٣٨٧ ٥١

۱۳۸۰ /۱۰/ ۲۰

مؤسسه عالی پژوهش در برنامه‌ریزی و توسعه

پایان‌نامه تحصیلی

برای دریافت درجه کارشناسی‌ارشد

رشته مهندسی سیستمهای اقتصادی-اجتماعی

عنوان

مسأله طراحی شبکه حمل و نقل بر اساس قابلیت اطمینان و حل آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک

015719

۳۸۷۵۱

استاد راهنما

دکتر حسین پورزاهدی

استادمشاور

دکتر هدایت ذکایی‌آشتیانی

استاد داور

دکتر یوسف شفاهی

نگارش

ابراهیم اقبال‌اخلاقی

تابستان ۱۳۸۰

۳۸۷۵۱

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
مؤسسه عالی پژوهش در برنامه ریزی و توسعه

بسمه تعالی

ارزشیابی پایان‌نامه تحصیلی

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

"مسأله طراحی شبکه حمل و نقل بر اساس قابلیت اطمینان و حل آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک"

بانمره ۱۸,۵ و درجه عالی درتاریخ ۸۰/۷/۱۵ مورد تصویب قرارگرفت.

امضای هیأت داوران:

۱- استاد راهنما: دکتر حسین پورزاهدی

۲- استاد مشاور: دکتر هدایت ذکایی‌آشتیانی

۳- استاد داور: دکتر یوسف شفاهی

۴- سرپرست حوزه معاونت آموزشی و پژوهشی: جوادروحانی رصاف

بـه‌نـام او،

بـه‌یـاد او،

بـرای او،

کـه دوسـتـش دارم.

تقدیم به همه آنهایی که در سایه مهربانی‌های او،

برای داشتن ایرانی آباد، آزاد، و سربلند تلاش می‌کنند.

قدردانی

اول از همه، سپاس و تشکر ویژه خود را نثار می‌کنم به استاد و معلم بزرگوارم، آقای دکتر حسین پورزاهدی، که شخصیتش الگوی من است و اخلاقش آرزوی من. پشتیبانی‌های علمی و معنوی ایشان قابل جبران نیست.

همچنین هدایتها و مشاوره‌های بزرگانی چون آقای دکتر آشتیانی و آقای دکتر شفاهی و نیز آقای دکتر رصاف، چه در دوره تحصیلی کارشناسی ارشد و چه در طول تهیه پایان‌نامه قابل تقدیر است.

سایه پرمهر پدرم و دعای خیر مادرم، آرام‌بخش لحظات نگرانی و سخت زندگی و مایه دلگرمی و قوت قلب من بوده است. خدای مهربان مرا از این نعمت محروم نسازد.

و اما بعد، در مراحل مختلف انجام این کار تحقیقاتی، از کمکهای علمی و حمایتهای معنوی بسیاری از دوستان بهره بردم که تنها به ذکر نام‌شان (به‌ترتیب حروف الفبا) اشاره می‌کنم:

خانم مهندس آلاله ادیب

آقای مهندس مسعود حامدی

آقای مهندس شهاب عراقی‌نژاد

آقای مهندس مهرداد علیمرادی

آقای مهندس حمیدرضا قجر

آقای مهندس امید محسنی

چکیده

مسأله طراحی شبکه حمل و نقل براساس قابلیت اطمینان و حل آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک

ابراهیم اقبال

بسیاری از مسایل تصمیم‌گیری در طراحی و مدیریت سیستم‌های حمل و نقل می‌تواند به‌شکل مدلهای برنامه‌ریزی دوسطحی فرموله شود که ذاتاً غیرکوژ هستند، و از اینرو حل آنها برای یافتن نقطه بهینه عمومی مشکل می‌نماید. بنابراین، پیاده‌سازی موفقیت‌آمیز این مدلها به میزان زیادی به توسعه یک الگوریتم کارا برای غلبه بر مشکلات و پیچیدگی‌های دنیای واقعی متکی است. با وجود تلاشهای زیادی که در حل این مدلها صورت گرفته است، متأسفانه این الگوریتمها یا قادر نیستند نقطه بهینه عمومی را پیدا کنند، یا اینکه از نظر محاسباتی آنقدر پیچیده‌اند که برای مسایلی در سطح واقعی غیرعملی هستند. در این پایان‌نامه یک رویکرد ابتکاری کارا، به‌نام **الگوریتم ژنتیک**، برای حل یکی از این مسایل، یعنی مسأله **طراحی شبکه حمل و نقل** براساس معیار **قابلیت اطمینان**، ارائه شده است. عملکرد و توانایی الگوریتم در مقایسه با روشهای شمارشی قبلی در قالب یک شبکه آزمایشی نشان داده می‌شود. در این روش، نخست الگوریتم ژنتیک برای مسأله طراحی شبکه طراحی می‌شود. سپس، پارامترهای این الگوریتم برای مسأله مورد نظر پرداخت می‌شود. آنگاه نتایج آزمایشهایی که در مورد ویژگیهای رفتاری این الگوریتم به انجام رسیده است ارایه می‌شود.

