



Determination of migration rate and migration interval values by response surface method: Example of parallel migrating birds optimization algorithm

Gültekin Kuvat^{1*}, Abdullah Tülek²

¹ Computer Engineering, Balıkesir University, Balıkesir, 10145, Turkey

² Information Technology Department, 100. Yıl Vocational and Technical Anatolian High School, Balıkesir, 10050, Turkey

Highlights:

- Island-based parallel migrating birds optimization algorithm
- Determination of migration rate and migration interval
- Response surface method

Keywords:

- Island-based parallel migrating birds optimization algorithm
- Migration rate
- Migration interval
- Response surface method
- Central composite design

Article Info:

Research Article
Received: 12.02.2020
Accepted: 29.08.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.688159

Acknowledgement:

The authors thank the TÜBİTAK ULAKBİM - TRUBA

Correspondence:

Author: Gültekin Kuvat
e-mail: gkuvat@balikesir.edu.tr
phone: +90 266 612 1400

Graphical/Tabular Abstract

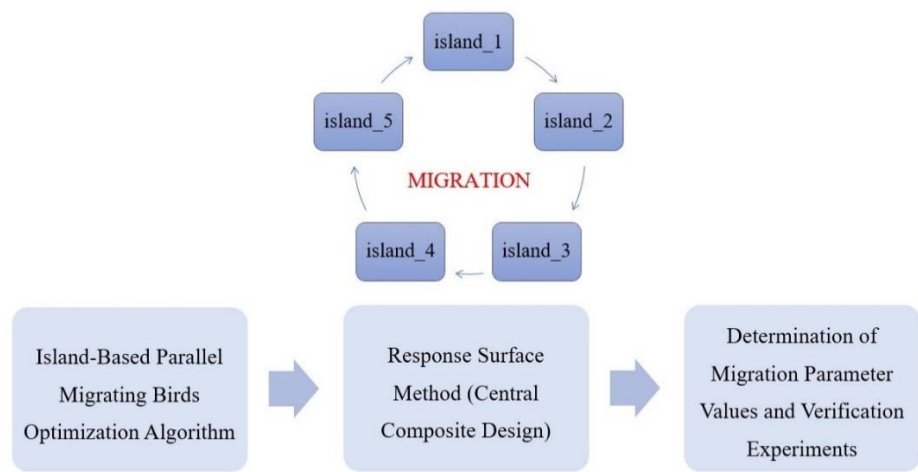


Figure A. How to determine migration parameter values?

Purpose: Island-based parallel metaheuristic algorithms produce successful results as a result of the migration process. Migration is the process step that ensures good solutions are shared between islands (subpopulations). Studies related to migration parameters are important because of the desire to achieve more successful results from island-based parallel metaheuristic algorithms. In this study, it has been studied to determine the most suitable migration interval and migration rate values for Island-Based Parallel Migrating Birds Optimization Algorithm.

Theory and Methods:

The migration rate and migration interval values were determined according to the central composite design experiment layout. Experimental layout was applied in Island-Based Parallel Migrating Birds Optimization Algorithm. By using the results obtained, the models that give the relation between the fitness functions and the migration parameters are established. The fitness values were estimated using the proposed models and compared with the actual experiment results. Using the desirability function approach, more suitable migration rate and migration interval values have been proposed.

Results: More successful results were obtained in all functions by using the migration parameter values calculated with parameter optimization. It has been shown that the models have been successfully established with the verification experiments using the suggested values of migration parameters.

Conclusion: In this study, equations were created by using the relationship between migration rate, migration interval and fitness values, and models were presented in which the fitness values can be estimated without experiment. It has been demonstrated that the central composite design is the correct method for determining the migration parameters used in the Island-Based Parallel Migrating Birds Optimization Algorithm.



Göç oranı ve göç aralığı değerlerinin yanıt yüzeyi yöntemi ile belirlenmesi: Paralel göçmen kuşlar optimizasyon algoritması örneği

Gültekin Kuvat^{1*}, Abdullah Tülek²

¹Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 10145, Balıkesir, Türkiye

²100. Yıl Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Bilişim Teknolojileri Alanı, 10050, Balıkesir, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Ada temelli paralel göçmen kuşlar optimizasyon algoritması
- Göç oranı ve göç aralığının belirlenmesi
- Yanıt yüzeyi yöntemi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 12.02.2020
Kabul: 29.08.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.688159

Anahtar Kelimeler:

Ada temelli paralel göçmen kuşlar optimizasyon algoritması,
göç oranı,
göç aralığı,
yanıt yüzeyi yöntemi,
merkezi kompozit tasarım

ÖZ

Göç, ada temelli paralel metasezgisel optimizasyon algoritmalarının başarılı sonuçlar üretmesini sağlayan başlıca işlem adıdır. Göç parametreleri olan göç oranı (MR) ve göç aralığının (MI) doğru belirlenmesi algoritmanın başarısını etkiler. Bu nedenle göç parametrelerinin değerlerinin belirlenmesi üzerine yapılacak çalışmalar önemlidir. Bu çalışmada, MR ve MI değerleri, yanıt yüzeyi yöntemlerinden biri olan merkezi kompozit tasarım deney düzeni kullanılarak belirlenmiştir. Oluşturulan deney düzenine göre belirlenen MR ve MI değerleri, ada temelli Paralel Göçmen Kuşlar Optimizasyon (PGKO) algoritmasında uygulanmıştır. Bu sonuçlara göre; MI, MR, MI*MR, MI*MI ve MR*MR katsayılarını içeren probleme özgü modeller oluşturulmuştur. Modellerin oluşturulmasından sonra çekicilik fonksiyonu kullanılarak MR ve MI parametrelerinin en uygun değerleri önerilmiştir. Önerilen MR ve MI değerleri kullanılarak doğrulama deneyleri yapılmış ve daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Determination of migration rate and migration interval values by response surface method: Example of parallel migrating birds optimization algorithm

H I G H L I G H T S

- Island-based parallel migrating birds optimization algorithm
- Determination of migration rate and migration interval
- Response surface method

Article Info

Research Article
Received: 12.02.2020
Accepted: 29.08.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.688159

Keywords:

Island-based parallel migrating birds optimization algorithm,
migration rate,
migration interval,
response surface method,
central composite design

ABSTRACT

Migration is the main process step that enables island-based parallel metaheuristic optimization algorithms to produce successful results. Correct determination of migration parameters, migration rate (MR) and migration range (MI), affects the success of the algorithm. Therefore, studies on determining the values of migration parameters are important. In this study, MR and MI values were determined using a central composite design experimental layout, which is one of the response surface methods. MR and MI values determined according to the experimental layout were applied in the island-based Parallel Migrating Birds Optimization (PMBO) algorithm. According to these results, problem specific models have been created that include the coefficients of MI, MR, MI*MR, MI*MI and MR*MR. After the models were created, the most suitable values of MR and MI parameters were proposed by using the desirability function. Verification experiments were made using the recommended MR and MI values and more successful results were obtained.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *gkuvat@balikesir.edu.tr, abdullahtulek@balikesir.edu.tr /

