دانشکده علوم

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته ریاضی کاربردی- تحقیق در عملیات

حل مسئله حمل و نقل با هزینه ثابت دو مرحله‌ای به وسیله الگوریتم ژنتیک

توسط:

جواد صادقی حسن ابادی

استاد راهنما:

دکتر محمد باقر احمدی

شهریور ۱۳۹۲

چکیده

حل مسئله حمل و نقل با هزینه ثابت دو مرحله ای به وسیله الگوریتم ژنتیک

به وسیله‌ی:

جواد صادقی حسن ابادی

در این تحقیق ابتدا به معرفی مسئله حمل و نقل می پردازیم. سپس برای استفاده از الگوریتم ژنتیک نحوه‌ی بدست آوردن کروموزوم‌های اولیه را نشان می‌دهیم. در ادامه با استفاده از الگوریتم ژنتیک و با در نظر گرفتن دو سناریو مختلف سعی در حل مسئله و یافتن جواب آن داریم. در سناریو اول برای انتقال کالاها هزینه واحد حمل و نقل و هزینه ثابت وابسته به هر مسیر را در نظر می‌گیریم، همچنین ظرفیت هر مرکز پخش را نامحدود فرض می‌کنیم. در سناریو دوم ظرفیت مراکز پخش را محدود فرض می‌کنیم و علاوه بر هزینه واحد حمل و نقل، هزینه‌ای را هم برای باز نگه داشتن هر مرکز پخش در نظر می‌گیریم. در پایان نتایج بدست آمده از طریق این الگوریتم را با الگوریتم‌های پیشین مقایسه می‌کنیم.

کلید واژه: مسئله حمل و نقل، الگوریتم ژنتیک، حمل و نقل دومرحله‌ای.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدّمه

۱-۱ بهینه سازی.....۲

۱-۲ الگوریتم‌های جستجو.....۳

۱-۳ الگوریتم ژنتیک.....۴

۱-۳-۱ مکانیزم الگوریتم ژنتیک.....۶

۱-۳-۲ عملگرهای الگوریتم ژنتیک ۹

۱-۳-۲-۱ کد گذاری.....۸

۱-۳-۲-۲ ارزیابی.....۹

۱-۳-۲-۳ ترکیب.....۹

۱-۳-۲-۴ جهش.....۹

۱-۳-۲-۵ رمزگشایی.....۱۰

۱-۴ مسئله حمل و نقل.....۱۱

۱-۴-۱ روش گوشه‌ی شمال غربی ۱۱

۱-۴-۲ روش حداقل هزینه ۱۲

۱-۴-۳ روش وُگِل.....۱۳

عنوان **صفحه**

۱-۴-۴ روش راسل.....۱۴

۱-۵ بهتر کردن یک جواب شدنی در مسئله حمل و نقل.....۱۴

۱-۵-۱ روش پله‌ای ۱۵

فصل دوم: معرفی مسئله حمل و نقل دومرحله‌ای و دو سناریو متفاوت برای آن

۲-۱ مسئله حمل و نقل دومرحله‌ای.....۱۸

۲-۲ سناریو اول.....۱۹

۲-۳ سناریو دوم.....۲۱

فصل سوم: بکار گیری الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله حمل و نقل دومرحله‌ای

۳-۱ بکارگیری الگوریتم ژنتیک برای سناریو اول.....۲۵

۳-۱-۱ نمایش کروموزوم‌ها ۲۶

۳-۱-۲ تولید جمعیت اولیه ۳۰

۳-۱-۳ توسیع کروموزوم‌ها.....۳۶

۳-۱-۴ تابع برازندگی ۴۰

۳-۱-۵ ترکیب.....۴۰

۳-۱-۵ عملگر بهبود ۴۳

۳-۱-۵-۱ مرحله اول عملگر بهبود.....۴۵

۳-۱-۵-۲ مرحله دوم عملگر بهبود.....۴۶

۳-۱-۶ انتقال تعدادی کروموزوم بدون تغییر به مرحله‌ی بعد ۴۸

عنوان **صفحه**

۳-۱-۷ شرایط پایان الگوریتم ۴۹

۳-۲ بکارگیری الگوریتم ژنتیک برای سناریو دوم.....۴۹

فصل چهارم: تبدیل سناریو اول به مسئله حمل و نقل تک مرحله‌ای و حل آن با الگوریتم ژنتیک

