

## Enerji Sistemlerinde Metasezgisel Optimizasyon Teknikleri: Yenilikçi Algoritmalar ve Uygulama Alanları

### Metaheuristic Optimization Techniques in Energy Systems: Innovative Algorithms and Application Areas

Mert Ökten<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Turgutlu, Manisa, Türkiye

#### ÖZET

Optimizasyon, tüm olası alternatifler arasından bir problemin en optimal çözümünü belirleme sürecidir. Enerji sistemlerinde metasezgisel optimizasyon algoritmaları, karmaşık enerji problemlerini çözmede önemli bir rol oynamaktadır. Metasezgisel optimizasyon algoritmaları, genetik algoritmalar, parçacık sürü optimizasyonu, simüle edilen tavlama, karınca kolonisi optimizasyonu gibi doğal süreçlerden esinlenerek geliştirilen ve genellikle bilgisayar tabanlı modellerle kullanılan özel optimizasyon yöntemleridir. Metasezgisel optimizasyon algoritmaları, büyük veri setleriyle çalışabilir ve farklı kısıtlamalar altında optimize edilmesi gereken çok sayıda değişkeni ele alabilirler. Bu nedenle enerji sektöründe sürdürülebilirlik, verimlilik ve karlılık açısından büyük öneme sahiptirler. Bu algoritmalar, enerji verimliliğini artırmak, enerji maliyetini azaltmak, enerji üretimi, dağıtımı, tüketimi ve depolanması gibi enerji sistemlerinin farklı bileşenlerini optimize etmek için, yenilenebilir enerji kaynaklarını entegre etmek ve enerji sistemlerinin karbon ayak izini azaltmak gibi çeşitli hedeflere ulaşmak için kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada, enerji sistemleri uygulamalarında metasezgisel optimizasyon algoritmalarının kullanımı örnekler üzerinden incelenmiştir. İncelenen 2532 makale dikkate alındığında en çok genetik algoritma (%37.4) ile parçacık sürü optimizasyonunun (%25.5) kullanıldığı görülmüştür. Bu algoritmaların kullanımı ile karmaşık problemlerin çözümlerinin daha kolay indirildiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji sistemleri, Enerji verimliliği, Metasezgisel optimizasyon algoritmaları, Sürdürülebilirlik.

#### ABSTRACT

Optimization is the process of determining the most optimal solution to a problem from among all possible alternatives. In energy systems, metaheuristic optimization algorithms play a significant role in solving complex energy problems. Metaheuristic optimization algorithms are specialized optimization methods developed by drawing inspiration from natural processes, such as genetic algorithms, particle swarm optimization, simulated annealing, and ant colony optimization. These algorithms are typically used in conjunction with computer-based models. Metaheuristic optimization algorithms can work with large datasets and handle a multitude of variables that need to be optimized under different constraints. Therefore, they are of great importance in the energy sector in terms of sustainability, efficiency, and profitability. These algorithms are used to achieve various objectives in the energy sector, including increasing energy efficiency, reducing energy costs, optimizing different components of energy systems such as energy production, distribution, consumption, and storage, integrating renewable energy sources, and reducing the carbon footprint of energy systems. In this study, the use of metaheuristic optimization algorithms in energy system applications has been examined through examples. Considering the 2532 articles analyzed, it was seen that genetic algorithm (37.4%) and particle swarm optimization (25.5%) were used the most. It has been observed that the use of these algorithms simplifies the solutions to complex problems in various energy-related contexts.

**Keywords:** Energy systems, Energy efficiency, Metaheuristic optimization algorithms, Sustainability

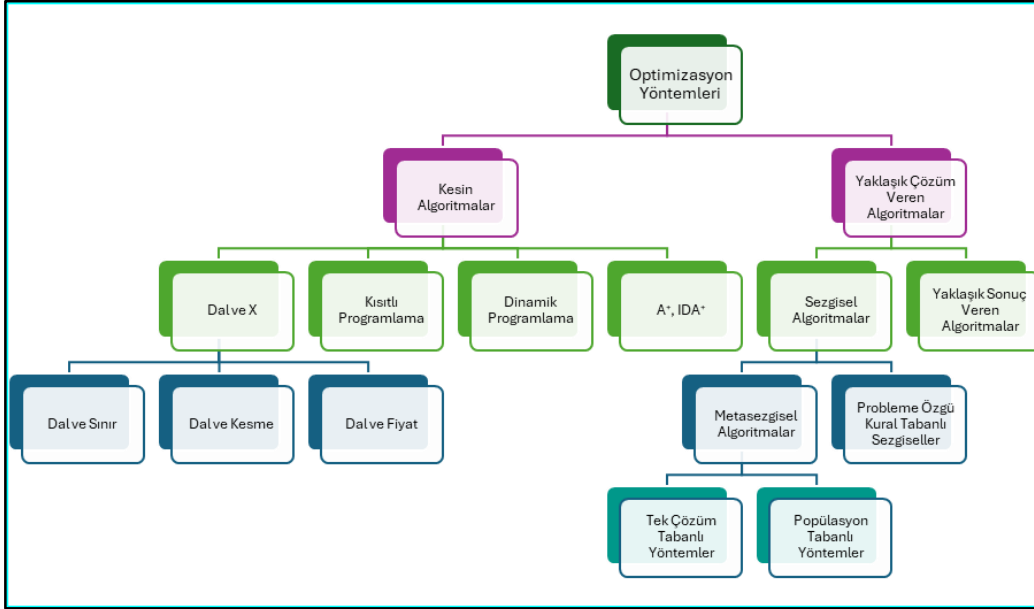
Başvuru: 02.09.2024 Son Revizyon: 17.10.2024 Kabul: 25.10.2024

Doi: 10.51764/smutgd.1542508

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar: Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Turgutlu, Manisa, Türkiye; E-mail: [mert.okten@cbu.edu.tr](mailto:mert.okten@cbu.edu.tr) ORCID: 0000-0003-0077-4471

## 1. GİRİŞ

Sürdürülebilirlik kavramı 1987 Brundtland Raporu ile ortaya çıkmış olsa da büyüme için gerekli olan enerji ihtiyacı ve enerjinin kullanımının neden olduğu çevresel bozulma 1968 Roma Kulübü'nün toplanmasından bu yana tartışılmaktadır. Optimizasyon, bir sistemi veya süreci en iyi sonuçları elde etmek için düzenleme veya ayarlama işlemidir. Karmaşık problemleri çözmek için sezgisel yaklaşımları kullanır. Sezgisel optimizasyon ile problemlerin çözümleri genelde çok fazla zaman almakla beraber elde edilen çözümler yerel çözümlerdir. Bilim insanları bu tekniklerinin sınırlamalarını aşmak için doğadan ilham alan metasezgisel algoritmalar geliştirmişlerdir (Varol Altay & Alataş, 2021). Bu yöntemler karmaşık problemlerin çözümünde başarılı sonuçlar üretmektedir (Varol Altay & Altay, 2021; Altay, 2022a). Şekil 1'de optimizasyon yöntemleri gösterilmiştir (Iqbal vd., 2014).



Şekil 1. Optimizasyon yöntemleri

Optimizasyon algoritmalarından popülasyon tabanlı algoritmalar çözüm uzayını geniş çapta keşfetmek ve optimize etmek için popülasyon kullanarak çok sayıda potansiyel çözümü aynı anda değerlendiren yöntemlerdir. Kesin (Deterministik) algoritmalar, belirli bir girişe her zaman aynı çıkışı veren, adım adım ilerleyen yöntemlerdir. Genellikle optimizasyon problemlerinde kesin çözüme ulaşmak için kullanılırlar. Bu algoritmalar doğrusal programlama, doğrusal kısıtlamalar ve doğrusal bir hedef fonksiyonu ile tanımlanmış problemlerde, en iyi çözümü bulmak için kullanılır. Dinamik programlama, büyük problemleri daha küçük, bağımsız alt problemlere ayırır. Alt problemlerin çözümleri birleştirilerek nihai çözüm elde edilir. Dallanma ve sınırlandırma yöntemi, kombinatoriyal optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılır. Problemi dallara ayırarak çözüm arar ve alt problemlerde mümkün olmayan çözümleri eler. Gradyan tabanlı algoritmalar, sürekli ve türevlenebilir fonksiyonların optimizasyonu için kullanılır. Sezgisel ve metasezgisel algoritmalar ise genellikle kesin çözümlerin zor olduğu durumlarda, çözüm uzayını keşfetmek için sezgisel yöntemler kullanır. Bu algoritmalar genellikle kesin çözüm garantisi vermez, ancak pratikte iyi sonuçlar üretir.

Metasezgisel algoritmalar, evrimsel süreçler, doğadaki sürü davranışları, fiziksel süreçler gibi çeşitli biyolojik ve doğal süreçlerden ilham alarak geliştirilmiştir. Bu, bilim dünyasına yeni optimizasyon algoritmalarının eklenmesini sağlamış, biyomimikri ve doğadan ilham alan algoritmalar gibi yeni araştırma alanlarının doğmasına yol açmıştır (Tablo 1). Metasezgisel optimizasyon algoritmaları, büyük ölçekli, karmaşık problemlerde verimli bir şekilde arama yapma sürecini yönetir ve kullanılırlar (Altay, 2022b; Altay & Varol Altay, 2022; Varol Altay & Altay, 2023a; Varol Altay & Altay, 2023b; Altay & Varol Altay, 2023). Geleneksel optimizasyon yöntemlerinin başarısız olduğu veya etkisiz kaldığı durumlarda, metasezgisel yöntemler esneklikleri sayesinde çözüm üretirler. Bilimsel araştırmalarda, mühendislikten biyolojiye, ekonomiden lojistiğe kadar geniş bir alanda uygulanabilirler. Birçok optimizasyon problemi yerel maksimum veya minimum noktalar içerir. Geleneksel algoritmalar bu yerel çözümlere takılabilirken, metasezgisel algoritmalar global optimuma yaklaşma becerisine sahiptir. Bu sayede, bilimsel araştırmalarda daha iyi ve global çözümler elde edilebilir. Metasezgisel algoritmalar problemden bağımsızdır ve farklı problem türlerine uyarlanabilirler. Bu durum, bilimsel araştırmalarda farklı alanlardaki problemlerin çözümünde kullanılabilecek evrensel optimizasyon yöntemlerinin geliştirilmesini sağlar. Örneğin, bir biyoloji problemi ile mühendislik problemini çözmek için aynı metasezgisel algoritmanın farklı modifikasyonlarla uygulanması mümkündür. Metasezgisel optimizasyon algoritmaları, bilimsel araştırmaların hemen her

disiplininde uygulanmaktadır. Bunlar; endüstriyel tasarım ve üretim alanında fabrika yerleşimi, üretim süreçleri ve lojistik yönetimi gibi endüstriyel problemlerin optimize edilmesinde (Ghalizadeh vd., 2022; Klar vd., 2023; Abualigah vd., 2023), taşıma ve lojistik alanında dağıtım rotalarının optimize edilmesi, taşıma maliyetlerinin azaltılması ve envanter yönetimi gibi lojistik uygulamalarında (Kinost vd., 2022; Detwal vd., 2023), telekomünikasyon alanında kablosuz ağların yerleşimi, sinyal gücü optimizasyonu ve frekans tahsisi gibi alanlarda (Dokeraglu vd., 2022; Khelili vd., 2023), finansal analiz alanında portföy optimizasyonu, risk yönetimi ve hisse senedi fiyat tahmini gibi finansal problemlerin çözümünde (Doering vd., 2019; Chou vd., 2022; Aghabegloo vd., 2023), sağlık ve tıp alanında tedavi planlaması, ilaç dozu optimizasyonu ve tıbbi görüntü işleme gibi sağlık alanlarında (Rahul & Banyal, 2022), ulaşım ve trafik yönetimi alanında trafik sinyalizasyonu, akıllı şehirlerin planlaması ve trafik sıkışıklığının azaltılması gibi alanlarda (Shirke vd., 2021; Fanian & Rafsanjani, 2023), enerji ve kaynak yönetimi alanında enerji tüketimi optimizasyonu (Nassef vd., 2023; Wang vd., 2023; Sulaiman vd., 2023; Wang vd., 2023), enerji üretim planlaması (Mendi vd., 2010; Cheraghi & Jahangir, 2023; Değer vd., 2023; Zhao vd., 2023) ve doğal kaynakların etkin kullanımı gibi alanlarda (Damgacı vd., 2017; Varol Altay vd., 2022; Mihaly vd., 2023; Ala vd., 2023), makine öğrenme ve veri madenciliği alanında makine öğrenme algoritmalarının hiper parametre ayarlaması ve model seçimi gibi problemlerdir (Lessmann vd., 2011; Khan vd., 2022). Bu geniş uygulama yelpazesi, bilimsel araştırmalarda çok disiplinli çözümler üretme yeteneğini güçlendirmiştir. Büyük veri analitiği ve yapay zeka gibi modern teknolojilerde optimizasyon büyük bir öneme sahiptir. Metasezgisel algoritmalar, bu alanlarda etkili çözümler üretmek için verilerin anlamlandırılmasına, karmaşık modellemelere ve hızlı çözüm üretimine katkı sağlamaktadır. Özellikle makine öğrenimi ve derin öğrenme süreçlerinde optimizasyon için sıklıkla metasezgisel yaklaşımlar kullanılmaktadır.

