



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

Çizelgeleme problemlerinin çözümünde hibrit biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmasının kullanımı

Using hybrid biogeography-based optimization algorithm to solve scheduling problems

Yazar(lar) (Author(s)): Orhan ENGİN¹, Ahmetcan ÖZMETE², Sefa İPEK³, Yunus Emre KAROĞLU⁴

¹ ORCID ID: 0000-0002-7250-0317

² ORCID ID: 0000-0002-1287-9644

³ ORCID ID: 0000-0002-7586-4060

⁴ ORCID ID: 0000-0003-2403-8970

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Engin O., Özmete A., İpek S., Karaoğlu Y. E., "Çizelgeleme problemlerinin çözümünde hibrit biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmasının kullanımı", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(1): 68-77, (2023).

DOI: 10.46578/humder.1256671



Çizelgeleme problemlerinin çözümünde hibrit biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmasının kullanımı

Orhan ENGİN^{1,*}, Ahmetcan ÖZMETE², Sefa İPEK³, Yunus Emre KAROĞLU⁴

^{1,2,3,4}Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Selçuklu/KONYA

Öz

Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (BTO), habitat türlerinin göçünden esinlenerek oluşturulan evrimsel bir algoritmadır. 2008 yılında Simon tarafından geliştirilen bu yöntem, optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Biyocoğrafya tabanlı optimizasyon, esnek ve çok yönlü bir algoritmadır fakat en zor kombinatoriyal optimizasyon probleminden biri olan atölye tipi çizelgeleme problemlerini çözmek için kullanıldığında yetersiz kaldığından dolayı Hibrit Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (HBTO) geliştirilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda HBTO yönteminin, BTO'ya göre daha etkili ve esnek olduğu keşfedilmiştir. HBTO, farklı kombinatoriyel optimizasyon problemlerinde kullanılabilen bir algoritmadır. Bu çalışmada, hibrit biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmasının çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanımı incelenmiştir. HBTO'nun çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanımı ile ilgili literatür araştırması yapılmıştır.

Using hybrid biogeography-based optimization algorithm to solve scheduling problems

Abstract

Biogeography-based optimization is an evolutionary algorithm inspired by the migration of habitat types. This method, which was discovered by Simon in 2008, has used efficiently for solving combinatorial optimization problems. Biogeography-based optimization is a flexible and versatile algorithm, but Hybrid biogeography-based optimization has been developed because it is insufficient when used to solve one of the most difficult combinatorial optimization problems, job-shop scheduling problem. As a result of the researches, it has been discovered that the hybrid biogeography-based optimization study is more effective and flexible than Biogeography-based optimization. Hybrid Biogeography-based optimization is an algorithm that can be used in different combinatorial optimization problems. In this research, solutions of scheduling problems by using hybrid biogeography-based optimization algorithm are examined. A literature survey is done for using the HBBO to solve the scheduling problems.

Makale Bilgisi

Başvuru: 26/02/2023
Yayın: 28/04/2023

Anahtar Kelimeler

Biyocoğrafya,
Çizelgeleme
Göç
Hibrit
Optimizasyon

Keywords

Biogeography
Scheduling
Hybrid
Migration
Optimization

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Biyocoğrafya bilimi, özellikle erken dönemden günümüze tür dağılımını ve onu harekete geçiren kaynakları ve diğer değişkenleri gözlemleyen bir coğrafya kategorisidir. Biyocoğrafyanın tüm analizleri takiben, fiziksel çevre ile ilişkilendirilir, biyomları, taksonomiye, ekosistem ve tür tahsisi içindeki ortak otoriteyi içerir. Biyocoğrafya, fiziki coğrafyanın yerini alan bir kavram olarak kabul edilmektedir [1]. Doğadan ilham alan algoritmalar, son yıllarda giderek daha popüler hale gelen bir bilgisayar zekası disiplini içerir. Doğadan ilham alan algoritmaların popüleritesi, karmaşık problemleri çözümedeki güçlü arama ve optimizasyon yeteneklerinden kaynaklanmaktadır. Genel olarak, bu algoritmalar ya evrimsel algoritmalar ya da sürü tabanlı algoritmalar olarak sınıflandırılabilir. Biyocoğrafya tabanlı optimizasyon, göçe dayalı hem keşif hem de kullanma stratejilerini içerdiğinden güçlü bir arama tekniği

*İletişim yazarı, e-mail: oengin@ktun.edu.tr

olduğu kanıtlanmıştır. Pratik optimizasyon problemlerini çözmek için en hızlı büyüyen doğadan ilham alan algoritmalarından biridir [2]. Biyocoğrafyanın matematiksel modelleri, türlerin bir habitattan diğerine nasıl göç ettiğini, yeni türlerin nasıl ortaya çıktığını ve türlerin nasıl tükendiğini açıklar. Biyolojik türler için konut olarak çok uygun olan coğrafi alanların, yüksek bir Habitat Uygunluk İndeksine (HUI) sahip olduğu söylenmektedir. HUI ile ilişkili özellikler, yağış miktarı, bitki örtüsünün çeşitliliği, topografik özelliklerin çeşitliliği, arazi alanı ve sıcaklık gibi faktörleri içerir. Yaşanabilirlik, Uygunluk İndeksi Değişkenleri (UID) ile tanımlanır. UIDler, habitatın bağımsız değişkenleri ve HUI, bağımlı değişken olarak kabul edilebilir [3]. Optimizasyondaki hibrit yaklaşımların popüleritesi, çeşitli optimizasyon yöntemlerinden bileşenleri birleştirerek klasik algoritmaların performansını iyileştirmek için etkili bir strateji olarak artmaktadır. Çalışmalar, BTO'nun performansının, diğer meta-sezgisel yöntemlerdeki tekniklerin dâhil edilmesiyle geliştirilebileceğini göstermiştir [2]. Bundan dolayı, BTO son yıllarda, diğer popülasyona dayalı algoritmalarla melezleştirilmektedir. Örnek olarak, literatürde, BTO, Evrimsel Strateji (ES), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO), Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO), Yapay Bağışıklık Algoritması (YBA) ile melezleştirilmiştir. Sonuçlar, hibrit yöntemin diğer yöntemlere göre daha verimli ve sağlam olduğunu göstermiştir [2].

