ise özdeş paralel makineli çizelgeleme ortamı olarak nitelendirilir. Özdeş paralel makineli ortamda işlemlerden herhangi birisi herhangi bir makinede işlem görebilir. Üretim ortamında birbirinden farklı hızlara sahip makineler söz konusu ise benzer paralel makine üretim ortamı olarak nitelendirilir. Makine hızlarının işlere bağlı olarak değiştiği durumların olduğu üretim ortamları ise bağımsız paralel makine üretim ortamı olarak nitelendirilir.

Paralel makine çizelgeleme problemleri işlerin makinelere atanması ve makinelere atanan bu işlerin sıralanması olmak üzere iki alt problemden oluşmaktadır.

Paralel makine çizelgelemede temelde ele alınan üç amaç; üretim süresinin, toplam tamamlanma süresinin ve maksimum gecikmenin minimize edilmesidir. Tek makine çizelgelemede üretim süresinin minimize edilmesi amacı genellikle yalnızca hazırlık zamanlarına bağlı bir sıralama oluşturulması ile sağlanıyordu. Diğer taraftan üretim süresi işlem sürelerinin toplamına eşitti ve sıralamadan bağımsız idi. Paralel makine çizelgeleme ile birlikte üretim süresi kayda değer bir amaç haline gelmiştir [1].

Örnek Problem: 14 iş 3 makineden oluşan özdeş paralel makineli çizelgeleme ortamına ait problemin ortak teslim zamanı 100'dür. 14 işe ait işlem süreleri Tablo 1'de verildiği gibidir[26]. Problem verileri Jozefowska (2007) çalışmasından alınmıştır. Örnek problemde ele alınan amaç fonksiyonları; maksimum tamamlanma zamanı (C_{max}) ve ortalama tamamlanma zamanı (C_{ort}) şeklindedir. Problemin çözümüne ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

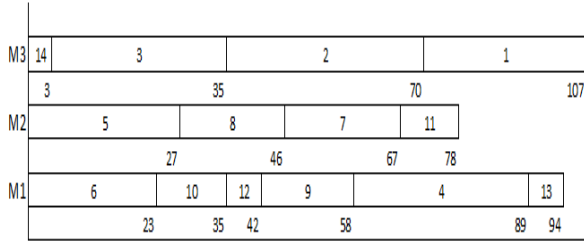
Örnek problem sonucu Jozefowska (2007) tarafından $C_{max} = 112$ ve $C_{ort} = 63,21$ şeklinde bulunurken yerel arama algoritması ile elde edilen sonuç $C_{max} = 107$ ve $C_{ort} = 55,29$ şeklinde gerçekleşmiştir. Yerel arama algoritması ile elde edilen çözüme ait Gantt şeması Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. 14 İş 3 Makine Özdeş Paralel Makine Çizelgeleme Problemi İşlem Zamanları.

İşler	İşlem Zamanları
J_1	37
J_2	35
J_3	32
J_4	31
J_5	27
J_6	23
J_7	21
J_8	19
J_9	16
J_{10}	12
J_{11}	11
J_{12}	7
J_{13}	5
J_{14}	3

Tablo 2. 14 İş 3 Makine Özdeş Paralel Makine Çizelgeleme Problemi Çözüm Sonuçları.

Amaç Fonksiyonu	Jozefowska, 2007	Yerel Arama Çözümü
C_{max}	112	107
C_{tot}	63,21	55,29



Şekil 1. Örnek problemin yerel arama algoritması ile çözümünün Gantt diyagramı.

3.1. Çizelgelemede Kullanılan Öncelik Kuralları

Çizelgeleme problemlerinde sıralama yapılırken göz önünde bulundurulmuş basit kurallar öncelik kuralları olarak adlandırılırlar. Bu kurallara göre işlerin makinede sıralanması yapılır. Öncelik kuralları çizelgeleme problemlerine kolaylıkla uygulanabilmeleri ve uzun hesaplama süresi gerektirmediğinden dolayı tercih edilirler. Küçük boyutlu problemler için tatmin edici sonuçlar vermelerine rağmen, problem boyutu büyüdükçe bu kurallar iyi sonuç vermezler. Bu kuralların avantajı, anlaşılmasının ve uygulanmasının kolay olmasıdır.

Dezavantajı ise, en iyi çözümü garanti etmemeleridir. Farklı çizelgeleme amaçları için farklı kurallar geliştirilmiştir [14]. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

İlk gelen ilk çıkar: Bu kurala göre serbest kalan ilk iş, makineye yüklenecek ilk iştir. Diğer bir ifadeyle, işlerin geliş sıralarına göre makinelere yüklenmeleri yapılır.