Tel: +90 266 612 1400 / 126307

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Metasezgisel algoritmalar çok boyutlu ve zor problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. En iyi sonucun bulunacağını garanti etmeyen, ancak kabul edilebilir bir çözüm bulabilen algoritmalarlardır. Daha başarılı sonuçlar elde edebilmek için metasezgisel algoritmalarda iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır [1, 2]. Bunun yanında metasezgisel algoritmaların, ada modeli uygulanarak kullanıldığı çalışmalar vardır. Ada modeli, birbirinden bağımsız olarak oluşturulan alt popülasyonlar üzerinde seçilen metasezgisel algoritmanın eşzamanlı olarak uygulanması yöntemidir [3]. Ada modeli sayesinde arama uzayının farklı bölgeleri eşzamanlı olarak taranmaktadır. Metasezgisel algoritma belirli iterasyon süresince çalıştırılır ve sonrasında belirlenen topolojiye göre komşu alt popülasyona göç gerçekleştirilir. Ada temelli metasezgisel optimizasyon algoritmalarında uygulanan göç işlemi, sayısı göç oranı (Migration Rate - MR) ile belirlenen iyi çözümlerin kopyasının, göç aralığı (Migration Interval - MI) periyodu ile bir alt popülasyondan komşu alt popülasyona gönderilmesidir. Göç işlemi sayesinde iyi çözümler komşu alt popülasyonlar ile paylaşarak genel bir iyileşme elde edilir. Bunun yanında, alt popülasyona yeni katılan çözümler, yerel en iyi noktalara takılma ihtimalini azaltır [4]. Bu avantajlarından faydalanmak amacıyla ada modeli temelli birçok metasezgisel algoritma çalışması yapılmıştır. Yapılan bir çalışmada Lamarckian ve Baldwinian öğrenmenin entegre edildiği yeni bir dağıtık diferansiyel gelişim algoritması ortaya konmuştur [5]. Ada temelli diferansiyel gelişim algoritmasının kullanıldığı bir diğer çalışmada, tek alt popülasyon ile çalıştırılan diferansiyel gelişim algoritması ile senkron ve asenkron paralel diferansiyel gelişim algoritmasından elde edilen sonuçlar verilmiştir [6]. Farklı ayrılık düzeyi ve problem boyutları için tek ve çok popülasyonlu diferansiyel gelişim algoritmasından elde edilen sonuçlar [7]'de sunulmuştur. Bu çalışmada ada temelli yapı için 19 adet ada kullanılmıştır. Bir diğer çalışma, 30 düğüm içeren kümeli bir yapıda uygulanan dağıtık karınca kolonisi uygulamasıdır [8]. (Tzung-Pei Hong vd. [9]) çalışmalarında paralel karınca kolonisi optimizasyonu için göç parametrelerinin dinamik olarak belirlendiği iki farklı algoritma önermişlerdir. Birinci algoritma da sabit olarak bir MI değeri ve tolerans değeri belirlenmiştir. Eğer en iyi çözüm geliştirilirse tolerans değeri arttırılmaktadır. (tolerans değeri \geq toplam iterasyon / MI değeri) ifadesine ulaşırsa, MI belirlenen bir değerde azaltılarak algoritma çalıştırılmaktadır. İkinci algoritmada ise hem MI hem de MR, göç eden çözümlerin kalitesine göre dinamik olarak belirlenmektedir. Deneysel çalışmalara göre MI; 25 ve 50, azalma değeri 1 ve 5 için 4 alt popülasyondan oluşan bir sistemde gezgin satıcı problemi çözülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre MI 50, azalma değeri 5 için daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Önerilen ikinci algoritma için MI; 25 ve 50 iken MR; 15, 30, 50 alındığında elde edilen sonuçlar verilmiştir. İki algoritma kıyaslandığında hem MI hem de MR değerinin belirlendiği modelin biraz daha iyi sonuçlar ürettiği görülmektedir. Bu çalışmada farklı karınca sayıları

için süre ve sonuç ilişkisi gösterilmiştir. Ayrıca, düğüm sayısına göre hızlanma incelenmiştir. Önerilen yöntem ve seri modelden iterasyon boyunca elde edilen sonuçlar verilmiştir. [10]'da ada temelli harmoni arama algoritması ortaya konmuştur. Bu çalışmada ada sayısı 2, 5 ve 10, göç aralığı 50, 100 ve 500, göç oranı 10, 20 ve 30 olmak üzere dokuz farklı durum oluşturulmuş, elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu çalışmada rastgele halka topoloji kullanılmaktadır. Yapılan denemeler gerçek bir dağıtık sistemde değil, tek bir bilgisayarda modellenerek gerçekleştirilmiştir. Bir diğer çalışmada [11], Borg MOEA için sunucu-istemci ve çoklu-sunucu uygulamaları önerilmiştir. Çoklu-sunucu uygulaması farklı topolojiler için 2, 4, 8, 16 ve 32 ada için uygulanmıştır. [12]'de ada temelli karga arama algoritması için dört farklı göç topolojisi önerilmiştir. Yapılan çalışma 16 ada kullanılarak uygulanmış, önerilen topolojilerin problemler üzerindeki etkisi gösterilmiştir. [13]'de bulut ortamlarında iş akışının planlanması problemi dağıtık gri kurt algoritması kullanılarak çözülmüştür. Çalışmada rastgele halka topolojisi kullanılmıştır. Yapay arı kolonisi algoritmasının kullanıldığı bir çalışmada ise farklı ada sayıları, popülasyon boyutu, problem boyutu ve göç aralıkları için elde edilen sonuçlar verilmektedir. Elde edilen sonuçlara Wilcoxon testi uygulanarak oluşan değişimin anlamlı olduğu gösterilmiştir. Ayrıca farklı problem boyutları için hızlanma değerleri grafiksel olarak verilmiştir [14]. (Asadzadeh [15]) çalışmasında, atölye çizelgeleme probleminin çözümü için dinamik göç stratejisine sahip bir paralel yapay arı koloni algoritması önermiştir. Buna göre belirlenen MI değeri için koloni içerisinde iyileşme olmamış ise komşu kolonilere göç isteği gönderilmekte ve göç işlemi gerçekleşmektedir. Genetik algoritmalar kullanılan ada temelli bir çalışmada dinamik bir topoloji önerilmiş ve arama hızına etkisi gösterilmiştir [16]. Yapılan bir diğer çalışmada paralel genetik algoritmalarda ana-uçbirim (master-slave) model ve ada modeli uygulanmıştır. Ada modelinde senkron ve asenkron haberleşme kullanılmıştır. Çalışmada farklı çekirdek sayıları için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Çekirdek sayısı arttıkça harcanan sürenin azaldığı gösterilmiştir. Elde edilen süreler göre hızlanma sonuçları incelenmiş ve bazı durumlarda süper lineer hızlanma elde edilmiştir [17]. (Hiroyasu vd. [18]) paralel genetik algoritmalar uygulayarak yaptıkları çalışmada MR değerinin her adımda rastgele seçildiği bir yöntem önermişlerdir. Bu çalışmada değişen MR değerinden dolayı alt popülasyon boyutları sürekli değişmektedir. (Maeda vd. [19]) çalışmalarında, paralel genetik algoritmalarda MR değerini bulanık mantık kullanarak hesaplamıştır. Uygunluk değerleri kullanılarak oluşturulan bulanık kurallar sonucunda MR değeri bulunmuştur. Farklı alt popülasyon boyutları ve sayıları için deneyler yapılmış, önerilen yöntemle belirlenen MR için daha başarılı sonuçlar üretildiği gösterilmiştir. Paralel genetik algoritmalar kullanılarak yapılan diğer bir çalışmada, MI değeri 160 alınarak küp şeklinde bir topoloji için yeni bir göç modeli önerilmiştir [20]. Ada temelli paralel memetik algoritmanın kullanıldığı bir çalışmada iki kademeli heterojen araç rotalama problemi çözülmüştür

[21]. (Xuejun vd. [22]) yaptıkları çalışmada çok amaçlı bir problem olan uçuş atama problemini ada modelinin kullanıldığı bir paralel evrimsel algoritma ile çözmüşlerdir. Yapılan çalışmada MI, üç farklı şekilde belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. MI değerini belirlemek için kullanılan birinci yöntem dinamik göç aralığı diye isimlendirilmiştir. Bu yöntemde göre her iterasyondan sonra belirlenen farklılık değerine göre bir sonraki adımda göç yapılıp yapılmayacağına karar verilmiştir. İkinci yöntemde ise sabit bir MI değeri (5) kullanılmaktadır. Üçüncü yöntemde 0-1 aralığında rastgele üretilen bir değer 0,2'den büyük olması durumunda göç gerçekleştirilmekte, aksi halde göç yapılmamaktadır. Verilen sonuçlara göre MI dinamik olarak belirlendiğinde daha iyi yakınsama ve farklılık değerleri ürettiği ifade edilmektedir.

Literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde ada temelli metasezgisel algoritmalar üzerinde yapılan çalışmaların genel olarak iki grupta toplandığı görülmektedir. Birinci grup, belirli bir problemin çözümü için gerçekleştirilen uygulamalardır [5, 7, 8, 13, 21]. İkinci grup ise göç işlemini etkileyen faktörlerin araştırıldığı, göç parametrelerinin değerlerinin hesaplandığı ve değişimlerinin sonuca etkisinin incelendiği çalışmalardır [6, 9-12, 14-20, 22]. Bu çalışma, ikinci grup çalışmalar arasındadır. Ada temelli metasezgisel algoritmalar da uygulanan göç adımı, daha başarılı sonuçlar elde edebilmek için önemli bir işlemdir. Algoritma performansını arttırmak amacıyla göç parametrelerinin değerini belirlemek önemlidir. Bu çalışmada diğer çalışmalardan [9, 10, 14, 15, 18, 19, 22] farklı olarak, ada temelli Paralel Göçmen Kuşlar Optimizasyon (PGKO) algoritmasında uygulanan göç işlemine ait MR ve MI değerleri yanıt yüzeyi yöntemi (Response Surface Method - RSM) [23] ile belirlenerek daha başarılı sonuçlara ulaşılması hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada, yanıt yüzeyi yöntemlerinden merkezi kompozit tasarım (Central Composite Design - CCD) [23] uygulanmış ve MI, MR, MI*MR, MI*MI, MR*MR etkileri ortaya konmuştur. Kurulan modelden yararlanılarak parametre optimizasyonu yapılmış, en uygun MI ve MR değerleri önerilmiştir. Önerilen MI ve MR değerleri ile doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiş ve daha başarılı sonuçlar üretilmiştir. Bu çalışmada 2. bölümde PGKO, 3. bölümde yanıt yüzeyi yöntemi, 4 bölümde deneysel analiz ve 5. bölümde sonuçlar verilmektedir.

