

AÇIK ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN PARALEL KANGURU ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ

M. Emin Baysal^a, Taha DURMAZ^a, Ahmet SARUCAN^a, Orhan ENGİN^a

^aSelçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Alaeddin Keykubat Kampüsü, Selçuklu, Konya.

mebaysal@gmail.com, tdurmaz@gmail.com, sarucan@gmail.com, orhanengin@yahoo.com

(Geliş/Received: 26.12.2011; Kabul/Accepted: 05.07.2012)

ÖZET

Açık Atölye Tipi Çizelgeleme (AATÇ) 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, AATÇ problemleri toplam tamamlanma zamanının minimizasyonuna yönelik, rassal zıplama tekniği ile işleyen Paralel Kanguru Algoritması (PKA) ile çözülmüştür. PKA, sürekli daha iyi çözümlere ulaşmaya çalışan meta-sezgisel bir yöntemdir. Literatürde yer alan AATÇ; kıyas problemleri, vahşi ve evcil iki kanguru operatörünün paralel çalıştırıldığı, Kanguru Algoritması (KA) ile çözülmüştür. Elde edilen değerler, literatürde daha önce ulaşılan en iyi sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. PKA'nın AATÇ problemlerinin çözümünde etkin bir yöntem olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açık atölye tipi çizelgeleme, paralel kanguru algoritması, tamamlanma zamanı.

TO SOLVE THE OPEN SHOP SCHEDULING PROBLEMS WITH THE PARALLEL KANGAROO ALGORITHM

ABSTRACT

The open shop scheduling problem is essentially a sort of scheduling problem that each job has only one operation to be processed on each machine and the processing order is not significant. It has been mainly encountered in a facility that is manufacturing similar types of products groups. In this study, open shop scheduling problems were solved in order to minimize the total make-span with Parallel Kangaroo algorithm which runs by the random jumping method. Parallel Kangaroo Algorithm is a meta-heuristic algorithm which continuously tries to reach the better solutions. The open shop scheduling instances for the benchmarking in the literature were solved with a Kangaroo Algorithm in which the wild and the tame kangaroo operators are operated in a parallel manner. The yielded results were compared with the best results in the literature. It has been found the performance of the Parallel Kangaroo Algorithm for solving the open shop scheduling problems was efficient.

Key Words: Open shop scheduling, parallel kangaroo algorithm, makespan.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çizelgeleme, üretim planlamanın önemli bir aşamasıdır. Endüstriyel üretim süreçlerinin modellenmesinde sıklıkla kullanılan çizelgeleme problemleri, son yıllarda, araştırmacılar tarafından artan bir ilgi görmektedirler [1].

AATÇ, m makinelik bir sette işlenmesi gereken n adet işin bulunduğu, her bir işin farklı bir makinede gerçekleştirilmesi gereken, m adet işlemten oluştuğu

bir çizelgeleme problemidir. Açık Atölyede, işlemler herhangi bir sıra ile gerçekleştirilebilir, takip edilmesi gereken bir işlem sırası yoktur [2].

AATÇ problemlerinin çözümü, çok fazla çaba ve zaman gerektirdiğinden, bu problemler için son yıllarda, metasezgisel yöntemler etkin olarak kullanılmaktadır. Harcanan çaba ve zaman tasarrufu açısından önemli faydalar sağlayan metasezgisel yöntemler tekil olarak kullanılabildikleri gibi, özellikle algoritmanın zayıf yönlerini gidermeye

yönelik melezlemeler, paralel uygulamalar veya öncül/ardıl işlemlerle daha etkili biçimlerde de kullanılmaktadırlar.

Araştırmada, kanguru zıplayışından esinlenerek rassal zıplamalar ile arama yapan ve iyi sonuçlar üzerinden daha iyilerine ulaşmaya çalışan, KA, AATÇ problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Algoritmanın daha etkin bir hali olarak; evcil kanguru ile yerel çözüm alanlarının keşfedilmesini, vahşi kanguru ile düşük başarılı çözüm alanlarında takılmamayı hedefleyen ve belirli bir iterasyona ulaşıldığında aynı noktada buluşan paralel kanguru yöntemi tercih edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, AATÇ problemleri ve çözüm yöntemleri ile ilgili literatür araştırılması yapılmıştır. Üçüncü bölümde, AATÇ problemleri hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde, PKA incelenmiştir. Beşinci bölümde, AATÇ problemlerinin PKA ile çözümünde elde edilen değerler sunulmuştur. Son bölümde ise sonuçlar tartışılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Gonzalez ve Sahni [3] Makine sayısı, $m \geq 3$ için, AATÇ problemlerinin NP-zor (Polinomal olmayan-zor) olduğunu göstermiştir. Çoğu NP zor problemin çözümünde olduğu gibi, AATÇ problemlerinin çözümünde de son yıllarda ağırlıklı olarak meta sezgisel yöntemler tercih edilmektedir. Meta sezgisel yöntemlerin sunmuş olduğu çözüm kalitesi, seçilen parametrelerin seviyeleri ile doğrudan orantılıdır [4], [5]. Bir problem seti için belirlenen en uygun parametreler, başka bir problem için uygun olmayabilmektedir. AATÇ problemlerine ilişkin son on yılda literatürde yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Liaw [6] iki makineli, öncelikli AATÇ problemi için etkin bir Tabu Arama (TA) yaklaşımı önermiştir. Amaç olarak toplam gecikme süresinin minimizasyonunu seçmiştir. Problemin NP zor olduğunu ifade etmiştir. AATÇ problemlerin çözümü için optimal zaman algoritmasını önermiştir. Daha sonra, iş tamamlanma çizelgeleri ve nihai çizelgeleri oluşturmak üzere optimal zaman algoritmasına bir TA yaklaşımı uygulamıştır. Tabu araştırmasına bir başlangıç çözümü elde etmek için etkin bir sezgisel geliştirmiştir. Araştırma sonunda, önerilen bu TA yaklaşımının, AATÇ problemlerinde makul süreler içinde etkili sonuçlara ulaştığını göstermiştir. NG ve ark. [7] bir işin farklı makinelerdeki herhangi iki işleminin aynı anda yapılabildiği, AATÇ problemlerinin daha esnek bir tipi olan eş-zamanlı AATÇ üzerine çalışmışlardır. Bir işin tamamlanma süresinin, o işin işlemlerinin maksimum tamamlanma süresine eşit olduğunu araştırmalarında

