





## دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده علوم، گروه ریاضی

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته ریاضی گرایش تحقیق در عملیات

# طراحی مکان ایستگاه اتوبوس در شبکه حمل و نقل عمومی

نگارش:

نسرین دخت نجیبی

استاد راهنما:

دکتر حمیدرضا ملکی

بهمن ۱۳۹۱

## تقدیم به

کسانی که

کلامشان صداقت،

نگاهشان محبت،

و تبسمشان، حیات را برایم به ارمغان آورد؛

## تقدیم به

قلب مهربان پدرم،

چشمان پر محبت مادرم،

همسفر صبور و مهربان زندگی ام،

که همراهی اش همیشه مرا دل گرم می دارد

و دو نور دیده ام، فرزندان دل بندم علی و عرفان.

## سپاسگزاری

به نام یکتای هستی بخش

ستایش و سپاس خدای یکتایی را که اولین معلم انسان پس از خلقت اوست. مهربانی که مرا شایسته‌ی آموختن گردانید و در این راه یاری‌ام نمود؛ پدر، مادر، همسر و فرزندان خوب و بی‌همتایی به من عطا نمود که لایق و شایسته‌ی سپاس فراوان هستند و خواهران و برادران عزیز و مهربانی که سپاسگزار کمک‌ها و محبت‌های بیشمار آن‌ها هستم.

سپاس بی‌دریغ خود را تقدیم به استاد راهنمای عزیز صبور و بزرگووارم، جناب آقای دکتر ملکی می‌نمایم که با پذیرش زحمت راهنمایی این پایان‌نامه، مرا قرین لطف و محبت خویش فرمودند. باز هم خدای مهربان را شاکرم که در این دوره اساتید و دوستانی بس عزیز و گران‌مایه نصیب گردانید که تا همیشه در یاد و قلب من خواهند بود. از داوران محترم این پایان‌نامه، تمامی اساتید گرامی بخش ریاضی دانشگاه صنعتی شیراز که وجودشان به دانشکده‌ی علوم، گرما و انرژی می‌بخشد، جناب آقای محمد جواد شیروانی و نیز مدیر محترم دبیرستان فرزندگان ناحیه‌ی یک شیراز، سرکار خانم معینی که در طول مدت تحصیل همکاری خوبی با من داشتند، سپاسگزاری می‌نمایم.

خدایا چنان کن سرانجام کار

تو خشنود باشی و ما رستگار

## چکیده

### طراحی مکان ایستگاه اتوبوس در شبکه‌ی حمل و نقل عمومی

نگارش:

نسرین دخت نجیبی

با توجه به تاثیر مستقیم سیستم حمل و نقل عمومی بر کیفیت زندگی شهری و تقاضای روزافزون مردم برای استفاده از این سیستم، در این تحقیق برآنیم که مساله‌ی تعیین مکان ایستگاه اتوبوس را مورد بررسی قرار دهیم. در مساله‌ی مکان‌یابی ایستگاه اتوبوس، هدف، افزایش دسترسی کاربران به سیستم حمل و نقل عمومی و افزایش پوشش آن‌ها توسط این سیستم می‌باشد. از آن جا که مکان‌یابی صحیح راهکاری برای کاهش هزینه‌ها و افزایش موفقیت واحدهای صنعتی و عمومی است؛ لذا ابتدا انواع مسائل مکان‌یابی را معرفی خواهیم کرد. سپس با توجه به انواع مسائل مکان‌یابی، دو مساله‌ی پوششی و دسترسی را در قالب دو مساله‌ی مکان‌یابی مدل‌بندی می‌کنیم. این مسائل را در فضایی پیوسته و در دو محیط مختلف صفحه و شبکه، مورد بررسی قرار می‌دهیم. بدین ترتیب، همه‌ی نقاطی را که امکان وقوع بهینگی در آن‌ها وجود دارد، در نظر خواهیم گرفت. با توجه به پیوسته بودن فضای مورد نظر، مجموعه‌ی تحت جستجو برای یافتن جواب بهینه، مجموعه‌ای نامتناهی است؛ بنابراین، باید مجموعه‌ای مسلط و متناهی را یافته و دامنه‌ی جستجوی خود را برای یافتن جواب، به این مجموعه محدود کنیم. روشی برای یافتن این مجموعه ارائه کرده و نشان خواهیم داد که این مجموعه، دارای یک الگوریتم زمان - چندجمله‌ای می‌باشد.

