

# رایانش تکاملی

ترم اول تحصیلی ۱۴۰۵ - ۱۴۰۴

## تمرین اول



دانشکده مهندسی کامپیووتر

گروه هوش مصنوعی و رباتیک

TA: علی شاهزمانی

استاد درس: دکتر حسین کارشناس

هدف از تمرینی که در اختیار دارید آشنایی با نحوه پیاده‌سازی الگوریتم‌های تکاملی و بدست آوردن درک جامع از نحوه تأثیرگذاری مقادیر مختلف مؤلفه‌ها و پارامترهای یک الگوریتم تکاملی با بررسی عملکرد آن در حل مسائل مختلف است. چارچوب الگوریتم تکاملی مد نظر در این تمرین در بخش توضیحات معرفی شده است. مسائلی که باید در این تمرین حل شوند در بخش‌های ۱ تا ۴ توضیح داده شده‌اند. دانشجویان موظفاند هر یک از این مسائل را به عنوان یک مسئله‌ی بهینه‌سازی تعریف کرده و سپس با استفاده از الگوریتم تکاملی، مطابق با دستورالعمل ارائه شده در هر بخش، آن را حل کرده و نتایج حاصل را گزارش دهند. در پایان، مواردی که باید در قالب این تمرین تحويل داده شوند، در بخش تحويل ذکر شده‌اند. مهلت تحويل این تمرین پایان روز جمعه ۲۳ آبان ۱۴۰۴ خواهد بود.

## توضیحات

چارچوب اصلی الگوریتم تکاملی مد نظر در این تمرین در شکل ۱ آورده شده است.

### Algorithm: EA

```
1  pop = Generate popSize initial candidate solutions of size problemSize
2  popFit = Evaluate pop using f(x)
3  While not Teriminate():
4      parentsPool = Select popSize solutions from pop using popFit
5      parentPairs = Shuffle parentsPool and randomly Pair solutions
6      offspr = Perform Recombination on parentPairs with Pc
7      offspr = Perform Mutation on offspr with Pm
8      offsprFit = Evaluate offspr using f(x)
9      [pop, popFit] = Select best popSize solutions from [pop + offspr] using popFit and offsprFit
10     Return best solution in pop
```

شکل ۱: چارچوب الگوریتم تکاملی مورد استفاده در این تمرین

در گام اول این الگوریتم به صورت تصادفی یک جمعیت از راهحل‌ها با طول مشخص تولید می‌کند. در گام دوم با استفاده ازتابع برآزنده‌گی مرتبط با مسئله مورد نظر، راهحل‌های جمعیت ارزیابی می‌شوند، و سپس در حلقه مشخص شده در خطوط ۳ تا ۹ روند

اصلی تکامل صورت می‌گیرد. در این حلقه، در خط ۴ با استفاده از یک روش انتخاب یک نمونه‌برداری از روی جمعیت انجام گرفته و والدین بدست می‌آیند. گزینه‌های متفاوتی که باید برای این مؤلفه در نظر گرفته شود در ادامه معرفی خواهد شد. پس از ایجاد جفت‌های تصادفی از روی والدین انتخاب شده (خط ۵) روی هر جفت والد با احتمال  $P_c$  عملگر بازترکیب اعمال شده و دو فرزند تولید می‌شود. گزینه‌های متفاوتی که باید برای عملگر بازترکیب مورد بررسی قرار گیرد در ادامه مشخص شده است. کلیه فرزندان تولید شده از روی همه جفت والدین، جمعیت اولیه فرزندان را تشکیل می‌دهند (خط ۶). هر یک از فرزندان به صورت جداگانه جهش داده می‌شود تا جمعیت نهایی فرزندان ایجاد شود (خط ۷). برای این منظور مقدار هر ژن از هر فرزند با احتمال  $P_m$  تغییر می‌کند. در نهایت پس از ارزیابی فرزندان جدید تولید شده، در خط ۹ بهترین فرد، از مجموعه مشترک ایجاد شده از افراد جمعیت و فرزندان جدید، برای حضور در جمعیت نسل بعد انتخاب می‌شوند. در این راستا ابتدا افراد جمعیت و فرزندان جدید در کنار هم در یک لیست مشترک قرار می‌گیرند، سپس این لیست بر اساس مقادیر برازنده‌گی مرتب‌سازی می‌شود و در انتهای، افراد بالای لیست که دارای بیشترین برازنده‌گی هستند انتخاب خواهند شد. شرایط توقف حلقه تکامل در خط ۳ توسط تابع خاتمه تعیین می‌شود که شامل تحقق یکی از دو مورد زیر است:

- یافتن راه حل بهینه مسئله
- رسیدن تعداد تکرارهای حلقه (نسل‌ها) به ۴۰۰

پس از پایان حلقه تکامل، بهترین راه حل بدست آمده در خط ۱۰ به عنوان پاسخ الگوریتم برگردانده می‌شود.