Çizelgeleme problemleri, kaynakların kullanımını iyileştirmek için hem üretim sistemlerinde hem de endüstriyel süreçte önemli bir rol oynar ve bu nedenle verimli çizelgeleme teknolojilerinin geliştirilmesi çok önemlidir [3]. Biyocoğrafya tabanlı optimizasyon yöntemi, farklı çizelgeleme problemlerinin çözümünde daha iyi sonuçlar elde edebilmek için çeşitli yöntemler ile hibritleştirilmiştir. Bu araştırmada, ilk defa biyocoğrafya tabanlı optimizasyon yönteminin çizelgeleme problemlerinde kullanımı ile ilgili detaylı bir literatür çalışması yapılmıştır.

Araştırmanın ikinci bölümünde, Hibrit biyocoğrafya tabanlı optimizasyon yöntemi ve adımları açıklanmıştır. Üçüncü bölümde çizelgeleme problemlerinin çözümünde, hibrit biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmasının kullanımı ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular, Sonuç ve öneriler kısmında verilmiştir.

2. HİBRİT BİYOCOĞRAFYA TABANLI OPTİMİZASYON ALGORİTMASI (HYBRID BIOGEOGRAPHY-BASED OPTIMIZATION ALGORITHM)

2.1. Biyocoğrafya tabanlı optimizasyon

Biyocoğrafya tabanlı optimizasyon, türlerin bir ekosistemdeki coğrafi dağılımından ve göçünden ilham alan, biyo-ilhamlı bir hesaplama algoritmasıdır [4]. BTO, türlerin habitatlar içinde nasıl göç ettiğini, yeni türlerin nasıl ortaya çıktığını ve türlerin nasıl yok olduğunu açıklayan biyocoğrafyanın matematik modellerine dayalı olarak geliştirilmiştir. Bir habitatın, biyolojik hayatta kalma için uygun olup olmadığını değerlendirmek için nicel bir performans indeksi HUI kullanılır. HUI ile ilişkili özellikler, yağış, bitki örtüsü çeşitliliği, topografik özelliklerin çeşitliliği, arazi alanı ve sıcaklık gibi faktörleri içerir [3]. UID, habitatın bağımsız değişkeni, HUI ise bağımlı değişkendir [5]. BTOda aday çözümleri sunmak için bir dizi habitat kullanılır. Temel BTO, esas olarak göç ve mutasyon olmak üzere iki mekanizma üzerinde çalışır. HUI, bir çözümün iyi olup olmadığını ölçmek için diğer popülasyon tabanlı optimizasyon algoritmalarındaki uygunluğa benzer bir değerlendirme kriteridir. Türler, bir habitattan, iyi coğrafi koşullara sahip diğer habitatlara göç eder [6]. Yüksek HUI'lı habitatlar, daha fazla sayıda türe ve daha düşük göç oranına sahip olma eğilimindedir. Yüksek HUI'lı çözümler, özelliklerini düşük HUI'lılarla paylaşma eğilimindedir ve zayıf çözümler, iyi çözümlerden birçok yeni özelliği kabul edebilir. Mutasyon, habitat UIDlerini, habitatların önceden var olma olasılığına dayalı olarak rastgele değiştiren bir olasılık operatörüdür [5].

2.1.1. Göç stratejisi

BTO geçişi, özellikleri, çözümler arasında paylaşarak her bir çözümü yani habitatı $H(i)$ ayarlayan olasılıksal bir operatördür. BTOda göç stratejisi, birçok ebeveynin tek bir yavruya katkıda bulunabileceği evrimsel stratejiye benzer. Yeni yerleşilen ve terk edilen habitat'ta s tür sayısı için göç oranları denklem 1 ile hesaplanır [3].

$$\mu_s = \frac{Es}{S_{maks}} \quad (1)$$

$$\lambda_s = I(1 - \frac{s}{S_{maks}})$$

Denklem 1’de yer alan notasyonlar aşağıda açıklanmıştır.

λ : Yeni yerleşilen habitat için göç oranı,

μ : Terk edilen habitat için göç oranı,

I : Yeni yerleşilen habitat da mümkün olabilecek maksimum göç oranı. Bu oran, habitat’da sıfır tür olduğunda oluşur.

S_{maks} : Habitat’da mümkün olan en geniş tür sayısı. Bu tür sayısı, yeni yerleşilen habitat’a göç oranının sıfır olması ile oluşur.

E : Terk edilen habitattaki maksimum göç oranı. Bu göç oranı, habitat en geniş türleri barındırdığında oluşur.

S_0 : Türlerin denge sayısı. Habitata yerleşen ile habitat’da ayrılan göç oranlarının eşit olduğunda oluşur.

BTO’nun göç süreci Şekil 1’de verilmiştir [3, 5]. Şekil 1’de yer alan P notasyonu, popülasyon sayısını göstermektedir.

