

# کلونی زنبورهای مصنوعی سلولی

زهرا گل میرزایی

آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران

[z.golmirzaei@aut.ac.ir](mailto:z.golmirzaei@aut.ac.ir)

محمد رضا میبدی

آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران

[mmeybodi@aut.ac.ir](mailto:mmeybodi@aut.ac.ir)

**چکیده:** در این مقاله دو مدل ترکیبی که از ترکیب کلونی زنبورها و اتوماتای سلولی حاصل شده است به منظور بهینه سازی پیشنهاد می-گردد. اتوماتای سلولی وظیفه کاهش آنتروپی و افزایش سرعت همگرایی را به عهده دارد. در مدل پیشنهادی اول در هر سلول از اتوماتای یادگیر سلولی یک کلونی از زنبورها قرار داده می شود. به منظور بهبود جستجوی سراسری و همگرایی سریعتر، بدترین هرسلول با بهترین همسایگان به روش حریصانه جایگزین می گردد. در مرحله دوم در هر سلول یک زنبور قرار می گیرد. نتایج آزمایشها بر روی مسائل نمونه نشان میدهد که روش های ارائه شده از عملکرد بهتری در مقایسه با مدل کلونی زنبورهای مصنوعی استاندارد برخوردار است.

**واژه های کلیدی:** کلونی زنبور، اتوماتای سلولی، بهینه سازی

## 1- مقدمه

الگوریتم های غیرمیتنی بر فرومن عموماً الهام گرفته از رفتار زنبورها هستند. این الگوریتم ها از فرومن برای جهت یابی در یک محیط ناشناخته استفاده نمی کنند؛ بلکه به منظور جهت یابی، از یک استراتژی مستقیم به نام یکپارچه سازی مسیر استفاده می کنند [1].

کلونی زنبورهای مصنوعی<sup>1</sup> یک تکنیک کارا برای حل مسایل بهینه سازی است که بر مبنای رفتار کاوشگرانه زنبورهای عسل در طبیعت عمل می کند [2][3][4]. در این روش هر یک از زنبورها سعی می کنند با تعامل مستقیم و به اشتراک گذاشتن اطلاعات خود، بهترین راه حل های بدست آمده تا کنون را بر اساس قوانین احتمالی انتخاب نمایند. زنبورها با اعمال تغییرات محلی بر روی راه حل های انتخابی و انتخاب حریصانه تا حدودی از قرار گرفتن در بهینه محلی جلوگیری می نمایند. همچنین در این روش، با ارسال دوره های زنبورهای پیش آهنگ به منظور جستجوی تصادفی محیط، دامنه جستجوی سراسری افزایش می یابد.

در این مقاله دو مدل جدید پیشنهاد شده است که ترکیبی از اتوماتای سلولی و الگوریتم کلونی زنبورهای مصنوعی می باشد. در مدل اول، در هر سلول از اتوماتای سلولی یک کلونی از زنبورها قرار دارد. در حالی که در مدل دوم در هر سلول از اتوماتای سلولی یک زنبور قرار می دهیم. اتوماتای سلولی به منظور افزایش سرعت همگرایی استفاده می شود. بدین ترتیب نوعی همکاری، بین جمعیت هایی یک سلول و سلول های همسایه شکل می گیرد که باعث عملکرد بهتر مدل می گردد.

اتوماتای سلولی یک مدل ذاتاً موازی می باشد و این توازی ذاتی به کلونی زنبورهای مصنوعی سلولی نیز به ارث می رسد. با توجه به این مساله، مدل ارائه شده به صورت بالقوه، قابلیت اجرا شدن در زمانی برابر با زمان مدل استاندارد الگوریتم زنبورهای مصنوعی را داراست.

ادامه این گزارش بدین صورت سازماندهی شده است. بخش 2 به معرفی کلونی زنبورها و الگوریتم ABC می پردازد. در بخش 3 اتوماتای سلولی به اختصار شرح داده می شود. در بخش 4 مدل پیشنهادی ارائه می گردد. بخش پنجم اختصاص به ارایه نتایج شبیه سازیها دارد و بخش پایانی نتیجه گیری می باشد.

