



## رایانش تکاملی

### تمرین اول

ترم اول ۱۴۰۳ - ۱۴۰۲

هدف از این تمرین 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 ۱ معرفی شده است. مسائلی که باید در این تمرین حل شوند در بخش‌های ۲ تا ۴ توضیح داده شده‌اند. دانشجویان باید هر یک از این مسائل را به صورت یک مسأله بهینه‌سازی تعریف کرده و سپس با بکارگیری الگوریتم تکاملی به شکل خواسته شده در هر بخش حل کنند. در نهایت مواردی که باید در این تمرین تحویل داده شوند در بخش ۵ آورده شده است. مهلت تحویل این تمرین پایان روز سه‌شنبه ۳۰ آبان ماه ۱۴۰۲ خواهد بود.

## ۱ - چهارچوب پیاده‌سازی الگوریتم تکاملی

چهارچوب اصلی الگوریتم تکاملی مد نظر در این تمرین در شکل زیر آورده شده است.

### Algorithm: EA1

- 1  $pop = \text{Generate } popSize \text{ initial candidate solutions of size } problemSize$
- 2  $popFit = \text{Evaluate } pop \text{ using } f(x)$
- 3 While not **Terminate()**
- 4  $parentsPool = \text{Select } popSize \text{ solutions from } pop \text{ using } popFit$
- 5  $parentPairs = \text{Shuffle } parentsPool \text{ and randomly Pair solutions}$
- 6  $offspr = \text{Perform Recombination on } parentPairs \text{ with } P_c$
- 7  $offspr = \text{Perform Mutation on } offspr \text{ with } P_m$
- 8  $offsprFit = \text{Evaluate } offspr \text{ using } f(x)$
- 9  $[pop, popFit] = \text{Select best } popSize \text{ solutions from } [pop + offspr] \text{ using } popFit \text{ and } offsprFit$
- 10 Return best solution in  $pop$

شکل ۱. چهارچوب الگوریتم تکاملی مورد استفاده در این تمرین

در گام اول این الگوریتم یک جمعیت از راه‌حل‌هایی با طول مشخص به صورت تصادفی تولید می‌کند. در گام دوم با استفاده از تابع برازندگی مرتبط با مسأله مورد نظر راه‌حل‌های جمعیت ارزیابی می‌شوند، و پس از آن در حلقه مشخص شده در خط‌های 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 اینکار 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. برای اینکار ابتدا افراد جمعیت و فرزندان جدید در کنار هم در یک لیست

مشترک قرار می‌گیرند، سپس این لیست بر اساس مقادیر برازندگی مرتب‌سازی می‌شود و در انتها، افراد بالای لیست که دارای بیشترین برازندگی هستند انتخاب خواهند شد. شرایط توقف حلقه تکامل در خط ۳ توسط تابع خاتمه دادن تعیین می‌شود که شامل تحقق یکی از دو مورد زیر است:

- یافتن راه‌حل بهینه مسأله
  - تعداد تکرارهای حلقه (نسل‌ها) به ۳۰۰ برسد.
- پس از پایان حلقه تکامل، بهترین راه‌حل بدست آمده در خط ۱۰ به عنوان پاسخ الگوریتم برگردانده می‌شود.

## ۲ – مسئله تعیین محل قرارگیری وزیران

صفحه شطرنجی شکل زیر را در نظر بگیرید. در این صفحه دو نوع مهره سرباز و وزیر قرار می‌گیرد. مکان قرارگیری سربازان در هنگام تعریف مسأله مشخص می‌شود. هدف تعیین مکان قرارگیری وزیران در صفحه است به گونه‌ای که برازندگی بیشینه شود. اگر دو وزیر همدیگر را تهدید کنند دو امتیاز منفی در نظر گرفته می‌شود. هر سرباز موجود در صفحه دارای امتیازی است که به ازای تهدید آن توسط یکی از وزیران به برازندگی اضافه می‌شود (این امتیاز فقط یکبار لحاظ شده و تهدید سرباز توسط وزیران مختلف تأثیری در برازندگی ندارد). تعداد سربازان و وزیرانی که می‌توانند در یک صفحه شطرنجی مربعی  $n \times n$  قرار گیرند به ترتیب  $n - 1$  و  $n - 2$  است. برای مثال اگر ابعاد صفحه  $8 \times 8$  باشد ۶ وزیر و ۷ سرباز در آن قرار می‌گیرد.