نتایج اجراهای کامپیوتری نشان می‌دهند که این الگوریتم بسیار کارا است و در مقایسه با روشهای قبلی بسیار ساده‌تر است. به‌علاوه، می‌توان پذیرفت که الگوریتم ژنتیک به احتمال زیاد نقطه بهینه عمومی را نیز پیدا می‌کند. نتایج حاصل از حل مسأله با تابع هدف قابلیت اطمینان و مقایسه آن با نتایج روشهای حل مسأله طراحی شبکه سنتی با تابع هدف مازاد منافع استفاده‌کنندگان راه، از تفاوتهای کلی در جواب مسأله حکایت دارد. نتایج آزمایشهای مختلف، هرچند محدود، در زمینه چگونگی رفتار این‌گونه از طراحی شبکه حاکی از آن است که این روش در ایجاد ارتباط با گره‌های مهم شبکه تلاش می‌کند؛ و پروژه‌های بهبود شبکه ضعیف را به ساخت یک یا چند راه جدید قوی ترجیح می‌دهد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱

فصل ۱) طراحی شبکه حمل و نقل ۷

۱-۱) مسأله طراحی شبکه ۸

۱-۱-۱) تابع هدف مسأله طراحی شبکه سنتی ۱۰

۱-۱-۲) تعریف مسأله طراحی شبکه سنتی ۱۲

۱-۲) حل مسأله طراحی شبکه ۱۴

۱-۳) نیاز به تغییر تابع هدف ۱۶

۱-۴) انواع توابع هدف طراحی شبکه ۱۸

۱-۴-۱) قابلیت اطمینان شبکه یک تابع هدف خوب برای طراحی ۲۱

فصل ۲) قابلیت اطمینان در شبکه حمل و نقل ۲۴

۲-۱) تعریف قابلیت اطمینان ۲۵

۲-۲) تعریفهایی از قابلیت اطمینان اجزای شبکه حمل و نقل ۲۷

۲-۳) ارزیابی قابلیت اطمینان ۲۹

۲-۳-۱) ارزیابی قابلیت اطمینان ثابت ۲۹

۲-۳-۲) روشهای ارزیابی قابلیت اطمینان مبدأ - مقصد در شبکه‌های ساده ۳۱

۲-۳-۳) روشهای ارزیابی قابلیت اطمینان مبدأ - مقصد در شبکه‌های پیچیده ۳۳

۲-۴) قابلیت اطمینان بصورت تابعی از متغیرهای کارکردی ۴۶

۲-۴-۱) تابع قابلیت اطمینان کمان شبکه ۴۸

۲-۴-۳) ارزیابی قابلیت اطمینان کل شبکه ۵۵

فصل ۳) مروری بر نظریه‌های بهینه‌سازی ۵۸

۳-۱) مفاهیم بهینه‌سازی ۵۹

۳-۲) بررسی روشهای بهینه‌سازی ۶۱

۳-۲-۱) روشهای شمارشی ۶۱
۳-۲-۲) روشهای محاسباتی ۶۱
۳-۲-۳) روشهای تصادفی ۶۴
۳-۳) الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیکی ۶۵
۳-۴) مفاهیم پایه‌ای الگوریتم ژنتیک ۶۸
۳-۴-۱) معرفی الگوریتم استاندارد ۶۸
۳-۴-۲) اجزای الگوریتم ژنتیک ۷۱
۳-۵) عوامل مؤثر در کارایی الگوریتم ژنتیک ۷۷
فصل ۴) حل مسأله طراحی شبکه حمل و نقل با معیار قابلیت اطمینان ۸۲
۴-۱) مسأله طراحی شبکه بر مبنای قابلیت اطمینان ۸۲
۴-۲) ارزیابی قابلیت اطمینان کل شبکه ۸۴
۴-۳) پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک ۸۸
۴-۳-۱) کد کردن مسأله ۸۸
۴-۳-۲) تولید نسل اولیه ۸۹
۴-۳-۳) ارزیابی هر یک از موجودات نسل جاری با توجه به تابع هدف ۸۹
۴-۳-۴) ایجاد استخر ازدواج ۹۲
۴-۳-۵) مرحله ترکیب ۹۲
۴-۳-۶) مرحله جهش ۹۳
۴-۳-۷) نخبه‌گرایی ۹۳
۴-۳-۸) مرحله بازتولید ۹۴
۴-۳-۹) شرط خاتمه ۹۴
۴-۴) حل مسأله طراحی شبکه ۹۵
۴-۴-۱) حل مسأله جریان تعادل استفاده‌کننده ۹۵
۴-۴-۲) الگوریتم کلی حل مسأله ۹۸
۴-۴-۳) حل یک مسأله نمونه ۹۹

