

## الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر ساختار زندگی گرگ‌ها (WLBA)

## محمد بخشی پور

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه لرستان  
Bakshpour\_m@yahoo.com

## فرهاد نامداری

استادیار، دانشگاه لرستان  
Namdari.f@lu.ac.ir

## مجتبی جباری قادی

کارشناس ارشد برق - قدرت  
Mojtaba\_jabbarii@yahoo.com

## بهروز رضایی

دانشیار، دانشگاه لرستان  
rezaeealam@gmail.com

## چکیده

در این مقاله الگوریتم تکاملی با ارائه‌ی روش جدید، به منظور بهینه‌سازی توابع غیرخطی معرفی شده است. این الگوریتم بهینه‌سازی از ویژگی و ساختار زندگی گرگ‌ها الهام گرفته است. شیوه و ساختار زندگی گرگ‌ها، همچنین نحوه شکار آنها، ایده اصلی، الگوریتم بهینه‌سازی بوده است. مانند دیگر روش‌های تکاملی، الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر زندگی گرگ‌ها (WLBA) با جمعیت اولیه شروع می‌شود. هر عضو از جمعیت گرگ‌ها، دارای حس بویایی برای کشف طعمه و صدا (زوزه) برای ارتباط با گرگ‌های گروه می‌باشد. موقعیت گرگ آلفا (رهبر) در تصمیم‌گیری دیگر اعضا برای پیدا کردن طعمه تاثیرگذار است. گروه گرگ‌ها برای یافتن طعمه مناسب تلاش می‌کنند و اطلاعات خود را در هر مرحله با ایجاد زوزه به اعضای گروه منتقل می‌کنند. مدل‌سازی حس بویایی گرگ‌ها با استفاده از توزیع احتمال نرمال انجام پذیرفته است. میزان فاصله هر گرگ از گرگ آلفا در میزان انحراف معیار و همچنین نقطه میانگین توزیع نرمال تاثیرگذار می‌باشد. الگوریتم پیشنهادی در ۱۰ تابع معیار (benchmark) تست شده و نتایج آن با ۵ الگوریتم تکاملی مقایسه شده که بیانگر سرعت و دقت بهتر نسبت به دیگر الگوریتم‌ها به منظور رسیدن به جواب بهینه جهانی مسئله می‌باشد.

کلمات کلیدی: غیرخطی، بهینه‌سازی مبتنی بر زندگی گرگ‌ها، الگوریتم تکاملی، توزیع نرمال، انحراف معیار، نتایج.

## ۱. مقدمه

با پیشرفت علم و پیچیده شدن مسائل، روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی راه‌حل مناسبی را ارائه نمی‌دهند، زیرا فضای جستجو، با اندازه مسئله به صورت نمایی افزایش می‌یابد. به این ترتیب، پژوهشگران با الهام از رفتار پدیده‌های طبیعی الگوریتم‌های مناسبی برای حل مسائل پیچیده ارائه کرده‌اند [1-2,4-5,6,8].

این روش‌ها معمولاً با تولید نسل اولیه آغاز می‌گردند، سپس به منظور کشف بهترین جواب در هر مرحله به تکامل می‌رسند. الگوریتم ژنتیک (GA)، روش پرکاربردی در حل مسائل پیچیده بوده‌است. الگوریتم ژنتیک از تکنیک‌های زیستی مانند وراثت و جهش، که باعث تنوع در جمعیت‌ها می‌شود، الهام گرفته شده‌است [1-3]. از دیگر الگوریتم‌ها پرکاربرد می‌توان به الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) اشاره کرد. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات از رفتار اجتماعی هجوم پرندگان الهام گرفته‌است [2,7,9]. الگوریتم جستجوی جامعه مورچگان (ACO)، یکی دیگر از الگوریتم‌های تکاملی است. این الگوریتم از رفتار مورچگان، که با ایجاد فرومون، ردی از خود به جای می‌گذارند، الهام گرفته شده‌است [2,7,10,11].

به دلیل اینکه الگوریتم‌های تکاملی، بهترین راه حل برای حل تمام مسائل ارائه نمی‌کنند. با توجه به ساختار مسئله، برخی از الگوریتم‌ها نسبت به دیگر روش‌ها راه‌حل بهتری را ارائه می‌دهند. از الگوریتم‌های تکاملی برای حل مسائل پیچیده از جمله پردازش تصویر و تشخیص الگو [15-12]، مدل سازی فیلتر [16]، بهینه سازی تابع هدف [18-17] و غیره می‌توان بهره برد. در این مقاله الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر زندگی گرگ‌ها (WLBA) ارائه شده‌است. این الگوریتم مبتنی بر ساختار زندگی گرگ‌ها و شیوه یافتن شکار، به کمک حس بویایی گرگ‌ها می‌باشد [21-19].

پیکربندی این مقاله به شرح زیر است: در بخش ۲ به بررسی گرگ‌ها و ویژگی آنها پرداخته شده‌است. در بخش ۳، الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر زندگی گرگ‌ها پیشنهاد شده‌است. در بخش ۴، الگوریتم پیشنهاد شده، با چند تابع معیار (benchmark) مورد ارزیابی قرار گرفته‌است و در بخش ۵ نتایج ارائه شده‌است.

## ۲. گرگ‌ها و شیوه زندگی و ارتباط خاصشان برای شکار

یکی از مزایای زندگی گروهی استفاده از هوش جمعی برای یافتن شکار می‌باشد. گرگ‌ها دسته‌ای از پستانداران باهوش هستند که در گروه‌هایی شامل یک یا چند خانواده تشکیل شده‌اند. در هر گروه گرگی که از دیگر گرگ‌ها قوی‌تر است، به عنوان گرگ آلفا شناخته می‌شود و وظیفه گرگ آلفا رهبری و هدایت گروه است.