-7, 6	-6, 6	-5, 6	-4, 6	-3, 6	-2, 6	-1, 6	0, 6	1, 6	2, 6	3, 6	4, 6	5, 6	6, 6
-7, 5	-6, 5	-5, 5	-4, 5	-3, 5	-2, 5	-1, 5	0, 5	1, 5	2, 5	3, 5	4, 5	5, 5	6, 5
-7, 4	-6, 4	-5, 4	-4, 4	-3, 4	-2, 4	-1, 4	0, 4	1, 4	2, 4	3, 4	4, 4	5, 4	6, 4
-7, 3	-6, 3	-5, 3	-4, 3	-3, 3	-2, 3	-1, 3	0, 3	1, 3	2, 3	3, 3	4, 3	5, 3	6, 3
-7, 2	-6, 2	-5, 2	-4, 2	-3, 2	-2, 2	-1, 2	0, 2	1, 2	2, 2	3, 2	4, 2	5, 2	6, 2
-7, 1	-6, 1	-5, 1	-4, 1	-3, 1	-2, 1	-1, 1	0, 1	1, 1	2, 1	3, 1	4, 1	5, 1	6, 1
-7, 0	-6, 0	-5, 0	-4, 0	-3, 0	-2, 0	-1, 0	0, 0	1, 0	2, 0	3, 0	4, 0	5, 0	6, 0
-7, -1	-6, -1	-5, -1	-4, -1	-3, -1	-2, -1	-1, -1	0, -1	1, -1	2, -1	3, -1	4, -1	5, -1	6, -1
-7, -2	-6, -2	-5, -2	-4, -2	-3, -2	-2, -2	-1, -2	0, -2	1, -2	2, -2	3, -2	4, -2	5, -2	6, -2
-7, -3	-6, -3	-5, -3	-4, -3	-3, -3	-2, -3	-1, -3	0, -3	1, -3	2, -3	3, -3	4, -3	5, -3	6, -3
-7, -4	-6, -4	-5, -4	-4, -4	-3, -4	-2, -4	-1, -4	0, -4	1, -4	2, -4	3, -4	4, -4	5, -4	6, -4
-7, -5	-6, -5	-5, -5	-4, -5	-3, -5	-2, -5	-1, -5	0, -5	1, -5	2, -5	3, -5	4, -5	5, -5	6, -5
-7, -6	-6, -6	-5, -6	-4, -6	-3, -6	-2, -6	-1, -6	0, -6	1, -6	2, -6	3, -6	4, -6	5, -6	6, -6
-7, -7	-6, -7	-5, -7	-4, -7	-3, -7	-2, -7	-1, -7	0, -7	1, -7	2, -7	3, -7	4, -7	5, -7	6, -7

شکل ۲. نمونه‌ای از صفحه شطرنجی مورد استفاده در تمرین

برای تعیین موقعیت سربازان در مسأله باید از تابع soldiers1 فایل DataGen.py که همراه با این تمرین ارائه شده است استفاده شود که با دریافت اندازه صفحه لیستی از موقعیت سربازان در صفحه و امتیاز هر یک را برمی گرداند. برای مثال با وارد نمودن soldiers1(10) (مقدار ۱۰ در ورودی به معنی صفحه شطرنجی  $10 \times 10$  است) یک لیست به طول ۹ در خروجی داده می شود که هر عنصر این لیست نشان دهنده موقعیت (ستون و سطر قرارگیری) و امتیاز سرباز مربوطه است. مثلاً عنصری به صورت  $[2, [1, 1]]$  نشان دهنده سربازی در موقعیت ستون ۱ و سطر ۱ با امتیاز ۲ است. برای شبیه سازی صفحه شطرنج می توانید از کلاس Visualization ارائه شده در فایل Visualization.py و توابع آن استفاده کنید (توجه داشته باشید که باید ابتدا کتابخانه OpenCV با دستور `pip install opencv-contrib-python` نصب شود). مثالی از نحوه استفاده از این کلاس در شکل زیر نشان داده شده است.

```
v_obj = Visualization(boardSize=14)
v_obj.InitialImage()
for row in range(-int(v_obj.boardSize/2), int(v_obj.boardSize/2)):
    for col in range(-int(v_obj.boardSize/2), int(v_obj.boardSize/2)):
        if abs(row + col)%2==0:
            v_obj.AddChessPiece(col=col, row=row, text="{",
{"}.format(col, row), color = (255, 255, 255))
        else:
            v_obj.AddChessPiece(col = col, row = row, text="}",
{"}.format(col, row), color = (0, 0, 0))
cv.imwrite("Position Notation.png", v_obj.image)
```

