



گزارش پروژه الگوریتم‌های تکاملی

هوش محاسباتی

دکتر حسین کارشناس

آدرینا ابراهیمی ۹۹۳۶۲۳۰۰۲

کیان مجلسی ۹۹۳۶۱۳۰۵۱

ریپازیتوری گیت‌هاب پروژه

(ریپوزیتور گیت‌هاب پس از آخرین ارائه در دسترس همگان قرار می‌گیرد.)

فروردین ۱۴۰۲

## فهرست مطالب

۱- مقدمه.....	۳
۲- روش انجام آزمایش.....	۳
۱-۲- مقداردهی اولیه.....	۳
۲-۲- عملیات بازترکیب.....	۳
۳-۲- عملیات جهش.....	۴
۴-۲- تابع برازندگی.....	۴
۳- توضیح اجمالی کد.....	۴
۱-۳- کتابخانه‌های استفاده شده.....	۴
۲-۳- کلاس‌های نوشته شده.....	۵
۴- نتایج بدست آمده.....	۵
۱-۴- احتمال جهش $0/1$ و احتمال بازترکیب $0/1$ .....	۵
۱-۱-۴- بهترین راه حل.....	۶
۲-۱-۴- مکان دکل‌های بهترین راه حل.....	۶
۳-۱-۴- انتساب دکل‌ها به محله‌ها.....	۶
۲-۴- احتمال جهش $0/1$ و احتمال بازترکیب $0/9$ .....	۷
۱-۲-۴- بهترین راه حل.....	۷
۲-۲-۴- مکان دکل‌های بهترین راه حل.....	۷
۳-۲-۴- انتساب دکل‌ها به محله‌ها.....	۸
۳-۴- احتمال جهش $0/9$ و احتمال بازترکیب $0/1$ .....	۸
۱-۳-۴- بهترین راه حل.....	۹
۲-۳-۴- مکان دکل‌های بهترین راه حل.....	۹
۳-۳-۴- انتساب دکل‌ها به محله‌ها.....	۱۰
۴-۴- احتمال جهش $0/9$ و احتمال بازترکیب $0/9$ .....	۱۰
۱-۴-۴- بهترین راه حل.....	۱۱
۲-۴-۴- مکان دکل‌های بهترین راه حل.....	۱۱
۳-۴-۴- انتساب دکل‌ها به محله‌ها.....	۱۲
۵- بررسی شیب همگرایی.....	۱۲
۶- منابع.....	۱۲

## ۱- مقدمه

مسئله اصلی در این پروژه تسهیل دسترسی مردم ۴۰۰ محله به اینترنت است. در واقع هدف به دست آوردن نگاهی از محله‌ها به دکل‌هاست به نحوی که هزینه برپایی دکل که متشکل است از هزینه ساخت دکل (مقدار ثابت) و هزینه نگهداری آن کمترین مقدار بوده و در عین حال میزان رضایت‌مندی کاربران بیشینه باشد. با توجه به این موارد نیازمند تعریف تابع برازندگی‌ای هستیم که بتواند ما را به سمت کم‌ترین تعداد دکل مورد نیاز با بیشترین میزان رضایت‌مندی هدایت کند به نحوی که تعادل بین این دو مورد برقرار شود.

## ۲- روش انجام آزمایش

در الگوریتم استفاده شده برای حل مسئله ابتدا ۵۰ کروموزوم با مقادیر تصادفی ساخته می‌شوند. سپس با توجه به احتمال دریافت شده، عملیات بازترکیب انجام شده و فرزندی تولید می‌شوند که عملیات جهش نیز با توجه به احتمال دریافت شده روی این فرزندان اعمال شده و پس از بررسی برازندگی فرزندان جدید و کروموزم‌های قبلی تعداد ۵۰ کروموزم با بیش‌ترین برازندگی انتخاب شده و به نسل بعد منتقل می‌شوند. جزئیات عملیات ذکر شده به شرح زیر است.

### ۱-۲- مقداردهی اولیه

در این قسمت به اندازه جمعیت اولیه کروموزوم‌هایی به صورت تصادفی و متشکل از لیستی از دکل‌ها به همراه نحوه تخصیص آن‌ها به محله‌ها با توجه به فاصله اقلیدسی تولید می‌شوند. سپس میزان برازندگی هر راه حل را بررسی می‌کنیم و بهترین راه حل را ذخیره می‌کنیم.