۴-۱ مقدّمه.....۵۲

۴-۲ تبدیل سناریو اول به مسئله حمل و نقل تک مرحله‌ای.....۵۲

۴-۳ تبدیل کروموزوم از حالت جایگشتی به شکل جدول حمل و نقل.....۵۴

۴-۴ بکارگیری الگوریتم ژنتیک برای مسئله تک مرحله‌ای.....۵۷

فصل پنجم: تبدیل سناریو اول به صورت تک مرحله‌ای و حل آن با روش‌های بهینه موجود

۵-۱ تبدیل سناریو اول به صورت تک مرحله‌ای ۶۱

۵-۲ حل مسئله تک مرحله‌ای با استفاده از روش‌های بهینه موجود ۶۴

فصل ششم: نتایج الگوریتم و نتیجه‌گیری نهایی

۶-۱ نتایج استفاده از الگوریتم ژنتیک برای سناریو اول و مسئله تغییر یافته تک مرحله‌ای.....۷۰

۶-۲ نتایج استفاده از الگوریتم ژنتیک برای سناریو دوم.....۷۲

۶-۳ نتایج بدست آمده برای مسئله تغییر یافته به صورت تک مرحله‌ای که با روش‌های بهینه موجود حل شده است..... .....۷۳

عنوان **صفحه**

۶-۳ خلاصه و نتیجه‌گیری.....۷۴
مراجع.....۷۵

فصل اول

فصل ۱- مقدّمه

۱-۱ بهینه سازی

بهینه سازی موضوعی مهم در تحقیق در عملیات، علوم کامپیوتر، هوش مصنوعی و مسائل دیگر است. به عبارتی دیگر بهینه سازی فرایندی است که تلاش می‌کند در یک زمان معقول بهترین جواب را از میان جواب‌های شدنی بدست آورد. استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی مناسب به دلیل زمان‌بر بودن حل مسائل از اهمیت بالایی برخوردار است. یک نمونه از مسائلی که نمی‌توان آنها را به روش سنتی حل کرد مسائل NP_Hard هستند. این مجموعه (مسائل سخت) شامل چند هزار مسئله مختلف با کاربردهای فراوان است که تاکنون برای آنها راه‌حلّ سریع و قابل انجام در زمان معقول پیدا نشده است و به احتمال زیاد برای برخی از آن‌ها در آینده نیز یافت نخواهد شد. منظور از راه‌حلّ سریع آن است که زمان اجرای الگوریتم با اندازهٔ ورودی مسأله به صورت چند جمله‌ای رابطه داشته باشد. روش‌های مختلفی برای حلّ سریع و نزدیک به بهینه برای یک مسئله NP_Hard وجود دارد. سیستم‌های پیچیدهٔ اجتماعی، تعداد زیادی از مسائل دارای طبیعت ترکیباتی را پیش روی ما قرار می‌دهند. مسیر کامیون‌های حمل و نقل، انبارها یا نقاط فروش،

باید تعیین شوند. محصولات باید جایابی شوند. شبکه‌های ارتباطی باید طراحی شوند. کانتینرها باید بارگیری شوند. رابط‌های رادیویی می‌بایست دارای فرکانس مناسب باشند. مواد اولیه چوب، فلز، شیشه و چرم باید به اندازه‌های لازم بریده شوند. از این دست مسائل بی‌شمارند. تئوری پیچیدگی به ما می‌گوید که مسائل ترکیباتی اغلب چند جمله‌ای نیستند. این مسائل در اندازه‌های کاربردی و عملی خود به قدری بزرگ هستند که نمی‌توان جواب بهینه آنها را در مدّت زمان قابل پذیرش به دست آورد. با این وجود، این مسائل باید حل شوند و بنابراین چاره‌ای نیست که به جواب‌های تقریباً بهینه بسنده نمود، به گونه‌ای که دارای کیفیّت قابل پذیرش بوده و در مدّت زمان قابل پذیرش به دست آیند. چندین رویکرد برای طراحی جواب‌های با کیفیّت قابل پذیرش تحت محدودیّت زمانی قابل پذیرش پیشنهاد شده است. الگوریتم‌هایی وجود دارند که می‌توانند یافتن جواب‌های خوب در فاصله مشخصی از جواب بهینه را تضمین کنند، که به آنها الگوریتم‌های ابتکاری می‌گویند.

