**Boynuzlu Kertenkele Savunma Taktiklerinden İlham Alan Yeni Bir Meta-Sezgisel Yöntem**

**Özet**

Bu makale, HLOA adlı yeni bir metaheuristik optimizasyon algoritmasını tanıtmaktadır. Algoritma, matematiksel olarak kriptisizm, derinin karartılması veya açılması, kan püskürtme ve kaçma savunma yöntemlerini taklit eder. Kriptisizm davranışında kertenkele, avcıları tarafından fark edilmemek için rengini değiştirerek saydam hale gelir. Boynuzlu kertenkele, güneş termal kazancını azaltmak veya artırmak ihtiyacına göre derisini açabilir veya karartabilir. Derinin karartılması veya açılma stratejisi, bu deri rengi değişikliklerini etkileyen uyarıcı hormon melanofor oranı (𝛼-MHS) ile modellenmiştir. Ayrıca, kaçma stratejisi de matematiksel olarak tanımlanmıştır. Boynuzlu kertenkele'nin kan püskürtme savunma mekanizması, bir projektil hareketi olarak modelleştirilmiştir. Bu stratejiler, çözüm alanında yerel ve global arama için sömürü ve keşif mekanizmalarını dengelemektedir. HLOA'nın performansı, literatürdeki altmış üç optimizasyon problemiyle, IEEE CEC-2017 "Sınırlı Gerçek Parametre Optimizasyonu" test problem setleriyle, 10, 30, 50 ve 100 boyutları için analiz edilmiştir. Ayrıca, IEEE CEC-06 2019 "100-Rakamlı Zorluk" test fonksiyonları ile üç gerçek dünya kısıt optimizasyon uygulaması ve mühendislik problemleri, çoklu yerçekimi yardımı optimizasyonu ve optimal güç akışı problemi üzerine çalışılmıştır. Wilcoxon ve Friedman istatistik testleri, HLOA algoritmasının sonuçlarını on rekabetçi biyoilhamlı algoritma ile karşılaştırmaktadır. Wilcoxon testi, HLOA'nın çoğu test fonksiyonu için rekabet eden algoritmalardan daha etkili bir şekilde optimal çözüm sağladığını göstermektedir. Aynı zamanda, Friedman istatistik testi HLOA'yı ilk sıraya koymakta ve n-boyutlu analiz, 50 ve 100 boyutlarında kısıtlı optimizasyon problemlerinde daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir.

1. **Giriş**

Optimizasyon, bir problemin değişkenlerinin optimal değerlerini belirleyerek bir amaç fonksiyonunu minimize etmeyi (veya maksimize etmeyi) sağlar. Minimize edilecek bir f fonksiyonu verildiğinde, burada f ∶ RD → R, D problemin boyutunu (değişken sayısı) temsil eder, RD içindeki x noktası bulunur, böylece f (xo) ⩽ f (x) ∀ x ∈ RD olurken, xo, gp(x0) ⩽ 0 ve hq(x0) = 0 olmak üzere eşitsizlik ve eşitlik kısıtlamalarını sağlamalıdır, burada p = 1,2,..,P ve q = 1,2,..,Q, P ve Q eşitsizlik ve eşitlik kısıtlamalarının sayısıdır. Ayrıca, xil ⩽ xi ⩽ xiu koşulunu da sağlamalıdır, burada i = 1, 2, .., D ve i-th değişkeni [xl, xu] aralığında değişir.

Optimizasyon problem çözme stratejileri, Deterministik veya Stokastik olarak sınıflandırılır. Deterministik yöntemler gradyan tabanlı veya gradyan tabanlı olmayan olarak gruplandırılır, her iki sınıflandırma da lineer, konveks ve basit optimizasyon görevleri için iyi performans gösterir. Bununla birlikte, bu yöntemler belirli durumlarda çalışmaz: karmaşık problemler, farklılaştırılamayan amaç fonksiyonları, lineer olmayan arama uzayları, konveks olmayan problemler ve NP-zor problemler içeren durumlarda. Gerçek dünya optimizasyon problemlerinin birçoğu NP-zor olduğundan, bilimsel topluluk sıklıkla deterministik yöntemler yerine stokastik metaheuristikler gibi stokastik metodolojileri kullanır.

A diagram of a diagram

Description automatically generated with medium confidence

Şekil 1 - Metasezgisel Sınıflandırma

Metaheuristiklerden bazıları ve sınıflandırmaları Şekil 1'de gösterilmiş ve aşağıda açıklanmıştır:

- Evrimsel algoritma: Genetik Algoritma (GA) (Holland 2006), Diferansiyel Evrim (DE) (Ahmad et al. 2022), Kültürel Algoritma (CA) (Maheri et al. 2021), Memetik Algoritma (MA) (Ahrari ve Essam 2022), Evrimsel Strateji (ES) (Beyer et al. 2002) ve Gradyan Evrim Algoritması (GEA) (Kim ve Lee 2023).

- Sürü-tabanlı algoritma: Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) (Kennedy ve Eberhart 1995), Çakal Optimizasyon Algoritması (DOA) (Peraza-Vázquez et al. 2021), Kara Dul Optimizasyon Algoritması (BWOA) (Peña-Delgado et al. 2020), Zıplayan Örümcek Optimizasyon Algoritması (JSOA) (Peraza-Vázquez et al. 2021), Fennec Tilki Algoritması (FFA) (Trojovska et al. 2022), Yapay Tavşanlar Optimizasyonu (ARO) (Wang et al. 2022), Elbise Biyom Swarm Algoritması (TSA) (Kaur et al. 2020) ve Dağ Çav Gazel Optimizasyonu (Abdollahzadeh et al. 2022).

- Antik-tabanlı algoritma: Giza Piramitleri İnşa (GPC) (Harifi et al. 2021) ve El-Biruni Dünya Yarıçapı (BER) Metaheuristik Arama Optimizasyon Algoritması (El-Kenawy et al. 2022).

- Fizik-tabanlı algoritma: Simüle Edilmiş Tavlama (SA) (Duan ve Hou 2021), Termal Değişim Optimizasyonu (TEO) (Kaveh ve Dadras 2017), Kütleçekimli Arama Algoritması (GSA) (Mittal et al. 2021), Momentum Arama Algoritması (MSA) (Dehghani ve Samet 2020), Su Döngüsü Algoritması (WCA) (Sadollah et al. 2016), Elektromanyetizma Optimizasyonu (EMO) (Abedinpourshotorban et al. 2016), Kepler Optimizasyon Algoritması (KOA) (Abdel-Basset et al. 2023) ve Döngüsel Parthenogenez Algoritması (CPA) (Kaveh ve Bakhshpoori 2019).

- Kimya-tabanlı algoritma: Kimyasal Reaksiyon Optimizasyonu (CRO) (Lam ve Li 2012), Kristal Yapı Algoritması (CryStAl) (Talatahari et al. 2021) ve Yapay Kimyasal Süreç (ACP) (Irizarry 2004).

- İnsan-tabanlı algoritma: Dikiş Eğitim Tabanlı Optimizasyon (STBO) (Dehghani et al. 2022), Toplum Medeniyet Algoritması (SCA) (Ray ve Liew 2003), Anarşik Toplum Optimizasyonu (ASO) (Ahmadi-Javid 2011), İşbirliği Optimizasyon Algoritması (TOA) (Dehghani ve Trojovský 2021), Emperyalist Rekabetçi Algoritma (ICA) (Atashpaz-Gargari ve Lucas 2007) ve Koronavirüs Maske Koruma Algoritması (CMPA) (Yuan et al. 2023).

- Bitki-tabanlı algoritma: İstilacı Yabani Ot Optimizasyonu (IWO) (Xing ve Gao 2014), Yapay Bitki Optimizasyonu (APO) (Zhao et al. 2011), Yapay Kök Arama Algoritması (ARFA) (Liu et al. 2017), Köklü Ağaç Optimizasyonu (RTO) (Labbi et al. 2016), Yapay Yosun Algoritması (AAA) (Uymaz et al. 2015), Salyangoz Kediği Optimizasyon Algoritması (WCO) (Pan et al. 2023), Çilek Algoritması (SBA) (Khan 2018) ve Su Değirmeni Bitki Algoritması (Abdelhamid et al. 2023).

