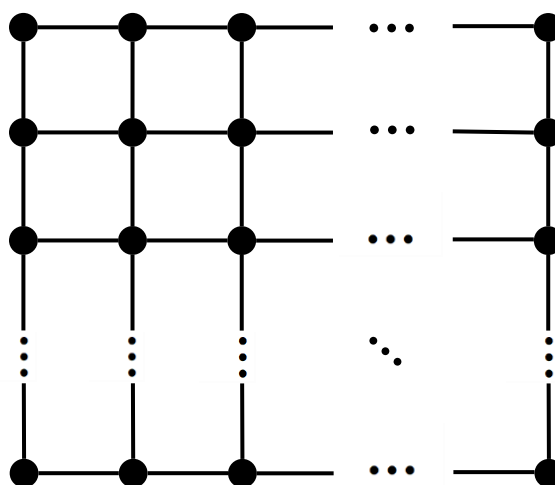




یکی از مسائل مهم در برپایی یک شبکه ارتباطی بی سیم (wireless network) تصمیم‌گیری در مورد نحوه پوشش منطقه هدف توسط دکل‌های مخابراتی است تا بتوان خدمات ارتباطی با کیفیت و در عین حال با کمترین هزینه ممکن را به کاربران ارائه داد. با توجه به وجود عوامل مختلف تأثیرگذار در پوشش شبکه و پیچیدگی ارتباط بین این عوامل، در این پروژه می‌خواهیم نحوه استفاده از الگوریتم‌های تکاملی برای حل یک نمونه از این مسأله را مورد بررسی قرار دهیم. جزئیات مسأله در بخش ۱ تشریح شده است. ملاحظاتی که باید در حل این مسأله در نظر گرفته شود، در بخش ۲ معرفی شده است. مواردی که باید تحویل داده شوند نیز در بخش ۳ آورده شده است. مهلت تحویل این پروژه تا پایان روز جمعه ۱۸ فروردین ۱۴۰۲ خواهد بود.

### ۱- تشریح مسأله

شرکت ارتباطات زیرساخت قصد دارد جهت تسهیل دسترسی مردم به اینترنت پرسرعت نسل جدید، تعدادی دکل مخابراتی را در چند نقطه از شهر اصفهان نصب کند. فرض کنید شهر اصفهان از ۴۰۰ محله (block) تشکیل شده است که در قالب یک ساختار توری (grid) متقارن به ابعاد  $20 \times 20$  مانند شکل ۱ قرار گرفته‌اند و فاصله هر محله از محله‌های مجاور افقی و عمودی ۱ (واحد اندازه‌گیری) است.



شکل ۱: نحوه قرارگیری محله‌ها در شهر

هر محله که به صورت یک نقطه در این توری در نظر گرفته شده است (پراکندگی کاربران در سطح محله نادیده گرفته می‌شود) دارای تعداد مشخصی کاربر است (برای محله  $x$  تعداد کاربران آن با  $|b_x|$  نشان داده می‌شود) و پهنای باند (ظرفیت) اختصاص داده شده به هر محله  $(BW(b_x))$  به صورت یکسان بین کاربران موجود در آن محله تقسیم می‌شود که در رابطه (۱) نشان داده شده است.

$$\forall u_i \in b_x, \quad BW(u_i) = \frac{BW(b_x)}{|b_x|} \quad (1)$$

پهنای باند در نظر گرفته شده برای هر دکل مخابراتی ( $BW(t_y)$ ) که برحسب مگابیت بر ثانیه (MB/s) تعیین می‌شود برای خدمت‌رسانی به کاربران محله‌هایی استفاده می‌شود که به آن دکل اختصاص داده شده‌اند ( $Blocks(t_y)$ ). پهنای باند اسمی هر محله ( $BW'(b_x)$ ) تنها توسط یک دکل مخابراتی پشتیبانی می‌شود که با توجه به کل جمعیت کاربران پوشش داده شده توسط آن دکل بر اساس رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$\forall b_j \in t_y, \quad BW'(b_j) = \frac{|b_j| \times BW(t_y)}{\sum_{i \in Blocks(t_y)} |b_i|} \quad (2)$$