۱-۲ الگوریتم‌های جستجو

در علوم کامپیوتر و ریاضیات، یک الگوریتم جستجو، الگوریتمی است که یک مسأله را به عنوان ورودی می‌گیرد و بعد از ارزیابی کردن راه‌حل‌های ممکن، یک راه‌حل برای آن مسئله نشان می‌دهند. هنگامی که مسئله‌ای را حل می‌کنیم معمولاً دنبال آن هستیم که بهترین راه‌حل و یا به بیان دیگر به یک جواب بهینه از بین جواب‌های ممکن برای مسأله در محدوده‌ای که جواب‌های مسئله قابل قبول باشند برسیم. به محدوده‌ای که جواب‌های مسئله قابل قبول باشند، فضای شدنی می‌گوییم. هر نقطه از محدودهٔ فضای شدنی نشان دهندهٔ یکی از راه‌های

انجام مسئله مورد نظر می‌باشد. به عبارت دیگر مجموعه راه‌حل‌های ممکن برای یک مسئله را باید در فضای شدنی جستجو کنیم. مهمترین عامل در حل هر مسئله، جستجو به دنبال پاسخ‌های احتمالی مسئله است. به طور کلی با دو دسته از الگوریتم‌ها مواجه هستیم. بعضی از الگوریتم‌ها که با عنوان الگوریتم‌های ناآگاهانه شناخته می‌شوند الگوریتم‌هایی هستند که از روش‌های ساده‌ای برای جستجوی فضای نمونه استفاده می‌کنند. در حالی که الگوریتم‌های آگاهانه با استفاده روش‌هایی مبتنی بر دانش دربارهٔ ساختار فضای جستجو، می‌کوشند تا زمان جستجو را کاهش داده و جواب‌های بهتری نیز بیابند.

۱-۳ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک روش بهینه سازی الهام گرفته از طبیعت است. می‌توان در طبقه بندی‌ها، از آن به عنوان یک روش عددی، جستجوی مستقیم و تصادفی یاد کرد. این الگوریتم، الگوریتمی مبتنی بر تکرار است و اصول اولیه آن از علم ژنتیک اقتباس گردیده است. این الگوریتم با تقلید تعدادی از فرآیندهای مشاهده شده در تکامل طبیعی ابداع شده است و در مسائل متنوعی نظیر بهینه‌سازی، شناسایی و کنترل سیستم، پردازش تصویر و مسایل ترکیبی، تعیین توپولوژی و آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی به کار می‌رود.

علم ژنتیک، علمی است که دربارهٔ چگونگی توارث و انتقال صفحات بیولوژیکی از نسلی به نسل بعد صحبت می‌کند. عامل اصلی انتقال صفحات بیولوژیکی در موجودات زنده کروموزوم‌ها[1] و ژن ها[2] می‌باشند. نحوه عملکرد آنها به گونه‌ای است

[1]. Chromosome
[2]. Gene

که در نهایت ژن‌ها و کروموزوم‌های برتر و قوی مانده و ژن‌های ضعیف‌تر از بین می‌روند. به عبارت دیگر نتیجه عملیات متقابل ژن‌ها و کروموزوم‌ها باقی ماندن موجودات اصلح و برتر می‌باشد.