Son gelen ilk çıkar: Sisteme son gelen işin makineye ilk sırada yükleneceği kuraldır. Bu kuralda son işten başlayarak ilk çıkan işe kadar sıralama yapılır.

En kısa işlem süresi: Bu kuralda, her işe ait işlemler içerisinde en kısa işlem zamanına sahip olan işlem seçilir ve makineye ilk yüklenir. Makineye yüklenen iş, diğer işler arasından çıkartılarak, kalan işlemler için aynı adımlar takip edilir.

Ağırlıklandırılmış önem derecesi: Bu kuralda işler karar verici tarafından önem derecelerine göre ağırlıklandırılırlar. Ağırlık değeri en yüksek olan işin ilk gönderilmesi kuralına dayanır.

En uzun işlem süresi: En uzun işlem süresine sahip olan işin makineye ilk yüklendiği kuraldır. Paralel makine çizelgeleme problemlerinde toplam işlem süresini minimize etme amaçlı problemlerde daha çok tercih edilirler.

En erken teslim süresi: Bir makine boşaldığı zaman en erken teslim süresine sahip olan işin gönderildiği kuraldır.

En az kalan işlem sayısı: Bu kurala göre her iş için, işlem sayısı en az olan işin ilk olarak makineye yüklenmesi yapılır.

En çok kalan işlem sayısı: Yüklenecek işler arasında en çok işleme sahip olan işin ilk yüklendiği kuraldır.

En kısa kalan işlem süresi: Herhangi bir zaman diliminde her bir işin kalan toplam işlem zamanlarından en kısa süreye sahip olanın makineye yüklendiği kuraldır.

En uzun kalan işlem süresi: Sistemde kalan işlerin, işlem sürelerinin büyükten küçüğe sıralanarak çizelgelemenin oluşturulduğu kuraldır. Kalan işlem süresi en uzun işler ilk önce bitirilerek kapasite kullanım oranı arttırılmaya çalışılır.

Rastsal seçim: Çizelgelenecek işler kümesinden rastsal olarak seçimin yapıldığı kuraldır. Diğer bir uygulama şekli, çizelgelenecek iş sayısı kadar rastsal üretilen sayıların küçükten büyüğe doğru sıralanarak karşılık gelen işin çizelgelenmesi şeklinde gerçekleştirilebilir.

3.2. Yerel Arama Algoritması

Yerel arama algoritmaları genellikle diğer algoritmalar tarafından bulunmuş bir başlangıç çözümle çalışmaya başlar ve daha iyi bir komşu çözüme taşınma yoluyla yinelemeli olarak çözümü geliştirir. Çözümü daha fazla geliştirebilecek hiçbir çözüm bulunamadığı takdirde algoritma bir yerel optimumda sonlanır [24].

Optimizasyon problemlerinde çözüm kümesi çok büyük bir küme olabilir. Bu durumda çözüm kümesi içerisinde bir alt küme seçilerek çözüm araştırılır. Böyle durumlarda ise yerel arama algoritmaları kullanılır. Yerel arama algoritması çözüm kümesinin alt kümesinde bir nokta belirler ve bu noktanın komşularını arar. Eğer aranan komşu çözümün uygunluk değeri, mevcut çözümün uygunluk değerinden daha iyi ise komşu çözüm mevcut çözüm olarak belirlenir.

Bir yerel arama algoritmasının etkili olabilmesi için hem yeni arama uzaylarını keşfedebilmesi hem de bilinen arama uzayında olabilecek çözümleri gezebilmesi gerekmektedir. Bu iki ihtiyaç birbiri ile çelişmektedir. Bu sebeple iyi bir yerel arama algoritması bu ikisini dengeleyebilmelidir. Sadece rastgele arama yapan bir algoritma yeni yerler keşfedebilirken, sadece tepe tırmanma algoritması yapan bir arama algoritması bilinen alanlarda gezmektedir.

3.3. Pareto Optimal

Son yıllardaki gelişmeler, karar vericiler için, birden fazla amacın, eş zamanlı en iyilenmesini sağlayacak, birden fazla çözümün elde edilip bu çözümler arasından seçim yapabilme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Birden çok çözümün elde edilmesi iki şekilde olabilmektedir. Bunlardan birincisi; her bir çözümde bir amaç için farklı bir çözüm elde ederek çok amaçlı problemlerde birden fazla çözüm elde etmek şeklindedir. İkincisi ise yine her bir çözümde, diğer bir ifadeyle her bir aramada birden fazla amaç için çözüm elde etmek şeklinde olmuştur. İkinci yöntem çizelgeleme problemlerine pareto optimizasyon yönteminin uygulanması ile elde edilmiştir.

Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde tek amaçlı optimizasyon problemlerinde olduğu gibi tek global bir çözüm olmadığından, amaç fonksiyonlarına uygun olarak, bir çözümler kümesinin belirlenmesi gerekir. Bu durumda optimal bir noktanın belirlenmesi için,

pareto optimalde baskın ve basılgın kavramlarının ortaya konulması gerekir.

Baskınlık: Çok amaçlı fonksiyonun bir vektörü $F(x^*) \in Z$, eğer; $F(x) \leq F(x^*)$ iken en az bir amaç için $F_i(x) < F_i(x^*)$ şartını sağlayan bir diğer $F(x) \in Z$ vektörü yok ise $F(x^*)$ vektörü baskındır.

Basılgınlık: Çok amaçlı fonksiyonun bir vektörü $F(x^*) \in Z$, eğer; $F(x) \leq F(x^*)$ iken en az bir amaç için $F_i(x) < F_i(x^*)$ şartını sağlayan bir diğer $F(x) \in Z$ vektörü var ise $F(x^*)$ vektörü basılgındır.

Eğer Z çözüm alanında diğer noktalar bir çözüm noktasına baskın değilse bu çözüm noktası basılgın çözüm olarak adlandırılır. Diğer çözümler tarafından baskılanmamış olan tüm çözümler pareto optimal çözümlerdir. Dolayısıyla, bir x^* çözümü için eğer amaç fonksiyonlarının herhangi birisi diğer amaç fonksiyonunu bozmadan iyileştirilemiyorsa x^* pareto optimaldir [25].

4. Deneysel Sonuçlar

Çalışmada ele alınan ortak teslim ve hazırlık zamanlı özdeş paralel makine çizelgeleme problemlerinin başlangıç çözümleri klasik öncelik kuralları ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yerel arama algoritması ile bu başlangıç çözümleri geliştirilmiştir. Kullanılan problem setleri Sankar (2005) çalışmasından, gerçek yaşam problemi ise Küçük (2010) çalışmasından alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Sankar (2005) ve Küçük (2010) sonuçları ile karşılaştırılmıştır [16,27]. Her biri 9 işten oluşan 2 problem seti 2,3 ve 4 makinede olmak üzere toplam 6 adet küçük boyutlu problem [16] ve 1 adet gerçek yaşam problemi [27] çözülmüştür. Problem setlerine ait işlem süreleri Tablo 3'te, hazırlık süreleri Tablo 4'te ve her problem seti için teslim zamanları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 3. Problem Setlerine ait İşlem Süreleri.

İşler	Problem Seti 1	Problem Seti 2
J_1	7	7
J_2	7	5
J_3	6	3
J_4	6	8
J_5	5	6
J_6	5	6
J_7	4	8
J_8	4	9
J_9	4	4

Tablo 3. Problem Setlerine ait İşlem Süreleri.

Tablo 4. İşler Arası Hazırlık Süreleri.

İş No									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	1	2	2	2	2	2	2	2
2	1	0	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	0	1	2	2	2	2	2
4	2	2	1	0	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	0	1	2	2	2
6	2	2	2	2	1	0	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2	0	1	1
8	2	2	2	2	2	2	1	0	1
9	2	2	2	2	2	2	1	1	0

1	22	14	10
2	26	16	12

Çözümler için geliştirilen yerel arama algoritması Matlab R2015 programlama dilinde kodlanmış ve Intel Pentium 5 işlemcili bilgisayarda çalıştırılmıştır. Altı problemden oluşan problem setlerinin öncelik kurallarından; en kısa işlem süresi, en uzun işlem süresi, ilk gelen ilk çıkar kurallarına göre çözümleri gerçekleştirilmiştir. Aynı problem setleri Küçük (2010) tarafından karınca kolonileri algoritması ile çözülmüştür [27]. Bu çalışmada, çizelgelemede kullanılan öncelik kuralları bölümünde bahsedilen öncelik kuralları ile başlangıç çözümlerine yerel arama algoritması uygulanarak çözümler elde edilmiştir. Elde edilen çözümler yukarıda sayılan 3 öncelik kuralı ve Küçük (2010) tarafından sunulan karınca kolonileri algoritmasının sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 6' da verilmiştir.