کلید واژه: ایستگاه اتوبوس، پوشش، پیچیدگی، دسترسی، شبکه‌ی حمل و نقل، مکان‌یابی.

# فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل ۱: مقدمه
۲	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ پیدایش نظریه‌ی مکان‌یابی
۴	۳-۱ اهمیت مکان‌یابی در شبکه‌ی حمل و نقل
۶	۴-۱ اهداف و مروری بر مطالب پایان‌نامه
۸	فصل ۲: انواع مسائل مکان‌یابی
۹	۱-۲ مقدمه
۹	۲-۲ انواع مسائل مکان‌یابی
۱۲	۳-۲ مسائل مکان‌یابی پوششی
۱۳	۱-۳-۲ مسائل پوشش کامل
۱۸	۲-۳-۲ مسائل پوشش بیشینه
۲۲	۴-۲ مسائل مکان‌یابی $p$ - میانه
۲۳	۱-۴-۲ $p$ - میانه‌ی استاندارد
۲۵	۲-۴-۲ $p$ - میانه‌ی جاذبه‌ای
۲۶	۳-۴-۲ $p$ - میانه‌ی متعامد
۲۷	۵-۲ مسائل مکان‌یابی $p$ - مرکز
۲۸	۶-۲ مجموعه‌ی مسلط متناهی
۳۱	فصل ۳: الگوریتم و پیچیدگی

۳۲	.....	۱-۳ مقدمه
۳۲	.....	۱-۱-۳ تحلیل پیچیدگی
۳۵	.....	۲-۱-۳ تقلیل
۳۶	.....	۳-۱-۳ مسائل تصمیم‌گیری
۳۷	.....	۲-۳ دسته‌های پیچیدگی
۴۰	.....	۳-۳ روش‌های حل مسائل مکان‌یابی
۴۴		<b>فصل ۴: تعداد و مکان بهینه‌ی ایستگاه‌های اتوبوس</b>
۴۵	.....	۱-۴ مقدمه
۴۶	.....	۲-۴ ادبیات موضوع
۴۸	.....	۳-۴ شبکه‌ی حمل و نقل عمومی و تابع فاصله
۵۳	.....	۴-۴ مسائل پوشش و دسترسی
۵۵	.....	۵-۴ پوشش
۶۵	.....	۶-۴ دسترسی
۶۶	.....	۱-۶-۴ مساله‌ی تعیین مکان تنها یک ایستگاه ( $1-ASL$ )
۷۲	.....	۲-۶-۴ مساله‌ی تعیین مکان یک ایستگاه جدید ( $ASL - 1$ )
۷۷	.....	۳-۶-۴ مساله‌ی تعیین مکان چند ایستگاه جدید
۸۱		<b>فصل ۵: حل یک مثال</b>
۸۲	.....	۱-۵ مقدمه
۸۳	.....	۲-۵ یک مثال عددی
۸۷		<b>فصل ۶: نتیجه‌گیری و پیشنهادها</b>
۹۱		<b>مراجع</b>
۹۹		<b>واژه‌نامه فارسی به انگلیسی</b>

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۸۳	جدول ۱-۵: نقاط کاندیدا برای <i>CSL</i>
۸۵	جدول ۲-۵: نقاط کاندیدا برای <i>ASL</i>



## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۲۱	شکل ۱-۲: یک شبکه شامل دو گره تقاضا و یک یال
۴۹	شکل ۱-۴: شبکه‌ی حمل و نقل عمومی و خیابان‌ها ( <i>SPTN</i> )
۵۱	شکل ۲-۴: حالت الف
۵۱	شکل ۳-۴: حالت ب
۵۲	شکل ۴-۴: حالت ج
۵۲	شکل ۵-۴: نمودار تابع فاصله در شبکه
۵۸	شکل ۶-۴: آرایش جدید صفحه توسط $Z$
۵۸	شکل ۷-۴: خانه‌ها در آرایش جدید صفحه توسط $Z$
۶۱	شکل ۸-۴: نمایش مرزهای خانه‌ی $Z$
۶۱	شکل ۹-۴: حالت‌های انطباق یال $e'$ و مرز خانه‌ی $Z'$
۶۳	شکل ۱۰-۴: نمودار نقاط کاندیدا برای $CSL$ در محیط صفحه
۶۴	شکل ۱۱-۴: نمودار تعداد نقاط کاندیدا برای $CSL$ در محیط شبکه
۶۷	شکل ۱۲-۴: نقاط کاندیدا برای $ASL$ در محیط صفحه
۷۱	شکل ۱۳-۴: تقسیم یک یال توسط خطوط ساخت رسم شده از یک نقطه‌ی تقاضا
۷۳	شکل ۱۴-۴: همسایگی‌های $D_m$ به مرکز نقاط تقاضا
۷۴	شکل ۱۵-۴: خانه‌های $Z$ و نقاط کاندیدا برای $ASL$ - ۱ در طراحی مجدد
۷۵	شکل ۱۶-۴: نقاط مرزی $D_m$
۷۶	شکل ۱۷-۴: نمایش تابع $f(s)$ روی یک یال

شکل ۱۸-۴: حالتی که شبکه قابل بهبود نیست ..... ۷۶

# فصل ۱

## مقدمه

## ۱-۱ مقدمه

مکان‌یابی و تصمیم‌گیری در مورد تعداد و مکان تسهیلات یکی از مهمترین مسائل برنامه‌ریزی در شرکت‌ها و سازمان‌های بزرگ خصوصی و دولتی به شمار می‌رود. تصمیم‌گیری در مورد تعداد مراکز خدماتی و مکان تاسیس آن‌ها را به دلیل هزینه‌های بالای آن نمی‌توان به روش آزمون و خطا انجام داد؛ به عنوان مثال اگر در تعیین مکان مناسب برای ایستگاه‌های آتش‌نشانی، اورژانس و حمل و نقل عمومی دقت لازم به عمل نیاید، ممکن است صدمات مالی و جانی زیاد و در برخی موارد خسارات جبران‌ناپذیری به مردم وارد شود. همچنین با توجه به فضای رقابتی و هزینه‌های تولید و توزیع محصولات و خدمات، اهمیت مکان‌یابی مراکز خدماتی، تولیدی و توزیعی به خوبی درک می‌شود. به خصوص که نتایج این تصمیم‌گیری‌ها در دراز مدت ظاهر می‌شوند. به طور خلاصه مکان‌های انتخاب شده برای مراکز خدماتی، تاثیر مستقیمی در موفقیت یا شکست هر دو بخش خصوصی و دولتی خواهد داشت [۱۲]. بنابراین مطالعات مکان‌یابی یکی از اقدام‌های کلیدی در فرآیند احداث واحدهای صنعتی یا خدماتی محسوب می‌شود. شایان ذکر است که اهمیت این مطالعات به اندازه‌ای است که به تازگی در مورد مراکز فعال هم این مطالعات دوباره صورت می‌گیرد و در برخی موارد منجر به تغییر محل واحد می‌شود.

در بررسی مشاغل زود بازده، مشخص شده است که بیش از پنجاه درصد آنها در سال اول و حدود سی درصد پس از دو سال ورشکسته می‌شوند و به شغل دیگری روی می‌آورند. این در حالی است که در آغاز راه‌اندازی این مشاغل تقریباً تمام جوانب ارائه‌ی خدمات بررسی می‌شود؛ ولی بی‌توجهی به مسأله‌ی مهم مکان، سبب باز ماندن واحد مورد نظر از اهدافش می‌شود [۶۴]. با توجه به مطالب بالا و درک اهمیت مکان‌یابی، در ادامه به طرح اولین مسایلی که منجر به پیدایش حوزه‌ی مکان‌یابی شده‌اند، می‌پردازیم.