یادآور می‌شویم که این الگوریتم برای بهینه سازی، جستجو و یادگیری ماشین مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس این الگوریتم قانون تکامل داروین (بقاء بهترین) است که می‌گوید: موجودات ضعیف‌تر از بین می‌روند و موجودات قوی‌تر باقی می‌مانند. در واقع تکامل فرآیندی است که روی رشته‌ها صورت می‌گیرد، نه روی موجودات زنده. قانون انتخاب طبیعی برای بقا می‌گوید که، هر چه امکان تطبیق موجود بیشتر باشد بقای موجود امکان‌پذیرتر است و احتمال تولید مثل بیشتری برایش وجود دارد. این قانون بر اساس پیوند بین رشته‌ها می‌باشد. الگوریتم ژنتیک به دلیل تقلید نمودن از طبیعت دارای چند اختلاف اساسی با روش‌های جستجوی مرسوم می‌باشد که در زیر به تعدادی از آنها اشاره می‌کنیم. الگوریتم ژنتیک اغلب با رشته‌های بیتی کار می‌کند، که هر کدام از این رشته‌ها کل مجموعه متغیرها را نشان می‌دهد. حال آنکه بیشتر روش‌ها به طور مستقل با متغیرهای ویژه برخورد می‌کنند. این الگوریتم برای جستجو، انتخاب تصادفی انجام می‌دهد، که به این ترتیب به اطلاعات اضافی نیاز ندارد. در الگوریتم ژنتیک روش‌های جستجوبراساس مکانیزم انتخاب و ژنتیک طبیعی عمل می‌نمایند. این الگوریتم مناسب‌ترین رشته‌ها را از میان اطلاعات تصادفی سازماندهی شده انتخاب می‌کند. در هر نسل یک گروه جدید از رشته‌ها با استفاده از بهترین قسمت‌های دنباله‌های قبلی و بخش جدید به صورت تصادفی برای رسیدن به یک جواب مناسب به وجود می‌آیند. این الگوریتم به طور کارآمدی به اکتشاف اطلاعات گذشته در فضای جستجو می‌پردازد، تا با جستجوی جدید به سمت بهترین جواب پیش رود. الگوریتم ژنتیک در هر تکرار چندین نقطه از فضای جستجو را در نظر می‌گیرد بنابراین شانس اینکه به یک ماکزیمم محلی همگرا شود کاهش می‌یابد. الگوریتم

ژنتیک جمعیت‌های کاملی از رشته‌ها که همان جواب‌ها یا نقاط هستند را تولید می‌کند، سپس هر نقطه را به صورت انفرادی امتحان می‌کند و با ترکیب محتویات آنها یک جمعیت جدید را که شامل نقاط بهبود یافته است تشکیل می‌دهد.

۱-۳-۱ مکانیزم الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک به عنوان یک الگوریتم محاسباتی بهینه سازی، با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از نقاط فضای جواب در هر تکرار محاسباتی، به نحو مؤثری نواحی مختلف فضای جواب را جستجو می‌کند. گرچه مقدار تابع هدف در تمام فضای جواب محاسبه نمی‌شود، ولی مقادیر تابع هدف برای نقاطی که در یک ناحیه قرار دارند در مکانیزم جستجو دخالت داده می‌شوند. این روند باعث می‌شود جستجوی فضا به ناحیه‌هایی که در آن ناحیه، نقاط موجود تابع هدف بهتری دارند و امکان وجود نقطه بهینه مطلق در آن‌ها بیشتر است، سوق پیدا کند. چون در این روش برخلاف روش‌های تک‌مسیری فضای جواب به طور همه جانبه جستجو می‌شود، امکان کمتری برای همگرایی به یک نقطه بهینه محلی وجود خواهد داشت.

امتیاز دیگر این الگوریتم آن است که هیچ محدودیتی برای تابع بهینه شونده، مثل مشتق‌پذیری یا پیوستگی لازم ندارد. در روند جستجوی خود تنها به تعیین مقدار تابع هدف در نقاط مختلف نیاز دارد و هیچ اطلاعات کمکی دیگری، مثل مشتق تابع را استفاده نمی‌کند. لذا می‌تواند در مسائل مختلف اعم از خطی، پیوسته یا گسسته استفاده شود و به سهولت با مسائل مختلف قابل تطبیق است. در هر تکرار هر یک از رشته‌های موجود در جمعیت رشته‌ها، رمزگشایی شده و مقدار تابع هدف برای آن به دست می‌آید. بر اساس مقادیر به دست آمده تابع هدف در جمعیت رشته‌ها، به هر رشته یک عدد برازندگی نسبت داده می‌شود. این عدد برازندگی احتمال انتخاب را برای هر رشته تعیین خواهد کرد. بر اساس این احتمال، مجموعه‌ای از رشته‌ها انتخاب شده و با اعمال عملکردهای ژنتیکی روی