belirtmişlerdir. Amaç olarak da, işlem gerçekleştirme sürelerinin 0-1 ve teslim sürelerinin (d) ortak tamamlanma tarihi olduğu durumda, geciken işlerin ağırlıklandırılmış sayısının azaltılmasını seçmişlerdir. Problemin NP-zor olduğunu ifade etmişlerdir. Problemin çözümü için bir teslim tarihli $(1+d)$ -yakınsama algoritması önermişlerdir. Blum [8], AATÇ problemlerinin çözümü için ışın taraması ile Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) yöntemlerini, melez olarak kullanmıştır. Önermiş olduğu bu melez yöntemi, literatürde kullanılan yöntemlerle karşılaştırmış ve Işın-KKO'nun AATÇ problemlerinin çözümünde etkin bir yöntem olduğunu göstermiştir. Shabtay ve Kaspi [9], işlem sürelerinin sınırlı ve yenilenemeyen ortak bir kaynağın konveks azalan fonksiyonuna bağlı olduğu, AATÇ problemleri üzerinde çalışmışlardır. Araştırmada, problemin NP zor olduğunu ispatlamışlardır. Problemlerin çözümü için tam polinomial bir yakınsama tablosu sunmuşlardır. Senthilkumar ve Shahabudeen [10], AATÇ problemleri için tamamlanma zamanı minimizasyonuna yönelik, genetik algoritma temelli bir sezgisel önermişlerdir. Yazarlar, 2×3 ile 4×4 boyutundaki problemleri, önermiş olduğu algoritma ile test etmişlerdir. Önerilen algoritmanın AATÇ problemlerinin çözümünde etkin olduğunu göstermişlerdir. Sedeno-Noda ve ark. [11], zaman pencereli, öncelikli AATÇ problemlerini çalışmışlardır. Uygunluğu kontrol eden bir ağ akışı yaklaşımı ve tamamlanma zamanının minimizasyonunu amaçlayan, maksimum akış parametrelili bir algoritma önermişlerdir. Geliştirilen yöntemin, polinomial yapıda ve zaman pencereli, öncelikli AATÇ problemleri için etkin çözümler verdiğini ifade etmişlerdir. Gribkovskaia ve ark. [12], üç yığınlı çizelgelemeye, doğrusal zamanda ulaşmak için araştırmacılar, De Werra'nın geliştirdiği açık atölye problemini kullanmışlardır. İki yığınlı bir AATÇ problemi için optimal bir çizelge bulmanın, NP zor olduğunu belirtmişlerdir. Sha ve Hsu [13], AATÇ problemlerinin çözümünde, yeni bir Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) tekniğini kullanmışlardır. Daha sonra önerdikleri PSO yöntemini ışın taraması ile melezlemişlerdir. Önerdikleri yöntemi, literatürdeki AATÇ kıyaslama problemleri üzerinde test etmişlerdir. Yöntemin etkin olduğunu ifade etmişlerdir. Brasel ve ark. [14], ortalama akış zamanının minimizasyonu amaçlı, AATÇ problemlerinin çözümü için yapısal sezgisel algoritmaları önermişlerdir. 50 iş ve 50 makineye kadar farklı AATÇ modelleri üzerinde çalışan araştırmacılar, bir AATÇ probleminin çözümünde önerilmesi gereken yapısal sezgiselin, iş sayısı/makine sayısı oranı ile ilgili olduğunu ifade etmişlerdir. Lin ve ark. [15], günlük hayatta karşılaşılan gaz, su, telefon hattı döşeme gibi işlemleri de içeren yol yapımı işinin çizelgelenmesi sorununu incelemişlerdir. Problemin hareketli makinelerden oluşan, çok işlemcili, çok aşamalı, AATÇ'nin karakteristiklerini taşıdığını belirlemişlerdir. Amaç

