دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی صنایع

# بررسی مسائل طراحی سیستم حمل و نقل هوایی با محدودیت ظرفیت

پرستو محمدزاده قره شیران

استاد راهنما: دکتر رضا رمضانیان

رشته مهندسی صنایع گرایش مدلسازی سیستم های کلان

مرداد ۱۳۹۵

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی صنایع

# بررسی مسائل طراحی سیستم حمل و نقل هوایی با محدودیت ظرفیت

پرستو محمدزاده قره شیران

استاد راهنما: دکتر رضا رمضانیان

رشته مهندسی صنایع گرایش مدلسازی سیستم های کلان

مرداد ۱۳۹۵

**تقدیر و تشکر**

**از استاد راهنمای گرانقدر**

**جناب آقای دکتر رمضانیان**

**که در نگارش این پژوهش بنده را همراهی نمودند.**

# چکیده

صنعت حمل ونقل هوایی، به خاطر تأثیر زیاد بر توسعه اقتصادی و سطح رفاه جوامع، نسبت به سایر روش های حمل و نقلی اهمیت ویژه ای دارد. شبکه پروازی یکی از اساسی ترین اجزای بازار حمل ونقل هوایی است که تأثیر چشم گیری بر درآمد شرکتهای هواپیمایی دارد. سیستم های حمل و نقل هوایی به طراحی شبکه های مختلف بر اساس ویژگی های خاص خود نیاز دارند. همچنین محدودیت ظرفیت یک عامل بسیار مهم در طراحی سیستم های حمل و نقل است. در این گزارش سعی شده است پس از معرفی سیستم های حمل و نقل هوایی و اهمیت مکانیابی مرکز و سیستم های مرکز و انشعاب در حمل و نقل هوایی به مفاهیم پیرامون آن پرداخته شود. در این سمینار مقالات متعددی در زمینه طراحی سیستم های حمل و نقل هوایی مورد مطالعه و بررسی قرار داده شد و بر اساس فاکتورهای مرسوم دسته بندی سیستم ها و همین طور مقالات تقسیم بندی گردید. با مقایسه آماری مقالات در شاخه های مختلف به شکاف های تحقیقاتی پی برده شد و به دنبال آن نیز پیشنهاداتی مرتبط با نتایج سمینار ارائه گردید.

کلمات کلیدی: سیستم های حمل و نقل هوایی، محدودیت ظرفیت، مکانیابی مرکز، سیستم های مرکز و انشعاب

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


**فصل ۱- کلیات موضوع ..... ۱**

۱-۱- مقدمه ..... ۲

۱-۲- هدف از سمینار ..... ۲

۱-۳- توضیح موضوع سمینار (بیان مساله) ..... ۳

۱-۴- توجیه، انگیزه و علت انتخاب موضوع ..... ۴

۱-۵- اهمیت موضوع ..... ۴

۱-۶- مرور کلی بر ادبیات موضوع ..... ۶

۱-۷- جنبه های جدید بودن موضوع ..... ۷

۱-۸- کاربردها و کاربران موضوع سمینار ..... ۸

۱-۹- جمع بندی ..... ۸

**فصل ۲- مسائل مکانیابی مرکز ..... ۹**

۲-۱- مقدمه ..... ۱۰

۲-۲- معرفی مدلهای مکانیابی مرکز ..... ۱۲

۲-۲-۱- مساله مکانیابی p مرکز میانه ..... ۱۳

۲-۲-۲- مساله مکانیابی مرکز با هزینه ثابت ..... ۱۳

۲-۲-۳- مساله p مرکز مرکزی ..... ۱۳

۲-۲-۴- مساله مرکز پوششی ..... ۱۴

۲-۲-۵- مسایل مکان یابی مرکز با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت ..... ۱۴

۲-۲-۶- مسایل مکان یابی مرکز پیوسته ..... ۱۴

۲-۲-۷- مسایل مکان یابی مرکز چند هدفه ..... ۱۴

۲-۲-۸- مسایل مکان یابی مرکز با ساختار شبکه ستاره ..... ۱۴

۲-۳- اهمیت مسائل مکانیابی مرکز ..... ۱۵

۲-۴- کاربرد مسائل مکانیابی مرکز ..... ۱۵

۲-۵- طبقه بندی مسائل مکانیابی مرکز ..... ۱۹

۲-۶- اصطلاحات رایج ..... ۲۰

۲-۶-۱- اهداف ..... ۲۰

۲-۶-۲- عناصر شبکه ..... ۲۱

۲-۶-۳- محدودیت ها ..... ۲۲

۲-۷- مدلسازی مسائل مکانیابی مرکز ..... ۲۶

۲-۷-۱- فرضیات مساله ..... ۲۶

۲-۷-۲- اندیس مجموعه ها ..... ۲۷

۲-۷-۳- پارامترها ۲۷
۲-۷-۴- متغیرها ۲۸
۲-۷-۵- تابع هدف و محدودیت ها ۲۸
۲-۸- جمعبندی ۳۱
**فصل ۳- سیستم های حمل و نقل هوایی ۳۲**
۳-۱- مقدمه ۳۳
۳-۲- انواع سیستم های حمل و نقل هوایی ۳۳
۳-۳- شبکه های مرکز و انشعاب ۳۶
۳-۳-۲- تقسیم بندی مسائل مرکز و انشعاب بر اساس میزان تاکید بر مرکز ۳۸
۳-۳-۳- تقسیم بندی مسائل مرکز و انشعاب بر اساس هشت شکل شبکه ۴۰
۳-۳-۴- تقسیم بندی مسائل مرکز و انشعاب بر اساس فرمولبندی تحلیلی ۴۱
۳-۳-۵- تقسیم بندی مسائل مرکز و انشعاب بر اساس نوع مرکز ۴۲
۳-۴- جمع بندی ۴۲
**فصل ۴- مروری بر ادبیات موضوع ۴۲**
۴-۱- مقدمه ۴۳
۴-۲- کاربردی کردن مسائل مکانیابی مرکز با اضافه کردن محدودیت های کاربردی ۴۴
۴-۳- مطالعات انجام شده در زمینه مکانیابی مرکز ۴۴
۴-۳-۲- مقالات متمرکز در زمینه طراحی شبکه حمل و نقل هوایی ۴۹
۴-۴- جمع بندی ۵۰
**فصل ۵- نتیجه گیری ۵۱**
۵-۱- مقدمه ۵۲
۵-۲- خلاصه ای از سمینار ۵۲
۵-۳- یافته ها و نتایج سمینار ۵۳
۵-۴- پیشنهاد زمینه هایی برای تحقیق مطابق با نتایج سمینار ۵۵
۵-۵- جمع بندی ۵۶
مراجع ۵۷

# فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه


شکل(۱-۱) نرخ رشد ترافیک در سال ۲۰۱۵ ..... ۵
شکل(۱-۲) تعداد سفرهای هوایی برای سالهای ۲۰۱۸ و ۲۰۲۳ ..... ۵
شکل(۲-۱) ساختار شبکه حمل ونقل با درنظرگرفتن مرکز در مقایسه با شبکه های کلاسیک ..... ۱۱
شکل(۲-۲) شبکه شماتیکی از مسائل مکانیابی مرکز ..... ۱۷
شکل(۳-۱) انواع سیستم های حمل و نقل هوایی ..... ۳۳
شکل(۳-۲) سیستم نقطه به نقطه و سیستم مرکز و انشعاب با هشت گره ..... ۳۴
شکل(۳-۳) وظایف مرکز درشبکه ..... ۳۷
شکل(۳-۴) تخصصیص چندگانه ..... ۳۹
شکل(۳-۵) تخصصیص یگانه ..... ۳۹
شکل(۳-۶) شکل های پیشنهادی A تا H اوکلی ..... ۴۱
شکل(۵-۱) توزیع مقالات ..... ۵۴
شکل(۵-۲) توزیع و تعداد مقالات چاپی در طول زمان ..... ۵۵

# فهرست جدول ها

**عنوان** **صفحه**

جدول(۲-۱) معادل مسائل کلاسیک در مسائل مکانیابی مرکز ۱۱
جدول(۳-۱) تفاوت هزینه ها در دو شبکه نقطه به نقطه و مرکز و انشعاب ۳۵
جدول(۴-۱) تفکیک مقالات بررسی شده ۴۶

# فصل اول

# کلیات موضوع

## ۱-۱- مقدمه

در این فصل قصد داریم هدف از انتخاب موضوع و همچنین اهمیت موضوع سیستم های حمل و نقل هوایی با محدودیت ظرفیت را عنوان کنیم. دلیل اهمیت زیاد این صنعت از آن جهت است که گسترش روز افزون توسعه صنعت حمل و نقل هوایی در دهه اخیر در جهان، به عنوان یکی از مهمترین مراکز توسعه و رشد کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه مطرح شده و از جایگاه ویژه ای در برنامه های توسعه اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و تکنولوژیکی کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه برخوردار است. انگیزه پرداختن به این موضوع نیز همین امر است. برای معرفی کلی سیستم های حمل و نقل و به طور خاص حمل و نقل هوایی باید ابتدا با مفاهیم این سیستم ها و تاریخچه آن آشنا شویم و سپس به بیان مسائل موجود بپردازیم. در این فصل همچنین مروری کلی بر ادبیات موضوع خواهیم داشت.

## ۱-۲- هدف از سمینار

بی شک برنامه ریزی در زمینه صنعت حمل ونقل و بطور خاص حمل ونقل هوایی یکی از مسائل موجود در برنامه ریزی و مدیریت مسائل کشور می باشد. از زمینه هایی که در این صنعت جای کار دارد مسائل طراحی سیستم های حمل و نقل هوایی با در نظر گرفتنِ محدودیت های مختلف می باشد. در این گزارش ما سعی داریم بیشتر مقالات و پروژه هایی را که به این زمینه پرداخته اند را مورد بررسی قرار داده، آنها را با معیارهای مختلف دسته بندی کرده و نهایتاً به پیشنهاداتی در این زمینه بپردازیم.

## ۱-۳- توضیح موضوع سمینار (بیان مساله)

صنعت حمل ونقل هوایی، به خاطر تأثیر زیاد بر توسعه اقتصادی و سطح رفاه جوامع، نسبت به سایر روش های حمل و نقلی اهمیت ویژه ای دارد. شبکه پروازی یکی از اساسی ترین اجزای بازار حمل ونقل هوایی است که تأثیر چشم گیری بر درامد شرکتهای هواپیمایی دارد. سیستم های حمل و نقل هوایی به طراحی شبکه های مختلف بر اساس ویژگی های خاص خود نیاز دارند. همچنین محدودیت ظرفیت یک عامل بسیار مهم در طراحی سیستم های حمل و نقل است و بسیاری از فرودگاه های بزرگ با کمبود جدی در منابع فرودگاه، مانند گیت ها، فضای ترمینال، و اسلات برخاست/ فرود روبرو هستند.

برای توضیح موضوع سمینار باید چند مبحث را مد نظر قرار دهیم؛ یکی از اصلی ترین مفاهیم انواع شبکه‌های موجود در زمینه طراحی سیستم های حمل و نقل هوایی و ساختار ها و ویژگی ها، موارد استفاده و کاربردهایشان است، مبحث دیگر افزوده شدن محدودیت های مختلف به این مسائل در دنیای واقعی است و همچنین در نظر گرفتن تمام این مسائل با سیاست طراحی سیستم مورد نظر.

برای درک، شناخت و کاربرد این مسائل باید با مفاهیم اساسی که در فصل های پیش رو توضیح داده خواهد شد، آشنا باشیم؛ ازجمله:

۱. انواع سیستم های حمل و نقل هوایی، مفاهیم اصولی و کاربردی، مزیت ها و عیوب، تفاوت ها، نحوه کار کرد و موارد استفاده شان
۲. محدودیت های کاربردی و انواع مختلف آنها در مسائل کاربردی دنیای واقعی

سیستم ها ممکن است برای اهداف مختلف و با توجه به کارکردهای مختلف طراحی شوند؛ و ساختارهای مختلف هر سیستم نیاز به منابع متفاوتی دارد؛ که هدف این پژوهش پرداختن به ابعاد مختلف مباحث پیش گفته می باشد.

