

# الگوریتم عروس دریایی: بهره‌برداری از هوش مصنوعی و الهام گرفته از طبیعت در حل مسائل بهینه‌سازی

رویا غفارتژاد بیدکی<sup>۱</sup>، نسرين آقايي ميبدی<sup>۲\*</sup>،  
<sup>۱</sup> گروه کامپیوتر، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران  
<sup>۲</sup> گروه کامپیوتر، واحد میبد، دانشگاه آزاد اسلامی، میبد، ایران

## ۱- مقدمه

الگوریتم‌های فراابتکاری، رویکردی بهینه‌سازی هستند که در حل مسائل پیچیده با فضای جستجوی بزرگ استفاده می‌شوند. این الگوریتم‌ها به دلیل کارایی و قابلیت اعمال در مسائل واقعی، توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند. آن‌ها با الهام از پدیده‌های زیستی در بهینه‌سازی استفاده می‌کنند و با توجه به عدم نیاز به گرادینان تابع هدف، در مسائل پیچیده عملکرد مناسبی دارند. الگوریتم‌های فراابتکاری در دسته‌های الگوریتم‌های تکاملی، هوش گروهی و اکتشافی قرار می‌گیرند و از الگوبرداری از رفتار موجودات زنده الهام می‌گیرند. تحقیقات متعدد در زمینه الگوریتم‌های فراابتکاری نشان داده‌اند که این الگوریتم‌ها اهمیت زیادی در حل مسائل بهینه‌سازی دارند. با این حال، دستیابی به تعادل مناسب بین دو مرحله در الگوریتم‌های فراابتکاری به دلیل ویژگی‌های تصادفی آن‌ها چالش‌برانگیز است. در این پژوهش، یک الگوریتم به نام جستجوی عروس‌های دریایی ارائه می‌شود که از رفتار گروهی عروس‌های دریایی در اعماق اقیانوس الهام می‌گیرد. از مزیت‌های این الگوریتم می‌توان به پیگیری گروهی عروس‌ها در جریان اقیانوس، حرکت آن‌ها در میان ازدحام (شامل حرکات فعال و غیرفعال) و کنترل زمانی برای تغییر بین این حرکات اشاره کرد. این الگوریتم با استفاده از تعادل مناسب بین اکتشاف و بهره‌برداری، همراه با مکانیزم کنترل زمان و استفاده از نگاشت آشفته، به منظور بهبود تنوع جمعیت اولیه، منجر به دستیابی به نتایج بهتر می‌شود.

**کلمات کلیدی:** الگوریتم هوش گروهی، الگوریتم فراابتکاری، مسائل بهینه‌سازی، الگوریتم عروس دریایی.

## چکیده

الگوریتم‌های فراابتکاری، رویکردی بهینه‌سازی هستند که در حل مسائل پیچیده با فضای جستجوی بزرگ استفاده می‌شوند. این الگوریتم‌ها به دلیل کارایی و قابلیت اعمال در مسائل واقعی، توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند. آن‌ها با الهام از پدیده‌های زیستی در بهینه‌سازی استفاده می‌کنند و با توجه به عدم نیاز به گرادینان تابع هدف، در مسائل پیچیده عملکرد مناسبی دارند. الگوریتم‌های فراابتکاری در دسته‌های الگوریتم‌های تکاملی، هوش گروهی و اکتشافی قرار می‌گیرند و از الگوبرداری از رفتار موجودات زنده الهام می‌گیرند. تحقیقات متعدد در زمینه الگوریتم‌های فراابتکاری نشان داده‌اند که این الگوریتم‌ها اهمیت زیادی در حل مسائل بهینه‌سازی دارند. با این حال، دستیابی به تعادل مناسب بین دو مرحله در الگوریتم‌های فراابتکاری به دلیل ویژگی‌های تصادفی آن‌ها چالش‌برانگیز است. در این پژوهش، یک الگوریتم به نام جستجوی عروس‌های دریایی ارائه می‌شود که از رفتار گروهی عروس‌های دریایی در اعماق اقیانوس الهام می‌گیرد. از مزیت‌های این الگوریتم می‌توان به پیگیری گروهی عروس‌ها در جریان اقیانوس، حرکت آن‌ها در میان ازدحام (شامل حرکات فعال و غیرفعال) و کنترل زمانی برای تغییر بین این حرکات اشاره کرد. این الگوریتم با استفاده از تعادل مناسب بین اکتشاف و بهره‌برداری، همراه با مکانیزم کنترل زمان و استفاده از نگاشت آشفته، به منظور بهبود تنوع جمعیت اولیه، منجر به دستیابی به نتایج بهتر می‌شود.

**کلمات کلیدی:** الگوریتم هوش گروهی، الگوریتم فراابتکاری، مسائل بهینه‌سازی، الگوریتم عروس دریایی.

## تاریخچه مقاله:

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۲/۰۷  
تاریخ اصلاحات: ۱۴۰۲/۰۴/۰۲  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۲  
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۲  
ایمیل نویسنده مسئول:

aghaee.meybodi@maybodiau.ac.ir

<sup>2</sup> Jellyfish Search (JS)

<sup>1</sup> Sea Jellyfish

## ۲- بررسی ادبیات

الگوریتم‌های فراابتکاری یا متاهیوریستیک، با بهره‌گیری از ابتکار، فضای جستجو را بهبود می‌بخشند. این الگوریتم‌ها، اگرچه هیچ تضمینی برای یافتن جواب قطعی ندارند، اما با درصد قابل قبولی می‌توانند به جواب بهینه نزدیک شوند. برای اینکه زمان محاسبات را به طور قابل توجهی کاهش دهند، به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند. دسته اول شامل روش‌هایی است که الهام گرفته از رفتار بیولوژیکی یا فیزیکی هستند و به سه زیردسته اصلی (شکل ۱) مبتنی بر تکامل، فیزیک و هوش گروهی تقسیم می‌شوند [۷]. دسته دوم شامل روش‌هایی است که تحت تأثیر پدیده‌های انسانی قرار می‌گیرند [۸]. روش‌های مبتنی بر تکامل، با الهام از مفاهیم تکامل در طبیعت است. اینگونه روش‌ها افراد برتر را در یک نسل شناسایی کرده و آنها را ترکیب کرده تا نسل بعدی افراد شکل گیرد. بنابراین، جمعیت در طول نسل‌ها بهبود می‌یابد. الگوریتم‌های ژنتیک<sup>۳</sup>، که تکامل داروینی را شبیه‌سازی می‌کنند، محبوب‌ترین روش‌های الهام گرفته از تکامل هستند [۹]. در الگوریتم ژنتیک، هر راه حل به عنوان یک کروموزوم نمایش داده می‌شود. در هر نسل، کروموزوم‌هایی با ارزش تناسب بالاتر احتمال بیشتری برای ترکیب با سایر کروموزوم‌ها دارند. بنابراین، تناسب کلی تمام کروموزوم‌ها در طول نسل‌ها افزایش می‌یابد. الگوریتم‌های دیگر در این دسته شامل تکامل تفاضلی<sup>۴</sup> [۱۰]، استراتژی تکامل<sup>۵</sup> [۱۱] و بهینه‌ساز مبتنی بر جغرافیای زیستی<sup>۶</sup> [۱۲] می‌شود. گروه دوم شامل روش‌های مبتنی بر فیزیک است و حرکت فضای جستجو بر اساس قوانین فیزیک شبیه‌سازی می‌شود. به عنوان مثال، الگوریتم تقویت شبیه‌سازی شده<sup>۷</sup> الهام گرفته از فرآیند آنیلینگ در متالورژی است که شامل گرم کردن و خنک کردن کنترل شده ماده به منظور افزایش اندازه بلورات آن و کاهش چگالی خطاهای آن می‌شود [۱۳، ۱۴]. الگوریتم بیگ-بنگ-بیگ کرانچ<sup>۸</sup> بر اساس دو نظریه اصلی درباره تکامل جهان است که به نام آن اشاره می‌کند [۱۵]. الگوریتم جستجوی گرانشی<sup>۹</sup> بر اساس قانون گرانش و تعامل جرم‌ها استوار است [۱۶]. الگوریتم جستجوی محلی گرانشی<sup>۱۰</sup> [۱۷]، جستجوی سیستم شارژ شده<sup>۱۱</sup> [۱۸]، الگوریتم جستجوی فنر<sup>۱۲</sup> بر اساس نیروی کششی

فنر [۱۹] و الگوریتم بهینه‌سازی جهان کوچک<sup>۱۳</sup> [۲۰] نیز از الگوریتم‌های شناخته شده هستند.

