۱۳۸۰ /۱۲/ ۲۹

مؤسسه عالی پژوهش در برنامه‌ریزی و توسعه

016538

پایان‌نامه تحصیلی

برای دریافت درجه کارشناسی‌ارشد

رشته مهندسی سیستمهای اقتصادی-اجتماعی

۳۹۹۶۸

عنوان

کاربرد الگوریتم ژنتیک در حل مسأله برنامه‌ریزی تعمیرات و تخصیص هواپیما به پرواز

استاد راهنما

دکتر یوسف شفاهی

استاد مشاور

دکترحسین پورزاهدی

استاد داور

دکتر فرشید مجاورحسینی

نگارش

کورش ادیب

پائیز ۱۳۸۰

۳۹۹۶۸

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
مؤسسه عالی پژوهش در برنامه‌ریزی و توسعه

بسمه تعالی

۳۹۹۶۸

ارزشیابی پایان‌نامه تحصیلی

دفاع نهایی پایان‌نامه آقای **کورش ادیب** دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستمهای اقتصادی - اجتماعی با عنوان:

"کاربرد الگوریتم ژنتیک در حل مسئله برنامه‌ریزی تعمیرات و تخصیص هواپیما به پرواز"

بانمره ۱۸,۵ و درجه عالی درتاریخ ۸۰/۷/۲۹ مورد تصویب قرارگرفت.

امضای هیأت داوران:

۱- استاد راهنما: دکتر یوسف شفاهی

۲- استاد مشاور: دکتر حسین پورزاهدی

۳- استاد داور: دکتر فرشید مجاورحسینی

۴- سرپرست حوزه معاونت آموزشی و پژوهشی: جوادروحانی رصاف

۳۹۹۶۸

چکیده:

کاربرد الگوریتم ژنتیک در حل مساله برنامه ریزی تعمیرات و تخصیص هواپیما به پرواز

کورش ادیب

مساله برنامه ریزی تعمیرات و تخصیص هواپیما به پرواز همواره از مسائل مهم و پیچیدهٔ سیستم های حمل و نقل هوایی بوده است. در این مساله فرض می شود که تعدادی هواپیما، محل تعمیر و نگهداری و یک برنامهٔ پرواز داده شده است. مساله برنامه‌ریزی و تخصیص هواپیما به پرواز به این سؤال پاسخ می دهد که هواپیما به کدام یک از پروازهای زمان‌بندی شدهٔ شرکت تخصیص یابد بطوری که محدودیت‌های موجود، از جمله محدودیت های مربوط به زمان پرواز و تعمیر و نگهداری، برآورده شوند. مسألهٔ فوق بصورت یک مسألهٔ برنامه‌ریزی مختلط فرموله شده است. به علت ابعاد بسیار بزرگ این مسأله، حل آن برای یک مثال واقعی در حد متوسط، بسیار دشوار می باشد.

این مسأله برای حالت خاص ایران (شبکه‌ای با پروازهای شعاعی از شهر مرکزی به سایر شهرها و برعکس) قبلاً با استفاده از روشهای ابتکاری در شکل محدود حل شده است. اما تا کنون حل آن برای ابعاد بزرگ، و یا برای مسأله در حالت عام (شبکه‌ای با پروازهای کامل بین همهٔ زوجهای مبدا-مقصد) با دشواری همراه بوده است.

از سوی دیگر یکی از روشهای ابتکاری نوین که در حل مسائل ریاضی بزرگ بسیار مورد توجه محققان واقع شده است، روش الگوریتم ژنتیک می‌باشد. این الگوریتم که با الهام از نظریهٔ تکامل در طبیعت به حل مسائل می‌پردازد، به‌دلیل ویژگی‌هایی که دارد در حل مسائل عدد صحیح و مختلط در ابعاد بزرگ کاربرد فراوانی دارد.

در این پایان نامه ضمن معرفی یک الگوریتم ژنتیک ابتکاری برای حل مسالهٔ زمان بندی و تخصیص هواپیما به پرواز در حالت خاص (شبکهٔ پروازی شعاعی مانند شبکهٔ ایران) و حالت عام مساله (شبکه پروازی کامل با پرواز در همهٔ مسیرها) به حل مسائل فوق در حالات مختلف و تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مختلف این مساله پرداخته شده است.

سپاسگزاری:

بدون شک انجام این تحقیق بدون توجه و زحمات دلسوزانهٔ آقای دکتر یوسف شفاهی که در طول اجرای پروژه مرا راهنمایی و هدایت نمودند امکان پذیر نبود. بنابراین مایلم بدینوسیله از زحمات ایشان تشکر نمایم.

همچنین از کمک و پشتیبانی خانواده و دوستان ارجمندم بخصوص خانم آلاله ادیب و آقای دکتر کیاوش کیانفر قدردانی می نمایم.