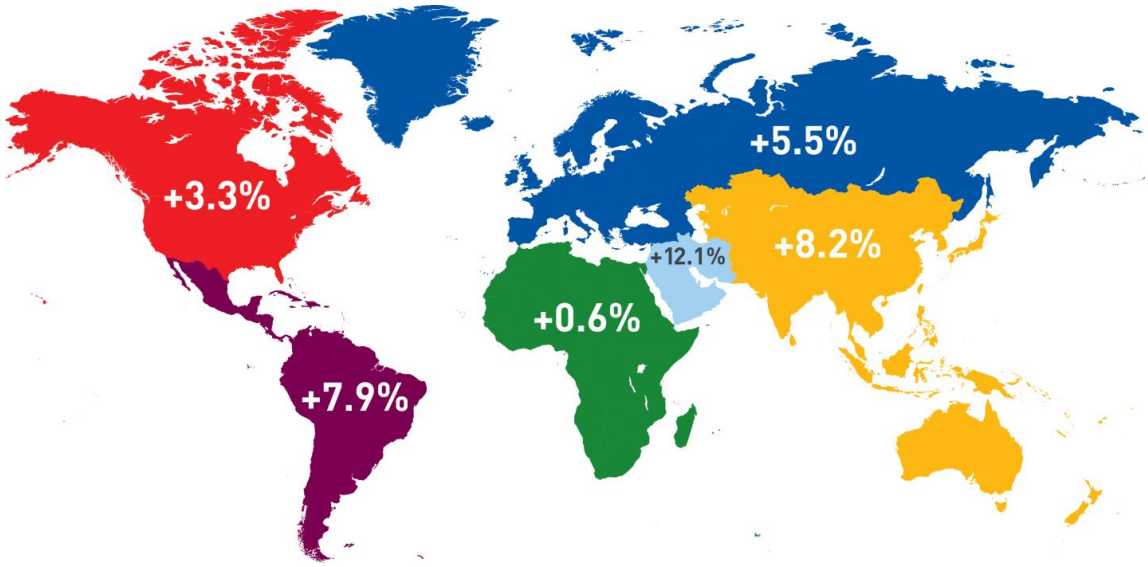
## ۱-۴- توجیه، انگیزه و علت انتخاب موضوع

سیستم های حمل و نقل هوایی مدرن شبکه های اطلاعاتی- فیزیکی پیچیده ای هستند که برای سفر و تجارت جهانی حیاتی هستند. همانطور که تقاضا برای حمل و نقل هوایی رشد کرده است، در مقابل تراکم، تاخیر در پرواز، و اثرات زیست محیطی به وجود آمده است. با رشد بیشتر تقاضای مورد انتظار، ما به تکنیک های کنترلی جدید، و حتی شاید طراحی مجدد برخی از قسمت های سیستم نیاز باشد، تا از تاخیر های فراوان و آلودگی بیش از حد جلوگیری کنیم.

## ۱-۵- اهمیت موضوع

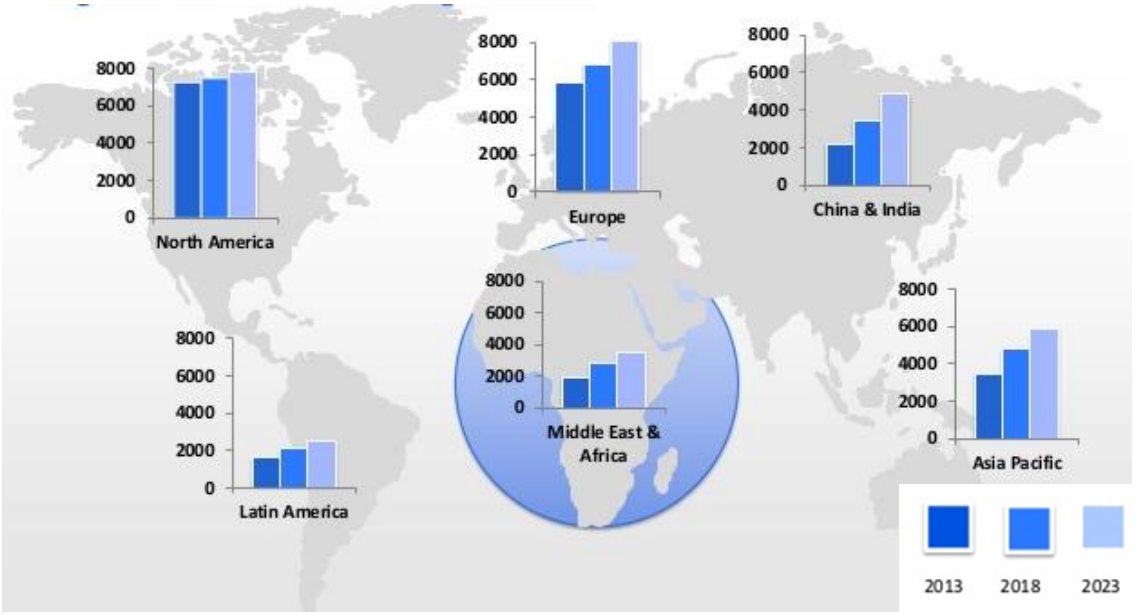
آماری که سازمان بین المللی هواپیمایی غیرنظامی[۱] در سال ۲۰۱۵ منتشر کرد نشان می دهد که تعداد کل مسافران هوایی در این سال ۶/۴ درصد در جهان افزایش یافته است، و نرخ رشد ترافیک در سال ۲۰۱۵ در شکل زیر به تفکیک قاره ها قابل مشاهده است.

[۱] ICAO




**شکل(۱-۱) نرخ رشد ترافیک در سال ۲۰۱۵**

همچنین روند صعودی تعداد سفرهای هوایی برای سالهای ۲۰۱۸ و ۲۰۲۳ چنین پیش بینی می شود:




**شکل(۱-۲) تعداد سفرهای هوایی برای سالهای ۲۰۱۸ و ۲۰۲۳**

در حمل و نقل هوایی، یکی از نگرانی های عمده خطوط هوایی ظرفیت فرودگاه برای مدیریت هواپیماها و مسافران از نظر هوایی و زمینی است. تراکم ترافیکی فرودگاه در فضای هوایی و یا تسهیلات زمینی برای مدیریت و خدمتدهی هواپیما منجر به تاخیرهای پر هزینه می شود. در ایالات متحده، قدمت کمبود

جدی منابع فرودگاهی مانند گیت ها (درب های ورود و خروج)، فضای ترمینال و به ویژه اسلات های برخاست و فرود (به عنوان حق استفاده از حریم هوایی یک فرودگاه برای یک برخاست یا فرود در طول یک ساعت خاص از روز تعریف شده است) به سال ۱۹۶۰ باز میگردد. در سال ۱۹۶۸برای اولین بار یک سیستم سهمیه بندی برای تعداد فرود و برخاست های هواپیماها در چهار فرودگاه بزرگ (شیکاگو، نیویورک، لاگاردیا و واشنگتن) توسط اداره هوانوردی فدرال[۲] تحمیل و اجرایی شد. همچنین انتظار می رود مساله ظرفیت فرودگاه، در سال های آینده فرودگاه های بیشتری را تحت تاثیر قرار دهد. از طرفی چون تعیین ظرفیت فرودگاه پیچیده است و بستگی به عوامل بسیاری دارد در مطالعات گذشته توجه کمتری به آن شده است.

تقریباً هر عاملی در سیستم حمل و نقل هوایی محدود به ظرفیت است و تنها تعیین مسیر هر هواپیما (یعنی زمان حرکت، مسیر، سرعت، راه عزیمت به همراه بخش های مختلف مسیرشان، و غیره برای هر پرواز) کافی نیست، بلکه به برآوردن محدودیت های ظرفیت و دیگر محدودیت های عملیاتی نیز نیاز داریم.

## ۱-۶- مرور کلی بر ادبیات موضوع

مسئله مکان یابی مرکز دارای قدمت کوتاهی است. اولین مقاله انتشاریافته در این زمینه توسط حکیمی[۳] در سال ۱۹۶۴ است. ولی مدت زیادی طول کشید تا مسئله تحت عنوان مکانیابی مرکز شناخته شود. سپس مدل های مرکز در سال ۱۹۸۷ توسط اوکلی[۴] گسترش یافت. او نقش مهمی در گسترش اولیه به

[۲] FAA
[۳] Hakimi
[۴] O'Kelly

خصوص در مدل سازی ایفا کرد. در ادامه کمپبل[۵] نقش کلیدی در تکمیل مدل های مختلف مرکز ایفا کرد. مقاله سال ۱۹۹۴ او و همکارانش یکی از مهم ترین مقالات در زمینه انواع مدل های مرکز است. در کنار افراد فوق الذکر کیلینویچ[۶] و آیکین[۷] نیز نقش قابل توجهی داشته اند.

آیکین در سال ۱۹۹۶ اولین فردی بود که استفاده از آستانه کمان ها را برای بهبود مسائل مکانیابی مرکز ارائه کرد. برایان[۸]، در سال ۱۹۹۸ دیدگاه آستانه ای پیشنهاد داد که در آن برای کمان هایی که وارد مراکز می شدند حداقل آستانه تعریف شده بود.

## ۱-۷- جنبه های جدید بودن موضوع

برنامه ریزی در زمینه صنعت حمل ونقل و بطور خاص حمل ونقل هوایی یکی از مسائل موجود در برنامه ریزی و مدیریت مسائل کشور و خصوصا کشورهای در حال توسعه از جمله ایران می باشد، اما در کشور ما کمتر از جنبه ای کاربردی به این مساله پرداخته شده است. همچنین باید در نظر گرفت که انتظار می‌رود مساله ظرفیت فرودگاه، در سال های آینده فرودگاه های بیشتری را تحت تاثیر قرار دهد. از طرفی در سال های گذشته در مطالعات انجام شده توجه کمتری به این مساله شده است و در داخل کشور هنوز این موضوع مورد توجه قرار نگرفته است. محدودیت های مختلفی در زمینه ظرفیت منابع تسهیلات حمل و نقل هوایی وجود دارد که حتی تاکنون هیچ مطالعه و مقاله ای به برخی از آنها نپرداخته است و یا بسیار مختصر پرداخته اند، از جمله: ظرفیت حریم های هوایی یک ناحیه، حداقل و حداکثر زمان حمل و نقل بر

[۵] Campbell
[۶] Klincewicz
[۷] Aykin
[۸] Bryan

روی پیوندهای حریم هوایی، حداکثر تاخیر زمینی و هوایی که می تواند توسط یک پرواز اتفاق بیافتد، حداقل زمان حرکت بین پروازهای متوالی برای یک هواپیما و هر گونه محدودیت مسیر.

## ۱-۸- کاربردها و کاربران موضوع سمینار

طراحی سیستم حمل و نقل هوایی با محدودیت ظرفیت از مباحثی است که در برنامه ریزی کلان یک کشور همواره مورد توجه قرار می گیرد، بنابراین کاربران این موضوع می توانند سازمان های مرتبط با برنامه ریزی های کلان کشوری، مانند سازمان جهانی هواپیمایی کشوری، سازمان خدمات ناوبری هوانوردی کشوری، سازمان خدمات ناوبری هوانوردی کشوری و غیره باشند. اساتید، دانشجویان و پژوهشگران علاقه مند به این موضوع نیز می توانند از نتایج این سمینار استفاده کنند.

