



یکی از انواع مسائل ترکیبیاتی (Combinatorial) پرکاربرد، مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (Vehicle Routing Problem) است که به اختصار به آن VRP گفته می‌شود و نسخه تعمیم‌یافته‌ای از مسئله بسیار معروف فروشنده دوره گرد (Travelling Salesman Problem) است. در مسئله VRP یک انبار (depot) و تعدادی مشتری (Customer) با مختصات و نیاز (Demand) مشخص وجود دارد. هدف این مسئله آن است که با استفاده از تعدادی وسیله نقلیه (Vehicle) که معمولاً ظرفیت (Capacity) مشخصی دارند، به نیاز مشتریان پاسخ داده شود به گونه‌ای که یک تابع خطا (مثلاً مجموع مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه) کمینه شود. با نسخه تک هدفه این مسئله در تمرین دوم آشنا شدید. هدف این تمرین، مدل‌سازی و حل مسئله VRP در حالت چند هدفه با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی است. در بخش ۱ این مسئله به طور کامل تشریح شده است. حالت‌های خاصی که برای حل مسئله VRP چند هدفه در نظر گرفته شده، در بخش ۲ توضیح داده شده است. در بخش ۳ ملاحظات کلی که باید در حل هر نمونه مسئله در نظر گرفته شود، معرفی شده‌اند. مواردی که باید تحویل داده شوند نیز در بخش ۴ آورده شده است. در ضمیمه این تمرین، ۲ فایل متنی با پسوند .txt. هم قرار گرفته است که برای هر یک از ۳ نمونه مسئله بخش ۲ مفید خواهند بود. مهلت تحویل این تمرین پایان روز جمعه ۷ بهمن ۱۴۰۱ خواهد بود.

۱- تشریح مسئله VRP

شرکت توزیع کالای **رایانش کالا** در شهر اصفهان روزانه تعداد زیادی بسته سفارشی را به دست مشتریان می‌رساند. این شرکت تعدادی انبار بزرگ d_i در سطح شهر دارد که محل نگهداری موقت بسته‌هاست. هر یک از این انبارها مختصات جغرافیایی (x_{d_i}, y_{d_i}) دارند. هر شب بسته‌هایی که قرار است روز بعد به دست مشتریان برسد، در این انبارها گرد هم می‌آیند و صبح روز بعد تعدادی وسیله نقلیه مسئول رساندن این کالاها به دست مشتریان هستند. تعداد این وسایل نقلیه در کل K است که هر کدام ظرفیت Q دارد (ظرفیت همه وسایل نقلیه برابر است). راننده هر وسیله نقلیه از شب قبل می‌داند که باید صبح با وسیله نقلیه‌اش در کدام انبار حاضر شود و چه بسته‌هایی را به کدام مشتریان برساند. مشتریان در نقاط مختلف شهر منتظر تحویل بسته‌های سفارشی خود هستند به طوری که مشتری c_j که در مختصات جغرافیایی (x_{c_j}, y_{c_j}) قرار دارد نیاز به q_j بسته دارد که باید این بسته‌ها به صورت یکجا به دست او برسد. هر وسیله نقلیه می‌تواند بسته‌های بیش از یک مشتری را بارگیری کند (به شرط این که بار آن از ظرفیت آن بیشتر نشود) و آن‌ها را پس از ترک انبار در یک مسیر به نوبت به دست مشتریان مربوطه برساند و در انتها برای بارگیری مجدد به انبار برگردد. هر مشتری باید فقط توسط یک وسیله نقلیه خدمت‌رسانی شود و امکان این که بخشی از بسته‌های یک مشتری توسط یک وسیله نقلیه و بخشی توسط وسیله نقلیه دیگر تحویل داده شود وجود ندارد.

از شما به عنوان متخصص هوش مصنوعی درخواست شده است که برنامه‌ای برای حل این مسئله بهینه‌سازی بنویسید. برنامه شما باید قادر باشد که با داشتن تعداد و مختصات انبارها و نیز تعداد و ظرفیت وسایل نقلیه شرکت و با گرفتن تعداد، مختصات و میزان نیاز مشتریان در هر روز محاسبه کند که بسته‌های کدام مشتریان در کدام انبار قرار بگیرد و سپس در روز توزیع، هر وسیله نقلیه در کدام انبار حاضر شود تا بسته‌ها را به دست مشتریان برساند. معیارهای مختلفی برای این مسئله بهینه‌سازی مطرح می‌شود که در ادامه به هر یک از آن‌ها می‌پردازیم:

کمینه‌سازی مسافت کل: این معیار به دنبال آن است که مجموع مسافتی که تمام وسایل نقلیه شرکت در طول روز طی می‌کنند کمینه باشد.