گروه سوم از روش‌های الهام گرفته از طبیعت شامل تقلید رفتار اجتماعی و تکنیک‌های مبتنی بر ازدحام جمعیت است که رفتار گروه‌های حیوانات را شبیه‌سازی می‌کنند. از این دسته، بهینه‌سازی از طریق جمعیت ذرات<sup>۱۴</sup> [۲۱] که بر اساس شبیه‌سازی حرکت دسته‌های پرندگان یا ماهی‌هایی که در جستجوی غذا هستند توسعه یافته است، کلونی زنبورهای مصنوعی<sup>۱۵</sup> [۲۲، ۲۳] که با الهام از فعالیت‌های یک کلونی زنبور عسل در به دست آوردن منابع غذایی معرفی شده است، بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها<sup>۱۶</sup> [۲۴] بر اساس مدل‌سازی توانایی مورچه‌ها برای یافتن مسیر بهینه بین لانه و منبع غذایی طراحی شده است و الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس<sup>۱۷</sup> [۲۵] که بر اساس رفتار شکار شاهین هریس طراحی شده است.

دسته دوم، الگوریتم‌های مبتنی بر انسان با الهام گرفتن از رفتارها، تعاملات و افکار انسانی معرفی می‌شوند. یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های این گروه، بهینه‌سازی مبتنی بر آموزش-یادگیری<sup>۱۸</sup> [۲۶] است و بر اساس تأثیر یک معلم بر روی یادگیری در کلاس درس کار می‌کند. این الگوریتم از یک جمعیتی از جواب‌ها برای دستیابی به جواب کلی استفاده می‌نماید. جستجوی هارمونی<sup>۱۹</sup> [۲۷]، یک روش برای یافتن راه حل‌ها به مشکلات بهینه‌سازی است که بر اساس فرآیند موسیقیایی جستجو برای یافتن یک حالت کامل هارمونی ساخته شده است. الگوریتم‌های محبوب دیگر شامل جستجوی تابو<sup>۲۰</sup> [۲۹] و الگوریتم مسابقات لیگ<sup>۲۱</sup> [۳۰] می‌شوند. بسیاری از الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری، الهام خود را از طبیعت و انسان می‌گیرند، اما هنوز هیچ الگوریتمی وجود ندارد که رفتار جستجوی عروس دریایی در اقیانوس را به درستی شبیه‌سازی کند. این واقعیت، انگیزه‌ای برای تلاش در مدل‌سازی ریاضی جامعه عروس دریایی به وجود می‌آورد. یک الگوریتم بهینه‌سازی فراابتکاری به نام بهینه‌ساز عروس دریایی به منظور تقلید عروس دریایی توسعه داده شده است. در الگوریتم پیشنهادی، هم اکتشاف و هم بهره‌برداری در نظر گرفته شده‌اند. ابتدا، عروس دریایی حس می‌کند که به دنبال

<sup>13</sup> Small-World Optimization Algorithm (SWOA)

<sup>14</sup> Particle Swarm Optimization (PSO)

<sup>15</sup> Artificial bee colony(ABC)

<sup>16</sup> Ant colony optimization(ACO)

<sup>17</sup> Harris Hawks Optimization(HHO)

<sup>18</sup> Teaching Learning Based Optimization(TLBO)

<sup>19</sup> Harmony Search (HS)

<sup>20</sup> Tabu (Taboo) Search (TS)

<sup>21</sup> League Championship Algorithm (LCA)

<sup>3</sup> Genetic Algorithm (GA)

<sup>4</sup> Differential Evolution (DE)

<sup>5</sup> Evolution Strategy (ES)

<sup>6</sup> Biogeography-Based Optimizer (BBO)

<sup>7</sup> Simulated Annealing (SA) algorithm

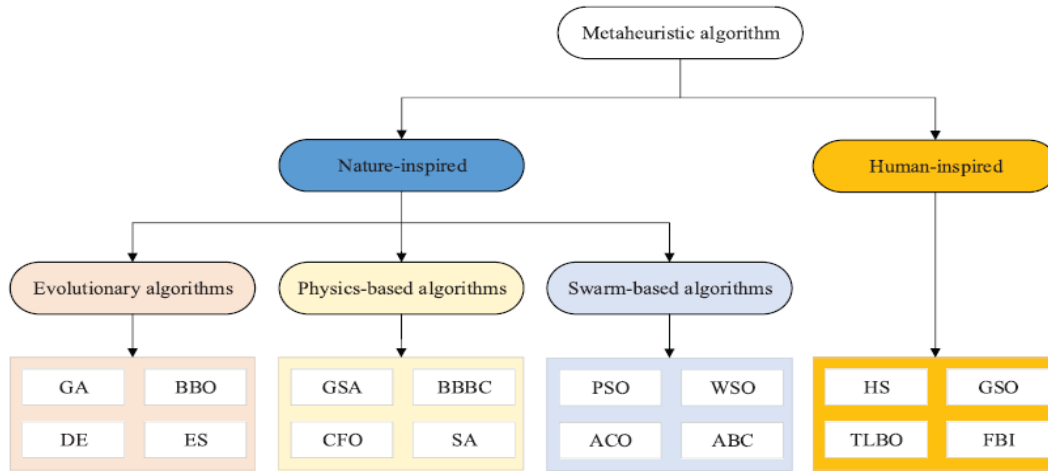
<sup>8</sup> Big-Bang Big-Crunch (BBBC)

<sup>9</sup> Gravitational Search Algorithm (GSA)

<sup>10</sup> Gravitational Local Search Algorithm (GLSA)

<sup>11</sup> Charged System Search (CSS)

<sup>12</sup> Spring search algorithm(SSA)



شکل ۱: طبقه بندی الگوریتم های فراابتکاری [۳۱]

در تحقیق [۳۳]، پژوهشگران الگوریتم بهینه‌سازی سروال<sup>۲۴</sup> را معرفی کردند که از رفتار طبیعی سروال در طبیعت الهام گرفته است. سروال یک شکارچی ماهر است که طعمه خود را در سه مرحله شکار می‌کند. ابتدا با استفاده از حس شنوایی قوی خود، موقعیت شکار را شناسایی می‌کند و بدون حرکت تا ۱۵ دقیقه آن را مشاهده می‌کند. سپس در مرحله دوم به سمت طعمه حرکت می‌کند و با هر چهار پا تا ارتفاع ۴ متری در هوا پرش می‌کند و با پنجه‌های جلویی به این طعمه حمله می‌کند. در مرحله سوم، در یک فرآیند تعقیب و گریز با دیدن و پریدن برای گرفتن طعمه در حال فرار، سروال آن را می‌کشد و شروع به خوردن می‌کند. استراتژی سروال در هنگام شکار یکی از بارزترین رفتارهای طبیعی این حیوان است. این استراتژی یک فرآیند هوشمند است که می‌تواند الهام‌بخش طراحی یک الگوریتم فراابتکاری جدید باشد. مدل‌سازی استراتژی سروال سه مرحله‌ای در حین شکار در طراحی SOA استفاده می‌شود.

در تحقیق [۲۵]، محققان الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس<sup>۲۵</sup> را معرفی کردند. این الگوریتم یک روش بهینه‌سازی است که بر پایه رفتار شاهین هریس در جمعیت‌ها ساخته شده است. تاکتیک اصلی شاهین‌های هریس برای گرفتن طعمه، "پرش غافلگیرانه" است. در این استراتژی هوشمند، چندین شاهین با همکاری تلاش می‌کنند که از جهات مختلف به طعمه حمله کنند و همزمان روی یک خرگوش در حال فرار شناسایی شده در خارج از پوشش همگرا شوند. با استفاده از این الگوریتم، یک روش مؤثر برای بهینه‌سازی و یافتن راه‌حل‌های بهینه در مسائل مختلف ارائه می‌شود.

غذای پلانکتونیک در جریان اقیانوس حرکت می‌کند. با گذر زمان، حرکات عروس دریایی از وضعیت فعال به وضعیت غیرفعال در داخل ازدحام تغییر می‌کند تا بهره‌برداری را انجام دهد [۳۱].