### ۲-۲- عملیات بازترکیب

دو والد برگزیده در عملیات انتخاب رقابتی به عملیات بازترکیب فرستاده شده و در صورتی که احتمال عملیات بازترکیب برآورده شود، دو فرزند به تعداد میانگین هارمونیک تعداد دکل‌های دو والد ساخته می‌شود، به صورتی که برای هر والد یک نقطه تقطیع تصادفی انتخاب شده و از آن نقطه دو والد با هم ترکیب شده و دو فرزند را تشکیل می‌دهند. سپس طول فرزندان را به طول ذکر شده رسانده، محله‌های تخصیص داده شده به آن‌ها را به روزرسانی کرده و فرزندان را در لیستی از فرزندان نگهداری می‌کنیم.

## ۲-۳- عملیات جهش

در این قسمت ابتدا یک عدد تصادفی برای تعداد دکل‌ها مشخص می‌کنیم. در صورتی که عدد مشخص شده کمتر از تعداد دکل‌های کروموزوم باشد، به تعداد عدد تصادفی تولید شده دکل از لیست دکل‌های کروموزوم بدون جایگذاری انتخاب کرده و بقیه را کنار می‌گذاریم. در صورتی که عدد تصادفی تولید شده بیشتر باشد، به تعدادی که این عدد از تعداد دکل‌های کروموزوم بیشتر است دکل تصادفی ساخته و به دکل‌های کروموزوم اضافه می‌کنیم. پس از این مراحل از روش جهش گاوسی خود تطبیق‌پذیر استفاده کرده و مشخصات و پهنای باند هر دکل را تغییر می‌دهیم و در نهایت محله‌ها را به نزدیک‌ترین دکل منتسب می‌کنیم.

## ۲-۴- تابع برازندگی

برای محاسبه میزان برازندگی یک کروموزوم در یک حلقه ابتدا محله‌هایی که هر دکل به آن‌ها منتسب شده را پیدا می‌کنیم. سپس، در تابع *calculate\_satisfaction* با آرگومان‌های دکل منتسب شده به محله و تعداد کاربرانی که دکل به آن‌ها خدمت‌رسانی می‌کند میزان رضایت کاربران با توجه به مشخصات محله و میزان پهنای باند دریافتی آن‌ها محاسبه می‌کنیم.

## ۳- توضیح اجمالی کد

### ۳-۱- کتابخانه‌های استفاده شده

- کتابخانه **numpy**: از توابع این کتابخانه جهت انجام عملیات‌های ریاضی استفاده شده است.
- کتابخانه **pandas**: از توابع این کتابخانه جهت دریافت ورودی و ساخت فایل خروجی استفاده شده است.
- کتابخانه‌های **matplotlib** و **seaborn**: از توابع این دو کتابخانه جهت رسم نمودارها استفاده شده است.
- کتابخانه **copy**: از توابع این کتابخانه برای انجام کپی عمیق استفاده شده است.
- کتابخانه **tqdm**: از توابع این کتابخانه برای رسم نوار پیشرفت اجرا استفاده شده است.
- کتابخانه **random**: از توابع این کتابخانه برای تولید عدد رندوم استفاده شده است.
- کتابخانه **time**: از توابع این کتابخانه برای اندازه‌گیری زمان اجرای الگوریتم استفاده شده است.