آنها رشته‌های جدید جایگزین رشته‌هایی از جمعیت اولیه می‌شوند، تا تعداد جمعیت رشته‌ها در تکرارهای محاسباتی مختلف ثابت باشد. مکانیزم‌های تصادفی که روی انتخاب و حذف رشته‌ها عمل می‌کنند، به گونه‌ای هستند که رشته‌هایی که عدد برازندگی بیشتری دارند، احتمال بیشتری برای ترکیب و تولید رشته‌های جدید داشته و در مرحله جایگزینی نسبت به دیگر رشته‌ها مقاوم‌تر هستند. بدین لحاظ جمعیت دنباله‌ها در یک رقابت بر اساس تابع هدف در طی نسل‌های مختلف، کامل شده و متوسط مقدار تابع هدف در جمعیت رشته‌ها افزایش می‌یابد. بطور کلی در این الگوریتم در هر تکرار محاسباتی، توسط عملگرهای ژنتیکی نقاط جدیدی از فضای جواب را مورد جستجو قرار می‌هد. بر اساس سیکل اجرایی فوق، در هر تکرار محاسباتی، توسط عملگرهای ژنتیکی نقاط جدیدی از فضای جواب مورد جستجو قرار می‌گیرند. که بر این اساس در هر تکرار محاسباتی، سه عملگر اصلی روی رشته‌ها عمل می‌کند، این سه عملگر عبارتند از: انتخاب تصادفی، ترکیب و جهش.

بدن همه موجودات زنده از سلول‌ها تشکیل شده است و در هر سلولی دسته کروموزوم‌های یکسانی وجود دارد. کروموزوم‌ها رشته‌هایی از DNA هستند که در واقع الگویی برای تمام بدن هستند. هر کروموزومی محتوی دسته‌های DNA است که ژن نامیده می‌شوند. هر ژنی پروتئین خاصی را رمزگذاری می‌کند. اساساً می‌توان گفت که هر ژن، ویژگی خاصی (مثلاً رنگ چشم) را رمزگذاری می‌کند. هر ژنی موقعیت خاص خود را بر روی کروموزوم دارد. مجموعه کاملی از مواد ژنتیکی (همه کروموزوم‌ها) ژنوم نامیده می‌شود. دسته خاصی از ژن‌های موجود در ژنوم، ژنوتیپ نامیده می‌شود. ژنوتیپ به همراه تغییرات پس از تولد، پایه و اساس ویژگی‌های فیزیکی و ذهنی از قبیل رنگ چشم، هوش و غیره است. در تولید مثل، ابتدا ترکیب (تغییر)[۳] اتفاق می‌افتد. ژن‌های والدین برای ایجاد کروموزوم‌های

[3]. Crossover

جدید ترکیب می‌شوند. سپس جنین تشکیل شده دچار تغییر می‌شود. جهش[۴] به این معناست که عناصر DNA کمی تغییر پیدا می‌کنند و این تغییرات اغلب نتیجه نسخه‌برداری غلط از ژن‌های والدین است. میزان شایستگی[۵] موجود زنده به واسطه بقای آن اندازه گیری می‌شود. در الگوریتم ژنتیک، مجموعه جواب‌ها را توسط رشته‌هایی با طول‌ثابت[۶] یا متغیر[۷] کدگذاری می‌کنند که در سیستم‌های بیولوژیکی آنها را کروموزوم یا فرد[۸] می‌نامند. هر رشته یا کروموزوم، یک جواب در فضای جستجو را نشان می‌دهد. به ساختمان رشته‌ها یعنی مجموعه‌ای از پارامترها که توسط یک کروموزوم خاص نمایش داده می‌شود، ژنوتیپ[۹] و به مقدار رمزگشایی آن، فنوتیپ[۱۰] می‌گویند. الگوریتم‌های وراثتی فرآیندهای تکراری هستند که هر مرحله تکراری را، نسل و مجموعه‌هایی از پاسخ‌ها در هر نسل را جمعیت نامیده‌اند.

