



دانشگاه شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی صنایع - گرایش صنایع

عنوان:

مدل سازی و حل مسأله مکان یابی محور پوششی با ظرفیت محدود

استاد راهنما : دکتر مهدی بشیری

نگارش : حسین کریمی

تابستان ۹۰



دانشگاه شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی صنایع - گرایش صنایع

عنوان:

مدل سازی و حل مسأله مکان یابی محور پوششی با ظرفیت محدود

استاد راهنما : دکتر مهدی بشیری

نگارش : حسین کریمی

تابستان ۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

کلیه حقوق این پژوهش متعلق به دانشگاه شاهد بوده و هر گونه استفاده از مطالب و محتویات آن منوط به ذکر منبع و هرگونه کپی برداری از تمام یا بخشی از اثر تنها با کسب مجوز کتبی از دانشگاه مذکور امکان پذیر می باشد.

صورت جلسه دفاع

تقدیم به مهربان فرشتگانی که؛

لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، شکوه توانستن،
عظمت رسیدن و تمام تجربه‌های یکتا و زیبای زندگی‌ام، مدیون حضور سبز آنهاست.

تشر و قدردانی

وظیفه خود می دانم سپاسگزار تمام آن هایی باشم که در این دوره ارزشمند، بودنشان و امیدشان راه گشای من بود؛ خانواده و همسر عزیزم که همانند تمام روزهای گذشته با صبر و حوصله در کنارم بودند.

اساتید عزیز و گران قدر گروه مهندسی صنایع به خصوص جناب آقای دکتر بشیری که با تلاش های بی شائبه خود نه تنها در انجام این پایان نامه بلکه در تمام دوره تحصیل مرا یاری نمودند و به هنگام نیاز برای حل مشکلات اینجانب از هیچ کمکی دریغ نوزیدند. برای ایشان آرزوی سلامتی، موفقیت و سر بلندی را دارم.

چکیده

مسأله مکان‌یابی محور از مسائلی است که در دهه‌های اخیر در مسائل مکان‌یابی مطرح شده است. مسأله مکان‌یابی محور، انتقال کالا از مبدأها به مقصدها است که به جای ارتباط مستقیم میان هر دو نقطه مبدأ و مقصد، کالاها از طریق محورها منتقل می‌شوند. شبکه‌های محور به طور گسترده‌ای در ارتباطات مخابراتی، شبکه‌های حمل و نقل و تحویل کالا، پست سفارشی و ... کاربرد دارند. مکان‌یابی محور پوششی زیر مجموعه‌ای از مکان‌یابی محور است. هدف آن یافتن مکان‌های مناسب برای ایجاد محور و تخصیص نقاط مبدأ و مقصد به آن است، به گونه‌ای که با کم‌ترین هزینه، جابجایی کالاها انجام گیرد و زمان سفر برای هر مسیر از یک محدوده زمانی تعیین شده‌ای کوچک‌تر و یا مساوی باشد. در مکان‌یابی محور پوششی مورد بحث در این پژوهش، محدودیت ظرفیت برای مکان‌های محور در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، مفهوم لایه برای مسیرها تعریف و مدلی چند لایه‌ای برای مسأله مورد نظر فراهم شده است. استفاده از لایه‌های مختلف به دلیل سودآور بودن آنها، اقتصادی است و در شبکه محورهای تجاری و توزیع کالاهای پستی، این مدل می‌تواند پیاده‌سازی شود. همچنین با استفاده از روشی بر مبنای الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، روش جستجویی برای مدل ارائه گردیده است که نتایج آن در مقایسه با نرم‌افزار بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. با نتایج بدست آمده معلوم گردید که روش پیشنهادی حل ارائه شده، جواب بهتری نسبت به ابزار حل در نرم‌افزار بهینه‌سازی دارد.

فهرست مندرجات

عنوان شماره صفحه

فصل اول / کلیات تحقیق

- ۱-۱- مقدمه ۳
- ۲-۱- تعاریف، مفاهیم و طبقه بندی ۴
- ۱-۲-۱- مراکز محور ۴
- ۲-۲-۱- کمان ۷
- ۳-۲-۱- طبقه بندی مسائل محور ۷
- ۴-۲-۱- طبقه بندی مسأله مکان‌یابی محور پوششی ۹
- ۳-۱- تاریخچه و مروری بر روند مطالعات پیشین ۱۰
- ۴-۱- ضرورت و نوآوری تحقیق ۱۳
- ۵-۱- جمع‌بندی ۱۵