## ۱-۹- جمع بندی

صنعت حمل ونقل هوایی، تأثیر زیادی بر توسعه اقتصادی و سطح رفاه جوامع، نسبت به سایر روش های حمل و نقلی دارد. شبکه پروازی یکی از اساسی ترین اجزای بازار حمل ونقل هوایی است که تأثیر چشم گیری بر درآمد شرکتهای هواپیمایی دارد که در این میان طراحی سیستم حمل و نقل هوایی با درنظرگرفتن محدودیت ظرفیت و نزدیک شدن هر چه بیشتر به محدودیت های موجود در سیستم حملو نقل واقعی می تواند راهی مطمئن برای شناخت وضع موجود و همچنین برنامه ریزی های آینده باشد.

# فصل دوم

# مسائل مکانیابی مرکز

## ۲-۱- مقدمه

مسائل مکانیابی مرکز[1]، به دلیل کاربرد بسیاری که در حمل و نقل مدرن و سیستم های ارتباطی دارند، در دو دهه اخیر از اهمیت به سزایی برخوردار شده اند.

برای بررسی جایگاه این نوع مکانیابی به کتاب فرانسیس مراجعه شده است. فرانسیس در سال ۱۹۷۴، مسائل مکانیابی مرکز را از شش منظر مورد بررسی قرار داده و طبق آن، برای مسائل مکانیابی، طبقه بندی ارائه داده است. این شش منظر عبارتند از :

۱.ویژگی های تسهیلات جدید

۲. مکان های تسهیلات موجود

۳. تعاملات تسهیلات جدید و موجود

۴. ویژگی های فضای حل

۵. مسافت مورد استفاده

۶. هدف

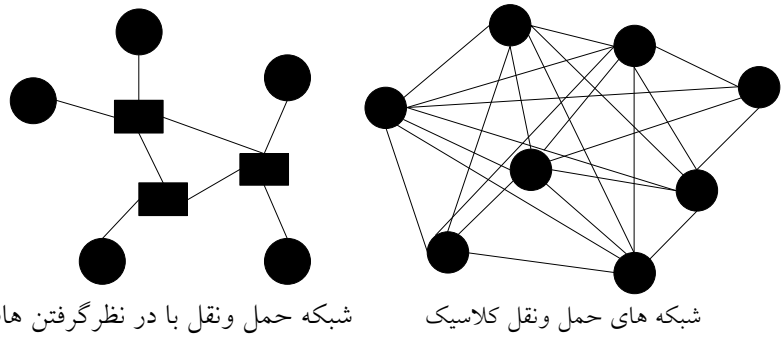
مسائل مکانیابی مرکز، جزء مسائل کلاسیک در مکانیابی نمی باشند. در حقیقت، این مسائل زیر مجموعه ای از مسائل بهینه سازی شبکه ای هستند. به همین دلیل و با توجه به کاربرد آن در عمل، برای هر یک از مدل هایی که در حالت کلاسیک گسسته مکانیابی وجود دارد، مدل های مکانیابی مرکز هم ارائه شده است. این مدل ها در جدول ۲-۱ آورده شده اند.

[1] Hub Location

**جدول(۲-۱) معادل مسائل کلاسیک در مسائل مکانیابی مرکز**

| مسائل مکانیابی کلاسیک | مسائل مکانیابی مرکز |
|---|---|
| p-median problem | p-hub median problem |
| p-center problem | p-hub center problem |
| Uncapacitated facility location problem | Uncapacitated hub location problem |
| Covering problem | Hub covering problem |

فرق اساسی مسائل مکانیابی مرکز با مسائل استاندارد مکانیابی تسهیلات، وجود جریان همراه با تخفیف در میان مراکز مطرح می شوند و در این نقاط ، جریان دوباره جهت دهی می شود.




**شکل(۲-۱) ساختار شبکه حمل ونقل با درنظرگرفتن مرکز در مقایسه با شبکه های کلاسیک**

مراکز به عنوان نقاط ارتباطی یا به صورت متمرکز یا ترکیبی عمل می کنند. به عبارت دیگر، جریان بزرگ ورودی را به اجزا کوچک تقسیم کرده و به مقاصد می فرستد و یا برعکس.

در این نوع مسائل به تعیین محل تسهیلات مرکز از میان گره های موجود و تخصیص گره های باقی مانده به مراکز پرداخته می شود. تخصیص به گونه ای صورت می گیرد که میان هر جفت مبدا و مقصد، مسیری وجود داشته باشد.

در برخی مقاله ها، فقط به جنبه تخصیص مساله پرداخته شده است. اما چون تخصیص بهینه از مکان مراکز تاثیر می پذیرد و مکان بهینه مراکز از تصمیمات تخصیص تاثیر می گیرد، مسائل مکانیابی و تخصیص در طراحی شبکه های مرکز، باید با هم مورد ملاحظه قرار بگیرند.

علوم مربوط به مسائل مکانیابی مرکز، عبارتند از: علم مکانیابی، جغرافیا، تحقیق در عملیات، حمل و نقل، ارتباطات، علوم کامپیوتری و شبکه ها.

همان گونه که از کارهای انجام شده در این حوزه مشخص است، کاربرد اینگونه از مسائل در عمل بسیار زیاد است و از جنبه های گوناگون می توان به این مسائل توجه کرد.

## ۲-۲- معرفی مدلهای مکانیابی مرکز

مساله های مکانیابی بر اساس تابع هدف شان، به چهار دسته مساله های p مرکز میانه[۲]، مساله مکانیابی مرکز با هزینه ثابت[۳]، مکانیابی p مرکز مرکزی[۴] و مساله های مرکز پوششی[۵] تقسیم بندی می شوند. تقسیم بندی های دیگری نیز بر اساس ساختار شبکه های مرکز وجود دارد. گاهی این تقسیم بندی بر اساس تخصیص نقاط غیر مرکز به نقاط مرکز است، که در فصل سوم به آن اشاره می شود.

[۲] p-hub median
[۳] Hub location with fixed cost
[۴] P-hub center
[۵] Hub covering

### ۲-۲-۱- مساله مکانیابی p مرکز میانه

مساله مکانیابی p مرکز میانه یکی از مسائل مهم و مطرح در زمینه مسائل مکانیابی مرکز است. در این مساله تعداد مراکزی که باید افتتاح شود در مساله داده شده است که این تعداد p تا است. در کل n گره در شبکه وجود داردکه جریان میان هر زوج گره داده شده است. هدف تعیین مکان مراکز است و تعیین مسیر برای هر زوج گره مبدا و مقصد از طریق مراکز به نحوی است که هزینه حمل و نقل کمینه شود.

### ۲-۲-۲- مساله مکانیابی مرکز با هزینه ثابت

در مساله مکانیابی مرکز با هزینه ثابت، تعداد مراکز به عنوان متغییر تصمیم در نظر گرفته می شود و برای افتتاح یک مرکز هزینه های ثابت وجود دارد. هدف تعیین تعداد و مکان مراکز و تخصیص نقاط غیر مرکز به مراکز است به طوری که مجموع هزینه های ثابت و هزینه های حمل و نقل کمینه سازی شود.

### ۲-۲-۳- مساله p مرکز مرکزی

مساله p مرکز مرکزی، شبیه به مساله p مرکز در مسائل مکانیابی کلاسیک است که به دنبال کمینه سازی اثرات بدترین حالت است. در این مساله n گره در شبکه و تقاضای بین هر زوج از مبدا و مقصد و تعداد مراکز داده شده است. هدف مکانیابی مراکز و تخصیص نقاط باقی مانده به این مراکز است به طوری که بیشینه مسیر یا هزینه بیشینه، کمینه شود.

### ۲-۲-۴- مساله مرکز پوششی

در مساله مرکز پوششی، n گره و جریان بین آن ها داده شده است و هدف یافتن کمترین تعداد مرکز به نحوی است که هزینه تاسیس آن ها به شرط سرویس دهی به تمامی کاربران کمینه شود. به عبارت دیگر در مساله مرکز پوششی هدف تعیین تعداد و مکان مراکز و تخصیص نقاط غیر مرکز به مراکز است، به طوری که تمام تقاضاها پوشش داده شوند و مجموع هزینه ها کمینه شوند.

### ۲-۲-۵- مسایل مکان یابی مرکز با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت

در این نوع مسایل مکان یابی ، ظرفیت های تسهیلات مرکز، جریان های درون شبکه را محدود می کنند. در حقیقت، جریان های ورودی وخروجی برای هر مرکز باید کوچکتر یا مساوی ظرفیت آن مرکز باشد.

### ۲-۲-۶- مسایل مکان یابی مرکز پیوسته

در این نوع مسایل مکان یابی ، فضای جواب یک شبکه یا یک تعداد خاصی از نقاط روی گراف نمی‌باشد بلکه یک صفحه یا محیط ان است.

### ۲-۲-۷- مسایل مکان یابی مرکز چند هدفه

در این نوع مسایل مکان یابی، چند هدف بیان می شود که اولین هدف کل هزینه جریان حمل ونقل را حداقل می کند و هدف دیگر، بیشترین زمانی را که یک مرکز برای پردازش جریان انجام می دهد حداقل می کند (مثلا بیشترین زمان سرویس در مرکز ها را حداقل می کند).

### ۲-۲-۸- مسایل مکان یابی مرکز با ساختار شبکه ستاره

در این مساله یک مرکز مرکزی با یک مجموعه نقاط می باشد که تلاش می کنیم p مرکز انتخاب کنیم که بصورت مستقیم به مرکز مرکزی ارتباط برقرار کنند. هر نقطه تقاضا باید به یک مرکز متصل باشد. در نتیجه آن ساختار شبکه بصورت یه ستاره یا شبکه ستاره ای می شود.

## ۲-۳- اهمیت مسائل مکانیابی مرکز

طراحی شبکه در بسیاری از مسائل حمل و نقل و ارتباطات موضوع مهم و اصلی است، زیرا تاثیر زیادی بر روی کارایی و هزینه اقتصادی نهایی سرویس دارد. در مواردی ارتباط مستقیم میان گره های غیر مرکز بسیار گران است و بهتر است کالاها از گره های دیگری که مرکز نامیده می شوند، حرکت کنند.

به همین دلیل به جای استفاده از اتصالات مستقیم مبدا به مقصد، اتصالات غیر مستقیم (اتصال به مرکز) به کار گرفته می شود. به این ترتیب می توان از صرفه جویی به مقیاس استفاده نمود. در چنین مواردی، هدف از تشکیل شبکه، دادن اجازه حرکت به جریان کالاها از میان گره های غیر مرکز توسط گره های مرکز است. در عمل، صرفه جویی به مقیاس به این معنا است که در شبکه هوایی می توان از هواپیماهای بزرگتر و کاراتر در خطوط وصل کننده مرکزها استفاده کرد و در مورد شبکه های ارتباطی نیز، استفاده از فیبرهای نوری با ظرفیت بالاتر برای ارتباط برقرار کردن میان جفت مرکزها مد نظر قرار می گیرد.

## ۲-۴- کاربرد مسائل مکانیابی مرکز

کاربرد این مسائل در واقعیت، در سه زمینه کلی زیر است:

- تغییر جهت و مسیر

مانند: سیستم های کامپیوتری، توزیع نیرو، شبکه های تلفنی و تله کنفرانس های ویدئویی

- حمل ونقل

مانند: مسافربری های هوایی، کشتی های باری و حمل و نقل ویژه و سریع(تحویل های شبانه روزی)

تقاضا در این نوع کاربرد، معمولا جریان کالا یا مسافر بین هر جفت شهر است.