# ۱ - مسئله کوله‌پشتی با نمایش دودویی

مسئله کوله‌پشتی<sup>۱</sup>، یکی از مسائل کلاسیک و شناخته شده در حوزه بهینه‌سازی ترکیباتی است. در این مسئله، مجموعه‌ای از اشیا در اختیار داریم که هر کدام دارای وزن ( $W_i$ ) و ارزش ( $v_i$ ) مشخصی هستند. هدف، انتخاب زیرمجموعه‌ای از این اشیا است به گونه‌ای که مجموع ارزش آن‌ها بیشترین مقدار ممکن باشد، در حالی که مجموع وزنشان از ظرفیت مشخص کوله‌پشتی ( $W$ ) تجاوز نکند.

در این تمرین، توابع برآزندگی مختلفی برای راه حل‌ها معرفی شده‌اند که در جدول ۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱: توابع برآزندگی مسئله کوله‌پشتی با نمایش دودویی

نام تابع	فرمول ریاضی
Simple Knapsack	$f(\vec{x}) = \sum_{i=1}^{problemSize} x_i v_i$
Full Knapsack	$f(\vec{x}) = \prod_{i=1}^{problemSize} x_i v_i$
Stupid Knapsack	$f(\vec{x}) = problemSize^2 \times \prod_{i=1}^{problemSize} x_i v_i - \sum_{i=1}^{problemSize} x_i v_i$

هر راه حل به صورت بردار دودویی (رشته‌های بیتی)  $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ،  $x_i \in \{0, 1\}$  می‌شود که در آن  $x_i = 1$  نشان‌دهنده انتخاب آیتم  $i$ -ام است.

در همه حالت‌ها قید ظرفیت باید رعایت شود:

$$\sum_{i=1}^{problemSize} x_i w_i \leq W$$

در غیر این صورت مقدار تابع برآزندگی برابر با ۰ در نظر گرفته می‌شود:

$$f(\vec{x}) = 0 \quad if \quad \sum_{i=1}^{problemSize} x_i w_i > W$$

---

<sup>1</sup> Knapsack

سوال)

با توجه به جدول زیر به سوالات پاسخ دهید (پاسخ‌ها باید بصورت دستی و بدون استفاده از الگوریتم محاسبه شوند):

ارزش ( $v_i$ )	وزن ( $w_i$ )	آیتم
3	1	1
5	2	2
2	1	3
4	1	4
6	2	5

$$\text{ظرفیت کوله‌پشتی: } W = 10$$

- به ازای هر یک از توابع برازنده‌ی جدول ۱، راه حل‌های (بهینه) را مشخص کنید.
- مقدار برازنده‌ی هر یک از توابع را بنویسید.

در حل این مسئله برای بازترکیب والدین از تقطیع تکنقطه‌ای و برای جهش افراد از عملگر جهش تعویض بیت‌ها استفاده کنید.

✓ در حل مسائل زیر، فقط برای زمانی که از تابع ارزیابی **Full Knapsack** استفاده می‌کنید، قید ظرفیت کوله‌پشتی را در نظر نگیرید.

(الف) نمودار تکامل حاصل از اجرای الگوریتم EA با جمعیتی به اندازه ۱۰۰، احتمال بازترکیب ۰.۸ و احتمال جهش ۰.۲ وقتی که از روش چرخ گردونه (برای توضیح از نحوه عملکرد این روش به این [لينک](#) مراجعه کنید) برای انتخاب استفاده می‌شود را در حل نمونه‌ای از این مسئله با اندازه ۱۰ و ظرفیت کوله‌پشتی ۲۲ که دیتاست آن در فایل‌ها با نام `knapsack_dataset_n10` موجود است ترسیم کنید. در این نمودار بهترین، بدترین و متوسط برازنده‌ی افراد جمعیت در هر نسل را نشان دهید.