گرگ‌ها از قدرت بینایی ضعیفی برخوردارند. راه ارتباطی گرگ‌ها با یکدیگر از طریق حالت چهره یا بدن، با ایجاد بو و یا صدا مثل زوزه می‌باشد. گرگ‌ها می‌توانند تا 2/5 کیلومتر بو حس کنند و تا 40 کیلومتر صدا را بشنوند. گرگ‌ها طعمه‌های خود را با تعقیب پیدا می‌کنند و سپس با همکاری یکدیگر شکار می‌کنند. گرگ‌ها قبل از حمله ور شدن به طعمه، تک تک شکار خود را ارزیابی می‌کنند و ضعیف‌ترین عضو طعمه را برای شکار انتخاب می‌کنند.

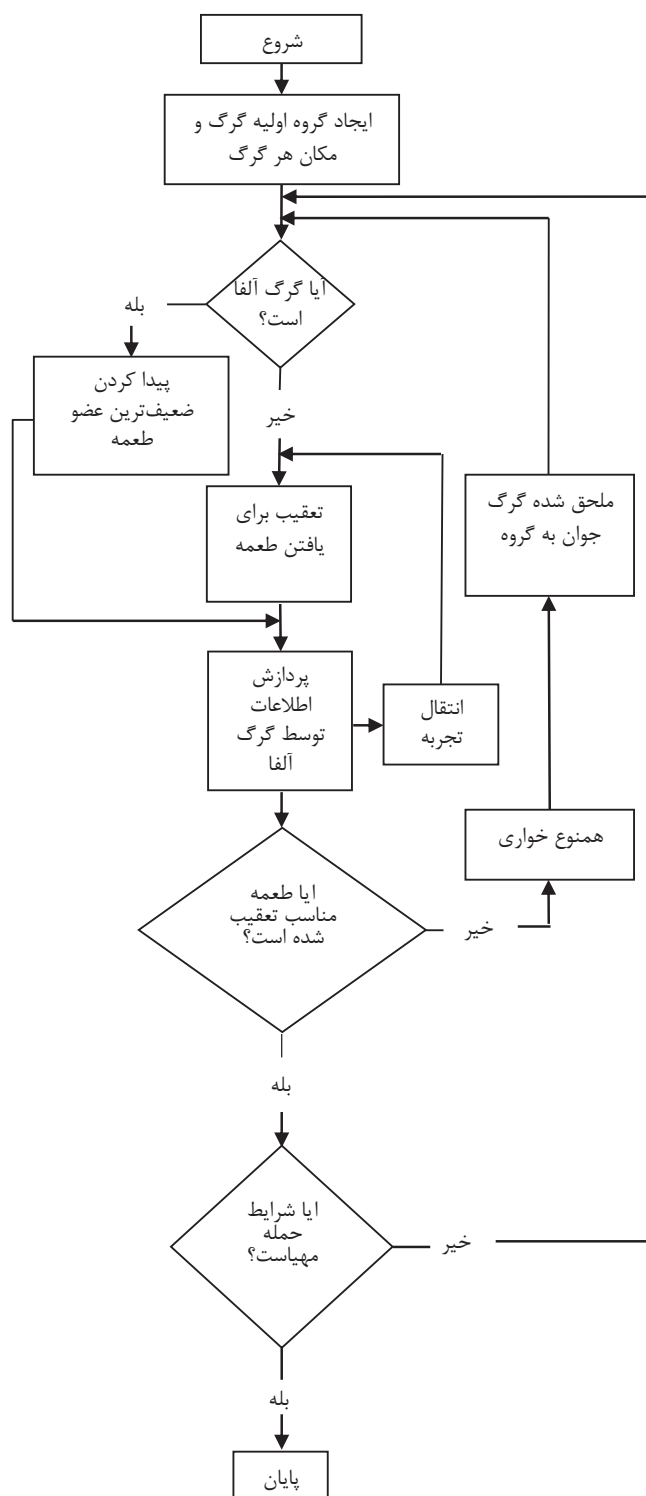
گرگ‌ها دارای ساختاری خاص برای آموزش به گرگ‌های جوان می‌باشد. گرگ‌های یک ساله دارای تقریباً ۸۰ درصد از توانایی گرگ‌های بزرگسال می‌باشند. این گرگ‌ها از سن دو سالگی توانایی شکار گوزن در وجودشان شکل می‌گیرد. گرگ‌های بزرگسال مهارت شکار را به گرگ‌های جوان می‌آموزند [22-19].

یکی دیگر از رفتار منحصر به فرد گرگ‌ها هم‌نوع خواری است. در فصولی که شکاری نمی‌یابند و یا مناطق پوشیده از برف هست، دور یه حلقه جمع شده و به گرگی که از خود ضعف نشان دهد، حمله ور شده و آن گرگ را می‌خورند [25-23].

## ۳. الگوریتم پیشنهادی بهینه‌ساز مبتنی بر زندگی گرگ‌ها

در شکل ۱ فلوچارت الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر زندگی گرگ‌ها نمایش داده شده‌است. این الگوریتم با جمعیت اولیه گرگ‌ها و مکان قرار گیری هر گرگ در قلمرو گروه آغاز می‌گردد. گرگ‌ها در فضای اطراف با حس بویایی دنبال طعمه‌ها می‌گردند. اگر گرگ عضو گروه، گرگ با تجربه باشد، با احتمال بیشتری در تعقیب طعمه موفق‌تر است. گرگ‌های جوان نیز به

دنبال طعمه می‌گردند، اما امکان موفقیت آنها کمتر است، از سویی دیگر، آنها در هر مرحله از گرگ‌های بزرگسال نوع تعقیب را یاد می‌گیرند.



شکل ۱- فلوچارت الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر زندگی گرگ‌ها

گرگ آلفا در محدوده طعمه تعقیب شده قرار می گیرد و ضعیف ترین عضو طعمه را کشف می کند. سپس اگر شرایط طعمه مناسب باشد، گروه گرگ ها به طعمه حمله ور می شوند، اما اگر خطری برای حمله وجود داشته باشد اعضای گروه در تعقیب طعمه بهتر می روند. در شرایطی که اعضای گروه نتوانند طعمه مناسبی را تعقیب کنند، گروه گرگ ها جمع می شوند و عضوی که از همه ضعیف تر بوده توسط دیگر اعضا خورده می شود و گرگ جوان جایگزین آن گرگ در گروه می گردد.