## 2- کلونی زنبورها

کلونی زنبورها در طبیعت شامل سه بخش منابع غذایی، زنبورهای کارگر و زنبورهای غیرکارگر می باشد [2]. زنبورهای کارگر صرفاً با منبع غذایی که در حال حاضر مشغول استخراج شهد از آن می باشند، در ارتباط هستند. به علاوه این زنبورها اطلاعاتی نظیر فاصله، جهت و میزان سودبخشی منبع را با خود حمل می کنند و در کندو این اطلاعات را با دیگران به اشتراک می گذارند. در حالی که زنبورهای غیرکارگر همواره به دنبال منابع غذایی جهت استخراج شهد آنان می باشند. زنبورهای غیرکارگر به دو گروه عمده پیش آهنگان<sup>2</sup> و تماشاگران<sup>3</sup> تقسیم می شوند. پیش آهنگان محیط پیرامون را برای یافتن منابع غذایی جدید کاوش می کنند و تماشاگران در کندو منتظر می مانند و اطلاعات را از زنبورهای کارگر دریافت می کنند.

زنبورهای عسل از یک سیستم ارتباطی پیچیده استفاده می کنند. این سیستم آنها را قادر می سازد اطلاعاتی در مورد محل و کیفیت منابع غذایی موجود در خارج از کندو بدست آورند. ارتباط بین زنبورها توسط زبان رقص انجام می گیرد. زبان رقص شامل مجموعه ای از حرکات پشت سر هم است که توسط زنبور انجام می گیرد. این رقص که رقص چرخشی<sup>4</sup> نام دارد، حاوی اطلاعاتی در مورد کیفیت منبع، مکان و موقعیت آن می باشد. در این رقص تعداد چرخش نمایانگر فاصله و مدت زمان چرخش نشان دهنده کیفیت منبع غذایی است. زنبور تماشاگر می تواند تعداد زیادی رقص را مشاهده کند و یکی از منابع غذایی را انتخاب نماید. با توجه به مدت زمان چرخش، احتمال انتخاب منابع غذایی با کیفیت بیشتر، بالاتر خواهد بود.

## 2-1 الگوریتم کلونی زنبورهای مصنوعی

الگوریتم کلونی زنبورهای مصنوعی (ABC) گزارش شده در [2] الهام گرفته از رفتار زنبورها در طبیعت می باشد. مشابه با کلونی زنبورهای طبیعی، این الگوریتم نیز از سه گروه زنبورهای کارگر، تماشاگر و پیش‌آهنگ تشکیل شده است.

در ابتدا مجموعه‌ای از منابع غذایی به طور تصادفی انتخاب می‌شوند. زنبورهای کارگر به منابع مراجعه کرده و میزان شهد آنها را محاسبه می‌کنند. سپس این زنبورها به کندو بازگشته و اطلاعات خود را با دیگر زنبورها (تماشاگران) به اشتراک می‌گذارند. در مرحله دوم بعد از تبادل اطلاعات، هر زنبور کارگر به سمت منبعی می‌رود که قبلاً دیده است و ممکن است براساس اطلاعات دیداری که از محیط می‌گیرد یک منبع جدید در همسایگی منبع قبلی انتخاب کند. بدین معنی که زنبور، با توجه به رنگ و نوع گل تصمیم می‌گیرد که به همان منبع قبلی برود و یا منبع جدیدی را انتخاب نماید. در مرحله سوم تماشاگران با توجه با اطلاعاتی که از زنبورهای کارگر در محل رقص گرفته‌اند یک محدوده منبع غذایی را بر مبنای شهد آن ترجیح می‌دهند. بعد از رسیدن به محل ممکن است با توجه با اطلاعات دیداری یک منبع جدید را که در همان اطراف قرار دارد انتخاب کنند. زمانی که یک منبع پایان پذیرد یا ترک شود یک منبع جدید که به طور تصادفی توسط پیش‌آهنگان یافت شده است، جایگزین می‌شود. این چرخه تا برآورده شدن نیازها تکرار خواهد شد. در این مدل در هر چرخه حداکثر یک پیش‌آهنگ وجود دارد و تعداد زنبورهای کارگر و تماشاگران برابر است.