2. PARALEL GÖÇMEN KUŞLAR OPTİMİZASYON ALGORİTMASI (PARALLEL MIGRATING BIRDS OPTIMIZATION ALGORITHM)

Göçmen Kuşlar Optimizasyon (GKO) algoritması, Λ şeklinde uçan göçmen kuşların davranışları modellenerek geliştirilmiştir [24]. Göçmen kuşların Λ şeklinde uçuşu, hava sürtünmesini azaltarak daha uzun mesafelere daha az enerji harcayarak uçmalarını sağlar. Bir kuşun kanat çırpması sonrası, kuşun sağ ve sol kanatları arkasında yukarı doğru hava akımı meydana gelmektedir. Öndeki kuşun kanatları arkasında bulunan kuşlar bu hava akımından faydalanarak

daha az enerji harcayarak daha uzun mesafelere uçabilmektedir. Yapılan bir araştırmaya göre 25 kuştan oluşan bir sürü, Λ şeklinde uçarak menzilin %70'e kadar artırabilmektedir [25].

Bu bilgiler kullanılarak geliştirilen GKO algoritmasında sürüdeki her bir kuşun konumu, problemin bir çözümüne karşılık gelmektedir. Başlangıçta n adet kuşun konumu rastgele oluşturulur. Sürüdeki kuşlardan biri rastgele seçilerek lider kuş olarak kabul edilir. Diğer kuşların yarısı sağ, diğer yarısı da sol tarafa geldiği varsayılarak sanal Λ şekli elde edilir. Lider kuş için z adet, diğer kuşlar için ise (z-x) adet komşuluk üretilir. Eğer üretilen komşuluğun herhangi bir boyutundaki değer ilgili boyutta alabileceği en küçük veya en büyük değeri aşarsa limit değerine çekilir [26]. Lider kuş ve üretilen komşuluklarının uygunluk değerleri hesaplanır. Uygunluk değeri en iyi olan çözüm lider kuşa bırakılır. Geriye kalan 2x adet çözümün yarısı (x adet) sağ arkadaki, diğer yarısı (x adet) sol arkadaki kuşa gönderilir. Arkadaki kuşlar, lider kuştan gelen x adet çözüm ile komşuluk olarak üretilen (z-x) adet çözümden en iyi çözümü kendi konumu olarak belirler. Sonraki en iyi x adet çözüm arkadaki kuşa gönderilir. Bu işlem sağ ve sol koldaki en son kuşa kadar devam eder. Böylece algoritmanın bir iterasyonu tamamlanmış olur. Önceden belirlenmiş olan m parametresi kadar iterasyon tamamlandığında lider kuşun yorulduğu kabul edilerek lider kuş yeniden belirlenir. Lider kuş değişim aşamasında; lider kuş Λ şeklindeki sürünün sağ kolunun en arkasına gönderilir ve sağ koldaki kuşlar birer sıra ilerleyerek yeni lider kuş yerini alır. Bir sonraki kuş değişim aşaması geldiğinde ise Λ şeklinde yerleştiği varsayılan sürünün sol kolunda aynı işlem gerçekleştirilir. Lider kuş değişimi bu kurala uygun olarak algoritma çalıştığı sürece devam eder. Maksimum iterasyon sayısına (K) ulaşıldığında veya durma kriteri sağlandığında algoritma sonlandırılır ve mevcut çözümler içerisinde, en iyi uygunluk değerine sahip çözüm, problemin sonucu olarak verilir [24, 26, 27].

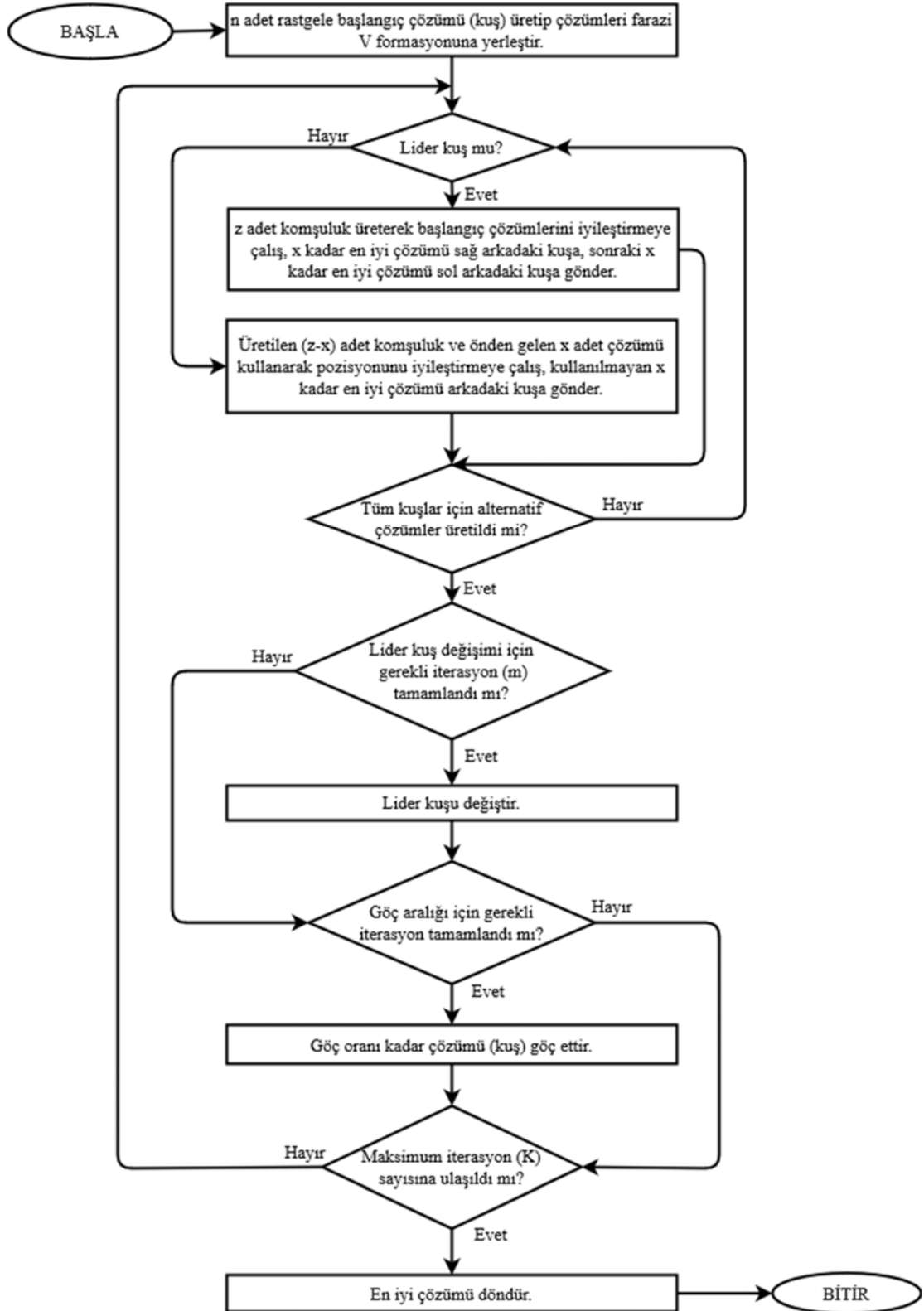
GKO algoritması, birçok araştırmacı tarafından farklı çalışmalarda kullanılmaktadır. Örneğin [28]'de GKO, yapay arı kolonisi, parçacık sürü optimizasyonu, diferansiyel gelişim ve genetik algoritmalar kullanılarak parametre değerleri belirlenmiş ve üretilen ortalama karesel hata değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlere göre GKO algoritmasının başarılı sonuçlar ürettiği gösterilmiştir. Bir diğer çalışmada ise yapay arı kolonisi ve GKO algoritmaları birlikte çalıştırılmıştır [29]. Yapılan çalışmada yapay arı kolonisinin arama fazındaki başarısı ile GKO algoritmasının faydalanma fazındaki başarısı kullanılarak yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yeni yöntemde göre önce yapay arı koloni algoritması çalıştırılarak yerel optimumlardan kaçınılması sağlanmış ve sonrasında GKO algoritması çalıştırılarak daha iyi çözümler üretilmesi hedeflenmiştir. GKO algoritması, yapay arı kolonisi, parçacık sürü optimizasyonu, diferansiyel gelişim ve genetik algoritmalar, önerilen yeni yöntem ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlara göre önerilen yöntemin yüksek oranda başarılı sonuçlar ürettiği gösterilmiştir. Yapılan farklı bir çalışmada

ise GKO algoritmasının karesel atama problemlerinde başarılı sonuçlar üretirken gezgin satıcı probleminde aynı performansı gösteremediği ortaya konmuştur [30]. Daha iyi sonuçlar elde etmek için yedi farklı komşuluk yöntemi gezgin satıcı problemi için uygulanmış ve tercih edilen komşuluk yönteminin algoritma performansını etkilediği gösterilmiştir. Bir diğer çalışmada [31], GKO ve yapay arı kolonisi algoritmaları eş zamanlı çalıştırılıp en iyi çözümler belirli iterasyon adımlarında karşılıklı olarak paylaşılmış ve kötü çözümler ile yer değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarla bu yöntemin, çözümün gelişmesine katkı sağladığı gösterilmiştir. Ayrıca, aynı çalışmada GKO algoritmasında komşuluk sayısının lineer olarak azaltılarak daha iyi sonuçlar üretildiği ifade edilmektedir. (Niroomand vd. [32]) tarafından yapılan çalışmada GKO algoritmasında iki farklı tipte çaprazlama yöntemi kullanılarak komşu çözümler üretilmiş, elde edilen sonuçlar Taguchi deney tasarımı yöntemi ile analiz edilmiş ve ideal parametrelerin belirlenmesine çalışılmıştır. (Öz [33]) çalışmasında GKO algoritmasını özel bir komşuluk üretme yöntemi ile çalıştırmış ve çok amaçlı bir görev atama probleminin çözümünde kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, GKO algoritmasının performansının iyileştiği belirtilmiştir. Özel komşuluk fonksiyonu ile çalıştırılan GKO algoritması, genetik algoritma, bal arısı çiftleşme algoritması ve bilinen GKO algoritması ile karşılaştırılmış ve geliştirilen yöntemin daha başarılı sonuçlar ürettiği gösterilmiştir.