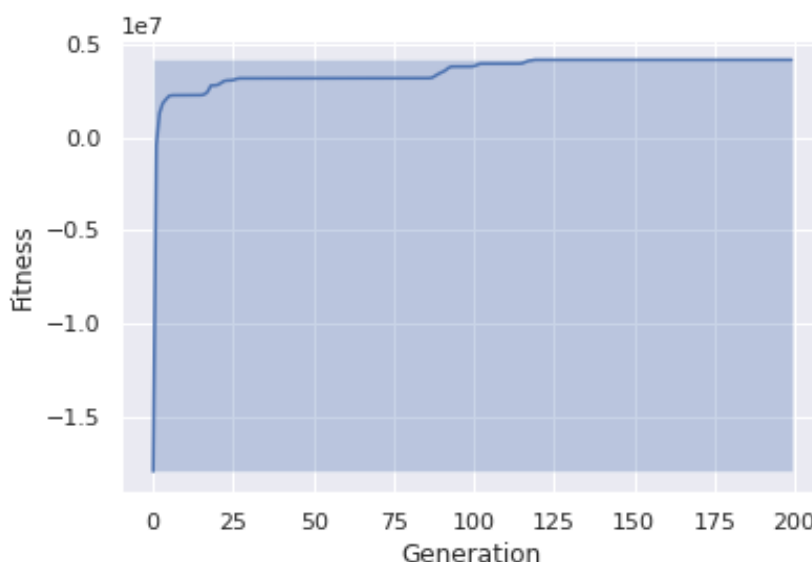
### ۲-۳- کلاس‌های نوشته شده

- **کلاس Neighbor:** در این کلاس توابع مربوط به یک محله از جمله توابع محاسبه پهنای باند به ازای هر کاربر و تابع محاسبه میزان رضایت‌مندی کاربران پیاده‌سازی شده است.
- **کلاس BTS:** در این کلاس توابع مربوط به یک دکل از جمله تابع محاسبه پهنای باند اسمی دکل و تابع محاسبه پهنای باند دکل پیاده‌سازی شده است.
- **کلاس Chromosome:** در این کلاس توابع مربوط به یک راه حل از جمله توابع مقداردهی اولیه، انتساب دکل، جهش، بازترکیب و تابع برازندگی پیاده‌سازی شده است.
- **کلاس Evolutionary Algorithm:** در این کلاس عملیات الگوریتم تکاملی از جمله عملیات مقداردهی اولیه همه کروموزوم‌ها، جهش همه کروموزوم‌ها، بازترکیب همه کروموزوم‌ها و انتخاب رقابتی پیاده‌سازی شده است.

### ۴- نتایج بدست آمده

#### ۴-۱- احتمال جهش ۰/۱ و احتمال بازترکیب ۰/۱

نمودار تغییرات میانگین برازندگی افراد جمعیت در طی نسل‌های تکامل که بر روی ۱۰ اجرا متوسط‌گیری شده است به شکل زیر می‌باشد.



شکل ۴-۱- نمودار تغییرات میانگین برازندگی در طی نسل‌های تکامل برای احتمال جهش ۰/۱ و احتمال بازترکیب ۰/۱

#### ۱-۱-۴- بهترین راه حل

در ۱۰ بار اجرا و به تعداد نسل ۲۰۰ در هر اجرا بهترین راه حل به دست آمده به شرح زیر است:

نیاز به چهار دکل داریم که **هزینه** (برپایی و نگهداری) و **رضایت‌مندی** آن‌ها و **برازندگی** راه حل به شرح زیر است.

N\_BTS: 4, Cost: 503437.6248822374, Satisfaction: 4991510, Fitness: 4488072.375117763

#### ۲-۱-۴- مکان دکل‌های بهترین راه حل

**طول** و **عرض** جغرافیایی به همراه **پهنای باند** دکل‌های بهترین راه حل به ترتیب مشخص شده‌اند.

BTS(7.4408057392623315, 14.031196487177032, 852967.7498662327)

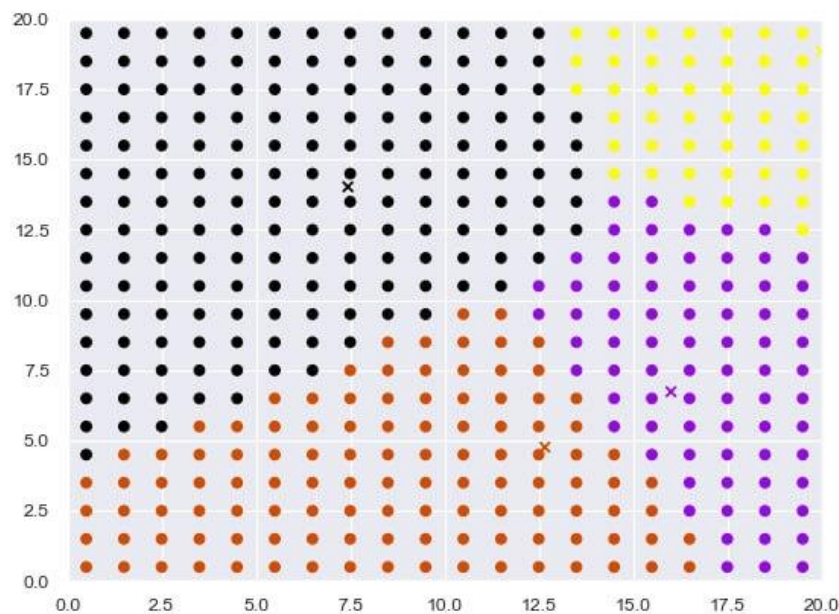
BTS(16.00658136246955, 6.738098974812717, 493787.9764711)