Begin

for $i = 1$ to P

H_i ’ye göç edip edilmeyeceğine olasılıksal olarak karar vermek için λ_i kullanarak X_i ‘yi seç

if $\text{rand}(0,1) < \lambda_i$ then

for $j=1$ to P

Olasılıkla göç eden H_j habitatını seçin $\propto \mu_j, j \in [1, P]$

if $\text{rand}(0,1) < \mu_j$ then

$H_i(\text{UID}) \leftarrow H_j(\text{UID})$

end if

end if

end for

End

Şekil 1. BTO’nun göç süreci

2.1.2. Mutasyon stratejisi

Bir habitatın HUI’sı görünüşte rastgele olaylar nedeniyle aniden değişebileceğinden, BTOda UIDlerin mutasyonu vardır. Çok yüksek ve çok düşük HUI’li çözümlerin her ikisi de eşit derecede olasılık dışıyken, orta HUI çözümlerinin mutasyona uğraması nispeten olasıdır. Mutasyon, popülasyonun çeşitliliğini arttırmak için kullanılır, bu da yerel optimumda sıkışıp kalma şansını azaltmaya yardımcı olur. Ayrıca, en iyi bireylerin hayatta kalmasını garanti etmek için elitizm (en uygun bireylerden bazılarının bir sonraki nesle kopyalanması) uygulanmaktadır [7]. Tür sayım olasılıkları P_s , λ_s ve μ_s mutasyon oranlarını belirlemek için kullanılır. Mutasyon işlemi yürütmek için S türüne sahip bir habitatın seçildiği varsayılır ise, seçilen bir değişkenin (UID) ilgili olasılığa P_s ’ye dayalı olarak rastgele değiştirilir. Mutasyon oranı $m(s)$, P_s ile orantılı olarak 2.2 numaralı denkleme göre hesaplanır [5].

$$m(s) = m_{maks} \left(\frac{1 - p_s}{p_{maks}} \right) \quad (2)$$

Denklem 2’de verilen m_{maks} kullanıcı tanımlı bir parametredir ve P_{maks} maksimum tür sayısı olasılığı iken, P_s habitatta s türünün bulunma olasılığıdır [5].

BTO’nun mutasyon süreci Şekil 2’de verilmiştir.

```

Begin
  for i=1 to P
    Pi olasılığını hesapla
    Hj (UID) 'yi Pi olasılıkla seç
    if rand (0,1) < μi then
      Hj (UID) 'yi rastgele oluşturulmuş UID ile değiştir
    end if
  end for
End

```

Şekil 2. BTO’nun mutasyon süreci

2.2. Hibrit Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon

BTO, esnek, çok yönlü ve sağlam bir algoritmadır. Bununla birlikte, temel algoritmanın, Atölye Çizelgeleme Problemi (AÇP)yi çözmek için kullanıldığında, küresel optimal çözüme ulaşmak için çok sayıda yineleme gerektirmesi ve erken yakınsama eğilimi gibi bazı zayıf noktaları vardır. Bu nedenle, çizelgeleme problemlerinin çözümünü, arama sürecini hızlandırmak için BTO’da birçok arama stratejisi kullanılabilir. Bu stratejilerden yaygın olanları da “kaos teorisi” ve “optimum çevresinde arama”dır [8]. Çizelgeleme çözümünü, arama sürecini, hızlandıran bu stratejiler, detaylı bir şekilde aşağıda açıklanmıştır.

Kaos teorisi

Edward Lorenz adlı bir meteorolog tarafından keşfedilen kaos teorisi, başlangıç koşullarına oldukça duyarlı dinamik sistemlerin davranışını inceler. Halk arasında kelebek etkisi olarak adlandırılan bir etkidir. Kaos teorisinde ortak olan kelebek etkisi fenomeni, başlangıç koşullarına duyarlı olarak da bilinir; bu, böyle bir sistemdeki her noktanın, gelecekte önemli ölçüde farklı olan diğer noktalar tarafından keyfi olarak yakınlştırılacağı anlamına gelir [9]. Başlangıç koşullarındaki küçük farklılıklar, kaotik sistemlerde büyük ölçüde farklılaşan sonuçlar verir ve bu da genel olarak uzun vadeli tahminleri imkânsız hale getirir. Kaotik sistemlerin başlangıç koşullarına duyarlılığının yanı sıra iki özelliği daha vardır. Birincisi, sonsuz sayıda, kararsız periyodik yörüngenin, altta yatan kaotik kümeye gömülü olmasıdır. Diğeri, kaotik sistemdeki dinamiklerin ergodik olmasıdır, yani sistem kendi zamansal evrimine gömülü, kararsız periyodik yörüngelerin her birindeki her noktanın küçük bir komşuluğunu ergodik olarak ziyaret eder [9]. Dinamik bir sistemin, kaotik bir sistem olarak sınıflandırılma kriteri aşağıda açıklanmaktadır. Başlangıç koşullarına duyarlı olmalı, topolojik olarak karışmalıdır, ayrıca periyodik yörüngeleri yoğun olmalıdır. Kaos teorisinin temel fikri, en iyi çalışılan kaotik sistemlerden biri olan denklem 2,3’te verilen tek boyutlu lojistik harita formülasyonu dikkate alınarak ifade edilir. [5].

$$x_{n+1} = \eta x_n (1 - x_n) \quad (3)$$

Denklem 3’te n habitat sayısını, x_n birim aralığı ($[0, 1]$ ile sınırlı); burada 1 olası maksimum popülasyonu ve 0 yok olmayı temsil eder. η , x_n ’nin büyüme oranıdır. x_n ’nin başlangıç değerindeki çok küçük bir fark, kaosun temel özelliği olan uzun süreli davranışında büyük bir farka yol açacaktır. Ayrıca, $\eta = 4$ ve $x_n = 0,25$ değeri olduğunda, 0,5; 0,75 sonunda her mahalleyi en iyi periyodikliğe sahip $[0, 1]$ alt aralığında ziyaret edecektir. Dolayısıyla lojistik harita denklem 2. 4’te ki gibi tanımlanır [5].

$$x_{n+1} = 4x_n(1-x_n) \quad (4)$$

Denklem 4'te verilen lojistik harita, periyodu ikiye katlayan çatallanma rotasında kaos oluşturur. Kaotik değişkenin izi, periyodik bir yörüngeyi komşuluğundaki tüm ilgi alanı boyunca ergodik olarak seyahat edebilir. Değişkenliği düzensizlik gibi görünse de kaotik değişkenin varyasyonu hassas bir doğal kurala sahiptir. Önerilen HBTO algoritmasında, habitatları başlatmak için kaos teorisi kullanılır. Bu şekilde, kaotik değişkenin ergodikliği ve düzensizliği, optimum çözüme ulaşma hızını artırmak için habitatların çeşitliliğini artırabilir [5].