GKO algoritmasının kullanıldığı ve geliştirildiği birçok çalışma mevcuttur. Ancak daha iyi sonuçlar elde etme isteği GKO algoritmasının birden fazla alt popülasyon kullanılarak paralel bilgisayarlarda uygulanması fikrini ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada kullanılan PGKO algoritması paralel bilgisayarlarda ada modeli kullanılarak uygulanmıştır. GKO algoritması, alt popülasyon içerisinde belirlenen iterasyon adımı (MI) boyunca çalıştırıldıktan sonra seçilen çözümler (MR miktarında) halka topolojiye göre bir alt popülasyondan diğerine taşınmıştır. Bu işlem için MPI (Message Passing Interface – Mesaj Geçiş Arayüzü) kullanılmıştır. MPI, yüksek başarılı hesaplama (High Performance Computing - HPC) sistemlerinde veri iletimi için yaygın olarak kullanılan bir paralel programlama modelidir [34-36]. PGKO algoritmasındaki amaç, problemin çözümünü hızlandırmak değildir. Birbirinden bağımsız alt popülasyonlarda arama gerçekleştirilip belirli aralıklarla alt popülasyonlar arasında iyi çözümler paylaşılmasıyla aramanın iyileştirilmesi hedeflenmektedir. PGKO algoritmasının akış diyagramı aşağıda Şekil 1’de verilmektedir [27].

Literatürde ada temelli PGKO algoritmasının uygulandığı çeşitli çalışmalar vardır. Yapılan bir çalışmada ada temelli PGKO algoritması dağıtık bir sistemde uygulanmıştır. Çalışmada göç işleminin yapılmadığı GKO sonuçları ve farklı MR, MI ve alt popülasyon (ada) sayılarının kullanıldığı PGKO algoritmasından elde edilen sonuçlar verilmiştir. Doğru bir karşılaştırma yapılabilmesi için GKO ile PGKO algoritmaları eşit sayıda ada kullanılarak uygulanmıştır. En iyi sonucun elde edildiği PGKO ile

karşılıklı gelen GKO sonuçları t-testi ile karşılaştırılmış, göç işleminin anlamlı bir fark oluşturduğu gösterilmiştir [27]. Yapılan diğer bir çalışmada MI, MR ve ada sayısının elde edilen sonuçlar üzerine etkisi varyans analizi (ANOVA) ile incelenmiştir. En etkili parametrenin MI olduğu gösterilmiştir [37]. Bir diğer çalışmada, MI ve MR değişimlerinin arama hızına etkisi Friedman testi ve frekans analizi ile araştırılmıştır [38]. (Öz vd. [39]) tarafından yapılan bir çalışmada GKO algoritmasında komşuluk üretme aşamasının eşzamanlı gerçekleştirildiği paralel bir çözüm önerilmiştir. Seri ve ada temelli GKO, genetik algoritma ve basitleştirilmiş sürü optimizasyonu algoritmaları ile önerilen yöntem, farklı iş parçacığı sayıları (1, 2, 4, 8 ve 16) için görev tahsisi probleminin çözümünde kullanılmıştır. Farklı durumlar için elde edilen süre ve maliyet sonuçları verilmiştir. (Tongur vd. [40]) çalışmalarında, tek bir sürü yerine çok sayıda sürünün kullanıldığı parçacık sürü optimizasyonu (PSO) temelli iyileştirilmiş çoklu sürü GKO algoritması (PSO-based improved multi-flocks migrating birds optimization algorithm - IMFMBO) geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, sürülerin etkileşimi sürüdeki lider kuş vasıtasıyla sağlanmıştır. Önerilen yöntemde ortaya konan bu etkileşim modeli PSO algoritmasındaki felsefeye benzemektedir. Sürüdeki yeni liderin konumu PSO’da olduğu gibi eski liderin konumu ve hızına bağlı olarak belirlenmektedir. Sürüdeki bütün kuşlar potansiyel bir lider adayı oldukları için hız ve pozisyon bilgileri de tutulmaktadır. Lider kuşun pozisyonu belirlenirken sürülerdeki yerel en iyilerin en iyisi, global en iyi olarak kabul edilmiştir. Böylece sürüler arasında etkileşim sağlanarak tüm sürülerin doğru arama bölgelerine yönlendirilmesi hedeflenmiştir. Sürü liderleri arasındaki etkileşim, lider kuş değişim adımında gerçekleşmektedir. Bu sayede, temel GKO algoritmasının yapısı korunarak her bir sürünün lider değişimine kadar kendi içerisinde aramaya devam etmesi sağlanmıştır. Önerilen yöntemin başarısını göstermek amacıyla, 15 sürünün kullanıldığı IMFMBO ve temel GKO algoritması 22 farklı içeriğe sahip gezgin satıcı probleminin çözümünde kullanılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tüm problemlerde IMFMBO daha başarılı sonuçlar üretmiştir. Bunun yanında IMFMBO sonuçları, literatürde bulunan farklı çalışmalarda çeşitli algoritmaların sonuçları ile karşılaştırılmış ve birçok örnek için iyi sonuçlar ürettiği gösterilmiştir. (Hacıbeyoğlu vd. [41]) tarafından yapılan çalışmada, genetik algoritma (genetic algorithm - GA), benzetilmiş tavlama (simulated annealing - SA), GKO ve klonal seçim algoritması (clonal selection algorithm - CSA) kullanılarak çok boyutlu iki yönlü sayı bölümlenme problemi (multidimensional two-way number partitioning problem - MDTWNP) çözülmüş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak verilmiştir. GKO algoritması uygulanırken çoklu sürü kullanılmış ve bu yöntem çoklu sürü göçmen kuşlar optimizasyon algoritması (multiple flock migrating bird optimization algorithm - MFMBO) olarak tanımlanmıştır. Böylece arama uzayının daha iyi taranması sağlanmıştır. Farklı veri kümesi boyutları için yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçların tümü incelendiğinde GA ve SA’nın, MFMBO ve CSA’dan daha iyi performans



Şekil 1. PGKO algoritmasının akış diyagramı (Flow chart of PMBO algorithm) [27]

gösterdiği belirtilmektedir. GA ve SA karşılaştırıldığında tüm veri kümeleri için yarış halinde oldukları ortaya konmuştur. Bu sonuca göre GA ve SA, MDTWNP çözümleri

için en güçlü ve başarılı metasezgisel yöntemlerdir. MFMBBO sonuçları incelendiğinde ise üçüncü başarılı metasezgisel yöntem olduğu ifade edilmiştir. Bizim

çalışmamız ise literatürde bulunan ada temelli PGKO çalışmalarından farklı bir çalışmadır. Bu çalışmada, MI ve MR değerleri yanıt yüzeyi yöntemlerinden merkezi kompozit tasarım kullanılarak hesaplanmış ve bu değerler ile uygulanan ada temelli PGKO'nun daha başarılı sonuçlar ürettiği gösterilmiştir.

3. YANIT YÜZEYİ YÖNTEMİ (RESPONSE SURFACE METHOD)

Deney tasarımı yöntemleri, araştırmacının ilgilendiği sürece ilişkin parametreleri (değişken, faktör) tanımlamasını ve önemli olduğunu düşündüğü parametreleri kontrol etmesini sağlamaktadır [42]. Deneylerin kontrollü olarak ve belli bir düzene göre yapılması hem araştırma süresinin hem de maliyetinin azaltılmasında büyük katkı yapmaktadır. Deney tasarımında en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri de yanıt yüzeyi yöntemidir. Yanıt yüzeyi yöntemi, yeni bir ürünün veya sürecin tasarımı aşamasında, performansının geliştirilmesi ve optimizasyonunda kullanılan bir mühendislik aracıdır [43].