- Müzik-tabanlı / Sanat-tabanlı algoritma: Uyum Arama Algoritması (HSA) (Kim 2016), Kaotik Uyum Arama Algoritması (CJSA) (Alatas 2010), Müzikal Besteleme Algoritması (MMC) (Mora-Gutiérrez et al. 2014), Melodi Arama Algoritması (MSA) (Ashrafi ve Dariane 2011) ve Stokastik Boyama Optimizasyonu (Kaveh et al. 2022).

- Spor-tabanlı algoritma: Voleybol Premier Lig (VPL) (Moghdani ve Salimifard 2018), Bulmaca Optimizasyon Algoritması (POA) (Patil et al. 2022), Koşu Şehir Oyunu Optimizasyonu (RCGO) (Ma et al. 2023), Futbol Oyunu Tabanlı Optimizasyon (FGBO) (Fadakar ve Ebrahimi 2016) ve Alp Kayakçılığı Optimizasyonu (ASO) (Yuan et al. 2022, 2023a, b).

- Matematik-tabanlı algoritma: Stokastik Fraktal Arama (SFS) (Salimi 2015), Hiper-Sferik Arama (HSS) (Karami et al. 2014), Aritmetik Optimizasyon Algoritması (AOA) (Abualigah et al. 2021) ve Sinüs-Kosinüs Algoritması (SCA) (Mirjalili 2016).

- Tek çözüm-tabanlı algoritma: Büyük Komşuluk Arama (LNBS) (Pisinger ve Ropke 2010), Tabu Arama (TS) (Yu et al. 2023) ve Değişken Komşuluk Arama (VNBS) (Hansen ve Mladenovići 2018).

- Hibrit algoritma: Yumurtacı Optimizasyon Algoritması ve Yelken Balığı Optimizatörü (COA-SFO) (Ikram et al. 2023), Hibrit Karşılıklıcilik Mekanizması esinlenmiş Kelebek ve Çiçek Tozlaşma Optimizasyon Algoritması (HMMB-FPOA) (Pratha et al. 2023), Kelebek Optimizasyon Algoritması Siyah Dul Optimizasyon ile birleştirildi (BFA-BWOA) (Xu et al. 2022), Denge Balina Optimizasyon Algoritması (EWOA) (Tan ve Mohamad-Saleh 2023), İyileştirilmiş Çakal Optimizasyon Algoritması (IDOA) (Almazán-Covarrubias et al. 2022), Yumurtacı Arama ve Stokastik Boyama Optimizasyonu (CSSPO) (Ismail et al. 2023), Elit karşıt öğrenme, Kaotik k-en iyi kütleçekimli arama stratejisi ve Gri kurt optimizatörü (EOCSGWO) (Yuan et al. 2022), Uyarlanabilir direnç ve Dayanıklılık stratejisi temelli Yusufçuk algoritması (ARSSDA) (Yuan et al. 2020) ve Coulomb kuvvet arama stratejisi temelli yusufçuk algoritması (CFSSDA) (Yuan et al. 2020).  
  
A diagram of a diagram

Description automatically generated

Şekil 2 - Bir Metasezgisel Algoritmanın Genel Çerçevesi

Hiçbir algoritma, herhangi bir optimizasyon problemi veya aynı problem türündeki durumları etkin ve verimli bir şekilde çözememektedir (Joyce ve Herrmann 2017). Bu nedenle, bilimsel topluluk, literatürde zaten tanımlanmış olan zorlu optimizasyon problemlerini çözmek için yeni algoritmalar geliştirmeye devam etmektedir, bu algoritmalar mevcut olanları geçebilmekte veya onlarla rekabet edebilmektedir.

Genel bir metaheuristik çerçeve, aşağıda açıklanan ve Şekil 2'de gösterilen dört aşamadan oluşmaktadır.

**Faz 1:** Başlangıç populasyon vektörleri rastgele olarak oluşturulur. Bu populasyon, her iterasyonla birlikte evrilecektir. Her vektör arama ajanını temsil eder ve populasyon büyüklüğü algoritmanın performansını etkileyebilir.

**Faz 2:** Fitness, her vektörün amaç fonksiyonunun populasyon genelinde değerlendirilmesi sonucunda elde edilir. En küçültme (minimizasyon) durumunda, populasyonun en düşük fitness'e sahip vektörü en iyisidir.

**Faz 3:** Burada, vektörleri yeniden birleştiren matematiksel fonksiyonların dahil edilmesi gerekmektedir. Bu fonksiyonlar, biyolojik ilham alınan fonksiyonlar olarak yaşayan varlıkların veya fiziksel/kimyasal olayların davranışlarını modelleyebilir.

**Faz 4:** En iyi fitness'e sahip vektör, her iterasyonda önceki şekilde yeniden birleştirilen vektörlerin fitness'leri ile karşılaştırılır. İterasyon sayısı henüz karşılanmamışsa, durma koşulu, faz 2'ye geri dönülür. Aksi takdirde, ulaşılan en iyi fitness değeri raporlanır. Jenerasyonlar olarak bilinen iterasyon sayısı, algoritmanın bu evrimsel süreçte performansını etkileyen, algoritma başlamadan önce tanımlanan bir değerdir.

Son olarak, her metaheuristiğin arama çözüm alanını keşfetme (çeşitlilik sağlama) ve sömürme etme (yoğunlaştırma) yetenekleri arasında iyi bir dengeye sahip olması gerekir. Başka bir deyişle, performansını iyileştirmek için global ve lokal arama stratejilerine sahip olmalıdır.

Bu algoritma, boynuzlu kertenkelelerin avcılardan saklanma ve kendini savunma şeklinden esinlenmiştir. Çalışmanın katkıları şu şekilde özetlenebilir:

• Boynuzlu kertenkelelerin avcılardan korunma davranışlarını içeren yeni bir biyo-esinlenimli optimizasyon algoritması. Bu dört savunma stratejisi, kamuflaj davranışı, deri renginin karartılması veya açılması, kan püskürtme ve kaçma hareketini içerir. Ayrıca, deri rengindeki değişimi etkileyen alfa-melanofor uyarıcı hormon oranı da dikkate alınmıştır. Bu stratejiler, biyo-esinlenimli algoritmalar alanında yeni yönelimler ve uygulamaların keşfedilmesine ilham verebilir, bu da ilgili araştırmaların çoğalmasına yol açabilir.

• HLOA'nın performansı, IEEE CEC 2017 "Sınırlı Gerçel Parametre Optimizasyonu" için 10-boyutlu, 30-boyutlu, 50-boyutlu ve 100-boyutlu referans problemleri, IEEE CEC06-2019 "100 Haneli Meydan Okuma" test fonksiyonları ve literatürden altmış üç test işlevi üzerinde değerlendirilmiştir. Ayrıca, CEC2020'den üç gerçek dünya kısıtlı optimizasyon uygulaması ve çoklu yerçekimi yardımı optimizasyonu ile optimal güç akışı problemi de test edilmiştir.

• HLOA algoritmasının diğer yaklaşımlarla karşılaştırılması, aynı test durumlarıyla değerlendirilen farklı tekniklerin göreceli güçlü ve zayıf yönlerini anlamamıza olanak tanır.

• Algoritma, Friedman testleri, Wilcoxon testleri ve yakınsama analizleri ile doğrulanmıştır. Sonuçlar, on yakın zamanda geliştirilen biyo-esinlenimli meta-sezgisel algoritmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

• Bilimsel topluluk, bu çalışmanın bulgularını desteklemek için HLOA'nın Matlab kaynak koduna erişebilir.