بیشینه‌سازی تعداد مشتریانی که خدمت‌رسانی می‌شوند: این معیار به دنبال آن است که بسته‌های تعداد بیشتری از مشتریان را به دست آن‌ها برساند. توجه کنید که توسط این معیار تعدادی از مشتریان همه بسته‌های خود را دریافت می‌کنند و تعدادی هم هیچ یک از بسته‌های خود را دریافت نمی‌کنند.

بیشینه‌سازی مجموع نیازهای پاسخ داده شده مشتریان: این معیار به دنبال آن است که بسته‌های بیشتری به دست مشتریان برسد. توجه کنید که توسط این معیار تعدادی از مشتریان همه بسته‌های خود را دریافت می‌کنند و تعدادی هم هیچ یک از بسته‌های خود را دریافت نمی‌کنند. در واقع این معیار همان معیار قبلی است با این تفاوت که به مشتریانی که نیاز بیشتری دارند اهمیت و وزن بیشتری داده می‌شود.

کمینه‌سازی تعداد وسیله نقلیه: این معیار به دنبال آن است که تعداد وسایل نقلیه به کار گرفته شده برای توزیع بسته‌ها (و یا به طور معادل تعداد دوره‌هایی که یک وسیله نقلیه باید انبار را ترک و پس از تحویل بسته‌ها دوباره به آن برگردد) را کمینه کند.

در مسئله VRP چند هدفه دو یا چند تا از این معیارها به صورت همزمان به عنوان معیار برازندگی در نظر گرفته می‌شوند و برنامه‌ریزی مسیرها به گونه‌ای صورت می‌گیرد که پاسخ (یا پاسخ‌های) به دست آمده از منظر همه این معیارها بهینه باشد. مثلاً دنباله مسیرهایی که هم معیار مسافت کل را کمینه و هم معیار تعداد مشتریان را بیشینه می‌کند، به عنوان راه حل بهینه در نظر گرفته می‌شود. از آن جا که مسئله VRP یک مسئله NP-Hard است، تکنیک‌های سنتی بهینه‌سازی قادر به حل این مسئله در زمان مناسب نیست و شما باید برای حل آن برنامه‌ای را بر اساس رویکردهای تکاملی بنویسید. نمونه‌هایی از این مسئله در بخش ۲ آورده شده است.

۲ – نمونه مسائلی که باید حل شوند

شما باید ۳ نمونه مسئله را حل کنید. همه این مسائل، چند انباره (MDVRP) هستند که در آن‌ها هر وسیله نقلیه در ابتدا می‌تواند از هر یک از انبارها کار را شروع کند ولی در نهایت (و یا در هر نوبت به منظور بارگیری مجدد) باید به همان انبار اولیه برگردد. **برای هر مسئله دو الگوریتم تکاملی مختلف طراحی کنید** و مولفه‌ها و پارامترهای الگوریتم را به طور دقیق مشخص کنید (الگوریتم‌های طراحی شده برای مسائل مختلف می‌تواند یکسان باشد).

در همه این مسائل شهر اصفهان را به صورت یک صفحه شطرنجی 100×100 در نظر بگیرید که مبدأ آن در مرکز قرار دارد و هر یک از مختصات x و y آن می‌تواند از -50 تا $+50$ باشد. مختصات هر یک از انبارها و مشتریان فقط می‌تواند اعداد صحیح (نقاط تقاطع در صفحه شطرنجی) باشد. معیار فاصله را در کل این تمرین **فاصله منهتن** در نظر بگیرید زیرا وسایل نقلیه برای جابجایی بین مشتریان فقط می‌توانند از روی خطوط صفحه شطرنجی که همان خیابان‌ها هستند، تردد کنند. فرض کنید که

هیچ یک از خیابان‌ها مسدود یا یک طرفه نیست. هر یک از مسائل را حل کنید و شرط توقف الگوریتم تکاملی را ۵۰۰۰ فراخوانی هر تابع برازندگی قرار دهید.