### 3-1. ایجاد مکان اولیه گرگ ها

به منظور حل مسائل بهینه سازی، پارامترهایی مسئله به شکل آرایه ارزش گذاری می شود. در GA، PSO و COA این آرایه ها به ترتیب با نام های "کروموزوم"، "ذرات" و "زیستگاه" شناخته شده اند. در الگوریتم بهینه سازی بر اساس زندگی گرگ ها (WLBA) این آرایه ها مکان گرگ ها (Position) نامیده شده است. در یک مسئله N بعدی بهینه سازی مکان گرگ ها، آرایه هایی از  $1 \times N$  می باشند. که این آرایه ها نماینده مکان هر گرگ می باشند، که به صورت زیر تعریف می شود:

$$\text{Position} = [x_1, x_2, \dots, x_N] \quad (1)$$

که مقادیر  $(x_1, x_2, \dots, x_N)$  اعضای اعداد حقیقی می باشند. تابع شناسایی هر گرگ از طعمه با توجه به موقعیت آن به کمک تابع ارزیابی (Cost) محاسبه می شود. تابع تعقیب طعمه که به نام Bait نام گذاری می شود، به صورت زیر نشان داده می شود:

$$\text{Bait} = \text{Cost}(\text{Position}) = \text{Cost}(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (2)$$

برای شروع الگوریتم بهینه سازی کاندیدهایی از ماتریس مکان گرگ به ابعاد  $N \times n_{\text{Pop}}$  به صورت تصادفی تولید می کند. که  $n_{\text{Pop}}$  تعداد جمعیت اولیه برای گرگ ها می باشد.

### 3-2. تعریف پارامترهای شناسایی

گرگی که بهترین ارزش Bait را داراست، به عنوان گرگ آلفا شناخته می شود. فاصله گرگ های گروه از گرگ آلفا جزو پارامترهای مهم برای تصمیم گیری است. فاصله ی گرگ های بزرگسال از گرگ آلفا با نام  $\text{Distance}_O$  معرفی می گردد که به صورت زیر تعریف می شود:

$$\text{Distance}_O = \frac{2 \times \text{Position}_\alpha + \text{Position}_O}{3} \quad (3)$$

که  $\text{Position}_\alpha$  موقعیت گرگ آلفا است و  $\text{Position}_O$  موقعیت گرگ بزرگسال است. برای گرگ های جوان، فاصله با نام  $\text{Distance}_Y$  نام گذاری شده و به صورت زیر تعریف می شود:

$$\text{Distance}_O = \frac{4 \times \text{Position}_\alpha + \text{Position}_Y}{5} \quad (4)$$

$\text{Position}_Y$  موقعیت گرگ های جوان می باشد. حس بویایی گرگ ها، برای تعقیب طعمه ها به کار رفته است. حس بویایی گرگ ها متناسب با تجربه هر گرگ می باشد. برای گرگ های با تجربه، حس بویایی با  $\text{Sense}_O$  نام گذاری شده، به صورت زیر تعریف می شود:

$$\text{Sense}_O = Y_{\text{follow}} \times \lambda \times |\text{Position}_\alpha - \text{Position}_O| \quad (5)$$

$$\lambda \sim U(0,1) \quad (6)$$

$Y_{\text{follow}}$  ضریب تجربه هر گرگ می باشد و  $\lambda \sim U(0,1)$  یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت بین 0 و 1 می باشد. حس بویایی برای گرگ های جوان با نماد  $\text{Sense}_Y$  نام گذاری می شود، به صورت زیر تعریف می شود:

$$\text{Sense}_Y = Y_{\text{follow}} \times \lambda \times \frac{\text{Position}_\alpha - \text{Position}_Y}{3} \quad (7)$$

گرگ ها قادر به شناسایی بو تا حدود ۳ کیلومتری می باشند، از این رو ضریب حس بویایی برای گرگ ها محدود می باشد که به صورت زیر تعریف می گردد:

$$Y_{follow} \times \lambda < 24 \quad (8)$$

گرگ‌ها برای شکار طعمه، ضعیف‌ترین عضو طعمه را کشف می‌کنند، زیرا شکار آن عضو راحت‌تر می‌باشد. گرگ آلفا هر بار که طعمه‌ای تعقیب شده به نزدیکی آن طعمه می‌رود و ضعیف‌ترین عضو را کشف می‌کند. به این ترتیب، گرگ آلفا با توجه اینکه، در روز یا شب، برای شناسایی به نزدیکی طعمه رفته، در مکان متفاوتی قرار می‌گیرد. انحراف گرگ آلفا از مکان اولیه‌اش در شب با  $Distance_{n\alpha}$  و برای انحراف در روز با  $Distance_{d\alpha}$  نام‌گذاری می‌شود. حس بویایی گرگ آلفا با نام  $Sense_{\alpha}$  نام‌گذاری می‌شود، که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Distance_{d\alpha} = (1 - Sense_{\alpha}) \times Position_{\alpha} \quad (9)$$

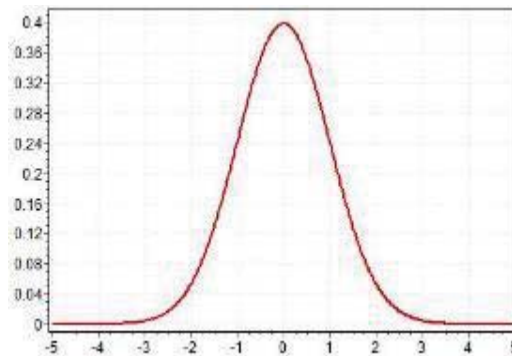
$$Distance_{n\alpha} = (1 + \frac{Sense_{\alpha}}{6}) \times Position_{\alpha} \quad (10)$$

$$Sense_{\alpha} = 0.1 + 0.6 \times \lambda \quad (11)$$

به این ترتیب، هر عضو از گروه دارای یک حس بویایی و یک میزان انحراف از مکان اولیه گرگ آلفا می‌باشد.