**Tablo 1.** Metasezgisel optimizasyon algoritmaları

Optimizasyon Adı	Referans	Optimizasyon Adı	Referans
Açgözlü Rastgele Uyarlanabilir Arama Prosedürleri	Feo & Resende, 1989	Açlık Oyunları Arama Optimizasyonu	Kutlu Onay & Aydemir, 2022
Ağaç-Tohum Algoritması	Kiran & Kiran, 2015	Ağırlıklı Üstünlük Çekimi	Baykasoglu & Senol, 2016
Akıllı Su Damlacıkları	Hosseini, 2007	Akıncı Optimizasyonu	Abualigah vd., 2021
Altın Kaplumbağa Optimizasyonu	Tarkheneh vd., 2021	Arama Yapan Algoritma	Dhiman & Kumar, 2019
Aritmetik Optimizasyon Algoritması	Li vd., 2022	Arşimet Optimizasyon Algoritması	Hashim vd., 2021
Aslan Optimizasyon Algoritması	Yazdani & Jolai, 2015	Ateşböceği Algoritması	Yang, 2010a
Atom Arama Optimizasyonu	Zhao vd., 2019a	Ayı Koku Arama Algoritması	Ghasemi-Marzbali, 2020
Bakteriyel Gezinme Optimizasyonu	Civicioglu, 2013a	Bal Arılarında Evlilik Optimizasyonu	Abbass, 2001
Balina Optimizasyon Algoritması	Mirjalili & Lewis, 2016	Bayesyen Optimizasyon Algoritması	Pelikan vd., 1999
Beyaz Balina Optimizasyonu	Zhong vd., 2022	Bilgi Kazanma ve Paylaşma Temelli Algoritma	Mohamed vd., 2020
Bitki Büyüme Simülasyonu	Boettcher & Percus, 2001	Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon	Bhattacharya & Chattopadhyay, 2011
Büyük Patlama Büyük Çöküş	Sakthivel vd., 2013	Cıvık Mantar Optimizasyon Algoritması	Monismith & Mayfield, 2008
Çakal Optimizasyon Algoritması	Pierezan & Coelho, 2018	Çapraz Optimizasyon Algoritması	Meng vd., 2014
Çarpışan Cisimler Optimizasyonu	Feng vd., 2021	Çekirgeler Optimizasyonu	Saremi vd., 2017
Çıplak Kör Köstebek Algoritması	Salgotra vd., 2021	Çiçek Tozlaşma Algoritması	Yang, 2012
Çok Evrenli Optimizasyon Algoritması	Sayed vd., 2018	Çoklu Strateji İyileştirilmiş Sinüs Kosinüs Algoritması	Chen vd., 2020
Dağ Geyiği Optimizasyonu	Abdollahzadeh vd., 2022	Dağıtık Arama	Kirkpatrick vd., 1986
Dağıtım Tahmini Algoritmalar	Mühlenbein & Pass, 1996	Değişken Mahalle Arama	Mladenovi C & Hansen, 1997
Dentritik Hücre Algoritması	Greensmith vd., 2000	Denge Optimizasyonu	Faramarzi vd., 2020a
Deniz Yırtıcıları Algoritması	Faramarzi vd., 2020b	Denizanası Arama Optimizasyonu	Chou & Truong, 2021
Dev Yüzgeçli Manta Ray Avı Optimizasyonu	Zhao vd., 2020	Diferansiyel Arama Algoritması	Civicioglu, 2012
Diferansiyel Evrim	Storn & Price, 1997	Difüzyon Sınırlı Birikim	Witten & Sander, 1981
Dinamik Sanal Yarasa Algoritması	Topal & Altun, 2016	El Bombası Patlama Yöntemi	Ahrari & Atai, 2010
Elektromıknatis Benzeri Mekanizma	Emami & Derakhshan, 2015	Emperyalist Rekabetçi Algoritma	Atashpaz-Gargari & Lucas, 2007
Enerji Vadisi Optimizasyonu	Azizi vd., 2023	Evrim Algoritmaları	Rechenberg, 1971
Evrim Stratejileri	Fogel, 2009	Evrimci Çiftleşme Algoritması	Sulaiman vd., 2023
Fikir Fırtınası Süreci Algoritması	Yuhui, 2011	Fil Sürüsü Optimizasyonu	Wang vd., 2015a
Fitness'a Bağlı Optimizasyon	Mohammed & Rashid, 2021	Futbol Ligi Yarışma Algoritması	Moosavian & Roodsari, 2014

Tablo 1. Metasezgisel optimizasyon algoritmaları (devamı)

Optimizasyon Adı	Referans	Optimizasyon Adı	Referans
Galaksi Tabanlı Arama Algoritması	Hosseini, 2011	Galaktik Sürü Optimizasyonu	Muthiah-Nakarajan & Noel, 2016
Gazların Brownian Hareketi	Abdechiri vd., 2013	Geçen Araç Arama	Savsani & Savsani, 2016
Geçici Arama Algoritması	Qais vd., 2020	Geliştirilmiş Ateşböceği Optimizasyon Algoritması	Pelusi vd., 2020a
Geliştirilmiş Çekirge Optimizasyon Algoritması	Luo vd., 2018	Genetik Algoritmalar	Holland, 1992
Geriye İzleme Arama Algoritması	Passino, 2002	Girdap Arama Algoritması	Dogan & Olmez, 2015
Gravitasyonel Arama Algoritması	Rashedi vd., 2009	Gri Kurt Optimizasyonu	Mirjalili vd., 2014
Grup Arama Optimizasyonu	He vd., 2006	Güve Alevi Optimizasyonu	Mirjalili, 2015a
Güvercin İlhamlı Optimizasyon	Duan & Qiao, 2014	Harris Şahinleri Optimizasyonu	Heidari vd., 2019
Havai Fişek Algoritması	Tan & Zhu, 2010	Henry Gaz Çözünürlüğü Optimizasyonu	Hashim vd., 2019
Hızlı Grup Arama Optimizasyonu	Guang vd., 2010	Hibrid Örnekleme Evrim Stratejisi	Zhang & Shi, 2018
Hiperbolik Gravitasyonel Arama Algoritması	Pelusi vd., 2020b	Hiper-Küresel Arama Algoritması	Karami vd., 2014
Işın Optimizasyon Algoritması	Kaveh & Khayatizad, 2012	İstilacı Yabani Ot Optimizasyonu	Mehrabian & Lucas, 2006
İşbirliği Arama Algoritması	Salcedo-Sanz vd., 2014	İyon Hareket Optimizasyon Algoritması	Javidy vd., 2015
Jaya Algoritması	Rao, 2016	Kaotik Optimal Algoritma	Qu vd., 2010
Kaotik Optimizasyon Algoritması	Demir vd., 2020	Kapuçın Arama Algoritması	Braik vd., 2021
Kara Dul Optimizasyon Algoritması	Hayyolalam & Pourhaji Kazem, 2020	Karga Arama Algoritması	Askarzadeh, 2016
Karınca Kolonisi Optimizasyonu	Dorigo vd., 1991	Karınca Aslanı Optimizasyonu	Mirjalili, 2015b
Karışık Kurbağa Sıçraması Algoritması	Dai vd., 2006	Karides Sürüsü Algoritması	Gandomi & Alavi, 2012
Kartal Stratejisi	Kumar vd., 2017	Kedi Sürü Optimizasyonu	Chu vd., 2006
Kel Kartal Arama Algoritması	Alsattar vd., 2020	Kimyasal Reaksiyon Tabanlı Optimizasyon	Lam & Li, 2010
Kinetik Gaz Molekülü Optimizasyonu	Moein & Logeswaran, 2014	Klonal Seçim Algoritması (Clonalg)	De Castro vd., 2002
Kohort Zeka	Kulkarni vd., 2013	Kovaryans Matris Adaptasyon Evrim Stratejisi	Kaveh & Mahdavi, 2014
Kovaryans Matris Uyarlanmış Geri Çekilme Fazı ile Etkili Kelebek Optimizasyonu	Yang & Deb, 2010	Kuantum İlhamlı Evrimsel Algoritma	Narayanan & Moore, 1996
Kukumav Arama Algoritması	Yang & Deb, 2009	Kurt Arama Algoritması	Tang vd., 2012
Kuş Sürüsü Algoritmaları	Varol Altay & Alatas, 2020	Kuyruk Arama	Zhang vd., 2018
Kültürel Algoritma	Reynolds, 1994	Küresel Evrim Algoritması	Yang vd., 2021
Lichtenberg Algoritması	Pereira, 2021	Lig Şampiyonası Algoritması	Kashan, 2014
Martı Optimizasyonu	Glover, 1977	Mayın Patlaması Algoritması	Sadollah vd., 2013
Maymun Algoritması	Zhao & Tang, 2007	Melodi Arama Algoritması	Ashrafi & Dariane, 2013
Memetik Algoritmalar	Moscato, 1989	Memetik Kurbağa Sıçraması Algoritması	Eusuff & Lansey, 2003
Mercan Resifleri Optimizasyonu	Hansen vd., 2013	Meyve Sineği Optimizasyonu	Pan, 2012
Monarş Kelebeği Optimizasyonu	Wang vd., 2015b	Müzayede Tabanlı Algoritma	Binetti vd., 2013
Nehir Oluşumu Dinamikleri	Rabanal vd., 2007	Optik İlhamlı Optimizasyon	Kashan, 2015
Ortalama-Varyans Haritalama Optimizasyonu	Erlich vd., 2010	Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon	Rao vd., 2011
Ön Tabanlı Yin-Yang Çifti Optimizasyonu	Punnathanam & Kotecha, 2016	Papatya Arama Algoritması	El-Abd, 2013
Parçacık Sürü Optimizasyonu	Poli vd., 2007	Parlayan Solucan Sürü Optimizasyonu	Krishnanand & Ghose, 2005
Popülasyon Ekstremal Optimizasyon	Li vd., 2005	Radyal Hareket Optimizasyonu	Rahmani & Yusuf, 2014
Rüzgarla Sürücü Optimizasyon	Bayraktar vd., 2010	Sakar Optimizasyon Algoritması	Naruei & Keynia, 2021
Salp Sürü Algoritması	Mirjalili vd., 2017	Savaş Royale Optimizasyonu	Rahkar Farshi, 2021
Seçim Algoritması	Cuevas vd., 2012	Serçe Arama Algoritması	Zhang & Ding, 2021
Sıçan Sürü Optimizasyonu	Dhiman vd., 2021	Simbiyotik Organizmaların Arayış	Cheng & Prayogo, 2014
Simülasyonlu Tavlama	Eusuff vd., 2006	Sincap Arama Algoritması	Jain vd., 2019
Sinüs-Kosinüs Algoritması	Mirjalili, 2016	Snap-Drift Kuvayı Arama	Rakhshani & Rahati, 2017
Sosyal Grup Optimizasyonu	Satapathy & Naik, 2016	Sosyal Örümcek Algoritması	Yu & Li, 2015
Stokastik Fraktal Arama	Salimi, 2015	Su Dalgaları Optimizasyonu	Zheng, 2015
Su Döngüsü Algoritması	Eskandar vd., 2012	Tabu Arama	Glover, 1989
Tarım Alanı Verimliliği Optimizasyonu	Shayanfar & Gharehchopogh, 2018	Termal Değişim Optimizasyon Algoritması	Kaveh & Dadras, 2017
Uygar Sürü Optimizasyonu	Ray & Liew, 2003	Virüs Kolonisi Arama	Li vd., 2016
Virüs Optimizasyon Algoritması	Liang & Juarez, 2016	Voleybol Premier Ligi	Moghdani & Salimifard, 2018