Yöntem istatistiksel ve matematiksel tekniklerin kullanıldığı ardışık doğası olan bir süreci içermektedir. Bu süreç içerisinde araştırmacı uygun yaklaşım fonksiyonunun tipi, uygun deneysel tasarım düzeninin seçimi, optimum bölgenin yerleşimi ve biçimi, yanıt ya da tasarım değişkenleri için dönüşüm gerekliliğini araştırmaktadır [43]. Yanıt yüzeyi yöntemi çoğunlukla, bilinmeyen karmaşık bir fonksiyona düşük dereceli bir polinomla, genellikle ya birinci dereceden ya da ikinci dereceden bir modelle yaklaşmakla ilgilidir [42].

Eğer yanıt değişkeni faktörlere karşılık gelen bağımsız değişkenlerin doğrusal bir fonksiyonu şeklinde ifade edilirse birinci sıra model (first order model) kurulur. Burada; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ model parametrelerini, ϵ hata (artık - residual) terimini ifade etmektedir [44]. Eğer sistemde eğrisel bir ilişki varsa birinci sıra olarak adlandırılan ana etki modelleri yetersiz kalmaktadır. Bu durumda yüksek dereceden, örneğin ikinci dereceden bir polinomiyalin kurulması söz konusudur. Bu modele de ikinci dereceden model (second order model) denmektedir [45]. İkinci dereceden model Eş. 1'de sunulmaktadır.

$$y(x) = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad (1)$$

İkinci dereceden kurulan yanıt yüzeyi modelinin yaklaşım fonksiyonu ise aşağıda Eş. 2'de verilmektedir [46]:

$$\hat{y}(x) = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \hat{\beta}_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

Pek çok yanıt yüzeyi yöntemi probleminde bu polinomiyal yaklaşımları kullanılmaktadır. Doğru fonksiyonun tanımlanması için kullanılan bu yaklaşımlar, bağımsız değişkenlere ilişkin tüm değerlerin bulunduğu uzayda değil, göreceli olarak küçük bir bölgede denenmektedir [45].

Merkezi Kompozit Tasarım (Central Composite Design - CCD) ikinci sıra modeller ve bununla oluşturulacak yüzeyler için uygulanan tasarımlardandır [47].

CCD bu özelliklerinden dolayı kimyasal süreç uygulamaları [48, 49], makine parametrelerinin optimizasyonu [50, 51], üretim parametrelerinin belirlenmesi [52, 53], sipariş planlama problemleri çözümü [54] gibi çok farklı araştırma süreçlerinde kullanım alanı bulmuştur. Bu çalışma, CCD'nin güçlü özelliklerini kullanarak ada temelli paralel metasezgisel algoritmalarda önemli bir problem olan göç parametre değerlerinin belirlenmesi üzerinedir. Giriş bölümünde ifade edildiği gibi göç parametrelerinin hesaplandığı çeşitli çalışmalar vardır. (Tzung-Pei Hong vd. [9]) çalışmalarında paralel karınca kolonisi optimizasyonu için iki çözüm önermiştir. Birinci çözümde en iyi çözüme bağlı olarak MI değeri azaltılmakta, ikinci çözümde MI ve MR değerleri göç bireylerinin kalitesine göre dinamik olarak hesaplanmaktadır. (Asadzadeh [15]) paralel yapay arı koloni algoritmasında, belirlenen bir MI değeri için çözümde bir iyileşme olmadıysa göç isteğinin oluşturulduğu bir yöntem ortaya koymuştur. (Hiroyasu vd. [18]) paralel genetik algoritmalarda MR değerinin rastgele seçimini önermiştir. (Maeda vd. [19]) ise paralel genetik algoritmalarda MR değerini bulanık mantık ile hesaplamaktadır. (Xuejun vd. [22]) çalışmalarında göç adımını popülasyondaki farklılık değerine göre belirlemiştir. Bu çalışmada MR ve MI değerleri diğer çalışmalardan farklı olarak, CCD deney düzenine göre yapılan deneyler kullanılarak ortaya konan modelin önerisiyle belirlenmiş ve doğrulama deneyleri ile daha başarılı sonuçlar üretildiği gösterilmiştir.

4. DENEYSEL ANALİZ (EXPERIMENTAL ANALYSIS)

Göç, paralel metasezgisel algoritmaların başarısını sağlayan temel işlem adıdır. Bu nedenle, göç işlemindeki iyileştirmeler algoritma sonuçlarına etkileyerek başarıyı arttıracaktır. Özellikle MR ve MI değerlerinin doğru belirlenmesi daha iyi sonuçlar elde etmek için gereklidir. Bu çalışmada, PGKO algoritmasında kullanılan MR ve MI değerleri, CCD düzenine göre belirlenmiştir. PGKO algoritmasında kullanılan parametre değerleri aşağıda Tablo 1.'de sunulmaktadır. Tablo 1.'de verilen GKO parametre değerleri (Duman vd. [24]) tarafından algoritma için önerilen değerleridir.

Deneylerde kullanılan Rastrigin (f_{Rast}), Rosenbrock (f_{Ros}), Ackley (f_{Ackley}) ve Zakharov (f_{Zakh}) fonksiyonları sırasıyla aşağıdaki Eş. 3, Eş. 4, Eş. 5 ve Eş. 6'da [55] verilmektedir.

$$f_{Rast}(x) = 10d + \sum_{i=1}^d [x_i^2 - 10\cos(2\pi x_i)]$$

$$x_i \in [-5.12, 5.12]$$

Global minimum:

$$x^* = (0, 0, \dots, 0) \text{ için } f(x^*) = 0 \quad (3)$$

Tablo 1. PGKO algoritmasında kullanılan parametre değerleri
(Parameter values used in PMBO algorithm)

Parametre	Açıklama	Kullanılan Değerler
n	Alt popülasyondaki birey (kuş) sayısı	51
z	Her bir birey için karşılaştırılan komşuluk sayısı	3
x	Bir sonraki birey ile paylaşılacak olan çözüm sayısı	1
m	Lider kuş değişim aralığı	10
K	Maksimum iterasyon sayısı	2500
	Problem boyutu	200
	Alt popülasyon sayısı	32
	Bağımsız deneme sayısı	100

$$f_{Ros}(x) = \sum_{i=1}^{d-1} [100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2]$$

$$x_i \in [-2.048, 2.048]$$

Global minimum:

$$x^* = (1, 1, \dots, 1) \text{ için } f(x^*) = 0 \quad (4)$$

$$f_{Ackley}(x) = -a \exp\left(-b \sqrt{\frac{1}{d} \sum_{i=1}^d x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{d} \sum_{i=1}^d \cos(cx_i)\right) + a + \exp(1)$$

$$a = 20, b = 0.2 \text{ ve } c = 2\pi$$

$$x_i \in [-32.768, 32.768]$$

Global minimum:

$$x^* = (0, 0, \dots, 0) \text{ için } f(x^*) = 0 \quad (5)$$

$$f_{Zakh}(x) = \sum_{i=1}^d x_i^2 + \left(\sum_{i=1}^d 0.5ix_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^d 0.5ix_i\right)^4$$

$$x_i \in [-5, 10]$$

Global minimum:

$$x^* = (0, 0, \dots, 0) \text{ için } f(x^*) = 0 \quad (6)$$

Fonksiyonların çözümü için en iyi MR ve MI değerlerinin bulunmasında Tablo 2'de verilen CCD deney düzeni [56] uygulanmıştır. CCD'deki noktalar aksel noktalar ve faktöryel noktalardan oluşmaktadır. Eğer k adet faktör bulunuyorsa, aksel noktalar, biri hariç tüm faktörlerin sıfırda sabit tutulduğu deneysel çalışmalardır. Faktör değeri bir deneme için +a ve bir deneme için -a olarak ayarlanır. Bu aksel nokta denemeleri 2k sayıda gerçekleştirilir. Merkez noktalar ise tüm faktörlerin sıfıra ayarlandığı deneysel çalışmalardır [57]. Faktöryel noktalar için de 2^k sayıda +1 ve -1 kombinasyonları gerçekleştirilir [47]. Kullanılan deney düzeneğine göre CCD için $\alpha = \sqrt{2} = 1,414$ aksel nokta değerine göre deney koordinatları belirlenmiş ve kodlanmıştır [44, 56]. MR 2-20 aralığında, MI ise 10-50 arasında değerler almıştır. Yanıt değişkeni olarak 100 bağımsız denemenin uygunluk değerlerinin ortalaması için

CCD tasarımı yapılmıştır. Deney düzenine göre kullanılan MR (%) ve MI değerleri, Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2. CCD tasarımı için MR (%) ve MI değerleri
(MR(%) and MI values for CCD design)

Deney No	X ₁ : MR Kod	X ₂ : MI Kod	MR (%)	MI
1	-1	-1	6	16
2	-1	1	6	45
3	1	-1	18	16
4	1	1	18	45
5	-1,414	0	2	30
6	1,414	0	20	30
7	0	-1,414	10	10
8	0	1,414	10	50
9	0	0	10	30
10	0	0	10	30
11	0	0	10	30
12	0	0	10	30
13	0	0	10	30