فصل دوم / مروری بر مطالعات پیشین

- ۱-۲- مقدمه ۱۷
- ۲-۲- ادبیات مکان‌یابی محور پوششی ۱۷
- ۱-۲-۲- پوشش کامل مبدأ-مقصدها با در نظر گرفتن تخصیص یگانه (SAHSCo) ۲۰
- ۲-۲-۲- پوشش کامل مبدأ-مقصدها با در نظر گرفتن تخصیص چندگانه (MAHSCo) ۳۷

- ۳-۲-۲- پوشش جزئی مبدأ-مقصدها با در نظر گرفتن تخصیص یگانه (SAHMCo) ۴۲
- ۴-۲-۲- پوشش جزئی مبدأ-مقصدها با در نظر گرفتن تخصیص چندگانه (MAHMCo) ۴۷
- ۳-۲- ادبیات مسأله مکان‌یابی محور با ظرفیت محدود ۴۹
- ۴-۲- روش‌های حل در ادبیات ۵۴
- ۵-۲- جمع بندی ۶۴

فصل سوم/ بیان مسأله و مدل‌سازی

- ۳-۱- مقدمه ۶۶
- ۳-۲- مقایسه پژوهش حاضر با ادبیات ۶۶
- ۳-۳- ویژگی‌های مسأله ۶۸
- ۳-۳-۱- چند لایه داشتن و کاربرد آن ۶۸
- ۳-۳-۲- محدودیت پوشش زمانی ۶۹
- ۳-۳-۳- محدودیت ظرفیت ۶۹
- ۳-۴- مدل مکان‌یابی محور پوششی کامل با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت ۷۱
- ۳-۵- جمع بندی ۷۳

فصل چهارم/ ارائه روش حل و تحلیل محاسباتی مدل

- ۴-۱- مقدمه ۷۵

فهرست شکل‌ها و نمودارها

عنوان	شماره صفحه
شکل ۱-۱- یک گراف با شش نقطه و اتصالات کامل دو به دو.....	۵
شکل ۲-۱- شبکه با شش نقطه که یک نقطه آن محور است.....	۵
شکل ۳-۱- شبکه با گراف کامل با چند محور.....	۶
شکل ۴-۱- نمودار روند تحقیقاتی مسأله محور.....	۱۱
شکل ۵-۱- مشخصات مدل این پژوهش.....	۱۳
شکل ۶-۱- روش و گام‌های اجرای تحقیق.....	۱۴
شکل ۱-۲- نمودار کلوچه‌ای تعداد مدل‌های طبقه‌بندی شده مسأله محور پوششی.....	۲۰
شکل ۲-۲- مجموعه مراکز N	۳۵
شکل ۳-۲- شبکه نتیجه شده از یک جواب.....	۳۵
شکل ۴-۲- فلوچارت الگوریتم مبتنی در جست و جوی ممنوعه.....	۵۸
شکل ۱-۳- مراکز موجود برای یک مسأله.....	۷۰
شکل ۲-۳- نمونه‌ای از جواب چند لایه.....	۷۰
شکل ۱-۴- رویه یافتن تعداد مینیمم مراکز محور.....	۷۷
شکل ۲-۴- همسایگی نوع اول.....	۷۷
شکل ۳-۴- همسایگی نوع دوم.....	۷۸
شکل ۴-۴- همسایگی نوع سوم.....	۷۸

شکل ۴-۵- فلوچارت الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ۸۰

شکل ۴-۶- نمونه‌ای از یک جواب ۸۱

شکل ۴-۷- نحوه کدینگ شبکه جواب نمونه ۸۲

شکل ۴-۸- مقایسه حد پایین مسأله با حد پوشش آزاد و سخت ۸۵

شکل ۴-۹- نمونه‌ای از نمودار همگرایی جواب روش فرا ابتکاری پیشنهادی برای 10TT ۸۶

فهرست جداول

عنوان	شماره صفحه
جدول ۱-۲- مقایسه ادبیات مکان‌یابی محور پوششی	۱۹
جدول ۲-۲- ادبیات مدل‌های کامل همه مبدأ-مقصدها با در نظر گرفتن تخصیص یگانه	۲۱
جدول ۳-۲- ادبیات مدل‌های کامل همه مبدأ-مقصدها با در نظر گرفتن تخصیص چندگانه	۳۸
جدول ۴-۲- مروری بر ادبیات مسأله مکان‌یابی محور با ظرفیت محدود	۵۱
جدول ۱-۳- مقایسه ابعاد اصلی مسائل در برخی پژوهش‌های انجام گرفته	۶۷
جدول ۱-۴- نتایج حل با CPLEX و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و مقایسه آنها	۸۴