شکل ۳. مثالی از نحوه بکارگیری کلاس Visualization و توابع آن

در حل این مسأله باید تأثیر اندازه جمعیت، احتمال بازترکیب و احتمال جهش بر عملکرد الگوریتم تکاملی با بررسی اندازه های مختلف مسأله تعیین شود. بسته به نوع نمایشی که برای حل این مسأله در نظر می گیرید، برای بازترکیب والدین از یکی از عملگرهای تقطیع تک نقطه ای، تقطیع یکنواخت یا تقطیع قطع و تکمیل، و برای جهش افراد از یکی از عملگرهای تعویض بیت ها، خریدن یا جابه جایی استفاده کنید.

الف) نمودار تکامل حاصل از بکارگیری EA1 با جمعیتی به اندازه ۱۰۰، احتمال بازترکیب ۰.۹ و احتمال جهش ۰.۱ وقتی که از روش متناسب با برازندگی برای انتخاب استفاده می شود را در حل نمونه ای از این مسأله با اندازه ۱۲ ترسیم کنید. در این نمودار بهترین، بدترین و متوسط برازندگی افراد جمعیت در هر نسل را نشان دهید.

ب) با توجه به ماهیت تصادفی الگوریتم تکاملی حداقل ۵ اجرای مختلف از EA1 با مشخصات تعیین شده در سوال قبلی را انجام داده و نمودار تکامل را بر حسب میانگین و انحراف معیار متوسط برازندگی افراد جمعیت در هر نسل که روی اجراهای مختلف محاسبه می شود ترسیم کنید.

ج) میانگین و انحراف معیار عملکرد EA1 در حل نمونه هایی از این مسأله با اندازه های  $\{8, 10, 12, 14, 16, 18\}$ ، ۲۰٪ را بررسی کرده و در قالب یک نمودار نشان دهید. متوسط برازندگی افراد جمعیت نهایی الگوریتم در هر اجرا باید مبنای محاسبه عملکرد الگوریتم باشد.

د) تأثیر اندازه جمعیت در عملکرد EA1 را با بررسی مقادیر  $\{50, 100, 200, 300\}$  برای جمعیت در حل نمونه هایی از این مسأله با اندازه های تعیین شده در سوال قبلی ارزیابی کرده و ترسیم کنید.

ه) تأثیر احتمال بازترکیب در عملکرد EA1 را با بررسی مقادیر  $\{0.5, 0.7, 0.9, 1\}$  برای احتمال بازترکیب در حل نمونه هایی از این مسأله با اندازه های تعیین شده در سوال قبلی ارزیابی کرده و ترسیم کنید.

و) تأثیر احتمال جهش در عملکرد EA1 را با بررسی مقادیر  $\{0.5, 0.3, 0.1, 0.05\}$  برای احتمال جهش در حل نمونه‌هایی از این مسأله با اندازه‌های تعیین شده در سوال قبلی ارزیابی کرده و ترسیم کنید.

ز) بهترین راه حل بدست آمده در هر یک از سوال‌های قبلی را مشخص کنید.

ح) (اختیاری) در سوال‌های (ج)، (د)، (ه) و (و) تأثیر استفاده از روش رقابت دودویی با جایگزینی برای انتخاب والدین را بررسی کرده و با ترسیم نمودارهای مربوطه گزارش کنید.