Optimum etrafında arama stratejisi

Temel BTONun zamanından önce yakınsama eğilimi olduğundan, "optimum etrafında arama" stratejisi önerilmiştir. Bu stratejide, erken durgunluğu tanımlayan etkili bir yöntem BTOya gömülmüştür. Bu nedenle, erken durgunluk meydana geldiğinde, mevcut arama yerini değiştirmek için mevcut optimumun yerine rastgele bir çözüm kullanılır. Bu nedenle, habitatlar yerel optimumların dışına çıkabilir [8].

BTONun her neslinde optimal bir çözüme ulaşılabilir. Sürekli *MAKS* iterasyon sürecinde, optimal çözümde herhangi bir değişiklik olmadığında, algoritmanın durgunluk potansiyeline sahip olduğunu ve habitatların yerel optimal çözüme geçtiğini veya yakında yerel optimuma gireceği düşünülür. *MAKS*, belirtilen probleme ve deney sonuçlarına göre kullanıcı tarafından verilen bir eşiktir. Daha büyük bir *MAKS*, erken durgunluk yargısının standardının daha fazla gevşediğini gösterir [8].

AÇP için HBTO prosedürü

Kodlama Stratejisi

AÇP, deterministik olmayan polinom zamanlı bir kombinatoriyal optimizasyon problemidir [10]. Bundan dolayı, HBTO algoritmasının kodlanması gerekir. Kodlama, habitatı ifade eder. Kodlama yapılırken; Lamarck'ın evrim teorisi, kod çözmenin karmaşıklığı, kodlama alanı özellikleri ve depolama gereksinimlerinin tümü dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, HBTO algoritmasında sürece dayalı (adım adım ve zamana bağlı) kodlama kullanılır [8].

Kod çözme stratejisi

Optimizasyonun tamamlanmasından sonra, çizelgeleme sonucunun habitatlardan çözülmesi gerekir. Örneğin, bir AÇP dikkate alındığında çözüm adımları aşağıdaki gibi olur [8].

Adım 1: HBTO parametrelerini seçin,

Adım 2: Habitatları başlatın,

Adım 3: k ve l yi hesaplayın,

Adım4: Taşyın. Seçkin olmayan her bir habitatı değiştirmek için göç oranı k_i yi ve göç oranı l_i yi olasılıksal olarak kullanın,

Adım 5: Mutasyona Geçin. Her habitat için, tür sayısının güncelleyin. Seçkin olmayan her habitatı mutasyona uğratın,

Adım 6: Optimum etrafında arama. Algoritma durgunluk potansiyeline sahipse algoritmanın yerel optimumdan çıkmasına yardımcı olmak için mevcut optimum çözümün bir boyutunu rastgele bir sayı ile rastgele değiştirmek için "optimum etrafında arama" stratejisini kullanın,

Adım7: Durdurma kriteri sağlanıyorsa, iterasyonları durdurun ve çözümün çıktısını alın, aksi takdirde sonraki iterasyon için Adım 3e gidin. Bu döngü yü, önceden tanımlanmış sayıda yinelemeden sonra veya kabul edilebilir bir problem çözümü bulduktan sonra sonlandırın.

3. ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE HİBRİT BİYOCOĞRAFYA TABANLI OPTİMİZASYON ALGORİTMASININ KULLANIMI (USING HYBRID BIOGEOGRAPHY-BASED OPTIMIZATION ALGORITHM TO SOLVE SCHEDULING PROBLEMS)

Hibrit biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritması çeşitli çizelgeleme problemlerinin çözümlerini elde

etmek için son on beş yılda kullanılmıştır. İncelenen çalışmalar, problem tanımlarına göre sınıflandırılarak Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Hibrit Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon Algoritmasının Kullanıldığı Çizelgeleme Problemleri

Problem	Araştırmayı Yapan Yazarlar	
Permutasyon akış tip	M. Yin ve X. Li (2011) [11]	
Akış Tipi	Dağıtılmış montajlı, permutasyon akış tipi	J. Lin ve S. Zhang (2016) [12]; J. Huang, X. Gu (2022) [13]
	Sıra bağımlı, hazırlık süreli, akış tipi	Y. Wang, X. Li (2017) [14]
	Bloklamalı, akış tipi	S. Liu, P. Wang, J. Zhang (2018) [15]
	Beklemesiz akış tipi	F. Zhao, S. Qin, Y. Zhang, W. Ma, C. Zhang, H. Song (2019) [16]
	Akış tipi	M. Huang, S. Shi, X. Liang, X. Jiao, Y. Fu (2020) [17]
Atölye Tipi	Esnek atölye tipi	S. H. A. Rahmati ve M. Zandieh (2012) [18]; Y. Yang (2015) [19] Y. An, X. Chen, Y. Li, Y. Han, J. Zhang, H. Shi (2021) [20] Y. An, X. Chen, Y. Li, J. Zhang, J. J. iang (2021) [21]
	Atölye tipi	X. Wang, H. Duan (2014) [8]; S.S. Kim, J. H. Byeon, H. Yu, H. Liu (2014) [22]; H. Piroozfard, K. Y. Wong, A. D. Asl (2017) [23] M. Harrabi, O.B. Driss, K. Ghedira (2021) [24]
	Bulanık esnek atölye tipi	J. Lin (2015) [25]