Tablo 1. Metasezgisel optimizasyon algoritmaları (devamı)

Optimizasyon Adı	Referans	Optimizasyon Adı	Referans
Yağmur-Düşme Optimizasyonu	Kaboli vd., 2017	Yapay Alg Yosunu Algoritması	Uymaz vd., 2015
Yapay Arı Kolonisi	Karaboga & Basturk, 2007	Yapay Bağışıklık Sistemi	Farmer vd., 1986
Yapay Balık Sürüsü Algoritması	Xian vd., 2017	Yapay Ekosistem Tabanlı Optimizasyon	Zhao vd., 2019b
Yapay İşbirliği Arama Algoritması	Civicioglu, 2013b	Yapay Kalabalıkların Bilgeliği	Yampolskiy vd., 2012
Yapay Kertenkele Arama Optimizasyonu	Numar vd., 2021	Yarasa Algoritması	Yang & Hossein Gandomi, 2012
Yarasa İlhamlı Algoritma	Yang, 2010b	Yılan Optimizasyonu	Hashim & Hussein, 2022
Yırtıcı-Av Optimizasyonu	Higashitani vd., 2006	Yunus Eko-Lokasyon Algoritması	Kaveh & Farhoudi, 2013
Yusufçuk Algoritması	Mirjalili, 2013	Yüklü Sistem Arama	Kaveh & Talatahari, 2010

Bu çalışmada, enerji sistemlerinde metasezgisel optimizasyon algoritmalarının kullanımı örnekler üzerinden incelenmiştir. Bu makalenin amacı, enerji sistemlerindeki optimizasyon sorunlarına farklı metasezgisel yöntemlerin nasıl uygulandığını incelemek ve bu alandaki mevcut çalışmalarını bir araya getirerek derinlemesine analiz sunmaktır. Ayrıca enerji sistemlerinde karşılaşılan tipik optimizasyon problemlerini (örneğin, enerji üretim planlaması, dağıtım ağları optimizasyonu) belirleyip ve bu problemlerin doğasını açıklayarak metasezgisel algoritmaların enerji sistemleri problemlerine nasıl uygulandığını karşılaştırmaktır.

## 2. MATERYAL ve METOT

Popülasyon tabanlı metasezgisel optimizasyon yöntemlerinin genel yapısı aşağıdaki gibi temsil edilebilir (Radosavljević, 2018):

1. Hedef fonksiyon  $F(x_i)$  ve mümkün çözüm uzayı  $X$ 'i tanımlama,
2.  $N$  elemanın başlangıç popülasyonunu oluşturma (Denklem 1):

$$POP(1) = [x_1(1), \dots, x_i(1), \dots, x_N(1)]^T \subseteq X \quad (1)$$

Genellikle her elemanın başlangıç konumları kontrol değişkenlerinin minimum ve maksimum değerleri arasından rastgele seçilir.

İterasyon sayacını ayarlama:  $t = 1$

3. Mevcut popülasyon  $POP(t)$  içindeki her eleman için  $F(x_i(t))$  uygunluk değerini hesaplama,  $x_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, N$
4. Algoritma operatörlerini mevcut popülasyon  $POP(t)$  içindeki arama elemanlarına uygulayarak yeni popülasyonu oluşturma (Denklem 2):

$$POP(t+1) = [p_1(t+1), \dots, p_i(t+1), \dots, p_N(t+1)]^T \subseteq \mathbb{R} \quad (2)$$

5. Durdurma kriterleri karşılanana kadar iteratif işlemi tekrar etme.
6. En iyi çözüm  $x^*$ 'i belirleme.

Yeni bir popülasyon tabanlı optimizasyon algoritma oluşturmak için takip edilmesi gereken bazı kurallar vardır. Bunlar:

1. Başlangıçta,  $N$  elemandan (potansiyel çözümler) oluşan bir başlangıç popülasyonu, kontrol değişkenlerinin önceden tanımlanmış sınırları arasından rastgele seçilen değerlerle oluşturulur. Her eleman, kontrol değişkenlerinin değerlerini içeren  $n$ -boyutlu bir vektördür.
2. Mevcut popülasyondaki her eleman için amaç fonksiyonunun değeri hesaplanır, amaç fonksiyonunun en iyi ve en kötü değerleri belirlenir ve mevcut popülasyondaki en iyi ( $x_{iyi}$ ) ve en kötü ( $x_{kötü}$ ) elemanları bulunur.
3. En iyi,  $x_{iyi}$ , en kötü,  $x_{kötü}$ 'ye dayanarak, mevcut popülasyondan mevcut çözümleri yeni (daha iyi) çözümler elde etmek için değiştirmek üzere doğada veya toplumda meydana gelen bir olay taklit edilerek bir düzen oluşturulur. Temel olarak, tüm güncelleme düzenleri, mevcut çözümleri mevcut en iyi çözümden uzaklıklarına göre değiştirmeye dayanır, ayrıca önemli bir bileşen ekler, bu da süreci yeni bir çözüm oluştururken rastgele bir değişkenlik (rastgeleleştirme) ekler. Bu adım, yeni algoritmanın tanımlanma sürecinde önemlidir.



4. 2 ve 3 numaralı maddelerde açıklanan tüm prosedür, maksimum iterasyon (nesil) sayısına ulaşılan kadar tekrarlanır. Son iterasyonda elde edilen çözüm, optimizasyon problemi için en iyi çözümdür.

Basit bir popülasyon tabanlı metasezgisel optimizasyon algoritmasının adımları şu şekildedir:

Adım 1: Amaç fonksiyonu  $F(x)$  tanımlanır; aday bir çözüm olarak düşünülen vektör  $x$  içindeki kontrol değişkenleri (popülasyon büyüklüğü ( $N$ ), kontrol değişkenlerinin sayısı ( $n$ ), kontrol değişkenlerinin sınırları ve toplam iterasyon sayısı ( $t_{max}$ )) tanımlanır.

Adım 2: Kontrol değişkenlerinin önceden tanımlanmış sınırları içinde  $N$  aday çözümün (arama elemanı) başlangıçta rastgele bir popülasyonu oluşturulur.

Adım 3: Mevcut popülasyondaki her eleman için  $F(x_i(t))$  uygunluk değeri hesaplanır  $[[x_i(t), i = 1, \dots, N]$ , en iyi uygunluk değeri ve karşılık gelen en iyi eleman  $x_{iyi}(t)$  mevcut popülasyonda belirlenir.

Adım 4: Tüm aday çözümler Denklem 3'te verildiği şekilde güncellenir:

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + r_1 \times K_1 [x_i^d(t) - x_{best}^d(t)] + S \times r_2 \times K_2 [(x_i^d(t))^2 - (x_{best}^d(t))^2] \quad (3)$$

$$i = 1, \dots, N; \quad d = 1, \dots, n$$

Burada,  $x_i^d(t)$ ,  $t$  iterasyonunda  $i$ . aday çözümün  $d$ . kontrol değişkeninin değeri;  $r_1$  ve  $r_2$   $[0,1]$  aralığında rastgele üretilen sayılar;  $x_{best}^d(t)$  ( $t$ ),  $t$  iterasyonunda  $d$ . kontrol değişkeninin en iyi değeri;  $K_1$  ve  $K_2$  pozitif sabitler;  $S$ , her iterasyonda Denklem 4 ile belirlenen bir katsayıyı ifade etmektedir.

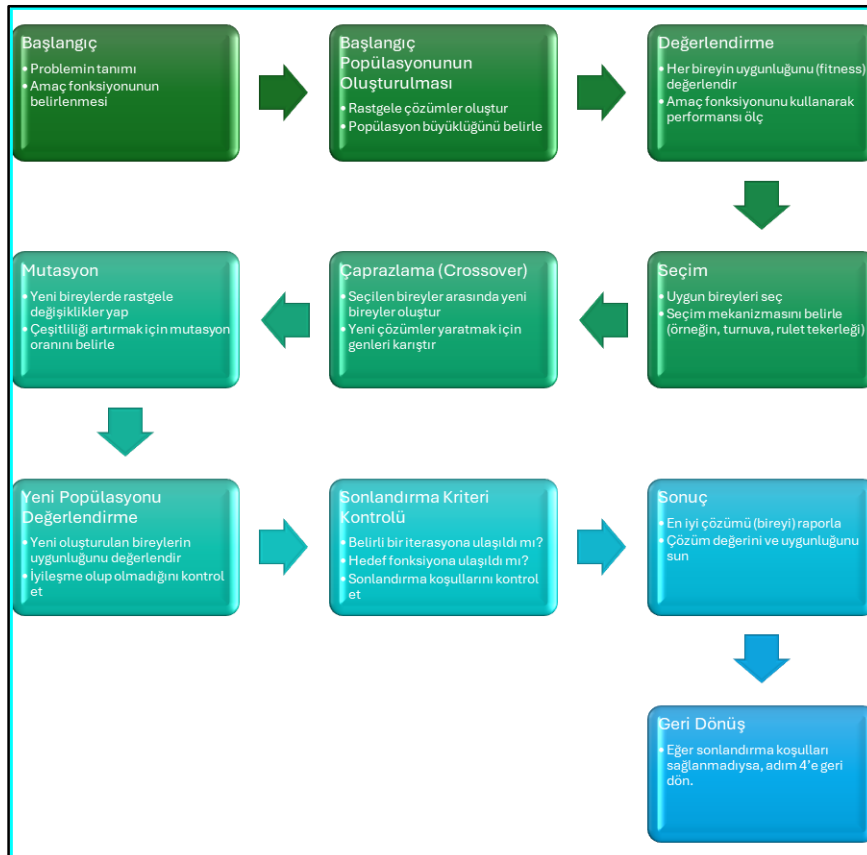
$$\text{if } rand > 0.5 \text{ then } S = 1; \text{ else } S = -1; \text{ end} \quad (4)$$

Adım 5: Tüm elemanlar için arama uzayı sınırlarını kontrol edilir. Arama uzayından çıkan elemanlar rastgele yeniden başlatılır.

Adım 6: İteratif işlem (Adım 3-5) durma kriterine ulaşıncaya kadar ( $t = t_{max}$ ) tekrar edilir.

Adım 7: Son iterasyonda belirlenen en iyi çözümü raporlanarak işlem sonlandırılır.

Doğadan ilham alan bir metasezgisel optimizasyon algoritması için bir akış şeması Şekil 2'de, bu akış şemasının enerji sistemleri problemlerine uyarlanması ise Tablo 2'de gösterilmiştir (Iqbal vd., 2014).