(ب) با توجه به ماهیت تصادفی الگوریتم‌های تکاملی، حداقل ۶ اجرای مختلف از الگوریتم EA را با مشخصات تعیین شده در سوال قبل انجام داده و سپس نموداری رسم کنید که تغییرات میانگین و انحراف معیار متوسط برازنده‌ی جمعیت در هر نسل را، بر اساس این اجراهای مختلف، نشان دهد.

(پ) میانگین و انحراف معیار عملکرد الگوریتم EA در حل نمونه‌هایی از این مسئله با اندازه‌های  $\{10, 20, 40, 100\}$  به ترتیب با ظرفیت کوله‌پشتی  $\{22, 22, 39, 213, 130\}$  را بررسی کرده (دیتاست‌ها همراه با تمرین ارائه شده‌اند، نام هر دیتاست بصورت `[problem_size] knapsack_dataset_n` قابل مشاهده است) و در قالب یک نمودار نمایش دهید. متوسط برازنده‌ی افراد جمعیت نهایی الگوریتم در هر اجرا باید مبنای محاسبه عملکرد الگوریتم باشد.

(ت) تاثیر تعداد تکرارهای حلقه در عملکرد الگوریتم EA را با بررسی مقادیر  $\{50, 100, 200, 300\}$  برای تعداد تکرارهای حلقه در حل نمونه‌هایی از این مسئله با اندازه‌های مشخص شده در سوال قبلی ارزیابی و بصورت نمودار دو بعدی ترسیم کنید (در هر نمودار، یکی از اندازه‌های مشخص شده در قسمت قبل را ثابت در نظر گرفته و تعداد تکرارهای حلقه را برای آن بررسی کنید. این کار را برای سایر اندازه‌ها انجام دهید).

(ث) تاثیر اندازه جمعیت در عملکرد الگوریتم EA را با بررسی مقادیر  $\{50, 100, 200, 300\}$  برای جمعیت در حل نمونه‌هایی از این مسئله با اندازه‌های مشخص شده در قسمت "پ" ارزیابی و نمودار دو بعدی ترسیم کنید.

(ج) تاثیر احتمال بازترکیب در عملکرد الگوریتم EA را با بررسی مقادیر  $\{0.6, 0.7, 0.9, 1\}$  برای احتمال بازترکیب در حل نمونه‌هایی از این مسئله با اندازه‌های مشخص شده در قسمت "پ" ارزیابی و بصورت نمودار دو بعدی ترسیم کنید.

(چ) تاثیر احتمال جهش در عملکرد الگوریتم EA را با بررسی مقادیر  $\{0.05, 0.1, 0.2, 0.3\}$  برای احتمال جهش در حل نمونه‌هایی از این مسئله با اندازه‌های مشخص شده در قسمت "پ" ارزیابی و بصورت نمودار دو بعدی ترسیم کنید.

<p>(اختیاری) تاثیر استفاده از روش رقابت دودویی با جایگزینی برای انتخاب والدین را فقط برای بهترین ترکیب مشخص شده در قسمت "ج" بررسی کرده و با ترسیم نمودارهای مربوطه گزارش دهید.</p> <p>(اختیاری) تاثیر استفاده از تقطیع یکنواخت برای بازترکیب والدین را فقط برای بهترین ترکیب مشخص شده در قسمت "ج" بررسی کرده و با ترسیم نمودارهای مربوطه گزارش دهید.</p>	(ج) (خ) (خ)
--	-------------------

## ۲ - مسئله گروه‌بندی اعداد با نمایش عددی

فرض کنید مجموعه‌ای شامل اعداد ۱ تا  $n$  داریم که باید به  $k$  گروه تقسیم شوند. هر عدد باید فقط و فقط به یکی از این  $k$  گروه اختصاص یابد که گروه آن با یک عدد صحیح مشخص می‌شود. بنابراین، هر راه حل را می‌توان به صورت یک آرایه عددی به طول  $n$  نمایش داد که هر عنصر آن مقداری بین ۱ تا  $k$  دارد و گروه متناظر با آن عدد را نشان می‌دهد. در این مسئله دو قید وجود دارد:

- برخی عناصر با هم ناسازگار هستند و نمی‌توانند در یک گروه قرار گیرند. (قید سخت<sup>۲</sup>)
- مجموع مقادیر عناصر در هر گروه تا حد امکان متعادل باشد، یعنی اختلاف مجموع اعداد داخل یک گروه با سایر گروه‌ها کمینه شود. (قید نرم<sup>۳</sup>)

قید سخت قیدی است که حتماً باید رعایت شود ولی قید نرم در صورت عدم رعایت مشکلی ایجاد نمی‌کند. تابع هدف این مسئله باید با توجه به این قیدها تعریف شود.