Tablo 1’de görüldüğü gibi HBTO algoritması, akış ve atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Ayrıca sadece bir çalışmada, bulanık esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde HBTO algoritması uygulanmıştır. Akış tipi çizelgeleme problemleri n -iş ve m farklı makineden oluşan ve işlerin aynı sıra ile işlem gördüğü NP-zor bir problemdir [26]. Atölye tipi çizelgeleme problemleri de n -iş ve m -makineden oluşmakta olup işlerin makinelerdeki işlem sırası farklıdır [27]. Bulanık çizelgeleme problemlerinde de işlerin işlem süreleri kesin olarak belirlenemediği durumlarda, süreler bulanık sayılar ile tanımlanır [28]. Tablo 1’de verilen çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Yin ve Li [11] teorik altyapıya sahip, NP-zor olan permutasyon akış tipi çizelgeleme problemi için memetik algoritmaya dayalı, HBTO adlı bir biyocoğrafya tabanlı optimizasyon önermişlerdir. İlk olarak, biyocoğrafya tabanlı optimizasyonu, probleme uygun hale getirmek için, BTODaki sürekli konumu, ayrık iş permutasyonuna dönüştürerek, rastgele anahtara dayalı yeni bir kural getirmişlerdir. İkinci olarak, Nawaz, Enscore ve Ham (NEH) algoritması ile, popülasyonu belirli kalite ve çeşitlilikle başlatmak için rastgele başlatma ile birleştirmişlerdir. Daha sonra, belirli bir olasılıkla, bireyleri geliştirmek için hızlı bir yerel arama kullanmışlardır. Ardından, ikili tabanlı yerel aramayı, global optimal çözümü geliştirmek ve algoritmanın yerel minimumdan kaçmasına yardımcı olmak için kullanmışlardır. Lin ve Zhang [12] modern tedarik zincirlerinde ve üretim sistemlerinde yaygın olarak kullanılan, dağıtılmış montajlı, permutasyon akış atölye çizelgeleme probleminde, tamamlanma zamanını minimuma indirmek için hibrit biyocoğrafya tabanlı optimizasyonunu önermişlerdir. Montaj sırasını optimize etmek için ilk olarak yeniden yol bağlama buluşsal yöntemi, ürün yerel arama stratejisi olarak taşıma aşamasında kullanmışlardır. Daha sonra, her üründe iş permutasyonunu belirlemek için mutasyon aşamasında ekleme tabanlı bir buluşsal yöntem kullanmışlardır. Ardından, problem özelliklerine dayalı olarak yeni bir yerel arama yöntemi tasarlamışlar ve en umut verici bireyi daha da iyileştirmek için hibrit biyocoğrafya tabanlı optimizasyon şeması yardımı ile iyileştirmişlerdir. Son olarak, önerilen algoritmanın etkinliğini göstermek için 900 küçük boyutlu örnek ve 810 büyük boyutlu örnek üzerinde hesaplamalı simülasyonlar yapmışlar ve 162 örnek için en iyi bilinen yeni çözümler bulmuşlardır. Huang ve Gu [13] biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmasını, diziye bağlı kurulum süreleriyle, dağıtılmış montaj permutasyon akış atölyesi çizelgeleme problemini çözmek için kullanmışlardır. Amaç fonksiyonu olarak, maksimum tamamlanma süresini (makespan) en aza indirmeyi seçmişlerdir. Önerdikleri algoritma, başlangıç aşamasında iki tür uygulanabilir çözüm üretir. Sonraki aşamada, doğrusal göç modeli, sinüzoidal göç modeli ile değiştirilir ve göç aşamasında değiştirilmiş bir ürün yerleştirme yöntemi geliştirmişlerdir. Mutasyon aşamasında, her üründeki işlerin işleme sırasını ayarlamak için bir iş ekleme yöntemi kullanmışlardır. Önerdikleri yöntemi, 540 test örneğine dayanan simülasyon deneyleri yardımı ile mevcut yedi algoritmanın yanı sıra basit bir biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritması ile karşılaştırmışlardır. Wang ve Li [14], toplam ağırlıklı gecikmeyi en aza indirmek amacıyla sıra bağımlı, hazırlık süreli, akış