فصل ۵) آزمایشها و نتایج ۱۰۵
۵-۱) معرفی برنامه کامپیوتری ۱۰۵
۵-۱-۱) اجزای برنامه ۱۰۵
۵-۱-۲) ورودی برنامه ۱۰۸
۵-۲) تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک ۱۱۲
۵-۲-۱) حساسیت نسبت به نرخ ترکیب و نرخ جهش ۱۱۴
۵-۲-۲) حساسیت نسبت به اندازه جمعیت ۱۱۷
۵-۲-۳) همگرایی الگوریتم ۱۱۷
۵-۳) نتایج طراحی شبکه براساس قابلیت اطمینان ۱۲۱
فصل ۶) خلاصه مطالب و پیشنهادها ۱۳۱
۶-۱) خلاصه مطالب ۱۳۱
۶-۲) پیشنهادهایی برای ادامه کار ۱۳۴
منابع و مراجع ۱۳۷
پیوست (الف) کد برنامه کامپیوتری **GA** ۱۴۱
پیوست (ب) فایل ورودی برنامه ۱۶۳

مقدمة

مقدمه*

یکی از راههای بهبود کارایی شبکه‌ها از طریق اجرای پروژه‌ها برای توسعه شبکه است. هر پروژه‌ای که درنظر گرفته می‌شود، در اغلب موارد می‌تواند تا حدی میزان کارایی شبکه را افزایش دهد. به‌دلیل محدودیت مطالعات از نظر زمان و هزینه اجرایی، همواره تعداد محدودی از پروژه‌ها برای یک شبکه تعریف می‌شوند؛ بدیهی است که از این تعداد محدود هم باید آنهایی انتخاب شوند که محدودیتهای مسأله طراحی شبکه (نظیر محدودیت بودجه) را برآورند.

افزایش مطلوبیت کل استفاده‌کنندگان در جامعه همواره می‌تواند یک هدف ارزشمند برای هر سرمایه‌گذاری در زمینه فعالیتهای اجتماعی باشد. می‌توان نشان داد که مازاد منافع استفاده‌کنندگان میزان مناسبی از رفاه آنها است، و از اینرو در طراحی‌های سنتی این تابع همواره هدف مناسبی برای طراحی شبکه مدنظر قرار گرفته است.

آنچه که در این پایان‌نامه به‌عنوان هدف طراحی شبکه مورد توجه قرار می‌گیرد، میزان قابلیت اطمینان شبکه است. درچنین شبکه‌ای انتظار می‌رود که بتوان با اطمینان بیشتری از نظر زمان سفر (یا ....)، از مبدأ به مقصد رسید. این طرز فکر و تابع هدف بیشتر می‌تواند با کارکرد کوتاه‌مدت شبکه درهم آمیزد تا درازمدت آن.

در یک دید کلی، قابلیت اطمینان، سنجش کارایی کارکرد سیستم‌ها است. همزمان با رشد پیچیده‌تر سیستم‌ها، پیامدهای هزینه‌ای ناشی از رفتار نامطمئن آنها جدی شده است، و علاقه به ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌ها و نیاز به بهبود قابلیت اطمینان آنها اهمیت بیشتری پیدا کرده است.

---

* بخشی از مطالب این قسمت از پایان‌نامه از منبع مراجعه [۴] تأثیر پذیرفته است.