- مراکز مرتب کردن

مانند: مراکز پستی

شناخت کلی مساله مکانیابی مرکز

داده ها در این مسائل عبارتند از:

۱. گراف کاملی با V گره و E کمان
۲. وزن یا تناوب انتقال میان گره های i و j که با $W_{ij}$ نمایش داده می شود (تقاضاها)
۳. فواصل میان گره های i و j که با $d_{ij}$ نمایش داده می شود
۴. هزینه انتقال کالا یا مسافر یا اطلاعات بر روی کمان ها
۵. فاکتورهای تخفیف

هر مسیر مبدا -مقصد از ۳ قسمت تشکیل می شود:

- مسیری از مبدا به اولین مرکز
- مسیری از اولین مرکز به آخرین مرکز
- از آخرین مرکز به مقصد

البته مسیر دوم در صورتی که هر دو گره مبدا و مقصد به یک مرکزمتصل باشند، مقدار جریان صفر خواهد داشت. بنابراین شبکه از دو سطح تشکیل می شود:

سطح دسترسی: شامل کمان های ارتباط دهنده مبدا و مقصد های غیرمرکز به مرکزها

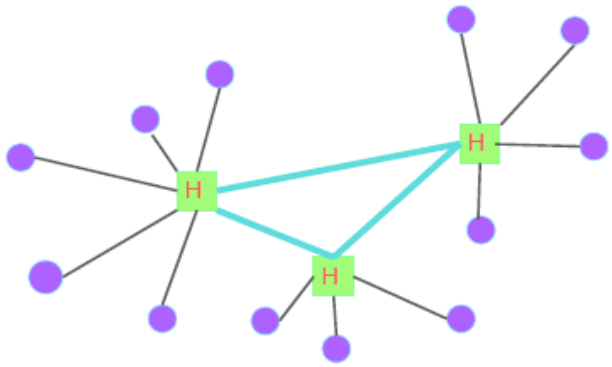
سطح مرکز: شامل کمان های اتصال دهنده مرکزها به یکدیگر

کمان ها با توجه به این که چه جفتی از گره ها را به هم متصل کنند، دارای تخفیفات متفاوتی خواهند بود .در صورتی که از فاکتورهای تخفیف ۳ گانه استفاده شود، آن ها را به صورت زیر در نظر می گیرند:

فاکتور تخفیف برای کمان های مبدا به مرکز، فاکتور تخفیف برای کمان های مرکز به مرکز، فاکتور تخفیف برای کمان های مرکزبه مقصد.

معمولا تعداد مرکزها، p تا در نظر گرفته می شود. در مسائل ساده، فقط فاکتور $\alpha$ در نظر گرفته می شود.

آنچه که در مسائل مکانیابی مرکز به دنبال یافتن آن هستیم، انتخاب گره های مرکز از میان گره های موجود (در برخی موارد تعداد مناسب مراکز) و تخصیص گره های باقیمانده به گره های مرکز است. نقاط بهینه نقاطی هستند که کمترین هزینه را در پی داشته باشند. شکل شماتیکی از مسئله مکانیابی مرکز، در شکل ۲-۱ به تصویر کشیده شده است.




**شکل(۲-۲) شبکه شماتیکی از مسائل مکانیابی مرکز**

فرق اساسی مسائل مکانیابی مرکز با مسائل استاندارد مکانیابی تسهیلات، وجود جریان همراه با تخفیف در میان مراکز است. مراکز به عنوان نقاط ارتباطی مطرح می شوند و در این نقاط، جریان دوباره جهت دهی می شود.

به صورت متمرکز یا ترکیبی عمل می کنند. به عبارت دیگر، جریان بزرگ ورودی را به اجزا کوچک تقسیم کرده و به مقاصد می فرستد و یا برعکس. در این نوع مسائل به تعیین محل تسهیلات مرکز از میان گره های موجود و تخصیص گره های باقی مانده به مراکز پرداخته می شود. تخصیص به گونه ای صورت می گیرد که میان هر جفت مبدا و مقصد، مسیری وجود داشته باشد. در برخی مقاله ها، فقط به جنبه تخصیص مساله پرداخته شده است. اما چون تخصیص بهینه از مکان مراکز تاثیر می پذیرد و مکان بهینه مراکز از تصمیمات تخصیص تاثیر می گیرد، مسائل مکانیابی و تخصیص در طراحی شبکه های مرکز، باید با هم مورد ملاحظه قرار بگیرند.

معمولا در مطالعات انجام شده در این حوزه، ۳ فرض لحاظ می شود:

- شبکه اتصال مراکز به هم، یک شبکه کامل است.
- صرفه جویی به مقیاس با تخصیص فاکتور تخفیف $\alpha$ به اتصال میان مراکز، در نظر گرفته می‌شود.
- هیچ ارتباط مستقیمی بین گره های غیر مرکز وجود ندارد.

در صورتی که خلاف این فرض ها در نظر گرفته شود، باید به آن اشاره کرد.

ساده ترین مدل در این گونه مسائل، مساله مکانیابی تک مرکز[۶] است.

فرضیات این مدل عبارتند از:

[۶] Single hub Location model

- فضای حل گسسته و محدود است.
- تنها یک گره مرکز وجود دارد.
- تمامی گره ها به گره مرکز متصل هستند و هر گره غیر مرکز تنها از طریق گره مرکز به گره غیر مرکز دیگر متصل است.
- مدل برونزا است، یعنی تعداد گره مرکز از قبل مشخص است. (تک مرکز)
- هزینه استقرار برای گره مرکز در نظر گرفته نمی شود.
- ظرفیت گره مرکز، نامحدود است.
- تمامی متغیرهای تصمیم، از نوع صفر ویک هستند. به عبارتی تعیین گره مرکز از میان گره های موجود مد نظر است و مرحله تخصیص کاملا واضح است.

## ۲-۵- طبقه بندی مسائل مکانیابی مرکز

حالت های پایه مسائل مکانیابی مرکز توسط هاماخر[۷] و نیکل[۸] در سال ۱۹۹۸ طبقه بندی شده اند. در این طبقه بندی، مسائل مکانیابی از ۵ منظرمورد بررسی قرار گرفته اند. در ذیل، به این ۵ منظر اشاره می‌شود.

۱) منظر یا جایگاه اول مربوط به نوع مساله است. در این قسمت معمولا کلمه مرکز[۹] نوشته شده و اگر تعداد مراکز مشخص باشد، حرف p هم نوشته می شود.

۲) در این جایگاه نوع مسائل مرکز از لحاظ گسسته یا پیوسته بودن لحاظ می گردد. معمولا حرف D در این بخش قرار می گیرد، که به معنای گسسته بودن مساله است. اگر چه در

[۷] Hamacher

[۸] Nickel

[۹] hub

برخی مطالعات انجام شده، مکان قرارگیری مراکز به زیر مجموعه ای از گره ها محدود می شود.

۳) در این قسمت، محدودیت ها و در صورت وجود، متغیرهای اضافه لحاظ می گردند. سه عبارت رایج در این بخش عبارتند از :

- MA
- SA
- Cap

۴) ارتباط میان تسهیلات جدید و موجود.

۵) نوع تابع هدف. معمولا از عبارات $\sum flow$ و $\sum hub$ استفاده می شود. $\sum flow$ به معنای این است که مینیمم کردن هزینه جریان میان کل گره ها هدف است. $\sum hub$ تابع حداقل کردن کردن هزینه ثابت احداث مراکز را به عنوان هدف نشان می دهد.

## ۲-۶- اصطلاحات رایج

برای توضیح و بسط بیشتر انواع مسائل مکانیابی مرکز، بررسی سه بخش اساسی در این مسائل، الزامی است. این سه بخش عبارتند از: اهداف، عناصر شبکه و محدودیت ها. در ذیل، به بررسی تفضیلی این بخش ها پرداخته می شود.

### ۲-۶-۱- اهداف

اهداف در مسائل مکانیابی مرکز، معمولا از جنس هزینه می باشند. در این صورت، کاهش هزینه مد نظر است. در مسائل مکانیابی مرکز با کاربرد حمل ونقل، بر روی هزینه های حمل و نقل وابسته به

جریان تمرکز می شود. در برخی از مقالات با توجه به کاربردهای موجود، جنس هزینه و یا نوع بهینه سازی متفاوت است. مواردی از این نوع توابع هدف در ذیل ذکر می شود:

هزینه به صورت کاهش زمان سفر (مینیمم کردن ماکزیمم مسافت یا هزینه)

افزایش میزان پوشش

افزایش تقاضا در مسائل رقابتی

کاهش تراکم

کاهش هزینه ثابت برای احداث کمان ها

لحاظ کردن هزینه متغیر با مقدار جریان

## ۲-۶-۲- عناصر شبکه

در هر شبکه، عناصر زیر مورد توجه واقع می شوند: گره ها، جریان میان نقاط مبدا و مقصد، کمان ها، ساختار شبکه.

گره ها:

در رابطه با گره ها، این امکان وجود دارد که مراکز فقط وظیفه تغییر جهت یا مرتب کردن را داشته باشند و ترکیب یا تجزیه جریان ها، جزء کار آن ها در نظر گرفته نشود. تنوع دیگری که در مسائل مکانیابی مرکز توسط نوع گره ها ایجاد می شود، مربوط به مسائل مرکز اصلی[۱۰] و مرکز کوچک[۱۱] شده است که برخی نویسندگان مطرح نموده اند. در این راستا مراکز کوچک شده وظیفه خدمت دهی در

[۱۰] major-hub
[۱۱] mini-hub

یک ناحیه خاص را به عهده دارند، در حالی که مراکز اصلی برای سرویس دهی میان نواحی مختلف انتخاب شده اند.

جریان میان نقاط مبدا و مقصد:

در حالت کلی، جریان میان نقاط، قطعی هستند. اگر فضای مساله رقابتی باشد، جریان میان نقاط مبدا و مقصد غیرقطعی خواهد بود.

کمان ها:

به طور معمول تعداد کمان ها را محدود و مشخص نمی کنند. در حالت کلی، شبکه میان مراکز، شبکه کامل در نظر گرفته می شود.

ساختار شبکه:

ساختاری که در مسائل پایه مکانیابی مرکز مورد بررسی قرار می گیرد، ساختار ستاره ای است. ساختارهای دیگری از جمله ساختار درختی هم می تواند وجود داشته باشد. این ساختار مدل سلسله مراتبی[۱۲] نامیده می شود. نوع دیگر ساختار، ساختار چرخه ای[۱۳] است. این نوع ساختار بیشتر در مسائل مکانیابی مرکز با کاربرد ارتباطی مورد نظر قرار می گیرد و در مسائلی با کاربرد حمل و نقل توجه کمتری به آن ها شده است.

## ۲-۶-۳- محدودیت ها

با توجه به کاربردی بودن مسائل، می توان محدودیت های خاصی را به مسائل استاندارد مکانیابی مرکز، اضافه نمود. محدودیت ها می توانند به ظرفیت گره ها، ظرفیت کمان ها، آستانه کمان ها و

[۱۲] hierarchical model

[۱۳] ring(cycle)

محدودیت های عملکردی دیگر مربوط باشند. کاربرد و مثال مربوط به هر یک از این محدودیت ها در زیر بیان شده است.

ظرفیت گره ها:

دو نوع ظرفیت در مورد گره های مرکز وجود دارد:

۱. در خطوط هوایی که ظرفیت توسط خط هوایی و اندازه پایانه تعیین می شود، باید تمام ترافیک را محدود نمود.

۲. در کاربرد پست، ظرفیت هر منطقه برای مرتب کردن بسته های پستی محدود است، بنابراین فقط باید کل ورودی ها به مراکز محدود شود. در عمل، این تفاوت تاثیر کمی بر روی تکنیک های حل دارد.

مسائلی که دارای محدودیت هستند، ممکن است خاصیت عجیبی داشته باشند که در آن جریان از گره مرکز به خودش از یک مرکز دیگر مسیریابی شود، مگر اینکه این ممنوعیت لحاظ شود. (ابری[۱۴] و دیگران در سال ۲۰۰۰ این موضوع را نشان دادند)

در بسیاری از کارهای انجام شده، معمولا وقتی محدودیت ها وارد مساله می شوند، تعداد مراکز مشخص نیست و تعداد آن ها با حل مساله مشخص می شود. آیکین در سال ۱۹۹۴ برخلاف اکثر کارهای انجام شده، تعداد مراکز را به p تا محدود کرد. در حالی که ظرفیت ورودی مراکز را محدود کرده بود.