الگوریتم‌های ژنتیک، جستجوی اصلی را در فضای پاسخ به اجرا می‌گذارند. این الگوریتم‌ها با تولید نسل[۱۱] آغاز می‌شوند که وظیفه ایجاد مجموعه نقاط جستجوی اولیه به نام جمعیت اولیه[۱۲] را بر عهده دارند و به طور انتخابی یا تصادفی تعیین می‌شوند. از آنجایی که الگوریتم‌های ژنتیک برای هدایت عملیات جستجو به طرف نقطه بهینه از روش‌های آماری استفاده می‌کنند، در فرآیندی که به انتخاب طبیعی وابسته است، جمعیت موجود به تناسب برازندگی افراد آن، برای نسل بعد انتخاب می‌شود. سپس عملگرهای ژنتیکی شامل انتخاب،[۱۳] پیوند (ترکیب)، جهش و دیگر عملگرهای احتمالی اعمال می‌شوند و جمعیت جدید به وجود می‌آید. پس از آن جمعیت جدیدی جایگزین جمعیت پیشین می‌شود و این چرخه ادامه

---

4. Mutation
5. Fitness
6. Fixed Length
7. variable
8. Individual
9. Genotype
10. Phenotype
11. Seeding
12. Initial Population
13. Selection

می‌یابد. معمولاً جمعیت جدید برازندگی بیشتری دارد این بدان معناست که از نسلی به نسل دیگر جمعیت بهبود می‌یابد. هنگامی جستجو نتیجه‌بخش خواهد بود که به حداکثر نسل ممکن رسیده باشیم، یا همگرایی حاصل شده باشد و یا معیارهای توقف برآورده شده باشد.

۱-۳-۲ عملگرهای الگوریتم ژنتیک

به طور خلاصه الگوریتم ژنتیک از عملگرهای کدگذاری، ارزیابی، ترکیب، جهش و رمزگشایی تشکیل شده است. در این قسمت هر کدام از این عملگرها را به طور کامل توضیح می‌دهیم.

۱-۳-۲-۱ کدگذاری[۱۴]

این مرحله شاید مشکل‌ترین مرحله حل مسئله به روش الگوریتم ژنتیک باشد. الگوریتم ژنتیک به جای این‌که بر روی پارامترها یا متغیرهای مسأله کار کند، با شکل کد شده آنها سر و کار دارد. یکی از روش‌های کد کردن، کد کردن دودویی می‌باشد که در آن هدف تبدیل جواب مسئله به رشته‌ای از اعداد باینری است.

۱-۳-۲-۲ ارزیابی[۱۵]

تابع برازندگی را از اِعمال تبدیل مناسب بر روی تابع هدف یعنی تابعی که قرار است بهینه شود به دست می‌آورند. این تابع هر رشته را با یک مقدار عددی ارزیابی می‌کند که کیفیت آن را مشخص می‌نماید. هر چه کیفیت رشته جواب بالاتر باشد مقدار برازندگی جواب بیشتر است و احتمال مشارکت برای تولید نسل بعدی نیز افزایش خواهد یافت.

---

[14]. Encoding
[15]. Evaluation

۱-۳-۲-۳ ترکیب[۱۶]

مهمترین عملگر در الگوریتم ژنتیک، عملگر ترکیب است. ترکیب فرآیندی است که در آن نسل قدیمی کروموزوم‌ها با یکدیگر مخلوط و ترکیب می‌شوند تا نسل تازه‌ای از کروموزوم‌ها بوجود بیاید. جفت‌هایی که در قسمت انتخاب به عنوان والد در نظر گرفته شدند در این قسمت ژن‌هایشان را با هم مبادله می‌کنند و اعضای جدید بوجود می‌آورند. ترکیب در الگوریتم ژنتیک باعث از بین رفتن پراکندگی یا تنوع ژنتیکی جمعیت می‌شود. زیرا اجازه می‌دهد ژن‌های خوب یکدیگر را بیابند.

۱-۳-۲-۴ جهش[۱۷]

جهش نیز عملگر دیگری است که جواب‌های ممکن دیگری را تولید می‌کند. در الگوریتم ژنتیک بعد از اینکه یک عضو در جمعیت جدید بوجود آمد، هر ژن آن با احتمالی مشخص برای جهش، جهش می‌یابد. در جهش ممکن است ژنی از مجموعه ژن‌های جمعیت حذف شود یا ژنی که تا به حال در جمعیت وجود نداشته است به آن اضافه شود. جهش یک ژن به معنای تغییر آن ژن است و وابسته به نوع کدگذاری روش‌های متفاوتی برای جهش استفاده می‌شود.