### ۳- مرور سوابق

الگوریتم‌های هوش گروهی در حل مسائل پیچیده به کار می‌روند. این الگوریتم‌ها با تأکید بر همکاری اعضا در جمعیت و تعامل بین آنها، به بهبود بهینه‌سازی کمک می‌کنند و از رفتارهای مختلف جانداران الهام گرفته‌اند. در ادامه، به چند نمونه از این الگوریتم‌ها اشاره می‌شود. در تحقیق [۲۲]، پژوهشگران الگوریتم بهینه‌سازی شاهین آتشین<sup>۲۲</sup> را معرفی کردند. این الگوریتم با الهام از رفتار جستجوی شاهین‌های آتشین طراحی شده است. شاهین‌های آتشین در شکار طعمه از اقدامات خاصی در طبیعت استفاده می‌کنند. آن‌ها با ایجاد و گسترش آتش، برای گرفتن طعمه، رفتار می‌کنند. این پرندگان با آتش زدن پوشش گیاهی اطراف، محیطی خطرآمیز برای طعمه ایجاد می‌کنند و از هرج و مرج ناشی از آتش‌سوزی برای یافتن و گرفتن طعمه‌هایی که قصد فرار دارند، بهره می‌برند.

در تحقیق [۲۴]، پژوهشگران الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه<sup>۲۳</sup> را معرفی کردند. این الگوریتم از رفتار مورچه‌ها در یک کلونی مورچه الهام گرفته شده است. مورچه‌ها عطرهای خود را در مسیرهای مطلوب قرار می‌دهند که باید توسط سایر اعضای کلونی دنبال شوند. در طول زمان (تکرارها)، مورچه‌های بیشتری به مسیرهای بهتر پیروی می‌کنند و مسیرهای بدتر را رد می‌کنند تا بهترین مسیر توسط بیشترین تعداد مورچه دنبال شود.

<sup>24</sup> Serval Optimization Algorithm(SOA)

<sup>25</sup> Harris Hawks Optimization(HHO)

<sup>22</sup> Fire Hawk Optimizer (FHO)

<sup>23</sup> Ant Colony Optimization(ACO)

جذب غذا به دهان خود استفاده می‌کنند. این مخلوط از ویژگی‌ها به آن‌ها این امکان را می‌دهد که حرکات خود را کنترل کنند [۳۸]. قسمت پایینی بدن آن‌ها به شکل چتر بسته می‌شود و آب را به بیرون می‌رانند تا بتوانند بدن خود را به جلو ببرند. با این توانایی، وابسته به جریان و جزر و مد، در آب حرکت می‌کنند [۳۱].

زمانی که شرایط مناسب باشد، عروس‌های دریایی می‌توانند گروه‌هایی تشکیل دهند و توده‌های بزرگی از عروس‌های دریایی را شکوفه عروس دریایی نامید. به خصوص، این موجودات شناگر ضعیفی هستند و جهت‌گیری آن‌ها نسبت به جریان، کلید حفظ شکوفه‌ها و جلوگیری از گیر افتادن آن‌ها را تضمین می‌کند [۳۹].

عوامل متعددی بر تشکیل ازدحام حاکم است، از جمله جریان‌های اقیانوسی، مواد مغذی موجود، در دسترس بودن اکسیژن، شکار و دم. در میان این عوامل، جریان‌های اقیانوسی مهم‌ترین هستند زیرا می‌توانند عروس دریایی را در یک دسته جمع کنند [۳۹-۴۱].

مقدار غذا در مکان‌هایی که توسط یک عروس دریایی بازدید می‌شود متفاوت است. بنابراین، هنگامی که نسبت‌های غذایی با هم مقایسه می‌شوند، بهترین مکان شناسایی می‌شود [۳۱]. بنابراین، الگوریتم جدیدی که از رفتار جستجو و حرکت عروس دریایی در اقیانوس الهام گرفته شده است، در اینجا توسعه داده شده است. این بهینه‌ساز جستجوی عروس دریایی (JS) نام دارد. شکل ۲ مراحل الگوریتم را ارائه می‌دهد. در بخش بعدی، رفتار و حرکات عروس دریایی در اقیانوس به صورت ریاضی مدل‌سازی می‌شود و سپس یک الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر مدل ریاضی ایجاد می‌شود.

#### ۴.۲- مدل ریاضی برای الگوریتم بهینه‌سازی

الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادی سه قانون ایده آل دارد [۳۱].

۱. عروس دریایی یا جریان اقیانوس را دنبال می‌کند یا در داخل ازدحام حرکت می‌کند و یک مکانیسم "کنترل زمان" بر تغییر بین این نوع حرکت‌ها حاکم است.
۲. عروس دریایی در جستجوی غذا در اقیانوس حرکت می‌کند. آنها بیشتر جذب مکان‌هایی می‌شوند که مقدار غذای موجود در آن بیشتر است.
۳. مقدار غذای یافت شده بر اساس مکان و عملکرد هدف مربوطه آن تعیین می‌شود.

#### ۴.۲.۱- جریان اقیانوس

جریان اقیانوسی حاوی مقادیر زیادی مواد مغذی است، بنابراین عروس دریایی جذب آن می‌شود. جهت اقیانوس (trend) با میانگین‌گیری

در تحقیق [۳۴]، پژوهشگران الگوریتم بهینه‌سازی گورکن عسل‌خوار<sup>۲۶</sup> را معرفی کردند. این الگوریتم اقتباسی است از رفتار گورکن عسل‌خوار و برای حل مسائل بهینه‌سازی به کار می‌رود. در این الگوریتم، بهبود جایگشت‌ها و دست‌یافتن به راه‌حل‌های بهینه از طریق تعامل گورکن‌ها اتفاق می‌افتد. الگوریتم گورکن عسل‌خوار شامل مراحل تشکیل جمعیت اولیه، تعامل و همکاری گورکن‌ها، جستجو و بهبود جایگشت‌ها، و بروزرسانی جمعیت می‌شود. با استفاده از این الگوریتم متافوری، امکان یافتن راه‌حل‌های بهینه و بهبود عملکرد در مسائل بهینه‌سازی فراهم می‌شود.

در تحقیق [۳۵]، پژوهشگران الگوریتم بهینه‌سازی شکارچیان دریایی<sup>۲۷</sup> را معرفی کردند. این الگوریتم از استراتژی‌های حرکتی مورد استفاده شکارچیان دریایی هنگام به دام انداختن طعمه خود در اقیانوس‌ها الهام گرفته است. اصلی‌ترین منبع الهام‌بخش برای این الگوریتم، استراتژی گسترده جستجوی غذا مانند حرکات لوی و براونی در شکارچیان اقیانوسی است، که با سیاست نرخ برخورد بهینه در تعامل بیولوژیکی بین شکارچی و طعمه همراه است.

در تحقیق [۳۶]، پژوهشگران الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی عقاب طاس بهینه<sup>۲۸</sup> را معرفی کردند. این الگوریتم، یک نسخه پیشرفته از الگوریتم اصلی جستجوی عقاب طاس (BES) است که الستار در سال ۲۰۲۰ آن را پیشنهاد داد [۳۷]. الگوریتم BES الهام‌بخش از رفتار شکار هوشمند عقاب‌های طاس در طبیعت است. BES فرآیند شکار را در سه مرحله اصلی انجام می‌دهد: (۱) انتخاب منطقه جستجو، جایی که عقاب منطقه با بیشترین تراکم طعمه را تعیین می‌کند. (۲) جستجوی طعمه در منطقه انتخاب شده. و (۳) حمله به طعمه با تعیین نقطه حمله بهینه بر اساس نتایج جستجو. هنگامی که بهترین نقطه حمله مشخص شد، تمام حرکات دیگر به سمت آن نقطه هدایت می‌شوند.

#### ۴- بهینه‌ساز جستجوی عروس دریایی

این بخش الگوریتم جستجوی عروس دریایی را شبیه‌سازی ریاضی می‌کند و شرح می‌دهد. بخش اول الهام بخشی از حرکات عروس دریایی، بخش ۲ مدل ریاضی برای الگوریتم بهینه‌سازی عروس دریایی، بخش ۳ مقداردهی اولیه جمعیت و بخش ۴ شرایط مرزی را شرح می‌دهد.