ظرفیت کمان ها:

[۱۴] Ebery

ظرفیت بر روی کمان های میان مراکز توسط برایان در سال ۱۹۹۸ پیشنهاد شد. او در این مقاله، به جستجوی ارتباط میان ظرفیت ها و تابع هزینه خطی قطعه قطعه شده برای کمان های میان مراکز که توسط برایان و اوکلی در سال ۱۹۹۸برای مجموعه مشخصی از گره های مرکز ارائه شده بود، پرداخت. به طور کلی نتیجه گرفت که وقتی مجموعه گره های مرکز مشخص شده است، تاثیر اعمال ظرفیت ها، کم است.

آستانه کمان ها:

در مسائل مکانیابی مرکز، به طور کلی، به حجم عبوری از کمان به عنوان حل بهینه توجه می شود. در این مسائل توجهی به مقدار این حجم به منظور تخفیف و ... نمی شود. آیکین در سال ۱۹۹۶ اولین فردی بود که استفاده از آستانه کمان ها را برای بهبود مسائل مکانیابی مرکز ارائه کرد. او آستانه های مختلفی براساس مقدار جریان ورودی به یک مرکز یا کل جریان های مرتبط به مرکز را پیشنهاد داد. این امکان وجود دارد که جریان هایی که بر روی کمان های شبکه دسترسی برقرار می شوند به طور غیرواقعی دارای حجم های پایین، مخصوصا در مسائل با تخصیص چندگانه، باشند. برای جلوگیری از این کار کمپبل در سال ۱۹۹۴ مدل هایی با آستانه جریان بر روی گره ها ارائه داد.

برایان، در سال ۱۹۹۸ دیدگاه آستانه ای پیشنهاد داد که در آن برای کمان هایی که وارد مراکز میشدند حداقل آستانه تعریف شده بود. اگر آن ها دارای جریانی کمتر از حداقل مقدار جریان داده شده بودند، عملا حذف می شدند.

اضافه کردن محدودیت آستانه، ما را مطمئن می سازد که تنها تعداد کمی از مراکز انتخاب خواهند شد. عیب این روش، تاثیرگذاری محدودیت آستانه بر روی حل بخش تخصیص مساله است. آن چنان که تمام جریان ها از کوتاهترین مسیر مربوطه در شبکه عبور نخواهند کرد.

بحث و بررسی بیشتر بر روی دیدگاه آستانه گذاری، به وسیله پوندر[۱۵] و همکاران در سال ۱۹۹۹ انجام شده است که در آن به بررسی کاهش یا افزایش هزینه واحد جریان براساس عبور از مقدار آستانه جریان یا عدم عبور از آن می پردازد.

محدودیت های عملکردی دیگر:

ممکن است محدودیت های عملکردی به مساله اضافه شود تا از کارایی جواب در زمینه پاسخگویی به ترافیک به وجود آمده در شبکه، اطمینان حاصل کرد. این محدودیت ها معمولا در مسائل مرتبط با خطوط ارتباطی کاربرد دارند که می توانند شامل: محدودیت بر روی درصد مکالمات متوقف شده به علت ظرفیت ناکافی، محدودیت بر روی زمان یا طول صف یا تاخیر و ... شوند.

در زمینه حمل ونقل، با رویکرد محدودیت طول صف انتظار، می توان به مقاله سرا[۱۶] و ماریانو[۱۷] در سال ۲۰۰۰ اشاره کرد. آن ها در این مقاله، به بررسی وجود محدودیت طول صف هواپیماهای در انتظار برای گذرگاه در یک مرکز، پرداخته اند.

دیگر محدودیت های عملیاتی می توانند شامل موارد زیر باشند که تا کنون در مقالات کمی بررسی شده اند و یا بررسی نشده اند:

۱. محدودیت های ظرفیت حریم هوایی یک ناحیه: این محدودیت ها تعداد هواپیما هایی که می توانند در یک ناحیه از حریم هوایی در هر زمان باشند را محدود می کنند. مقادیر واقعی به اندازه و هندسه ناحیه، و همچنین حجم کنترلی ترافیک هوایی بستگی دارد.

۲. محدودیت های ظرفیت فرودگاه: این محدودیت توان عملیاتی ورود و خروج در یک فرودگاه در هر زمان

[۱۵] Podnar
[۱۶] Serra
[۱۷] Marianov

را محدود می کند. از آنجا که منابع فرودگاهی مانند باند فرودگاه برای ورود و خروج تقسیم بندی و برنامه ریزی می شوند، ظرفیت فرودگاه به عنوان پوششی است که نشان دهنده ورود مبادله بین ظرفیت های ورود و خروج است. پوشش ظرفیتی معمولا به صورت تابعی چند متغییره به فرودگاه، انتخاب تراکم باندها، شرایط آب و هوایی، و غیره بستگی دارد.

۳. محدودیت های عملیاتی: محدودیت های عملیاتی محدودیت هایی در زمینه اقداماتی است که ممکن است توسط یک پرواز خاص انجام شود. آنها عبارتند از حداقل و حداکثر زمان حمل و نقل بر روی پیوندهای حریم هوایی، حداکثر تاخیر زمینی و هوایی که می تواند توسط یک پرواز اتفاق بیافتد، حداقل زمان حرکت بین پروازهای متوالی برای یک هواپیما و هر گونه محدودیت مسیر دیگری. این محدودیت ها نیز ممکن است بنابر ویژگی های عملکردی هواپیما مانند سرعت اسمی و ارتفاع متفاوت باشند.

## ۲-۷- مدلسازی مسائل مکانیابی مرکز

در این قسمت فرآیند مدلسازی یک مساله مکانیابی مرکز را مشاهده می‌کنید. این مدل، مکان یابی مرکز در بازار رقابتی موجود بین مراکز است که در آن جذب مشتری با توجه به کاهش هزینه های جاری (زمان، فاصله، ...) می باشد.

### ۲-۷-۱- فرضیات مساله

۱. ارتباط بین مراکز به صورت کامل فرض شده است، به این معنی که بین هر جفت مرکز، حتما یک مسیر مستقیم وجود دارد.

۲. ظرفیت هریک از مراکز محدود در نظر گرفته شده است.

۴.مطابق با فرضیات مطالعات قبلی در زمینه مکان یابی مرکز، هر مسیر انتقال جریان بین هر جفت مرکز تقاضای مبدا و مقصد، از طریق یک مرکز صورت می گیرد و هر مسیر حداقل از یک مرکز و حداکثر از دو مرکز عبور می کند.

با فرض حداکثر دو توقف در مرکز، مسیرهای ممکن برای هر مبدا ومقصد بصورت زیر هستند:

۱. مرکز تقاضا– مرکز – مرکز تقاضا

۲. مرکز تقاضا– مرکز – مرکز – مرکز تقاضا

## ۲-۷-۲- اندیس مجموعه ها

$i,j$ : اندیس مجموعه مرکز تقاضا $i,j = ۱,۲,\ldots..,N$

k,m : اندیس مجموعه مرکز $k,m = ۱,۲,\ldots\ldots,H$

## ۲-۷-۳- پارامترها

$F_k$ : هزینه استقرار مرکز در نقطه k ام

$h_{ij}$: مقدار تقاضا(جریان) بین مرکز تقاضای i ام و j ام

α: ضریب تخفیف اعمالی بین مراکز (economy of scale)

$C_{ijkm}$: هزینه انتقال هر واحد جریان (تقاضا) بین دو مرکز تقاضای i ام و j ام که از مرکز k ام و m ام

$\beta$: میزان درآمد موردانتظار به ازای یک واحد جریان(تقاضا)

$U_k$ : ظرفیت مرکز k ام

P: تعداد مراکز

## ۲-۷-۴- متغیرها

$X_k$: اگر در نقطه ی k ام مرکز قرار گیرد برابر ۱ است در غیر اینصورت مساوی صفر است.

$Z_{ijkm}$: اگر جریان تقاضا بین مبدا i ام و j ام از طریق مرکز های k ام و m ام منتقل شود برابر ۱ در غیر اینصورت مساوی صفر است.

$W_{kl}$: اگر هم در نقطه ی k ام وهم در نقطه ی L ام مرکز قرار داشته باشد برابر ۱ در غیر اینصورت برابر صفر است.

$y_{ij}^{D}$: برابر ۱ است یعنی D درصد جریان بین i و j جذب شود در غیر اینصورت صفر است. ( D=۵۰،۷۵،۱۰۰)

$Z_{iks}$: اگر نقطه تقاضای i ام به مرکز k ام تحت سناریو s ام متصل باشد ۱ است، در غیر اینصورت صفر می‌باشد.

## ۲-۷-۵- تابع هدف و محدودیت ها

$$minf = f_۱ + f_۲ \quad (۱\text{-}۲)$$

$$f_۱ = \sum_{i=۱}^{n} \sum_{j=۱}^{n} \sum_{k=۱}^{H} \sum_{m=۱}^{H} C_{ijkm} Z_{ijkm} h_{ij} + \sum_{k=۱}^{n} f_k x_k \quad (۲\text{-}۲)$$

$$f_۲ = -\beta\left(\sum_{i=۱}^{n} \sum_{j=۱}^{n} \left(h_{ij} y_{ij}^{۱۰۰} + ۰.۷۵ h_{ij} y_{ij}^{۷۵} + ۰.۵ h_{ij} y_{ij}^{۵۰}\right)\right) \quad (۳\text{-}۲)$$

رابطه (۲-۱) مجموع هزینه مکان یابی مرکز و حمل ونقل جریان بین مبدا و مقصد و درآمد حاصل از جذب جریان بین مبدا ومقصد را نمایش می دهد.

رابطه (۲-۲) بیان کننده کل هزینه های حمل ونقل جریان و استقرار مراکز می باشد که گزاره اول نشان دهنده ی کل هزینه های حمل ونقل جریان و گزاره دوم نشان دهنده ی هزینه استقرار مراکز است .

رابطه (۲-۳) درآمد ایجاد شده بخاطر جذب جریان را نشان می دهد که چون از جنس هزینه نیست با علامت منفی آمده است.

محدودیت تعداد مراکز:

$$\sum_{k=1}^{H} x_k = p \quad (۴-۲)$$

محدودیت های تعیین مسیر بین هر جفت مبدا و مقصد وتخصیص آن‌ها

$$\sum_{k=1}^{H}\sum_{m=1}^{H} Z_{ijkm} = 1 \qquad \forall\, i,j, \quad (۵-۲)$$

$$\sum_{k=1}^{H} Z_{ik} = 1 \qquad \forall\, i \quad (۶-۲)$$

$$Z_{ijkm} \le Z_{ik} \qquad \forall\, i,j,k,m \quad (۷-۲)$$

$$Z_{ijkm} \le Z_{jm} \qquad \forall\, i,j,k,m \quad (۸-۲)$$

$$Z_{ik} \le x_k \qquad \forall\, i,k \quad (۹-۲)$$

رابطه (۲-۵) تصریح می کند که هر جفت نقطه مبدا و مقصد (i و j) به یک جفت از مراکز تخصیص می یابند (یعنی مقدار تقاضای بین انها از طریق یک جفت مرکز انجام می شود.)، البته هر جفت نقطه مبدا و مقصد (i و j) می توانند از طریق یک مرکز بهم ارتباط داشته باشند که در اینصورت جفت مراکز یکسانند.

رابطه (۲-۶) بیانگر تخصیص تکی هر نقطه تقاضا به نقاط مرکز است. رابطه (۲-۷)تا (۲-۹) مطمئن می‌سازد که هر جفت مبدا ومقصد (i و j) میتوانند از طریق مسیر جفت مرکز (k وm) بهم ارتباط داشته باشند بشرطی که در نقاط k وm مرکز استقرار یابد.