### 3-3. حرکت گرگ‌ها برای تعقیب طعمه

هر گرگ با توجه به شناسایی که تجربه کرده، به تعقیب طعمه می‌پردازد. تعقیب هر گرگ وابسته به مکان گرگ آلفا است، به عبارتی گرگ‌های دیگر نباید از محدوده‌ی گروه خارج شوند. به همین منظور از تابع توزیع نرمال استفاده شده است. تابع احتمال توزیع نرمال دارای دو پارامتر می‌باشد: پارامتر اول برابر با میانگین و پارامتر دوم برابر با واریانس (توان دو انحراف معیار) می‌باشد. تابع توزیع نرمال در شکل ۲ به ازای واریانس 1 با میانگین 0 نشان داده شده است.



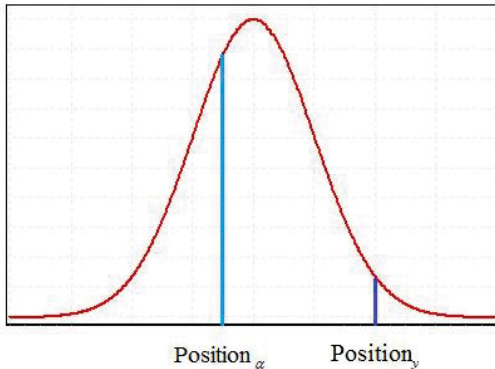
شکل ۲- توزیع فراوانی توزیع نرمال

هر گرگ، با توجه به میزان انحرافی که از گرگ آلفا دارد، که معادل نقطه میانگین ( $\mu$ ) برای توزیع نرمال است و حس بویایی که متناسب با واریانس ( $\sigma^2$ ) توزیع می‌باشد، سعی در تعقیب طعمه می‌کند. به این ترتیب هر گرگ برای تعقیب طعمه، به نقطه تصادفی جدیدی بر طبق تابع توزیع نرمال حرکت می‌کند.

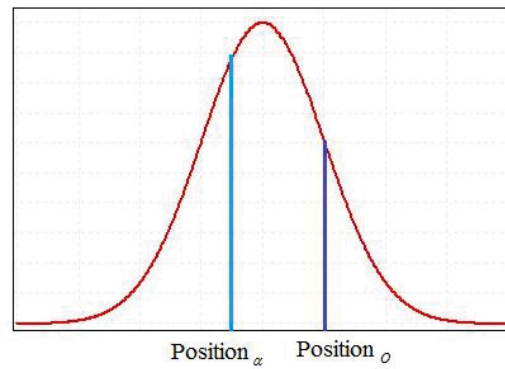
$$\mu = \text{Distance} \quad (12)$$

$$\sigma^2 = \text{Sense} \quad (13)$$

در شکل ۳ مکان جستجوی گرگ‌های بزرگسال با توجه به موقعیت آنها و موقعیت گرگ آلفا نمایش داده شده است. گرگ بزرگسال، علاوه بر اینکه به محدوده گرگ آلفا حرکت می‌کند و در اطراف گرگ آلفا به تعقیب طعمه می‌پردازد، در اطراف مکان‌های حسی که خود کشف کرده است، به تعقیب طعمه مناسب حرکت می‌کند. در شکل ۴ مکان جستجوی گرگ‌های جوان نشان داده شده است. همانطور که از شکل مشخص است، گرگ بزرگسال وابستگی کمتری نسبت به گرگ آلفا دارد، در حالی که گرگ‌های جوان به دلیل عدم توانایی بویایی مناسب، برای کسب تجربه به موقعیت گرگ آلفا وابسته‌اند.



شکل 4- منطقه جستجوی گرگ‌های جوان



شکل 3- منطقه جستجوی گرگ‌های بزرگسال

#### 4-3. انتقال تجربه به گرگ‌ها

انتقال تجربه یکی از روش‌های آموزش در گرگ‌ها می‌باشد. در هر مرحله، هر گرگ به میزان توانایی‌هایش آموزش می‌بیند. این آموزش که با نام  $Y_{follow}$  تعریف شده است، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Y_{follow} = 15 \times \lambda \times Sense_B \quad (14)$$

در این فرمول  $Sense_B$ ، حس بویایی گرگی است که بهترین طعمه را تعقیب کرده است.

#### 5-3. هم‌نوع‌خواری (Cannibalism)

در فصولی که طعمه برای گرگ‌ها پیدا نمی‌شود، بالاجبار مجبور به هم‌نوع‌خواری می‌شوند. برای همین منظور، زمانی که گرگ‌ها به طعمه مناسب برای شکار دست نمی‌یابند، ضعیف‌ترین گرگ با بدترین ارزش Bait توسط دیگر اعضا حذف شده و گرگ جوان جایگزین آن در گروه می‌شود. موقعیت این گرگ که  $Position_C$  نام‌گذاری شده است، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Position_C = 0.5Position_\alpha + 0.3Position_\beta + 0.2Position_\gamma \quad (15)$$

که  $Position_\beta$  و  $Position_\gamma$  به ترتیب گرگ با مشخصات دومین و سومین ارزش Bait می‌باشد.