olarak, minimum toplam işlem süresini seçmişlerdir. Problemin çözümü için iki aşamalı bir sezgisel algoritma önermişlerdir. Mosheiov ve Oron [16], minimum tamamlanma zamanı ve minimum akış zamanı amaçlı bir açık atölye yığın çizelgelemesi problemini incelemişlerdir. Werra ve ark. [17], AATÇ probleminin genelleştirilmiş bir halini ele almışlardır. Araştırmalarında, işlemcileri iki gruba ayırarak her bir işlemin tek bir işlemcide veya bir işlemci grubunun tüm işlemcilerinde aynı anda gerçekleştirilmesini sağlamışlardır. Sedeño-Noda ve ark. [18], performans maliyeti ve tamamlanma zamanı amaçlı, çift kriterli AATÇ problemlerinin çözümünde, Pareto optimal noktalar yaklaşımına dayanan bir ağ algoritması önermişlerdir. İşleri zaman pencereleriyle ifade ederek geliştirdikleri yaklaşımlarının, inceledikleri problemlerin geçici polinomiyel zaman dilimleri içinde çözülmesine imkân sağladığını ifade etmişlerdir. Low ve Yeh [19], toplam iş gecikmesi minimizasyonu amaçlı, bağımsız hazırlık zamanı ve bağımlı sökme zamanı kısıtlamalı, AATÇ probleminin literatürde ilk defa olarak 0–1 tam sayı programlama modeli ile optimal çözümünü elde etmişlerdir. Ardından bazı melez genetik sezgiseller kullanarak çözüm süresini kabul edilebilir sürelerle indirgemişlerdir. Akgöbek ve ark. [20], AATÇ problemlerinin çözümünde, paralel doyumsuz meta sezgisel algoritmanın kullanımını araştırmışlardır. Üzerinde çalıştıkları beş iş, beş makineli örnek üzerinde, bilinen en iyi çözüme, %1 sapma ile yaklaşmışlardır. Çalışmada optimum çizelgelemeye ulaşmanın oldukça zor bir iş olduğu, AATÇ problemlerinde paralel doyumsuz algoritma kullanılarak parametrelerin optimizasyonu yardımıyla oldukça başarılı sonuçlara ulaşılabileceğini ifade etmişlerdir. Naderi ve ark. [21], permutasyon listesi tekniğinin farklı bir uygulamasını, maksimum tamamlanma süresi minimizasyonu amaçlı, AATÇ problemine, uyarlamışlardır. Zhang ve Velde [22], maksimum tamamlanma zamanı minimizasyonu amaçlı, çevrim içi iki makineli AATÇ probleminin çözümü için bir doyumsuz algoritma önermişlerdir.

3. AÇIK ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME (OPEN SHOP SCHEDULING)

İş çizelgeleme, üretim başta olmak üzere günlük yaşamda sıklıkla karşılaşılan problemlerdendir. Literatüre bakıldığında, AATÇ problemleri üzerinde, Akış Tipi Çizelgeleme (ATÇ) ve Atölye Tipi Çizelgeleme problemlerinden daha az çalışıldığı görülmektedir [23]. ATÇ problemlerinde, bir işin tamamlanması için belirli makine veya makine gruplarında gerçekleştirilmesi gereken işlemlerin, belirli bir sırası vardır. AATÇ problemlerinde ise işlem sırası önemsiz yani serbesttir. AATÇ modeli, Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Açık Atölye Tipi Çizelgeleme Modeli (Open Shop Scheduling Model)

İş (n)	Makine (m) / İşlem Süresi					
	1	2	-	-	-	m
1	t_{11}	t_{12}	-	-	-	t_{1m}
2	t_{21}	t_{22}	-	-	-	t_{2m}
-	-	-	-	-	-	-
n	t_{n1}	t_{n2}	-	-	-	t_{nm}

n : iş sayısı; m : makine sayısı; t_{nm} : n . işinin m . makinedeki işlem süresi

AATÇ problemlerinde, toplam tamamlanma zamanını minimize edecek en uygun iş sırası belirlenmeye çalışılır. AATÇ probleminde aşağıdaki kabuller yapılmıştır. Bunlar:

1. Bütün işler birbirinden bağımsızdır,
2. Çizelgelemenin başlangıcında bütün işler, işlem görülecek şekilde hazır olarak beklemektedir,
3. Çizelgeleme süresi boyunca bütün makineler sürekli mevcuttur,
4. Her bir makinede, herhangi bir zamanda sadece bir iş işlem görebilir,
5. Bir işin makinedeki işlemi tamamlanmadan, operasyonlar eksik bırakılamaz, kesintiye uğramaz,
6. Makineler arasında sonsuz iş depolama alanları mevcuttur,
7. Makineler arasında işlem taşıma süreleri önemsizdir,
8. İşlerin işlem süreleri önceden bilinmekte ve sabittir.

4. PARALEL KANGURU ALGORİTMASI (PARALLEL KANGAROO ALGORITHM)

4.1. Kanguru Algoritması (Kangaroo Algorithms)

KA, adından da anlaşıldığı gibi zıplayarak hareket eden Kanguru’lardan esinlenilerek geliştirilmiş bir yöntemdir. KA, literatürde “Pollard’ın Kangurusu”, “Pollard’ın Rho algoritması” veya “Pollard’ın Lambda algoritması” olarak da bilinmektedir. KA’ni ilk defa 1978 yılında Pollard ortaya atmıştır [24]. KA, tavlama benzetimine benzeyen, ancak daha farklı bir arama tekniği kullanan rassal kökenli bir yakınsama metodudur [25]. 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 [2].

4.2. Paralel Kanguru Algoritması (Parallel Kangaroo Algorithms)

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 logaritmaların çözümü için geliştirdiği “rho” yönteminde, G içinde bir sıralama (y_k) oluşturulur. Başlangıç terimi $y_0 \in G$ seçilir, takip eden kural şöyledir: $y_{k+1} = F(y_k)$, $k \in N$, $F: G \rightarrow G$. Bu periyodik sıralama, boş bir kâğıt üzerine çizilirse, alt köşeden başlayıp bir daireyle sonlanarak Yunan alfabesindeki rho karakterinin şeklini alır [26].

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 [26].

Paralleleştirilmiş “rho” yönteminde, farklı “rho” sıralamaları bulunur ve bunların kesiştiği yerlerde lambda görünümü oluşur [26].

PKA’da, adından da anlaşılabilir 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 ulaşmaya kadar veya maksimum iterasyon sayısına ulaşmaya 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 ulaşıncaya kadar devam eder.