در حل این مسئله برای بازترکیب والدین از تقطیع دونقطه‌ای و برای جهش افراد از عملگر جهش خزیدن استفاده کنید.

<p>نمودار تکامل حاصل از اجرای الگوریتم EA با جمعیتی به اندازه ۱۰۰، احتمال بازترکیب ۰.۸ و احتمال جهش ۰.۲ و قتي که از روش متناسب با برازنده‌گی برای انتخاب استفاده می‌شود را در حل نمونه‌ای از این مسئله با قید سخت عدم وجود دو عدد متوالی و همچنین عدم وجود دو عدد اول در یک گروه، با اندازه ۱۰ (اعداد ۱ تا ۱۰) و <math>5 = k</math> ترسیم کنید. در این نمودار بهترین، بدترین و متوسط برازنده‌گی افراد جمعیت در هر نسل را نشان دهید.</p> <p>با توجه به ماهیت تصادفی الگوریتم‌های تکاملی، حداقل ۶ اجرای مختلف از الگوریتم EA را با مشخصات تعیین شده در سوال قبل انجام داده و سپس نموداری رسم کنید که تغییرات میانگین و انحراف معیار متوسط برازنده‌گی جمعیت در هر نسل را، بر اساس این اجراهای مختلف، نشان دهد.</p> <p>میانگین و انحراف معیار عملکرد الگوریتم EA در حل نمونه‌هایی از این مسئله با اندازه‌های {۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰} را بررسی کرده و در قالب یک نمودار نمایش دهید. متوسط برازنده‌گی افراد جمعیت نهایی الگوریتم در هر اجرا باید مبنای محاسبه عملکرد الگوریتم باشد.</p> <p>تأثیر تعداد تکرارهای حلقه در عملکرد الگوریتم EA را با بررسی مقادیر {۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰} برای تعداد تکرارهای حلقه در حل نمونه‌هایی از این مسئله با اندازه‌های مشخص شده در سوال قبلی ارزیابی و بصورت نمودار دو بعدی ترسیم کنید.</p>	(الف) (ب) (پ) (ت)
--	----------------------------

<sup>2</sup> Hard constraint

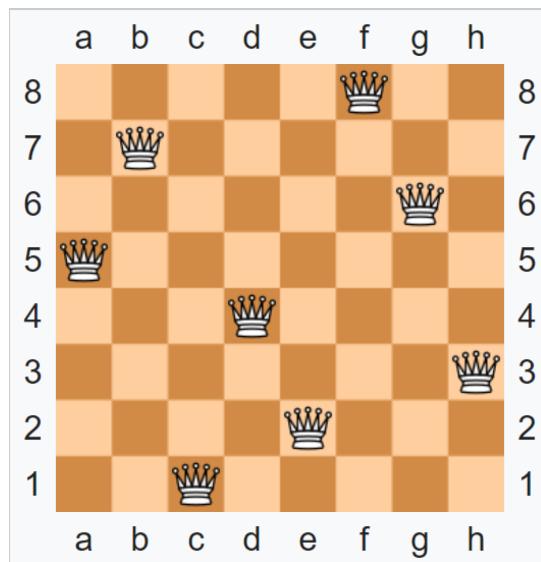
<sup>3</sup> Soft constraint

تاثیر اندازه جمعیت در عملکرد الگوریتم EA را با بررسی مقادیر $\{300, 200, 100, 50\}$ برای جمعیت در حل نمونه‌هایی از این مسئله با اندازه‌های مشخص شده در قسمت "پ" و بصورت نمودار دو بعدی ترسیم کنید.	ث)
تاثیر احتمال بازترکیب در عملکرد الگوریتم EA را با بررسی مقادیر $\{0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9\}$ برای احتمال بازترکیب در حل نمونه‌هایی از این مسئله با اندازه‌های مشخص شده در قسمت "پ" ارزیابی و بصورت نمودار دو بعدی ترسیم کنید.	ج)
تاثیر احتمال جهش در عملکرد الگوریتم EA را با بررسی مقادیر $\{0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7\}$ برای احتمال جهش در حل نمونه‌هایی از این مسئله با اندازه‌های مشخص شده در قسمت "پ" ارزیابی و بصورت نمودار دو بعدی ترسیم کنید.	چ)
بهترین راه حل بدست آمده در هر یک از سوالات قبلی را مشخص کنید.	ح)
(اختیاری) تاثیر استفاده از روش رقابت دودویی با جایگزینی برای انتخاب والدین را فقط برای بهترین ترکیب مشخص شده در قسمت "ح" بررسی کرده و با ترسیم نمودارهای مربوطه گزارش دهید.	خ)