همان‌طور که گفته شد هرکدام از زنبورهای کارگر و یا تماشاگران ممکن است تغییراتی بر روی موقعیت منبع غذایی (راه حل) در حافظه خود ایجاد کنند و شایستگی آن را محاسبه کرده، در صورتی که میزان شایستگی آن از راه حل قدیمی بیشتر باشد، راه حل جدید انتخاب می‌گردد و راه حل قدیمی فراموش می‌شود در غیر این صورت همان راه حل قدیمی باقی خواهد ماند. این تغییرات توسط رابطه زیر بدست می‌آید:

$$v_{ij} = x_{ij} + f_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (1)$$

$$i \neq k, k \in \{1, 2, \dots, K, BN\}, j \in \{1, 2, \dots, D\}, f_{ij} \in [-1, 1]$$

در رابطه (1)،  $f_{ij}$  یک عدد تصادفی در بازه‌ی  $[-1, 1]$  است. این متغیر تولید موقعیت منابع غذایی همسایه، در اطراف  $x_{ij}$  را کنترل می‌کند. در این رابطه،  $BN$  تعداد زنبورهای کارگر می‌باشد و متغیر  $K$  به صورت تصادفی تولید می‌گردد و با  $i$  متفاوت خواهد بود.

براساس رابطه (1)، هر چه تفاوت بین  $x_{i,k}$  و  $x_{i,j}$  کاهش یابد، انحراف از موقعیت  $x_{i,j}$  نیز کاهش خواهد یافت. در حقیقت در این رابطه سعی می‌کنیم یک بعد از ابعاد یکی از موقعیت‌ها را انتخاب کرده و با توجه به میزان  $f$  به سمت آن و یا در خلاف جهت آن حرکت کنی؛ همانند الگوریتم حرکت جمعی ذرات (PSO) [6]، با این تفاوت که در

اینجا با انتخاب تصادفی سعی می‌کنیم تا حدودی ایجاد تنوع نموده و از قرار گرفتن در بهینه محلی جلوگیری نماییم.

بعد از اتمام فرایند جستجو، تماشاگران اطلاعات هر کدام از زنبورهای کارگر را ارزیابی می‌کنند و با یک احتمال که متناسب است با میزان کیفیت شهد منبع، یکی از منابع غذایی را انتخاب می‌کنند. این احتمال از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{n=1}^{SN} fit_n} \quad (2)$$

در این رابطه  $fit_i$ ، میزان شایستگی منبع غذایی متناظر با زنبور  $i$ ام و  $SN$  تعداد راه‌حل‌های موجود می‌باشد.

در صورتی که یک منبع پایان پذیرد و یا کیفیت یک منبع غذایی مناسب نباشد، زنبور کارگر آن را رها کرده و به یک پیش‌آهنگ تبدیل می‌شود. این رفتار بدین صورت مدل می‌گردد که اگر شایستگی یک نقطه بعد از چندین تکرار (که تعداد آن را با پارامتر  $limit$  نمایش می‌دهیم) بهبود نیابد، بدین معنی است که در یک بهینه محلی قرار داریم بنابراین آن نقطه حذف می‌شود و یک نقطه جدید به صورت تصادفی تولید می‌گردد.

### 3- اتوماتای سلولی

اتوماتای سلولی سیستم‌هایی گسسته، غیر مرکزی و خود سازمانده هستند، که قادرند با شروع از وضعیتی کاملاً نامرتب، ساختاری کاملاً مرتب تولید کنند. به عبارت دیگر این سیستم‌ها قادر به کاهش آنتروپی در طول زمان هستند [5]. در واقع اتوماتای سلولی، مدلی ریاضی برای سیستم‌های پیچیده با اجزای تعریف شده ساده با تعاملات محلی است [7][8].