Şekil 2. Doğadan ilham alan bir metasezgisel optimizasyon algoritması için bir akış şeması

**Tablo 2.** Enerji sistemleri problemleri optimizasyonu için akış şeması

Adım	Açıklama	Kriterler
Başlangıç	Enerji optimizasyon problemi tanımlanır ve amaç belirlenir.	- Güneş: Panel verimliliği, kurulum maliyeti. - Rüzgar: Türbin verimliliği, yer seçimi. - Nükleer: Güvenlik, kapasite. - Hidroelektrik: Su akışı, çevresel etkiler. - Jeotermal: Sıcaklık, sondaj derinliği. - Biyokütle: Hammadde verimliliği. - Hidrojen Üretimi: Elektrolizör verimliliği, maliyet. - Termik Santraller: Yakıt verimliliği, emisyonlar. - Elektrikli Araçlar: Batarya kapasitesi, şarj süreleri. - Hidrojen Yakıtlı Araçlar: Yakıt hücresi verimliliği, maliyet. - Enerji Depolama Sistemleri: Depolama kapasitesi, verimlilik. - Dalga Enerjisi: Dalgaların enerjisi, kurulum maliyeti. - Piller: Kapasite, döngü ömrü. - Termal Depolama: Isı kaybı, verimlilik.
Başlangıç Popülasyonu	Farklı enerji kaynaklarını temsil eden rastgele çözümler oluşturulması.	Rastgele tasarımlar oluşturulur. (Örneğin, 100 farklı enerji sistemi tasarımı)
Değerlendirme	Her bireyin uygunluğu değerlendirilir.	Uygunluk kriterleri her enerji kaynağı için belirlenir.
Seçim	Uygun bireyler seçilir.	Uygunluk skoru en yüksek olan bireyler seçilir.
Çaprazlama	Seçilen bireyler arasında yeni bireyler oluşturulması.	- Güneş ve rüzgar sistemlerinin birleşimi. - Nükleer ile yenilenebilir enerji entegrasyonu. - Hidrojen üretimi ile enerji depolama sistemlerinin entegrasyonu. - Termal enerji ile elektrik enerjisi entegrasyonu.
Mutasyon	Yeni bireylerde rastgele değişiklikler yapılması.	- Güneş paneli yerleşim düzeninin değiştirilmesi. - Rüzgar türbini yüksekliği değişimi. - Termik santral yakıt türü değişimi. - Elektrikli araç batarya kapasitesi değişimi. - Biyokütle yakıt türü değişimi.
Yeni Popülasyon Değerlendirme	Yeni bireylerin uygunluğu yeniden değerlendirilir.	Çevresel etkiler, ekonomik analizler ve sürdürülebilirlik kriterleri kontrol edilir.
Sonlandırma Kontrolü	Belirli bir iterasyona ulaşıldı mı? Hedef fonksiyona ulaşıldı mı?	Sonlandırma koşulları kontrol edilir.
Sonuç	En iyi çözüm (enerji sistemi tasarımı) raporlanır.	Çözüm değerleri (verimlilik, maliyet, çevresel etki) sunulur.
Geri Dönüş	Eğer sonlandırma koşulları sağlanmadıysa, adım 4 (Seçim)'e geri dön.	Uygun bireylerin yeniden seçimi ve sürecin devamı.

Günümüzde PYTHON (PYTHON, 1995) yazılım dili ve MATLAB (MATLAB, 2018) programında *metahopt*, *opfdngui* gibi yardımcı araç takımları ile hazır metasezgisel optimizasyon algoritmaları ile işlem yapılabilmektedir.

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Enerji sistemleri problemleri, enerji üretimi, iletimi ve dağıtımını, tüketimi ve kaynak yönetimi ile ilgili çeşitli karmaşık mühendislik ve optimizasyon sorunlarını içerir. Bu problemler arasında şunlar bulunur (Chicco & Mazza, 2019; Lee & Vale, 2020):

- ❖ Ünite atama: Enerji santrallerinin hangi birimlerinin ve ne zaman devreye alınacağı belirlenmesi için yapılan bir optimizasyon sürecidir. Bu, enerji üretimini optimize etmek ve işletme maliyetlerini minimize etmek için önemlidir.
- ❖ Ekonomik dağıtım: Elektrik enerjisinin üreticiler arasında ekonomik bir şekilde dağıtılması ve enerji üretim maliyetlerinin minimize edilmesi için yapılan bir optimizasyon sürecidir.
- ❖ Optimal güç akışı: Elektrik iletim ağındaki gerilim seviyeleri, akım düzenlemeleri ve güç faktörü düzenlemelerini optimize etmek için kullanılan bir optimizasyon sürecidir. Elektrik ağının güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar.
- ❖ Dağıtım sistemi yeniden yapılandırma: Dağıtım sistemlerinin yeniden yapılandırılması, enerji kaynaklarının daha iyi kullanılmasını ve enerji kaybını minimize etmeyi amaçlar.

- ❖ İletim ağı genişleme planlaması: Elektrik iletim ağındaki genişleme projelerinin planlanması ve optimize edilmesi için yapılan bir süreçtir. Bu, enerji talebinin karşılanmasını ve iletim ağı kapasitesinin artırılmasını hedefler.
- ❖ Dağıtım sistemi planlaması: Elektrik enerjisi dağıtım sistemlerinin planlanması ve optimize edilmesi için yapılan bir süreçtir. Dağıtım ağı verimliliğini artırmayı ve kesintileri minimize etmeyi amaçlar.
- ❖ Yük ve üretim tahmini: Elektrik tüketimini ve enerji üretimini gelecekte tahmin etmek için kullanılan modeller ve teknikler içerir. Bu tahminler, enerji üretim ve dağıtım planlamasında önemlidir.
- ❖ Bakım programlama: Enerji santralleri ve iletim ekipmanlarının bakım ve onarım çalışmalarının zamanlamasının optimize edilmesi için yapılan bir süreçtir. Bu, sistem güvenilirliğini ve işletim sürekliliğini sağlamayı amaçlar.

Enerji kaynaklarında yaygın kullanılan veriler, kısıtlar ve amaçlar Tablo 3'te (Iqbal vd., 2014), sistemler ve uygulama örnekleri ise Tablo 4'te gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Enerji kaynaklarında yaygın kullanılan veriler

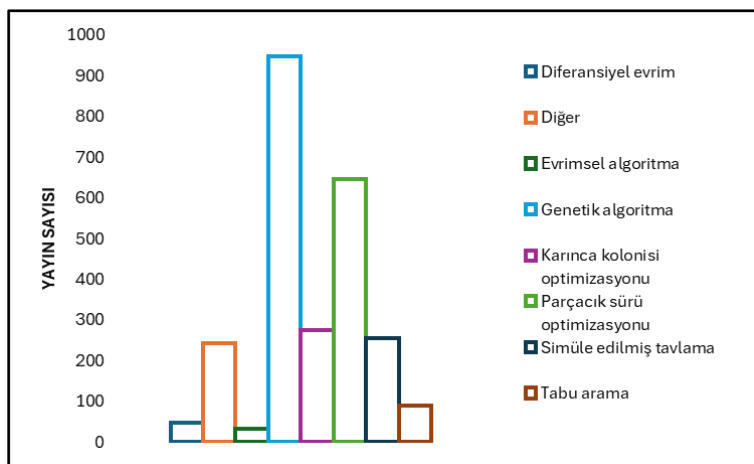
<b>Girdiler</b>	<b>Çözümü Araştıran Konular</b>
Atmosfer koşulları	Beklenen kar
Enerji kaynağı birim teknolojisi	Enerji kaynağı birimlerinin en iyi karışımı
Enerji kaynak birimlerinin coğrafi yerleşimi	Enerji kaynağı yerleşimi
Enerji kaynak, birim, tip ve sayısı	Enerji kaynağının güvenilirliği
Etkinlik	Enerji kaynağının ömrü
İşlem ömrü	İşlem ve bakım maliyetleri
Kullanılan arazi miktarı	Özel değişkenler
Meteoroloji şartları	Tahmin edilen arazi kullanımı
Operasyon bakım ve maliyeti	Toplam yatırım
Operasyon çeşidi	Toplam üretilen enerji
Özel girdiler	Üretim birim kapasite ve sayısı
<b>Kısıtlar</b>	<b>Amaçlar</b>
Atmosfer ve çevre koşulları	<b><i>En küçükleme (Minimizasyon)</i></b>
Bileşenlerin yaşam ömrü	Arazi alanı
Bütçe	Birim başına üretilen enerji maliyeti
Dağıtım hatlarında maksimum güç akış limiti	Enerji tedarik kayıp olasılığı
Enerji kaynak birimlerinin güç oran kısıtı	Gürültü ve kirlilik emisyonu
Enerji kaynakları için kullanılan arazi boyutu	Sistem toplam maliyeti
Enerji kısıt maliyeti	Toplam bakım maliyeti
Güç kaybı olasılığı	Yatırım
Karbondioksit emisyonu	<b><i>En büyükleme (Maksimizasyon)</i></b>
Özel kısıtlar	Kar
Pillerin depolama kapasitesi	Özel amaçlar
Sosyal düzenleyici koşullar	Sistem güvenilirliği
Şarj ve boşaltma limiti	Termal verimlilik
Talep ve yük yönetimi	Toplam gelir
Üretim birimleri	Toplam güç üretimi
	Yaşam süresi



Tablo 4. Sistemler ve uygulama örnekleri

Sistemler	Özellikler	Uygulama Örnekleri	Girdi Verileri	Çıktı Verileri
Biyokütle enerjisi	Hammadde verimliliği, emisyonlar.	- Biyokütle santralleri. - Biyogaz üretimi.	- Hammadde özellikleri. - Üretim koşulları.	- Üretilen enerji miktarı. - Emisyon düzeyleri.
Dalga enerjisi	Dalgaların enerjisi, kurulum maliyeti.	- Dalga enerjisi santralleri.	- Dalgaların yüksekliği ve frekansı. - Kurulum şartları.	- Üretilen enerji miktarı. - Maliyet analizi.
Elektrikli araçlar	Batarya kapasitesi, şarj süreleri.	- Elektrikli otomobiller. - Elektrikli otobüs ve ticari araçlar.	- Batarya durumu. - Şarj süresi.	- Araç menzili. - Enerji tüketimi.
Enerji depolama sistemleri	Depolama kapasitesi, verimlilik.	- Lityum-iyon piller. - Enerji depolama sistemleri.	- Depolama kapasitesi. - Enerji akış verileri.	- Depolanan enerji miktarı. - Verimlilik oranı.
Güneş enerjisi	Panel verimliliği, kurulum maliyeti.	- Güneş enerjisi santralleri. - Güneşle çalışan su ısıtıcıları.	- Güneş ışınımı verileri. - Panel verimliliği.	- Üretilen enerji miktarı. - Geri dönüş süresi.
Hidroelektrik enerji	Su akışı, çevresel etkiler.	- Barajlı hidroelektrik santralleri. - Nehir akışı hidroelektrik sistemleri.	- Su debisi verileri. - Baraj yüksekliği.	- Üretilen enerji miktarı. - Çevresel etki raporu.
Hidrojen üretimi	Elektrolizör verimliliği, maliyet.	- Yeşil hidrojen üretimi. - Yakıt hücresi sistemleri.	- Su ve enerji girdi verileri. - Elektrolizör verimliliği.	- Üretilen hidrojen miktarı. - Enerji kaybı.
Hidrojen yakıtlı araçlar	Yakıt hücresi verimliliği, maliyet.	- Hidrojenle çalışan otomobiller. - Hidrojenle çalışan otobüs ve kamyonlar.	- Yakıt hücresi verimliliği. - Depolama şartları.	- Araç menzili. - Enerji tüketimi.
Jeotermal enerji	Sıcaklık, sondaj derinliği.	- Jeotermal enerji santralleri. - Jeotermal ısıtma sistemleri.	- Sıcaklık verileri. - Sondaj derinliği.	- Üretilen enerji miktarı. - Isı verimliliği.
Nükleer enerji	Güvenlik, enerji kapasitesi.	- Nükleer santraller. - Nükleer tıp uygulamaları.	- Yakıt türü. - Reaktör tasarımı.	- Elektrik üretim kapasitesi. - Emisyon değerleri.
Piller	Kapasite, döngü ömrü.	- Taşınabilir elektronik cihazlar. - Yenilenebilir enerji sistemlerinde depolama.	- Batarya durumu. - Şarj/deşarj döngüleri.	- Batarya ömrü. - Enerji çıkışı.
Rüzgar enerjisi	Türbin verimliliği, yer seçimi.	- Rüzgar çiftlikleri. - Küçük ölçekli rüzgar türbinleri.	- Rüzgar hızı ve yönü. - Türbin özellikleri.	- Üretilen enerji miktarı. - Verimlilik oranı.
Termal depolama	Isı kaybı, verimlilik.	- Güneş enerjisi ile ısı depolama sistemleri. - Endüstriyel süreçlerde ısı depolama.	- Depolama tankı sıcaklığı. - Isı akış verileri.	- Depolanan ısı miktarı. - Isı kaybı oranı.
Termik santraller	Yakıt verimliliği, emisyonlar.	- Kömür, doğalgaz veya biyokütle ile çalışan termik santraller.	- Yakıt türü. - İşletme koşulları.	- Üretilen enerji miktarı. - Emisyon düzeyleri.