۱-۳-۲-۵ رمزگشایی[۱۸]

رمزگشایی، عکس عمل رمزگذاری است. در این مرحله بعد از این‌که الگوریتم بهترین جواب را برای مسئله ارائه کرد لازم است عکس عمل رم زگذاری روی

---

16. Crossover
17. Mutation
18. Decoding

جواب‌ها یا همان عمل رمزگشایی اعمال شود تا بتوانیم نسخه واقعی جواب را به وضوح در دست داشته باشیم.

۱-۴ مسئله حمل و نقل

مسئله ترابری یا حمل و نقل حالت خاصی از مسائل برنامه ریزی خطی است، که هدف در آن عبارت است از: حمل کالا از مبادی به مقاصد گوناگون، به نحوی که هزینه کل کمینه شود. در این مسئله مقدار عرضه از هر مبدأ و مقدار مورد تقاضای هر مقصد و همچنین هزینه حمل کالا در مسیرهای مختلف معلوم است. با توجه به این داده‌ها مدل ترابری را برای تعیین برنامه حمل بهینه، که منجر به حداقل شدن کل هزینه انتقال کالا از مبدأهای موجود به مقصدهای مورد نظر می‌شود، به کار برده می‌شود. مدل ترابری را می‌توان تعمیم داد و با آن مسائلی در زمینه‌های برنامه ریزی تولید، تخصیص ماشین‌آلات و تعیین محل استقرار بهینه را نیز حل نمود. اساساً می‌توان مسئله ترابری را با استفاده از روش سیمپلکس حل کرد. اما روش‌های دیگری وجود دارند که اینگونه مسائل را با کارایی بیشتری حل می‌کنند. برای حل مسئله حمل و نقل نیاز به یک جواب شدنی است. روش‌هایی وجود دارند که با استفاده از آن‌ها می‌توان یک جواب شدنی برای مسئله حمل و نقل بدست آورد. در این فصل به توصیف برخی از این روش‌ها می‌پردازیم[۱].

۱-۴-۱ روش گوشه‌ی شمال غربی[19]

بر اساس این روش اولین حمل کالا در مسیر گوشه شمال‌غربی جدول ترابری صورت می‌گیرد به این ترتیب که با توجه به عرضه و تقاضای مبدأ و مقصد، ابتدا

[19]. The Northwest – Corner Rule

به این مسیر حداکثر مقدار کالا برای انتقال اختصاص می‌یابد، سپس با در نظر گرفتن عرضه یا تقاضای باقی مانده، سایر تخصیص‌ها انجام می‌گیرد. اگر در تعیین مقدار کالای قابل حمل در مسیر گوشه شمال غربی، عرضه کمتر از تقاضا باشد، در همان ستون به طرف پایین جدول حرکت کرده و تقاضای باقیمانده از مبادی دیگر تامین می‌شود. در صورتی که عرضه بیشتر از تقاضا باشد، در همان سطر به سمت راست جدول حرکت نموده و عرضه باقیمانده، به مقاصد دیگر ارسال می‌شود. اگر عرضه و تقاضا برابر باشند، به صورت قطری و به طرف جنوب‌شرقی جدول حرکت کرده و به مسیر واقع در تقاطع سطر و ستون دوم خواهیم رسید. میزان حمل کالا در آن با توجه به عرضه و تقاضای ذیربط تعیین خواهد شد.

به این ترتیب، با شروع در مسیر گوشه شمال‌غربی در یک جدول ترابری و با تامین کلیه احتیاجات مقاصد مختلف و استفاده کامل از ظرفیت مبادی، به طرف مسیر گوشه جنوب شرقی حرکت می‌کنیم. در نتیجه یک جواب اولیه برای مسئله بدست می‌آید. توجه کنید که در این روش به هزینه نسبی مسیرهای مختلف توجهی نمی‌شود.