## ۲-۱ پیدایش نظریه‌ی مکان‌یابی

در اوایل قرن هفدهم سوالی بدین مضمون مطرح شد: "سه نقطه در صفحه مفروض‌اند. نقطه‌ی چهارمی را پیدا کنید که فاصله‌ی آن از این سه نقطه کمترین مقدار ممکن باشد." این سوال که در حد یک معمای ریاضی بود، توسط پیردی فرما<sup>۱</sup> (۱۶۰۱ - ۱۶۶۵) مطرح شد و دانشمندان زیادی در پی حل و تعمیم آن برآمدند. از جمله می‌توان از توریچلی<sup>۲</sup> (شاگرد گالیله<sup>۳</sup>) و باتیستا کوالیری<sup>۴</sup> و دیگران نام برد [۱۵]. اگر چه این مساله اولین بار توسط فرما مطرح شد، اما مساله‌ی مکان‌یابی قدمتی بسیار دیرینه دارد و شاید عمری به اندازه‌ی عمر بشر داشته باشد؛ چرا که قرن‌ها قبل، وقتی انسان اولیه، غار زندگی خود را انتخاب می‌کرد، یا حتی بعدها که مکانی را برای ساخت خانه و روستا یا عبادتگاه خود در نظر می‌گرفت؛ در حقیقت، با نوعی روش اکتشافی، یک مساله‌ی مکان‌یابی را حل می‌کرد.

مطالعات نظریه‌ی مکان‌یابی به صورت رسمی در سال ۱۹۰۹ آغاز شد؛ زمانی که وبر<sup>۵</sup> با اختصاص وزن به نقاط مفروض، معمای ریاضی مطرح شده توسط فرما را به یک مساله‌ی صنعتی تبدیل کرد. در مساله‌ی وبر، هدف پیدا کردن مکان یک انبار (نقطه نامعلوم) بود به طوری که هزینه‌ی حمل و نقل کالا بین این انبار و مشتری‌ها (نقاط مفروض) کمینه شود. ولی پس از او به دلیل کاربرد کم این نظریه، تا سال ۱۹۶۴ توجه چندانی به مساله‌ی مکان‌یابی نشد؛ در این زمان حکیمی<sup>۶</sup> [۲۵] با انتشار یک مقاله‌ی کاربردی، جانی تازه در کالبد نظریه‌ی مکان‌یابی دمید و بار دیگر توجه محققین را به این موضوع جلب کرد. حکیمی در مقاله‌ی خود به دنبال پیدا کردن مکان بهینه برای یک مرکز سوئیچینگ در شبکه‌ی ارتباطی و یک مکان بهینه، برای ایستگاه پلیس در بزرگراه‌ها بود. سال بعد دوباره حکیمی مقاله‌ای منتشر کرد که در آن به دنبال پیدا کردن مکان بهینه برای چند مرکز سوئیچینگ در شبکه‌ی ارتباطی و تعداد و مکان‌های بهینه، برای استقرار افراد پلیس در بزرگراه‌ها بود. از انتشار مقاله‌ی حکیمی تاکنون، محققان بسیاری به این مطلب پرداخته‌اند؛ آن‌ها انواع مختلفی از مسائل مکان‌یابی را مطرح نموده و مطالعات موردی فراوانی را در دنیای واقعی به انجام رسانیده‌اند. تعمیم و کاربرد

---

Piere de fermat<sup>۱</sup>

Torricelli<sup>۲</sup>

Galileo<sup>۳</sup>

Battista Cavallieri<sup>۴</sup>

Weber<sup>۵</sup>

Hakimi<sup>۶</sup>

مسائل و مدل‌های مکان‌یابی همچنان با رشد روز افزونی در حال بررسی است. از مساله‌ی مکان‌یابی در زمینه‌های کاربردی متفاوتی استفاده می‌شود. از جمله در تعیین مکان پایانه‌های حمل و نقل، ایستگاه‌های اتوبوس‌ها و قطارهای درون‌شهری و برون‌شهری، بانک خون، خودپردازهای بانک‌ها، آمبولانس‌ها، محل دفن زباله‌های جامد و حتی مکان‌یابی تسهیلات در رقابت‌های انتخاباتی.