Taban alınan biyoinspirasyon olan HLOA'nın detaylı matematiksel formülasyonu, zaman karmaşıklığı ve sözde kodu ikinci bölümde açıklanmaktadır. Daha sonra, önerilen yaklaşımın performansı çeşitli test işlevleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve on yeni biyoinspirasyon algoritması ile karşılaştırılmıştır üçüncü bölümde sunulmuştur. Dördüncü bölümde, algoritmanın sonuçları ve tartışması sunulmuştur. Beşinci bölüm, HLOA'nın gerçek dünya optimizasyon problemlerine ve kullanılan kısıt yönetimi tekniğine uygulanışını açıklamaktadır. Son olarak, makale sonuçları ve gelecek çalışmalar özetlenmektedir.

1. **Boynuzlu Kertenkele Optimizasyon Algoritması (HLOA)**

**2.1 Biyolojik Temeller**

Boynuzlu kertenkele bilimsel olarak Phrynosoma olarak bilinir. ABD'nin güney-orta bölgelerinden Meksika'nın kuzeydoğusuna kadar endemik bir sürüngen türüdür. Kurak veya yarı kurak aşırı sıcaklık bölgelerine adapte olmuşlardır. Boynuzlu kertenkeleler çeşitli türlerle beslenirler, bunlar arasında çekirgeler, çekirge türleri, böcekler, örümcekler, kene, kelebekler ve güveler bulunmaktadır (Leaché ve McGuire 2006). Pasif savunma yöntemleri arasında kriptisiz bulunmaktadır (Stevens ve Merilaita 2011; Ruxton et al. 2004). Bu yöntem, rengi, deseni ve şekli aracılığıyla çevresine uyum sağlama kapasitesinden oluşur. Örneğin, Boynuzlu kertenkelelerin renk deseni coğrafi olarak değişir ve böcekleri bulmak zorlaşır (Ruxton et al. 2004). Başka bir pasif savunma stratejisi ise hareketle kaçıştır. Ayrıca, tehdit altındayken bu kertenkele, bir metreden fazla yol kat eden bir kan akışı atma gibi saldırgan taktikler uygular (Cooper ve Sherbrooke 2010; Middendorf 2001). Vurgulanmalıdır ki, tüm sürüngenler gibi, boynuzlu kertenkeleler de vücut ısısını üretemedikleri için çevresel sıcaklığa bağımlı olarak termoregülasyon yaparlar, sıcaklıklarını korurlar (Lara-Reséndiz et al. 2015; Grigg ve Buckley 2013). Ayrıca, boynuzlu kertenkele cildinin rengini, güneş ısısını azaltmak veya artırmak gerekip gerekmediğine bağlı olarak açıp koyulaştırabilir. Bu nedenle, yüksek sıcaklıklarda (25◦ - 40◦ C), aydınlık bir renk alırlar, düşük sıcaklıklarda (16◦ - 17◦ C) ise koyulaşır. Koyu cilt hiçbir rengi yansıtmaz; aksine, tüm dalga boylarını absorbe eder ve bunları ısıya dönüştürür. Boynuzlu kertenkelenin cildinin hızlı renk değişimi, ciltlerinin alfa-melanofor uyarıcı hormonunun (𝛼-MSH) sıcaklık etkileri nedeniyledir (Sherbrooke 1997) (Şekil 3).

**2.2 Matematiksel Model Ve Optimizasyon Algoritması**

Daha önce belirtildiği gibi, kertenkele çevresine uyum sağlamak için renklerini değiştirerek kendini savunabilir. Ayrıca, güneş ısısı kazancını artırmak veya azaltmak gerektiğinde cildini açıp koyulaştırabilir. Kertenkeledeki alfa-melanofor uyarıcı hormonunun (𝛼-MSH) hızı, bu hızlı renk değişiminin bir faktörüdür. Ayrıca, avcılarına karşı savunma amaçlı kısa bir kan püskürtebilir. Bu çalışmada, önceki olarak açıklanan her bir kertenkele savunma davranışı, optimizasyon algoritmasının bir parçası olarak matematiksel olarak modellenmiştir.

A lizard with spikes on its back

Description automatically generated

Şekil 3 - Boynuzlu Kertenkele

**2.2.1 Strateji 1: Kriptis davranışı (Gizlenme)**

Kriptis, bir organizmanın çevresiyle örtüşerek çevrenin özelliklerini taklit ederek veya hatta saydam hale gelerek avcıların veya avların onları algılamasını veya tanımasını zorlaştırabilen süreçtir, bkz. Şekil 5. Bu, organizmaların algılanmadan kaçınmasına yardımcı olan adaptif bir davranıştır ve bu şekilde doğal dünyada hayatta kalma şanslarını artırır (Ruxton vd., 2004). Bu çalışmanın kapsamı boynuzlu kertenkeleye dayandığından, kriptis yöntemi matematiksel olarak renk teorisi aracılığıyla temsil edilmiştir (Westland vd., 2012; Niall, 2017).

Öte yandan, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) (Niall, 2017), her dalga boyunun görünür spektrumu boyunca (400 ila 700 nm) yayılan enerji miktarına göre standartlaştırılmış ışık kaynaklarını belirlemiştir. Ayrıca, kuruluş, bir renk değerlendirme sistemi tanımlamıştır; örneğin, Kartezzyen koordinatlar için Lab sistemi ve kutup koordinatları için LCh sistemi, bir renki renk uzayında hesaplamak için.

Lab sisteminde, L\* parlaklığı, a\* ve b\* ise kromatik koordinatları belirtir, aşağıda gösterildiği gibi.  
  
A black text on a white background

Description automatically generated  
  
L\*C\*h sisteminde, L\* aydınlığı tanımlar, C\* renk yoğunluğunu belirtir ve h\* renk tonu açısını (bir açısal ölçümü) gösterir. Renk tonu, renk ailesini (kırmızı, sarı, yeşil ve mavi) ve bu renkler arasındaki tüm tonları açıklayan bir "ekvator" etrafında dairesel bir hareket yapar. Yani, renk tonu çemberindeki sayılar 0 ile 360 arasında değişir; 0 derecede kırmızı başlar, ardından sarı, yeşil, mavi geçilerek tekrar kırmızıya dönülür. L ekseni renklerin parlaklık yoğunluğunu tanımlar. Bu değerlendirme, renkleri açık veya koyu olarak sınıflandırmayı mümkün kılar. Her iki renk sistemi temsili, Şekil 4 ve 5'te gösterilmiştir. Dikdörtgen koordinatların polar koordinatlara dönüşümü, Denklem 2'de görülebilir.

A white background with black and white clouds

Description automatically generated

c\* ve h değerleri sırasıyla kroma (ya da doygunluk) ve renk tonunu temsil eder. h değeri renk tonu açısını belirtir ve 0◦ ile 360◦ arasında derecelerle ifade edilir. Ters formüller şöyledir:

A white background with black and white clouds

Description automatically generated

Genel geçerlik kaybı olmaksızın, (a∗, b∗) ve (a∗, b∗) sıralı çiftlerinin herhangi iki rengi, pq rs

p ≠ q ≠ r ≠ s şeklinde olsun. Dolayısıyla, Denklem 4'te gösterilen aritmetik işlemlerle colorVar1 ve colorVar2 gibi iki yeni renk elde edilebilir.

A colorful circle with a triangle and a triangle in the center

Description automatically generated

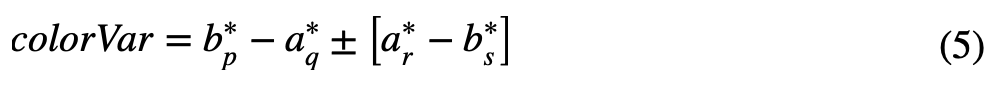
Şekil 4 - CIE L\*a\*b ve L\*C\*h sistemleri için renk uzayının temsili

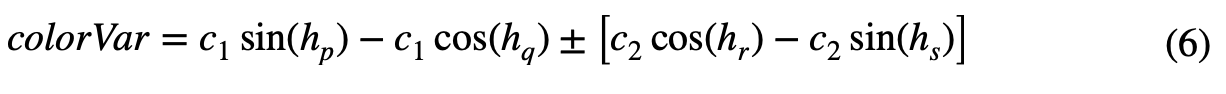


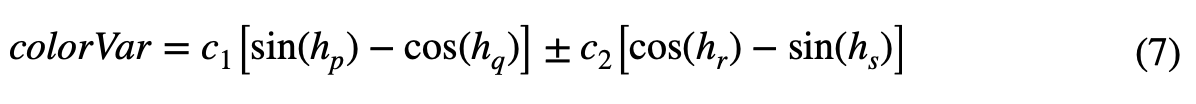
Şekil 5 - Gizlenmiş Boynuzlu Kertenkele

A black symbols on a white background

Description automatically generated

Bu renkler aşağıda gösterildiği gibi tek bir denklemde temsil edilebilir.  
  