۱-۴-۲ روش حداقل هزینه[۲۰]

اولین تخصیص در این روش به مسیری تعلق می‌گیرد که دارای حداقل هزینه حمل و نقل کالا نسبت به مسیرهای دیگر در جدول ترابری باشد. به این مسیر با توجه به ظرفیت مبدأ و تقاضای مقصد آن، تا حد ممکن مقادیر کالا برای انتقال از طریق آن مسیر اختصاص داده می‌شود. سپس مقادیر عرضه و تقاضای مربوط به خانه‌ای از جدول که به آن این مقدار کالا اختصاص داده شده را تعدیل می‌کنیم. آنگاه تخصیص بعدی در مسیری انجام می‌گیرد، که دارای حداقل هزینه واحد کالا، نسبت به مسیرهای خالی دیگر باشد. این کار را ادامه می‌دهیم تا تمامی تقاضاها

[20]. The Least-Cost Method

برآورده شوند. اگر هنگام انتخاب کردن کمترین هزینه، چند مسیر دارای حداقل هزینه باشند، آن‌گاه یکی از آنها را به دلخواه انتخاب می‌کنیم.

۱-۴-۳ روش وُگِل[۲۱]

این روش را روش جریمه‌ای نیز می‌نامند، که معمولاً منجر به تخصیص اولیه خوبی می‌شود. مراحل این روش به این صورت است:

الف: برای هر یک از سطرها و ستون‌های جدول ترابری، یک جریمه محاسبه می‌کنیم. این جریمه برابر با قدرمطلق تفاضل کوچکترین هزینه حمل در سطر یا ستون مربوطه، از کوچکترین هزینه حمل بعدی در همان سطر یا ستون است. اگر فقط یک سطر یا ستون باقی مانده باشد، جریمه آن سطر یا ستون برابر با هزینه حمل در تنها مسیر باقی مانده است.

ب: سطر یا ستونی که دارای بزرگترین جریمه است را مشخص می‌کنیم. در صورت تساوی یکی را به دلخواه انتخاب می‌کنیم. بعد از انتخاب تا حد ممکن به مسیری که در سطر یا ستون انتخاب شده دارای حداقل هزینه است، مقادیر کالا اختصاص می‌دهید. سپس عرضه و تقاضای مربوط به مسیر انتخاب شده را تعدیل می‌کنیم و سطر یا ستونی که عرضه یا تقاضای آن برابر با صفر شده است را خط می‌زنیم. اگر عرضه یا تقاضای یک سطر و یک ستون به طور همزمان برابر با صفر شود، فقط یکی را خط می‌زنیم. هزینه‌های هر سطر یا ستونی که دارای عرضه یا تقاضای صفر بوده و یا خط خورده باشد در محاسبات بعدی برای به دست آوردن جریمه در نظر گرفته نمی‌شود. البته می‌توان به جای خط زدن، سطر و ستون تکمیل شده را به طور موقت از جدول حذف نمود تا برنامه کامل حمل بدست آید. اگر در این مرحله فقط یک ستون خط نخورده باقی مانده باشد، حل مسئله تمام

---

[21]. Vogel

است و تخصیص اولیه صورت گرفته است. در غیر این صورت به مرحله (الف) باز می‌گردیم.

۱-۴-۴ روش راسل[۲۲]

این روش دارای مراحل زیر است:

الف: بزرگترین هزینه برای انتقال یک واحد کالا در هر سطر را در صورتی که عرضه آن سطر مثبت باشد محاسبه می‌نماییم. این هزینه متناسب با سطر iام را U_i می‌نامیم.

ب: بزرگترین هزینه حمل یک واحد کالا در هر ستون را در صورتی که تقاضای آن ستون مثبت باشد محاسبه می‌کنیم و آن را V_j نام‌گذاری می‌کنیم.

ج: برای هر مسیر خالی (i,j) در سطر یا ستون عدد زیر را محاسبه می‌کنیم.

$$D_{ij} = C_{ij} - U_i - V_j$$

د: مسیری که دارای منفی‌ترین D_{ij} است، برای انتقال کالا انتخاب می‌کنیم. در صورت وجود تساوی، یکی را به دلخواه برمی‌گزینیم.

هـ: به مسیر انتخاب شده تا حد ممکن (با توجه به عرضه مبدأ و تقاضای مقصد) مقادیر کالا برای حمل اختصاص می‌دهیم.

و: پس از تعدیل عرضه و تقاضای مربوط به مسیر انتخاب شده، سطر یا ستون تکمیل شده را از جدول حذف می‌کنیم و به مرحله (الف) بر می‌گردیم.

۱-۵ بهتر کردن یک جواب شدنی در مسئله‌ی حمل و نقل

[22]. Russell's Approximation Method