Literatürde, PKA veya KA’nın çeşitli çizelgeleme problemlerinin çözümünde, yalın veya farklı yöntemlerle melez olarak kullanım örnekleri bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda, PKA’nın, geçmiş çalışmalara nazaran işlem zamanı ve başarımında fayda sağladığı kaydedilmektedir. PKA ve KA ile ilgili son on yılda yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Pollard [27], değer aralığı belirli, isteğe bağlı bir devir grubu içindeki kesikli bir logaritmayı, kesin işlem süresi içinde hesaplamıştır. Araştırmasında, işlem süresini analiz etmiştir. Bu nedenle programları seri ve paralel bilgisayarlar için geliştirmiştir. İşlem sürelerindeki farklılaşma, kanguruların zıplamalarıyla ilişkilendirilmiştir. Kruskal algoritmasına dayanan bir

kart oyunu ve bazı “monopoly” oyunları üzerinden yöntem örneklendirmiştir. Jellouli ve Chatelet [28], olasılıklı talep ve teslim sürelerine sahip bir tedarik zinciri üzerinde çalışmışlardır. Amaçları, memnun müşteri oranıyla ilişkili olan başarılı performans değerlerine ulaşmayı sağlayacak optimal parametreleri bulmaktır. Bu amaçla Monte Carlo simülasyonu ve iki meta sezgisel kullanmışlardır. Stein ve Teske [29], gerçel karesel fonksiyon alanlarında sabitlerin hesaplanmasında, paraleleştirilmiş Pollard Kanguru yöntemi kullanımını incelemişlerdir. Çalışmada özellikle bu mimariye kanguru yönteminin nasıl uygulanacağını detaylandırmışlardır. Teske [26], kesikli logaritmasını, Paralel Kanguru yöntemiyle rasgele seçilmiş devir grupları dâhilinde hesaplamıştır. Seri sürümünün çok az hafıza kullandığı, doğrusal bir hız artışıyla paralelleştirilebildiği ve paralel sürümünün hafıza gereksiniminin etkin olarak izlenebildiğini ifade etmiş, bu durumun da kanguru yöntemini kesikli logaritma problemlerinin çözümünde en güçlü yöntem kıldığını belirtmiştir. Serbencu ve ark. [25], tek makine çizelgeleme problemini, karınca kolonisi ve paralel kanguru optimizasyonunun kullanıldığı bir melez yöntem ile çözmüşlerdir. Kurdukları döngüde karınca kolonisinden elde edilen sonuçları, PKA süreçlerinden geçirmişlerdir. Melez yapının etkin olduğu, iterasyon sayısı ve genel iterasyon sayısının problemin hacmine göre düzenlenmesi gerektiği, makul zaman ve iterasyon sayısında çok iyi sonuçlar bulunduğu, çalıştırma süresinin artışının kabul edilebilir olduğu ifade etmişlerdir. Minzu ve Beldiman [30], kesikli optimizasyon problemlerinin çözümünde, Genetik Algoritma ve PKA’nı melez kullanmışlardır. Belirledikleri meta sezgiselin kullanımı ile iki temel imalat problemi çözmüşlerdir. Geliştirdikleri melez sistemin uygulanmasında avantaj bulunan bazı yaklaşımları vurgulamışlardır. Kökçam ve Engin [24], bulanık proje çizelgeleme problemlerinin meta sezgisel yöntemlerle çözümü üzerine yaptıkları çalışmalarında, PKA’yı detaylı izah etmişlerdir. PKA ile bulanık proje çizelgeleme örneğini sunmuşlardır. Yılmaz ve ark. [31], iki makineli beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemlerini, PKA ile çözmüşlerdir. Performans kriteri olarak, tamamlanma zamanının minimizasyonunu seçmişlerdir. Yılmaz ve ark. [32], bir diğer çalışmada, iki amaçlı akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde PKA’nı önermişlerdir. Araştırmalarında performans kriteri olarak tamamlanma zamanı ve toplam gecikmenin minimize edilmesini seçmişlerdir. Önerilen PKA’nın etkinliğini, rassal oluşturulan örnekler üzerinde test etmişlerdir. Yine Yılmaz ve ark. [33], çok amaçlı akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için Melez bir PKA önermişlerdir.

5. HESAPLAMA SONUÇLARI (COMPUTATIONAL RESULTS)

5.1 Parametre Optimizasyonu (Parameter Optimization)

AATÇ problemlerinin çözümü için önerilen PKA'nın işlem adımları aşağıda özetlenmiştir [2].

Adım 1. Parametrelerin seçimi;

- İterasyon sayısı,
- İterasyon grubu sayısı,
- Evcil ve vahşi kangurular için bağımsız adım aralıkları,
- Evcil ve vahşi kanguru için başlangıç iterasyonları,
- Zıplama yönteminin seçilmesi

Adım 2. Algoritmanın işleyişi;

- Vahşi kanguru başlangıç iterasyonu için amaç fonksiyonu değeri hesaplanır,
- Vahşi kanguru, adım büyüklüğünü, kendisi için belirlenmiş aralık içinden rastsal olarak seçer ve belirli yöneme göre zıplar,
- Vahşi kanguru için amaç fonksiyon değeri tekrar hesaplanır, ulaşılan değer öncekiyle aynı veya daha iyiyse bu iterasyon üzerinden, değilse önceki iterasyon üzerinden devam edilir,
- b ve c adımları, hedef değere ulaşıncaya kadar, ulaşılmazsa iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar tekrarlanır,
- İlk 4 adım, evcil kanguru için kendi parametreleriyle tekrarlanır,
- Böylece bir iterasyon grubu tamamlanır, vahşi ve evcil kangurudan sonucu daha iyi olanın dizilimi, sonraki turda hem vahşi hem evcil kanguru için başlangıç iterasyonu kabul edilir,
- Hedef değere, ulaşılmazsa maksimum tur sayısına ulaşıncaya kadar b, c, d, e, f adımları tekrarlanır.