### ۳ - مسئله چند وزیر<sup>۴</sup> با نمایش جایگشت

مسئله چند وزیر یکی از مسائل معروف است که بر اساس آن باید  $n$  وزیر شطرنج در یک صفحه  $n \times n$  شطرنج به گونه‌ای قرار داده شوند که هیچ یک از این وزیرها دیگری را تهدید نکند. با توجه به اینکه وزیر به صورت افقی، عمودی و اریب حرکت می‌کند، باید هر وزیر را در طول، عرض و قطر متفاوتی قرار داد.

در شکل زیر نمونه‌ای از پاسخ معماهی ۸-وزیر آورده شده است.



شکل ۲: نمونه پاسخ معماهی ۸-وزیر

مسئله‌ی ۸-وزیر دارای ۹۲ جواب است ([مرجع](#)) که ۱۲ جواب آن منحصر به فرد است یعنی بقیه جواب‌ها از تقارن جواب‌های اصلی به دست می‌آید.

<sup>4</sup> N-Queen

در حل این مسئله برای بازترکیب والدین از تقطیع چرخه‌ای و برای جهش افراد از عملگر جهش درج استفاده کنید.

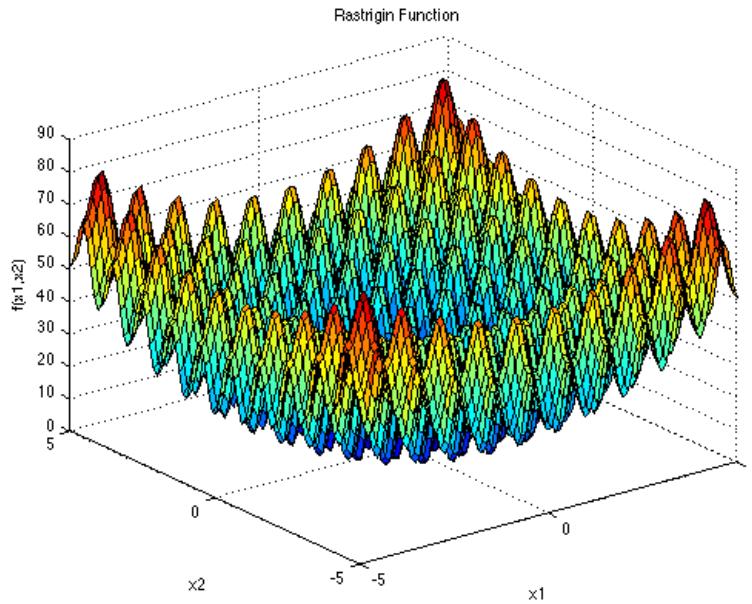
الف)	نمودار تکامل حاصل از اجرای الگوریتم EA با جمعیتی به اندازه ۱۰۰، احتمال بازترکیب ۰.۸ و احتمال جهش ۰.۲ وقتی که از روش مناسب با برازنده‌گی برای انتخاب استفاده می‌شود را در حل نمونه‌ای از این مسئله با اندازه ۸ ترسیم کنید. در این نمودار بهترین، بدترین و متوسط برازنده‌گی افراد جمعیت در هر نسل را نشان دهید.
ب)	با توجه به ماهیت تصادفی الگوریتم‌های تکاملی، حداقل ۶ اجرای مختلف از الگوریتم EA را با مشخصات تعیین شده در سوال قبل انجام داده و سپس نموداری رسم کنید که تغییرات میانگین و انحراف معیار متوسط برازنده‌گی جمعیت در هر نسل را، بر اساس این اجراهای مختلف، نشان دهد.
پ)	میانگین و انحراف معیار عملکرد الگوریتم EA در حل نمونه‌هایی از این مسئله با اندازه‌های {۸، ۹، ۱۰، ۱۱} را بررسی کرده و در قالب یک نمودار نمایش دهید. متوسط برازنده‌گی افراد جمعیت نهایی الگوریتم در هر اجرا باید مبنای محاسبه عملکرد الگوریتم باشد.
ت)	تأثیر تعداد تکرارهای حلقه در عملکرد الگوریتم EA را با بررسی مقادیر {۳۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰} برای تعداد تکرارهای حلقه در حل نمونه‌هایی از این مسئله با اندازه‌های مشخص شده در سوال قبلی ارزیابی و بصورت نمودار دو بعدی ترسیم کنید.
ث)	تأثیر اندازه جمعیت در عملکرد الگوریتم EA را با بررسی مقادیر {۳۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰} برای جمعیت در حل نمونه‌هایی از این مسئله با اندازه‌های مشخص شده در قسمت "پ" ارزیابی و بصورت نمودار دو بعدی ترسیم کنید.
ج)	تأثیر احتمال بازترکیب در عملکرد الگوریتم EA را با بررسی مقادیر {۰.۶، ۰.۷، ۰.۹، ۱} برای احتمال بازترکیب در حل نمونه‌هایی از این مسئله با اندازه‌های مشخص شده در قسمت "پ" ارزیابی و بصورت نمودار دو بعدی ترسیم کنید.
چ)	تأثیر احتمال جهش در عملکرد الگوریتم EA را با بررسی مقادیر {۰.۰۵، ۰.۱، ۰.۳، ۰.۵} برای احتمال جهش در حل نمونه‌هایی از این مسئله با اندازه‌های مشخص شده در قسمت "پ" ارزیابی و بصورت نمودار دو بعدی ترسیم کنید.
ح)	بهترین راه حل بدست آمده در هر یک از سوالات قبلی را مشخص کنید.
خ)	(اختیاری) تاثیر استفاده از روش رقابت دودویی با جایگزینی برای انتخاب والدین را فقط برای بهترین ترکیب مشخص شده در قسمت "ح" بررسی کرده و با ترسیم نمودارهای مربوطه گزارش دهید.