اتوماتای سلولی را می‌توان به صورت چهارتایی  $CA = \langle L, S, N, F \rangle$  نشان داد که در آن  $L$  شبکه ای منظم و  $n$  بعدی از عناصر است. عناصر این شبکه را سلول می‌نامند. این عناصر می‌توانند در ابعاد یک، دو یا بیشتر در کنار هم پیچیده شده باشند.  $S$  مجموعه متناهی از حالت‌هاست که هر سلول در هر لحظه از زمان می‌تواند یکی از این حالت‌ها را بپذیرد.  $N$  مجموعه ای متناهی از همسایگی هاست. بالاخره  $f: S^N \rightarrow S$ ، تابع انتقال شبکه، که در آن  $n$  بعد شبکه است. این تابع به ازای تمام سلولهای شبکه یکسان است.

در اتوماتای سلولی، همسایگی سلول نیز باید مشخص باشد. منظور از همسایگی هر سلول، سلول‌هایی هستند که بر حالت بعدی هر سلول تاثیر می‌گذارند. دو همسایگی معروف در اتوماتای سلولی دو بعدی که مبتنی بر گرید مربعی هستند، همسایگی مور و همسایگی ون نیومن نام دارد.

از مشکلات مهم اتوماتای سلولی تعیین فرم قطعی قوانین است. زیرا در اغلب سیستم‌ها نویز و عدم قطعیت وجود دارند که سیستم را

تحت تاثیر قرار میدهند. لذا تعیین فرم قطعی قوانین در این سیستمها کاری مشکل و در برخی موارد غیر ممکن است.

#### 4- الگوریتم پیشنهادی

در این بخش دو مدل جدید از ترکیب الگوریتم زنبورها (ABC) و اتوماتای سلولی ارائه شده است. همانند الگوریتم زنبورها (ABC)، در این مدل ها نیز یک جمعیت از زنبورها وجود دارد و هر یک از زنبورها نشان دهنده یک موقعیت یا منبع غذایی می باشند.

##### 4-1- مدل اول

در این مدل به هر سلول از اتوماتای سلولی یک کلونی اختصاص می دهیم. در ابتدا، در هر کلونی یک جمعیت اولیه به صورت تصادفی یکنواخت تولید می شود. سلولها به طور موازی کار خود را آغاز نموده و هر کلونی با توجه به الگوریتم ABC محیط را کاوش می نماید. در پایان هر تکرار هر سلول بهترین (cbest) و بدترین (cworst) منبع غذایی (موقعیت) بدست آمده توسط کلونی را محاسبه و ذخیره می نماید. در صورتی که به دنبال کمینه (بیشینه) تابع باشیم، بهترین موقعیت، مختصاتی است که در آن نقطه تابع هدف کمترین (بیشترین) مقدار موجود در این تکرار را داشته باشد؛ و بدترین موقعیت مختصاتی می باشد که در آن تابع هدف بیشترین (کمترین) مقدار موجود در این تکرار را دارا باشد. جهت محاسبه بهترین و بدترین کافی است که موقعیت متناظر با کمترین و بیشترین مقدار تابع هدف را بدست آوریم. سپس هر سلول به صورت حریصانه بدترین منبع غذایی خود را با بهترین همسایه ها جایگزین می نماید.

##### 4-2- مدل دوم

در این مدل در هر سلول یک زنبور جای می گیرد. زنبورها با استفاده از موقعیت همسایگان، موقعیت بعدی خود را تعیین می نمایند. در الگوریتم زنبورها (ABC)، هر زنبور برای بهنگام کردن موقعیت خود از رابطه (1) استفاده می نمود. متغیر  $k$  در رابطه (1)، به صورت تصادفی از بین تمامی زنبورها انتخاب می شود. در حالی که در این مدل متغیر  $k$  به صورت تصادفی از میان همسایگان زنبور مورد نظر انتخاب می شود. بنابراین رابطه (1) به صورت زیر تغییر خواهد نمود:

$$v_{ij} = x_{ij} + f_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (3)$$

$$i \neq k, k \in \{1, 2, K, ngb\}, j \in \{1, 2, K, D\}, f_{ij} \in [-1, 1]$$

که متغیر ngb تعداد همسایگان آن زنبور می باشد.

بنابراین در صورتی که موقعیت جدید از موقعیت قبلی بهتر باشد (همانند الگوریتم ABC) هر زنبور راستای موقعیت یکی از همسایگان خود حرکت خواهد نمود.