Enerji sistemlerinde metasezgisel optimizasyon algoritmalarının kullanımı ile ilgili Web of Science dizininde 2532 adet çalışma incelenmiş ve en sık karşılaşılan metasezgisel optimizasyon algoritmaları listelenmiş ve Şekil 3'te dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3. Enerji alanında kullanılan metasezgisel algoritmalar

İncelenen 2532 makale dikkate alındığında (Şekil 3) en çok %37.4'ünde genetik algoritma (%37.4) ile parçacık sürü optimizasyonunun (%25.5) kullanıldığı görülmüştür. Bu iki algoritmayı %10.8 ile karınca kolonisi optimizasyonu, %10.1 ile simüle edilmiş tavlama algoritması izlemektedir. Kalan diğer algoritmalar arasında ise en çok tabu arama (%3.5), diferansiyel evrim (%1.9) ve evrimsel algoritmalar (%1.3) öne çıkmaktadır.

Tablo 5'te enerji sektöründe en sık kullanılan metasezgisel optimizasyon algoritmaları verilmiştir. Bu tabloda yer alan bilgilere göre enerji üretim planlaması, enerji tesislerinin bakım ve işletme optimizasyonu, ve enerji portföyü yönetimi gibi konularda genetik algoritma (GA); dağıtık enerji kaynaklarının koordinasyonu, enerji verimliliği artırma ve enerji tüketimini minimize etme amaçlarıyla karınca kolonisi optimizasyonu (KKO); enerji dağıtım ağı optimizasyonu, rüzgar enerjisi türbinlerinin kontrolü ve enerji depolama sistemlerinin yerleşimi gibi uygulamalarda parçacık sürü optimizasyonu (PSO); enerji üretim tesislerinin yerleşimi, enerji kaynaklarının tahsisi ve akıllı şebeke planlaması gibi alanlarda simüle edilmiş tavlama algoritması (TA); elektrik enerjisi üretimi, enerji portföy optimizasyonu ve enerji tesislerinin sürdürülebilir bakımı gibi enerji alanlarında da yapay arı kolonisi algoritması (YAK) tercih edildiği görülmüştür.

**Tablo 5.** Enerji sektöründe kullanılan metasezgisel optimizasyon algoritmaları

Enerji Sistemleri Problemleri	Sık Kullanılan Metasezgisel Algoritmalar
Bakım programlama	GA, PSO, ST, TA
Dağıtım sistemi planlaması	GA, PSO, TA
Dağıtım sistemi yeniden yapılandırma	GA, PSO, ST, KKO
Ekonomik dağıtım	GA, PSO, EA, DE
İletim ağı genişleme planlaması	GA, PSO, ST, TA
Optimal güç akışı	GA, PSO, EA, DE
Ünite atama	GA, PSO, EA
Yük ve üretim tahmini	GA, PSO, EA, ST

#### 4. SONUÇLAR

Metasezgisel optimizasyon algoritmaları, karmaşık enerji sistemleri problemlerini çözmeye önemli bir rol oynamaktadır. Kısaca metasezgisel optimizasyon algoritmaları;

- Güneş enerjisi sistemlerinde panellerin ideal konumlarının ve açıların belirlenmesinde,
- Rüzgar enerjisi sistemlerinde türbin kanat profillerinde, türbin sayısının belirlenmesinde ve yerleşiminde,
- Hidroelektrik santrallerde su rezervuarlarının seviyelerinin optimize edilmesinde,
- Jeotermal enerji sistemlerinde kuyu konumlarının ve derinliklerinin belirlenmesinde,
- Dalga enerjisinde deniz akıntısı türbinlerinin konumlandırılmasında,
- Biyokütle enerjisinde kaynakların toplanması, depolanması süreçlerinin kontrolünde, biyoyakıt bitkilerinin türleri, ekim zamanlamaları ve bakım süreçlerinde,
- Nükleer reaktörlerin işletimi, nükleer yakıt döngüsü, nükleer atık üretiminin kontrolünde,
- Fosil enerji kaynaklarının emisyonlarının minimize edilmesi ve enerji verimliliğinin artırılmasında,
- Enerjinin günlük veya saatlik üretim planlarının optimize edilmesinde, enerji taleplerinin tahmin edilmesi, ağı kapasitesinin optimize edilmesi ve enerji iletimini yönlendirme,
- Enerji depolama sistemlerinin yönetilmesinde,
- Elektrikli araçların batarya sistemlerinin optimal yerleşiminin ve kapasitesinin belirlenmesinde,
- Enerji portföylerinin düzenlenmesi, enerji üretim kaynaklarının dağılımını, karbon ayak izini minimize etmede kullanılabilmektedir.

Bu çalışma, enerjinin verimli kullanılması ve sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla metasezgisel optimizasyon tekniklerinin kullanımına ilişkin kapsamlı bir araştırma sağlamıştır. Bu çalışmanın önemli amacı, çok sayıda metasezgisel optimizasyon yönteminin enerji sistemleri problemlerine uygulanmasını incelemektir. Metasezgisel optimizasyon algoritmaları, matematiksel olarak temellendirilmiş karmaşık optimizasyon problemlerini çözmeye yönelik yöntemleri temsil ederler.

Bu makale;

- Enerji sistemlerinde optimizasyon konusunda çalışan araştırmacılara, hangi metasezgisel algoritmaların hangi problemlere uygun olduğunu göstererek bir rehber sunar,

- Literatürdeki eksikleri ve gelecekte üzerinde çalışılabilecek yeni alanları belirleyerek araştırma yönünü şekillendirir,
- Enerji sistemlerinin daha verimli, güvenilir ve maliyet etkin bir şekilde çalışmasını sağlamak için en iyi algoritmaların belirlenmesine yardımcı olur,
- Enerji sistemlerinde optimizasyon süreçlerini daha etkili kılmak için metasezgisel algoritmaların değerini ortaya koyarak hem akademik hem de endüstriyel uygulamalar için önemli bir kaynak teşkil eder.

Sonuç olarak, mevcut enerji sistemlerinin performansının üstesinden gelmek için metasezgisel optimizasyon algoritmalarının kullanılması, bu zorlukları başarılı bir şekilde yönetme konusundaki yetenekleri sayesinde akademik araştırmacılar ve endüstri uygulamaları için cazip bir konudur. Son yıllarda yapay zekaya olan ilginin artmasıyla birlikte, metasezgisel algoritmalar giderek daha da geliştirilmektedir. Bu algoritmalar, mevcut problemler için gelişmiş performans sağlayabilirler.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Yazar Katkısı Beyanı

Yazar, çalışma konsepti ve tasarım, veri toplama, verilerin analizi ve yorumlanması ve taslağın oluşturulması aşamalarında görev almıştır.

### KAYNAKLAR

- Abbass, H.A. (2001). "MBO: Marriage in honey bees optimisation: A haplometrosis polygynous swarming approach", *In Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation—CEC*, 27–30 May, (pp. 207–214). Seoul, Korea.
- Abdechiri, M., Meybodi, M.R., & Bahrami, H. (2013). "Gases brownian motion optimization: An algorithm for optimization (GBMO)." *Applied Software Computational*, 13, 2932–2946.
- Abdollahzadeh, B., Gharehchopogh, F.S., Khodadadi, N., & Mirjalili, S. (2022). "Mountain gazelle optimizer: A new nature-inspired metaheuristic algorithm for global optimization problems." *Advances in Engineering Software*, 174, 103282.
- Abualigah, L., Hanandeh, E.S., Zitar, R.A., Thanh, C.L., Khatir S., & Gandomi, A.H. (2023). "Revolutionizing sustainable supply chain management: A review of metaheuristics." *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 126(A), 106839.
- Abualigah, L., Yousri, D., Abd Elaziz, M., Ewees, A.A., Al-Qaness, M.A.A., & Gandomi, A.H. (2021). "Aquila optimizer: a novel meta-heuristic optimization algorithm." *Computational Industry Engineering*, 157, 107250.
- Aghabegloo, M., Rezaie, K., Torabi, S.A., & Yazdani, M. (2023). "A metaheuristic-driven physical asset risk management framework for manufacturing system considering continuity measures." *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 126(A), 106789.
- Ahrari, A., & Atai, A.A. (2010). "Grenade explosion method: A novel tool for optimization of multimodal functions." *Applications Software Computational*, 10, 1132–1140.
- Ala, A., Mahmoudi, A., Mirjalili, S., Simic, V., & Pamucar, D. (2023). "Evaluating the performance of various algorithms for wind energy optimization: A hybrid decision-making model." *Expert Systems with Applications*, 221, 119731.
- Alsattar, H.A., Zaidan, A.A., & Zaidan, B.B. (2020). "Novel meta-heuristic bald eagle search optimisation algorithm." *Artificial Intelligent Revolution*, 53, 2237–2264.
- Altay, O. (2022a). "Güncel metasezgisel yöntemlerin standart kalite testi fonksiyonlarında karşılaştırılması." *International Journal Pure Applied Science*, 8(2), 286-301.
- Altay, O. (2022b). "Chaotic slime mould optimization algorithm for global optimization." *Artificial Intelligence Review*, 55, 3979-4040.
- Altay, O. & Varol Altay, E. (2022). "Investigation of slime mould algorithm and hybrid slime mould algorithms performance in global optimization problems." *Dicle University Journal of Engineering*, 13(4), 661-671.
- Altay, O. & Varol Altay, E. (2023). "A novel chaotic transient search optimization algorithm for global optimization, real-world engineering problems and feature selection." *PeerJ Computational Science*, 9, 1526.
- Ashrafi, S.M., & Dariane, A.B. (2013). "Performance evaluation of an improved harmony search algorithm for numerical optimization: Melody search (MS)." *Engineering Applied Artificial Intelligent*, 26, 1301–1321.
- Askarzadeh, A. (2016). "A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: Crow search algorithm." *Computers & Structures*, 169, 1–12.