Çalışmada MR ve MI faktörlerinin doğrusal, etkileşim ve kuadratik etkilerinin dikkate alınabilmesi için CCD deney düzenine göre ikinci dereceden polinomial model kurulmuştur. Yanıt değişkeni için regresyon katsayılarının tahmini değerleri ile kurulan modellere ilişkin düzeltilmiş belirlilik katsayısı R²(adj), bağımsız değişkenlerdeki değişimin, uygunluk değerinin (y) değişimini açıklama oranını vermektedir. Model denkleminin ilişkin belirleme katsayılarının 1'e yakın değer alması model önermesinin uygunluğunu göstermektedir [58]. Modellerine ilişkin R²(adj) değerleri Rastrigin için (97,4), Rosenbrock için (98,9), Ackley için (99,6) ve Zakharov için (98,6) olarak elde edildiğinden yüksek açıklama oranlarının oluştuğu gözlenmiştir. Elde edilen ikinci dereceden kuadratik modeller aşağıda Eş. 7'de verilmektedir.

$$y_{Rast} = 810,016 - 46,444 * MR - 10,708 * MI + 1,438 * MR^2 + 0,071 * MI^2 + 0,021 * MR * MI$$

$$y_{Ros} = 874,950 - 111,912 * MR - 53,916 * MI + 4,061 * MR^2 + 0,009 * MI^2 - 0,793 * MR * MI$$

$$y_{Ackley} = 201,020 - 0,33388 * MR + 0,39839 * MI + 0,00825 * MR^2 - 0,00364 * MI^2 + 0,00073 * MR * MI$$

$$y_{Zakh} = 1232,07 - 100,08 * MR + 55,27 * MI + 3,27 * MR^2 - 0,45 * MI^2 - 0,20 * MR * MI \quad (7)$$

Modellere ilişkin varyans analizi (Analysis of Variance, ANOVA) sonuçlarına göre; elde edilen regresyon F değerleri Rastrigin için (89,17), Rosenbrock için (219,30), Ackley için (532,75) ve Zakharov için (168,97) olarak elde edilmiştir. Bütün fonksiyonlar için p değeri 0,00 olarak elde edilmiştir. Burada F istatistiğine ilişkin p değerlerinin 0,05'ten küçük olması, modellerin genel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu değerlere göre modellerde yer alan değişkenlerin uygunluk değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ortaya konmaktadır.

Fonksiyonlara ilişkin deneysel hesaplanan ve modellere dayanarak tahmin edilen uygunluk değerleri Tablo 3.'de sunulmaktadır. Göç işleminin algoritmaya katkısını göstermek amacıyla aynı sayıda popülasyonun kullanıldığı ve göç yapılmayan GKO algoritmasından elde edilen sonuçlar da verilmiştir. Ayrıca yapılan deneyler için harcanan süreler (saat : dakika : saniye) sunulmuştur. Süreler incelendiğinde göç işleminin algoritmaya ciddi bir maliyet oluşturmadığı, bunun yanında algoritma performansına önemli katkı sağladığı görülmektedir. Aşağıda verilen Tablo 3.'de görüldüğü gibi PGKO, tüm deneylerde GKO'dan daha

başarılı sonuçlar üretmiştir. Deneylerde elde edilen en iyi sonuçlar italik yazı tipiyle vurgulanmıştır. Verilen deney sonuçları ile modelin önerdiği sonuçlar karşılaştırıldığında MI-MR-uygunluk değeri ilişkisinin başarılı bir şekilde ortaya konularak tahminin gerçekleştiği görülmektedir. Bu sonuçlar, CCD tasarımının göç parametre değerlerinin belirlenmesinde uygun bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Deneysel hesaplanan uygunluk değerleri ile tahmini değerler arasındaki farkı gösteren artık (residuals) değerlerin normal dağılıma uygunluğu hipotez testi ile sınanmıştır. Normal olasılık grafiği, artıkların dağılımının normal dağılıma uygun olup olmadığını gösterir. Dağılıma uygunluk durumunda noktalar düz bir çizgi izler [59]. Şekil 2.'de verilen grafikler incelendiğinde artık değerlerin normal dağılıma uygun şekilde saçılım gösterdiği görülmektedir. Normal dağılım uygunluk testi Anderson Darling için p değerleri 0,05'ten büyük olduğundan verilerin normal dağılıma uygun olduğu hipotezinin reddedilemeyeceği sonucuna varılmıştır.

Yapılan çalışmada, uygunluk değerini minimum yapacak en iyi MR ve MI değerleri çekicilik (desirability) fonksiyonu

Tablo 3. Deney sonuçları, tahmini uygunluk değerleri ve deney süreleri
(Experimental results, estimated fitness values and experiment times)

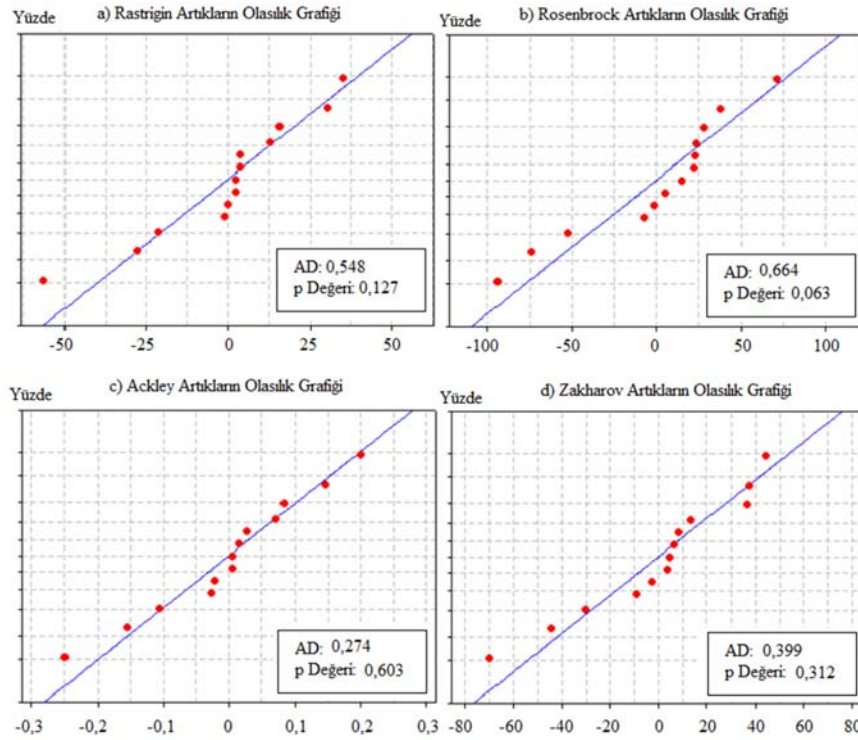
Rastrigin				Rosenbrock		
No	Deney Sonucu	Tahmin Sonucu	Deney Süresi	Deney Sonucu	Tahmin Sonucu	Deney Süresi
GKO	2253,02	-	00:44:59	7156,69	-	00:35:40
1	718,16	774,54	00:47:37	1044,44	1138,61	00:35:14
2	1185,92	1213,79	00:51:30	2506,44	2580,79	00:33:33
3	639,02	635,33	00:40:42	836,51	812,92	00:34:36
4	1097,54	1081,72	00:45:40	2008,01	1979,22	00:33:48
5	1143,96	1109,03	00:44:21	2317,06	2245,71	00:34:06
6	832,25	853,61	00:43:33	1358,99	1411,22	00:33:05
7	635,82	605,60	00:49:04	660,44	622,71	00:35:04
8	1214,29	1211,92	00:43:52	2507,20	2484,71	00:32:03
9	893,48	880,46	00:44:09	1548,73	1549,97	00:36:48
10	882,88	880,46	00:48:45	1543,30	1549,97	00:33:23
11	879,52	880,46	00:42:18	1555,39	1549,97	00:32:59
12	880,58	880,46	00:45:45	1573,85	1549,97	00:34:06
13	884,42	880,46	00:44:14	1565,38	1549,97	00:33:25