BTS(12.66250763702866, 4.765126029158266, 566826.7786556862)

BTS(20, 18.852563681390663, 271326.5987135645)

#### ۳-۱-۴- انتساب دکل‌ها به محله‌ها

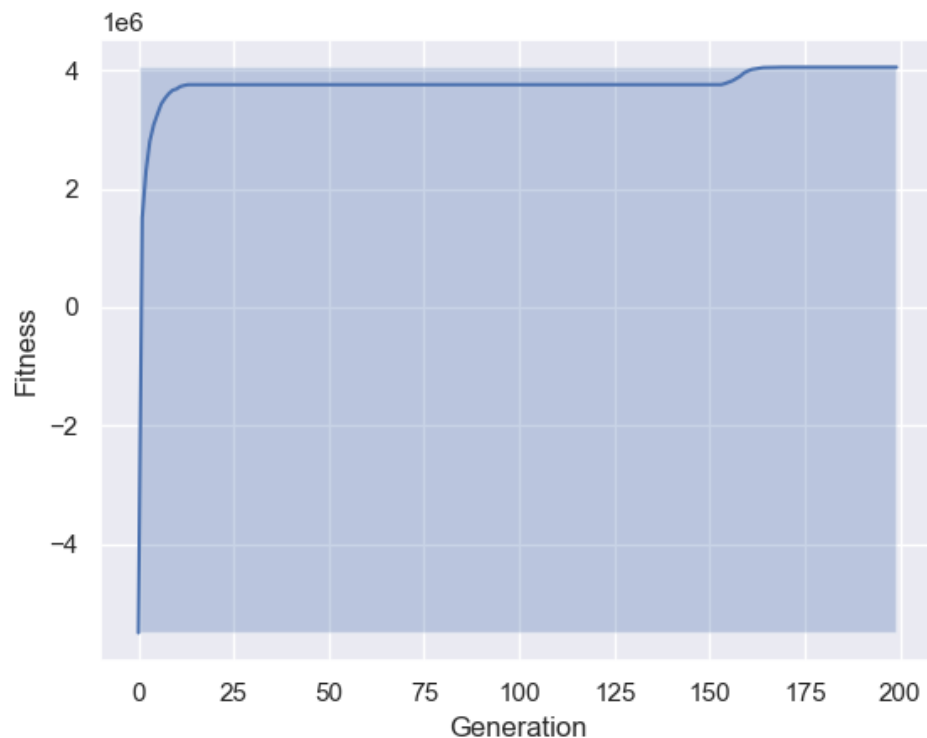
مختصات محله‌ها به صورت نقطه وسط مربع‌های مشخص شده در نقشه صورت پروژه تعیین شده است. با توجه به رنگ‌های مشخص شده برای دکل‌ها می‌توان نحوه اختصاص دکل‌ها به محله‌ها را به شکل زیر نشان داد. (ضربدرها نشان‌دهنده محل دکل‌هاست).



شکل ۲-۱- نمودار نحوه تخصیص دکل‌ها به محله‌ها

#### ۲-۴- احتمال جهش ۰/۱ و احتمال بازترکیب ۰/۹

نمودار تغییرات میانگین برازندگی افراد جمعیت در طی نسل‌های تکامل که بر روی ۱۰ اجرا متوسط‌گیری شده است به شکل زیر می‌باشد.



شکل ۱-۲- نمودار تغییرات میانگین برازندگی در طی نسل‌های تکامل برای احتمال جهش ۰/۱ و احتمال بازترکیب ۰/۹

#### ۲-۴-۱- بهترین راه حل

در ۱۰ بار اجرا و به تعداد نسل ۲۰۰ در هر اجرا بهترین راه حل به دست آمده به شرح زیر است:

نیاز به شش دکل داریم که **هزینه** (برپایی و نگهداری) و **رضایت‌مندی** آن‌ها و **برازندگی** راه حل به شرح زیر است.