مسئله ۱) تعداد انبارها ۳ و تعداد وسایل نقلیه ۵ عدد است. هر وسیله نقلیه می‌تواند به تعداد نامحدود، انبار را ترک کند و پس از رساندن سفارش تعدادی مشتری به همان انبار برگردد. ظرفیت حمل هر وسیله نقلیه ۱۰۰ واحد و مسافتی که هر وسیله نقلیه می‌تواند طی کند، نامحدود است. مختصات مکانی و نیازهای مشتریان در فایل **P1-2.txt** داده شده است. هدف اول، کاهش مسافت کل طی شده توسط همه وسایل نقلیه و هدف دوم، افزایش تعداد مشتریانی است که نیازهای آن‌ها برآورده می‌شود (هدف‌ها هیچ ارجحیتی بر یکدیگر ندارند).

$$(x_{d_1}, y_{d_1}) = (31, 6) \quad (x_{d_2}, y_{d_2}) = (-31, 7) \quad (x_{d_3}, y_{d_3}) = (25, -10)$$

مسئله ۲) تعداد انبارها ۳ عدد و تعداد وسایل نقلیه ۵ عدد است. هر وسیله نقلیه می‌تواند به تعداد نامحدود، انبار را ترک کند و پس از رساندن سفارش تعدادی مشتری به همان انبار برگردد. ظرفیت حمل هر وسیله نقلیه ۱۰۰ واحد و مسافتی که هر وسیله نقلیه می‌تواند طی کند، نامحدود است. مختصات مکانی و نیاز مشتریان در فایل **P1-2.txt** داده شده است. هدف اول، کاهش مسافت کل طی شده توسط همه وسایل نقلیه و هدف دوم، افزایش کل نیازهای برآورده شده‌ی مشتریان است (هدف‌ها هیچ ارجحیتی بر یکدیگر ندارند).

$$(x_{d_1}, y_{d_1}) = (31, 6) \quad (x_{d_2}, y_{d_2}) = (-31, 7) \quad (x_{d_3}, y_{d_3}) = (25, -10)$$

مسئله ۳) تعداد انبارها ۳ عدد است و هر وسیله نقلیه فقط یک بار می‌تواند یکی از انبارها را ترک کند و پس از رساندن سفارش تعدادی مشتری به همان انبار برگردد. مسافتی که هر وسیله نقلیه می‌تواند طی کند، ۲۰۰ کیلومتر است ولی ظرفیت آن نامحدود می‌باشد. مختصات مکانی و نیاز مشتریان در فایل **P3.txt** داده شده است. هدف اول، کاهش تعداد کل وسایل نقلیه و هدف دوم، افزایش کل نیازهای برآورده شده‌ی مشتریان می‌باشد (هدف‌ها هیچ ارجحیتی بر یکدیگر ندارند).

$$(x_{d_1}, y_{d_1}) = (40, 23) \quad (x_{d_2}, y_{d_2}) = (0, 0) \quad (x_{d_3}, y_{d_3}) = (-18, -27)$$

جدول ۱ مشخصات این ۳ نمونه مسئله را به طور خلاصه نشان می‌دهد.

جدول 1. نمونه مسائل VRP چند هدفه

| شماره مسئله | تعداد انبارها | تعداد وسایل نقلیه | مسافت مجاز قابل پیمایش توسط یک وسیله نقلیه در یک دور (MD) | ظرفیت هر وسیله نقلیه (Q) | تعداد مشتریان | مختصات مکانی و میزان نیاز هر مشتری | تابع هدف ۱ | تابع هدف ۲ |
|-------------|---------------|-------------------|---|--------------------------|---------------|------------------------------------|---------------------|--|
| ۱ | ۳ | ۵ | – | ۱۰۰ | ۱۵۰ | P1-2.txt | مسافت کل ↓ | تعداد مشتری‌هایی که خدمت‌رسانی می‌شوند ↑ |
| ۲ | ۳ | ۵ | – | ۱۰۰ | ۱۵۰ | P1-2.txt | مسافت کل ↓ | مجموع نیازهای پاسخ داده شده مشتریان ↑ |
| ۳ | ۳ | ؟ | ۲۰۰ کیلومتر | – | ۱۵۰ | P3.txt | تعداد وسایل نقلیه ↓ | مجموع نیازهای پاسخ داده شده مشتریان ↑ |

۳ – ملاحظات‌ای که در حل مسائل باید در نظر گرفته شوند

الف) در همه نمونه مسئله‌های بیان شده در بخش ۲ باید نوع مدل‌سازی و جزییات روش نمایش به وضوح مشخص گردد.