محدودیت ظرفیت مراکز:

$$\sum_{m=1}^{H}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} h_{ij}Z_{ijkm} + \quad (۲-۱۰)$$

$$\sum_{p=1}^{H}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} h_{ij}Z_{ijpk} \le U_k x_k \qquad \forall\, k$$

محدودیت های مربوط به جذب جریان:

$$w_{kl} \le x_k \quad (۲-۱۱)$$

$$w_{kl} \le x_l \quad (۲-۱۲)$$

$$y_{ij}^{D} \le \sum_{k\in N_{ij}^{1,D}} x_k + \sum_{(k,l)\in N_{ij}^{2,D}} w_{kl} \qquad \forall\, i,j,D \in \{۵۰,۷۵,۱۰۰\} \quad (۲-۱۳)$$

$$y_{ij}^{۵۰} + y_{ij}^{۷۵} + y_{ij}^{۱۰۰} \le ۱ \quad (۲-۱۴)$$

محدودیت (۲-۱۱) و(۲-۱۲) اطمینان می دهد که $w_{kl}$ میتواند برابر ۱ باشد بشرطی که در نقاط k و l مرکز ایجاد شود. محدودیت (۲-۱۳) بیان میکند که جریان (i و j) میتواند جذب شود بشرط اینکه مسیری ارزانتر از قیمت موجود، وجود داشته باشد. محدودیت (۲-۱۴) اطمینان می دهد که هر جریان حداکثر در یک سطح جذب می شود.

$$C_{ijkm} = c_{ik} + \alpha c_{km} + c_{mj} \quad (۲-۱۵)$$

رابطه (۲-۱۵) نحوه ی بدست آمدن هزینه هر مسیر با وجود مراکز می باشد.

$$y_{ij}, w_{kl}, x_k, Z_{ijkm}, Z_{ik} \in \{۰,۱\} \quad (۲-۱۶)$$

رابطه (۲-۱۶) نیز مربوط به صفر و یک بودن متغیرها است.

## ۲-۸- جمع‌بندی

در این فصل مسائل مکانیابی مرکز را، به دلیل کاربرد بسیاری که در حمل و نقل مدرن و سیستم های ارتباطی دارند، از منظرهای مختلف بررسی کردیم و به تعریف برخی اصطلاحات و مفاهیم بنیادین در این زمینه پرداختیم. در جمع بندی کلی، می توان گفت: مسائل مکانیابی مرکز، جزء مسائل کلاسیک در مکانیابی نمی باشند. همچنین به بررسی محدودیت ها از جمله محدودیت ظرفیت در این مسائل پرداختیم. با توجه به کاربردی بودن مسائل، می توان محدودیت های خاصی را به مسائل استاندارد مکانیابی مرکز، اضافه نمود. محدودیت ها می توانند به ظرفیت گره ها، ظرفیت کمان ها، آستانه کمان ها و محدودیت های عملکردی دیگر مربوط باشند.

# فصل سوم

# سیستم های حمل و نقل هوایی

## ۳-۱- مقدمه

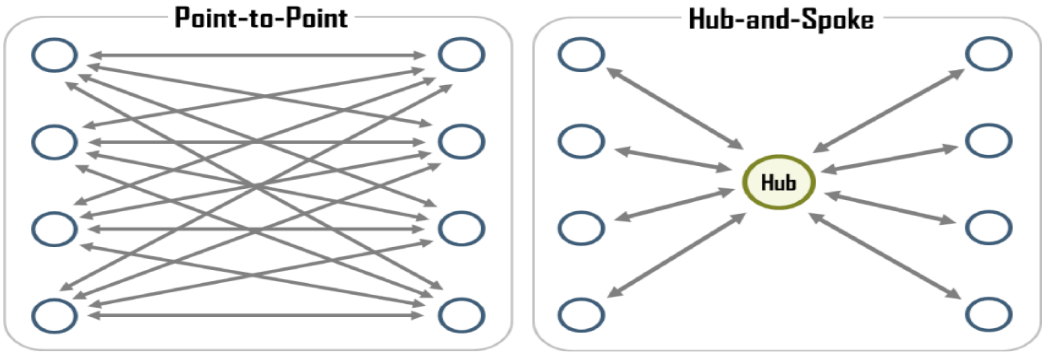
اختلاف بین مکان ها را می توان معمولاً با تعداد پیوندهای بین نقاط و درآمد ایجاد شده ی ناشی از جریان های ترافیکی اندازه گیری نمود. بسیاری از مناطق درون یک شبکه قابلیت دسترسی بالایی دارند، که معمولاً با موقعیت های بهتر مرتبط است. اگرچه، روندهای یکپارچه اقتصادی به ویژه از طریق جهت گیری مجدد ساختارها و جریان های درون شبکه های حمل و نقل در سطوح حمل و نقلی گرایش به تغییر اختلاف بین مناطق دارند. کارایی یک شبکه می تواند به وسیله ی نظریه ی گراف و تجزیه و تحلیل شبکه اندازه گیری شود. این روش ها بر اصلی استوار هستند که می گویند کارایی یک شبکه به صورت جزئی به طرح نقاط و پیوندها بستگی دارد. آشکار است که بعضی از ساختارهای شبکه دارای درجه دسترسی بالاتری نسبت به سایرین می باشند، اما بررسی های دقیق تر باید درباره ی رابطه ی پایه ای بین درآمد و هزینه های شبکه های حمل و نقل هوایی صورت پذیرد.

## ۳-۲- انواع سیستم های حمل و نقل هوایی

در حال حاضر دو نوع ساختار در شبکه های پروازی مورد استفاده قرار می گیرد: نقطه به نقطه[۱] و مرکز و انشعاب[۲].

**شکل(۳-۱) انواع سیستم های حمل و نقل هوایی**

[۱] point to point
[۲] Hub-and-spoke




**شکل(۳-۲) سیستم نقطه به نقطه و سیستم مرکز و انشعاب با هشت گره**

در ساختار نقطه به نقطه مسیرهای مستقیم پروازی از فرودگاه ها به طور مستقیم دایر خواهد شد. در ساختار مرکز و انشعاب یک فرودگاه به عنوان فرودگاه مرکز معرفی شده و پروازها از فرودگاه های مختلف به فرودگاه مرکزی انجام می شود.

مسائل سیستم های مرکز و انشعاب توجه زیادی را در سال های اخیر به خود جذب کرده است. این شبکه ها به طور گسترده ای در حمل و نقل هوایی، ارتباطات از راه دور و دیگر سیستم های لجستیکی استفاده می شوند. سیستم مرکز و انشعاب ترافیک را از طریق انشعابات به تعدادی تسهیلات اصلی به نام مرکز یا قطب منتقل می کنند؛ اصطلاحا لوله کشی می کنند. این انتقال (که انتقال از یک وسیلهٔ نقلیه به وسیله ای دیگر است)، انتقال جریان هایی به یک فرودگاه میانی است و سپس از آنجا به فرودگاهی دیگر. در سیستم مرکز و انشعاب توقف میانی باید در یک فرودگاه مرکزی باشد. در عمل، انتقال ها معمولا شامل بیش از دو توقف در فرودگاههای مرکزی نمی شود. این عملکرد ساختار شبکه را با جایگزینی تعداد زیادی ارتباطات مستقیم بین گره ها با قابلیت اتصالات انتقالی کمتر، ساده می کند. این ساده سازی در ساختار شبکه هزینه های عملیات ساخت و ساز شبکه را کاهش می دهد.

با توجه به شکل ۳-۲ خواهیم داشت:

**جدول(۳-۱) تفاوت هزینه ها در دو شبکه نقطه به نقطه و مرکز و انشعاب**

| | نقطه به نقطه | مرکز و انشعاب |
|---|---|---|
| **تعداد مسیر** | ۳۲ | ۱۶ |
| **هزینه** | ۱۰۰۰ | ۱۰۰۰ |
| **هزینه کل** | ۳۲۰۰۰ | ۱۶۰۰۰ |

هزینه ها با در نظر گرفتن هزینه ۱۰۰۰ واحد برای هر مسیر رفت و آمد و صرف نظر از هزینه های تاسیس و راه اندازی در نظر گرفته شده است.

از مزایای سیستم مرکز و انشعاب، نسبت به سیستم نقطه به نقطه، صرفه جویی در تعداد خطوط پروازی و هواپیماها با توجه به مسافت های مورد نظر است. وسایل نقلیه حمل کننده (هواپیما ها) می توانند از طریق ترکیب جریان ها در پیوند بین گره های غیر مرکز و مرکز صرفه به مقیاس اقتصادی ایجاد کنند. در مواردی ارتباط مستقیم میان گره های غیر مرکز بسیار گران است و بهتر است کالاها از گره های دیگری که مرکز نامیده می شوند، حرکت کنند. به همین دلیل به جای استفاده از اتصالات مستقیم مبدا به مقصد، اتصالات غیر مستقیم ( اتصال به مرکز) به کار گرفته می شود. به این ترتیب می توان از صرفه جویی به مقیاس استفاده نمود.

در شبکه های مبتنی بر مراکز، هر چند فاصله و زمان سفر به طور کلی بیشتر از پروازهای بدون توقف (ساختار نقطه به نقطه) است، اما حاملان (هواپیماها) معمولا فرکانس برنامه زمانبندی جا به جایی از مسیرهای کوتاهتر را، افزایش می دهند. همچنین در عملکرد شبکه مرکز و انشعاب، مسافران ممکن است قادر به بازگشت از سفر در همان روز باشند، اما در خدمات هوایی مستقیم یا نقطه به نقطه مجبور به اقامت یک شبه می شوند که هزینه های سفر را بطور قابل توجهی افزایش می دهد.

با تمرکز مسافران و تاسیسات تعمیرات و نگهداری در موقعیت های کمتر، بازدهی سیستم بسیار بالا می رود، چرا که این روش موجب پس انداز هزینه ها، استفاده بیشتر از ظرفیت های بهره برداری و نیز استفاده از هواپیماهای مقرون به صرفه جهت سفرهای مابین فرودگاه های اصلی می شود. با زمانبندی پروازها، بازدهی سیستم مرکز و انشعاب افزایش می یابد، برای مثال هنگامی که زمان رسیدن پروازهای کوتاه، در زمان های مشخصی متمرکز شود، مسافران پروازهای طولانی تر، به راحتی می توانند برای پرواز خود در فرودگاه جمع شوند.

سیستم های نقطه به نقطه ساختار ساده ای دارند و با توجه به مزیت هایی که سیستم های مرکز و انشعاب دارا هستند و اینکه استفاده از این سیستم ها (بصورت مجزا و یا ترکیبی با شبکه های نقطه به نقطه) بصورت روز افزون در حال افزایش است، در بخش بعدی به بحث در مورد این ساختار پرداخته می شود.

## ۳-۳- شبکه های مرکز و انشعاب

شبکه های مختلفی بر حسب مشخصه جریان بین مبدأها و مقصدها شکل می گیرد که هدف آن ها هماهنگی و تعامل مناسب در انتقال جریانهای انسانی، بار، اطلاعات، انرژی، آب رسانی و ... است. یکی از این شبکه ها، شبکه های مرکز و انشعاب است که بیشتر برای خدمت رسانی به جریان های انسانی، بار و اطلاعات بین مبدأها و مقصدها طراحی می شود. ساختار این شبکه ها به گونه ای است که ارتباط مستقیم بین دو نقطه از طریق نقطه های مرکزی، ایجاد شده و اتصال بین این دو نقطه به صورت غیرمستقیم برقرار می شود. در این شبکه ها ابتدا ترافیک نقطه مبدأ به نقطه مرکز و از آن جا به مقصد، انتقال داده میشود.