پیش‌گفتار

مسئله مکان‌یابی محور یکی از مباحث نوین در مسائل مکان‌یابی است و توجه علاقه‌مندان زیادی را در حوزه‌ها و ابعاد مختلف به خود جلب کرده است. اولین بار اوکلی در سال ۱۹۸۶ مسئله شبکه محور را مطرح کرد و اولین مدل ریاضی برای این مسئله توسط او در سال ۱۹۸۷ در مطالعه بر روی خطوط هواپیمایی ارائه شد. از آن پس مقالات متعددی در این حوزه منتشر شد. اکلی نقش مهمی در گسترش اولیه به خصوص در مدل‌سازی ایفا کرد. در ادامه کمبل نقش کلیدی در تکمیل مدل‌های مختلف محور ایفا کرد. مقاله سال ۱۹۹۴ او در خصوص مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح مسائل گسسته، یکی از مهم‌ترین مقالات در زمینه انواع مدل‌های مکان‌یابی محور است. او در این مقاله، مکان‌یابی محور پوششی را مطرح کرد. از آن پس مدل‌های گوناگونی در دسته‌های مختلف طرح شدند که هر کدام ویژگی‌های خاص خود را داشتند و همان‌طور که در ادامه خواهد آمد، کاربردهای ویژه‌ای دارند. مسئله مورد نظر در این پژوهش مکان‌یابی محور پوششی کامل با تخصیص یگانه و در نظر گرفتن ظرفیت برای مکان‌های محور در حالت چند لایه است.

این پژوهش مشتمل بر چهار فصل است که در ابتدا کلیاتی از این تحقیق، تعریف مسئله، تاریخچه و کاربردهای مکان‌یابی محور پوششی بیان شده است. فصل دوم به بیان کارهای انجام شده توسط دیگر محققین پرداخته و انواع مسائل مکان‌یابی محور پوششی و ظرفیت دار ارائه شده و روش‌های حل آن را معرفی می‌نماید. فصل سوم به بیان مدل مسئله مورد نظر پرداخته و با استفاده از مدل‌های موجود، مدل جدیدی را با ویژگی‌های خاص خود ارائه می‌دهد که کاربرد زیادی در مسائل دنیای واقعی دارد. در فصل چهارم به بررسی راه حل برای مدل طرح شده پرداخته و روشی مبتنی بر شبیه‌سازی تبرید برای حل آن ارائه می‌شود. و در فصل پایانی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای تحقیقات آتی بیان خواهد شد.

فصل اول

کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

مسئله مکان‌یابی محور^۱ از مسائل نوینی است که در دهه‌های اخیر در مسائل مکان‌یابی مطرح شده است. استفاده از محور همان‌طور که در ادامه شرح داده خواهد شد، کاربرد وسیعی در صنایع ارتباطاتی و مخابراتی، حمل و نقل هوایی و زمینی (کمبل^۲، ۲۰۰۹ و تان^۳ و کارا^۴، ۲۰۰۷)، مسافرت‌های هوایی (ساساکی^۵ و همکاران، ۱۹۹۹)، شبکه‌های رایانه‌ای، خدمات پستی (ارنست و کریشنامورتی، ۱۹۹۶) و ... دارد. امروزه مسئله مکان‌یابی محور یکی از مسائلی است که روز به روز توجه بیشتری را به خود جلب می‌کند و مورد توجه بسیاری از محققین و دانشمندان قرار گرفته است. در سال‌های اخیر مقالات زیادی در زمینه ارائه مدل‌های مختلف و روش‌های حل این مسئله ارائه شده است.

در این فصل به عنوان کلیات تحقیق در ادامه در چهار بخش به بیان ادبیات و تاریخچه موضوع پرداخته شده و ویژگی‌ها، نوآوری و جایگاه تحقیق حاضر بیان می‌شود. در ابتدا در بخش ۱-۲ تعاریف و مفاهیم بررسی می‌شود. در بخش ۱-۳ تاریخچه و مروری بر روند مطالعات پیشین، مرور و کاربردهای مکان‌یابی محور و محور پوششی نیز مطرح شده است. در بخش ۱-۴ ضرورت و نوآوری تحقیق بیان می‌شود. در نهایت در بخش ۱-۵ به جمع‌بندی این فصل پرداخته شده است.

^۱ محور (hub)، از لحاظ لغوی به معنی تویی وسط چرخ است و در مکان‌یابی، کمبل (۲۰۰۷) محور را چنین تعریف می‌کند: تسهیلاتی که بعنوان نقاط جابجایی و تبادل، برای سیستم‌های حمل و نقل و ارتباطات از راه دور، به مبدأ و مقصدهای زیادی خدمت می‌دهند.