tipi çizelgeleme problemini çözmek için hibrit kaotik bir biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritması önermişlerdir. Yazarlar, sürekli vektörleri ayrık iş permütasyonlarına dönüştürmek için en büyük sıra değeri kuralını kullanmışlardır. Sonra, kaotik teori ve probleme özgü NEH buluşsal yöntemi, yoğunlaştırma ve çeşitlendirme özelliğine sahip başlangıç popülasyonunu oluşturmak için uygulamışlardır. Oluşturulan başlangıç popülasyonları için yeni göç ve mutasyon şemaları tasarlayarak küresel arama yeteneğini geliştirmek için iyileştirilmiş bir biyocoğrafya tabanlı optimizasyon önermişlerdir. Seçkin habitatların kalitesini artırmak için başka bir yerel arama yöntemini biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmasında kullanmışlardır. Çözümlerin yerel optimumda sıkışmasını önlemek için etkili bir pertürbasyon uygulanmışlardır. Önerilen algoritmanın etkinliğini doğrulamak için Taillard'ın kıyaslama problemlerini çözerek yedi farklı algoritmanın çözümleri ile kıyaslamışlardır. Liu, Wang ve Zhang [15] maksimum tamamlanma süresi kriterli, bloklamalı akış tipi çizelgeleme problemini çözmek için bir biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritması önermişlerdir. Temel BTO algoritmasında çözüm çeşitliliğini sağlamak için NEH algoritmasını kullanmışlardır. Bloklamalı akış tipi çizelgeleme probleminin uygunsuz çözümlerinin oluşmasını önlemek için ekleme kurallarına dayalı geçiş işlemi ve takas kurallarına dayalı mutasyon işlemi yöntemlerini önermişlerdir. Önerdikleri algoritmanın yerel arama yeteneğini güçlendirmek için bir ekleme komşuluk arama algoritması kullanmışlardır. Zhao, Qin, Zhang, Ma, Zhang, ve Song [16] bekleme akış tipi çizelgeleme problemi için değişken komşuluk arama mekanizmasına sahip hibrit bir biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritması önerilmişlerdir. Yazarların önerdikleri algoritma, biyocoğrafya teorisinin genel sürecinden ilham alan standart biyocoğrafya tabanlı optimizasyon, göç ve mutasyon operatörlerini kullanmaktadır. Performans kriteri olarak tamamlanma zamanının minimizasyonunu seçmişlerdir. Başlangıç popülasyonunu elde etmek için değiştirilmiş NEH ve en yakın komşu mekanizmasını kullanmışlardır. Yazarlar, yeniden bağlama tekniği ile blok tabanlı kişisel gelişim stratejisini birleştiren hibrit bir geçiş operatörünü, yakınsamayı hızlandırmak için tasarlanmışlardır. Yinelemeli açgözlü algoritmanın başarılı sonuçlar vermesi için mutasyon operatörünü kullanmışlardır. Blok komşuluk yapısına ve ekleme komşuluk yapısına dayanan bir değişken komşu arama stratejisi, yerel aramayı her nesilde mevcut en iyi çözüm etrafında gerçekleştirmek için tasarlamışlardır. Önerdikleri algoritmanın global yakınsama performansını Markov modeli ile analiz etmişlerdir. Önerdikleri yöntemi, Taillard kıyaslama örnekleri üzerinde test etmişlerdir. Huang, Shi, Liang, Jiao, ve Fu [17], maksimum tamamlanma zamanını minimize etmek için başlangıç popülasyonunu NEH algoritması ile oluşturan, geçiş işlemi için kosinüs göç modelini ve yineleme sürecinde elit elde tutma stratejisi kullanan, tavlama algoritması ile biyocoğrafya-tabanlı optimizasyon algoritmasını birleştiren bir model önermişlerdir. Önerdikleri metodunu performansını test etmek için Taillard'ın kıyaslama problemlerini çözmüşlerdir. Rahmati ve Zandieh [18], esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için yeni bir biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritması geliştirmişlerdir. Yazarlar, biyocoğrafyaya dayalı optimizasyon algoritmasının, biyocoğrafya kavramına dayanan yeni bir optimizasyon tekniği olduğunu belirtmişlerdir. Popülasyon tabanlı bu algoritmanın, optimizasyon problemlerini çözmek için hayvanların veya diğer türlerin göç stratejisi fikrini kullandığını ifade etmişlerdir. Önerdikleri algoritma ile elde ettikleri sonuçları, genetik algoritma ile karşılaştırmışlardır. Performans kriteri olarak, tamamlanma zamanını, makine iş yükü ve toplam makine iş yükünü kullanmışlardır. Yang [19], esnek atölye tipi çizelgelemenin, NP-zor olduğu bilinen klasik atölye çizelgeleme probleminin pratik bir uzantısı olduğunu belirtmiştir. Esnek atölye tipi çizelgeleme problemini, tamamlanma zamanı minimizasyonu kriterine göre çözmek için makine tabanlı, kaydırma etkili bir değiştirilmiş biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritması önermiştir. Önerdikleri algoritma, keşif ve kullanım arasındaki dengeye büyük önem vermektedir. Başlatma aşamasında, başlangıç habitatlarını oluşturmak için iki vektör temsiline karşılık gelen farklı stratejiler önermiştir. Küresel aşamada, farklı geçiş ve mutasyon operatörleri uygun şekilde tasarlamıştır. Yerel aşamada, yararlanma yeteneğini geliştirmek için makine tabanlı bir kaydırmalı kod çözme stratejisi ve en iyi tamamlanma zamanı ile habitata eklemeye dayalı bir yerel arama kullanmışlardır. An, Chen, Li, Han, Zhang, ve Shi [20], hibrit çok amaçlı esnek atölye çizelgeleme problemini çözmek için baskın olmayan, sıralama biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritması önermişlerdir. Yazarlar, akıllı imalat ve Endüstri 4,0'ın sürekli ilerlemesi ile üretim çizelgelemenin, çoğu işletmenin uğraşması gereken önemli bir sorun haline geldiğini belirtmişlerdir. Pareto baskınlık ilkesinde, algoritmanın geç iterasyonunda, bireysel seçimin kılığının üstesinden gelmek için, normalleştirilmiş amaç fonksiyonu değerleri tarafından çevrelenen hacme dayalı yeni bir V-baskınlık ilkesi geliştirmişlerdir. Yerel arama yeteneğini değiştirmek için yerel arama algoritması olarak hibrit değişkenli komşu arama yapısı tasarlamışlardır. Yinelemede kısmi (alt)optimal çözümlerin kaybını