PKA'nın, AATÇ problemlerinin çözümünde, etkinliğini artırmak için uygun parametre seti, tam faktöriyel deney tasarımı yardımıyla belirlenmiştir. Parametre optimizasyonu, literatürde, AATÇ problemleri olarak bilinen, Guéret ve Prins'in [34] kıyaslama problemleri üzerinde yapılmıştır. Her bir gruptan birer problem seçilmiştir. Her bir parametre için beşer tekrar yapılmıştır. Parametre optimizasyonu toplam, 14 test problemi üzerinde, 184.560 iterasyon ile yapılmıştır. Hesaplamalar, Intel Core 2 Duo P8600 modeli 2,4 GHz işlemcili 2 GB belleğe sahip bir bilgisayarda, işlemcinin tek çekirdeği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. PKA için parametre optimizasyonu sürecinde, aşağıda verilen parametreler belirlenerek, Guéret ve Prins'in [34] kıyaslama problemleri, belirlenen bu parametrelerle çözülmüştür. Parametre optimizasyonu sonucunda hesaplanan tamamlanma zamanı (C_{max} -makespan), literatürde bu problemler için belirlenen, Bilinen En

iyi Çözüm (BEÇ) değerleri ile aşağıda verilen (1) numaralı ifadedeki gibi yüzde sapma değerleri hesaplanmıştır [2].

$$\text{Sapma Yüzdesi} = ((\text{Hesaplanan Tamamlanma Zamanı} - \text{BEÇ}) / \text{BEÇ}) * 100 \quad (1)$$

5.1.1. Zıplama Yöntemi (Jumping Method)

Parametre optimizasyonu için iki zıplama yöntemi test edilmiştir.

- Araya girmeli zıplama: y_i elemanının j adım büyüklüğünde zıplayarak y_{i+j} ile y_{i+j+1} elemanlarının arasına girdiği zıplama yöntemidir.
- Yer değiştirmeli zıplama: y_i elemanının j adım büyüklüğünde zıplayarak y_{i+j} elemanı ile yer değiştirdiği zıplama yöntemidir.

Araya girmeli zıplama yöntemi ve yer değiştirmeli zıplama yöntemleri, literatürde yer alan kıyaslama problemleri [34], [35] üzerinde test edilerek sapma yüzdeleri hesaplanmıştır. Elde edilen sapma yüzdeleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Zıplama yöntemleri için sapma yüzdeleri ve ortalamaları (Percentage of diversification and average for jumping methods)

Kıyaslama Problemleri	Araya Girmeli Zıplama Yöntemi	Yer Değiştirmeli Zıplama Yöntemi
gp_3_0	0,047	0,037
gp_4_0	0,119	0,096
gp_5_0	0,110	0,097
gp_6_0	0,227	0,194
gp_7_0	0,332	0,315
gp_8_0	0,364	0,354
gp_9_0	0,434	0,407
gp_10_0	0,467	0,430
Ortalama Değerleri	0,2625	0,2412

Tablo 2 dikkate alındığında, yer değiştirmeli zıplama yönteminin, AATÇ problemlerinin çözümünde daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Araştırmada, zıplama yöntemi olarak, yer değiştirmeli zıplama yöntemi kullanılmıştır.

5.1.2. Başlangıç Dizisinin Oluşturulması (Selection of the Initial String)

Her bir işe ait işlem sürelerine bağlı olarak üç farklı başlangıç dizisi oluşturma yöntemi geliştirilmiştir. Bunlar, büyükten küçüğe, karışık ve küçükten büyüğe sıralama yöntemleridir. Bu üç tip başlangıç dizisi seçim yöntemi, literatürde yer alan problemler [34], [35] üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 3’de başlangıç dizisi seçim yöntemleri için hesaplanan sapma değerleri incelendiğinde, büyükten küçüğe sıralama ile küçükten büyüğe sıralamada eşit ortalama değerlere ulaşıldığı görülmektedir. Araştırmada, evcil kanguru için, büyükten küçüğe sıralama yöntemi ve vahşi kanguru içinde, küçükten büyüğe sıralama yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 3. Başlangıç dizisi seçim yöntemleri için sapma yüzdeleri ve ortalamaları (Percentage of diversification and average for initial sequence selection methods)

Kıyaslama Problemleri	Büyükten Küçüğe Sıralama	Karışık Sıralama	Küçükten Büyüğe Sıralama
gp_3_0	0,018	0,108	0,000
gp_4_0	0,108	0,094	0,121
gp_5_0	0,060	0,191	0,060
gp_6_0	0,213	0,206	0,212
gp_7_0	0,306	0,359	0,305
gp_8_0	0,337	0,395	0,345
gp_9_0	0,421	0,418	0,421
gp_10_0	0,441	0,464	0,441
Ortalama Değerleri	0,238	0,279	0,238

5.1.3.Adım Büyüklüğü (Step Size)

Minimum adım büyüklüğü, tüm örnekler için birdir. Maksimum adım büyüklüğü ise örnek hacminin büyüklüğüne bağlıdır. $n \times n$ ’lik bir örnekte n^2 adet işlem bulunmaktadır. Bir kangurunun maksimum adım büyüklüğü ise n^2-1 ’dir. Testte yer alan en büyük örnek 10×10 büyüklüğündedir. Dolayısıyla en büyük adım aralığı 99’dur. Evcil kanguru, küçük adımlarla iyileştirme yaptığından, adım büyüklüğü 1 ile 9 aralığında belirlenmiştir. Vahşi kanguru, büyük adımlarla arama yaptığından adım büyüklüğü, en büyük problemler için 1 ile 99 aralığında seçilmiştir. Evcil ve vahşi kanguru için adım sayıları birer değiştirilerek, tam faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır. Vahşi kanguru için problemlere bağlı olarak elde edilen en iyi adım büyüklükleri Tablo 4’de sunulmuştur.