#### 4. تست توابع معیار بر روی الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر زندگی گرگ‌ها

در این بخش الگوریتم بهینه‌سازی بر اساس زندگی گرگ‌ها در ۱۰ تابع معیار (benchmark) تست شده و نتایج آن با الگوریتم‌های دیگر ارزیابی شده است [26,8]. در تمام مسائل هدف بهینه‌سازی مسئله می‌باشد که این توابع عبارتند از:

تابع F1:

$$f = |x| + \cos(x); -10 \leq x \leq 10 \quad (16)$$

تابع F2:

$$f = |x| + \sin(x); -10 \leq x \leq 10 \quad (۱۷)$$

تابع F3:

$$f = x \times \sin(4x) + 1.1y \times \sin(2y) \quad ; \quad 0 \leq x, y \leq 10 \quad (۱۸)$$

تابع F4:

$$f = y \times \sin(4x) + 1.1x \times \sin(2y) \quad ; \quad -10 \leq x, y \leq 10 \quad (۱۹)$$

تابع F5:

$$f = 0.5 + \frac{\sin^2(\sqrt{x^2 + y^2} - 0.5)}{1 + 0.1(x^2 + y^2)} \quad ; \quad 0 \leq x, y < 2 \quad (۲۰)$$

تابع F6:

$$f = (x^2 + y^2)^{0.25} \times \sin\{30[(x + 0.5)^2 + y^2]^{0.1}\} + |x| + |y|; -\infty < x, y < \infty \quad (۲۱)$$

تابع F7:

$$f = -20 \exp(-0.2 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}) - \exp(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i)) + 20 + e \quad ; \quad -32 \leq x_i \leq 32 \quad (۲۲)$$

تابع F8:

$$f = \sum_{i=1}^n x_i^2; -100 < x_i < 100 \quad (۲۳)$$

تابع F9:

$$f = \sum_{i=1}^{N-1} [(1 - x_i)^2 + 100(x_{i+1} - x_i^2)^2] \quad ; \quad -30 < x_i < 30 \quad (۲۴)$$

تابع F10:

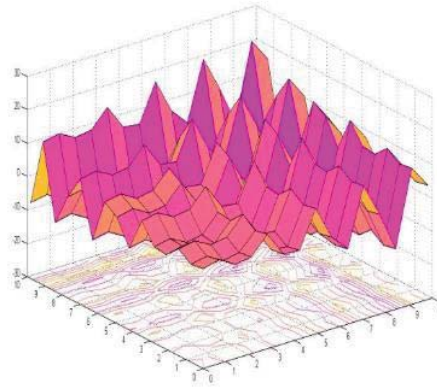
$$f = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos(\frac{x_i}{\sqrt{i}}) + 1 \quad ; \quad -600 < x_i < 600 \quad (۲۵)$$

تابع F3 مقدار بهینه جهانی برابر با مقدار 18.5547- می باشد، که به ازای نقطه [9.0390, 8.6682] برآورد می شود. در شکل ۵، تصویر ۳ بعدی این تابع مشاهده می شود.

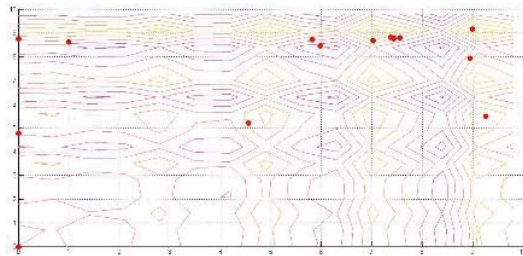
این تابع را در الگوریتم پیشنهادی با تعداد ۱۵ گرگ اولیه بررسی شده است. این الگوریتم تابع مورد نظر را با ۴۱ بار تکرار و با ۶۵۳ فراخوانی تابع هزینه، به مقدار بهینه جهانی می رساند.

نمایش حرکت گرگها در شکل های 6 تا 9 نشان داده شده اند. همانطور که مشخص است، تا زمانی که گرگ به یک طمه مناسب برای حمله دست نمی یابند، به جستجو در منطقه ادامه می دهند. زمانی که هر گرگ طعمه به ظاهر مناسب را کشف می کند، گرگ های دیگر به آن نقطه برای شناسایی بهتر حرکت می کنند و تعداد معدودی گرگ در منطقه دیگر به تعقیب می پردازند. زمانی که طعمه مناسب برای حمله، تعقیب می شود، تمام گرگها به آن منطقه برای حمله ور می شوند.

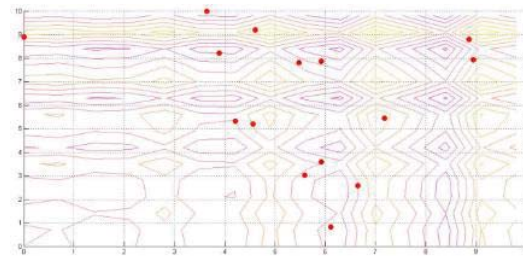
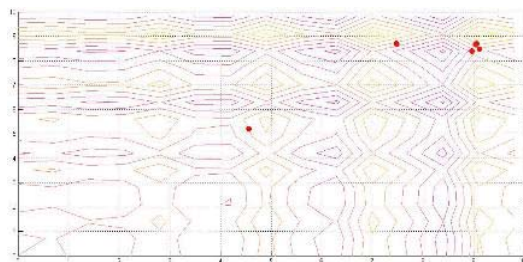


شکل 5- نمایش ۳ بعدی تابع  $F3$ 

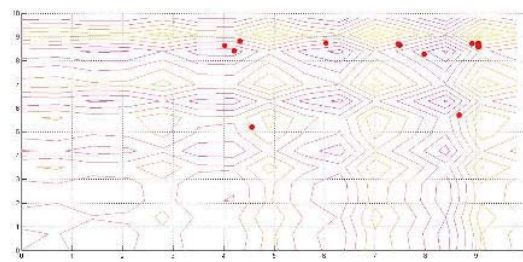
در جدول ۱، الگوریتم پیشنهادی بر روی توابع  $F1$  تا  $F6$  تست شده که شامل 1 یا 2 متغیراند. برای توابع تک متغیره ( $F1$  و  $F2$ )، جواب نهایی، میانگین جواب نهایی در ۵۰ اجرا، مقدار بهترین متغیر و میانگین مقدار متغیرها در ۵۰ اجرا مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای توابع دو متغیره ( $F3$  تا  $F6$ )، جواب نهایی، میانگین جواب نهایی در ۵۰ اجرا و درصد رسیدن به جواب بهینه جهانی بررسی شده است. نتایج الگوریتم بهینه سازی مبتنی بر زندگی گرگها (WLBA) با الگوریتم ژنتیک (GA)، الگوریتم کرم ابریشم (FA)، الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO)، الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA)، الگوریتم جامعه زنبور عسل (ABC) و الگوریتم جغرافیای زیستی (BBO) مقایسه شده است.