### ۳-۱ اهمیت مکان‌یابی در شبکه‌ی حمل و نقل

رشد و توسعه‌ی شهرها در سال‌های اخیر و به دنبال آن افزایش جمعیت شهرها، مشکلات فراوانی را برای جمعیت شهرنشین به وجود آورده است، که عمده‌ترین این مشکلات، مسائل مربوط به بخش حمل و نقل می‌باشد. حمل و نقل و جابه‌جایی کالا و مسافر فعالیتی مهم برای هر جامعه‌ی انسانی به شمار می‌رود و تاثیرات عمده‌ای بر تعاملات اجتماعی و الگوهای زندگی مردم دارد. از جمله وسایل حمل و نقل عمومی می‌توان به هواپیما، قطارها و اتوبوس‌های درون‌شهری و برون‌شهری و تاکسی اشاره کرد. البته حمل و نقل کالا و مسافر هر کدام به زیر بخش‌هایی تقسیم می‌شود که یکی از بخش‌های آن حمل و نقل درون‌شهری است؛ این بخش خود به دو بخش عمومی و شخصی تقسیم می‌گردد. برای افزایش سهم بخش عمومی از سفرهای درون‌شهری، لازم است اقداماتی جهت بهبود و توسعه‌ی این بخش هم در زمینه‌ی کمی و هم در زمینه‌ی کیفی صورت گیرد. از جمله اقداماتی که می‌توان در زمینه‌ی کمی انجام داد، گسترش پوشش و امکانات سیستم اتوبوسرانی و ناوگان حمل و نقل عمومی می‌باشد [۶۶]. همان‌طور که قبلاً اشاره شد یکی از کاربردهای مساله‌ی مکان‌یابی، تعیین مکان ایستگاه‌ها در سیستم حمل و نقل است. به این دلیل که حمل و نقل عمومی نقش مهمی در زندگی مردم دارد، به سختی می‌توان کسی را پیدا کرد که از خدمات حمل و نقل عمومی استفاده نکند. از آن‌جا که جابه‌جایی در فواصل کوتاه و متوسط نیاز هر روز مردم است و با توجه به این که استفاده از اتوبوس و قطار شهری (در صورت وجود) مناسب‌تر و نسبتاً ارزان‌تر از سایر وسایل حمل و نقل درون‌شهری است، استفاده از اتوبوس و قطار شهری شایع‌تر از سایر وسایل حمل و نقل می‌باشد. بنابراین یکی از نکات مهم در فرآیند برنامه‌ریزی سیستم حمل و نقل عمومی، طراحی و مکان‌یابی ایستگاه‌ها و توقفگاه‌های این وسایل می‌باشد. که البته

این موضوع از جنبه‌های مختلف قابل بررسی است؛ به عنوان مثال، ایستگاه‌ها باید حداکثر ایمنی را داشته باشند، حداقل تداخل را در حرکت سایر وسایل نقلیه ایجاد کنند و همچنین تجهیزات و تسهیلات ایمنی برای عابرین در آن‌ها منظور شده باشد [۶۶]. اما آن‌چه از همه‌ی این مسایل مهم‌تر است، مکان‌یابی درست ایستگاه‌ها است به نحوی که دسترسی کاربران به آن‌ها آسان باشد؛ به عبارت دیگر، باید امکان دسترسی مسافران به ایستگاه‌ها را افزایش داد. چرا که اگر با وجود رعایت همه‌ی مسائل شهرسازی، به خاطر عدم جایابی مناسب، استفاده از ایستگاه‌ها آسان و از نظر زمانی مقرون به صرفه نباشد، مسافران ترجیح می‌دهند وسایل دیگری مانند خودرو شخصی را جایگزین کنند. این امر می‌تواند منجر به افزایش ترافیک و به دنبال آن افزایش آلودگی‌های هوا، آلودگی‌های صوتی، حوادث رانندگی، گره‌های ترافیکی و مشکلات بسیاری در زمینه‌های زیست - محیطی، اقتصادی و اجتماعی گردد. علاوه بر آن به اثرات منفی اقتصادی نظیر کاهش درآمد وسایل حمل و نقل عمومی و کاهش بهره‌وری سرمایه گذاری‌ها نیز باید توجه داشت. همچنین با افزایش تردد خودروهای شخصی، دولت مجبور به طرح و اجرای سیاست‌های تنبیهی مانند تعیین جریمه، ایجاد محدوده‌های ترافیکی، افزایش هزینه‌ی پارکینگ و بستن یا یک‌طرفه کردن خیابان‌ها خواهد شد، که اثرات منفی اجتماعی - اقتصادی آن برکسی پوشیده نیست.

در تحقیقی که در سال ۱۹۹۸ توسط بیلی<sup>۱</sup> و همکارانش [۳] به عمل آمد، مشخص شد که حدود پنج درصد درآمد ناخالص ملی در اکثر کشورهای در حال رشد، صرف مقابله با افزایش آلودگی‌های هوا، آلودگی‌های صوتی، حوادث رانندگی و گره‌های ترافیکی می‌شود. این در حالی است که مزایای یک سیستم حمل و نقل خوب، به مراتب بسیار بیشتر از این ارقام است.