### ۳- مسأله حرکت اسب

صفحه شطرنجی داده شده در مسأله قبلی را در نظر بگیرید. در این صفحه دو نوع مهره سرباز و اسب قرار می‌گیرد که مکان اولیه قرارگیری آنها در هنگام تعریف مسأله مشخص می‌شود. هدف حرکت دادن اولین اسب (که در ادامه توضیح داده شده است) در صفحه به گونه‌ای است که برازندگی بیشینه شود. اسب می‌تواند ۹ حرکت مختلف انجام دهد که شامل ۸ حرکت «L- شکل» و عدم جابجایی است. با انتخاب عدم جابجایی برای اسب یا انجام حرکتی که منجر به خروج اسب از صفحه شطرنجی شود حرکت‌های اسب به پایان می‌رسد و سایر حرکت‌های مشخص شده دیگر در نظر گرفته نمی‌شود. در حین حرکت اسب، زدن یک اسب دیگر دارای دو امتیاز منفی بوده و زدن سرباز متناسب با امتیاز آن برازندگی را افزایش می‌دهد. سربازان و اسب‌ها بعد از زده شدن دیگر در صفحه قرار نخواهند داشت.

در یک صفحه شطرنجی  $n \times n$  تعداد  $2n$  اسب و  $2n$  سرباز در قرار می‌گیرند. موقعیت مکانی اسب‌ها و سربازان به ترتیب توسط تابع WhiteHorse و Soldiers2 در فایل DataGen.py که همراه با این تمرین ارائه شده است مشخص می‌شود. خروجی تابع اول یک لیست است که عناصر آن موقعیت (ستون و سطر) هر یک از اسب‌ها را نشان می‌دهد. برای مثال عنصر  $[1,1]$  نشان دهنده اسبی در موقعیت ستون ۱ و سطر ۱ است. اولین عنصر این لیست اسبی است که باید حرکت داده شود. خروجی تابع دوم لیستی است که مانند مسأله قبلی موقعیت و امتیاز هر یک از سربازها را نشان می‌دهد. برای نمایش صفحه شطرنجی می‌توانید مانند مسأله قبل از کلاس Visualization و توابع آن استفاده کنید (کد آن در فایل Visualization.py موجود می‌باشد). مثالی از این استفاده در شکل زیر نشان داده شده است.

```
v_obj = Visualization(boardSize)
v_obj.InitialImage()
v_obj.AddChessPiece(col = -3, row = 4, text="random text", color=[255, 0, 255])
v_obj.Movehorse(startPoint=[0, 0], EndPoint=[-3, 3])
```

شکل ۴. مثالی از نحوه بکارگیری کلاس Visualization در این مسأله. تابع `Visualizationobj.Movehorse` فلشی از نقطه `EndPoint` به `startPoint` ترسیم می‌کند.

در حل این مسأله ابعاد صفحه ثابت و  $20 \times 20$  در نظر گرفته می‌شود. مانند مسأله قبلی، بسته به نوع نمایشی که برای حل این مسأله در نظر می‌گیرید، برای بازترکیب والدین باید از یکی از عملگرهای تقطیع تک‌نقطه‌ای، تقطیع یکنواخت یا تقطیع قطع و تکمیل، و برای جهش افراد از یکی از عملگرهای تعویض بیت‌ها، خزیدن یا جابه‌جایی استفاده کنید.

الف) نمودار تکامل حاصل از بکارگیری EA1 با جمعیتی به اندازه ۱۰۰، احتمال بازترکیب ۰.۹ و احتمال جهش ۰.۱ وقتی که از روش متناسب با برازندگی برای انتخاب استفاده می‌شود را در حل نمونه‌ای از این مسأله با حداکثر

تعداد حرکت اسب ۳۰ ترسیم کنید. در این نمودار بهترین، بدترین و متوسط برازندگی افراد جمعیت در هر نسل را رسم کنید.

ب) با توجه به ماهیت تصادفی الگوریتم تکاملی حداقل ۵ اجرای مختلف از EA1 با مشخصات تعیین شده در سوال قبلی را انجام داده و نمودار تکامل را بر حسب میانگین و انحراف معیار متوسط برازندگی افراد جمعیت در هر نسل روی اجراهای مختلف ترسیم کنید.