قابلیت اطمینان یک سیستم می‌تواند به شکل احتمال عملکرد موفقیت‌آمیز سیستم در یک دوره زمانی مشخص و تحت شرایط معین تعریف شود. در دهه‌های گذشته، بحث قابلیت اطمینان به اندازه کافی گسترش یافته و شامل عناوین تخصصی جداگانه‌ای شده است. یکی از هدفهای اصلی در این بحثها، پیدا کردن بهترین راه برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم است. بهینه‌سازی قابلیت اطمینان نیز بر مبنای تخصیص بهینه اجزا و انتخاب بهینه پروژه‌های جایگزین به‌گونه‌ای که نیازمندیهای سیستم را برآورده کند، مطرح می‌شود.

قابلیت اطمینان کمیتی است که افزایش آن باعث افزایش مطلوبیت استفاده‌کنندگان در شبکه می‌گردد، و در یک دید کلی شامل همه کمیتهایی است که افزایش آنها باعث افزایش اطمینان استفاده‌کنندگان نسبت به استفاده از شبکه می‌شود. برای نمونه، در یک کمان از شبکه هرچه حجم جریان عبورکننده افزایش یابد، کارایی آن کمان، یا قابلیت اطمینان به آن کمان از شبکه کاهش می‌یابد.

نسبت زمان سفر به زمان سفر آزاد در یک کمان نیز می‌تواند ملاکی برای ارزیابی قابلیت اطمینان یک کمان، و درنتیجه تابع هدفی برای طراحی شبکه باشد. می‌توان مسأله طراحی شبکه را به گونه‌ای مطرح کرد که تابعی از این نسبت را در تمامی کمانهای شبکه کمینه نماید.

در برخی از شبکه‌ها نیاز به سطح خدمت خاصی در کل شبکه یا در قسمتی از شبکه احساس می‌شود. اگر در یک کمان از شبکه سطح خدمت خاصی حفظ شود قابلیت اطمینان به آن کمان افزایش می‌یابد. حفظ سطح خدمت معین در یک قسمت و یا در کل شبکه به منزله افزایش قابلیت اطمینان به شبکه بوده و قابلیت اطمینان از این دیدگاه نیز می‌تواند تابع هدف مسأله طراحی شبکه باشد.

ایمنی نیز یکی از مسایل قابل توجه در شبکه‌های حمل‌ونقل است. ایمنی در یک کمان از شبکه به این معنی است که همه اشخاص و وسایل نقلیه آن کمان را بدون هیچ خطری یا بدون خطری جدی طی کنند. تصادفات در شبکه جاده‌ای می‌تواند ملاکی برای ارزیابی ایمنی باشد. سالانه میلیاردها ریال خسارت و هزاران نفر کشته ناشی از تصادفات جاده‌ای بجا می‌ماند. اگر طراحی شبکه بر اساس تابع هدف با معیار قابلیت اطمینان از جهت ایمنی انجام گردد، از این خسارتها کاسته می‌شود. اهمیت قابلیت اطمینان در مسأله طراحی در اینجا نیز با کاهش تلفات مشخص می‌گردد.

دیدگاه دیگر از قابلیت اطمینان، دسترسی به گره‌های شبکه است. هر شبکه‌ای که دسترسی به گره‌های آن از مسیرهای بیشتری امکان‌پذیر باشد، از دیدگاه قابلیت اطمینان مطمئن‌تر است. در برخی از شبکه‌ها این دسترسی برای تعداد محدودی از گره‌های شبکه در تمام زمانها ضروری است و لازم است که دسترسی به این گره‌ها از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار باشد. در برخی دیگر از شبکه‌ها این دسترسی در مواقع بحران ضرورت پیدا می‌کند. هنگامی که قسمتی از شبکه به دلایل عدیده از جمله زلزله، سیل، جنگ، و ... دچار مشکل می‌گردند، لازم است که دیگر کمانهای شبکه این توانایی را داشته باشند تا دسترسی به قسمتهای آسیب‌دیده از شبکه را امکان‌پذیر کنند. ارزیابی این دسترسی‌ها می‌تواند از طریق اندازه‌گیری قابلیت اطمینان هر کمان از شبکه و سپس یافتن قابلیت اطمینان کل شبکه انجام پذیرد. این نوع ارزیابی، و سپس طراحی بر اساس آن، باعث می‌شود که میزان دسترسی به گره‌های شبکه افزایش یابد و درصورت بروز هرگونه مشکل در قسمتی از شبکه بقیه قسمتهای شبکه بتوانند دسترسی به قسمتهای آسیب‌دیده را امکان‌پذیر نمایند.