Tablo 5. Makine Sayısına Göre İşlerin Teslim Zamanları.

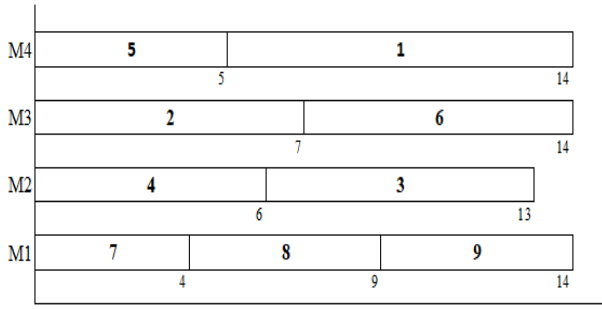
Problem No	Makine Sayısı		
	2 Makine	3 Makine	4 Makine

Tablo 6. Problem Çözüm Sonuçları.

		En Kısa İşlem Süresi		En Uzun İşlem Süresi		İlk Gelen İlk Çıkar		Karınca Kolonileri Optimizasyonu		Yerel Arama	
		Cmax	Cort	Cmax	Cort	Cmax	Cort	Cmax	Cort	Cmax	Cort
Problem Seti 1	2 Makine	31	15,8	33	19,7	33	19,7	31	18,2	31	16,9
	3 Makine	21	11,8	20	13,5	20	13,3	20	13	20	13
	4 Makine	20	9,6	18	7,8	18	10,8	15	9,6	14	9,5
Problem Seti 2	2 Makine	39	18,5	37	23	36	20	34	21,7	34	21,7
	3 Makine	24	13	23	15,9	24	13,8	23		23	13,8
	4 Makine	22	10,6	20	12,6	19	11,1	19		18	10,8
Gerçek Yaşam Problemi		1105	532,5	910	623	905	622,5	855	616	855	537,5

Çözüm sonuçlarına bakıldığında 1. problem setinin 2 makineli çizelgeleme problemi hariç diğer tüm problemleri için yerel arama algoritmasının daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. 1. Problem setinde 2 makine çizelgeleme problemi için en kısa işlem süresi kuralı diğer yöntemlere göre baskın çözüm vermiştir. 3 makine probleminde C_{max} amacı için genelde aynı değer elde edilirken, C_{ort} amacı için pareto baskın sonuç yine en kısa işlem süresi kuralı ile elde edilmiştir. 1. Problem setinin 4 makine problemi için her iki amaç fonksiyonunda yerel arama algoritması baskın sonuçlar vermiştir. 1. Problem seti 4 makine için yerel arama algoritması ile elde edilen çözümün Gantt diyagramı Şekil 2' de verilmiştir. Gantt diyagramında görüleceği üzere $C_{max}=14$ $C_{ort}=9,5$

olarak gerçekleşmiştir. 2. Problem setinin 2 makine problemi için yerel arama algoritması ile karınca kolonileri optimizasyon algoritması birbirine eşit pareto baskın sonuçlar vermişlerdir. 3 makine problemi için yerel arama algoritması yine başarılı sonuçlar verirken 4 makine probleminde yerel arama algoritması diğer yöntemlere göre yine pareto baskın sonuçlar vermiştir.



Şekil 2. Problem Seti1, 4 makine probleminin yerel arama algoritması ile çözümünün Gantt diyagramı.

Bu çalışmada çözümü gerçekleştirilen gerçek yaşam problemi Küçük (2010) çalışmasından alınmıştır[27]. Yazar, çalışmasında çeşitli çap, özellik ve renkte spiral hortum üreten, özdeş paralel makinelere sahip bir işletmede çizelgeleme problemini ele almıştır. Ürünlerin teslim süresi esas alınarak tam zamanında üretilmesi amaçlanmakta, erken ve geç tamamlanma durumunda ceza maliyetleri söz konusu olmaktadır. On iş dört makineden oluşan Sıra bağımlı hazırlık zamanlı özdeş paralel makine çizelgeleme probleminde teslim zamanı 800 birimdir. Her bir iş özdeş paralel makinelerden herhangi birinde işlem görebilmektedir. Bir makinede aynı anda sadece bir iş işlenebilmekte ve makine arızaları göz ardı edilmektedir. Gerçek yaşam problemine ait işlem süreleri Tablo 7’de sıra bağımlı hazırlık zamanları Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 7. Gerçek Yaşam Problemi İşlem Süreleri.