دقت کنید که یک دکل می‌تواند به چند محله اختصاص یابد ولی یک محله فقط توسط یک دکل خدمت‌رسانی می‌شود. چون قدرت پوشش شبکه با افزایش فاصله محله‌ها از دکل کاهش می‌یابد همه محله‌های اختصاص داده شده به یک دکل پهنای باند یکسانی دریافت نمی‌کنند. بنابراین بر اساس فاصله هر محله از دکل پهنای باند واقعی اختصاص داده شده به آن به صورت یک تابع شبه گاوسی کاهش می‌یابد (مطابق با روابط (۳) و (۴)).

$$\forall b_x \in t_y, \quad BW(b_x) = cov(t_y, b_x) \times BW'(b_x) \quad (3)$$

$$cov(t_y, b_x) = \exp\left(-\frac{1}{2}(x-y)\Sigma^{-1}(x-y)^T\right), \quad \Sigma = \begin{pmatrix} 0 & 8 \\ 8 & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

در رابطه (۴) متغیرهای  $X$  و  $Y$  به ترتیب مختصات محله و دکل در شهر را نشان می‌دهد. روش محاسبه معکوس یک ماتریس  $2 \times 2$  در شکل ۲ نشان داده شده است.

If  $A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$  then

$A^{-1} = \frac{1}{ad - bc} \begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix}$

Inverse of A
Determinant of A
Adjoint of A

**Note:**  $A^{-1}$  exists only when  $ad - bc \neq 0$

شکل ۲: نحوه محاسبه معکوس یک ماتریس  $2 \times 2$

هزینه اولیه ساخت و نیز هزینه نگهداری هر دکل مخابراتی برای اساس پهنای باند آن تعیین می‌شود. هدف در این مسأله تعیین تعداد دکل‌های مورد نیاز، مختصات قرارگیری هر دکل در شهر و پهنای باند مورد نیاز برای آن، و چگونگی اختصاص هر محله به دکل‌هاست تا علاوه بر افزایش رضایت‌مندی کاربران، هزینه برپایی (هم ساخت و هم نگهداری) شبکه نیز کاهش یابد.

از شما به عنوان متخصص هوش مصنوعی خواسته شده است که راه‌حل مناسبی را با استفاده از یک الگوریتم تکاملی برای این مسئله به دست آورید. الگوریتم تکاملی مورد استفاده می‌تواند به دلخواه بر حسب نیازهای مسأله طراحی و پیاده‌سازی شود. به عنوان ورودی برنامه، تعداد کاربران موجود در هر محله به صورت یک ماتریس  $20 \times 20$  در فایلی به نام

*blocks\_population.txt* مشخص می‌شود که سطرهای آن نمایانگر سطرهای ماتریس بوده و عناصر ماتریس با یک ویرگول از یک دیگر جدا شده‌اند. همچنین سایر مشخصات مسأله به صورت یک دیکشنری پایتون در فایل *problem\_config.txt* به عنوان ورودی به برنامه داده می‌شود. توضیح اطلاعات این دیکشنری در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات مسأله

نام فیلد	توضیح فیلد
<i>tower_construction_cost</i>	هزینه اولیه ساخت هر دکل
<i>tower_maintanance_cost</i>	هزینه نگهداری هر دکل به ازای ارائه هر یک <i>MB/s</i> از پهنای باند
<i>user_satisfaction_levels</i>	سطوح مختلف رضایت کاربر براساس میزان پهنای باند دریافتی
<i>user_satisfaction_scores</i>	امتیاز رضایتمندی کاربر در هر سطح

سطوح مختلف و میزان رضایتمندی کاربر به صورت یک آرایه از مقادیر در دیکشنری مشخص شده‌اند. به عنوان مثال اگر سطوح مختلف رضایتمندی [۰.۲، ۱، ۳] بوده و امتیاز رضایتمندی متناظر با آنها با آرایه [۱۰، ۲۰، ۴۰] مشخص شده باشد نحوه محاسبه رضایتمندی کاربر مانند جدول ۲ قابل محاسبه است.