ج) میانگین و انحراف معیار عملکرد EA1 در حل نمونه‌هایی از این مسأله با حداکثر تعداد حرکت اسب {۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰} را بررسی کرده و در قالب یک نمودار نشان دهید. متوسط برازندگی افراد جمعیت نهایی الگوریتم در هر اجرا باید مبنای محاسبه عملکرد الگوریتم باشد.

د) تأثیر اندازه جمعیت در عملکرد EA1 را با بررسی مقادیر {۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰} برای جمعیت در حل نمونه‌هایی از این مسأله با اندازه‌های تعیین شده در سوال قبلی ارزیابی کرده و ترسیم کنید.

ه) تأثیر احتمال بازترکیب در عملکرد EA1 را با بررسی مقادیر {۰.۵، ۰.۷، ۰.۹، ۱} برای احتمال بازترکیب در حل نمونه‌هایی از این مسأله با اندازه‌های تعیین شده در سوال قبلی ارزیابی کرده و ترسیم کنید.

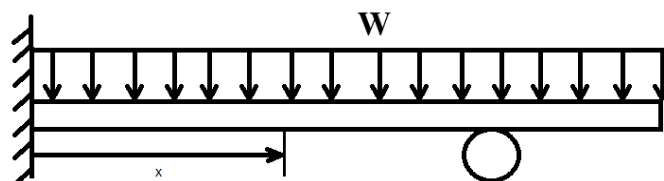
و) تأثیر احتمال جهش در عملکرد EA1 را با بررسی مقادیر {۰.۵، ۰.۱، ۰.۳، ۰.۵} برای احتمال جهش در حل نمونه‌هایی از این مسأله با اندازه‌های تعیین شده در سوال قبلی ارزیابی کرده و ترسیم کنید.

ز) بهترین راه حل بدست آمده در هر یک از سوال‌های قبلی را مشخص کنید.

ح) (اختیاری) در سوال‌های (ج)، (د)، (ه) و (و) تأثیر استفاده از روش رقابت دودویی با جایگزینی برای انتخاب والدین را بررسی کرده و با ترسیم نمودارهای مربوطه گزارش کنید.

#### ۴- مسأله خیزش تیر

یکی از مسائل مهم در مهندسی مکانیک محاسبه میزان خمیدگی تیر با توجه به بار اعمال شده به آن بر اساس میزان جابجایی عمودی است. همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است فرض می‌شود بار به صورت یکنواخت روی تیر وارد می‌شود.



شکل ۵. بار بصورت یکنواخت به تیر وارد می‌شود

بر اساس مطالعات شبیه‌سازی انجام شده در مکانیک جامدات، معادله خیزش تیری با طول ۱.۷۵ به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$y = \frac{a \times x^6 + b \times x^5 + c \times x^4 + d \times x^3 + e \times x^2 + f \times x + g}{4.74 \times 10^{-4} \times 3 \times 10^{10}}$$

که در آن  $x$  فاصله محل خیز تیر نسبت به تکیه‌گاه بوده و  $a, b, c, d, e, f$  و  $g$  پارامترهای تعیین کننده این معادله هستند.

هدف در این مسأله تعیین پارامترهای این معادله با استفاده از مشاهدات زیر است:

x	y
0	0
1.47	0
1	$-6.33 \times 10^{-8}$
0.75	$-6.34 \times 10^{-8}$
1.5	$5.65 \times 10^{-9}$
0.2	$-1.03 \times 10^{-8}$

در حل این مسأله برای باز ترکیب والدین از تقطیع ریاضی ساده و برای جهش افراد از عملگر جهش غیریکنواخت با توزیع گاوسی استفاده کنید.

الف) نمودار تکامل حاصل از بکارگیری EA1 با جمعیتی به اندازه ۱۰۰، احتمال باز ترکیب ۰.۷، نرخ باز ترکیب  $(\alpha)$  ۰.۵، احتمال جهش ۰.۳ و گام جهش ۲ ( $\sigma$ ) وقتی که از روش متناسب با برآزندگی برای انتخاب استفاده می شود را در حل این مسأله ترسیم کنید. در این نمودار بهترین، بدترین و متوسط برآزندگی افراد جمعیت در هر نسل را رسم کنید.