کورش ادیب

۱۳۸۰

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول – مقدمه	۲
فصل دوم – مروری بر پژوهشهای پیشین	۵
۲-۱- مدلی برای تخصیص هواپیما و مکان‌یابی تاسیسات تعمیر و نگهداری	۷
۲-۲- مطالعه موردی: حل مسأله تخصیص هواپیما به پرواز در شرکت هواپیمایی دلتا	۱۸
۲-۳- زمان‌بندی پرواز و محدودیت تعمیرات با استفاده از نظریه گراف	۲۴
۲-۴- کاربرد یک الگوریتم ژنتیک ابتکاری در حل مسأله تخصیص خدمه	۲۸
فصل سوم –بهینه سازی و الگوریتم ژنتیک	۳۳
۳-۱- مروری بر ادبیات و مفاهیم بهینه سازی	۳۳
۳-۲- مروری بر مفاهیم الگوریتم ژنتیک	۳۵
۳-۳- تاریخچه الگوریتم ژنتیک	۳۸
۳-۴- نمودار جریان کلی یک الگوریتم ژنتیک	۴۱
۳-۵- واژه نامه و اصطلاحات الگوریتم ژنتیک	۴۲
۳-۶- اجزا و مراحل الگوریتم ژنتیک	۴۳
۳-۷- توجیه نظری الگوریتم	۵۳
۳-۸- مزایای اصلی الگوریتم ژنتیک نسبت به سایر روشها	۵۷
فصل چهارم – معرفی مسأله زمان‌بندی تعمیرات و تخصیص هواپیما به پرواز	۵۸
۴-۱- معرفی مسأله زمان‌بندی تعمیرات و تخصیص هواپیما به پرواز	۵۸
فصل پنجم – معرفی مدل خاص مسأله و حل آن	۶۱
۵-۱- معرفی مدل	۶۱
۵-۲- الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مدل	۶۵
۵-۳- اجرای مدل، نتایج و تحلیل حساسیت	۸۴

فصل ششم – معرفی مدل عام مسأله و حل آن ۹۰

۶-۱-شرح مدل عمومی مسأله ۹۱

۶-۲- الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مدل ۹۵

۶-۳- اجرای مدل، نتایج و تحلیل حساسیت ۱۰۹

فصل هفتم – نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۱۵

۷-۱- زمان اجرا ۱۱۵

۷-۲- پیشنهادات برای ادامه کار ۱۱۷

مراجع ۱۱۹

ضمائم

ضمیمه ۱- نتایج اجرای مدلها در برنامه کامپیوتری ۱۲۲

ضمیمه ۲- شرح برنامه کامپیوتری مدل ۱۲۵

ضمیمه ۳- برنامه پروازی مدل خاص مسأله ۱۲۸

ضمیمه ۴- برنامه پروازی مدل عام مسأله ۱۳۲

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ – یک برنامه نمونه زمان‌بندی پرواز ۹

جدول ۲-۲- مقایسه ابعاد مساله در ایران و آمریکا ۱۳

جدول ۳-۱- واژگان مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک ۴۲

جدول ۵-۱- بهترین جواب نسل اول مدل خاص ۸۵

جدول ۵-۲- بهترین جواب پس از ۵۰۰۰ نسل از اجرای مدل خاص ۸۶

جدول ۵-۳- زمان حل هر نسل مدل خاص بر حسب تعداد روزها و پروازها ۸۷

جدول ۶-۱- بهترین جواب نسل اول مدل عام ۱۱۰

جدول ۶-۲- بهترین جواب پس از ۷۰۰۰ نسل از اجرای مدل عام ۱۱۱

جدول ۶-۳- زمان حل هر نسل بر حسب تعداد پروازها و روزها ۱۱۳

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار ۳-۱ – نمودار جریان کلی یک الگوریتم ژنتیک ۴۱

نمودار ۵-۱- جریمهٔ خطی انحراف از ساعات مجاز پرواز ۸۰

نمودار ۵-۲- جریمهٔ افزایشی مقطعی انحراف از ساعات مجاز پرواز ۸۱

نمودار ۵-۳- جریمهٔ درجهٔ ۲ انحراف از ساعات مجاز پرواز ۸۲

نمودار ۵-۴- نمودار همگرایی جوابها ۸۴

نمودار ۵-۵- زمان حل هر نسل مدل خاص بر حسب تعداد پروازها ۸۷

نمودار ۵-۶- زمان حل هر نسل مدل خاص بر حسب اندازهٔ جمعیت ۸۸

نمودار ۶-۱- همگرایی جوابها در مدل عام ۱۰۹

نمودار ۶-۲- زمان حل هر نسل بر حسب تعداد پروازها ۱۱۲

نمودار ۶-۳- زمان حل هر نسل بر حسب اندازهٔ جمعیت ۱۱۴

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- مثال برنامهٔ زمان‌بندی و تخصیص هواپیما با استفاده از نظریهٔ گراف ۲۵