جدول ۲: رضایتمندی کاربر بر اساس میزان پهنای باند دریافتی

سطوح مختلف پهنای باند دریافتی یک کاربر	امتیاز رضایتمندی
کمتر از ۰/۲ مگابیت بر ثانیه	۰
بین ۰/۲ تا ۱ مگابیت بر ثانیه	۱۰
بین ۱ تا ۳ مگابیت بر ثانیه	۲۰
بالتر از ۳ مگابیت بر ثانیه	۴۰

دقت کنید برنامه نوشته شده توسط شما باید قابلیت اجرا به ازای مقادیر مختلف مشخصات مسأله را داشته باشد (مثلاً اگر هزینه ساخت دکل مقدار دیگری باشد). بنابراین باید توضیحات کافی در سرتاسر برنامه نوشته شود تا کد شما خوانایی بالایی برای اجرای دوباره به ازای ورودی‌های دیگر و امکان اجرا براساس مقادیر دیگر فایل‌های ورودی را داشته باشد.

الگوریتم‌های تکاملی دارای ابرپارامترهای متعددی هستند که در هنگام طراحی الگوریتم برای حل یک مسأله باید مقادیر آنها تعیین شود. در جدول ۳ برخی از این ابرپارامترها به همراه مقادیری که باید برای آنها در نظر گرفته شود آورده شده است. شما باید مسئله را با تمام ترکیب مقادیر ممکن از این ابرپارامترها اجرا کرده و بهترین ترکیب مقدار ممکن را شناسایی کنید. چهار ترکیب مقدار ممکن در جدول ۳ عبارتند از: (۱) احتمال جهش ۰.۱ و بازترکیب ۰.۱؛ (۲) احتمال جهش ۰.۹ و بازترکیب ۰.۱؛ (۳) احتمال جهش ۰.۹ و بازترکیب ۰.۹؛ و (۴) احتمال جهش ۰.۱ و بازترکیب ۰.۹ که باید جداگانه مورد بررسی قرار گیرند

جدول ۳: ابرپارامترهای الگوریتم

ابریارامتر	مقدار
اندازه جمعیت	۵۰
حداکثر تعداد نسل‌ها	۲۰۰
احتمال جهش	۰.۱ و ۰.۹
احتمال بازترکیب	۰.۱ و ۰.۹

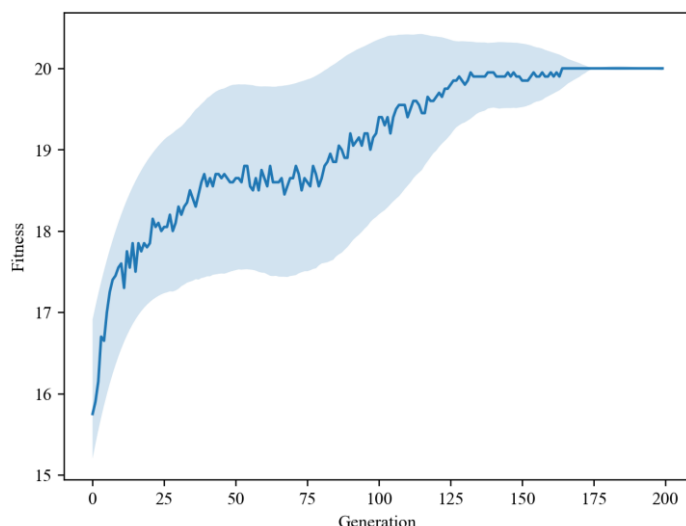
## ۲- ملاحظات که در حل مسئله باید در نظر گرفته شوند

الف) نحوه مدل سازی و جزییات روش نمایش راه حل ها و تابع هدف در نظر گرفته شده برای مسأله باید به صورت شفاف مشخص شوند.

ب) عملگرهای انتخاب و تغییر مورد استفاده باید به صورت کامل و صریح مشخص شوند.

پ) بهترین راه حل بدست آمده توسط الگوریتم به همراه تفسیر آن (شامل تعداد دکل ها، پهنای باند هر دکل، مختصات دقیق قرارگیری هر یک از دکل ها، نحوه اختصاص دکل ها به محله ها) و مقدار برازندگی این راه حل به همراه جزئیات آن (سطح رضایت مندی در هر محله و هزینه برپایی شبکه بهینه) باید گزارش شود.