Denklem 5 ters formda aşağıdaki gibi temsil edilebilir:

  
Burada açılar (ton) hp ≠ hq ≠ hr ≠ hs ile karşılaştığında ve kroma c1 ≠ c2 olduğunda, son olarak c1 ve c2 Denklem 7'de gösterildiği gibi çarpanlara ayrılır.

  
7. denklemde gösterilen kromatik koordinatların aritmetik işlemlerini içeren bir denklem aşağıda görülebilir.

A math equations on a white background

Description automatically generated

xi(t + 1), çözüm arama ajanlarının (boynuzlu kertenkeleler) yeni konumudur, binary değeri Algoritma 1 tarafından elde edilmiştir, 𝜕 2 olarak ayarlanmıştır ve c1, c2, c1 ≠ c2 olacak şekilde, normalleştirilmiş renk paletini içeren 29 Numaralı Tablodan alınan rastgele sayılardır.

Algoritma 1  
Begin procedure

if rand ≤ 0.5 then

return 0

else

return 1

end if

End procedure

**2.2.2 Strateji 2: Derinin karartılması veya aydınlatılması**

Boynuzlu kertenkele, güneş ısısını azaltması veya arttırması gerekip gerekmediğine bağlı olarak derisini aydınlatabilir veya karartabilir (Sherbrooke ve Sherbrooke 1988). Termal enerji, ışık enerjisiyle aynı koruma yasalarına tabidir (Burtt 1981). Dolayısıyla, renkle sıcaklık arasındaki ilişkinin anahtarıdır. Bu nedenle, daha fazla ısı yansıtan renkler daha fazla ısıyı uzaklaştırır. Bu şekilde, koyu renkler daha fazla ısı emer çünkü daha fazla ışık enerjisini emer (Burtt 1981). Boynuzlu kertenkelenin derisindeki renk değişiklikleri Denklemler 9 ve 10 ile temsil edilir. Denklem 9, derinin aydınlatma stratejisini temsil ederken, Denklem 10 derinin karartma stratejisini temsil eder.

Tablo 1 - Cildi aydınlatmak veya karartmak için kullanılan renk paleti

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| İsim | Renk | Hexadecimal | Decimal | Normalized |
| Lightening1 |  | E8E8E8 | 15263976 | 0.0 |
| Lightening2 |  | 9398BF | 9672895 | 0.4046661 |
| Darkening1 |  | 763660 | 7747080 | 0.5440510 |
| Darkening2 |  | 161617 | 1447447 | 1 |

A group of math equations

Description automatically generated

Tablo 1'den alınan normalize edilmiş değerler kullanılarak, Light1 ve Light2, Lightening1 (0 değer) ile Lightening2 (0.4046661 değer) arasında rastgele olarak oluşturulan sayılardır. Benzer şekilde, Dark1 ve Dark2 de Darkening1 (0.5440510 değer) ile Darkening2 (1 değer) arasında normalize edilmiş değerler kullanılarak rastgele sayılar oluşturulur. Hem Denklem 9 hem de Denklem 10 için xworst(t) ve xbest(t) sırasıyla bulunan en kötü ve en iyi arama ajanlarıdır. r1, r2, r3 ve r4, arama ajanlarının en fazla sayısına kadar olan tam sayı rastgele sayılarıdır ve r1 ≠ r2 ≠ r3 ≠ r4 koşulunu sağlar; xr1(t), xr2(t), xr3(t) ve xr4(t) ise seçilen r1, r2, r3 ve r4'üncü arama ajanlarıdır. Son olarak, σ, Algoritma 1 tarafından elde edilen ikili bir değerdir. Cilt rengi değiştirme stratejisi Algoritma 2'de gösterilmiştir.

Algoritma 2: Cilt karartma veya aydınlatma prosedürü

Table 1 den Light1 ve Light2 değerlerini rastgele oluştur

Table 1 den Dark1 ve Dark2 değerlerini rastgele oluştur

r1, r2, r3 ve r4 değerlerini |1 ile Maximum arch Agent boyutu arasında rastgele tam sayı olarak seç

if 𝜕 then

Cildi aydınlatma uygula. Denklem 9 u hesapla

else

Cildi karartma uygula. Denklem 10 u hesapla

end if

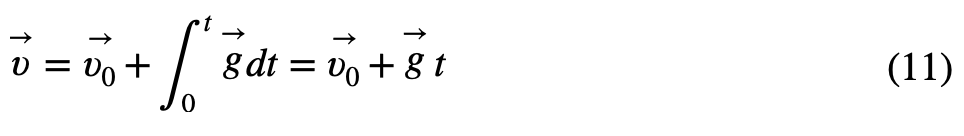
End procedure

t iterasyonundaki en kötü arama ajanının yerine, cilt karartma veya cilt açıklama stratejisi ile elde edilen yeni ajanın yerleştirildiğine dikkat ediniz.

**2.2.3 Strateji 3: Kan Fırlatma**

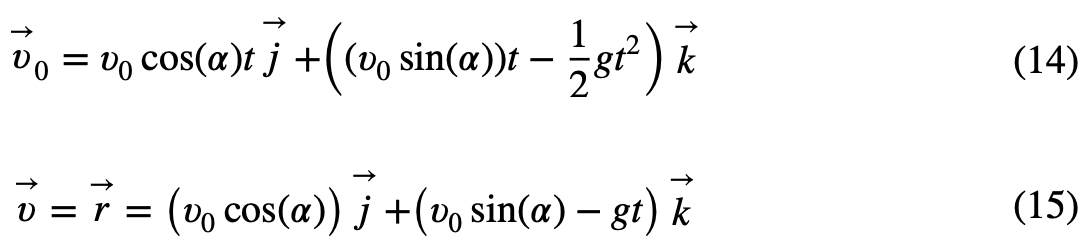
Boynuzlu kertenkele, düşmanlarına gözlerinden kan fışkırarak karşı koyar (Middendorf 2001). Kan fışkırma savunma mekanizması, Figür 6'da gösterilen bir projektil hareket olarak temsil edilebilir. Hareket denklemlerini elde etmek için, projektil hareketini X-ekseni (yatay) ve Y-ekseni (dikey) olarak iki bileşene ayırıyoruz

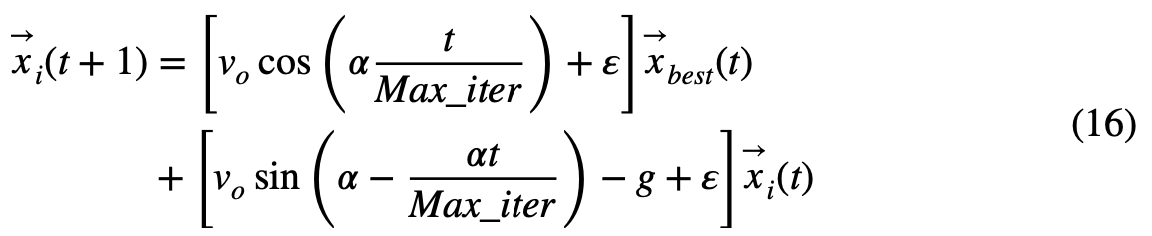
Yatay yönde, kan fışkırması düz bir çizgi hareketi tanımlar, bu nedenle hareket denklemleri şu şekilde verilir:



Dikey yönde, kanın atışı düzgün ivmeli doğrusal bir hareketi tanımlar, şöyle ki:  
A math equations and numbers

Description automatically generated with medium confidence  
Vektör denklemleri, konum ve hız, sırasıyla Denklem 14 ve 15 ile temsil edilir.