شکل 7- موقعیت هر گرگ بعد از 14 امین تکرار

شکل 6- ایجاد موقعیت هر گرگ در فضای  $F3$ 

شکل 9- موقعیت هر گرگ بعد از 41 امین تکرار



شکل 8- موقعیت هر گرگ بعد از 27 امین تکرار

جدول ۱- بهینه نتایج توابع معیار F1 تا F6 با جمعیت اولیه ۱۵ و حداکثر ۴۵۰۰ فراخوانی تابع

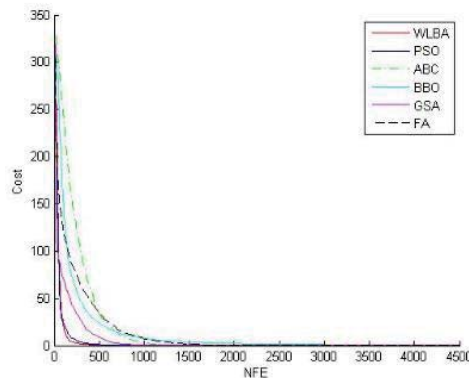
	WLBA	PSO	FA	ABC	GSA	BBO
<b><math>F_1, n = 1</math></b>						
میانگین جواب	1	1	1	1	1	1.0501
بهترین جواب	1	1	1	1	1	1.0009
میانگین بهترین نقاط	-7.4062e-18	-2.1398e-17	-2.3084e-08	-5.2302e-17	-1.3459e-08	-0.0127
بهترین نقطه	-4.51043e-18	-7.9203e-18	-1.9046e-09	-2.3698e-18	-1.3573e-10	-9.4557e-04
<b><math>F_2, n = 1</math></b>						
میانگین جواب	0	0	9.7815e-16	1.2772e-19	6.4917e-23	0.0012
بهترین جواب	0	0	3.3087e-24	0	0	1.7175e-08
میانگین بهترین نقاط	-1.2252e-08	-1.1005e-08	-9.1077e-06	-5.0380e-07	-3.8426e-08	-0.1205
بهترین نقطه	-3.7790e-11	-3.4160e-10	-2.6479e-08	-2.7043e-09	-8.4132e-10	-0.0047
<b><math>F_3, n = 2</math></b>						
میانگین جواب	-18.5543	-16.8626	-15.5657	-18.5540	-15.5475	-18.4143
بهترین جواب	-18.5547	-18.5547	-18.5547	-18.5547	-18.4899	-18.5539
درصد رسیدن به جواب	%96	%52	%20	%90	-	-
<b><math>F_4, n = 2</math></b>						
میانگین جواب	-19.8623	-16.7662	-17.3597	-19.8618	-16.3978	-18.2279
بهترین جواب	-19.8623	-19.8623	-19.8623	-19.8623	-19.3583	-19.7896
درصد رسیدن به جواب	%100	%10	%24	%54	-	-
<b><math>F_5, n = 2</math></b>						
میانگین جواب	0	0.0225	0.0296	0.0024	0.0323	0.0470
بهترین جواب	0	0	0.005	0	0.0012	0.0013
درصد رسیدن به جواب	%100	%82	-	%44	-	-
<b><math>F_6, n = 2</math></b>						
میانگین جواب	-0.2473	-0.2442	-0.2392	-0.2472	-0.2216	-0.0281
بهترین جواب	-0.2474	-0.2474	-0.2474	-0.2474	-0.2474	-0.2430
درصد رسیدن به جواب	%91	%92	%74	%84	%6	-

در جدول 2 مقایسه الگوریتم WLBA، با الگوریتم‌های PSO، FA، ABC، GSA و BBO برای توابع معیار چند متغیره (F7 تا F10)، برای 2 و 5 متغیر آورده شده است. برای این توابع جواب نهایی و میانگین جواب نهایی در ۵۰ اجرا آورده شده است.

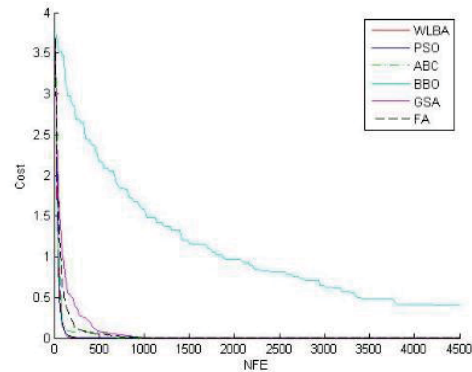
	WLBA	PSO	FA	ABC	GSA	BBO
<b><math>F_7, n = 2</math></b>						
میانگین بهترین جواب	8.8818e-16	9.8375e-14	1.9297e-04	5.0587e-13	2.4399e-07	0.5280
بهترین جواب	8.8818e-16	8.8818e-16	2.6012e-05	8.8818e-16	209490e-08	0.0126
<b><math>F_7, n = 5</math></b>						

میانگین بهترین جواب	2.2617e-12	3.1882e-10	9.3838e-04	1.8121e-04	7.6537e-07	0.6207
بهترین جواب	4.4409e-15	2.8881e-11	3.3521e-04	1.1102e-13	3.5044e-07	0.1035
<b><math>F_8, n = 2</math></b>						
میانگین بهترین جواب	4.2527e-70	1.3838e-27	4.7703e-09	1.1684e-17	1.0604e-14	0.0096
بهترین جواب	5.5465e-88	6.4600e-32	9.0653e-11	2.1768e-19	8.2407e-17	1.8558e-05
<b><math>F_8, n = 5</math></b>						
میانگین بهترین جواب	7.9910e-28	2.3322e-19	3.2639e-07	6.5446e-12	1.5999e-13	0.0504
بهترین جواب	1.7666e-37	4.2695e-22	4.9094e-08	3.0718e-17	2.4990e-14	0.0023
<b><math>F_9, n = 2</math></b>						
میانگین بهترین جواب	5.2718e-10	1.3181e-07	9.4980e-08	0.0383	0.0837	2.2939
بهترین جواب	2.1059e-17	1.0258e-14	1.2440e-09	1.1380e-14	0.0080	0.0104
<b><math>F_9, n = 5</math></b>						
میانگین بهترین جواب	0.403	0.9769	2.0352	1.9238	6.9117	26.0695
بهترین جواب	5.9349e-05	0.002	0.2691	0.2738	1.5874	1.7559
<b><math>F_{10}, n = 2</math></b>						
میانگین بهترین جواب	0.2982	0.3093	0.2979	0.2936	0.2985	0.2982
بهترین جواب	0.2979	0.2979	0.2979	0.2929	0.2929	0.2930
<b><math>F_{10}, n = 5</math></b>						
میانگین بهترین جواب	0.9107	0.9172	0.9142	0.9121	0.9140	0.9163
بهترین جواب	0.9087	0.9087	0.9087	0.9087	0.9087	0.9087