^۲ Campbell

^۳ Tan

^۴ Kara

^۵ Sasaki

۱-۲- تعاریف، مفاهیم و طبقه بندی

در این قسمت، مفاهیمی همچون محور و کمان، تعریف و طبقه بندی انواع مدل‌های مکان‌یابی محور ارائه می‌شود.

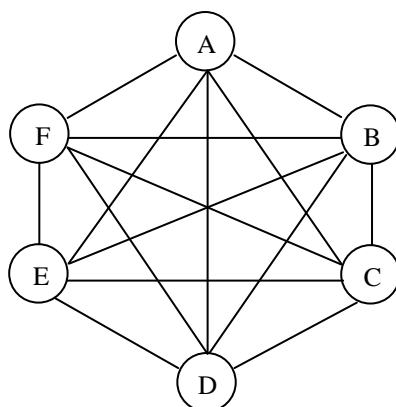
۱-۲-۱- مراکز محور

در طراحی شبکه، برقراری ارتباط میان نقاط مختلف آن به صورت دو به دو، کاری بسیار هزینه‌بر خواهد بود. تصور کنید در یک شبکه رایانه‌ای با بیست ایستگاه برای برقراری ارتباط میان سیستم‌های رایانه‌ای میان هر دو عدد از آن‌ها یک سیم ارتباطی برقرار شود. کاملاً مشخص است که چه حجم زیادی از فضا اشغال خواهد شده و چه میزان سیم مصرف خواهد شد. شبکه‌ای بسیار شلوغ و بی نظم شکل خواهد گرفت که منطقی نیست و مشکلات فراوانی را ایجاد خواهد نمود. در مسائل مکان‌یابی محور سعی بر این است تا به جای ارتباط دو به دو میان نقاط یک شبکه، از تسهیلاتی به نام محور استفاده شود تا وظیفه جمع‌آوری، مرتب کردن و توزیع کالا^۱ را میان آن‌ها انجام دهد. در اینجا هر چیزی که قرار است میان دو نقطه در شبکه جا بجا شود، اعم از داده‌های مخابراتی، اطلاعات، کالا، نامه، مسافر و غیره الا نامیده می‌شود.

مراکز محور به عنوان نقاطی هستند که جریان‌های کوچک را جمع‌آوری و آن‌ها را به یک جریان بزرگ تبدیل می‌کنند که این جریان به یک مرکز محور دیگر انتقال می‌یابد و این مرکز محور هم این جریان‌ها را از هم جدا کرده و بین نقاط مقصد توزیع می‌کند. پس در واقع، می‌توان گفت این مراکز دارای پنج نقش اساس هستند. (۱) جمع‌آوری جریان‌های کوچک. (۲) تبدیل جریان‌های کوچک به یک جریان بزرگ. (۳) انتقال این جریان بزرگ. (۴) تبدیل جریان بزرگ به جریان‌های کوچک. (۵) توزیع جریان‌های کوچک. لازم به ذکر است که لزوماً در این نوع از مسائل، یک جریان بین مبدأ-مقصد خاصی، از همه خدمات مراکز محور بهره نخواهد گرفت.

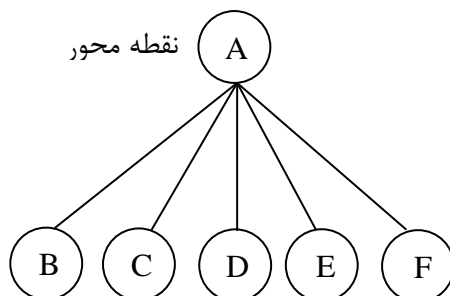
اگر شبکه‌ای با N نقطه داشته باشیم که هر کدام بتوانند هم مبدأ باشند و هم مقصد، $N \times (N-1)$ جفت مبدأ-مقصد در شبکه کامل وجود خواهد داشت. شکل (۱) یک گراف کامل از اتصالات در شبکه‌ای با شش نقطه را نشان می‌دهد. به کلیه نقاط شبکه که محل صدور کالا است و تقاضای حداقل یک نقطه دیگر در شبکه را برآورده می‌کند، مبدأ می‌گویند. به همین ترتیب نقاطی که تقاضای کالا دارند و از سایر نقاط شبکه کالا دریافت می‌کنند را مقصد می‌خوانیم.