önlemek ve (alt)optimal çözümleri depolamak için bir elit depolama stratejisi oluşturmuşlardır. Wang ve Duan [8] atölye tipi çizelgeleme problemi için hibrit biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmasını önermişlerdir. Yazarlar, biyocoğrafya tabanlı optimizasyonun, biyocoğrafya bilimine dayanan yeni bir biyo-ilham hesaplama yöntemi olduğunu belirtmişlerdir. Biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmasının, küresel optimumu ararken iki ana adımı olduğunu ve bunların, göç ve mutasyon süreçleri olduğunu açıklamışlardır. Atölye tipi çizelgelemenin, zor kombinatoriyel optimizasyon problemlerinden biri olduğu için, biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmasının bu problemi çözemeyeceğini belirtmişlerdir. Önerdikleri yöntem, hibrit biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmasını, kaos teorisine ve optimum etrafında arama stratejisini temel alan biyocoğrafya tabanlı optimizasyon ile birleştirerek küresel optimum çözüme daha hızlı ve kararlı bir şekilde yaklaşmasını sağlamaktadır. Önerdikleri hibrit biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmasının performansını test etmek için elde ettikleri sonuçları, Parçacık sürü optimizasyonu, CPLEX ve 14 farklı algoritmanın sonuçları ile kıyaslamışlardır. An, Chen, Li, Zhang, Jiang [21] heterojen tamirci ataması, bakım zaman penceresi ve çalışan zaman çizelgesi kısıtlamaları olan esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü için hibrit çok amaçlı biyocoğrafya tabanlı bir optimizasyon algoritması önermişlerdir. Çalışmalarında, bakımı dikkate alan zaman penceresi ve heterojen tamirci kısıtlamaları için esnek bir kod çözme mekanizması önermişlerdir. Habitatın Uygunluk endeksini tanımlanmak için üç hesaplama yöntemi kullanmışlardır. Mevcut algoritmaya tabu arama algoritmasını dahil etmişlerdir. Kim, Byeon, Yu, Liu [22] bulut bilişimde, kaynakların dinamik olduğunu ve performansları veya yükleri zaman içinde sık sık değişebileceğini vurgulamışlardır. Bulut kaynak yönetiminde, iş çizelgelemenin NP-tam bir problem olduğunu belirtmişlerdir. Biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritması yardımı ile iş planlamasını optimize etmeye çalışmışlardır. BTO'nun, bulut bilişimde ikili tamsayı iş çizelgeleme problemi için geliştirilen uyarlamalı sürecin avantajını sunduğunu belirtmişlerdir. Piroozfard, Wong ve Asl [23] atölye çizelgelemede, bir dizi makineyi bir dizi operasyonu en uygun şekilde atamaya çalışıldığını belirtmiştir. Yazarlar, atölye çizelgeleme problemlerinin çözümü için bir biyocoğrafya tabanlı optimizasyon yaklaşımı önermişlerdir. Harrabi, Driss, Ghedira [24] atölye çizelgeleme problemini çözmek için hibrit bir biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritması önermişlerdir. Ek zaman gecikmesi kısıtlamaları altında toplam tamamlanma süresinin en aza indirmeye çalışmışlardır. Önerdikleri, hibrit bir biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritması etkili açgözlü yapıcı buluşsal bir yöntem olup, habitatın ilk popülasyonunu oluşturmak için uyarlamışlardır. Ayrıca, çözüm kalitesini iyileştirmek ve popülasyonun çeşitliliğini artırmak için mutasyon aşamasında bir yerel arama metasezgiseli kullanmışlardır. Lin [25] bulanık esnek atölye çizelgeleme problemi için hibrit bir biyocoğrafya tabanlı optimizasyonu algoritması önermiştir. Biyocoğrafya tabanlı optimizasyon yönteminin, habitatlar arasında türlerin göçünü ve göçü taklit eden yeni bir evrimsel algoritma olduğunu belirtmiştir. Yeni bir çözüm üretmek için geçiş işlemi olarak yeniden bağlama tekniği kullanmışlar, ekleme tabanlı bir yerel arama buluşsal yöntemi ve mutasyon operatörünü önerdikleri biyocoğrafya tabanlı optimizasyonu algoritmasında kullanmışlardır.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Son yıllarda, optimizasyon problemlerini çözmek için farklı algoritma türleri geliştirilmiştir. Birçoğu, vücudumuzun genetik mekanizması veya karınca, balık veya arı gibi doğada yer alan canlılardan ilham almaktadır. BTO, diğer biyoloji tabanlı optimizasyon yöntemlerine özgü bazı özelliklere sahip, yeni bir simüle edilmiş, biyo-ilhamlı, akıllı algoritmadır. Hesaplama süresini azaltmak ve yerel minimumdan kaçınmayı garanti etmek için önerilen HBTO yöntemi, kaos teorisini ve "optimum etrafında arama" stratejisini temel BTO algoritmasına entegre eder ve bunların verimliliğinden, doğruluğundan ve kararlılığından yararlanır. BTO algoritmasının kolayca yerel en iyi çözümlere yakınsarken, HBTO'nun daha az yinelemede başarılı bir şekilde tatmin edici sonuçlar elde ettiği literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde görülmüştür. BTO'nun 2008'de ilk kullanımından sonra daha iyi performans elde etmek için HBTO algoritmasının akış tipi çizelgeleme problemlerinden olan, Permutasyon akış tip, Dağıtılmış montajlı permutasyon akış tipi, Sıra bağımlı hazırlık süreli akış tipi, Bloklamalı akış tipi, Beklemesiz akış tipi ve atölye tipi çizelgeleme problemlerinden olan Esnek atölye tipi ve Bulanık esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde son 15 yılda etkili bir şekilde kullanıldığı, yapılan bu araştırma sonucunda belirlenmiştir.