İş Kodu	İşler	İşlem süreleri
H2''	J_1	500
H5''	J_2	500
H8''	J_3	350
T3''	J_4	300
T5''	J_5	300
L2''	J_6	250
LS1.3/4''	J_7	250
E1''	J_8	250
E3''	J_9	250
V1''	J_{10}	200

Tablo 8. Gerçek Yaşam Problemi Sıra Bağımlı Hazırlık Zamanları.

İş Kodu	H2''	H5''	H8''	T3''	T5''	L2''	LS1.3/4''	E1''	E3''	V1''
H2''	0	25	25	25	30	30	25	25	30	30
H5''	25	0	25	25	30	30	25	25	30	30
H8''	25	25	0	25	30	30	25	25	30	30
T3''	25	25	25	0	30	30	25	25	30	30
T5''	30	30	30	30	0	30	25	25	30	30
L2''	30	30	30	30	30	0	25	25	30	30
LS1.3/4''	25	25	25	25	25	25	0	25	30	30
E1''	25	25	25	25	25	25	25	0	30	30
E3''	30	30	30	30	30	30	30	30	0	30
V1''	30	30	30	30	30	30	30	30	30	0

Gerçek yaşam problemine ait en kısa işlem süresi, en uzun işlem süresi ve ilk gelen ilk çıkar sıralama kurallarına göre elde edilen sonuçlar ile Küçük (2010) tarafından sunulan karınca kolonileri algoritması sonuçları ve bu çalışmada sunulan yerel arama algoritması sonuçları Tablo 6’da verilmiştir. Her iki amaç fonksiyonu için yerel arama algoritması ile diğer sonuçlara göre pareto baskın sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada ortak teslim zamanlı ve sıra bağımlı hazırlık zamanlı özdeş paralel makine çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü için, klasik öncelik kuralları ile başlangıç çözümleri elde edilen çözümler yerel arama algoritması ile geliştirilmiştir. Sunulan algoritmanın etkinliği problem setleri ile ölçülmüştür. Yerel arama algoritmasının küçük boyutlu özdeş paralel makine çizelgeleme problemlerinde etkin sonuçlar verdiği görülmüştür. Bundan sonraki çalışmalarda, ortak teslim zamanına sahip sıra bağımlı hazırlık zamanlı özdeş paralel makine çizelgeleme problemlerinin büyük boyutlu problemlerinin çözümü gerçekleştirilecektir. Bu problem setlerinin diğer meta sezgisel algoritmalar ile çözümü planlanmaktadır. Aynı zamanda özdeş paralel makine çizelgeleme problemlerinin farklı

teslim zamanlı ve hazırlık zamanının ihmal edildiği versiyonları için çalışmalar gerçekleştirilecektir.