- Atashpaz-Gargari, E., & Lucas, C. (2007). "Imperialist competitive algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition." *In Proceedings of the 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 25–28 September, (pp. 4661–4667). Singapore.
- Azizi, M., Aickelin, U., Khorshidi, H.A., & Shishehgharkhaneh, M.B. (2023). "Energy valley optimizer: A novel metaheuristic algorithm for global and engineering optimization." *Scientific Reports*, 13, 226.
- Baykasoglu, A., & Senol, M.E. (2016). "Combinatorial optimization via weighted superposition attraction." *In Proceedings of the International Conference on Operations Research of the German Operation Society (GOR 2016)*, 30 August–12 September, Hamburg, Germany.
- Bayraktar, Z., Komurcu, M., & Werner, U.H. (2010). "Wind driven optimization (WDO): A novel nature-inspired optimization algorithm and its application to electromagnetics." *In Proceedings of the 2010 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 11–17 July, (pp. 1–4). Toronto, ON, Canada.
- Bhattacharya, A., & Chattopadhyay, P. (2011). "Application of biogeography-based optimisation to solve different optimal power flow problems." *IET Generation Transmission Distribute*, 5, 70–80.
- Binetti, G., Davoudi, A., Naso, D., Turchiano, B., & Lewis, F.L. (2013). "A distributed auction-based algorithm for the nonconvex economic dispatch problem." *IEEE Transfer Industry Information*, 10, 1124–1132.
- Braik, M., Sheta, A., & Al-Hiary, H. (2021). "A novel meta-heuristic search algorithm for solving optimization problems: Capuchin search algorithm." *Neural Computational Applied*, 33, 2515–2547.
- Boettcher, S., & Percus, A.G. (2001). "Optimization with extremal dynamics." *Physics Revolution Letter*, 86, 5211–5214.
- Chen, H., Wang, M., & Zhao, X. (2020). "A multi-strategy enhanced sine cosine algorithm for global optimization and constrained practical engineering problems." *Applied Mathematical Computational*, 369, 124872.
- Cheng, M.Y., & Prayogo, D. (2014). "Symbiotic organisms search: A new metaheuristic optimization algorithm." *Computers & Structures*, 139, 98–112.
- Cheraghi, R., & Jahangir, R.H. (2023). "Multi-objective optimization of a hybrid renewable energy system supplying a residential building using NSGA-II and MOPSO algorithms." *Energy Conversion and Management*, 294, 117515.
- Chicco, G., & Mazza, A. (2019). "Heuristic optimization of electrical energy systems: Refined metrics to compare the solutions." *Sustainable Energy Grids Network*, 17, 100197.
- Chou, J.S., & Truong, D.N. (2021). "A novel metaheuristic optimizer inspired by behavior of jellyfish in ocean." *Applied Mathematical Computational*, 389, 125535.
- Chou, J.S., Nguyen, N.M., & Chang, C.P. (2022). "Intelligent candlestick forecast system for financial time-series analysis using metaheuristics-optimized multi-output machine learning." *Applied Soft Computing*, 130, 109642.
- Chu, S.C., Tsai, P.W., & Pan, J.S. (2006). "Cat swarm optimization." *In Trends in Artificial Intelligence (PRICAI 2006)*, Q. Yang, & G. Webb, (Eds.), Springer, (pp. 854–858).
- Civicioglu, P. (2012). "Transforming geocentric cartesian coordinates to geodetic coordinates by using differential search algorithm." *Computational Geoscience*, 46, 229–247.
- Civicioglu, P. (2013a). "Backtracking search optimization algorithm for numerical optimization problems." *Applied Mathematical Computational*, 219, 8121–8144.
- Civicioglu, P. (2013b). "Artificial cooperative search algorithm for numerical optimization problems." *Informatics Science*, 229, 58–76.
- Cuevas, E., Oliva, D., Zaldivar, D., Perez, M.A., Sossa-Azuela, H., & Zaldivar, D. (2012). "Circle detection using electro-magnetism optimization." *Informatics Science*, 182, 40–55.
- Dai, C., Chen, W., & Zhu, Y. (2006). "Seeker Optimization Algorithm." *In Computational Intelligence and Security (CIS 2006)*, Y. Wang, Y. Cheung & H. Liu (Eds.), Springer, (pp. 225–229).
- Damgacı, E., Boran, K. & Boran, F.E. (2017). "Sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi kullanarak Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi." *Politeknik Dergisi*, 20(3), 629-637.
- De Castro, L., Von Zuben, C.J., & De Castro, L.N. (2002). "Learning and optimization using the clonal selection principle." *IEEE Transmission Evolution Computer*, 6, 239–251.
- Değer, K., Özkaya, M.G., & Boran, F.E. (2023). "Modelling and analysis of future energy scenarios on the sustainability axis." *Journal of Polytechnic*, 26(2), 665-678.
- Demir, F.B., Tuncer, T., & Kocamaz, A.F. (2020). "A chaotic optimization method based on logistic-sine map for numerical function optimization." *Neural Computing and Applications*, 32(17), 14227–14239.

- Detwal, P.K., Agrawal, R., Samadhiya, A., & Kumar, A. (2023). "Metaheuristics in circular supply chain intelligent systems: A review of applications journey and forging a path to the future." *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 126(D), 107102.
- Dhiman, G., & Kumar, D. (2019). "Seagull optimization algorithm: Theory and its applications for large-scale industrial engineering problems." *Knowledge-Based System*, 165, 169–196.
- Dhiman, G., Garg, M., Nagar, M., Kumar, V., & Dehghani, M. (2021). "A novel algorithm for global optimization: Rat swarm optimizer." *Journal of Ambient Intelligence Humanization Computational*, 12, 8457–8482.
- Doering, J., Kizys, R., Juan, A.A., Fito, A., & Polat, O. (2019). "Metaheuristics for rich portfolio optimisation and risk management: Current state and future trends." *Operations Research Perspectives*, 6, 100121.
- Dogan, B., & Olmez, T. (2015). "A new metaheuristic for numerical function optimization: Vortex search algorithm." *Informatics Science*, 293, 125–145.
- Dokeraglu, T., Deniz, A., & Kiziloz, H.E. (2022). "A comprehensive survey on recent metaheuristics for feature selection." *Neurocomputing*, 494, 269-296.
- Dorigo, M., Maniezzo, V., & Colorni, A. (1991). "Positive feedback as a search strategy. Politecnico di Milano: Dipartimento di Elettronica." *Technical Report*, 91, 16.
- Duan, H., & Qiao, P. "Pigeon-inspired optimization: A new swarm intelligence optimizer for air robot path planning." *International Journal of Intelligence Computer Cybernetics*, 7, 24–37.
- El-Abd, M. (2013). "An improved global-best harmony search algorithm." *Applied Mathematical Computational*, 222, 94–106.
- Emami, H., & Derakhshan, F. (2015). "Election algorithm: A new socio-politically inspired strategy." *AI Community*, 28, 591–603.
- Erlich, I., Venayagamoorthy, G.K., & Worawat, N. (2010) "A mean-variance optimization algorithm." *In Proceedings of the 2010 IEEE World Congress on Computational Intelligence*, 18–23 July, Barcelona, Spain.
- Eskandar, H., Sadollah, A., Bahreininejad, A. & Hamdi, M. (2012). "Water cycle algorithm: A novel metaheuristic optimization method for solving constrained engineering optimization problems." *Computers & Structures*, 110, 151–166.
- Eusuff, M.M., & Lansey, K.E. (2003). "Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm." *Journal of Water Resource Planning Management*, 129, 210–225.
- Eusuff, M., Lansey, K.E., & Pasha, F. (2006). "Shuffled frog-leaping algorithm: A memetic meta-heuristic for discrete optimization." *Engineering Optimization*, 38, 129–154.
- Fanian, F., & Rafsanjani, M.K. (2023). "CFMCRS: Calibration fuzzy-metaheuristic clustering routing scheme simultaneous in on-demand WRSNs for sustainable smart city." *Expert Systems with Applications*, 211, 118619.
- Faramarzi, A., Heidarinejad, M., Stephens, B., & Mirjalili, S. (2020a). "Equilibrium optimizer: A novel optimization algorithm." *Knowledge-Based Systems*, 191, 105190.
- Faramarzi, A., Heidarinejad, M., Mirjalili, S., & Gandomi, A.H. (2020b). "Marine predators algorithm: A nature-inspired metaheuristic." *Expert Systems Applied*, 152, 113377.
- Farmer, J., Packard, N.H., & Perelson, A.S. (1986). "The immune system, adaptation, and machine learning." *Physical Differential Nonlinear Phenomena*, 22, 187–204.
- Feng, Z.K., Niu, W.J., & Liu, S. (2021). "Cooperation search algorithm: A novel metaheuristic evolutionary intelligence algorithm for numerical optimization and engineering optimization problems." *Applied Soft Computing*, 98, 106734.
- Feo, T.A., & Resende, M.G. (1989). "A probabilistic heuristic for a computationally difficult set covering problem." *Operational Research Letter*, 8, 67–71.
- Fogel, D.B. (2009). *Artificial Intelligence through Simulated Evolution*. Wiley, New York, USA.
- Gandomi, A.H., & Alavi, A.H. (2012). "Krill herd: A new bio-inspired optimization algorithm." *Community Nonlinear Science Numerical Simulation*, 17, 4831–4845.
- Ghalizadeh, H., Goh, M., Fazlollahtabar, H., & Mamashli, Z. (2022). "Modelling uncertainty in sustainable-green integrated reverse logistics network using metaheuristics optimization." *Computers & Industrial Engineering*, 163, 107828.
- Ghasemi-Marzbali, A. (2020). "A novel nature-inspired meta-heuristic algorithm for optimization: bear smell search algorithm." *Software Computation*, 24, 13003–13035.
- Glover, F. (1977). "Heuristics for integer programming using surrogate constraints." *Decision Science*, 8, 156–166.
- Glover, F. (1989). "Tabu Search: Part I." *ORSA Journal of Computational*, 1, 190–206.
- Greensmith, J., Aickelin, U., & Cayzer, S. (2000). "Introducing dendritic cells as a novel immune-inspired algorithm for anomaly detection." *In Haptics: Science, Technology, Applications*, 3627, 153–167.



- Guang, Q., Feng, L., Lijuan, L., Lu, J.W.Z., Leung, A.Y.T., Lu, V.P., & Mok, K.M. (2010). "A quick group search optimizer and its application to the optimal design of double layer grid shells." *AIP Publishing*, 1233, 718.
- Hansen, N., Müller, S.D., & Koumoutsakos, P. (2013). "Reducing the time complexity of the derandomized evolution strategy with covariance matrix adaptation (CMA-ES)." *Evolution Computer*, 11, 1–18.
- Hashim, F.A., Houssein, E.H., Mabrouk, M.S., Al-Atabany, W., & Mirjalili, S. (2019). "Henry gas solubility optimization: A novel physics based algorithm." *Futurist General Computational Systems*, 101, 646–667.
- Hashim, F.A., Hussain, K., Houssein, E.H., Mabrouk, M.S., & Al-Atabany, W. (2021). "Archimedes optimization algorithm: A new metaheuristic algorithm for solving optimization problems." *Applied Intelligence*, 51, 1531–1551.
- Hashim, F.A., & Hussien, A.G. (2022). "Snake optimizer: A novel metaheuristic optimization algorithm." *Knowledge-Based Systems*, 242, 108320.
- Hayyolalam, V., & Pourhaji Kazem, A.A. (2020). "Black widow optimization algorithm: a novel meta-heuristic approach for solving engineering optimization problems." *Engineering Applied Artificial Intelligence*, 87, 103249.
- He, S., Wu, Q., & Saunders, J. (2006). "A novel group search optimizer inspired by animal behavioral ecology." *In Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, 16–21 July, Vancouver, BC, Canada.
- Heidari, A.A., Mirjalili, S., Faris, H., Aljarah, I., Mafarja, M., & Chen, H. (2019). "Harris hawks optimization: Algorithm and applications." *Futurist General Computational Systems*, 97, 849–872.
- Higashitani, M., Ishigame, A., & Yasuda, K. (2006). "Particle swarm optimization considering the concept of predator-prey behavior." *In Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, 16–21 July, (pp. 434–437). Vancouver, BC, Canada.
- Holland, J.H. (1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- Hosseini, H.S. (2007). "Shah Problem solving by intelligent water drops." *In Proceedings of the 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 25–28 September, (pp. 3226–3231). Singapore.
- Hosseini, H.S. (2011). "Principal components analysis by the galaxy-based search algorithm: A novel metaheuristic for continuous optimization." *International Journal of Computational Science Engineering*, 6, 132–140.
- Iqbal, M., Azam, M., Naeem, M., Khwaja, A. S. & Anpalagan, A. (2014) " Optimization classification, algorithms and tools for renewable energy: A review" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 640–654.
- Jain, M., Singh, V., & Rani, A. (2019). "A novel nature-inspired algorithm for optimization: Squirrel search algorithm." *Swarm Evolution Computational*, 44, 148–175.
- Javidy, B., Hatamlou, A., & Mirjalili, S. (2015). "Ions motion algorithm for solving optimization problems." *Applied Software Computational*, 32, 72–79.
- Kaboli, S.H.A., Selvaraj, J., & Rahim, N. (2017). "Rain-fall optimization algorithm: A population based algorithm for solving constrained optimization problems." *Journal of Computer Science*, 19, 31–42.
- Karaboga, D., & Basturk, B.A. (2007). "Powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: Artificial bee colony (ABC) algorithm." *Journal of Global Optimization*, 39, 459–471.
- Karami, H., Sanjari, M.J., & Gharehpetian, G.B. (2014). "Hyper-spherical search (HSS) algorithm: A novel meta-heuristic algorithm to optimize nonlinear functions." *Neural Computational Applied*, 25, 1455–1465.
- Kashan, A.H. (2014). "League championship algorithm (LCA): An algorithm for global optimization inspired by sport championships." *Applied Software Computational*, 16, 171–200.
- Kashan, A.H. (2015). "A new metaheuristic for optimization: Optics inspired optimization (OIO)." *Computational Operation Research*, 55, 99–125.
- Kaveh, A., & Talatahari, S. (2010). "A novel heuristic optimization method: Charged system search." *Acta Mechanical*, 213, 267–289.
- Kaveh, A., & Khayatizad, M. (2012). "A new meta-heuristic method: Ray optimization." *Computers & Structures*, 112–113, 283–294.
- Kaveh, A., & Farhoudi, N. (2013). "A new optimization method: Dolphin echolocation." *Advance Engineering Software*, 59, 53–70.
- Kaveh, A., & Mahdavi, V. (2014). "Colliding bodies optimization: A novel meta-heuristic method." *Computers & Structures*, 139, 18–27.
- Kaveh, A., & Dadras, A. (2017). "A novel meta-heuristic optimization algorithm: Thermal exchange optimization." *Advance Engineering Software*, 110, 69–84.