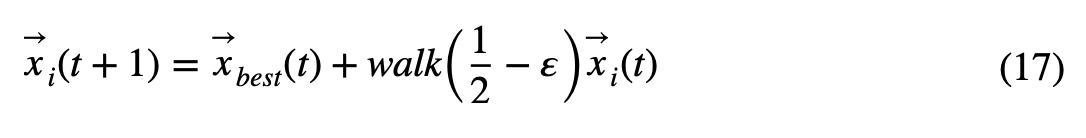
Son olarak, yörünge şu şekilde ifade edilebilir:  
  
  
A wolf looking at a lizard

Description automatically generated

Şekil 6 - Boynuzlu Kertenkele Kan Fırlatıyor

**2.2.4 Strateji 4: Kaçmak İçin Hareket Et**

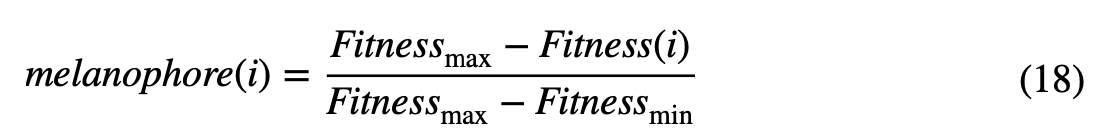
Bu stratejide, boynuzlu kertenkele, yırtıcılarından kaçmak için çevrede rastgele hızlı hareketler yapar. Ruxton ve ark. (2004) bu kaçış stratejisinin matematiksel modellemesi için yerel ve global hareketleri içeren bir fonksiyon önerirler; bu fonksiyon Denklem 17'de açıklanmış ve Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu denklemde, 1/2 − 𝜀 x (t) xi(t) etrafında bir yerel hareketi ifade ederken, xbest(t) eklenerek çözüm arama uzayında bir yer değiştirme (global hareket) oluşturur.



xi(t + 1), çözüm arama uzayındaki yeni arama ajanı konumudur (boynuzlu kertenkele) t + 1 nesli için, xbest(t) t nesli için en iyi arama ajanı, walk -1 ile 1 arasında rastgele bir sayı, 𝜖 ortalama ve 𝜎 sırasıyla 0 ve 1 olan standart bir Cauchy dağılımından üretilen rastgele bir sayıdır. xi(t), t nesli içindeki mevcut i-th arama ajanıdır.

**2.2.5 Strateji 5: Melanofor Uyarıcı Hormon (Α-MSH) Oranı**

Kemikli kertenkele cildinin rengini, güneşten gelen ısınını azaltmak veya artırmak gerekip gerekmediğine bağlı olarak açıp koyulaştırabilir. Kemikli kertenkelenin cildinde gözlemlenen hızlı renk değişimi, α-melanofor uyarıcı hormonunun (α-MSH) sıcaklığın etkisiyle değişmesinden kaynaklanmaktadır. Kemikli kertenkelelerde hormon seviyeleri üzerine yapılan çalışmaya ilişkin ek bilgiler Sherbrooke (1997) makalesinde bulunabilir. Bu araştırmada, kemikli kertenkelelerin α-melanofor oranı değeri aşağıdaki denklemle tanımlanmıştır:



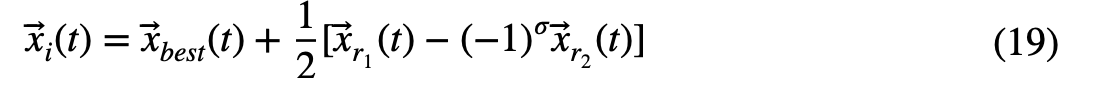
Fitnessmin ve Fitnessmax sırasıyla mevcut t neslindeki en iyi ve en kötü fitness değerleridir, burada fitness(i) i-th arama ajanının mevcut fitness değeridir.

Denklem 18 ile hesaplanan melanofor(i) değer vektörü [0, 1] aralığında normalize edilir. Eq. 19'da, 0.3'ten az olan düşük bir 𝛼-MSH oranı, Algoritma 3'te açıklandığı gibi arama ajanlarını yerine koyar.

A diagram of a snake and a dinosaur

Description automatically generated

Şekil 7 - Boynuzlu Kertenkelenin avcılardan kaçışı



Algoritma 3 - 𝛼 -melanofor prosedürü

Begin procedure

for i = 1 to sizePopulation do

if melanophore(i) ≤ 0.3 then

Strateji 5: \* i arama ajanı, Denklem 19'da değiştirilir.

end if

end for

End procedure

**2.2.6 HLOA'nın zaman karmaşıklığı**

HLOA'nın zaman karmaşıklığı analizi, popülasyonun başlatılması, fitness değerlendirmesi ve arama ajanlarının (kertenkelelerin) güncellenmesi analizini içerir. HLOA popülasyonunun başlatılması O(PopSize x D) şeklinde ifade edilir, burada PopSize arama ajanlarının (kertenkelelerin) sayısı ve D optimizasyon probleminin boyutudur (tasarım değişkenleri sayısı). O(T), fitness değeri yani amaç fonksiyonu değerinin hesaplanma zaman karmaşıklığını temsil eder. Dolayısıyla, fitness'in başlangıç değerlendirmesi için gerekli zaman, O(PopSize × O(T)) ile sınırlıdır. Bu nedenle, HLOA ana döngüsünün hesaplama karmaşıklığı, Algorithm 4 (Şekil 8)'de özetlendiği gibi O(MaxIteration x PopSize x (D + O(T))) şeklindedir.

**2.2.7 HLOA için Pseudo Kod**

Algorithm 4'te, HLOA algoritmasının pseudo kodu açıklanmaktadır.

Algorithm 4: Boynuzlu Kertenkele Optimizasyon Algoritması

procedure HLOA

Parametrelerin başlatılması. Arama ajanlarının sayısını, popülasyon büyüklüğünü ve maksimum iterasyon sayısını belirtin.

Başlangıç popülasyonunu rastgele oluşturun.

while iteration < Maksimum İterasyon Sayısı olduğu sürece

if Crypsis? then

Strateji 1: Gizlenme. Denklem 8 i hesaplayın.

else

if Flee? then

Strateji 4: Kaçışa geçme. Denklem 17 yi hesaplayın.

else

Strateji 3: Kan akışı stratejisi. Denklem 16 yı hesaplayın.

end if

end if

Sonuçlarına göre en kötü arama ajanını cilt karartma (Denklem 10 u hesapla) veya aydınlatma

if Düşük a-melanofor oranı varsa then

Strateji 5: Düşük a-melanofor oranlı arama ajanlarını Denklem 19, Algorithm 3 uygulayarak

end if

Yeni arama ajanlarının fitness değerini hesaplayın.

if new < X\* then

Х\* = Xnew

end if

iteration = iteration + 1

end while

En iyi optimal çözümü X\* olarak gösterin.

end procedure

A diagram of a flowchart

Description automatically generated

Şekil 8 - HLOA Akış Diyagramı

**Alpha\_melanophore.m**

function [ o ] = alpha\_melanophore( fit, min, max )

for i=1:size(fit,2)

o(i)= (max-fit(i))/(max-min);

end

**HLOA.m**

function [vMin, theBestVct, Convergence\_curve] = HLOA(AramaAjanları\_no, Max\_iter, lb, ub, dim, fobj)

Positions = initialization(AramaAjanları\_no, dim, ub, lb);

for i = 1:size(Positions, 1)

Fitness(i) = fobj(Positions(i, :)); % fitness değerini al

end

[vMin, minIdx] = min(Fitness); % en küçük fitness değeri vMin ve pozisyon minIdx

theBestVct = Positions(minIdx, :); % en iyi vektör

[vMax, maxIdx] = max(Fitness); % en büyük fitness değeri vMax ve pozisyon maxIdx

Convergence\_curve = zeros(1, Max\_iter);