شکل ۲-۲- مثال برنامهٔ زمان‌بندی و تخصیص امکانپذیر هواپیما با استفاده از نظریهٔ گراف ۲۶

شکل ۲-۳- گراف متناظر برنامهٔ زمان بندی و تخصیص هواپیما ۲۶

شکل ۳-۱- چرخ رولت ۴۶

شکل ۳-۲- مکعب کد بندی مساله با ۳ بیت ۵۳

شکل ۳-۳- مکعب کد بندی مساله با ۴ بیت ۵۴

شکل ۴-۱- مدل خاص مساله برای شبکه های شعاعی ۶۰

شکل ۴-۲- مدل عمومی مساله ۶۰

شکل ۵-۱- کروموزوم مورد استفاده در کد بندی مساله ۶۵

شکل ۵-۲- جدول تخصیص هواپیماها در مدل خاص ۶۶

شکل ۵-۳- ماتریس تعمیر و نگهداری هواپیماها ۶۷

شکل ۵-۴- عملگر ترکیب یک نقطه ای مورد استفاده در مدل خاص ۶۸

شکل ۵-۵- عملگر ترکیب دو نقطه ای مورد استفاده در مدل خاص ۶۹

شکل ۵-۶- عملگر جهش مورد استفاده در مدل خاص ۷۱

شکل ۵-۷- انتخاب جمعیت واسط و نسل بعد ۷۴

شکل ۵-۸- مثال روش ژن و چنگ ۷۶

شکل ۵-۹- زمان اعزام هواپیماها برای تعمیرات در جواب بهینه مدل خاص ۸۹

شکل ۶-۱- مدل عمومی مساله ۹۰

شکل ۶-۲- کروموزوم مورد استفاده در مدل عام مساله ۹۵

شکل ۶-۳- جدول تخصیص هواپیماها در مدل عام ۹۶

شکل ۶-۴- ماتریس تعمیر و نگهداری هواپیماها ۹۷

شکل ۶-۵- نقض محدودیت (۱۲) توسط عملگر ترکیب یک نقطه ای ۹۸

شکل ۶-۶- جدول نمونه اطلاعات پروازی ۹۸

شکل ۶-۷- جدول نمونه محل استقرار هواپیماها در شهرها ۱۰۰

شکل ۶-۸- مثال جابجایی هواپیماها به هنگام ترکیب ۱۰۰

شکل ۶-۹- مثال ترکیب دو نقطه ای ابتکاری ۱۰۱

شکل ۶-۱۰- ایدهٔ عملگر جهش مبتنی بر جابجایی مسیرها در مدل عام ۱۰۴

شکل ۶-۱۱- عملگر جهش مورد استفاده در مدل عام ۱۰۵

فصل اول: مقدمه

نقش و اهمیت حمل و نقل هوایی از نخستین سالهای بوجود آمدن هواپیماهای مسافربری و باری هر روزه بیشتر و بیشتر شده است. بطوری که امروزه حمل و نقل هوایی در جابجایی مسافر بخصوص در مسیرهای طولانی و بین قاره‌ای بیشترین سهم را نسبت به سایر روشهای حمل و نقل دارا است.

از جـمله دلایل و عواملی که باعث افزایش نقش و اهمیت حمل و نقل هوایـــی شده اند می توان به مزایایی نظیر سرعت و ایمنی نسبتاً بالای این روش در مقایسه با سایر روش‌های حمل و نقل اشاره کرد.

یکی از مهمترین مسائلی که برنامه ریزان و مدیران هر شرکت هواپیمایی با آن دست به گریبانند، مسأله برنامه‌ریزی پرواز هواپیماها می‌باشد. در این مسأله فرض می شود که هر شرکت هواپیمایی تعداد مشخصی هواپیما در اختیار دارد که باید با استفاده از آنها پروازهای زمان‌بندی شده خود را با در نظر گرفتن محدودیت های متنوع انجام دهد.

یکی از محدودیتهای این مسأله، محدودیت تعمیر و نگهداری هواپیماهاست. به این صورت که هر هواپیما پس از تعداد ساعات معینی پرواز باید برای انواع بازرسی‌ها و تعمیر یا تعویض قطعات اعزام شود. با توجه به محدودیت ظرفیت ناوگان و آشیانه‌های تعمیر و نگهداری، برنامه‌ریزی مناسب در این مورد می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر کارایی و سودآوری خطوط هواپیمایی داشته باشد.