پس از مقررات زدایی در حمل و نقل هوایی امریکا، برای استفاده بیشتر از مزایای اقتصادی، از میان شبکه های مختلف حمل ونقلی، شبکه مرکز و انشعاب نسبت به دیگر شبکه ها بیشتر مورد توجه شرکت های هواپیمایی قرار گرفته است. در کشورهایی مانند کانادا، چین و استرالیا نیز پس از مقررات زدایی، اتفاق

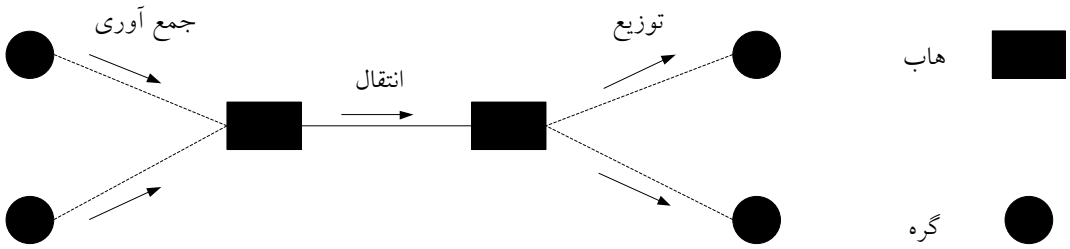
مشابهی رخ داده است. شرکتهای هواپیمایی در یک محیط مقررات زدایی شده، آزادانه و بر اساس عرضه و تقاضای موجود در بازار، به طراحی شبکه پروازی خود اقدام می کنند. مسئله طراحی شبکه در شرکت های هواپیمایی بدین صورت تعریف می شود: پیدا کردن ساختار شبکه و مسیرهای بهینه برای حمل مسافر هدف، با کمینه کردن هزینه حمل ونقل برای به دست آوردن سود بیشتر.

در سیستم های مدرن برخی از گره های شبکه به عنوان ساختار میانی و واسطه ای انتخاب می شوند، متعاقب ان تقاضا ی مقصد از طریق این ساختار واسطه ای برآورده می شود. این ساختار اصطلاحا شبکه مرکز و انشعاب خوانده می شود.

در واقع در مطالعات انجام شده می توان به دو عملکرد ویژه مرکز اشاره کرد:

۱-جمع اوری تقاضا و انتقال ان ها به سایر مراکز در شبکه

۲-دریافت تقاضا از سایر مرکز در شبکه وتوزیع این مقادیر تقاضا به گره های تقاضایی که به آنها خدمترسانی می کند.




**شکل(۳-۳) وظایف مرکز درشبکه**

در طراحی شبکه مرکز و انشعاب، تعیین تعداد مرکز ها و مسیرهای منتهی به آن ها اهمیت زیادی دارد که در این زمینه بیشتر از مدلهای ریاضی استفاده میشود. از آن جا که پارامترهای مدل بسته به شرایط بازار و جغرافیای محیط متفاوت است، در این زمینه مدل های زیادی ارائه شده است.

شبکه های مرکز و انشعاب در حالت کلی به دو دسته تقسیم میشوند: شبکه های تک مرکزی (قطبی) و شبکه های دو یا چند مرکزی. در شبکه های تک مرکزی، ترافیک در یک مرکز متمرکز و سپس از آن جا به مقاصد نهایی فرستاده می شود؛ اما در شبکه دو مرکزی، ترافیک پس از تجمع در یک مرکز به مرکز دوم فرستاده و از آن جا به مقاصد نهایی توزیع میشود.

اوکلی (۱۹۸۶) یکی از نخستین محققینی است که در باره طراحی شبکه مرکز و انشعاب پژوهش زیادی انجام داده است. او موقعیتهای بهینه حالت یک مرکزی و دو مرکزی شبکه را از طریق کمینه کردن فاصله- جریان وزنی، تعیین کرد و سپس دریافت که در حالت دو مرکزی، همچنان که صرفه جویی های ناشی از مقیاس افزایش می یابد، موقعیت جغرافیایی دو مرکز از هم دورتر می شود. تحقیقات دیگری نیز در این مورد انجام شده است که می توان به مقالات جنگ[۳] (۱۹۸۸)، کمپبل (۱۹۹۶)، ارنست و کریشنامورسی[۴] (۱۹۹۶)، جیل و همکاران[۵] (۱۹۹۶) و مارانوف و همکاران[۶] (۱۹۹۹) اشاره کرد.

مدلهای مرکز و انشعاب فرودگاهی فرضیات و شکل های مختلفی دارد که سبب ایجاد مدلهای متنوعی در این زمینه شده است. در تحقیقات مختلف، دسته بندی های متفاوتی به وسیله ی محققان ارائه شده است. دسته بندی آیکین و اوکلی از این دسته بندیها و قوانین مدلسازی است.

## ۳-۳-۲- تقسیم بندی مسائل مرکز و انشعاب بر اساس میزان تاکید بر مرکز

آیکین سه قانون زیر را ارائه و مدل های مختلفی را در حیطه هر یک، ارائه داده است:

۱. تأکیدی بر مرکز وجود ندارد: در این حالت اجباری نیست که ارتباط بین دو نقطه از مرکز بگذرد، در این حالت، مرکز وجود دارد اما فقط زمانی یک جریان از مرکز عبور می کند که از نظر اقتصادی به صرفه باشد.

۲. تأکید بر مرکز، بدون اعمال محدودیت وجود دارد: در این حالت جریان ها از مرکز ها می گذرند اما محدودیتی وجود ندارد. بدین معنی که جریان نقاط انشعابی، می توانند برای رسیدن به مقصدهای مختلف از مرکز های مختلف استفاده کنند یا به عبارتی می توانند به بیش از یک مرکز متصل شوند. اوکلی این حالت (اتصال به بیش از یک مرکز) را تخصیص چندگانه[۷] می نامد.

---

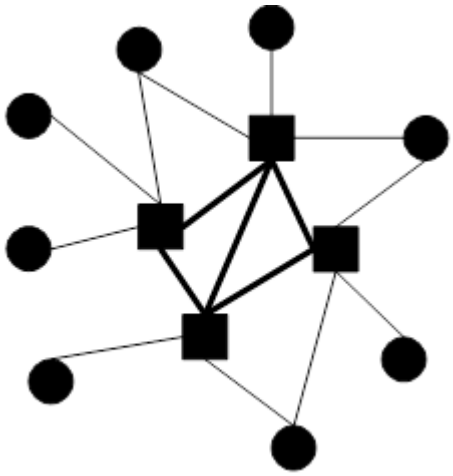
[۳] Jeng

[۴] Ernest and krishnamoorthy

[۵] Jil at al

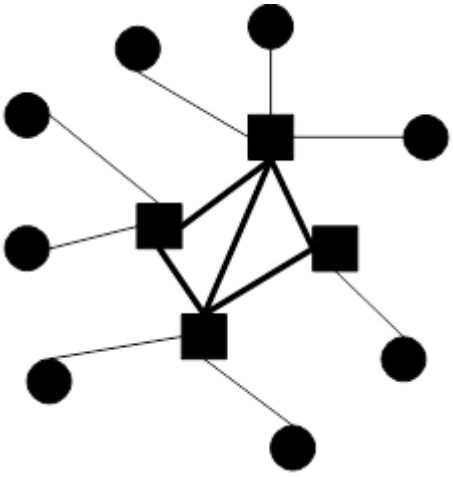
[۶] Maranov at al

[۷] Multiple allocation



**شکل(۳-۴) تخصصیص چندگانه**

۳. تأکید بر مرکز با اعمال محدودیت وجود دارد: در این حالت نه تنها جریان باید از مرکز ها عبور کند، بلکه باید هر نقطه انشعابی، فقط به یک مرکز اختصاص یابد . اوکلی، این حالت (اتصال فقط به یک مرکز) را تخصیص یگانه[۸] می نامد.



**شکل(۳-۵) تخصصیص یگانه**

آیکین به این نتیجه رسید که حالت اول نسبت به حالت دوم به صرفه تر است و حالت سوم کمترین مطلوبیت را دارد.

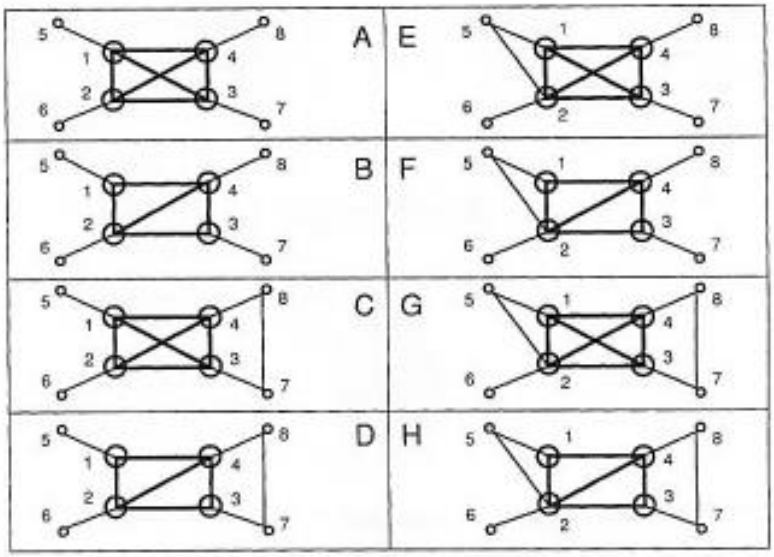
[۸] Single allocation

### ۳-۳-۳- تقسیم بندی مسائل مرکز و انشعاب بر اساس هشت شکل شبکه

جامع ترین طبقه بندی از شکل های مختلف شبکه مرکز و انشعاب را اوکلی ارائه داده است. او شبکه ها را به هشت شکل مختلف تقسیم بندی کرده است. برای این تقسیم بندی، اوکلی سه متغیر تصمیم گیری صفر و یک را در نظرگرفته و بر این اساس، هشت شکل را برای شبکه پیشنهاد داده است. این سه متغیر تصمیم، عبارتند از:

- تخصیص نقاط انشعابی به مرکز: اگر نقاط انشعابی به یک مرکز تخصیص داده شوند، متغیر برابر یک و اگر به چند مرکز تخصیص یابند، متغیر برابر صفر است.
- اتصال مستقیم بین نقاط اقماری: اگر در مدل، برقراری ارتباط مستقیم بین انشعابات مجاز نباشد، متغیر برابر یک و اگر ارتباط مستقیم بین نقاط انشعابی مجاز باشد، متغیر برابر صفر است.
- ارتباط بین قطبها: اگر این ارتباط به صورت کامل برقرار شود، متغیر برابر یک و اگر این ارتباط به صورت ناقص برقرار شود، متغیر برابر صفر خواهد بود.

اوکلی بر اساس این سه متغیر، هشت شکل شبکه را تعریف کرده که در شکل ۴ مشخص است. برای مثال در شکل A هر سه متغیر برابر یک است و در شکل B دو متغییر اول برابر یک و متغیر سوم برابر صفر است. نوع H آزادی عمل بیشتری را به شرکت های هواپیمایی، می دهد و به خصوص برای پروازهای کوتاه برد و میان برد، اقتصادی تر است.




**شکل(۳-۶) شکل های پیشنهادی A تا H اوکلی**

پس از انتخاب شکل شبکه و فرضیات مربوط، پارامترها، متغیرها و تابع هدف مدل باید مشخص شوند. در مدلهای ارائه شده به وسیله محققان، انتخاب پارامترها نیز مانند انتخاب شکل شبکه تنوع زیادی دارد که سبب ایجاد مدلهای مختلفی شده است؛ هرچند که برخی از پارامترها و متغیرهای اصلی در مدلها به صورت مشترک به کار برده شده است.

## ۳-۳-۴- تقسیم بندی مسائل مرکز و انشعاب بر اساس فرمولبندی تحلیلی

با توجه به مفهوم اساسی مدل های شبکه مرکز و انشعاب، دو فرمولاسیون مختلف برای فرمولبندی تحلیلی وجود دارد: فرمولبندی مبتنی بر پیوندها[۹] و مبتنی بر مسیر[۱۰]، در مدل بر پایه پیوند، متغیرهای تصمیم به عنوان پیوندهایی بین دو گره مجزا تعریف می شوند. فرمول مبتنی بر پیوند اغلب در مسائل طراحی شبکه معمولی استفاده می شود، به دلیل اینکه معمولا از یک فرمول فشرده تر تشکیل شده است.