Convergence\_curve(1) = vMin;

alphaMelanophore = alpha\_melanophore(Fitness, vMin, vMax);

% Ana döngü

for t = 1:Max\_iter

for r = 1:AramaAjanları\_no

if (0.5 < rand) % eğer *0.5'ten* büyükse

v(r, :) = mimicry(theBestVct, Positions, Max\_iter, AramaAjanları\_no, t);

else

if (mod(t, 2))

v(r, :) = shootBloodstream(theBestVct, Positions(r, :), Max\_iter, t);

else

v(r, :) = randomWalk(theBestVct, Positions(r, :));

end

end

Positions(maxIdx, :) = Skin\_darkening\_or\_lightening(theBestVct, Positions, AramaAjanları\_no);

if (alphaMelanophore(r) <= 0.3)

v(r, :) = replaceSearchAgent(theBestVct, Positions, AramaAjanları\_no);

end

% Sınırların dışına çıkan arama ajanlarını geri getir

v(r, :) = checkBoundaries(v(r, :), lb, ub);

% Yeni çözümleri değerlendir

Fnew = fobj(v(r, :));

% Çözüm iyileşirse güncelle

if Fnew <= Fitness(r)

Positions(r, :) = v(r, :);

Fitness(r) = Fnew;

end

if Fnew <= vMin

theBestVct = v(r, :);

vMin = Fnew;

end

end

% Maksimum ve alfa-melanofor güncelle

[vMax, maxIdx] = max(Fitness);

alphaMelanophore = alpha\_melanophore(Fitness, vMin, vMax);

Convergence\_curve(t) = vMin;

end

% HLOA Algoritmasının sonu

end

**Kaynaklar**

Abdel-Basset M, Mohamed R, Azeem SAA, Jameel M, Abouhawwash M (2023) Kepler optimization algorithm: a new metaheuristic algorithm inspired by Kepler’s laws of planetary motion. Knowl- Based Syst 268:110454. https://doi.org/10.1016/J.KNOSYS.2023.110454

Abdelhamid AA, Towfek SK, Khodadadi N, Alhussan AA, Khafaga DS, Eid MM, Ibrahim A (2023) Waterwheel plant algorithm: a novel metaheuristic optimization method. Processes 11:1502. https://doi.org/10.3390/PR11051502

Abdollahzadeh B, Gharehchopogh FS, Khodadadi N, Mirjalili S (2022) Mountain gazelle optimizer: a new nature-inspired metaheuristic algorithm for global optimization problems. Adv Eng Softw 174:103282. https://doi.org/10.1016/J.ADVENGSOFT.2022.103282

Abedinpourshotorban H, Shamsuddin SM, Beheshti Z, Jawawi DNA (2016) Electromagnetic field opti- mization: a physics-inspired metaheuristic optimization algorithm. Swarm Evol Comput 26:8–22. https://doi.org/10.1016/J.SWEVO.2015.07.002

Abualigah L, Diabat A, Mirjalili S, Elaziz MA, Gandomi AH (2021) The arithmetic optimization algo- rithm. Comput Methods Appl Mech Eng 376:113609. https://doi.org/10.1016/J.CMA.2020.113609 Ahmad MF, Isa NAM, Lim WH, Ang KM (2022) Differential evolution: a recent review based on state-

of-the-art works. Alex Eng J 61:3831–3872. https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2021.09.013 Ahmadi-Javid A (2011) Anarchic society optimization: A human-inspired method. 2011 IEEE Congress

of Evolutionary Computation, CEC 2011, 2586–2592. https://doi.org/10.1109/CEC.2011.5949940 Ahrari A, Essam D (2022) An introduction to evolutionary and memetic algorithms for parameter opti-

mization. Adapt Learn Optim 26:37–63. https://doi.org/10.1007/978-3-030-88315-7\_3/COVER Alatas B (2010) Chaotic harmony search algorithms. Appl Math Comput 216:2687–2699. https://doi.

org/10.1016/J.AMC.2010.03.114

Almazán-Covarrubias JH, Peraza-Vázquez H, Peña-Delgado AF, García-Vite PM (2022) An improved dingo optimization algorithm applied to she-pwm modulation strategy. Appl Sci 12:992. https://doi. org/10.3390/APP12030992

Ashrafi SM, Dariane AB (2011) A novel and effective algorithm for numerical optimization: Melody search (ms). Proceedings of the 2011 11th international conference on hybrid intelligent systems, HIS 2011, pp 109–114. https://doi.org/10.1109/HIS.2011.6122089

Atashpaz-Gargari E, Lucas C (2007) Imperialist competitive algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition. 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2007, pp 4661–4667. https://doi.org/10.1109/CEC.2007.4425083

Beyer H-G, Beyer H-G, Schwefel H-P (2002) Evolution strategies - a comprehensive introduction. Nat Comput 1(1):3–52. https://doi.org/10.1023/A:1015059928466

Burtt E (1981) The adaptiveness of animal colors. Bioscience 31:723–729. https://doi.org/10.2307/ 1308778

Cassini spacecraft trajectory design problem. European Space Agency  
Cooper WE, Sherbrooke WC (2010) Plesiomorphic escape decisions in cryptic horned lizards (phryno-

soma) having highly derived antipredatory defenses. Ethology 116:920–928. https://doi.org/10.

1111/J.1439-0310.2010.01805.X

Dehghani M, Samet H (2020) Momentum search algorithm: a new meta-heuristic optimization algo- rithm inspired by momentum conservation law. SN Appl Sci 2:1–15. https://doi.org/10.1007/ S42452-020-03511-6/TABLES/7

Dehghani M, Trojovský P (2021) Teamwork optimization algorithm: a new optimization approach for function minimization/maximization. Sensors 21:4567. https://doi.org/10.3390/S21134567

Dehghani M, Trojovská E, Zuščák T (2022) A new human-inspired metaheuristic algorithm for solving optimization problems based on mimicking sewing training. Sci Rep 12:1–24. https://doi.org/10. 1038/s41598-022-22458-9

Dhiman G, Garg M, Nagar A, Kumar V, Dehghani M (2021) A novel algorithm for global optimization: rat swarm optimizer. J Ambient Intell Humaniz Comput 12:8457–8482. https://doi.org/10.1007/ s12652-020-02580-0

Duan X, Hou P (2021) Research on teaching quality evaluation model of physical education based on simulated annealing algorithm. Mobile Inf Syst. https://doi.org/10.1155/2021/4407512

Ela AAAE, Abido MA, Spea SR (2010) Optimal power flow using differential evolution algorithm. Electric Power Syst Res 80:878–885. https://doi.org/10.1016/J.EPSR.2009.12.018

El-Kenawy ESM, Abdelhamid AA, Ibrahim A, Mirjalili S, Khodadad N, Duailij MAA, Alhussan AA, Khafaga DS (2022) Al-biruni earth radius (ber) metaheuristic search optimization algorithm. Com- put Syst Sci Eng 45:1917–1934

Fadakar E, Ebrahimi M (2016) A new metaheuristic football game inspired algorithm. In: 1st conference on swarm intelligence and evolutionary computation, CSIEC 2016 - Proceedings, pp 6–11. https:// doi.org/10.1109/CSIEC.2016.7482120

Grigg JW, Buckley LB (2013) Conservatism of lizard thermal tolerances and body temperatures across evolutionary history and geography. Biol Lett. https://doi.org/10.1098/RSBL.2012.1056

Hansen P, Mladenovići N (2018) Variable neighborhood search. Handbook Heuristics 1–2:759–787.

https://doi.org/10.1007/978-3-319-07124-4\_19/TABLES/4

Harifi S, Mohammadzadeh J, Khalilian M, Ebrahimnejad S (2021) Giza pyramids construction: an ancient-inspired metaheuristic algorithm for optimization. Evol Intel 14:1743–1761. https://doi.org/ 10.1007/S12065-020-00451-3/METRICS

Holland JH (2006) Genetic algorithms and the optimal allocation of trials. SIAM J Comput 2:88–105.