ت) نمودار تغییرات میانگین برازندگی افراد جمعیت در طی نسل های تکامل (نمودار روند تکامل) که بر روی حداقل ۱۰ اجرا متوسط گیری شده است باید گزارش شود. این نمودار می تواند مشابه شکل ۱ باشد.



شکل ۳: مثالی از نمودار میانگین رسم شده برای ۲۰۰ نسل

ث) زمان اجرای نسخه های مختلف الگوریتم تکاملی مورد استفاده باید گزارش شود.

ج) عملکرد الگوریتم تکاملی مورد استفاده مورد باید ارزیابی و تحلیل قرار گرفته و گزارش شود. به این منظور نمودار روند تکامل و شیب همگرایی آن، سرعت رسیدن به راه حل قابل قبول و زمان اجرای الگوریتم می تواند مورد ارزیابی قرار گیرد. تحلیلی از چشم انداز برازندگی این مسئله، بهینگی بهترین راه حل بدست آمده و دلیل همگرایی الگوریتم به این راه حل برخی از انواع بررسی های قابل انجام است. همچنین می توانید بهترین مقدار ابرپارامتر «تعداد تکرار نسل ها» را براساس شیب همگرایی الگوریتم تعیین کنید. به این منظور به دو نکته زیر توجه کنید:

- اگر شیب همگرایی الگوریتم شما تا آخرین نسل اجرا بالا باشد، احتمالاً اجرای الگوریتم در نسل های بیشتر بتواند به نتایج بهتری برسد و در غیراین صورت، توقف زودتر الگوریتم می تواند از مصرف بیش از حد منابع جلوگیری کند.
- اگر الگوریتم زود به یک راه حل همگرا شد، سعی کنید مقادیر دیگر احتمال جهش را مورد استفاده قرار دهید. علاوه بر آن تغییر مقدار جهش براساس شیب همگرایی می تواند کمک کننده باشد. راه حل دیگر جلوگیری از تولید راه حل های تکراری

می‌باشد. سعی کنید این موارد را در اجرای الگوریتم خود مورد توجه قرار داده و توضیح دهید چرا این راه‌کارها می‌توانند به بهبود الگوریتم کمک کنند.

با بررسی این دو نکته در صورت عدم کارایی مناسب الگوریتم مورد استفاده عملکرد آن را تغییر داده و تاثیر آن‌ها بر بهترین پاسخ به دست آمده را توضیح دهید. همچنین می‌توانید نتایج به دست آمده را براساس برازندگی‌های به دست آمده در نسل‌های متعدد الگوریتم بررسی کنید.

### ۳ – مواردی که باید تحویل داده شود

- فایل(های) کد برنامه مورد استفاده برای پیاده‌سازی پروژه در یک پوشه به نام Code
  - استفاده از کتابخانه آماده نمره‌ای نداشته و حتما باید تمام روند الگوریتم از ابتدا<sup>۱</sup> پیاده‌سازی شود.
  - هرگونه کپی کد یا گزارش چه از فضای اینترنت و چه از گروه‌های دیگر نمره منفی خواهد داشت.
  - میزان مشارکت هر فرد گروه در پروژه باید به صورت شفاف مشخص باشد. هر یک از اعضای گروه باید به کلیات روش حل مسئله و نیز جزییات آن بخشی از پروژه که مسئولیتش را به عهده داشته‌اند تسلط کافی داشته باشد. این مورد به صورت ارائه حضوری مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.
- فایل گزارش با نام Doc.pdf شامل موارد زیر:
  - نتایج حل مسئله به همراه ملاحظات مشخص شده در بخش ۲
  - تشریح و تحلیل نتایج به دست آمده از نظر شما
  - هر گونه توضیح اضافی در مورد نحوه انجام پروژه
- \* دقت کنید که گزارش شما حتما باید به صورت یک گزارش فنی باشد.
- فایل‌های کد و گزارش را به صورت یک فایل فشرده در قالب ZIP و با نام CI\_PR1\_Names تحویل دهید (به جای Names نام خانوادگی اعضای گروه را قرار دهید).
- پاسخ‌ها باید از طریق سایت درس در کوئرا ارسال شوند.

**مهلت تحویل این پروژه تا پایان روز جمعه ۱۸ فروردین خواهد بود.**

موفق باشید

---

<sup>1</sup> From Scratch