همه موارد ذکر شده در بالا نشان‌دهنده اهمیت قابلیت اطمینان شبکه‌های حمل‌ونقل هستند و بر اساس هر یک از این دیدگاهها می‌توان مسأله طراحی را انجام داد.

هدف این مطالعه آن است که روشی برای حل مسأله طراحی شبکه براساس قابلیت اطمینان ارائه کند. این مسأله به شکل ساده زیر تبیین می‌شود:

$$\text{Max } R_{net}(x^*)$$

s.t.: محدودیت بودجه

که در آن x^* جریان تعادلی کمانهای شبکه است و خود از حل یک مسأله دیگر بدست می‌آید، که الگوریتم فرانک-ولف به‌عنوان یک روش حل آن ارائه شده است.

شکل (۱) در نظرگرفته می‌شود. تابع قابلیت اطمینان این شبکه، براساس روشهایی که در فصل دوم پایان‌نامه مطرح خواهند شد، به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

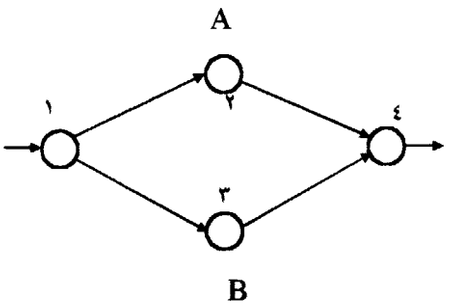
$$R_{net} = \frac{x_a e^{-0.5x_a} + x_b e^{-0.3x_b}}{x_a + x_b}$$

شکل (۲) این قابلیت اطمینان شبکه (R_{net}) را برحسب جریان در مسیرهای A و B (x_a و x_b) رسم می‌کند. این شکل نشان‌دهنده این است که تابع قابلیت اطمینان مثال بالا چگونه به‌صورت کوژ- کاو نمایان می‌شود. طراحی شبکه براساس مازاد منافع استفاده‌کننده حداقل این تابع را از نظر ساختاری به‌صورت کوژ دارد. البته، خود مسأله طراحی شبکه برای تابع مازاد منافع استفاده‌کننده نیز یک مسأله غیرکوژ است:

$$\text{Max} \quad CS \equiv \text{Min} \sum_{(i,j)\in A\cup A_y} x_{ij}^* . t_{ij}(x_{ij}^*)$$

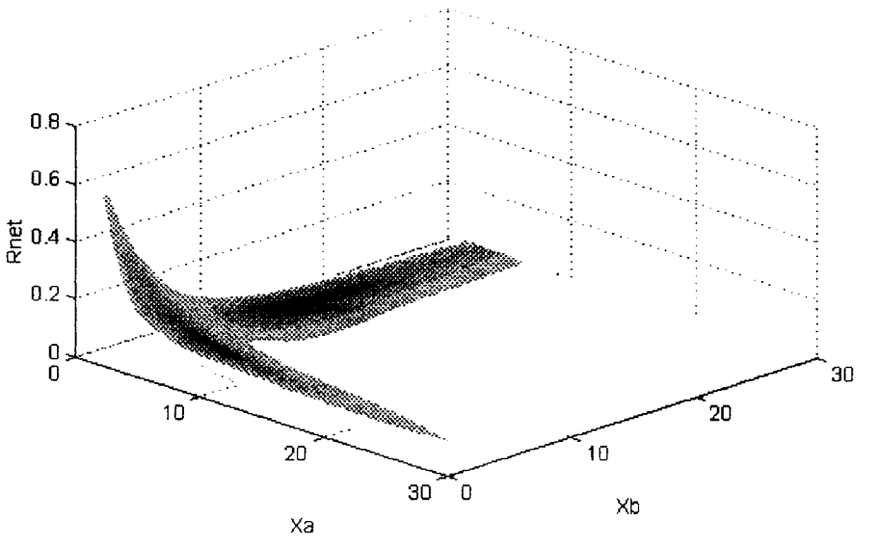
$$\text{s.t.:} \quad \sum_{(i,j)\in A_y} C_{ij} . y_{ij} \le B$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad , \quad (i,j) \in A_y$$



$$R_{12} = e^{-0.2x_a}$$
$$R_{24} = e^{-0.3x_a}$$
$$R_{13} = e^{-0.1x_b}$$
$$R_{34} = e^{-0.2x_b}$$

شکل (۱). یک شبکه نمونه ساده جهت ارزیابی قابلیت اطمینان



شکل (۲). منحنی تابع قابلیت اطمینان برای مثال شکل (۱)