https://doi.org/10.1137/0202009

Huneault M, Galiana FD (1991) A survey of the optimal power flow literature. IEEE Trans Power Syst 6:762–770. https://doi.org/10.1109/59.76723

Ikram RMA, Dehrashid AA, Zhang B, Chen Z, Le BN, Moayedi H (2023) A novel swarm intelligence: cuckoo optimization algorithm (coa) and sailfish optimizer (sfo) in landslide susceptibility assessment. Stochastic Environ Res Risk Assess 37:1717–1743. https://doi.org/10.1007/S00477-022-02361-5

Irizarry R (2004) Lares: an artificial chemical process approach for optimization. Evol Comput 12:435– 459. https://doi.org/10.1162/1063656043138897

Ismail K, Elshaer A, Abdelaleem BH, Elruby AY, Khodadadi N, Harati E, Caso FD, Nanni A (2023) Optimizing truss structures using composite materials under natural frequency constraints with a new hybrid algorithm based on cuckoo search and stochastic paint optimizer (csspo). Buildings 13:1551. https://doi.org/10.3390/BUILDINGS13061551

Joyce T, Herrmann JM (2017) A review of no free lunch theorems, and their implications for metaheuristic optimisation. Stud Comput Intell 744:27–51. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67669-2\_2

Karami H, Sanjari MJ, Gharehpetian GB (2014) Hyper-spherical search (hss) algorithm: a novel meta-heu- ristic algorithm to optimize nonlinear functions. Neural Comput Appl 25:1455–1465. https://doi.org/ 10.1007/S00521-014-1636-7/FIGURES/22

Kaur S, Awasthi LK, Sangal AL, Dhiman G (2020) Tunicate swarm algorithm: a new bio-inspired based metaheuristic paradigm for global optimization. Eng Appl Artif Intell 90:103541. https://doi.org/10. 1016/j.engappai.2020.103541

Kaveh A, Bakhshpoori T (2019) Cyclical parthenogenesis algorithm. Outlines, MATLAB Codes and Exam- ples, Metaheuristics, pp 167–177

Kaveh A, Dadras A (2017) A novel meta-heuristic optimization algorithm: thermal exchange optimization. Adv Eng Softw 110:69–84. https://doi.org/10.1016/J.ADVENGSOFT.2017.03.014

Kaveh A, Talatahari S, Khodadadi N (2022) Stochastic paint optimizer: theory and application in civil engi- neering. Eng Comput 38:1921–1952. https://doi.org/10.1007/S00366-020-01179-5/FIGURES/25 Kennedy J, Eberhart R (1995) Particle swarm optimization. Proc ICNN’95 - Int Conf Neural Netw 4:1942–

1948. https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968  
Khan MS, Ul Hassan CHA, Sadiq HA, Ali I, Rauf A, Javaid N (2018) A new meta-heuristic optimization

algorithm inspired from strawberry plant for demand side management in smart grid. Lecture Notes

Data Eng Commun Technol 8:143–154. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65636-6\_13  
Kim JH (2016) Harmony search algorithm: a unique music-inspired algorithm. Procedia Eng 154:1401–

1405. https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.07.510  
Kim C, Lee B (2023) Torcwa: Gpu-accelerated fourier modal method and gradient-based optimization for

metasurface design. Comput Phys Commun 282:108552. https://doi.org/10.1016/J.CPC.2022.108552 Kumar A, Wu G, Ali MZ, Mallipeddi R, Suganthan PN, Das S (2020) A test-suite of non-convex con- strained optimization problems from the real-world and some baseline results. Swarm Evolut Comput.

https://doi.org/10.1016/j.swevo.2020.100693

A, Mahdad B, Zidan A (2016) A new rooted tree optimization algorithm for economic dispatch with valve-point effect. Int J Electr Power Energy Syst 79:298–311. https://doi.org/ 10.1016/J.IJEPES.2016.01.028

Lam AYS, Li VOK (2012) Chemical reaction optimization: A tutorial. Memetic Comput 4:3–17. https://doi. org/10.1007/S12293-012-0075-1/METRICS

Lara-Reséndiz RA, Arenas-Moreno DM, Beltrán-Sánchez E, Gramajo W, Verdugo-Molina J, Sherbrooke WC (2015) Cruz, FRM-DL: selected body temperature of nine species of mexican horned lizards (phrynosoma). Revista Mexicana de Biodiversidad 86:275–278. https://doi.org/10.7550/RMB.48028

Leaché AD, McGuire JA (2006) Phylogenetic relationships of horned lizards (phrynosoma) based on nuclear and mitochondrial data: evidence for a misleading mitochondrial gene tree. Mol Phylogenet Evol 39:628–644. https://doi.org/10.1016/J.YMPEV.2005.12.016

Liu Y, Liu J, Ma L, Tian L (2017) Artificial root foraging optimizer algorithm with hybrid strategies. Saudi J Biol Sci 24:268–275. https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2016.09.013

Ma B, Hu Y, Lu P, Liu Y (2023) Running city game optimizer: a game-based metaheuristic optimization algorithm for global optimization. J Comput Des Eng 10:65–107. https://doi.org/10.1093/JCDE/ QWAC131

Maheri A, Jalili S, Hosseinzadeh Y, Khani R, Miryahyavi M (2021) A comprehensive survey on cultural algorithms. Swarm Evol Comput 62:100846. https://doi.org/10.1016/J.SWEVO.2021.100846

Middendorf G (2001) Blood-squirting variability in horned lizards (phrynosoma). Copeia. https://doi.org/ 10.1643/0045-8511(2001)001[1114:BSVIHL]2.0.CO;2

Mirjalili S (2016) Sca: a sine cosine algorithm for solving optimization problems. Knowl-Based Syst 96:120–133. https://doi.org/10.1016/J.KNOSYS.2015.12.022

Mittal H, Tripathi A, Pandey AC, Pal R (2021) Gravitational search algorithm: a comprehensive analysis of recent variants. Multimed Tools Appl 80:7581–7608. https://doi.org/10.1007/S11042-020-09831-4/ TABLES/8

Moghdani R, Salimifard K (2018) Volleyball premier league algorithm. Appl Soft Comput 64:161–185.

https://doi.org/10.1016/J.ASOC.2017.11.043

Mora-Gutiérrez RA, Ramírez-Rodríguez J, Rincón-García EA (2014) An optimization algorithm inspired by musical composition. Artif Intell Rev 41:301–315. https://doi.org/10.1007/S10462-011-9309-8/ METRICS

Naruei I, Keynia F (2021) A new optimization method based on coot bird natural life model. Expert Syst Appl 183:115352. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115352

Naruei I, Keynia F (2021) Wild horse optimizer: a new meta-heuristic algorithm for solving engineering optimization problems. Eng Comput. https://doi.org/10.1007/s00366-021-01438-z

Niall KK (2017) Erwin schrödinger’s color theory: Translated with modern commentary. Erwin Schrödinger’s Color Theory: Translated with Modern Commentary, pp 1–193. https://doi.org/10. 1007/978-3-319-64621-3/COVER

Nucci CA, Borghetti A, Napolitano F, Tossani F (2021) Basics of power systems analysis. Springer Handbooks, pp 273–366. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9938-2\_5/FIGURES/85

Nusair K, Alasali F (2020) Optimal power flow management system for a power network with stochastic renewable energy resources using golden ratio optimization method. Energies 13:3671. https://doi.org/ 10.3390/en13143671

Pan JS, Zhang SQ, Chu SC, Yang HM, Yan B (2023) Willow catkin optimization algorithm applied in the tdoa-fdoa joint location problem. Entropy 25:171. https://doi.org/10.3390/E25010171

Patil S, Suparna HS, Bharanidharan N, Dharani N (2022) Puzzle optimization algorithm based weighted feature selection for identification of rice leaf disease through thermal images. Proceedings - 2nd international conference on smart technologies, communication and robotics 2022, STCR 2022. https://doi.org/10.1109/STCR55312.2022.10009526