Tablo 4. Vahşi Kanguru için en uygun adım büyüklüğü sayıları (The best step size for Wild Kangaroo)

Kıyaslama Problemleri	Hesaplanan En Küçük Sapma Yüzdeleri	En Uygun Adım Sayıları
gp_3_0	0,03	5
gp_4_0	0,04	8
gp_5_0	0,07	13
gp_6_0	0,14	22
gp_7_0	0,28	37
gp_8_0	0,31	52
gp_9_0	0,38	67
gp_10_0	0,39	68

Tablo 5. Hesaplama sonuçları (Computational results)

Kıyaslama Problemleri	<i>PKA</i> C_{\max} Değerleri	<i>BEÇ</i> C_{\max} Değerleri [34],[35]	<i>Sha&Hsu</i> -[13] C_{\max} Değerleri	<i>Sapma</i> Yüzdeleri
gp_3_0	1168	1168	1168	0,00
gp_3_1	1170	1170	1170	0,00
gp_3_2	1168	1168	1168	0,00
gp_3_3	1166	1166	1166	0,00
gp_3_4	1170	1170	1170	0,00
gp_3_5	1169	1169	1169	0,00
gp_3_6	1165	1165	1165	0,00
gp_3_7	1167	1167	1167	0,00
gp_3_8	1162	1162	1162	0,00
gp_3_9	1165	1165	1165	0,00
gp_4_0	1281	1281	1281	0,00
gp_4_1	1270	1270	1270	0,00
gp_4_2	1288	1288	1288	0,00
gp_4_3	1261	1261	1261	0,00
gp_4_4	1289	1289	1289	0,00
gp_4_5	1269	1269	1269	0,00
gp_4_6	1267	1267	1267	0,00
gp_4_7	1259	1259	1259	0,00
gp_4_8	1280	1280	1280	0,00
gp_4_9	1263	1263	1263	0,00
gp_5_0	1245	1245	1245	0,00
gp_5_1	1247	1247	1247	0,00
gp_5_2	1265	1265	1265	0,00
gp_5_3	1258	1258	1258	0,00
gp_5_4	1280	1280	1280	0,00
gp_5_5	1269	1269	1269	0,00
gp_5_6	1269	1269	1269	0,00
gp_5_7	1287	1287	1287	0,00
gp_5_8	1262	1262	1262	0,00
gp_5_9	1254	1254	1254	0,00
gp_6_0	1264	1264	1264	0,00
gp_6_1	1285	1285	1285	0,00
gp_6_2	1255	1255	1255	0,00
gp_6_3	1275	1275	1275	0,00
gp_6_4	1299	1299	1299	0,00
gp_6_5	1284	1284	1284	0,00
gp_6_6	1290	1290	1290	0,00
gp_6_7	1265	1265	1265	0,00
gp_6_8	1243	1243	1243	0,00
gp_6_9	1254	1254	1254	0,00

Tablo 5. Hesaplama sonuçları (devamı) (Computational results)

Kıyaslama Problemleri	<i>PKA</i> C_{\max} Değerleri	<i>BEÇ</i> C_{\max} Değerleri [34],[35]	<i>Sha&Hsu</i> -[13] C_{\max} Değerleri	<i>Sapma</i> Yüzdeleri
gp_7_0	1159	1159	1159	0,00
gp_7_1	1185	1185	1185	0,00
gp_7_2	1237	1237	1237	0,00
gp_7_3	1167	1167	1167	0,00
gp_7_4	1157	1157	1157	0,00
gp_7_5	1193	1193	1193	0,00
gp_7_6	1185	1185	1185	0,00
gp_7_7	1180	1180	1180	0,00
gp_7_8	1220	1220	1220	0,00
gp_7_9	1270	1270	1270	0,00
gp_8_0	1139	1130	1133	0,80
gp_8_1	1135	1135	1135	0,00
gp_8_2	1120	1110	1110	0,90
gp_8_3	1153	1153	1153	0,00
gp_8_4	1218	1218	1218	0,00
gp_8_5	1135	1115	1115	1,79
gp_8_6	1127	1126	1126	0,09
gp_8_7	1152	1148	1148	0,35
gp_8_8	1119	1114	1114	0,44
gp_8_9	1161	1161	1161	0,00
gp_9_0	1143	1129	1129	1,24
gp_9_1	1114	1110	1112	0,36
gp_9_2	1116	1116	1117	0,00
gp_9_3	1141	1130	1130	0,97
gp_9_4	1180	1180	1180	0,00
gp_9_5	1101	1093	1093	0,73
gp_9_6	1126	1091	1091	3,21
gp_9_7	1131	1106	1108	2,26
gp_9_8	1123	1123	1126	0,00
gp_9_9	1121	1112	1122	0,81
gp_10_0	1113	1093	1093	1,83
gp_10_1	1097	1097	1097	0,00
gp_10_2	1113	1081	1084	2,96
gp_10_3	1145	1083	1083	5,72
gp_10_4	1107	1073	1082	3,17
gp_10_5	1120	1071	1071	4,57
gp_10_6	1100	1080	1081	1,85
gp_10_7	1118	1095	1097	2,10
gp_10_8	1142	1115	1123	2,42
gp_10_9	1123	1092	1092	2,83

5.2. Sonuçlar (Results)

Literatürde yer alan, Guéret ve Prins'in [34] problemlerinden; 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10'lu n iş m makine toplam 80 problem, PKA ile, 1000 iterasyon sayısı için belirlenen en iyi parametre setleri ile çözülmüştür. Elde edilen tamamlanma zamanları (C_{max} -makespan), literatürde bu problemler için belirlenen, BEÇ değerleri ile, 1 numaralı ifadede verilen formülasyondaki gibi kıyaslanmıştır. Ayrıca PKA ile elde edilen sapma yüzdeleri yine literatürde, Sha ve Hsu [13] tarafından, parçacık sürü optimizasyonu yardımı ile elde edilen değerler ile kıyaslanmıştır. Sonuçlar Tablo 5'de sunulmuştur.