#### 5- نتایج شبیه سازی

بر اساس نتایج گزارش شده در [2][3] الگوریتم ABC بسیار بهتر از الگوریتم استاندارد PSO، ژنتیک و DE عمل می نماید. بنابراین در

این مقاله مدل های پیشنهادی را تنها با الگوریتم ABC مقایسه خواهیم نمود.

آزمایشات بر روی چهار تابع تست استاندارد صورت گرفته است که معمولاً به عنوان معیار سنجش الگوریتم های بهینه سازی مورد استفاده قرار می گیرند [10]. توابع استفاده شده، توابع اسفیر، روزنبراک، آکلی و رستریجین می باشند که به ترتیب توسط معادلات (4) تا (7) تعریف شده اند.

$$f(x) = \sum_{i=1}^D x_i^2 \quad -100 \leq x_i \leq 100 \quad (4)$$

$$f(x) = \sum_{i=1}^D (100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2) \quad -15 \leq x_i \leq 15 \quad (5)$$

$$f(x) = 20 + \frac{e}{\sqrt{2\pi}} - 20e^{\left(-\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sum_{i=1}^D x_i^2\right)} - \frac{1}{e} \sum_{i=1}^D \cos(2\pi x_i) \quad -32.768 \leq x_i \leq 32.768 \quad (6)$$

$$f(x) = \sum_{i=1}^D (x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10) \quad -5.12 \leq x_i \leq 5.12 \quad (7)$$

توابع فوق همگی دارای بهینه سراسری با مقدار 0 هستند. آزمایشات با مقادیر  $n$  برابر با 10، 20 و 30 صورت گرفته است. اتوماتای سلولی با 16 سلول و همسایگی ون نیومن مورد استفاده قرار گرفته است. جمعیت کلونی برابر با 100 می باشد و تعداد زنبورهای کارگر و تماشاگر با یکدیگر برابر است. همچنین در هر تکرار حداکثر یک پیش-آهنگ وجود خواهد داشت. مقدار متغیر limit همانند [2] مقداردهی شده است.

آزمایشات 30 بار تکرار شده اند و میانگین، بهترین موقعیت، میانگین و واریانس نتایج سی بار اجرا، ارائه شده است. نتایج بدست آمده در جدولهای 1 تا 4 مشاهده میشوند. همانطور که در جداول (1) تا (4) مشاهده می شود، استفاده از مدل اول کارایی الگوریتم ABC را بهبود می دهد.

جدول 1- نتایج مقایسه دو الگوریتم PSO و CLA-PSO برای تابع اسفیر (400 نسل)

ابعاد	الگوریتم	بهترین	متوسط	واریانس
10	ABC	5.15e-14	4.44e-5	2.24e-7
	مدل اول	5.80e-17	2.44e-16	1.46e-32
	مدل دوم	1.25e-16	5.79e-4	0.0081
20	ABC	3.6e-7	68.862	1.001e5
	مدل اول	8.28e-16	5.81e-15	1e-28
	مدل دوم	4.53e-9	0.85	79
30	ABC	1.072e-5	836.142	1.836e6
	مدل اول	4.30e-9	1.71e-8	1.60e-16
	مدل دوم	4.30e-7	10.12	1.77e4

محلی استفاده می‌گردد.. نتایج شبیه سازی‌ها نشان داد که مدل ارائه شده پاسخهای بهتری در مقایسه با مدل ABC استاندارد تولید میکند.