بنابر نتایج یک پژوهش ملی که در سال ۲۰۰۴ در آمریکا و به صورت تصادفی انجام شد، اخیراً مردم آمریکا در خرید خانه‌ی جدید، برای مساله‌ی حمل و نقل عمومی اهمیت زیادی قائل می‌شوند؛ به طوری که بیش از هفتاد و دو درصد مصاحبه شونده‌گان، ترجیح می‌دهند بدون توجه به ارزش بالای ملک، محل زندگی خود را طوری انتخاب کنند که از امکانات خوب اجتماعی مانند حمل و نقل عمومی، زمان رفت و آمد کمتر و دسترسی به مراکز عمومی برخوردار باشد تا نیازی به استفاده از وسیله‌ی شخصی خود نداشته باشند [۵۷]. بدون شک برنامه‌ریزی درست و طراحی مناسب ایستگاه‌ها با توجه به نیاز مسافران، استقبال و استفاده‌ی

---

Bielli<sup>۱</sup>

داوطلبانه از سیستم را در پی خواهد داشت و راه چاره‌ای برای گریز از بسیاری از مشکلات مطرح شده می‌باشد. اینجاست که می‌توان با استفاده از مدل‌سازی و برنامه‌ریزی ریاضی، به کمک این سیستم شتافته و با بهینه کردن تعداد و مکان احداث ایستگاه‌های اتوبوس به افزایش بهره‌وری این سیستم کمک کرد.

## ۴-۱ اهداف و مروری بر مطالب پایان‌نامه

در راستای افزایش بهره‌وری سیستم حمل و نقل عمومی و برای بالا بردن میزان استفاده از اتوبوس‌ها، به وسیله‌ی افزایش دسترسی و سهولت استفاده از آن، باید به دو سوال مهم پاسخ داد. این دو سوال عبارت‌اند از:

۱- چه تعداد ایستگاه نیاز داریم؟

۲- این ایستگاه‌ها در چه مکان‌هایی باید احداث شوند؟

شاید در نگاه نخست برای پاسخ به سوال اول، افزایش ایستگاه‌ها به تعداد نقاط تقاضا، مطلوب به نظر برسد چرا که با این افزایش علاوه بر پوشش مکان‌های مورد نظر، افزایش دسترسی مسافران به سیستم نیز محقق می‌گردد؛ اما در کنار این نتیجه‌ی مطلوب، احداث ایستگاه‌های جدید صرف‌نظر از هزینه‌ی احداث، افزایش تعداد توقف‌ها و در نتیجه افزایش زمان سفر و کندی حرکت سیستم در معابر شهری را در پی خواهد داشت. واضح است که این امر بسیار نامطلوب بوده و باعث پایین آمدن کارایی سیستم می‌گردد. بنابراین لازم است ایستگاه‌های جدید طوری مکان‌یابی گردند که ضمن افزایش پوشش و دسترسی، زمان سفر هم تا حد امکان افزایش نیابد و حتی با مکان‌یابی مناسب، در صورت امکان زمان سفر نیز کاهش یابد. به عنوان مثال، با ایجاد ایستگاه‌های جدید می‌توان تغییر مسیری در انتخاب مسیر مسافران ایجاد کرد که منجر به کاهش زمان سفر آن‌ها گردد.

دو پرسشی که مطرح شد، در حقیقت سرآغاز بیان دو مسأله‌ی مکان‌یابی هستند که در این پایان‌نامه مورد بررسی قرار خواهند گرفت. در ابتدا، برای پاسخ به سوال اول آن را به فرم یک مسأله‌ی مکان‌یابی درآورده و کمینه تعداد ایستگاه‌ها را به منظور افزایش دسترسی تعیین می‌کنیم؛ سپس با گنجاندن سوال دوم در قالب یک مسأله‌ی مکان‌یابی دیگر، مکان‌های بهینه را برای احداث این ایستگاه‌ها معرفی خواهیم کرد.