Tablo 5'de elde edilen sonuçlar görüleceği gibi, Literatürde yer alan, Guéret ve Prins'in [34] AATÇ için oluşturduğu toplam 80 problemde, önerilen PKA 58 tanesinde BEÇ değerine ulaşmış ve sapma yüzdeleri sıfır olarak hesaplanmıştır. Her bir problem grubuna göre elde edilen ortalama sapma yüzdeleri Tablo 6'de sunulmuştur.

Tablo 6. Problem gruplarına göre ortalama sapma yüzdeleri (Percentage of diversification average for problems group)

Kıyaslama Problem Grupları	Ortalama Sapma Yüzdeleri
gp_3_0	0,00
gp_4_0	0,00
gp_5_0	0,00
gp_6_0	0,00
gp_7_0	0,00
gp_8_0	0,43
gp_9_0	0,95
gp_10_0	2,74

Tablo 6'deki ortalama sapma yüzdeleri dikkate alındığında, gp_3_0, gp_4_0, gp_5_0, gp_6_0 ve gp_7_0 problemleri için önerilen PKA'nın bilinen En İyi tamamlanma zamanına ulaştığı görülmektedir.

6.SONUÇ (CONCLUSION)

AATÇ; yaygın uygulama alanı olan, NP zor problemleridir. Bu tip problemlerin çözümünde son yıllarda meta sezgisel yöntemler yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu araştırmada da, son yıllarda kullanılmaya başlanan, doğal yaşamdaki kanguların zıplama tekniğinden esinlenerek geliştirilmiş olan KA, iyileştirilerek, PKA olarak ilk defa AATÇ problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Literatürde önerilen [34], [35] AATÇ kıyaslama problemleri, PKA ile çözülmüştür. PKA'da iki ayrı zıplama yöntemi, başlangıç dizisinin oluşturulması ve evcil ve vahşi kanguru için adım büyüklükleri yöntemleri kullanılmış ve problem gruplarına göre en iyi değerleri belirlenmiştir. Guéret ve Prins'in [34] n iş x m makineden oluşan toplam 80 problemi önerilen PKA ile çözülmüştür. Toplam 80 problemin yüzde

71,25 için önerilen PKA, BEÇ değerine ulaşmıştır. Toplam sekiz problem grubunun beşinde önerilen PKA ortalama yüzde sıfır sapma ile BEÇ'ye ulaşmıştır. gp_8_0, gp_9_0 ve gp_10_0 grubundaki problemlerde ortalama yüzde sapma değerleri sıra ile 0,43; 0,95 ve 2,74 olarak hesaplanmıştır. Önerilen PKA'nın, AATÇ problemlerinin çözümünde başarılı bir yöntem olduğu düşünülmektedir.

İlerideki çalışmalarda, PKA'nın literatürde yer alan diğer çizelgeleme problemleri üzerinde test edilmesinin yararlı olacağı önerilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Liaw, C.F., Cheng, C.Y., Chen, M., "The total completion time open shop scheduling problem with a given sequence of jobs on one machine", **Computers & Operations Research**, 29, 1251 – 1266, 2002.
- Durmaz, T., **Açık Atölye Çizelgeleme Problemlerinin Paralel Kanguru Algoritması ile Çözümü**, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- Gonzalez, T., Sahni, S., "Open shop scheduling to minimize finish time", **Journal of the ACM**, 23(4):665–79, 1976.
- Arıkan, M., Erol, S., "A long term memory tabu search algorithm for part selection and machine loading in flexible manufacturing systems", **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 25, 2, 311-319, 2010.
- Dereli, T., Daş, G. S., "Ant colony optimization approach for container loading problems", **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 25, 4, 881-894, 2010
- Liaw, C.F., "An efficient tabu search approach for the two-machine preemptive open shop scheduling problem", **Computers & Operations Research**, 30, 2081–2095 2003.
- NG, C.T., Cheng, T.C.E., Yuan, J.J., "Concurrent Open Shop Scheduling to Minimize the Weighted Number of Tardy Jobs", **Journal of Scheduling**, 6, 405 – 412, 2003.
- Blum, C., "Beam-ACO—hybridizing ant colony optimization with beam search: an application to open shop scheduling", **Computers & Operations Research**, 32, 1565–1591, 2005.
- Shabtay, D., Kaspi, M., "Minimizing the Makespan in Open-Shop Scheduling Problems with a Convex Resource Consumption Function," **Wiley InterScience** (2 February 2006).
- Senthilkumar, P., Shahabudeen, P., "GA based heuristic for the open job shop scheduling problem", **Int J Adv Manuf Technol**, 30, 297–301, 2006.
- Sedeno-Noda, A., Alcaide, D., Gonzalez-Martin, C., "Network flow approaches to preemptive open-shop scheduling problems with