ب) با توجه به ماهیت تصادفی الگوریتم تکاملی حداقل ۵ اجرای مختلف از EA1 با مشخصات تعیین شده در سوال قبلی را انجام داده و نمودار تکامل را بر حسب میانگین و انحراف معیار متوسط برآزندگی افراد جمعیت در هر نسل روی اجراهای مختلف ترسیم کنید.

ج) تأثیر اندازه جمعیت در میانگین و انحراف معیار عملکرد EA1 را با بررسی مقادیر {۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰} برای جمعیت در حل این مسأله ارزیابی کرده و در قالب نمودار تکامل ترسیم کنید.

د) تأثیر احتمال باز ترکیب در عملکرد EA1 را با بررسی مقادیر {۰.۳، ۰.۵، ۰.۷، ۰.۹} برای احتمال باز ترکیب در حل این مسأله ارزیابی کرده و در قالب نمودار تکامل ترسیم کنید.

ه) تأثیر نرخ باز ترکیب در عملکرد EA1 را با بررسی مقادیر {۰.۱، ۰.۳، ۰.۵، ۰.۷، ۰.۹} برای نرخ باز ترکیب در حل این مسأله ارزیابی کرده و در قالب نمودار تکامل ترسیم کنید.

و) تأثیر احتمال جهش در عملکرد EA1 را با بررسی مقادیر {۰.۱، ۰.۳، ۰.۵، ۰.۷} برای احتمال جهش در حل این مسأله ارزیابی کرده و در قالب نمودار تکامل ترسیم کنید.

ز) تأثیر گام جهش در عملکرد EA1 را با بررسی مقادیر {۰.۱، ۰.۵، ۱، ۲، ۴} برای گام جهش در حل این مسأله ارزیابی کرده و در قالب نمودار تکامل ترسیم کنید.

ح) بهترین راه حل بدست آمده در هر یک از سوال های قبلی را مشخص کنید.

ط) (اختیاری) در سوال های (ج) تا (ز) تأثیر استفاده از روش رقابت دودویی با جایگزینی برای انتخاب والدین را بررسی کرده و با ترسیم نمودارهای مربوطه گزارش کنید.

## ۵ – خروجی های مورد انتظار

دانشجویان باید موارد زیر را در این تمرین تحویل دهند:

- فایل های کد برنامه مورد استفاده برای پیاده سازی تمرین در یک پوشه به نام code
- نیازمندی ها یا وابستگی های نرم افزاری برای اجرای کدها به صورت دقیق مشخص شود.

- فایل گزارش با نام Doc.pdf (حتماً در قالب PDF باشد) شامل موارد زیر:
  - هر گونه استفاده از ابزارها یا بسته‌های نرم‌افزاری در پیاده‌سازی باید صراحتاً با ذکر منبع بیان شود.
  - نتایج و نمودارهای خواسته شده در بخش‌های ۲ و ۳ و ۴ به صورت تفکیک شده
  - توضیح و تحلیل نتایج به دست آمده از نظر شما: با توجه به نتایج به دست آمده از بخش‌های ۲ – ۴، به صورت جامع‌تر تاثیر هر یک از مولفه‌ها و پارامترها را در عملکرد الگوریتم‌های تکاملی با توجه به ویژگی‌های مسأله بررسی کنید. بدین منظور از مفاهیم بررسی شده در درس مانند چشم‌انداز برازندگی، فشار انتخاب، تنوع جمعیت، تمایل مکانی، تمایل توزیعی و ... استفاده کنید.
  - هر گونه توضیح اضافی در مورد نحوه انجام تمرین
- فایل‌های کد و گزارش را به صورت یک فایل فشرده در قالب ZIP و با نام EC\_HW1\_Name\_Family در صفحه درس در سایت کوئرا بارگذاری کنید (به جای Name نام و به جای Family نام خانوادگی خود را قرار دهید).

مهلت تحویل تمرین تا پایان روز سه‌شنبه ۳۰ آبان خواهد بود.

موفق باشید