N\_BTS: 6, Cost: 2102597.5216493937, Satisfaction: 6377810, Fitness: 4275212.478350606

#### ۲-۴-۲- مکان دکل‌های بهترین راه حل

**طول** و **عرض** جغرافیایی به همراه **پهنای باند** دکل‌های بهترین راه حل به ترتیب مشخص شده‌اند.

BTS(4.142069529446905, 11.363800852695494, 438150.8600035899)

BTS(11.006805610614965, 13.88826615614587, 362594.6124036408)

BTS(6.239247507542247, 15.164085269675564, 366072.77661707875)

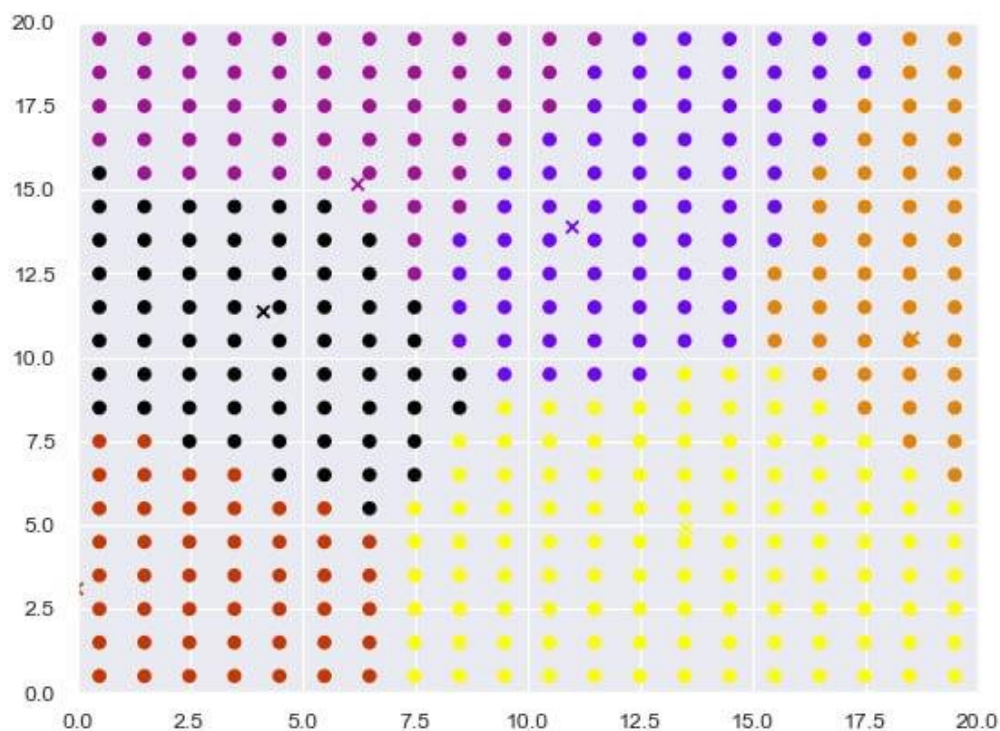
BTS(0, 3.1002660193338, 165938.99163376424)

BTS(18.570164711591772, 10.580093569218663, 244650.14700361586)

BTS(13.531274292103726, 4.898285830303497, 698721.362553535)

#### ۳-۲-۴- انتساب دکل‌ها به محله‌ها

مختصات محله‌ها به صورت نقطه وسط مربع‌های مشخص شده در نقشه صورت پروژه تعیین شده است. با توجه به رنگ‌های مشخص شده برای دکل‌ها می‌توان نحوه اختصاص دکل‌ها به محله‌ها را به شکل زیر نشان داد. (ضربدرها نشان‌دهنده محل دکل‌هاست).