## ۴ - مسئله بهینه‌سازی تابع Rastrigin با نمایش اعشاری

تابع Rastrigin به علت داشتن تعداد زیادی کمینه محلی برای ارزیابی الگوریتم‌های تکاملی و بهینه‌سازی گزینه مناسبی است. نمودار سه بعدی این تابع در شکل ۳ نمایش داده شده است. همچنین رابطه ریاضی این تابع در زیر قابل مشاهده است:

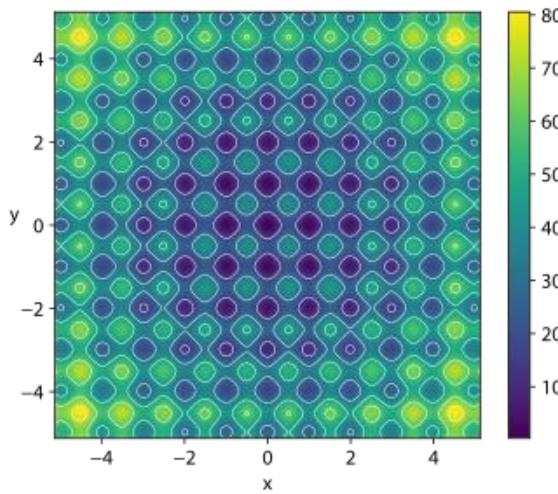
$$f(x) = An + \sum_{i=1}^n [x_i^2 - A \cos(2\pi x_i)]$$

که در آن  $n$  تعداد بعدهای مسئله و مقدار پیشنهادی برای ضریب  $A$  برابر با ۱۰ است.



شکل ۳: نمودار سه بعدی تابع *Rastrigin* (مرجع)

برای بردار دو بعدی  $\vec{x}$ ، این تابع یک مینیمم سراسری در نقطه  $(0, 0)$  دارد که مقدار آن  $0$  است. این تابع یک تابع غیرمحدب<sup>۵</sup> است که به این معنی است که مینیمم‌های محلی زیادی دارد (که در شکل ۴ به صورت واضح‌تر قابل مشاهده است). در این تمرین فضای جستجویی که در  $[-5.12, 5.12]^2$  از هر بعد محدود شده است، این تابع باید بهینه‌سازی شود.