جدول ۲- بهینه نتایج توابع معیار F7 تا F10 با جمعیت اولیه ۱۵ و حداکثر ۴۵۰۰ فراخوانی تابع



شکل ۱۳- میانگین ۵۰ اجرا تابع چند متغیره ی F8، با جمعیت اولیه ۱۵، متغیر و ۴۵۰۰ فراخوانی تابع



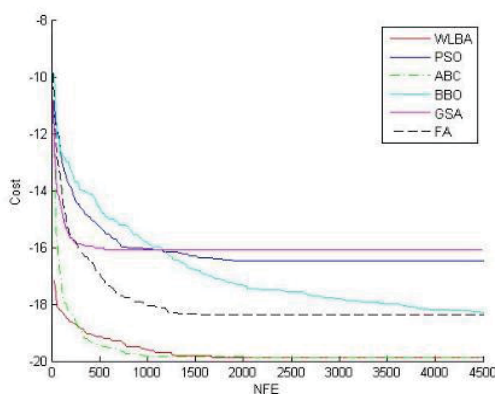
شکل ۱۲- میانگین ۵۰ اجرا تابع چند متغیره ی F7، با ۱۵ جمعیت اولیه، ۲ متغیر و ۴۵۰۰ فراخوانی تابع

در شکل های ۱۲، ۱۱، ۱۰ و ۱۳ الگوریتم های WLBA، PSO، ABC، BBO، GSA و FA به ترتیب در توابع معیار F1، F4، F7 و F8 با تعداد متغیرهای ۱، ۲، ۲ و ۱۵ ارزیابی شده اند.

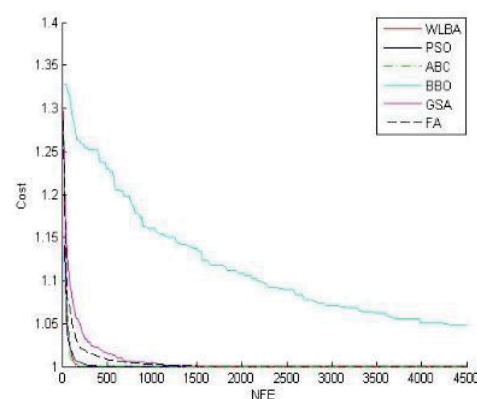
نمودار هر الگوریتم با جمعیت اولیه ۱۵، حداکثر فراخوانی تابع ۴۵۰۰ بار و از میانگین ۵۰ اجرا هر الگوریتم به دست آمده است. همانطور که از جدول ۱ و ۲ و شکل های ۱۰ تا ۱۳ ملاحظه می گردد، الگوریتم WLBA نسبت به دیگر الگوریتم ها دارای دقت و سرعت همگرایی بهتری می باشد.

### ۵. نتیجه گیری

در این مقاله الگوریتم بهینه سازی جدیدی ارائه شده است، که با الهام از شیوه زندگی گرگ ها شکل گرفته است. ویژگی و رفتار خاص گرگ ها در گروه گرگ ها و نوع تعقیب طعمه، ایده اصلی رشد این الگوریتم بهینه سازی شده است. هر گرگ در این الگوریتم، داری یک مکان برای تعقیب طعمه است. هر گرگ با حس بویایی خود، به تعقیب طعمه می پردازد. هرگاه گرگی طعمه مناسبی یافت، با ایجاد صدا (زوزه) انتقال تجربه به گرگ های دیگر، آنها را به سمت طعمه فرا می خواند. مدل ریاضی شکار گرگ ها، از توزیع احتمال نرمال الهام گرفته شده است. در زمانی که گرگ ها عاجز از یافتن طعمه می شوند، به همسوخواری رو می آورند، که این حالت هم با حذف بدترین موقعیت و ایجاد موقعیت جدید از بهترین ها نسل انجام می پذیرد. الگوریتم معرفی شده، در ۱۰ تابع معیار، با الگوریتم های PSO، ABC، BBO، GSA و FA مقایسه شده است. دقت و سرعت در همگرایی



شکل ۱۱- میانگین ۵۰ اجرا تابع دو متغیره ی F4، با ۱۵ جمعیت اولیه و ۴۵۰۰ فراخوانی تابع



شکل ۱۰- میانگین ۵۰ اجرا تابع تک متغیره ی F1، با ۱۵ جمعیت اولیه و ۴۵۰۰ فراخوانی تابع

نسبت به دیگر الگوریتم‌ها نشان داده شده که بیانگر عملکرد مناسب آن در توابع بهینه‌سازی است.