Ackley				Zakharov		
No	Deney Sonucu	Tahmin Sonucu	Deney Süresi	Deney Sonucu	Tahmin Sonucu	Deney Süresi
GKO	15,3905	-	00:49:44	3240,88	-	00:28:38
1	5,8871	5,8154	00:43:08	1468,50	1498,71	00:32:11
2	10,8006	11,0509	00:43:04	2195,86	2265,55	00:28:58
3	4,4703	4,3234	00:47:28	1237,55	1200,99	00:34:30
4	9,7911	9,8126	00:42:05	1913,26	1899,88	00:30:13
5	10,1755	10,0921	00:48:21	2327,75	2283,35	00:30:28
6	7,6360	7,7410	00:47:22	1625,58	1669,97	00:34:16
7	3,0330	3,1885	00:53:57	1036,70	1045,76	00:33:47
8	10,8735	10,6722	00:53:36	2127,99	2090,37	00:32:04
9	8,3935	8,3876	00:50:02	1746,91	1749,42	00:31:47
10	8,3937	8,3876	00:45:26	1757,76	1749,42	00:31:53
11	8,4037	8,3876	00:48:28	1753,15	1749,42	00:32:21
12	8,3606	8,3876	00:54:10	1756,26	1749,42	00:31:16
13	8,4155	8,3876	00:46:43	1754,42	1749,42	00:32:39

yaklaşımı kullanılarak hesaplanmıştır. (Derringer vd. [60]) tarafından önerilen çekicilik fonksiyonu yaklaşımı parametre optimizasyonu için en yaygın kullanılan güçlü ve popüler yöntemlerdendir. Her bir yanıtı bireysel bir çekicilik fonksiyonuna dönüştürdüğünden çok yanıtlı optimizasyon problemleri için de kullanılabilir. Çekicilik fonksiyonunda her bir tahmin edilmiş yanıt değişkeni \hat{y} bireysel çekicilik değeri d_i 'ye dönüştürülür. Burada bireysel çekicilik değeri $0 \leq d_i \leq 1$ aralığındadır. Herhangi bir özellik çekicilik fonksiyonuna eşlenebilir [61, 62]. Tek taraflı dönüşümlerde maksimizasyon problemleri için tahmini yanıt hedefe yaklaştığında \hat{y} arttıkça karşılık geldiği bireysel çekicilik değeri d_i de artmaktadır. Minimizasyon problemleri için de $-\hat{y}$ 'nin maksimizasyonu yapılmaktadır [60]. Çalışmada Rastrigin, Rosenbrock, Ackley ve Zakharov fonksiyonları için deney düzeninde elde edilen en başarılı sonuçlar, modelin önerdiği MR ve MI değerleri, önerilen MR ve MI değerleri için modelin tahmin ettiği sonuçlar,

doğrulama deneyleri ile elde edilen sonuçlar ve deney süreleri aşağıda Tablo 4.'te verilmektedir. Modellere göre elde edilen tahmini yanıtların deney düzeninde yapılan denemelere göre daha başarılı sonuçlar önermesi CCD tasarımının uygunluğunu göstermektedir.

Parametre optimizasyonu sonrasında önerilen değerlerin uygunluğunun araştırılması doğrulama deneyleri ile yapılmaktadır. Bu amaçla her bir fonksiyon için önerilen göç parametre değerleriyle doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Önerilen MR değerleri tam sayı olmadığı için uygun olan en yakın sayıda bireyin göç etmesi sağlanmıştır. Tablo 4. incelendiğinde Rastrigin fonksiyonu için deney düzeninde elde edilen en başarılı sonuç 635,82 iken önerilen %16,0683-10 göç parametre değerleri ile 627,861 sonucunun elde edildiği görülmektedir. Rosenbrock fonksiyonu incelendiğinde deney düzeninde 660,44 sonucu bulunmuşken önerilen parametreler olan %14,7552-10



Şekil 2. Anderson Darling normallik testleri ve normal olasılık grafikleri
(Anderson Darling normality tests and normal probability graphs)

Tablo 4. Önerilen düzeyler ve uygunluk değerleri (Recommended levels and fitness values)

Fonksiyon	Deney Düzeninde En Başarılı Sonucun Elde Edildiği Parametre ve Sonuç Değerleri			Önerilen Parametre ve Sonuç Değerleri				
	MR (%)	MI	Uygunluk Değeri	MR (%)	MI	Tahmini Yanıt	Deneysel Hesaplanan Uygunluk Değeri	Deney Süresi
Rastrigin	10	10	635,82	16,0683	10	552,503	627,861	00:46:12
Rosenbrock	10	10	660,44	14,7552	10	530,852	604,432	00:43:29
Ackley	10	10	3,0330	20	10	2,39611	2,37014	00:46:06
Zakharov	10	10	1036,70	15,6184	10	942,648	963,982	00:33:02

değerleri için 604,432 değerine ulaşılmıştır. Ackley fonksiyonu, deney düzeninde 3,0330 değeri üretmişken önerilen %20-10 parametreleriyle 2,37014 değerini üretmiştir. Zakharov fonksiyonu sonuçlarına bakıldığında 1036,70 değerinin önerilen %15,6184-10 kullanılarak 963,982 olarak iyileştirildiği ortaya konmaktadır. Doğrulama deneyleri ile elde edilen sonuçların CCD deney düzenindeki en iyi sonuçtan bütün fonksiyonlar için daha başarılı olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada, CCD deney düzenine göre belirlenen MR ve MI değerleri ada temelli PGKO algoritmasında uygulanmış ve farklı fonksiyonlar için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bulunan sonuçlar kullanılarak yanıt yüzeyi yöntemi ile MR, MI ve uygunluk değeri arasındaki ilişki denklem haline dönüştürülerek deney yapmadan uygunluk değerinin tahmin edilebileceği her fonksiyona ait modeller ortaya konmuştur. Deney düzeninde elde edilen sonuçlar ile model kullanılarak tahmin edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve Anderson Darling normallik testine göre kabul edilebilir sapmalar ile değer tahmini yapıldığı gösterilmiştir. Kurulan modeller üzerinde çekicilik fonksiyonu yaklaşımı kullanılarak en başarılı uygunluk değerlerinin elde edileceği MR ve MI değerleri önerilmiştir. Önerilen değerlere göre doğrulama deneyleri yapılmış ve daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışma ile CCD ve çekicilik fonksiyonu yaklaşımının, ada temelli paralel metasezgisel algoritmalarda göç parametre değerlerinin doğru olarak belirlenmesi için uygun bir yöntem olduğu gösterilmiştir. Gelecek çalışmalarda, CCD ve çekicilik fonksiyonu yaklaşımı kullanılarak farklı algoritmalar için diğer göç parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu araştırmada yer alan bazı işlemler TÜBİTAK ULAKBİM, Yüksek Başarım ve Grid Hesaplama Merkezi'nde (TRUBA kaynaklarında) gerçekleştirilmiştir. TRUBA altyapısının oluşturulmasında ve kullanımının sağlanmasında emeği geçen herkese teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Özyön S., Yaşar C., Temurtaş H., Incremental gravitational search algorithm for high-dimensional benchmark functions, *Neural Computing and Applications*, 31 (8), 3779–3803, 2019.
2. Aydın D., Yavuz G., Stützle T., ABC-X: a generalized, automatically configurable artificial bee colony framework, *Swarm Intelligence*, 11 (1), 1–38, 2017.
3. Skakovski A., Jędrzejowicz P., An island-based differential evolution algorithm with the multi-size populations, *Expert Systems with Applications*, 126, 308-320, 2019.
4. Rebaudengo M., Reorda M.S., An experimental analysis of the effects of migration in parallel genetic algorithms,

- 1993 Euromicro Workshop on Parallel and Distributed Processing, Gran Canaria, Spain, 232-238, 27-29 January 1993.
5. Zhang C., Chen J., Xin B., Distributed memetic differential evolution with the synergy of Lamarckian and Baldwinian learning, *Applied Soft Computing*, 13 (5), 2947-2959, 2013.
6. Penas D.R., Banga J.R., González P., Doallo R., Enhanced parallel differential evolution algorithm for problems in computational systems biology, *Applied Soft Computing*, 33, 86-99, 2015.
7. Jędrzejowicz P., Skakovski A., Island-based differential evolution algorithm for the discrete-continuous scheduling with continuous resource discretisation, *Procedia Computer Science*, 35, 111-117, 2014.
8. Starzec M., Starzec G., Byrski A., Turek W., Distributed ant colony optimization based on actor model, *Parallel Computing*, 90, 102573, 2019.
9. Hong T., Huang L., Lin W., Liu Y., Chakraborty G., Dynamic migration in multiple ant colonies, *IEEE 2nd International Conference on Cybernetics (CYBCONF)*, Gdynia, Poland, 24-26 June 2015.
10. Al-Betar M.A., Awadallah M.A., Khader A.T., Abdalkareem Z.A., Island-based harmony search for optimization problems, *Expert Systems with Applications*, 42 (4), 2026-2035, 2015.
11. Hadka D., Reed P., Large-scale parallelization of the borg multiobjective evolutionary algorithm to enhance the management of complex environmental systems, *Environmental Modelling & Software*, 69, 353-369, 2015.
12. Turgut M.S., Turgut O.E., Eliyi D.T., Island-based crow search algorithm for solving optimal control problems, *Applied Soft Computing*, 90, 106170, 2020.
13. Abed-alguni B.H., Alawad N.A., Distributed grey wolf optimizer for scheduling of workflow applications in cloud environments, *Applied Soft Computing*, 102, 107113, 2021.
14. Baştürk A., Akay R., Performance analysis of the coarse-grained parallel model of the artificial bee colony algorithm, *Information Sciences*, 253, 34-55, 2013.
15. Asadzadeh L., A parallel artificial bee colony algorithm for the job shop scheduling problem with a dynamic migration strategy, *Computers & Industrial Engineering*, 102, 359-367, 2016.
16. Adar N., Kuvat G., Parallel genetic algorithms with dynamic topology using cluster computing, *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 16 (3), 73-80, 2016.
17. Abdelhafez A., Alba E., Luque G., Performance analysis of synchronous and asynchronous distributed genetic algorithms on multiprocessors, *Swarm and Evolutionary Computation*, 49, 147-157, 2019.
18. Hiroyasu T., Miki M., Negami M., Distributed genetic algorithms with randomized migration rate, *IEEE SMC'99 Conference Proceedings, 1999 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Tokyo, Japan, volume 1, 689-694, 12-15 October 1999.