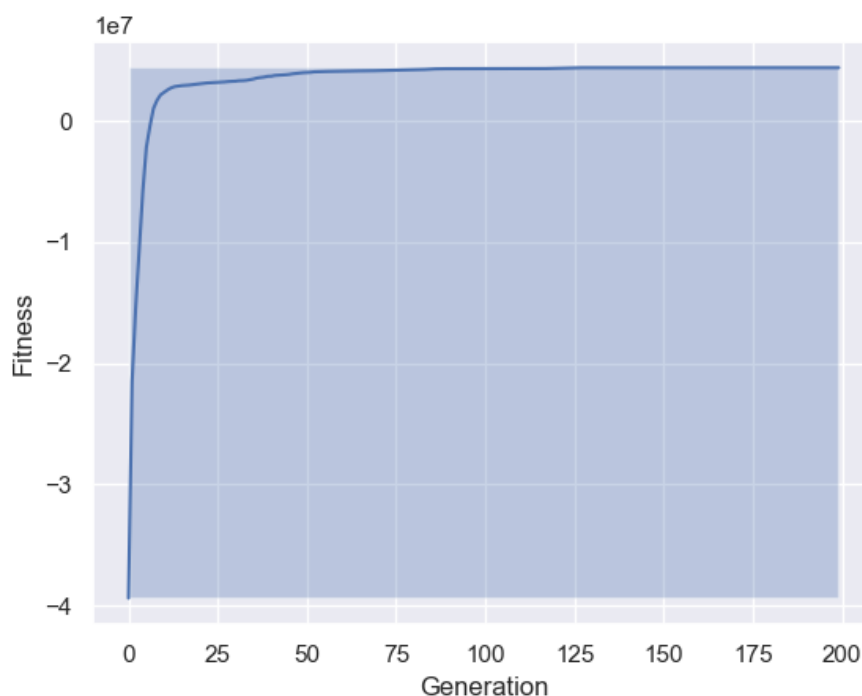


شکل ۲-۲- نمودار نحوه تخصیص دکل‌ها به محله‌ها

#### ۳-۴- احتمال جهش ۰/۹ و احتمال بازترکیب ۰/۱

نمودار تغییرات میانگین برزندگی افراد جمعیت در طی نسل‌های تکامل که بر روی ۱۰ اجرا متوسط‌گیری شده است به شکل زیر می‌باشد.





شکل ۱-۳- نمودار تغییرات میانگین برازندگی در طی نسل‌های تکامل برای احتمال جهش ۰/۹ و احتمال بازترکیب ۰/۱

#### ۱-۳-۴- بهترین راه حل

در ۱۰ بار اجرا و به تعداد نسل ۲۰۰ در هر اجرا بهترین راه حل به دست آمده به شرح زیر است:

نیاز به شش دکل داریم که **هزینه** (برپایی و نگهداری) و **رضایت‌مندی** آن‌ها و **برازندگی** راه حل به شرح زیر است.

N\_BTS: 6, Cost: 1474227.9398110048, Satisfaction: 5893040, Fitness: 4418812.060188996

#### ۲-۳-۴- مکان دکل‌های بهترین راه حل

**طول** و **عرض** جغرافیایی به همراه **پهنای باند** دکل‌های بهترین راه حل به ترتیب مشخص شده‌اند.

BTS(11.800720060579767, 3.720915005254244, 432571.94953675626)

BTS(0.565972325052722, 18.33332999442019, 236181.1446928672)

BTS(5.255959639592198, 7.644248183018722, 261103.50499330834)

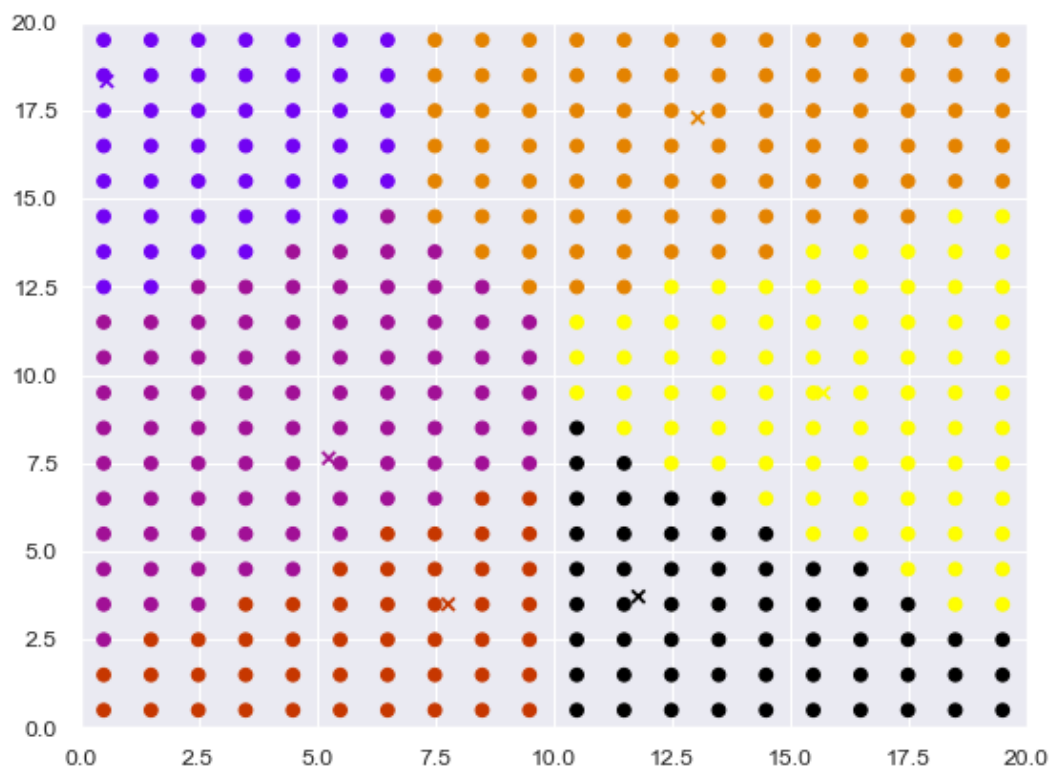
BTS(7.780637265968357, 3.502931466349885, 303044.5636492405)