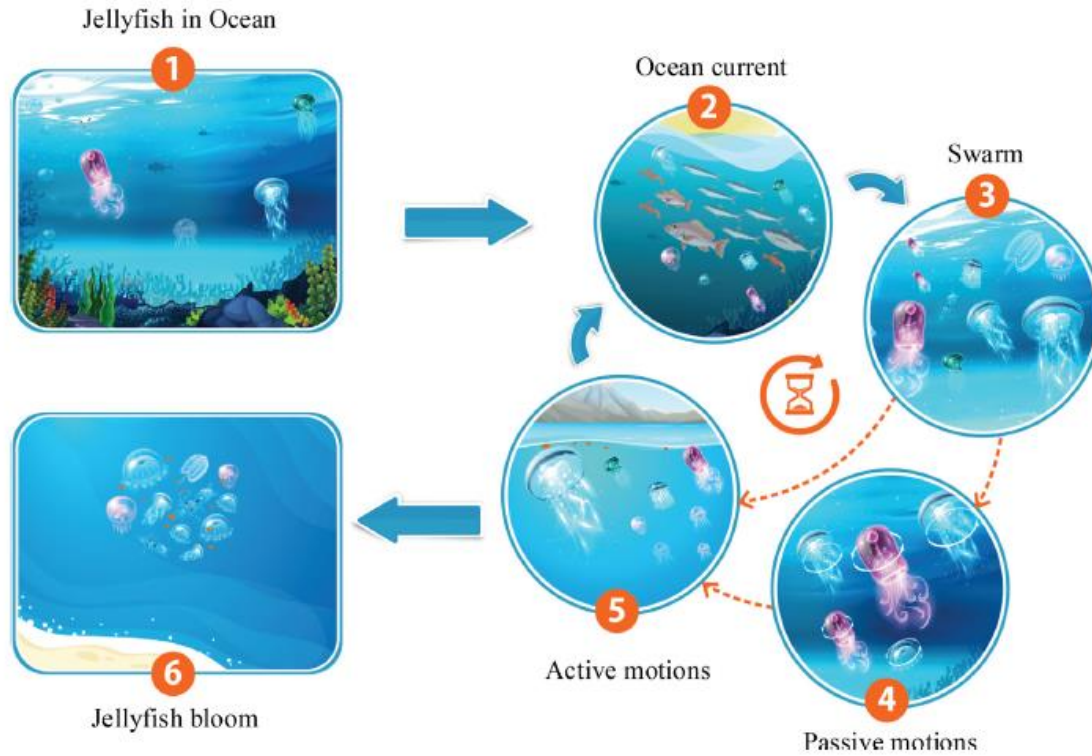
#### ۴.۱- الهام بخش

عروس‌های دریایی در اعماق و دماهای متفاوت آب‌ها در سراسر جهان زندگی می‌کنند. روش‌های تغذیه آن‌ها متنوع است؛ از شاخک‌ها برای

<sup>28</sup> Improved Bald Eagle Search (IBES)

<sup>26</sup> Honey Badger Algorithm (HBA)

<sup>27</sup> Marine Predators Algorithm (MPA)



شکل ۲: رفتار عروس دریایی در اقیانوس [۳۱]

بنابراین

$$df = \beta \times rand^f(0.1) \times rand^\alpha(0.1) \times \mu \quad (6)$$

برای ساده سازی معادله ۶ بصورت زیر نوشته می شود:

$$df = \beta \times rand(0.1) \times \mu \quad (7)$$

$$e_c = \beta \times rand(0.1) \quad (8)$$

بنابراین،

$$\overrightarrow{trend} = X^* - \beta \times rand(0.1) \times \mu \quad (9)$$

حالا، موقعیت جدید هر عروس دریایی به شرح زیر است:

$$X_i(t+1) = X_i(t) + rand(0.1) \times \overrightarrow{trend} \quad (10)$$

معادله (۱۰) می تواند به صورت زیر نمایش داده شود:

$$X_i(t+1) = X_i(t) + rand(0.1) \times (X^* - \beta \times rand(0.1) \times \mu) \quad (11)$$

که  $\beta > 0$  یک ضریب توزیع است که به طول  $\overrightarrow{trend}$  مربوط می شود. بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت در آزمایش های عددی،  $\beta=3$  به دست می آید [۳۱].

تمام بردارها از هر عروس دریایی در اقیانوس به عروس دریایی که در حال حاضر در بهترین مکان، همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، معادله جریان اقیانوس را شبیه سازی می کند [۳۱].

$$\begin{aligned} \overrightarrow{trend} &= \frac{1}{n_{pop}} \sum \overrightarrow{trend}_i = \frac{1}{n_{pop}} \sum (X^* - e_c X_i) = X^* - e_c \frac{\sum X_i}{n_{pop}} \\ &= X^* - e_c \mu \end{aligned} \quad (1)$$

$$Set \ df = e_c \mu \quad (2)$$

بنابراین  $\overrightarrow{trend}$  تعیین میشود:

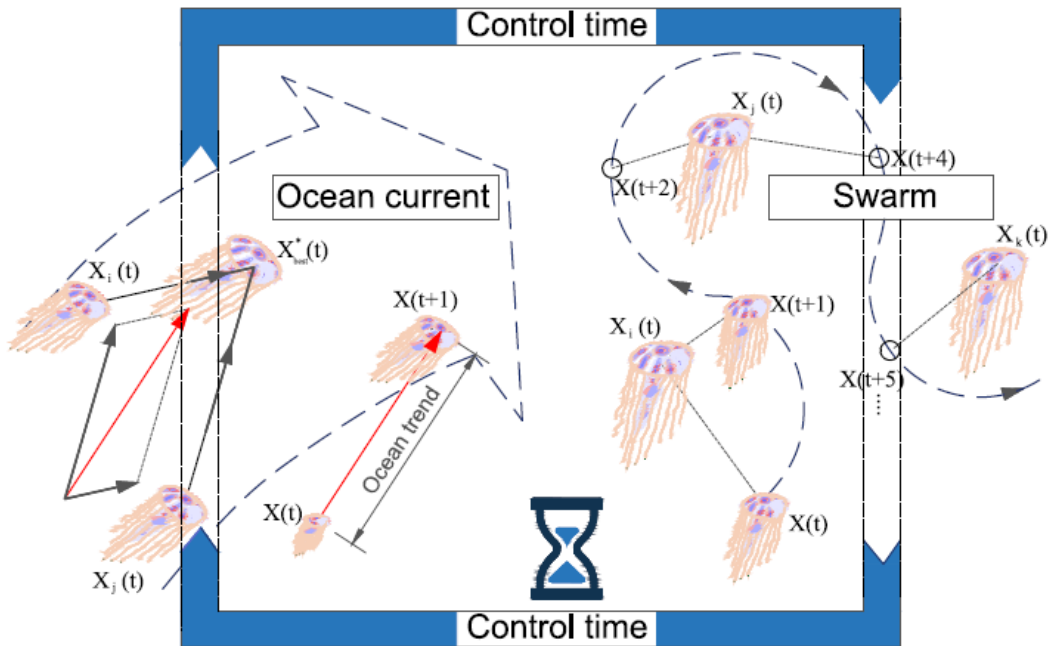
$$\overrightarrow{trend} = X^* - df \quad (3)$$

که در آن  $n_{pop}$  تعداد عروس دریایی است.  $X^*$  عروس دریایی است که در حال حاضر بهترین مکان را در ازدحام دارد.  $e_c$  عاملی است که بر جاذبه حاکم است.  $\mu$  میانگین مکان همه عروس دریایی است.  $df$  تفاوت بین بهترین مکان فعلی عروس دریایی و میانگین مکان همه عروس دریایی است.