19. Maeda Y., Ishita M., Li O., Fuzzy adaptive search method for parallel genetic algorithm with island combination process, *International Journal of Approximate Reasoning*, 41 (1), 59-73, 2006.
20. Alba E., Luna F., Nebro A.J., Troya J.M., Parallel heterogeneous genetic algorithms for continuous optimization, *Parallel Computing*, 30 (5-6), 699-719, 2004.
21. Bevilaqua A., Bevilaqua D., Yamanaka K., Parallel island based memetic algorithm with Lin-Kernighan local search for a real-life two-echelon heterogeneous vehicle routing problem based on Brazilian wholesale companies, *Applied Soft Computing*, 76, 697-711, 2019.
22. Xuejun Z., Xiangmin G., Yanbo Z., Jiaying L., Strategic flight assignment approach based on multi-objective parallel evolution algorithm with dynamic migration interval, *Chinese Journal of Aeronautics*, 28 (2), 556-563, 2015.
23. Myers R.H., Montgomery D.C., *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*, Second Edition, John Wiley&Sons, 798, 2002.
24. Duman E., Uysal M., Alkaya A.F., Migrating birds optimization: A new metaheuristic approach and its performance on quadratic assignment problem, *Information Sciences*, 217, 65-77, 2012.
25. Lissaman P.B., Shollenberger C.A., *Formation Flight of Birds*, *Science*, 168, 1003-1005, 1970.
26. Makas H., Güncel en iyileme algoritmalarının paralel ve birlikte uygulamaları ve performans analizleri, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 2015.
27. Tülek A., Göçmen kuşlar optimizasyon algoritmasının paralel bilgisayarlarda uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2019.
28. Makas H., Yumuşak N., System identification by using migrating birds optimization algorithm: a comparative performance analysis, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24, 1879-1900, 2016.
29. Makas H., Yumuşak N., Balancing exploration and exploitation by using sequential execution cooperation between artificial bee colony and migrating birds optimization algorithms, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24, 4935-4956, 2016.
30. Tongur V., Ülker E., The analysis of migrating birds optimization algorithm with neighborhood operator on traveling salesman problem, *Intelligent and Evolutionary Systems*, 227-237, 2015.
31. Makas H., Yumuşak N., New cooperative and modified variants of the migrating birds optimization algorithm, *International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, Ankara, Turkey, 176-179, 7-9 November 2013.
32. Niroomand S., Hadi-Vencheh A., Şahin R., Vizvári B., Modified migrating birds optimization algorithm for closed loop layout with exact distances in flexible manufacturing systems, *Expert Systems with Applications*, 42 (19), 6586-6597, 2015.
33. Öz D., An improvement on the migrating birds optimization with a problem-specific neighboring function for the multi-objective task allocation problem, *Expert Systems with Applications*, 67, 304-311, 2017.
34. Diep T.D., Pham K.T., Furlinger K., Thoai N., A time-stamping system to detect memory consistency errors in MPI one-sided applications, *Parallel Computing*, 86, 36-44, 2019.
35. Sultana N., Rüfenacht M., Skjellum A., Laguna I., Mohror K., Failure recovery for bulk synchronous applications with MPI stages, *Parallel Computing*, 84, 1-14, 2019.
36. Zhou H., Gracia J., Zhou N., Schneider R., Collectives in hybrid MPI+ MPI code: Design, practice and performance, *Parallel Computing*, 99, 102669, 2020.
37. Kuvat G., Tülek, A., An effect analysis of the parallel migrating birds optimization algorithm parameters, *Mugla Journal of Science and Technology*, 6 (1), 41-49, 2020.
38. Kuvat G., Tülek, A., Arama hızı, göç parametreleri ve paralel göçmen kuşlar optimizasyon algoritması, İzmir Demokrasi Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Sempozyumu (IES'20), İzmir-Türkiye, E.9-E.20, 13 Aralık 2020.
39. Öz D., Öz I., Scalable parallel implementation of migrating birds optimization for the multi-objective task allocation problem, *The Journal of Supercomputing*, 77 (3), 2689-2712, 2021.
40. Tongur V., Ülker E., PSO-based improved multi-flocks migrating birds optimization (IMFMBO) algorithm for solution of discrete problems, *Soft Computing*, 23 (14), 5469-5484, 2019.
41. Hacibeyoglu M., Alaykiran K., Acilar A.M., Tongur V., Ülker E., A comparative analysis of metaheuristic approaches for multidimensional two-way number partitioning problem, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43 (12), 7499-7520, 2018.
42. Anderson-Cook C.M., Borror C.M., Montgomery D.C., Response surface design evaluation and comparison, *Journal of Statistical Planning and Inference*, 139 (2), 629-641, 2009.
43. Murat D., Ensarioğlu C., Gürsakar N., Oral A., Çakir M., Evaluation of tool wear for hard turning operations through response surface methodology, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 33 (4), 1299-1308, 2018.
44. Kolarik W.J., *Creating Quality: Concepts, Systems, Strategies and Tools*, New York, NY: McGraw-Hill, 1995.
45. Montgomery D.C., *Introduction to Statistical Quality Control*, Fifth Edition, John Wiley&Sons, 2005.
46. Khuri A., Kim H.J., Um Y., Quantile plots of the prediction variance for response surface designs,

- Computational Statistics & Data Analysis, 22 (4), 395-407, 1996.
47. Clarke G.M., Kempson R.E., Introduction to the Design and Analysis of Experiments, Arnold Co published John Wiley & Sons, 344, 1997.
 48. Muthuvelayudham R., Viruthagiri T., Application of central composite design based response surface methodology in parameter optimization and on cellulase production using agricultural waste, International Journal of Chemical and Biological Engineering, 3 (2), 97-104, 2010.
 49. Elfghi F.M., A hybrid statistical approach for modeling and optimization of RON: A comparative study and combined application of response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN) based on design of experiment (DOE), Chemical Engineering Research and Design, 113, 264-272, 2016.
 50. Rajmohan T., Palanikumar K., Application of the central composite design in optimization of machining parameters in drilling hybrid metal matrix composites, Measurement, 46 (4), 1470-1481. 2013.
 51. Suresh R., Joshi A.G., Manjaiah M., Experimental investigation on tool wear in AISI H13 die steel turning using RSM and ANN methods, Arabian Journal for Science and Engineering, 46 (3), 2311-2325, 2021.
 52. Li Y., Li Y.L., Yu S.M., Design optimization of a current mirror amplifier integrated circuit using a computational statistics technique, Mathematics and Computers in Simulation, 79 (4), 1165-1177. 2008.
 53. Nagaraju S., Vasantharaja P., Chandrasekhar N., Vasudevan M., Jayakumar T., Optimization of welding process parameters for 9Cr-1Mo steel using RSM and GA, Materials and Manufacturing Processes, 31 (3), 319-327, 2016.
 54. Wang C.N., Nguyen N.A.T., Dang T.T., Solving order planning problem using a heuristic approach: The case in a building material distributor, Applied Sciences, 10 (24), 8959, 2020.
 55. Virtual Library of Simulation Experiments, Test Functions and Datasets. Optimization Test Problems. <https://www.sfu.ca/~ssurjano/optimization.html>. Erişim tarihi February 04, 2020.
 56. Montgomery D.C., Design and Analysis of Experiments, John Wiley & Sons, 5 th ed., 684s., 2001.
 57. Marget W.M., Morris M.D., Central composite experimental designs for multiple responses with different models, Technometrics, 61 (4), 524-532, 2019.
 58. Yoğurtçu H., Optimization of microwave apple drying using response surface method, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 34 (3), 1365-1376, 2019.
 59. Bilen M., Ateş Ç., Bayraktar B., Determination of optimal conditions in boron factory wastewater chemical treatment process via response surface methodology, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33 (1), 267-278, 2018.
 60. Derringer G., Suich, R., Simultaneous optimization of several response variables, Journal of Quality Technology, 12 (4), 214-219, 1980.
 61. He Y., He Z., Lee D.H., Kim K.J., Zhang L., Yang X., Robust fuzzy programming method for MRO problems considering location effect, dispersion effect and model uncertainty, Computers & Industrial Engineering, 105, 76-83, 2017.
 62. Derringer G.C., Act A.B., Optimizing a product's properties, Quality Progress, 51-58, June 1994.