از آن جا که مسائل مکان‌یابی دارای تنوع زیادی هستند، برای سهولت در بیان و با توجه به ویژگی‌ها، اهداف و قیود، به روش‌های متفاوتی دسته‌بندی می‌شوند. بنابراین شناخت آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، در فصل دوم انواع مسائل مکان‌یابی را معرفی می‌کنیم. بنابر مقاله‌ای که کارپ<sup>۱</sup> در سال ۱۹۷۲ منتشر کرد، اکثر مسائل مکان‌یابی از دسته‌ی مسائل  $NP$  - سخت هستند [۳۵]. برای حل این دسته مسائل، باید الگوریتم‌های کارآ با زمان اجرای چند جمله‌ای یافت که جواب بهینه را محاسبه کنند. بنابراین در فصل سوم، مفاهیم  $P$ ،  $NP$  - سخت،  $NP$  - کامل و مبحث پیچیدگی الگوریتم، همچنین برخی از روش‌ها و الگوریتم‌های حل مسائل مکان‌یابی تسهیلات را معرفی خواهیم کرد.

در فصل چهارم، هر یک از دو مساله‌ی تعیین تعداد و مکان بهینه‌ی اتوبوس، در دو محیط صفحه و شبکه مورد بررسی قرار گرفته و برای هر یک مدلی معرفی خواهد شد. در محیط صفحه برای نقاط تقاضا مختصات در نظر گرفته می‌شوند و در محیط شبکه نقاط تقاضا، راس‌های یک شبکه‌ی تعمیم یافته خواهند بود. از آن جا که در مسائل گسسته، یک مجموعه‌ی متناهی کاندیدا برای مکان‌یابی تسهیلات جدید موجود است، اما در مسائل پیوسته و شبکه‌ای، هر نقطه از فضای جواب، یک مکان بالقوه برای ایجاد تسهیلات جدید به شمار می‌رود؛ لذا به دلیل پیوستگی مکانی، با یک مجموعه‌ی نامتناهی از نقاط بالقوه‌ی کاندیدا مواجه هستیم. بنابراین با معرفی یک مجموعه‌ی مسلط متناهی که شامل جواب‌های بهینه است، دو مساله‌ی تعیین تعداد و تعیین مکان بهینه‌ی اتوبوس را از حالت پیوسته به گسسته تبدیل می‌کنیم. در این صورت به جای تمام نقاط صفحه و شبکه، توجه خود را به یک مجموعه‌ی متناهی شامل جواب‌های بهینه معطوف می‌کنیم؛ همچنین در فصل چهارم روشی برای یافتن مجموعه‌ی مسلط متناهی که الگوریتمی با پیچیدگی از مرتبه‌ی زمان - چندجمله‌ای دارد، برای دو مساله‌ی مطرح شده ارائه می‌دهیم.

در فصل پنجم یک مثال عددی را که با استفاده از نتایج پایان‌نامه حل می‌شود، ارائه خواهیم نمود.

---

Karp<sup>۱</sup>

## فصل ۲

### انواع مسائل مکان یابی

## ۱-۲ مقدمه

در مسائل مکان‌یابی، یک مجموعه‌ی بالقوه از مراکز خدماتی (کاندیدا) و تعدادی مشتری وجود دارد که باید تقاضای آن‌ها توسط یک یا چند مرکز از بین مراکز فوق تامین شود. با توجه به سایر مراکز و محدودیت‌های موجود، انتخاب مرکز یا مراکز خدماتی به گونه‌ای صورت می‌گیرد که هدف یا اهداف از پیش تعیین شده‌ای نیز برآورده شود. این هدف یا اهداف در یک مساله‌ی مکان‌یابی می‌تواند هزینه‌ی احداث مراکز خدماتی، فاصله‌ی مکانی بین مراکز یا فاصله‌ی زمانی بین آن‌ها و مواردی از این قبیل باشد (برای آشنایی بیشتر به مراجع [۱۲، ۶۲] مراجعه شود).