¹ Commodity



شکل ۱-۱- یک گراف با شش نقطه و اتصالات کامل دو به دو

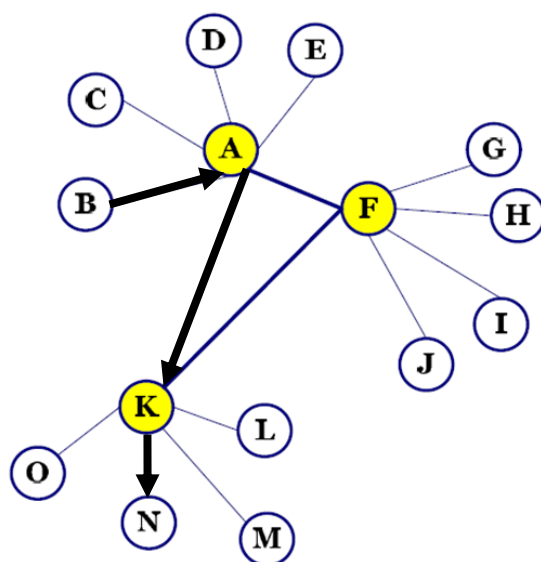
از دیدگاه دیگر اگر بخواهیم خدمات حمل و نقل برای شبکه‌ای با ده نقطه را فراهم کنیم، نود جفت مبدأ-مقصد خواهیم داشت. فرض کنید در این شبکه هر وسیله روزانه بتواند به پنج جفت مبدأ-مقصد خدمت ارائه کند، در این صورت تعداد هجده وسیله مورد نیاز خواهد بود. این شیوه طراحی ارائه خدمات به شدت هزینه‌ها را بالا خواهد برد. حال فرض کنید در این شبکه یک نقطه را به عنوان محور در نظر بگیریم. تعداد مسیرهای مورد نیاز برابر $2 \times (N-1)$ خواهد شد. شکل (۲) همان گراف کامل از اتصالات شکل قبلی را نشان می‌دهد که یکی از نقاط آن نقش محور را دارد. در این طراحی که تعداد کمان‌ها به پنج مسیر کاهش یافته است، با همان هجده وسیله مذکور، می‌توان به شبکه‌ای با چهار و شش نقطه که دارای یک محور هستند، خدمات حمل و نقل ارائه داد. بدین ترتیب طراحی شبکه مبتنی بر محور سبب کاهش بسیار زیادی در هزینه‌ها می‌شود.



شکل ۲-۱- شبکه با شش نقطه که یک نقطه آن محور است

ولی یکی از محدودیت‌های این شبکه این است که برای انتقال کالا بین هر دو نقطه (به جز محور A)، می‌بایست دقیقاً از دو مسیر عبور کرد، زیرا ارتباط مستقیم میان نقاط امکان‌پذیر نیست و حتماً باید از نقطه محور گذشت. در شبکه‌های با بیش از یک محور، حتی ممکن است برای انتقال کالا از نقطه‌ای به نقطه دیگر، بیش از دو مسیر عبور کرد.

شبکه‌هایی که ما در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌دهیم دارای گراف کامل هستند، بدین معنی که در آن تمامی محورها به یکدیگر متصل هستند و سایر نقاط به آن‌ها تخصیص می‌یابند. شکل (۳) نمونه‌ای از یک شبکه با ۳ محور می‌باشد در مدل‌هایی که مورد بررسی قرار می‌گیرد، ارتباط مستقیم میان نقاط غیر محور مجاز نمی‌باشد و انتقال کالا تنها از طریق نقاط محور میسر است. بدین ترتیب برای بردن کالا از نقطه B به N ، از حداکثر دو محور می‌بایست عبور نمود و مسیر $B \rightarrow A \rightarrow K \rightarrow N$ را طی کرد.



شکل ۱-۳- شبکه با گراف کامل با چند محور

در مسأله مکان‌یابی محور که نوعی از مسائل بهینه‌سازی هستند، هدف، یافتن مکان مناسب برای محورها و مسیرها جهت فرستادن کالا از یک سری مبدأ به یک سری مقصد است به گونه‌ای که تابع هزینه جمع‌آوری و توزیع کالا مینیمم شود.

شبکه‌های اتصال میان گره‌های غیر محور و محورها، شبکه فرعی^۱ نامیده می‌شود، در حالی که شبکه اتصال دهنده محورها، شبکه اصلی^۲ نامیده می‌شود. مدل طراحی شده باید به جنبه‌های هر دو شبکه، مکان‌یابی محورها و مسیر تقاضاها بپردازد. در این نوع مسائل به تعیین محل تسهیلات محور از میان گره‌های موجود و تخصیص گره‌های باقی مانده به محورها پرداخته می‌شود. این تخصیص به گونه‌ای صورت می‌گیرد که میان هر جفت مبدأ و مقصد، مسیری

¹ Tributary

² Backbone