BTS(13.05868482251562, 17.29490599673279, 219257.79976111976)

BTS(15.712955735027426, 9.493584763603598, 620367.8907098994)

#### ۳-۳-۴- انتساب دکل‌ها به محله‌ها

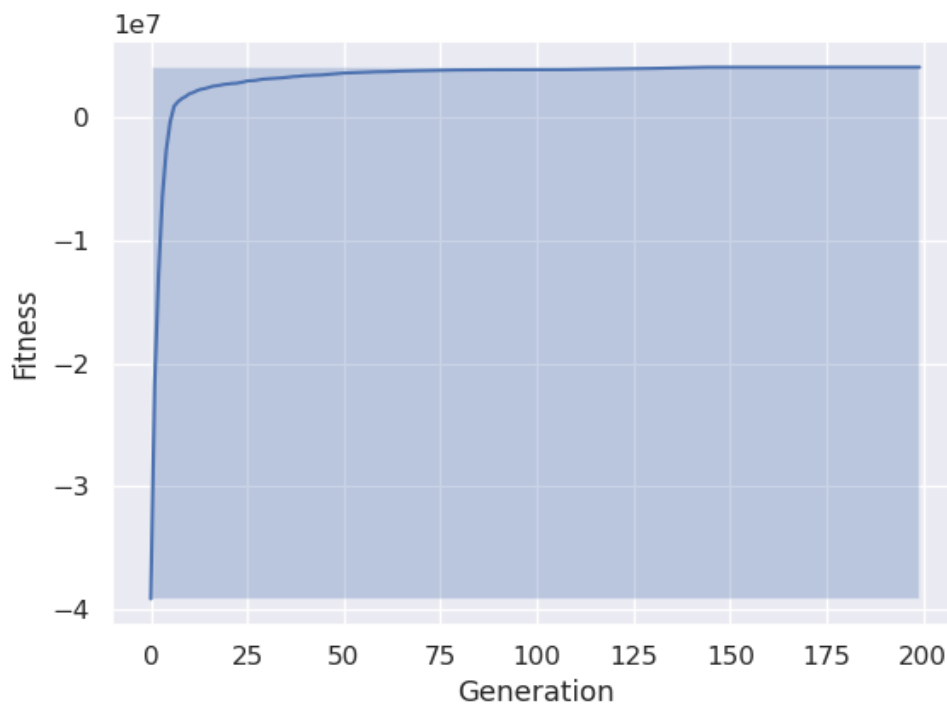
مختصات محله‌ها به صورت نقطه وسط مربع‌های مشخص شده در نقشه صورت پروژه تعیین شده است. با توجه به رنگ‌های مشخص شده برای دکل‌ها می‌توان نحوه اختصاص دکل‌ها به محله‌ها را به شکل زیر نشان داد. (ضربدرها نشان‌دهنده محل دکل‌هاست).



شکل ۳-۲- نمودار نحوه تخصیص دکل‌ها به محله‌ها

#### ۴-۴- احتمال جهش ۰/۹ و احتمال بازترکیب ۰/۹

نمودار تغییرات میانگین برازندگی افراد جمعیت در طی نسل‌های تکامل که بر روی ۱۰ اجرا متوسط‌گیری شده است به شکل زیر می‌باشد.



شکل ۱-۴- نمودار تغییرات میانگین برازندگی در طی نسل‌های تکامل برای احتمال جهش ۰/۹ و احتمال بازترکیب ۰/۹

#### ۱-۴-۴- بهترین راه حل

در ۱۰ بار اجرا و به تعداد نسل ۲۰۰ در هر اجرا بهترین راه حل به دست آمده به شرح زیر است:

نیاز به چهار دکل داریم که **هزینه** (برپایی و نگهداری) و **رضایت‌مندی** آن‌ها و **برازندگی** راه حل به شرح زیر است.