Gelecekte, HBTO algoritmasının akış ve atölye tipi çizelgeleme problemlerinin dışında, diğer NP-zor ve tam olan problemlerde kullanılmasının başarılı sonuçlar vereceği tahmin edilmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] "Survey of biogeography based optimization," IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS) (2018) 1-8.
- [2] H. Ma, D. Simon, P. Siarry, Z. Yang and M. Fei, Biogeography-based optimization: a 10-year review, in IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence, 1, 5 (2017) 391-407.
- [3] D. Simon, "Biogeography-based optimization," in IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 12, 6 (2008) 702-713.
- [4] A. K. Bansal, R. Kumar and R. A. Gupta, Economic analysis and power management of a small autonomous hybrid power system (SAHPS) using biogeography based optimization (BBO) algorithm, in IEEE Transactions on Smart Grid, 4, 1 (2013) 638-648.
- [5] X. Li, J. Wang, J. Zhou and M. Yin, A perturb biogeography based optimization with mutation for global numerical optimization, Applied Mathematics and Computation, 218, 2 (2011) 598-609.
- [6] H. Ma, D. Simon, Blended biogeography-based optimization for constrained optimization, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 24, 3 (2011) 517-525.
- [7] D. Simon, M. Ergezer and D. Du, Population distributions in biogeography-based optimization algorithms with elitism, 2009 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, San Antonio, TX, USA, (2009) 991-996.
- [8] X Wang, H Duan, "A hybrid biogeography-based optimization algorithm for job shop scheduling problem", Computers & Industrial Engineering, 73 (2014) 96-114.
- [9] E.N. Lorenz, Deterministic nonperiodic flow, Journal of Atmospheric Sciences, 20, (1963)130-141.
- [10] O. Engin, M.K. Yılmaz, M.E. Baysal, A. Sarucan, Solving fuzzy job shop scheduling problems with availability constraints using a scatter search method, Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing, 21, 3-4 (2013) 317-334.
- [11] M. Yin, and X. Li, A hybrid bio-geography based optimization for permutation flow shop scheduling, Scientific Research and Essays, 6, 10 (2011) 2078-2100.
- [12] J. Lin, S. Zhang. An effective hybrid biogeography-based optimization algorithm for the distributed assembly permutation flow-shop scheduling problem, Computers & Industrial Engineering, 97 (2016) 128-136.
- [13] J. Huang and X. Gu, Distributed assembly permutation flow-shop scheduling problem with sequence-dependent set-up times using a novel biogeography-based optimization algorithm, Engineering Optimization, 54, 4 (2022) 593-613.
- [14] Y. Wang, X. Li, A hybrid chaotic biogeography based optimization for the sequence dependent setup times flowshop scheduling problem with weighted tardiness objective, in IEEE Access, 5 (2017) 26046-26062.
- [15] S. Liu, P. Wang, J. Zhang, An improved biogeography-based optimization algorithm for blocking flow shop scheduling problem. Chinese J. Electron., 27 (2018) 351-358.
- [16] F. Zhao, S. Qin, Y. Zhang, W. Ma, C. Zhang and H. Song, A hybrid biogeography-based optimization with variable neighborhood search mechanism for no-wait flow shop scheduling problem, Expert Systems with Applications, 126 (2019) 321-339.

- [17] M. Huang, S. Shi, X. Liang, X. Jiao and Y. Fu, An improved biogeography-based optimization algorithm for flow shop scheduling problem, IEEE 8th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT) (2020) 59-63.
- [18] S.H.A. Rahmati, M. Zandieh, A new biogeography-based optimization (BBO) algorithm for the flexible job shop scheduling problem, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 58 (2012) 1115-1129.
- [19] Y. Yang, A modified biogeography-based optimization for the flexible job shop scheduling problem, Mathematical Problems in Engineering, Hindawi, (2015)1-10.
- [20] Y. An, X. Chen, Y. Li, Y. Han, J. Zhang and H. Shi, An improved non-dominated sorting biogeography-based optimization algorithm for the (hybrid) multi-objective flexible job-shop scheduling problem, Applied Soft Computing, 99 (2021) 106869.
- [21] Y. An, X. Chen, Y. Li, J. Zhang, J. Jiang, Flexible job-shop scheduling and heterogeneous repairman assignment with maintenance time window and employee timetable constraints. Expert Systems with Applications 186 (2021) 115693.
- [22] S.S. Kim, J. H. Byeon, H. Yu, H. Liu, Biogeography-based optimization for optimal job scheduling in cloud computing, Applied Mathematics and Computation, 247 (2014) 266-280.
- [23] H. Piroozfard, K. Y. Wong, A. D. Asl, An improved biogeography-based optimization for achieving optimal job shop scheduling solutions, Procedia Computer Science, 115 (2017) 30-38.
- [24] M. Harrabi, O.B. Driss, K. Ghedira, A hybrid evolutionary approach to job-shop scheduling with generic time lags. Journal of Scheduling 24 (2021) 329–346.
- [25] J. Lin, A hybrid biogeography-based optimization for the fuzzy flexible job-shop scheduling problem, Knowledge-Based Systems, 78 (2015) 59-74
- [26] O. Engin, A. Fırlalı, Akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma yardımı ile çözümünde uygun çaprazlama operatörünün belirlenmesi, Doğu Üniversitesi Dergisi, 6 (2002) 27-35.
- [27] S. Külahlı, O. Engin, İ. Koç, A new hybrid scatter search method for solving the flexible job shop scheduling problems, Celal Bayar University Journal of Science, 17, 4 (2021) 347-359.
- [28] O. Engin, C. Kahraman, M. K. A. Yılmaz, Scatter search method for multiobjective fuzzy permutation flow shop scheduling problem: a real world application. In computational intelligence in flow shop and job shop scheduling, (2009)169-189 Springer, Berlin, Heidelberg.