- Khan, A.A., Laghari, A.A., Gadekallu, T.R., Shaikh, Z.A., Javed, A.R., Rashid, M., Estrela, V.V., & Mikhaylov, A. (2022). "A drone-based data management and optimization using metaheuristic algorithms and blockchain smart contracts in a secure fog environment." *Computers and Electrical Engineering*, 102, 108234.
- Khelili, M.A., Slatnia, S., Kazar, O., Merizig, A., & Mirjalili, S. (2023). "Deep learning and metaheuristics application in internet of things: A literature review." *Microprocessors and Microsystems*, 98, 104792.
- Kiran, M.S., & Kiran, M.S. (2015). "TSA: Tree-seed algorithm for continuous optimization." *Experimental System Applications*, 42, 6686–6698.
- Kinost, A., Doerner, K.F., & Rinderle-Ma, S. (2022). "Combining metaheuristics and process mining: Improving cobot placement in a combined cobot assignment and job shop scheduling problem." *Procedia Computer Science*, 200, 1836-1845.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, J.C.D., & Vecchi, M.P. (1986). "Optimization by simulated annealing." *World Scientific Lecture Notes in Physics*, 220, 339–348.
- Klar, M., Glatt M., & Aurich, J.C. (2023). "Performance comparison of reinforcement learning and metaheuristics for factory layout planning." *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 45, 10-25.
- Krishnanand, K., & Ghose, D. (2005). "Detection of multiple source locations using a glowworm metaphor with applications to collective robotics." In *Proceedings of the 2005 IEEE Swarm Intelligence Symposium*, 8–10 June, (pp. 84–91). Pasadena, CA, USA.
- Kulkarni, A.J., Durugkar, I.P., & Kumar, M. (2013). "Cohort Intelligence: A self-supervised learning behavior." In *Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 13–16 October, (pp. 1396–1400). Manchester, UK.
- Kumar, A., Misra, R.K., & Singh, D. (2017). "Improving the local search capability of effective butterfly optimizer using covariance matrix adapted retreat phase." In: *Proceedings of the 2017 IEEE Congress Evolution Computer*, 1835–1842.
- Kumar, N., Singh, N., & Vidyarthi, D.P. (2021). "Artificial lizard search optimization (ALSO): A novel nature-inspired metaheuristic algorithm." *Software Computational*, 25, 6179–6201.
- Kutlu Onay, F., & Aydemir, S.B. (2022). "Chaotic hunger games search optimization algorithm for global optimization and engineering problems." *Mathematics and Computers in Simulation*, 192(10), 514–536.
- Lam, A.Y.S., & Li, V.O.K. (2010). "Chemical-reaction-inspired metaheuristic for optimization." *IEEE Transmission Evolution Computer*, 14, 381–399.
- Lee, K.Y., & Vale, Z.A. (2020). *Applications of Modern Heuristic Optimization Methods in Power and Energy Systems*. Wiley: Hoboken, NJ, USA.
- Lessmann, S., Caserta, M., & Arango, I.M. (2011). "Tuning metaheuristics: A data mining based approach for particle swarm optimization." *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12826-12838.
- Li, M.D., Zhao, H., Weng, X.W., & Han, T. (2016). "A novel nature-inspired algorithm for optimization: Virus colony search." *Advance Engineering Software*, 92, 65–88.
- Li, T., Wang, C.F., Wang, W.B., & Su, W.L. (2005). "A global optimization bionics algorithm for solving integer programming-plant growth simulation algorithm." *Systems Engineering-Theory Practical*, 25, 76–85.
- Li, X.D., Wang, J.S., Hao, W.K., Zhang, M., & Wang, M. (2022). "Chaotic arithmetic optimization algorithm." *Applied Intelligence*, 52(14), 16718–16757.
- Liang, Y.C., & Juarez, J.R.C. (2016). "A novel metaheuristic for continuous optimization problems: Virus optimization algorithm." *Engineering Optimization*, 48(1), 73–93.
- Luo, J., Chen, H., Zhang, Q., Xu, Y., Huang, H., & Zhao, X. (2018). "An improved grasshopper optimization algorithm with application to financial stress prediction." *Applied Mathematical Modelling*, 64, 654–668.
- MATLAB. (2018). *R2019b*. The MathWorks Inc., Natick, Massachusetts, USA.
- Mehrabian, A., & Lucas, C. (2006). "A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization." *Ecological Information*, 1, 355–366.
- Mendi, F., Başkal, T., Boran, K., & Boran, F.E. (2010). "Optimization of module, shaft diameter and rolling bearing for spur gear through algorithm." *Energy Systems with Applications*, 37, 8058-8064.
- Meng, A.B., Chen, Y.C., Yin, H., & Chen, S.Z. (2014). "Crisscross optimization algorithm and its application." *Knowledge-Based Systems*, 67, 218–229.
- Mihaly, N.B., Luca, A.V., Simon Varhelyi, M., & Cristea, V.M. (2023). "Improvement of air flowrate distribution in the nitrification reactor of the waste water treatment plant by effluent quality, energy and greenhouse gas emissions optimization via artificial neural networks models." *Journal of Water Process Engineering*, 54, 103935.

- Mirjalili, S. (2013). "Dragonfly algorithm: A new meta-heuristic optimization technique for solving single-objective, discrete, and multi-objective problems." *Neural Computational Applied*, 27, 1053–1073.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S.M., & Lewis, A. (2014). "Grey wolf optimizer." *International Journal of Advance Engineering Software*, 69, 46–61.
- Mirjalili, S. (2015a). "Moth-flame optimization algorithm: A novel nature-inspired heuristic paradigm." *Knowledge-Based Systems*, 89, 228–249.
- Mirjalili, S. (2015b). "The ant lion optimizer." *Advance Engineering Software*, 83, 80–98.
- Mirjalili, S. (2016). "SCA: A sine cosine algorithm for solving optimization problems." *Knowledge-Based Systems*, 96, 120–133.
- Mirjalili, S., & Lewis, A. (2016). "The whale optimization algorithm." *Advance Engineering Software*, 95, 51–67.
- Mirjalili, S., Gandomi, A.H., Mirjalili, S.Z., Saremi, S., Faris, H., & Mirjalili, S.M. (2017). "Salp swarm algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems." *Advance Engineering Software*, 114, 163–191.
- Mladenovi 'C, N., & Hansen, P. (1997). "Variable neighborhood search." *Computational Operational Research*, 24, 1097–1100.
- Moein, S., & Logeswaran, R. (2014). "KGMO: A swarm optimization algorithm based on the kinetic energy of gas molecules." *Informatics Science*, 275, 127–144.
- Moghdani, R., & Salimifard, K. (2018). "Volleyball premier league algorithm." *Applied Software Computational*, 64, 161–185.
- Mohamed, A.W., Hadi, A.A., & Mohamed, A.K. (2020). "Gaining-sharing knowledge based algorithm for solving optimization problems: A novel nature-inspired algorithm." *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 11, 1501–1529.
- Mohammed, H.M., & Rashid, T.A. (2021). "Chaotic fitness-dependent optimizer for planning and engineering design." *Software Computing*, 25(22), 14281–14295.
- Monismith, D.R., & Mayfield, B.E. (2008). "Slime mould as a model for numerical optimization." *In Proceedings of the IEEE Swarm Intelligence Symposium*, 21–23 September, St. Louis, MO, USA.
- Moosavian, N., & Roodsari, B.K. (2014). "Soccer league competition algorithm: A novel meta-heuristic algorithm for optimal design of water distribution networks." *Swarm Evolution Computational*, 17, 14–24.
- Moscato, P. (1989). "On evolution, search, optimization, genetic algorithms and martial arts: towards memetic algorithms." *In Caltech Concurrent Computation Program (Report 826)*, California Institute of Technology, pp. 158–179, Pasadena, CA, USA.
- Muthiah-Nakarajan, V., & Noel, M.M. (2016). "Galactic swarm optimization: A new global optimization metaheuristic inspired by galactic motion." *Applied Software Computational*, 38, 771–787.
- Mühlenbein, H., & Pass, G. (1996). "From recombination of genes to the estimation of distributions I. Binary parameters." *In Computer Vision*, 1141, 178–187.
- Narayanan, A., & Moore, M. (1996). "Quantum-inspired genetic algorithms." *In Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation ICEC-96*, 20–22 May, (pp. 61–66). Nagoya, Japan.
- Naruei, I., & Keynia, F. (2021). "A new optimization method based on coot bird natural life model." *Expert Systems with Applications*, 115352.
- Nassef, A.M., Abdelkareem, M.A., Maghrabie, H.M., & Baroutaji, A. (2023). "Review of metaheuristic optimization algorithms for power systems problems." *Sustainability*, 15, 9434.
- Pan, W.T. (2012) "A new fruit fly optimization algorithm: Taking the financial distress model as an example." *Knowledge-Based Systems*, 26, 69–74.
- Passino, K. (2002). "Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control." *IEEE Controlling Systems*, 22, 52–67.
- Pelikan, M., Goldberg, M.E., & Cant-Paz, E. (1999). "BOA: The Bayesian optimization algorithm." *In Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference—GECCO-99*, I, 13–17 July, (pp. 525–532). Orlando, FL, USA.
- Pelusi, D., Mascella, R., Tallini, L., Nayak, J., Naik, B., & Deng, Y. (2020a). "An improved moth- flame optimization algorithm with hybrid search phase." *Knowledge-Based Systems*, 191, 105277.
- Pelusi, D., Mascella, R., Tallini, L., Nayak, J., Naik, B., & Deng, Y. (2020b). "Improving exploration and exploitation via a hyperbolic gravitational search algorithm." *Knowledge-Based Systems*, 193, 105404.
- Pereira, J.L.J. (2021). "Lichtenberg algorithm: A novel hybrid physics-based meta-heuristic for global optimization." *Expert Systems Applied*, 170, 114522.
- Pierezan, J., & Coelho, L.D.S., (2018). "Coyote optimization algorithm: A new metaheuristic for global optimization problems." *In Proceedings of the 2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, (pp. 1–8). 8–13 July, Rio de Janeiro, Brasil.