## مراجع

- [1] Lemmens, N., De Jomg, S., Tuyls, k. and Nowe, A., "A Bee Algorithm for Multi-Agent Systems", 2007.
- [2] Karaboga, D., and Basturk, B., "A powerful and Efficient Algorithm for Numerical Function Optimization: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm" Journal of Global Optimizaton, vol. 39, pp. 459-471, November 2007.
- [3] Karaboga, D., and Basturk, B., "On the Performance of Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm" Journal of Soft computing, vol. 8, pp. 687-697, January 2008.
- [4] Karaboga, D., and Basturk, B., "Artificial Bee Colony (ABC) Optimization Algorithm for Solving constrained Optimization Problems", Department of Computer Engineering, University of Erciyes, Tech. Rep. No. 2007-02, 2007.
- [5] Martin, O., Odluzko, A., and Wolfram, S., "Algedric properties of Cellular Automata", Math. Phys., vol. 93 , pp. 219-258, 1984.
- [6] Kennedy, J. and Eberhart, R. C., "Particle Swarm Optimization", Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, Piscataway, NJ, pp. 1942-1948, 1995.
- [7] Anvarinejad, T. and Meybodi, M. R., "Fuzzy Cellular Automata", Proceedings of The 5th Iranian Conference on Fuzzy Systems, Imam Hussein University, Tehran, pp.57-65, Sept. 2004
- [8] Wolfram, S., "Cellular Automata", <http://www.stephenwolfram.com/publications/articles/ca>
- [9] Wolfram, Mathworld, <http://mathworld.wolfram.com/CellularAutomaton.html>
- [10] Liang, J.J., Qin, A.K., "Comprehensive Learning Particle Swarm Optimizer for Global Optimization of Multimodal Functions", Proceedings of IEEE Transaction of Evolutionary Computation, vol. 10, No. 3, June 2006.

<sup>1</sup> Artificial Bee Colony (ABC)

<sup>2</sup> Scouts

<sup>3</sup> On-Lookers

<sup>4</sup> Waggle dance

جدول 2- نتایج مقایسه دو الگوریتم PSO و CLA-PSO برای تابع روزنبراک (500 نسل)

ابعاد	الگوریتم	بهترین	متوسط	واریانس
10	ABC	1e-4	4.04	32.61
	مدل اول	1.67e-15	1.37e-14	3.21e-28
	مدل دوم	3.87e-6	0.040	0.41
20	ABC	0.0062	9.46	159.30
	مدل اول	3.54e-8	8.92e-8	2.77e-15
	مدل دوم	1.39e-5	0.63	595.70
30	ABC	0.0205	274.20	1.45e6
	مدل اول	0.0140	0.015	1.28e-6
	مدل دوم	5.98e-4	15.88	1.86e5

جدول 3- نتایج مقایسه دو الگوریتم PSO و CLA-PSO برای تابع آکلی (500 نسل)

ابعاد	الگوریتم	بهترین	متوسط	واریانس
10	ABC	3.38e-10	1.11e-7	2.51e-13
	مدل اول	3.99e-15	1.67e-14	4.21e-29
	مدل دوم	4.32e-10	1.24e-4	1.28e-4
20	ABC	5.72e-4	0.32	0.49
	مدل اول	2.04e-11	1.27e-10	1.11e-20
	مدل دوم	2.56e-5	0.014	0.011
30	ABC	0.029	1.88	1.86
	مدل اول	2.55e-5	6.50e-5	9.88e-10
	مدل دوم	0.014	0.042	0.03

جدول 4- نتایج مقایسه دو الگوریتم PSO و CLA-PSO برای تابع رستریجین (500 نسل)

ابعاد	الگوریتم	بهترین	متوسط	واریانس
10	ABC	2.36e-15	0.65	0.71
	مدل اول	1.54e-15	55.08	4.27
	مدل دوم	1.36e-16	0.019	0.01
20	ABC	2.67e-6	6.58	20.51
	مدل اول	1.12e-6	1.12e-6	7.15e-7
	مدل دوم	0.0006	0.07	0.20
30	ABC	5.04	19.04	60.62
	مدل اول	7.29	7.29	7.76e-3
	مدل دوم	0.058	0.23	1.13

## 6- نتیجه گیری

در این مقاله دو مدل جدید برای بهینه سازی که بر پایه دو الگوریتم کلونی زنبورهای مصنوعی و اتوماتای سلولی می‌باشد، پیشنهاد گردید. در مدل اول در هر سلول اتوماتای سلولی یک کلونی قرار دارد. و در مدل دوم در هر سلول یک زنبور قرار می‌گیرد. اتوماتای سلولی، به منظور افزایش سرعت همگرایی و کاهش احتمال قرار گرفتن در بهینه