شکل ۴: نمودار کانتور تابع *Rastrigin*

در حل این مسئله برای بازترکیب والدین از تقطیع دودویی شبیه‌سازی شده و برای جهش افراد از عملگر جهش غیریکنواخت با توزیع چندجمله‌ای استفاده کنید.

---

<sup>5</sup> Non-convex

الف) نمودار تکامل حاصل از اجرای الگوریتم EA با جمعیتی به اندازه ۳۰۰، احتمال بازترکیب ۰.۸، احتمال جهش ۱ و گام جهش ۲۰ (۷) وقتی که از روش متناسب با برآزندگی برای انتخاب استفاده می‌شود را در حل نمونه‌ای از این مسئله با اندازه ۸ ترسیم کنید. در این نمودار بهترین، بدترین و متوسط برآزندگی افراد جمعیت در هر نسل را نشان دهید.
ب) با توجه به ماهیت تصادفی الگوریتم‌های تکاملی، حداقل ۶ اجرای مختلف از الگوریتم EA را با مشخصات تعیین شده در سوال قبل انجام داده و سپس نموداری رسم کنید که تغییرات میانگین و انحراف معیار متوسط برآزندگی جمعیت در هر نسل را، بر اساس این اجراهای مختلف، نشان دهد.
پ) تاثیر تعداد تکرارهای حلقه در عملکرد الگوریتم EA را با بررسی مقادیر {۳۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰} برای تعداد تکرارهای حلقه در حل این مسئله ارزیابی و ترسیم کنید.
ت) تاثیر اندازه جمعیت در عملکرد الگوریتم EA را با بررسی مقادیر {۳۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰} برای جمعیت در حل این مسئله ارزیابی کرده و در قالب نمودار تکامل ترسیم کنید.
ث) تاثیر احتمال بازترکیب در عملکرد الگوریتم EA را با بررسی مقادیر {۰.۹، ۰.۷، ۰.۵، ۰.۳} برای احتمال بازترکیب در حل این مسئله ارزیابی کرده و در قالب نمودار تکامل ترسیم کنید.
ج) تاثیر گام جهش در عملکرد الگوریتم EA را با بررسی مقادیر {۰.۱، ۰.۵، ۰.۴، ۰.۲، ۰.۱} برای گام جهش در حل این مسئله ارزیابی کرده و در قالب نمودار تکامل ترسیم کنید.
(ج) بهترین راه حل بدست آمده در هر یک از سوالات قبلی را مشخص کنید. ح) (اختیاری) تاثیر استفاده از روش رقابت دودویی با جایگزینی برای انتخاب والدین را فقط برای بهترین ترکیب مشخص شده در قسمت "ج" بررسی کرده و با ترسیم نمودارهای مربوطه گزارش دهید.

## تحویل

انتظار می‌رود دانشجویان موارد زیر را در این تمرین تحويل دهند:

- تمامی فایل‌های کد پیاده‌سازی شده برای حل این تمرین در پوشاهای به نام **Code** و در زیرپوشه‌هایی به نام بخش حل شده.
- فایل گزارش رسمی با نام **StudentName\_ID.pdf** (حتماً pdf باشد) شامل موارد زیر در یک پوشه به نام **doc**:
  - هرگونه استفاده از ابزارها یا بسته‌های نرم‌افزاری در پیاده‌سازی باید صراحتاً با ذکر منبع بیان شود.
  - نتایج و نمودارهای خواسته شده در بخش ۱ تا ۴ بصورت تفکیک شده.
  - توضیح و تفسیر نتایج بدست آمده از نظر شما: با توجه به نتایج بدست آمده در بخش‌های ۱ تا ۴، به صورت جامع‌تر تأثیر هر یک از مؤلفه‌ها و پارامترها را در عملکرد الگوریتم‌های تکاملی با توجه به ویژگی‌های مسئله بررسی کنید. بدین منظور از مفاهیم بررسی شده در درس مانند چشم‌انداز برآزندگی، فشار انتخاب، تنوع جمعیت، تمایل مکانی، تمایل توزیعی و ... استفاده کنید.
  - هرگونه توضیح اضافی در رابطه با نحوه انجام تمرین

فایل‌های کد و گزارش را بصورت یک فایل فشرده در قالب **ZIP** و با نام **EC\_HW1\_StudentName\_ID** در صفحه درس در سایت کوئرا بارگزاری کنید.

مهلت تحويل اين تمرين پاييان روز جمعه ۲۳ آبان ۱۴۰۴ خواهد بود.

موفق باشید.