- Poli, R., Kennedy, J., & Blackwell, T. (2007). "Particle swarm optimization." *Swarm Intelligent*, 1, 33–57.
- Punnathanam, V., & Kotecha, P. (2016). "Yin-yang-pair optimization: A novel light weight optimization algorithm." *Engineering Applied Artificial Intelligence*, 54, 62–79.
- PYTHON. (1995). Centrum voor Wiskunde en Informatica Amsterdam, The Netherlands.
- Qais, M.H., Hasanien, H.M., & Alghuwainem, S. (2020). "Transient search optimization: A new meta-heuristic optimization algorithm." *Applied Intelligence*, 50(11), 3926–3941.
- Qu, G., Cheng, H., Yao, L., Ma, Z., & Zhu, Z. (2010). "Transmission surplus capacity based power transmission expansion planning." *Electrical Power Systems Research*, 80, 19–27.
- Rabanal, P., Rodríguez, L., & Rubio, F. (2007). "Using river formation dynamics to design heuristic algorithms in swarm." *Evolutionary, and Memetic Computational*, 4618, 163–177.
- Radosavljević, J. (2018). *Metaheuristic Optimization in Power Engineering*. The Institution of Engineering and Technology, British Library Cataloguing in Publication Data, Herts, United Kingdom.
- Rahmani, R., & Yusof, R. (2014). "A new simple, fast and efficient algorithm for global optimization over continuous search-space problems." *Applied Mathematical Computational*, 248, 287–300.
- Rahul, K., & Banyal, R.K. (2022). "Metaheuristics approach to improve data analysis process for the healthcare sector." *Procedia Computer Science*, 215, 98-103.
- Rahkar Farshi, T. (2021). "Battle royale optimization algorithm." *Neural Computational Applied*, 33, 1139–1157.
- Rakhshani, H., & Rahati, A. (2017). "Snap-drift cuckoo search: A novel cuckoo search optimization algorithm." *Applied Software Computational*, 52, 771–794.
- Rao, R.V., Savsani, V.J., & Vakharia, D. (2011). "Teaching-learning-based optimization: A novel method for constrained mechanical design optimization problems." *Computational Deserve*, 43, 303–315.
- Rao, R.V. (2016). "Jaya: A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems." *International Journal of Industry Engineering Computational*, 7, 19–34.
- Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H., & Saryazdi, S. (2009). "GSA: A gravitational search algorithm." *Informatics Science*, 179, 2232–2248.
- Ray, T., & Liew, K. (2003). "Society and civilization: An optimization algorithm based on the simulation of social behavior." *IEEE Transfer Evolution Computational*, 7, 386–396.
- Rechenberg, I. (1971). *Evolutionsstrategie-optimierung technischer systeme nach prinzipien der biologischen evolution (in German)*. [Ph.D. Thesis, Technical University of Berlin].
- Reynolds, R.G. (1994). "An introduction to cultural algorithms." In *Proceedings of the Third Annual Conference on Evolutionary Programming*, 24–26 February, (pp. 131–139). San Diego, CA, USA.
- Sadollah, A., Bahreininejad, A., Eskandar, H., & Hamdi, M. (2013). "Mine blast algorithm: A new population based algorithm for solving constrained engineering optimization problems." *Applied Software Computational*, 13, 2592–2612.
- Sakthivel, S., Pandiyan, S.A., Marikani, S., & Selvi, S.K. (2013). "Application of big-bang big-crunch algorithm for optimal power flow problems." *International Journal of Engineering Science*, 2, 41–47.
- Salcedo-Sanz, S., Del Ser, J., Landa-Torres, I., Gil-López, S., & Portilla-Figueras, J.A. (2014). "The coral reefs optimization algorithm: A novel metaheuristic for efficiently solving optimization problems." *Science World Journal*, 1–15.
- Salgotra, R., Singh, U., Singh, G., Mittal, N., & Gandomi, A.H. (2021). "A self-adaptive hybridized differential evolution naked mole-rat algorithm for engineering optimization problems." *Computational Methods Applied Mechanical Engineering*, 383, 113916.
- Salimi, H. (2015). "Stochastic fractal search: A powerful metaheuristic algorithm." *Knowledge-Based Systems*, 75, 1–18.
- Saremi, S., Mirjalili, S., & Lewis, A. (2017). "Grasshopper optimisation algorithm: Theory and application." *Advance Engineering Software*, 105, 30–47.
- Satapathy, S.C., & Naik, A. (2016). "Social group optimization (SGO): A new population evolutionary optimization technique." *Complex Intelligence Systems*, 2, 173–203.
- Savsani, P., & Savsani, V. (2016). "Passing vehicle search (PVS): A novel metaheuristic algorithm." *Applied Mathematical Modelling*, 40, 3951–3978.
- Sayed, G.I., Darwish, A., & Hassanien, A.E. (2018). "A new chaotic multi-verse optimization algorithm for solving engineering optimization problems." *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 30(2), 293–317.
- Shayanfar, H., & Gharehchopogh, F.S. (2018). "Farmland fertility: A new metaheuristic algorithm for solving continuous optimization problems." *Applied Software Computational*, 71, 728–746.



- Shirke, C., Sabar, N., Chung, E., & Bhaskar, A. (2021). "Metaheuristic approach for designing robust traffic signal timings to effectively serve varying traffic demand." *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 26(3), 343-355.
- Storn, R. & Price, K. (1997). "Differential evolution: A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces." *Journal of Global Optimization*, 11, 341-359.
- Sulaiman, M.H., & Mustafa, Z. (2023). "Using the evolutionary mating algorithm for optimizing the user comfort and energy consumption in smart building." *Journal of Building Engineering*, 76, 107139.
- Sulaiman, M.H., Mustafa, Z., Saari, M.M., Daniyal, H., & Mirjalili, S. (2023). "Evolutionary mating algorithm." *Neural Computational Applied*, 35(1), 487-516.
- Tan, Y., & Zhu, Y. (2010). "Fireworks algorithm for optimization." *In Computer Vision*, 6145, 355-364.
- Tang, R., Fong, S., Yang, X.S., & Deb, S. (2012). "Wolf search algorithm with ephemeral memory." *In Proceedings of the Seventh International Conference on Digital Information Management (ICDIM 2012)*, 22-24 August, (pp. 165-172). Macau, China.
- Tarkhaneh, O., Alipour, N., Chapnevis, A., & Shen, H. (2021). "Golden tortoise beetle optimizer: A novel nature-inspired meta-heuristic algorithm for engineering problems." *Arxiv*. <https://arxiv.org/pdf/2104.01521.pdf>
- Topal, A.O., & Altun, O. (2016). "A novel meta-heuristic algorithm: dynamic virtual bats algorithm." *Informatics Science*, 354, 222-235.
- Uymaz, S.A., Tezel, G., & Yel, E. (2015). "Artificial algae algorithm (AAA) for nonlinear global optimization." *Applied Software Computational*, 31, 153-171.
- Varol Altay, E., & Alatas, B. (2020). "Bird swarm algorithms with chaotic mapping." *Artificial Intelligence Review*, 53(2), 1373-1414.
- Varol Altay, E. & Alatas, B. (2021). "Differential evolution and sine cosine algorithm based novel hybrid multiobjective approaches for numerical association rule mining." *Information Sciences*, 554, 198-221.
- Varol Altay, E. & Altay, O. (2021). "Güncel metasezgisel optimizasyon algoritmalarının CEC2020 test fonksiyonları ile karşılaştırılması." *Dicle University Journal of Engineering*, 12(5), 729-741.
- Varol Altay, E., Gurgenc, E., Altay, O., & Dikici, A. (2022). "Hybrid artificial neural network based on a metaheuristic optimization algorithm for the prediction of reservoir temperature using hydrogeochemical data of different geothermal areas in Anatolia (Turkey)." *Geothermics*, 104, 102476.
- Varol Altay, E. & Altay, O. (2023a). "Assessment of grey wolf optimizer and its variants on benchmark functions", *International Conference on Computing, Intelligence and Data Analytics (ICCIDA) 2022: Computational Intelligence, Data Analytics and Applications*. (pp. 55-66), Springer.
- Varol Altay, E. & Altay, O. (2023b) "A novel hybrid multilayer perceptron neural network with improved grey wolf optimizer." *Neural Computing and Applications*, 35, 529-556.
- Wang, G.G., Deb, S., & Coelho, L.D.S. (2015a). "Elephant herding optimization." *In Proceedings of the 3rd International Symposium on Computational and Business Intelligence*, 7-9 December, (pp. 1-5). Bali, Indonesia.
- Wang, G.G., Deb, S., & Cui, Z. (2015b). "Monarch butterfly optimization." *Neural Computational Applied*, 31, 1995-2014.
- Wang, Q.Y., Lv, X.L., & Zeman, A. (2023). "Optimization of a multi-energy microgrid in the presence of energy storage and conversion devices by using an improved gray wolf algorithm." *Applied Thermal Engineering*, 234, 121141.
- Wang, Z., Chen, L., Wang, B., Huang, L., Wang, K., & Ma, R. (2023). "Integrated optimization of speed schedule and energy management for a hybrid electric cruise ship considering environmental factors." *Energy*, 282, 128795.
- Witten, T.A., & Sander, L.M. (1981) "Diffusion-limited aggregation: A kinetic critical phenomenon." *Physical Revolution Letter*, 47, 1400-1403.
- Xian, S., Zhang, J., Xiao, Y., & Pang, J. (2017). "A novel fuzzy time series forecasting method based on the improved artificial fish swarm optimization algorithm." *Software Computational*, 22, 3907-3917.
- Yampolskiy, R.V., Ashby, L., & Hassan, L. (2012). "Wisdom of artificial crowds: A metaheuristic algorithm for optimization." *Journal of Intelligence Learning Systems Applications*, 4(2), 10.
- Yang, L., Gao, S., Yang, H., Cai, Z., Lei, Z., & Todo, Y. (2021). "Adaptive chaotic spherical evolution algorithm." *Memetic Computing*, 13(3), 383-411.
- Yang, X.S., & Deb, S. (2009). "Cuckoo search via lévy flights." *In Proceedings of the 2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC)*, 9-11 December, (pp. 210-214). Coimbatore, India.
- Yang, X.S., & Deb, S. (2010). "Eagle strategy using lévy walk and firefly algorithms for stochastic optimization." *In Studies in Computational Intelligence*, 284, 101-111.



- Yang, X.S. (2010a). "Firefly algorithm, stochastic test functions and design optimization." *International Journal Bio-Inspired Computational*, 2, 78.
- Yang, X.S. (2010b). "A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm." *In Studies in Computational Intelligence*, 284, 65–74.
- Yang, X.S. (2012). "Flower pollination algorithm for global optimization." *In Computer Vision*, 7445, 240–249.
- Yang, X.S., & Hossein Gandomi, A. (2012). "Bat algorithm: A novel approach for global engineering optimization." *Engineering Computational*, 29, 464–483.
- Yazdani, M., & Jolai, F. (2015). "Lion optimization algorithm (LOA): A nature-inspired metaheuristic algorithm." *Journal of Computational Design Engineering*, 3, 24–36.
- Yu, J.J., & Li, V.O. (2015). "A social spider algorithm for global optimization." *Applied Software Computational*, 30, 614–627.
- Yuhui, S. (2011). "An optimization algorithm based on brainstorming process." *International Journal of Swarm Intelligence Research*, 2, 35–62.
- Zhang, C., & Ding, S. (2021). "A stochastic configuration network based on chaotic sparrow search algorithm." *Knowledge-Based Systems*, 220(10), 106924.
- Zhang, G., & Shi, Y. (2018). "Hybrid sampling evolution strategy for solving single objective bound constrained problems." *In: Proceedings of the 2018 IEEE Congress Evaluation Computational*, 1–7.
- Zhang, J., Xiao, M., Gao, L., & Pan, Q. (2018). "Queuing search algorithm: a novel metaheuristic algorithm for solving engineering optimization problems." *Applied Mathematical Modelling*, 63, 464–490.
- Zhao, R., & Tang, W. (2007). "Monkey algorithm for global numerical optimization." *Journal of Uncertain Systems*, 2, 165–176.
- Zhao, W., Wang, L., & Zhang, Z. (2019a). "Atom search optimization and its application to solve a hydrogeologic parameter estimation problem." *Knowledge-Based Systems*, 163, 283–304.
- Zhao, W., Wang, L., & Zhang, Z. (2019b). "Artificial ecosystem-based optimization: A novel nature-inspired meta-heuristic algorithm." *Neural Computational Applied*, 32, 9383–9425.
- Zhao, W., Zhang, Z., & Wang, L. (2020). "Manta ray foraging optimization: An effective bio-inspired optimizer for engineering applications." *Engineering Applied Artificial Intelligent*, 87, 103300.
- Zhao, X., Guo, J., & He, M. (2023). "Multi-objective optimization and improvement of multi-energy combined cooling, heating and power system based on system simplification." *Renewable Energy*, 217, 119195.
- Zheng, Y.J. (2015). "Water wave optimization: A new nature-inspired metaheuristic." *Computational Operation Research*, 55, 1–11.
- Zhong, C., Li, G., & Meng, Z. (2022). "Beluga whale optimization: a novel nature-inspired metaheuristic algorithm." *Knowledge Based System*, 251, 109215.