N\_BTS: 4, Cost: 1693023.598053241, Satisfaction: 5935070, Fitness: 4242046.401946759

N\_BTS: 4, Cost: 774487.1614641639, Satisfaction: 6683020, Fitness: 5908532.838535836

#### ۲-۴-۴- مکان دکل‌های بهترین راه حل

**طول** و **عرض** جغرافیایی به همراه **پهنای باند** دکل‌های بهترین راه حل به ترتیب مشخص شده‌اند.

BTS(5.268821336412266, 6.83842338862222, 558115.1811906168)

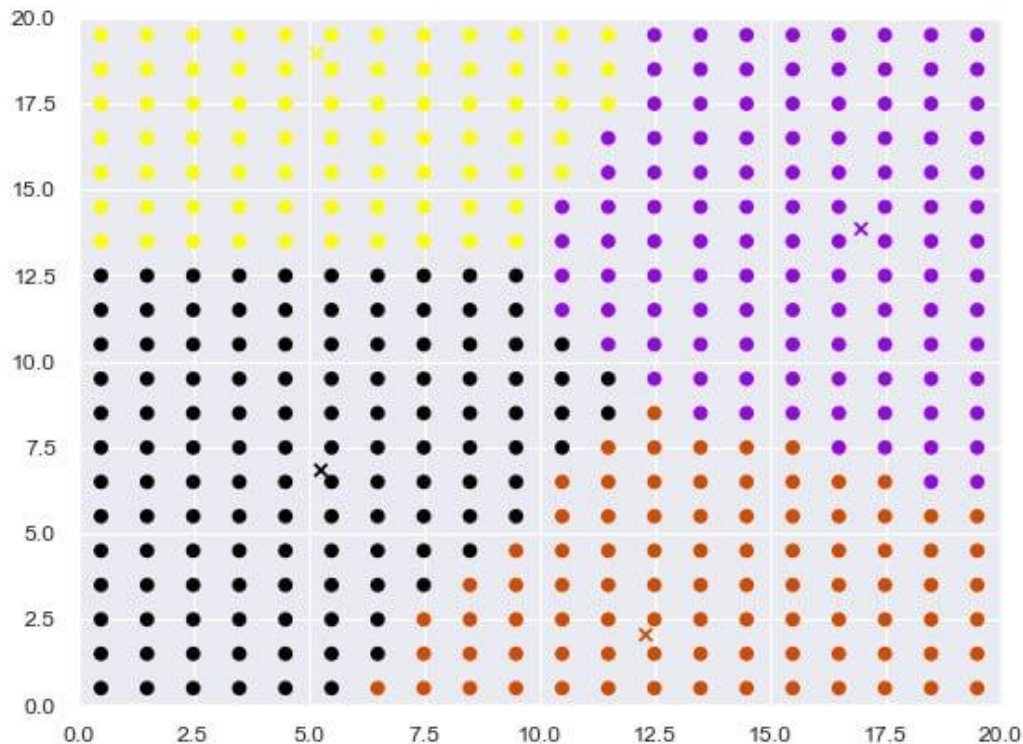
BTS(16.98055149571568, 13.85747787358497, 621437.4044355833)

BTS(12.3114868868938, 2.053458840066062, 586483.9199458034)

BTS(5.179163469471982, 18.96072783324537, 868200.72006652)

#### ۳-۴-۴- انتساب دکل‌ها به محله‌ها

مختصات محله‌ها به صورت نقطه وسط مربع‌های مشخص شده در نقشه صورت پروژه تعیین شده است. با توجه به رنگ‌های مشخص شده برای دکل‌ها می‌توان نحوه اختصاص دکل‌ها به محله‌ها را به شکل زیر نشان داد. (ضربدرها نشان‌دهنده محل دکل‌هاست).



شکل ۲-۴- نمودار نحوه تخصیص دکل‌ها به محله‌ها

#### ۵- بررسی شیب همگرایی

همانطور که در نمودارها مشاهده می‌شود، نمودار میانگین برازندگی با توجه به احتمال‌های جهش و بازترکیب متفاوت محدب نبوده و دارای نقاط بهینه محلی است به همین علت نمیتوان نقطه مشخصی برای همگرایی جواب‌ها مشخص نمود. اما مشاهده می‌شود شیب همگرایی تا نسل ۲۰ام بسیار زیاد بوده و پس از آن کاهش می‌یابد اما همچنان مثبت است.

#### ۶- منابع

Computational Intelligence, A Methodological Introduction 3rd edition: Rudolf Kruse, Sanaz Mostaghim, Christian Borgelt, Christian Braune, Matthias Steinbrecher