مسأله برنامه‌ریزی پرواز به طور کلی یک مسأله برنامه‌ریزی اعداد مختلط[1] با ابعاد بزرگ است که با روش‌های ریاضی حل دقیق آن بسیار دشوار خواهد بود. لذا توجه محققان به استفاده از روشهای ابتکاری برای حل این مسأله معطوف شده است.

امروزه برخی روشهای ابتکاری حل مسائل بزرگ که در دسته روشهای "تکاملی"[2] طبقه بندی می شوند، مانند الگوریتم ژنتیک، شبکه های عصبی، SA[3] و ... به دلیل خواص و طبیعت خود، در حل این گونه مسائل کارآیی فراوانی از خود نشان داده اند و مدتی است که توجه محققان را برای حل مسائل برنامه‌ریزی ریاضی در ابعاد بزرگ به خود جلب نموده و در سالهای اخیر تحقیقات فراوانی در این زمینه ها انتشار یافته است.

در این تحقیق، استفاده از الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله برنامه‌ریزی پرواز هواپیماها با در نظر گرفتن محدودیت‌های تعمیر و نگهداری مورد آزمایش و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفته است.

در ادامه ابتدا به معرفی تحقیقات پیشین انجام شده در زمینه های مختلف برنامه‌ریزی و زمانبندی در حمل و نقل هوایی خواهیم پرداخت و چند روش موفق را در حل این مسائل بررسی خواهیم نمود.

سپس به معرفی و توضیح مفاهیم بهینه سازی و الگوریتم ژنتیک پرداخته و با چگونگی عملکرد این الگوریتم و توجیه تئوریک آن آشنا خواهیم شد.

---

[1] Mixed Integer Programming

[2] Evolutionary Methods

[3] Simulated Annealing

در ادامه نیز مدل کاربرد الگوریتم ژنتیک را در حل مسأله زمانبندی پروازها و تخصیص عملیاتی[1] هواپیما برای مثال خاص ایران که پروازها در آن بیشتر به صورت شعاعی و از مرکز تهران انجام می پذیرد معرفی نموده و به تحلیل نتایج حاصل از حل آن می پردازیم.

در فصل بعد، مشابه این مدل را برای حالت عمومی مسأله که در آن، شبکه پروازی بصورت شبکه ای کامل و بین تمام نقاط ممکن برقرار است توسعه خواهیم داد و تغییرات انجام گرفته در آن، نتایج بدست آمده و محدودیتهای موجود را بررسی خواهیم نمود.

در آخرین بخش نیز با نتیجه گیری و تحلیل عملکرد مدلها پیشنهاداتی برای ادامه کار مطرح خواهد شد.

[1] Tail Number Assignment

فصل دوم: مروری بر پژوهش های پیشین

برنامه پرواز ماهیانه هر شرکت هواپیمایی کلید اصلی موفقیت آن شرکت است. مناسب بودن برنامه پروازی و قیمتهای ارائه شده می تواند تعیین کننده سهم شرکت در بازار باشد. بیشتر شرکت های هواپیمایی حداقل سالی دو بار تغییرات عمده ای در برنامه خود می دهند تا هم نیازهای بازار را برآورده کرده باشند و هم تغییرات تقاضای مسافرت فصلی بین تابستان و زمستان مد نظر قرار گیرند. هر ماه نیز ممکن است تغییرات جزئی در برنامه ها داده شود تا عواملی نظیر تعطیلات فصلی، تغییر سیاستهای رقبا و یا قیمتها را وارد برنامه کنند.

برنامه‌ریزی پروازها بر مبنای زوجهای مبدا - مقصد (OD) استوار است و هر بخش پروازی[1] به یک پرواز بدون توقف بین یک مبدا – مقصد گفته می شود. بنابراین یک پرواز با یک توقف بین راه، به صورت دو بخش پروازی جداگانه دیده می شود.

در حالت کلی می توان گفت هر شرکت هواپیمایی ناوگانی از انواع مختلف هواپیماها ($e \in E$) در اختیار دارد. اگر این شرکت تعداد p_e از هر نوع هـواپیمای e در اختیار داشته باشد و همچنین خـدمه در اختیار شرکت به $c \in C$ دسته تقسیم شوند که هر دسته مجاز به پرواز با مجموعه هواپیماهای نوع E[c] باشند، دو مسأله شناخته شده و اصلی شرکتهای هواپیمایی تخصیص هواپیما و خدمه به پروازها با در نظر گرفتن انواع مختلف محدودیتها از جمله محدودیتهای بازرسی و تعمیر و نگهداری هواپیماها و محدودیتهای مرتبط با تخصص و ساعات مجاز پرواز برای خدمه می باشد.

---

[1] Flight Leg

با توجه به نگرش های مختلف و با در نظر گرفتن مفروضات متفاوت گامهای نسبتاً زیادی برای حل این مسأله ها برداشته شده است که برخی از آنها در زیر مرور خواهند شد.