- time-windows”, **European Journal of Operational Research**, 174, 1501–1518, 2006.
12. Gribkovskaia, I.V., Lee, C.Y., Strusevich, V.A., Werra, D., “Three is easy, two is hard: open shop sum-batch scheduling problem refined”, **Operations Research Letters**, 34, 459 – 464, 2006.
 13. Sha, D.Y., Hsu, C.Y., “A new particle swarm optimization for the open shop scheduling problem”, **Computers & Operations Research**, 35 3243 – 3261, 2008.
 14. Brasel, H., Herms, A., Mörig, M., Tautenhahn, T., Tusch, J., Werner, F., “Heuristic constructive algorithms for open shop scheduling to minimize mean flow time”, **European Journal of Operational Research**, 189, 856–870, 2008.
 15. Lin, H.T., Lee, H.T., Pan, W.J., “Heuristics for scheduling in a no-wait open shop with movable dedicated machines”, **Int. J. Production Economics**, 111, 368–377, 2008.
 16. Mosheiov, G., Oron, D., “Open-shop batch scheduling with identical jobs”, **European Journal of Operational Research**, 187, 1282–1292, 2008.
 17. Werra, D., Kis, T., Kubiak, W., “Preemptive open shop scheduling with multiprocessors: polynomial cases and applications”, **J Sched** 11, 75–83, 2008.
 18. Sedeño-Noda, A., Pablo, D.A.L., González-Martín, C., “A network flow-based method to solve performance cost and makespan open-shop scheduling problems with time-windows”, **European Journal of Operational Research**, 196, 140–154, 2009.
 19. Low, C. ve Yeh, Y., “Genetic algorithm-based heuristics for an open shop scheduling problem with setup, processing, and removal times separated”, **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 25, 314–322, 2009.
 20. Akgöbek, Ö., Kaya, S., Değirmenci, Ü., Engin, O., “Açık Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Paralel Doyumsuz Metasezgisel Algoritma ile Çözümü”, **Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu – BMYS 2010**, 14-16 Ekim Dicle Üniversitesi Kongre Merkezi, 122-130, 2010.
 21. Naderi, B., Ghomi, S.M.T.F., Aminnayeri, M., Zandieh, M., “A contribution and new heuristics for open shop scheduling”, **Computers & Operations Research**, 37, 213-221, 2010.
 22. Zhang, X. ve Velde, S., “On-line two-machine open shop scheduling with time lags”, **European Journal of Operational Research**, 204 14–19, 2010.
 23. Türkeli, B., “Solution of Bicriteria Open Shop Scheduling Problem with Genetic Algorithm and Tabu Search and Detailed Analysis of Results”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara University Institute For Graduate Studies In Pure And Applied Sciences**, İstanbul, 2010.
 24. Kökçam, A.H. ve Engin, O., “Bulanık Proje Çizelgeleme Problemlerinin Meta Sezgisel Yöntemlerle Çözümü”, **Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi (Sigma)**, 28, 86-101, 2010.
 25. Serbencu, A., Minzu, V., Serbencu, A., “An Ant Colony System Based Metaheuristic for Solving Single Machine Scheduling Problem”, **The Annals of “Dunarea De Jos” University Of Galati Fascicle III**, Electrotechnics, Electronics, Automatic Control, Informatics, 19-24, 2007.
 26. Teske, E., “Computing discrete logarithms with the parallelized kangaroo method”, **Discrete Applied Mathematics**, 130, 61-82, 2003.
 27. Pollard, J.M., “Kruskal's Card Trick”, **The Mathematical Gazette**, 84, 500 (Jul.), 265-267, 2000.
 28. Jellouli, O., Chatelet, E., “Monte Carlo Simulation And Stochastic Algorithms For Optimising Supply Chain Management in an Uncertain Environment”, **Systems, Man, and Cybernetics, 2001 IEEE International Conference**, 3 1840-1844. 2001.
 29. Stein, A. ve Teske, E., “The Parallelized Pollard Kangaroo Method in Real Quadratic Function Fields”, **Mathematics of Computation**, 71/238 793-814, 2001.
 30. Minzu, V. ve Beldiman, L., “Some aspects concerning the implementation of a parallel hybrid metaheuristic”, **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, 20, 993–999, 2007.
 31. Yılmaz, M.K., Kökçam, A.H., Duvarcı, V., Fırlı, A., Ayöz, M., Engin, O., “Paralel Kanguru Algoritması Yardımıyla Beklemesiz Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü”, **Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 29. Ulusal Kongresi**, 2010.
 32. Yılmaz, M.K., Engin, O., Fırlı, A., Yavuz, M., “Parallel Kangaroo Algorithm For Bi-objective Flow Shop Scheduling with a New Weight Combining Approach”, **1st International Symposium on Computing in Science & Engineering, ISCSE-2010**, Gediz University (İzmir), June 3-5, Kuşadası Aydın Turkey, 823-827, 2010.
 33. Yılmaz, M.K., Fırlı, A., Terzi, U., Yavuz, M., Engin, O., “A Hybrid Parallel Kangaroo a & Simulated Annealing Algorithm for Multi-Objective Flow Shop Scheduling” **The Journal of Management and Engineering Integration**, 3, 2, 2010.
 34. Guéret, C., Prins, C., “A new lower bound for the open-shop problem”, **Annals of Operations Research**, 92:165–83, 1999.
 35. Guéret, C., Ecole des mines de Nantes – Open shop problems [online], Nantes, Ecole des mines de Nantes, <http://www.mines-nantes.fr/en/Media/Elements-Sites-Persos/Christelle-Gueret/Open-shop/HardOSInstances> [Ziyaret Tarihi: 3 Ocak 2011].