Peña-Delgado AF, Peraza-Vázquez H, Almazán-Covarrubias JH, Cruz NT, García-Vite PM, Morales- Cepeda AB, Ramirez-Arredondo JM (2020) A novel bio-inspired algorithm applied to selective harmonic elimination in a three-phase eleven-level inverter. Math Problems Eng. https://doi.org/10. 1155/2020/8856040

Peraza-Vázquez H, Peña-Delgado A, Ranjan P, Barde C, Choubey A, Morales-Cepeda AB (2021) A bio-inspired method for mathematical optimization inspired by arachnida salticidade. Mathematics 10:102. https://doi.org/10.3390/math10010102

Peraza-Vázquez H, Peña-Delgado AF, Echavarría-Castillo G, Morales-Cepeda AB, Velasco-Álvarez J, Ruiz-Perez F (2021) A bio-inspired method for engineering design optimization inspired by din- goes hunting strategies. Math Probl Eng 2021:1–19. https://doi.org/10.1155/2021/9107547

Pisinger D, Ropke S (2010) Large neighborhood search, pp 399–419. https://doi.org/10.1007/978-1- 4419-1665-5\_13

Pratha SJ, Asanambigai V, Mugunthan SR (2023) Hybrid mutualism mechanism-inspired butterfly and flower pollination optimization algorithm for lifetime improving energy-efficient cluster head selec- tion in wsns. Wireless Pers Commun 128:1567–1601. https://doi.org/10.1007/S11277-022-10010- X/FIGURES/14

Ray T, Liew KM (2003) Society and civilization: an optimization algorithm based on the simulation of social behavior. IEEE Trans Evol Comput 7:386–396. https://doi.org/10.1109/TEVC.2003.814902

Ruxton GD, Sherratt TN, Speed MP (2004) Avoiding attack: the evolutionary ecology of crypsis, warn- ing signals and mimicry. Avoiding Attack. https://doi.org/10.1093/ACPROF:OSO/9780198528609. 001.0001

Sadollah A, Eskandar H, Lee HM, Yoo DG, Kim JH (2016) Water cycle algorithm: a detailed standard code. SoftwareX 5:37–43. https://doi.org/10.1016/J.SOFTX.2016.03.001

Salawudeen AT, Mu’azu MB, Sha’aban YA, Adedokun AE (2021) A novel smell agent optimization (sao): an extensive cec study and engineering application. Knowl-Based Syst 232:107486. https:// doi.org/10.1016/j.knosys.2021.107486

Salimi H (2015) Stochastic fractal search: a powerful metaheuristic algorithm. Knowl-Based Syst 75:1– 18. https://doi.org/10.1016/J.KNOSYS.2014.07.025

Sherbrooke WC, Sherbrooke WC (1988) Integumental biology of horned lizards (phrynosoma) Sherbrooke WC (1997) Physiological (rapid) change of color in horned lizards. Amphibia-Reptilia

18:155–175. https://doi.org/10.1163/156853897X00044  
Stevens M, Merilaita S (2011) Animal camouflage: Function and mechanisms. Animal camouflage:

mechanisms and function, pp 1–16  
Talatahari S, Azizi M, Tolouei M, Talatahari B, Sareh P (2021) Crystal structure algorithm (crystal):

a metaheuristic optimization method. IEEE Access 9:71244–71261. https://doi.org/10.1109/

ACCESS.2021.3079161

Tan WH, Mohamad-Saleh J (2023) A hybrid whale optimization algorithm based on equilibrium con- cept. Alex Eng J 68:763–786. https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2022.12.019

Trojovska E, Dehghani M, Trojovsky P (2022) Fennec fox optimization: a new nature-inspired optimiza- tion algorithm. IEEE Access 10:84417–84443. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3197745 Uymaz SA, Tezel G, Yel E (2015) Artificial algae algorithm (aaa) for nonlinear global optimization.

Appl Soft Comput 31:153–171. https://doi.org/10.1016/J.ASOC.2015.03.003  
Wagner S, Wie B (2015) Hybrid algorithm for multiple gravity-assist and impulsive delta-v maneuvers. J

Guid Control Dyn 38:2096–2107. https://doi.org/10.2514/1.G000874  
Wang L, Cao Q, Zhang Z, Mirjalili S, Zhao W (2022) Artificial rabbits optimization: a new bio-inspired

meta-heuristic algorithm for solving engineering optimization problems. Eng Appl Artif Intell

114:105082. https://doi.org/10.1016/J.ENGAPPAI.2022.105082  
Westland S, Ripamonti C, Cheung V (2012) Computational colour science using matlab  
Xing B, Gao W-J (2014) Invasive weed optimization algorithm. Intell Syst Ref Library 62:177–181. https://

doi.org/10.1007/978-3-319-03404-1\_13/COVER

Xu H, Lu Y, Guo Q (2022) Application of improved butterfly optimization algorithm combined with black widow optimization in feature selection of network intrusion detection. Electronics 11:3531. https:// doi.org/10.3390/ELECTRONICS11213531

Yu C, Lahrichi N, Matta A (2023) Optimal budget allocation policy for tabu search in stochastic simulation optimization. Comput Oper Res 150:106046. https://doi.org/10.1016/J.COR.2022.106046

Yuan Y, Wang S, Lv L, Song X (2020) An adaptive resistance and stamina strategy-based dragonfly algo- rithm for solving engineering optimization problems. Eng Comput (Swansea, Wales) 38:2228–2251. https://doi.org/10.1108/EC-08-2019-0362/FULL/PDF

Yuan Y, Lv L, Wang S, Song X (2020) Multidisciplinary co-design optimization of structural and control parameters for bucket wheel reclaimer. Front Mech Eng 15:406–416. https://doi.org/10.1007/S11465- 019-0578-2/METRICS

Yuan Y, Ren J, Wang S, Wang Z, Mu X, Zhao W (2022) Alpine skiing optimization: a new bio-inspired optimization algorithm. Adv Eng Softw 170:103158. https://doi.org/10.1016/J.ADVENGSOFT.2022. 103158

Yuan Y, Mu X, Shao X, Ren J, Zhao Y, Wang Z (2022) Optimization of an auto drum fashioned brake using the elite opposition-based learning and chaotic k-best gravitational search strategy based grey wolf optimizer algorithm. Appl Soft Comput 123:108947. https://doi.org/10.1016/J.ASOC.2022.108947

Yuan Y, Shen Q, Wang S, Ren J, Yang D, Yang Q, Fan J, Mu X (2023) Coronavirus mask protection algo- rithm: a new bio-inspired optimization algorithm and its applications. J Bionic Eng 20:1747–1765. https://doi.org/10.1007/S42235-023-00359-5/TABLES/13

Yuan Y, Shen Q, Xi W, Wang S, Ren J, Yu J, Yang Q (2023) Multidisciplinary design optimization of dynamic positioning system for semi-submersible platform. Ocean Eng 285:115426. https://doi.org/10. 1016/J.OCEANENG.2023.115426

Yuan Y, Yang Q, Ren J, Fan J, Shen Q, Wang X, Zhao Y (2023) Learning-imitation strategy-assisted alpine skiing optimization for the boom of offshore drilling platform. Ocean Eng 278:114317. https://doi.org/ 10.1016/J.OCEANENG.2023.114317

Zhang Y, Chi A, Mirjalili S (2021) Enhanced jaya algorithm: a simple but efficient optimization method for constrained engineering design problems. Knowl-Based Syst 233:107555. https://doi.org/10.1016/j. knosys.2021.107555

Zhao Z, Cui Z, Zeng J, Yue X (2011) Artificial plant optimization algorithm for constrained optimization problems. Proceedings - 2011 2nd International conference on innovations in bio-inspired computing and applications, IBICA 2011, pp 120–123. https://doi.org/10.1109/IBICA.2011.34

Zuo M, Dai G, Peng L, Wang M, Xiong J (2016) Multiple gravity assist spacecraft trajectories design based on bfs and ep de algorithm. Int J Aerosp Eng 2016:1–13. https://doi.org/10.1155/2016/3416046

**Publisher’s Note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.