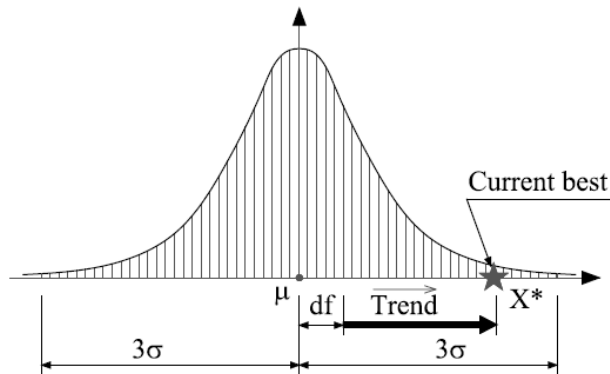
بر اساس فرضیه توزیع فضایی عادی عروس دریایی در همه ابعاد، یک فاصله  $\pm \beta \sigma$  در اطراف محل میانگین حاوی احتمال مشخصی از همه عروس های دریایی است، که در آن  $\sigma$  انحراف معیار توزیع است (شکل ۳ ب) [۳۱]. بنابراین،

$$df = \beta \times \sigma \times rand^f(0.1) \quad (4)$$

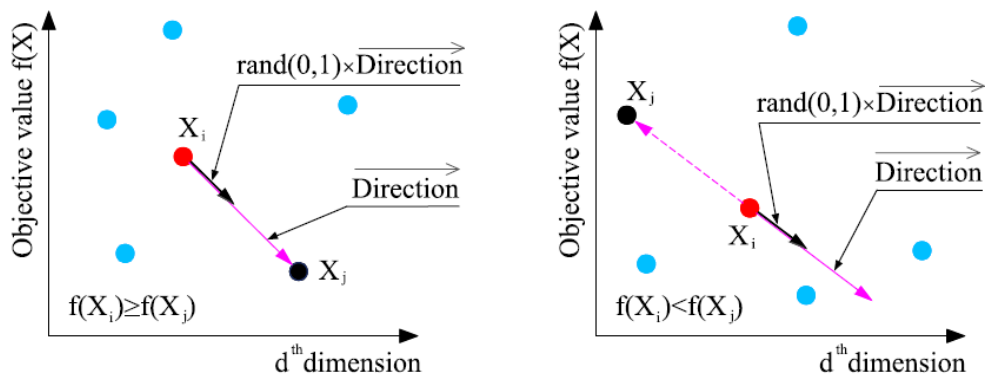
$$Set \ \sigma = rand^\alpha(0.1) \times \mu \quad (5)$$



الف- رابطه جهت گیری عروس دریایی در اقیانوس



ب- توزیع عروس دریایی در اقیانوس



پ- جهت حرکت در یک گروه

شکل ۳: شبیه سازی رفتار عروس دریایی [۳۱]

برای تعیین نوع حرکت در طول زمان، یک مکانیزم کنترل زمان استفاده می‌شود. این مکانیزم نه تنها حرکت‌های نوع A و نوع B را در گروه کنترل می‌کند، بلکه حرکات عروس دریایی به سمت جریان اقیانوس را نیز کنترل می‌کند. زیربخش بعدی به طور دقیق مکانیزم کنترل زمان را تشریح می‌کند.

#### ۴.۲.۳- مکانیزم کنترل زمان

جریان دریایی شامل مقادیر غذایی فراوان است، بنابراین عروس‌های دریایی به طرف آن جذب می‌شوند [۴۵]. در طول زمان، عروس‌های دریایی بیشتری به هم می‌پیوندند و یک گروه شکل می‌گیرد. با تغییر دما یا باد، جریان دریایی تغییر می‌کند و عروس‌های دریایی در گروه به سمت جریان دریایی دیگر حرکت می‌کنند و یک گروه دیگر از عروس‌های دریایی شکل می‌گیرد. حرکات عروس‌های دریایی درون یک گروه عروس‌های دریایی شامل حرکات نوع A (حرکات فعال) و نوع B (حرکات غیرفعال) هستند که عروس‌ها بین این دو حرکت تعویض می‌کنند. در ابتدا، حرکات نوع A ترجیح داده می‌شود؛ اما با گذر زمان، حرکات نوع B مورد ترجیح قرار می‌گیرد. مکانیزم کنترل زمان معرفی می‌شود تا این وضعیت را شبیه‌سازی کند. برای تنظیم حرکت عروس‌های دریایی بین دنبال کردن جریان دریایی و حرکت درون گروه، مکانیزم کنترل زمان شامل تابع کنترل زمان  $c(t)$  و ثابت  $C_0$  است. تابع کنترل زمان یک مقدار تصادفی است که در طول زمان از ۰ تا ۱ نوسان می‌کند [۳۱].

معادله (۱۷) تابع کنترل زمان را مشخص می‌کند و شکل ۴ نمودار تابع کنترل زمان را در طول زمان نشان می‌دهد. وقتی مقدار آن از مقدار  $C_0$  بیشتر می‌شود، عروس‌های دریایی به جریان اقیانوس پیروی می‌کنند. وقتی مقدار آن از  $C_0$  کمتر است، آنها در داخل گروه حرکت می‌کنند. یک مقدار دقیق برای  $C_0$  شناخته نشده است و کنترل زمان به صورت تصادفی از صفر تا یک متغیر است. بنابراین،  $C_0$  برابر با ۰.۵ قرار داده می‌شود که میانگین صفر و یک است [۳۱].

$$c(t) = \left| \left( 1 - \frac{t}{Max_{iter}} \right) \times (2 \times rand(0.1) - 1) \right| \quad (17)$$



شکل ۵: روش ورود مجدد [۳۱]

که در آن  $t$  زمان مشخص شده به عنوان تعداد تکرار و  $Max_{iter}$  حداکثر تعداد تکرار است که یک پارامتر اولیه است.

#### ۴.۲.۲- ازدحام عروس دریایی

در ازدحام، عروس دریایی به ترتیب حرکات غیرفعال (نوع A) و فعال (نوع B) هستند [۴۲، ۴۳]. در ابتدا، زمانی که گروه تازه تشکیل شده است، بیشتر عروس دریایی حرکت نوع A را نشان می‌دهند. با گذشت زمان، آنها به طور فزاینده ای حرکت نوع B را نشان می‌دهند. حرکت نوع A حرکت عروس دریایی در اطراف مکان های خاص خود است و مکان به روز شده مربوط به هر عروس دریایی توسط آن داده می‌شود [۳۱].

$$X_i(t+1) = X_i(t) + \gamma \times rand(0.1) \times (U_b - L_b) \quad (12)$$

جایی که  $U_b$  و  $L_b$  نشان دهنده حد بالا و حد پایین فضاهای جستجو هستند؛  $\gamma > 0$  ضریب حرکت است که با طول حرکت در اطراف مکان های عروس دریایی مربوط می‌شود. بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت در آزمایشات عددی،  $\gamma = 0.1$  به دست می‌آید. برای شبیه‌سازی حرکت نوع B، یک عروس دریایی ( $j$ ) به غیر از آنی که مورد توجه قرار دارد به صورت تصادفی انتخاب می‌شود و یک بردار از عروس دریایی مورد توجه ( $i$ ) به عروس دریایی انتخاب شده ( $j$ ) برای تعیین جهت حرکت استفاده می‌شود. هنگامی که مقدار غذا در محل عروس دریایی انتخاب شده ( $j$ ) بیشتر از مقدار غذا در محل عروس دریایی مورد توجه ( $i$ ) است، این جانور به سمت جانور قبلی حرکت می‌کند؛ اگر مقدار غذای موجود برای عروس دریایی انتخاب شده ( $j$ ) کمتر از مقدار غذای موجود برای عروس دریایی مورد توجه ( $i$ ) باشد، آنگاه عروس دریایی مورد توجه از آن دور می‌شود. بنابراین، هر عروس دریایی به سمت جهت بهتر حرکت می‌کند تا غذا را در گروه پیدا کند. معادلات (۱۵) و (۱۶) به ترتیب جهت حرکت و موقعیت به‌روزرسانی یک عروس دریایی را شبیه‌سازی می‌کنند که حرکت آن در شکل ۳-پ نشان داده شده است. این حرکت به عنوان بهره‌برداری موثر از فضای جستجوی محلی در نظر گرفته می‌شود [۴۴].