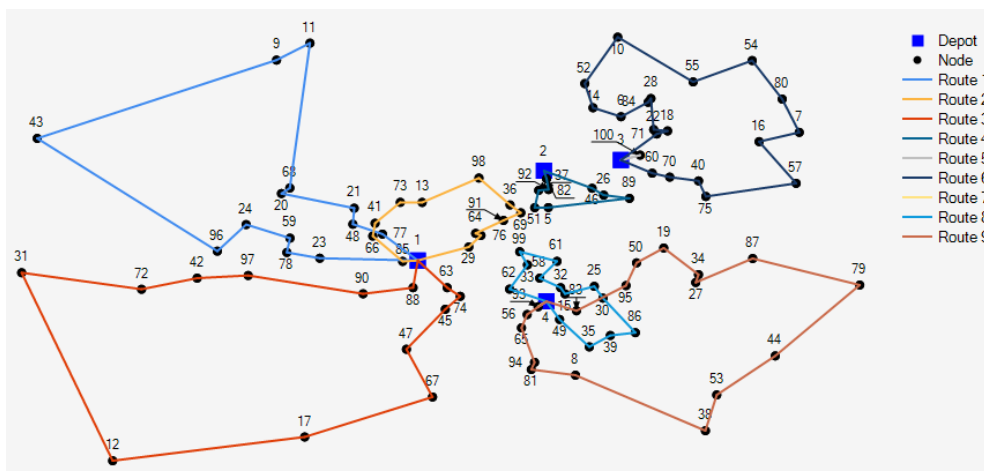
ب) در هر یک از نمونه مسائل بیان شده در بخش ۲ باید دو الگوریتم تکاملی مختلف طراحی شود و به صورت کامل و صریح عملگرهای انتخاب و تغییر در هر الگوریتم توضیح داده شود.

پ) در هر یک از نمونه مسائل بخش ۲ باید به صورت تقریبی رویه pareto به ازای هر الگوریتم تکاملی به دست آورده شود و این دو رویه در یک نمودار که محور افقی آن تابع هدف اول و محور عمودی آن تابع هدف دوم است، ترسیم و با یکدیگر مقایسه شود.

ت) با توجه به این که همه مشخصات نمونه مسئله‌های ۱ و ۲ به جز تابع برازندگی دوم با یکدیگر یکسان هستند، شکل رویه pareto این دو مسئله را با یکدیگر مقایسه کنید.

ث) در مورد دو معیار HyperVolume (HV) و Convergence در بهینه‌سازی چند هدفه تحقیق کنید و به صورت مختصر در مورد آن‌ها توضیح دهید. سپس نمودار تغییرات هر یک از این دو معیار در نسل‌های مختلف را برای الگوریتم‌های طراحی شده در هر یک از نمونه مسائل بخش ۲ رسم کنید. محور افقی نمودار باید شماره نسل و محور عمودی آن، مقدار معیار باشد. این معیارها را می‌توانید به طور مثال در کتابخانه pymoo بیابید و از آن استفاده کنید.

ج) در همه نمونه مسائل بیان شده در بخش ۲ باید نمودار توزیع مسیرها برای دو تا از بهترین پاسخ‌های نهایی که در رویه pareto قرار دارند ولی تا حد امکان از هم دور هستند، رسم شود. نمونه‌ای از این نمودار در شکل زیر قابل مشاهده است:



۴ – مواردی که باید تحویل داده شود

- فایل(های) کد برنامه مورد استفاده برای پیاده‌سازی تمرین در یک پوشه به نام Code
 - هر گونه نیازمندی‌ها یا وابستگی‌های نرم‌افزاری برای اجرای کدها مشخص شود.
 - هر گونه استفاده از ابزارها یا بسته‌های نرم‌افزاری در پیاده‌سازی باید صراحتاً با ذکر منبع بیان شود.
 - فایل گزارش با نام Doc.pdf شامل موارد زیر:
 - نتایج حل هر یک از نمونه مسائل بخش ۲ به همراه ملاحظات مشخص شده در بخش ۳
 - تشریح و تحلیل نتایج به دست آمده از نظر شما: الگوریتم تکاملی چگونه توانست مسئله VRP چند هدفه را حل کند؟
 - هر گونه توضیح اضافی در مورد نحوه انجام تمرین
- * دقت کنید که گزارش شما حتماً باید به صورت یک گزارش فنی باشد.
- فایل‌های کد و گزارش را به صورت یک فایل فشرده در قالب ZIP و با نام EC_Name_Family_HW4 در سایت کوئرا بارگذاری کنید (به جای Name نام و به جای Family نام خانوادگی خود را قرار دهید).

مهلت تحویل این تمرین تا پایان روز جمعه ۷ بهمن خواهد بود.

موفق باشید
کارشناس