## مراجع

- [1] Deb, K. (1999). "An Introduction to genetic algorithm". *Sadhana*, Vol. 24, No 4-5, pp. 293-315.
- [2] Sivanandam, S.N., Deepa, S.N. (2008). "Introduction to genetic algorithm". Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- [3] Tang, K.S., Man, K.F., Kwong, S., He, Q. (1996). "Genetic algorithm and their applications". *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 13, No 2, pp. 22-37.
- [4] Kim, D.H., Abraham, A., Cho, J.H. (2007). "A hybrid genetic algorithm and bacterial foraging approach for global optimization". *Information Sciences*, Vol. 177, No 18, pp. 3918-3937.
- [5] Kirkpatrick, S., Gelatto, C.D., Vecchi, M.P. (1983). "Optimization by simulated annealing". *Science*, Vol. 220, No 4598, pp. 671-680.
- [6] Former, J.D., Packard, A.S. (1986). "The immune system, adaptation and machine learning". *Physica D: Nonlinear Phenomena*, Vol. 22, No 1-3, pp. 187-204.
- [7] Dorigo, M., Maniezzo, V., Colomi, A. (1996). "The ant system: optimization by a colony of cooperating agents". *IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics*, Vol. 26, No 1, pp. 29-41.
- [8] Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H., Saryazdi, S. (2009). "GSA: A Gravitational Search Algorithm". *Information Sciences*, Vol. 179, No 13, pp. 2232-2248.
- [9] Kennedy, R., Eberhart, R. (1995). "Particle swarm optimization". *International Conference on Neural Networks*, Perth, WA, Australia, Nov 27.
- [10] Dorigo, M., Blum, C. (2005). "Ant colony optimization theory: a survey". *Theoretical Computer Science*, Vol. 344, No 2-3, pp. 243-278.
- [11] Dorigo, M., Gambardella, L.M. (1997). "Ant Colony System: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem". *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 1, No 1, pp. 53-66.
- [12] Cordon, O., Damas, S., Santamari, J. (2006). "A fast and accurate approach for 3D image registration using the scartter search evolutionary algorithm". *Pattern Recognition letters*, Vol. 27, No 11, pp. 1191-1200.
- [13] Tan, X., Bhanu, B. (2006). "Fingerprint matching by genetic algorithms". *Pattern Recognition*, Vol. 39, No 3, pp. 465-477.
- [14] Nezamabadi-pour, H., Saryazdi, S., Rashedi, E. (2006). "Edge detection using ant algorithms". *Soft Computing*, Vol. 10, No 7, pp. 623-628.
- [15] Liu, Y., Yi, H., Wu, M., Chen, K. (2008). "A tabu search approach for the minimum sum-of-squares clustering problem". *Information Sciences*, Vol. 178, No 12, pp. 2680-2704.
- [16] Kalinlia, N., Karabogab, N. (2005). "Artificial immune algorithm for IIR filter design". *Engineering Applications of Artificial Intellingence*, Vol. 18, No 8, pp. 919-929.
- [17] Yao, X., Liu, Y., Lin, G. (1999). "Evolutionary programming made faster". *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 3, No 2, pp. 82-102.
- [18] Du, W., Li, B. (2008). "Multi-strategy ensemble particle swarm optimization for dynamic optimization". *Information Sciences*, Vol. 178, No 15, pp. 3096-3109.
- [19] Henshaw, R.E., Stephenson, R.O. (1974). "Homing in the gray wolf (canis lupus)". *Mammalogy*, Vol 55, No 1, pp. 234.
- [20] Seton, E.T. (1909). "[Life-histories of northern animals : an account of the mammals of Manitoba](#)", part II, New York City : Scribner, pp. 749-788.

- [21] Fox, M.W. (1972). “[22] Seton, E.T. (1909). “[Life-histories of northern animals: an account of the mammals of Manitoba](#)”. Mammalogy, Vol 53, No 3, pp. 637.
- [22] Mech, L.D. (1981). “The wolf: the ecology and behavior of an endangered species”. University of Minnesota Press.
- [23] Heptner, V. G. & Naumov, N. P. (1998), “Mammals of the soviet union”. Vol II, Part 1a, Sirenia and Carnivora (sea Cows; Wolves and Bears), pp 164-270.
- [24] Klein D.R. (1995). “The introduction, increase, and demise of wolves on coronation Island, Alaska. Pages 275–280 in Carbyn L, Fritts SH, Seip DR, eds. Ecology and Conservation of Wolves in a Changing World. Canadian Circumpolar Institute.
- [25] Mech, L.D. (1974). “Canis lupus”. Mammalian Species, No 37, pp. 1.
- [26] Rajabioun, R. (2011). “Cuckoo Optimization Algorithm”. Soft Computing, Vol. 11, No 8, pp. 5508–5518.

## Wolves Life Based Algorithm

Mohammad Bakhshipour, Farhad Namdari, Mojtaba Jabbari, Behrouz Rezaeealam

Department of Engineering, Faculty of Power Engineering, Lorestan University,  
Khorramabad, Iran, E-mail: bakhshipour\_m@yahoo.com  
Department of Engineering, Faculty of Power Engineering, Lorestan University,  
Khorramabad, Iran, E-mail: namdari.f@lu.ac.ir  
Department of Engineering, Faculty of Power Engineering, Lorestan University,  
Khorramabad, Iran, E-mail: mojtaba\_jabbarii@yahoo.com  
Department of Engineering, Faculty of Power Engineering, Lorestan University,  
Khorramabad, Iran, E-mail: rezaeealam@gmail.com

**Abstract.** In this paper a novel metaheuristic algorithm for solving continuous non-linear optimization problems is introduced. This algorithm is a cooperative global search inspired by the life of grey wolves. Wolves live in groups called packs consist of a family of adults, juveniles and yearlings. Social and territorial behaviors besides unique style of prey searching of these animals have been fundamental inspirations for development of Wolves Life Based Algorithm (WLBA). Each member of the pack has a sense of smell to detect prey. The individual with the highest rank in the community is called alpha wolf. With the supervision of wolf alpha and enjoying acute auditory perception of members when pursuing prey, collaborative hunt approach of wolves assists them to assemble at the most optimal location of territory and subsequently a successful hunt. Sense of wolves smell modeling with using normal probability Gaussian is done. Distance between grey wolves from the alpha wolf is effective on standard deviation and the mean of a normal Gaussian. In order to validate the effectiveness and applicability of the proposed algorithm, it has been applied to several standard benchmark functions. Finally, simulation results have been compared with those of some well-known algorithms. Comparison results demonstrate superiority of algorithm in terms of quality solutions and convergence speed.

**Keywords:** non-linear optimization; Wolves Life, normal probability Gaussian, smell.