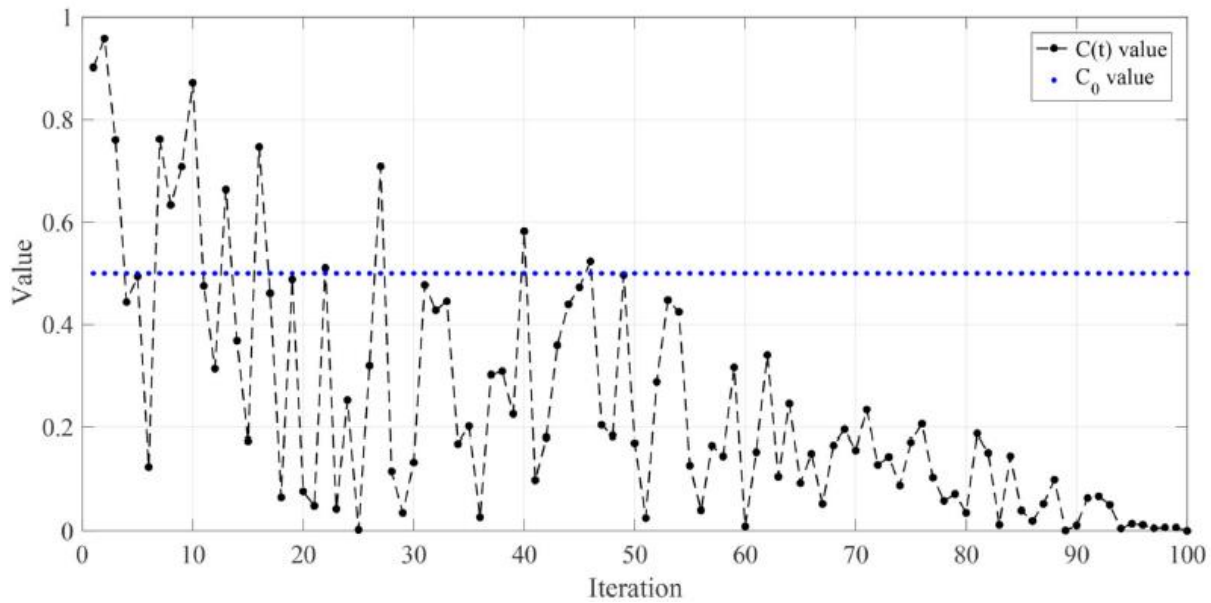
$$\overrightarrow{step} = X_i(t+1) - X_i(t) \quad (13)$$

$$\overrightarrow{step} = rand(0, 1) \times \overrightarrow{direction} \quad (14)$$

$$\overrightarrow{direction} = \begin{cases} X_j(t) - X_i(t) & \text{اگر } f(X_i) \geq f(X_j) \\ X_i(t) - X_j(t) & \text{اگر } f(X_i) < f(X_j) \end{cases} \quad (15)$$

که در آن  $f$  یک تابع هدف برای موقعیت  $X$  است.

$$X_i(t+1) = X_i(t) + \overrightarrow{step} \quad (16)$$



الف: عملکرد کنترل زمان

```

Begin
  For i=1: n Pop do
    با استفاده از معادله شماره ۱۷ تابع کنترل زمان c(t) را محاسبه میکند
    If c(t) >= 0.5:
      عروس دریایی از جریان اقیانوس پیروی می کند
    Else:
      عروس دریایی در داخل ازدحام حرکت می کند
      If rand(0,1) > (1 - c(t)):
        عروس دریایی حرکت نوع A را نشان می دهد (حرکات غیرفعال)
      Else:
        عروس دریایی حرکت نوع B را نشان می دهد (حرکات فعال)
      End if
    End if
  End for
End
  
```

ب: شبه کد مکانیزم کنترل زمان

شکل ۴: شبیه سازی مکانیزم کنترل زمان [۳۱]

می‌شود و احتمال آنکه  $(1 - c(t)) > \text{rand}(0,1)$  در نهایت از  $\text{rand}(0, 1) > (1 - c(t))$  بیشتر می‌شود. بنابراین، حرکت نوع B مورد ترجیح قرار می‌گیرد [۳۱].

#### ۴-۳- مقداردهی اولیه جمعیت

جمعیت عروس دریایی معمولاً به صورت تصادفی مقداردهی اولیه می‌شود. معایب این روش همگرایی کند و تمایل آن به دام افتادن در بهینه محلی در نتیجه تنوع کم جمعیت است. برای بهبود تنوع جمعیت اولیه، بسیاری از نگاشته‌های آشفته، از جمله نقشه لجستیک، نقشه چادر، و نقشه لیپوویچ [۴۶، ۴۷] ایجاد شده است.

شکل ۴ ب، نمودار شبه کد مکانیزم کنترل زمان را نشان می‌دهد. مشابه  $c(t)$ ، تابع  $(1 - c(t))$  برای شبیه‌سازی حرکت در داخل یک گروه (نوع A یا B) استفاده می‌شود. وقتی که  $\text{rand}(0,1)$  از  $(1 - c(t))$  بیشتر شود، عروس‌های دریایی حرکت نوع A را نشان می‌دهند. وقتی که  $\text{rand}(0,1)$  کمتر از  $(1 - c(t))$  باشد، عروس‌های دریایی حرکت نوع B را نشان می‌دهند. از آنجا که  $(1 - c(t))$  از صفر تا یک در طول زمان افزایش می‌یابد، احتمال اینکه  $\text{rand}(0,1) > (1 - c(t))$  در ابتدا از احتمال  $(1 - c(t)) > \text{rand}(0,1)$  بیشتر است. بنابراین، حرکت نوع A ترجیح داده می‌شود. هر چه زمان می‌گذرد،  $(1 - c(t))$  به یک نزدیک

Begin

تعریف تابع هدف  $f(X)$ ,  $X=(x_1, \dots, x_d)^T$   
تنظیم فضای جستجو، اندازه جمعیت ( $n_{pop}$ ) و حداکثر تکرار ( $Max_{int}$ )  
جمعیت عروس دریایی ( $X_i=1, 2, \dots, n_{pop}$ ) را با استفاده از نقشه آشفته لجستیک آغاز کنید.  
محاسبه مقدار غذا در هر  $X_i$ ,  $f(X_i)$   
عروس دریایی را در مکانی که در حال حاضر بیشترین غذا را دارد پیدا کنید ( $X^*$ )  
زمان اولیه:  $t=1$   
Repeat  
For  $i = 1: n_{pop}$  do  
کنترل زمان  $c(t)$  را با استفاده از معادله (۱۷) محاسبه کنید.  
عروس دریایی از جریان اقیانوس پیروی می کند :  $c(t) \geq 0.5$   
(۱) جریان اقیانوس را با استفاده از معادله (۹) تعیین کنید.  
(۲) مکان جدید عروس دریایی با معادله (۱۱) تعریف شده است.  
Else  
عروس دریایی در داخل یک دسته حرکت می کند  
If  $\text{rand}(0,1) > (1-c(t))$ :  
عروس دریایی حرکت نوع A را نشان می دهد (حرکات غیرفعال)  
(۱) مکان جدید عروس دریایی با معادله (۱۲) تعریف شده است.  
Else  
عروس دریایی حرکت نوع B را نشان می دهد (حرکات فعال)  
(۲) جهت عروس دریایی را با استفاده از معادله (۱۵) تعیین کنید.  
(۳) مکان جدید چتر دریایی با معادله (۱۶) تعریف شده است.  
End if  
End if  
شرایط مرزی را بررسی کنید و مقدار غذا را در مکان جدید محاسبه کنید  
مکان عروس دریایی ( $X_i$ ) و مکان عروس دریایی در حال حاضر با بیشترین  $food(X^*)$  به روز رسانی کنید  
End For i  
زمان را به روز کنید:  $t=t+1$   
Until معیار توقف برآورده شود (e.g.  $t > Max_{int}$ )  
خروجی بهترین نتایج و تجسم (شکوفه عروس دریایی)

End

شکل ۶: شبه کد الگوریتم بهینه ساز عروس دریایی [۳۱]

$X_0 \notin \{1, 0, 0.5, 0.75\}$  استفاده می شود و پارامتر  $\eta$  روی ۰.۴ تنظیم شده است [۳۱].

#### ۴.۴- شرایط مرزی

اقیانوس ها در سراسر جهان قرار دارند. زمین تقریباً کروی است، بنابراین هنگامی که یک عروس دریایی در خارج از منطقه جستجوی محدود حرکت می کند، به کران مخالف برمی گردد. شکل ۵ و معادله (۱۹) این فرآیند ورود مجدد را نمایش می دهند [۳۱].