Teşekkür

Bu çalışmada doktora tezinden gerçek yaşam probleminin verilerini kullandığımız Sayın Birgül KÜÇÜK'e teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Pinedo, M. L., **Scheduling Theory, Algorithms, and Systems**. Third edition, Springer, New York, A.B:D., 2008.
- [2] Ruiz-Torres, A. J., Enscore, E. E. and Barton, R. R., "Simulated Annealing Heuristics for the Average Flow-Time and the Number of Tardy Jobs Bi-Criteria Identical Parallel Machine Problem", **Computers and Industrial Engineering**, Vol. 33, 257–260, 1997.
- [3] Min, L. and Cheng, W., "A genetic algorithm for minimizing the makespan in the case of scheduling identical parallel machines", **Artificial Intelligence in Engineering**, Vol. 13, 399-403, 1999.
- [4] Silva, C.A., Sousa, J.M., Runkler, T.A., Palm, R. and Sa da Costa, J.M., "Scheduling in manufacturing systems using the ant colonies optimization algorithm", **Proceedings of 5st Potuguese conference on automatic control**, Portekiz, September 5-7, 2002.
- [5] Rajakumar, S., Arunachalam, V.P. and Salladurai, V., "Workflow balancing strategies in parallel machine scheduling", **International Journal of advanced Manufacturing Technology**, Vol. 23, 366-374, 2004.
- [6] Sankar, S.S., Ponnambalam, S.G., Rathinavel, V. and Viveshvaren, M.S., "Scheduling in parallel machine shop: An ant colony optimization Approach", **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**, 276-280, 2005.
- [7] Toksarı, M.D. and Güner, E., "Parallel machine earliness/tardiness scheduling problem under the effects of position based learning and linear/nonlinear deterioration", **Computers & Operations Research**, Vol. 36, 2394-2417, 2009.
- [8] Chen, J., Chen, K., Wu, C. and Chen, W., "A study of the flexible job shop scheduling problem with parallel machines and reentrant process", **Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Vol. 39, 344-354, 2008.
- [9] Edis, E.B. Oğuz, C. And Özkarahan, İ., "Paralel Makinelerde işlerin ve makine operatörlerinin birlikte çizelgelenmesi problemine çözüm yaklaşımları", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**. Vol. 27, No 3, 527-535, 2012.
- [10] Gomes, M. C., Barbosa-Povoa, A. P. and Novais, A. Q., "Optimal scheduling for flexible job shop operation", **International Journal of Production Research**, Vol. 43, 2323 – 2353, 2005.
- [11] Shim, S. and Kim, Y., "Scheduling on parallel identical machines to minimize total tardiness", **European Journal of Operation Research**, Vol. 177, 135-146, 2007.
- [12] Anghinolfi, D. and Paolucci, M., "Parallel machine total tardiness scheduling with a new hybrid metaheuristic approach", **Computers & Operations Research**, Vol. 34, 471-3490, 2007.
- [13] Kaya, S., Akgöbek, Ö. and Eren, T., "The Solution with Particle Swarm Optimization of two Criteria Identical Parallel Machine Scheduling Problems", **16th International Symposium on Econometrics Operations Research and Statistics**. Edirne. Turkey. 7-12 May 2015.
- [14] Kaya, S., **Çok amaçlı esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinin geliştirilmiş parçacık sürü optimizasyonu ile çözümüne yönelik model önerileri**, Doktora Tezi. Kocaeli Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği ABD, 2014.
- [15] Eren, T., "A bicriteria parallel machine scheduling with a learning effect of setup and removal times", **Applied Mathematical Modelling**, Vol. 33, No 2, 1141-1150, 2009.
- [16] Driessel, R. and Moench, L., "Scheduling jobs on parallel machines with sequencedependent setup times, presedence constraints, and ready times using variable neighborhood search", **Proceedings of international conference of computers and industrial engineering**, 273-278, 2009.
- [17] Cota, L., Haddad, M., Souza, M. and Coelho, V., "AIRP: A heuristic algorithm for solving the unrelated parallel machine scheduling problem", **Proceedings of the 2014. IEEE congress on evolutionary computation**, 1855-1862, 2014.
- [18] Chen, J.F., "Scheduling on unrelated parallel machines with sequence- and machine-dependent setup times and due-date constraints", **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Vol. 44, 1204-1212, 2009.
- [19] Yılmaz Eroğlu, D., Özmutlu, H.C. and Köksal, S.A., "A Genetic Algorithm for the unrelated parallel machine scheduling problem with job splitting and sequence dependent setup times loom scheduling", **Tekstil ve Konfeksiyon**, Vol. 24, No 1, 66-73, 2014.
- [20] Wang, C., Liu, C., Zhang, Z. H. and Zheng, L., "Minimizing the total completion time for parallel machine scheduling with job splitting and learning", **Computers & Industrial Engineering**, Vol. 97, 170-182, 2016.
- [21] Yang, S. J., "Unrelated parallel-machine scheduling with deterioration effects and deteriorating multi-maintenance activities for minimizing the total completion time", **Applied Mathematical Modelling**, Vol. 37, No 5, 2995-3005, 2013.
- [22] Eren, T. and Güner, E. "Öğrenme etkili hazırlık ve taşınma zamanlı paralel makineli çizelgeleme problemi", **Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi**, Vol. 2, No. 4, 67-72, 2006.

- [23] Yeh, W. C., Lai, P. J., Lee, W. C. and Chuang, M. C., "Parallel-machine scheduling to minimize makespan with fuzzy processing times and learning effects", **Information Sciences**, Vol. 269, 142-158, 2014.
- [24] Aarts. E., and Lenstra, J.K., 1997. **Local Search in Combinatorial Optimization**, Wiley & Sons. England, 1997.
- [25] Kaya, S. and Fırlalı, N. "Çok Amaçlı Optimizasyon Problemlerinde Pareto Optimal Kullanımı," **Social Sciences Research Journal**, Vol. 5, 9-18, 2016.
- [26] Jozefowska, J. "Just-In-Time Scheduling: Models and algorithms for computer and manufacturing systems", **Springer Science**. New York, 2007.
- [27] Küçük, B., **Özdeş Paralel Makineli Bir Üretim Sisteminin Karınca Koloni Algoritması İle Çizelgenmesi**, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2010.