## ۲-۲ انواع مسائل مکان‌یابی

مسائل مکان‌یابی دارای تنوع زیادی هستند. از این رو برای سهولت در بیان، آن‌ها را با توجه به ویژگی‌ها، اهداف و قیود، به روش‌های متفاوتی دسته‌بندی می‌کنند. برای روشن‌تر شدن موضوع، مسائل زیر را در نظر بگیرید:

الف: تعیین مکان تعدادی آمبولانس، به منظور کمینه کردن بیشترین زمان پاسخ به متقاضی؛  
ب: تعیین مکان یک انبار در یک زنجیره‌ی تامین، برای کمینه کردن زمان حمل و نقل.  
از نظر تابع هدف، مسائل مکان‌یابی به سه دسته‌ی کمینه مجموع (*Minsum*)، کمینه بیشینه (*Minimax*) و پوشش (*Covering*) تقسیم‌بندی می‌شوند. بنابراین از نظر تابع هدف، مساله‌ی مکان‌یابی آمبولانس یک مساله‌ی *Minimax* و مساله‌ی تعیین مکان انبار یک مساله‌ی *Minisum* است. از طرف دیگر یک مساله‌ی مکان‌یابی از نظر تعداد تسهیلات نیز قابل دسته‌بندی می‌باشد. از این منظر، این دو مساله به ترتیب، چند تسهیلاتی و تک تسهیلاتی می‌باشند. دسته‌بندی را می‌توان از جهات دیگر هم در نظر گرفت، مثلاً با توجه به محدودیت ظرفیت (با ظرفیت محدود یا با ظرفیت نامحدود)، از نظر قطعیت (قطعیت کامل، قطعی یا همراه با ریسک و عدم قطعیت) [۱۲] و یا با توجه به ویژگی فضای تصمیم‌گیری، مسائل مکان‌یابی

را می‌توان دسته‌بندی کرد. مسائل مکان‌یابی را با توجه به ویژگی فضای تصمیم‌گیری، به دو دسته‌ی مسائل در فضای حقیقی چند بعدی و مسائل در فضای شبکه تقسیم می‌شوند که هر یک از این دو دسته، خود به دو زیر دسته‌ی پیوسته و گسسته تقسیم می‌شوند [۱۵]. نظر به اهمیت شناخت مدل‌های مکان‌یابی، در ادامه به تشریح مسائل مکان‌یابی با در نظر گرفتن فضای تصمیم‌گیری می‌پردازیم.

### مسائل مکان‌یابی گسسته

در این نوع از مسائل مکان‌یابی، مجموعه‌ای از مکان‌های کاندیدا موجود است؛ که مراکز خدماتی تنها در این مکان‌ها می‌توانند احداث شوند. بنابراین، مطلوب انتخاب مکان برای یک یا چند مرکز با در نظر گرفتن سایر مراکز و محدودیت‌های موجود است به گونه‌ای که هدف ویژه‌ای بهینه شود. به عنوان مثال، هزینه‌ی کل کمینه شود یا فاصله‌ی این مرکز یا مراکز تا نقاط متقاضی بیشینه یا کمینه گردد. در این نوع مسائل، برای استقرار یا عدم استقرار تسهیلات در نقاط مورد نظر تصمیم‌گیری می‌شود. بنابراین با یک متغیر تصمیم‌گیری دودویی و در نتیجه با یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مواجه هستیم.

### مسائل مکان‌یابی پیوسته

در مسائل مکان‌یابی پیوسته، فضای جواب پیوسته است؛ یعنی مراکز خدماتی در هر جایی از منطقه‌ی جواب، می‌توانند احداث شوند. مدل‌های مکان‌یابی در فضای پیوسته، مکان بهینه‌ی یک یا چند تسهیلات را در فضای دو بعدی تعیین می‌کنند. ضعف عمده‌ی این مدل آن است که ممکن است مکان بهینه‌ی به دست آمده موجه نباشد. به عنوان مثال، وسط رودخانه، دریا یا دریاچه باشد؛ یا جایی که دولت مانع از ساخت چنین واحدی در آن محل می‌شود. با وجود این ضعف‌ها و ایرادها، این مدل‌ها بسیار پر کاربرد می‌باشند. علت این امر این است که این مدل‌ها در حالت تک تسهیلاتی روش حل ساده‌ای دارند؛ روش‌هایی مانند روش میانه، روش جاذبه و یا روش ویزفلد<sup>۱</sup>، برای یافتن مکان بهینه وجود دارد و در صورتی که مکان بهینه برای مدل در فضای پیوسته ناموجه باشد، می‌توان از روش منحنی‌های هم‌تراز استفاده کرد تا مکان بهینه و موجه را پیدا نمود. در مسائل چند تسهیلاتی که در آن‌ها تسهیلات جدید به

---

<sup>۱</sup>Weiszfeld