می نقشه لجستیک را توسعه داد که یکی از ساده ترین نگاشت های آشفته است [۴۸]. این نقشه جمعیت های اولیه متنوع تری را نسبت به انتخاب تصادفی ارائه می دهد و احتمال همگرایی زودرس کمتری را ارائه می دهد [۴۹، ۵۰]. بنابراین، این نقشه در این مطالعه استفاده می شود [۳۱].

$$X_{i+1} = \eta X_i (1 - X_i), \quad 0 \leq X_0 \leq 1$$

$X_i$  مقدار آشفته لجستیکی محل عروس دریایی  $i$ ام است.  $X_0$  برای تولید جمعیت اولیه عروس دریایی  $X_0 \in (0, 1)$ ,  $\{0, 0.25, 0, 0\}$

مکانیزم کنترل زمان و نگاشت آشفته برای بهبود تنوع جمعیت اولیه، به نتایج بهتری دست می‌یابد.

#### ۶- منابع

- [1] Kiran, M.S., M. Gündüz, and Ö.K. Baykan, A novel hybrid algorithm based on particle swarm and ant colony optimization for finding the global minimum. *Applied Mathematics and Computation*, 2012. **219**(4): p. 1515-1521.
- [2] Gao, S. and C.W. de Silva, Estimation distribution algorithms on constrained optimization problems. *Applied Mathematics and Computation*, 2018. **339**: p. 323-345.
- [3] Hassan, B.A. and T.A. Rashid, Operational framework for recent advances in backtracking search optimisation algorithm: A systematic review and performance evaluation. *Applied Mathematics and Computation*, 2020. **370**: p. 124919.
- [4] Birattari, M., et al., Classification of metaheuristics and design of experiments for the analysis of components. 2001.
- [5] Xiang, W., S. Ma, and M. An, Habcde: a hybrid evolutionary algorithm based on artificial bee colony algorithm and differential evolution. *Applied Mathematics and Computation*, 2014. **238**: p. 370-386.
- [6] Kiran, M.S., TSA: Tree-seed algorithm for continuous optimization. *Expert Systems with Applications*, 2015. **42**(19): p. 6686-6698.
- [7] Zhao, W., L. Wang, and Z. Zhang, Atom search optimization and its application to solve a hydrogeologic parameter estimation problem. *Knowledge-Based Systems*, 2019. **163**: p. 283-304.
- [8] Askari, Q., I. Younas, and M. Saeed, Political Optimizer: A novel socio-inspired meta-heuristic for global optimization. *Knowledge-based systems*, 2020. **195**: p. 105709.
- [9] Holland, J.H., *Genetic algorithms*. Scientific american, 1992. **267**(1): p. 66-73.
- [10] Storn, R. and K. Price, Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of global optimization*, 1997. **11**: p. 341-359.
- [11] Yao, X., Y. Liu, and G. Lin, Evolutionary programming made faster. *IEEE Transactions on Evolutionary computation*, 1999. **3**(2): p. 82-102.
- [12] Simon, D., Biogeography-based optimization. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 2008. **12**(6): p. 702-713.
- [13] Kirkpatrick, S., C.D. Gelatt Jr, and M.P. Vecchi, Optimization by simulated annealing. *science*, 1983. **220**(4598): p. 671-680.
- [14] Černý, V., Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm. *Journal of optimization theory and applications*, 1985. **45**: p. 41-51.
- [15] Erol, O.K. and I. Eksin, A new optimization method: big bang–big crunch. *Advances in engineering software*, 2006. **37**(2): p. 106-111.
- [16] Rashedi, E., H. Nezamabadi-Pour, and S. Saryazdi, GSA: a gravitational search algorithm. *Information sciences*, 2009. **179**(13): p. 2232-2248.

$$\begin{cases} X'_{i,d} = (X_{i,d} - U_{b,d}) + L_b(d) & \text{if } X_{i,d} > U_{b,d} \\ X'_{i,d} = (X_{i,d} - L_{b,d}) + U_b(d) & \text{if } X_{i,d} < L_{b,d} \end{cases}$$

$X_{i,d}$  مکان عروس دریایی  $d$ ام در بُعد  $d$  است؛  $X'_{i,d}$  مکان به‌روزرسانی شده پس از بررسی محدودیت‌های مرزی است.  $U_{b,d}$  و  $L_{b,d}$  به ترتیب حد بالا و حد پایین بُعد  $d$ ام در فضای جستجو هستند.

#### ۴.۵- نمایش شماتیک بهینه‌ساز عروس‌های دریایی

دو مرحله اصلی یک الگوریتم فراابتکاری شامل اکتشاف و بهره‌برداری است [۵۱]. در بهینه‌ساز عروس‌های دریایی، حرکت به سمت جریان اقیانوسی مرحله اکتشاف است و حرکت در داخل یک گروه عروس‌های دریایی مرحله بهره‌برداری است، و یک مکانیزم کنترل زمان بین این دو مرحله تغییر می‌کند. در ابتدا، احتمال اکتشاف از بهره‌برداری برای یافتن مناطقی که دارای موقعیت‌های بهینه امیدوارکننده هستند بیشتر است. احتمال اکتشاف بیشتر از بهره‌برداری است تا مناطقی که شامل موقعیت‌های بهینه هستند را پیدا کند؛ اما با گذشت زمان، احتمال بهره‌برداری بسیار بیشتر از اکتشاف می‌شود و عروس‌های دریایی بهترین مکان را در داخل مناطق مشخص شده، شناسایی می‌کنند. شکل ۶ شبه‌کد جریان بهینه‌ساز عروس دریایی را نشان می‌دهد [۳۱].

#### ۵- نتیجه‌گیری

الگوریتم‌های فراابتکاری، روش‌های کارآمدی برای حل مسائل پیچیده محسوب می‌شوند. این الگوریتم‌ها بدون نیاز به محاسبه‌ی گرادیان تابع هدف عمل می‌کنند و به‌طور معمول پاسخ‌های قابل قبولی را ارائه می‌دهند، در حالی که قیدهای خاص را نادیده می‌گیرند. آن‌ها از قوانین طبیعت الهام گرفته‌اند و از رفتار جمعی جانداران برای شکل‌گیری الگو استفاده می‌کنند. الگوریتم‌های گروهی یا هوش جمعی نیز بخشی از الگوریتم‌های فراابتکاری هستند و با همکاری اعضای جمعیت، مسائل را حل می‌کنند. در این مطالعه، رفتار گروهی عروس‌های دریایی در اعماق اقیانوس را بررسی کردیم. این موجودات در مناطق مختلف با دماهای متنوع در اقیانوس زندگی می‌کنند و از شاخک‌ها برای جذب غذا استفاده می‌کنند. در شرایط مناسب، عروس‌های دریایی قادر به تشکیل گروه‌های بزرگی هستند که به آن‌ها «شکوفه عروس دریایی» می‌گویند. آن‌ها جهت‌گیری خاصی به جریان آب دارند تا شکوفه‌ها را محافظت کرده و از سقوط آن‌ها جلوگیری کنند. مزیت‌های این رفتار شامل قدرت پیگیری در جریان اقیانوس، حرکت در میان ازدحام (حرکات فعال و غیرفعال) و کنترل زمانی برای تغییر بین این حرکات است. الگوریتم عروس دریایی به دلیل تعادل مناسب بین اکتشاف و بهره‌برداری با تغییر حرکات و با استفاده از

- [35] Faramarzi, A., et al., *Marine Predators Algorithm: A nature-inspired metaheuristic*. *Expert systems with applications*, 2020. **152**: p. 113377.
- [36] Youssef, H., et al., *An improved bald eagle search optimization algorithm for optimal home energy management systems*. *Soft Computing*, 2023: p. 1-24.
- [37] Alsattar, H.A., A. Zaidan, and B. Zaidan, *Novel meta-heuristic bald eagle search optimisation algorithm*. *Artificial Intelligence Review*, 2020. **53**: p. 2237-2264.
- [38] Bastian, T., et al., *Ecosystem relevance of variable jellyfish biomass in the Irish Sea between years, regions and water types*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2014. **149**: p. 302-312.
- [39] Fossette, S., et al., *Current-oriented swimming by jellyfish and its role in bloom maintenance*. *Current Biology*, 2015. **25**(3): p. 342-347.
- [40] Brotz, L., et al., *Increasing jellyfish populations: trends in large marine ecosystems*. *Jellyfish Blooms IV: Interactions with humans and fisheries*, 2012: p. 3-20.
- [41] Dong, Z., D. Liu, and J.K. Keesing, *Jellyfish blooms in China: dominant species, causes and consequences*. *Marine pollution bulletin*, 2010. **60**(7): p. 954-963.
- [42] Mariottini, G.L. and L. Pane, *Mediterranean jellyfish venoms: A review on scyphomedusae*. *Marine drugs*, 2010. **8**(4): p. 1122-1152.
- [43] Zavodnik, D., *Spatial aggregations of the swarming jellyfish *Pelagia noctiluca* (Scyphozoa)*. *Marine Biology*, 1987. **94**(2): p. 265-269.
- [44] Kiran, M.S. and O. Findik, *A directed artificial bee colony algorithm*. *Applied Soft Computing*, 2015. **26**: p. 454-462.
- [45] Fossette, S., et al., *A biologist's guide to assessing ocean currents: a review*. *Marine Ecology Progress Series*, 2012. **457**: p. 285-301.
- [46] Xiang, T., X. Liao, and K.-w. Wong, *An improved particle swarm optimization algorithm combined with piecewise linear chaotic map*. *Applied Mathematics and Computation*, 2007. **190**(2): p. 1742-1747.
- [47] Kaveh, A., R. Mahdipour Moghanni, and S. Javadi, *Optimum design of large steel skeletal structures using chaotic firefly optimization algorithm based on the Gaussian map*. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2019. **60**: p. 879-894.
- [48] May, R.M., *Simple mathematical models with very complicated dynamics*. *Nature*, 1976. **261**(5560): p. 459-467.
- [49] Chou, J.-S. and N.-T. Ngo, *Modified firefly algorithm for multidimensional optimization in structural design problems*. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2017. **55**: p. 2013-2028.
- [50] Hong, W.-C., et al., *SVR with hybrid chaotic genetic algorithms for tourism demand forecasting*. *Applied Soft Computing*, 2011. **11**(2): p. 1881-1890.
- [51] Xu, J. and J. Zhang, *Exploration-exploitation tradeoffs in metaheuristics: Survey and analysis*. in *Proceedings of the 33rd Chinese control conference*. 2014. IEEE.
- [17] Webster, B. and P.J. Bernhard, *A local search optimization algorithm based on natural principles of gravitation*. 2003.
- [18] Kaveh, A. and S. Talatahari, *A novel heuristic optimization method: charged system search*. *Acta mechanica*, 2010. **213**(3-4): p. 267-289.
- [19] Dehghani, M., et al., *A spring search algorithm applied to engineering optimization problems*. *Applied Sciences*, 2020. **10**(18): p. 6173.
- [20] Du, H., X. Wu, and J. Zhuang, *Small-world optimization algorithm for function optimization*. in *Advances in Natural Computation: Second International Conference, ICNC 2006, Xi'an, China, September 24-28, 2006. Proceedings, Part II 2*. 2006. Springer.
- [21] Li, X. and A.P. Engelbrecht, *Particle swarm optimization: an introduction and its recent developments*. in *Proceedings of the 9th annual conference companion on Genetic and evolutionary computation*. 2007.
- [22] Karaboga, D. and B. Basturk, *A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm*. *Journal of global optimization*, 2007. **39**: p. 459-471.
- [23] Sun, H., H. Luş, and R. Betti, *Identification of structural models using a modified Artificial Bee Colony algorithm*. *Computers & Structures*, 2013. **116**: p. 59-74.
- [24] Dorigo, M., M. Birattari, and T. Stutzle, *Ant colony optimization*. *IEEE computational intelligence magazine*, 2006. **1**(4): p. 28-39.
- [25] Sun, Y., et al., *Multi-Strategy Enhanced Harris Hawks Optimization for Global Optimization and Deep Learning-Based Channel Estimation Problems*. *Mathematics*, 2023. **11**(2): p. 390.
- [26] Farshchin, M., C. Camp, and M. Maniat, *Multi-class teaching-learning-based optimization for truss design with frequency constraints*. *Engineering Structures*, 2016. **106**: p. 355-369.
- [27] Geem, Z.W., J.H. Kim, and G.V. Loganathan, *A new heuristic optimization algorithm: harmony search*. *simulation*, 2001. **76**(2): p. 60-68.
- [28] Maheri, M.R. and M. Narimani, *An enhanced harmony search algorithm for optimum design of side sway steel frames*. *Computers & Structures*, 2014. **136**: p. 78-89.
- [29] Glover, F., E. Taillard, and E. Taillard, *A user's guide to tabu search*. *Annals of operations research*, 1993. **41**(1): p. 1-28.
- [30] Kashan, A.H. *League championship algorithm: a new algorithm for numerical function optimization*. in *2009 international conference of soft computing and pattern recognition*. 2009. IEEE.
- [31] Chou, J.-S. and D.-N. Truong, *A novel metaheuristic optimizer inspired by behavior of jellyfish in ocean*. *Applied Mathematics and Computation*, 2021. **389**: p. 125535.
- [32] Azizi, M., S. Talatahari, and A.H. Gandomi, *Fire Hawk Optimizer: A novel metaheuristic algorithm*. *Artificial Intelligence Review*, 2023. **56**(1): p. 287-363.
- [33] Dehghani, M. and P. Trojovský, *Serval optimization algorithm: a new bio-inspired approach for solving optimization problems*. *Biomimetics*: (ε) ۲۰۲۲, p. 204.
- [34] Hashim, F.A., et al., *Honey Badger Algorithm: New metaheuristic algorithm for solving optimization problems*. *Mathematics and Computers in Simulation*, 2022. **192**: p. 84-110.

## The Sea Jellyfish Algorithm: Using Artificial Intelligence and Nature-Inspired Approaches to Solving Optimization Problems

Roya Ghaffarnejad Bidoki<sup>1</sup>, Nasrin Aghaei Mibodi\*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Computer Science, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran

<sup>2</sup> Department of Computer Science, Meybod Branch, Islamic Azad University, Meybod, Iran



رویا غفارنژاد بیدکی، فارغ التحصیل رشته مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار از دانشگاه یزد است و در حال حاضر دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد می‌باشد. او در حال حاضر به عنوان برنامه‌نویس و کارمند اداری در دانشگاه ملی مهارت استان یزد مشغول به کار است..

نشانه رایانامه ایشان عبارتند از:

rgghaffarnejadb@gmail.com

### Abstract

Meta-heuristic algorithms are an optimization approach used for solving complex problems with a large search space. These algorithms have attracted significant attention due to their efficiency and applicability in real-world problems. They are inspired by biological phenomena in optimization and, because they do not require the gradient of the objective function, they perform well in complex problems. Meta-heuristic algorithms fall into the categories of evolutionary, group intelligence, and heuristic algorithms, drawing inspiration from the behavior of living organisms. Numerous studies in the field of meta-heuristic algorithms have demonstrated their importance in solving optimization problems. However, achieving a suitable balance between the two steps in meta-heuristic algorithms is challenging due to their stochastic nature. In this research, an algorithm called Jellyfish Search is presented, which is inspired by the group behavior of jellyfish in the deep ocean. Among the advantages of this algorithm are the group tracking of movements in the ocean current, their movement among the crowd (including active and passive movements), and time control to switch between these movements. This algorithm yields better results by using an appropriate balance between exploration and exploitation, along with a time control mechanism and the use of chaotic mapping to improve the diversity of the initial population.

**Keywords:** Swarm Intelligence Algorithm, Metaheuristic Algorithm, Optimization Problems, Jellyfish Algorithm.



نسرین آقایی - استادیار دانشکده علوم کامپیوتر، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی میبدی. علایق تحقیقاتی او شامل یادگیری ماشینی، داده‌های بزرگ، محاسبات موازی و بیوانفورماتیک است.

نشانه رایانامه ایشان عبارتند از:

Aghaei.meybodi@maybodiau.ac.ir

**روش ارجاع:** ر. غفارنژاد بیدکی، ن. آقایی، الگوریتم عروس دریایی: بهره‌برداری از هوش مصنوعی و الهام گرفته از طبیعت در حل مسائل بهینه‌سازی، دوفصلنامه محاسبات و سامانه‌های توزیع شده، سال ششم، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۱، صفحه ۴۵ تا ۵۶، سال ۱۴۰۲

**How to cite:** R. Ghaffarnejad Bidoki, N. Aghaei, Algorithm "Sea Jellyfish ": Utilizing Artificial Intelligence and Nature-Inspired Approaches in Solving Optimization Problems. Journal of Distributed Computing and Systems (JDCCS), Vol 6, Issue 1, Page 45-56, 2024.