در اکثر کاربردها در دنیای واقعی، به طور کلی لازم است به صراحت جریان های مسیر در فرمولبندی برقرار باشند. فرمول مبتنی بر مسیر از مسیرهای ممکن بین هر جفت از مبداها و مقصدها به عنوان متغیرهای تصمیم استفاده میکند. اگر چه مدل های مبتنی بر مسیر مشکلات مکانیابی مرکز را از برنامه ریزی ریاضی عدد صحیح با توابع هدف غیر خطی به برنامه ریزی ریاضی عدد صحیح با توابع هدف خطی، کاهش می دهند. کمپبل (۱۹۹۴) فرمولاسیونی مبتنی بر مسیر برای چهار نوع مساله مکانیابی مرکز

[۹] link-based

[۱۰] link-based

گسسته پیشنهاد می کند: p مرکز میانه، مکانیابی مرکز بدون محدودیت ظرفیت، p مرکز مرکزی و مرکز پوششی.

### ۳-۳-۵- تقسیم بندی مسائل مرکز و انشعاب بر اساس نوع مرکز

مراکز ممکن است برای اهداف مختلف با توجه به کارکردهای مختلف طراحی شوند، و ساختارهای مختلف مرکز نیاز به منابع فرودگاهی متفاوتی دارد. بنابراین، دو مدل برای طراحی شبکه های هواپیمایی بر اساس انواع مختلف مرکز ارائه شده است. مدل اول برای مرکز هایی که در آن جریان های وارد شونده، خارج شونده، و انتقالی به یک اندازه مهم هستند طراحی شده است. مدل دوم برای مراکزی است که در درجه اول بمنظور مدیریت جریان انتقالی طراحی شده است به دلیل اینکه جریان های ورودی و خروجی قابل توجه نیستند.

## ۳-۴- جمع بندی

از میان دو ساختار شبکه که در فرودگاه های جهان استفاده می شوند مسائل سیستم های مرکز و انشعاب توجه زیادی را در سال های اخیر به خود جذب کرده است و این شبکه ها به طور گسترده ای در حمل و نقل هوایی به کار برده می شود.

ساختار شبکه های مرکز و انشعاب به گونه ای است که ارتباط مستقیم بین دو نقطه از طریق نقطه های مرکزی ایجاد شده و اتصال بین این دو نقطه به صورت غیرمستقیم برقرار می شود. در یک جمع بندی کلی می توان گفت مسئله مرکز و انشعاب در کلی ترین شکل آن شامل موارد زیر است:

۱. پیدا کردن مکان بهینه برای قطبها؛
۲. تخصیص مبدأها و مقصدهای اقماری به قطبها؛
۳. تعیین ارتباط بین قطبها و
۴. مسیریابی جریانهای شبکه.

# فصل چهارم

# مروری بر ادبیات موضوع

## ۴-۱- مقدمه

مسئله مکان یابی مرکز دارای قدمت کوتاهی است. اولین مقاله انتشاریافته در این زمینه توسط حکیمی در سال ۱۹۶۴ است. ولی مدت زیادی طول کشید تا مسئله تحت عنوان مکانیابی مرکز شناخته شود. سپس مدل های مرکز در سال ۱۹۸۷ توسط اوکلی گسترش یافت. او نقش مهمی در گسترش اولیه به خصوص در مدل سازی ایفا کرد. در ادامه کمپبل نقش کلیدی در تکمیل مدل های مختلف مرکز ایفا کرد. مقاله سال ۱۹۹۴ او و همکارانش یکی از مهم ترین مقالات در زمینه انواع مدل های مرکز است .در کنار افراد فوق الذکر کیلینزویچ و آیکین نیز نقش قابل توجهی داشته اند.

کارهای انجام شده در زمینه مکانیابی مرکز را می توان در ۳ دسته کلی قرار داد:

- ساده سازی مدل ریاضی و ارائه مدل جدید با متغیرها و محدودیت های کمتر
- ارائه روش های حل جدید
- تغییر دادن مدل و کاربردی کردن آن

معمولا در مقالات، ارائه مدل جدید در راستای کاربردهای جدید است و پس از آن، در اغلب اوقات، روش حل نیز ارائه می گردد. بنابراین به راحتی نمی توان این ۳ حوزه را دقیقا از هم جدا نمود.

اما به طور کلی، اولین فرمول برای این مسائل همراه با نسخه های ظرفیت دار، توسط کمپبل در سال ۱۹۹۴ ارائه شد.

## ۴-۲- کاربردی کردن مسائل مکانیابی مرکز با اضافه کردن محدودیت های کاربردی

در زمینه کاربردی کردن مسائل مکانیابی مرکز ، با اضافه کردن محدودیت های کاربردی، مدل اولیه توسعه یافت. از جمله این محدودیت ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- محدودیت های ظرفیت مربوط به مراکز و کمان ها و ...
- محدودیت زمانی و شبانه در سیستم های مسافربری هوایی (هال[۱] در سال ۱۹۸۹)
- محدودیت خدمت رسانی در زمان تضمین شده(راتلیف و ایر[۲] در سال ۱۹۹۰)

## ۴-۳- مطالعات انجام شده در زمینه مکانیابی مرکز

کمپبل در سال ۱۹۹۴ مدلی با آستانه جریان بر روی گره ها ارائه داد و برای اولین بار مفهوم ظرفیت را در مسائل مکانیابی مرکز یا مرکز مطرح کرد.

کمپبل در مقاله اش اشاره می کند که مساله مکانیابی مرکز بدون ظرفیت با مساله p مرکز میانه در اینکه تعداد مراکز مشخص نشده است و هزینه های ثابت غیر منفی برای مکان بالقوه هر مرکز در نظر گرفته شده است، متفاوت می باشد و مساله را به شکل پایهٔ زیر فرمولبندی می کند:

Minimize $\sum_i \sum_j \sum_k \sum_m W_{ij} X_{ijkm} C_{ijkm} + \sum_k F_k Y_k$

Subject to $0 \leq Y_k \leq 1 \ \ and\ integer\ for\ all\ k,$

$0 \leq X_{ijkm} \leq 1 \ \ for\ all\ i,j,k,m,$

[۱] Hall

[۲] Ratliff and Iyer

$\sum_k \sum_m X_{ijkm} = ۱ \quad for\ all\ i,j,$

$X_{ijkm} \leq Y_k \quad for\ all\ i,j,k,m,$

$X_{ijkm} \leq Y_m \quad for\ all\ i,j,k,m,$

که $F_k$ هزینه ثابت تاسیس یک مرکز در مکان k است. و مساله مکانیابی مرکز با محدودیت ظرفیت را با در نظر گرفتن محدودیت برای ظرفیت مرکز ها به شکل زیر تعریف می کند:

$\sum_i \sum_j W_{ij}\{\sum_m (X_{ijkm} + X_{ijmk}) - X_{ijkk}\} \leq \Gamma_k Y_k$ for all k

فرض می کنیم $\Gamma_k$ ظرفیت یک مرکز در مکان k است.

کاستا و همکاران در سال ۲۰۰۷ یک رویکرد متفاوت برای مسائل تک تخصیص مرکز با محدودیت ظرفیت ارائه کردند. آنها به جای استفاده از محدودیت ظرفیت برای محدود کردن مقدار جریانی که می تواند توسط مرکزها دریافت شوند، یک تابع هدف دوم به مدل افزودند (علاوه بر تابع هدف سنتی به حداقل رساندن هزینه ها)، که تلاش می کند زمان فرآیندِ ورودِ جریان ها به مرکزها را به حداقل برساند. دو مدل ارائه کردند: در مدل اول، زمان کل به عنوان معیار دوم در نظر گرفته شده است و در مدل دوم، بیشترین زمان لازم برای خدمت رسانی مراکز به حداقل رسیده است، برای تولید حل های غیر مسلط یک رویکرد تصمیم گیری تعاملی توسعه دادند.

کارهای انجام شده تا کنون با تقسیم بندی بر اساس مسائل با یا بدون در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت و مسائل با تخصیص یگانه و یا چندگانه:

**جدول(۴-۱) تفکیک مقالات بررسی شده**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Capacitated Hub Location Problem** | **Single Allocation** | Campbell(۱۹۹۴) | ارائه اولین فرمول عدد صحیح خطی |
| | | Aykin(۱۹۹۴) | ارائه فرمول جدید با کمان های مستقیم میان گره های غیر مرکز |
| | | Ernst & krishnamoorthy(۱۹۹۹) & Ebery et al (۲۰۰۰) | فرموله کردن جدید،هیوریستیک جدید، الگوریتم B&B |
| | | Labbe et al(۲۰۰۵) | الگوریتم B&B |
| | | Costa et al(۲۰۰۷) | ارائه مساله با دو هدف زمان سرویس دهی و هزینه (دو هدفه) |
| | | Correia et al(۲۰۱۰) | ارائه فرمول جدید (در نظر گرفتن سایز مراکز) |
| | | Stanojevic et al(۲۰۱۵) | حل با یک الگوریتم ترکیبی (الگوریتم تکاملی+شاخه و کران) |
| | **Multiple Allocation** | Campbell(۱۹۹۴) | ارائه اولین فرمول عدد صحیح خطی |
| | | Ebery et al (۲۰۰۰) | فرموله کردن جدید،هیوریستیک جدید، الگوریتم B&B |
| | | Boland et al(۲۰۰۴) | ارائه فرمول جدید |
| | | Kratica et al(۲۰۱۱) | فرموله کردن جدید (اصلاح فرمول های قبلی) |
| **Uncapacitated Hub Location Problem** | **Single Allocation** | Okelly( ۱۹۹۲) | برنامه ریزی عدد صحیح درجه ۲ |
| | | Campbell( ۱۹۹۴) | ارائه اولین فرمول عدد صحیح خطی |
| | | Abdinnour-Helm & Venkataramanan( ۱۹۹۸) | فرمول درجه ۲ جدید و استفاده از الگوریتم ژنتیک |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | Abdinnour-Helm(۱۹۹۸) | الگوریتم ترکیبی جدید |
| | | Topcuoglu et al (۲۰۰۵) | الگوریتم ژنتیک |
| | | Cunha & Silva(۲۰۰۷) | الگوریتم ژنتیک ترکیبی |
| | | Chen(۲۰۰۷) | الگوریتم هیوریستیک ترکیبی |
| | | Tinga & Wang(۲۰۱۳) | الگوریتم آستانه پذیرش(TA) |
| | | Shahabi & Unnikrishnan(۲۰۱۴) | فرموله کردنِ روباست (در شرایط تقاضای متغیر) |
| | | Abyazi-Sani & Ghanbari(۲۰۱۵) | ارائه یک الگوریتم جستجوی ممنوعه کارآ |
| | **Multiple Allocation** | Campbell(۱۹۹۴) | ارائه اولین فرمول عدد صحیح خطی |
| | | Klincewicz(۱۹۹۶) | الگوریتم B & B |
| | | Mayer & Wagner(۲۰۰۲) | الگوریتم B & B مراکز ( مکان تعیین ) |
| | | Boland et al(۲۰۰۴) | محدودیت های مناسب و رویه های پیش فرایندی |
| | | Hamacher et al(۲۰۰۴) | فرموله کردن جدید |
| | | Marin et al(۲۰۰۶) | فرموله کردن جدید |
| | | Ca´novas et al (۲۰۰۷) | مناسب تر و هیوریستیکی dual-ascent براساس |
| | | Gelareh & Nickel(۲۰۱۱) | یک مدل جدید با انعطاف پذیری مناسب برای کاربردهای حمل و نقل |
| | | Garcia et al(۲۰۱۲) | فرموله کردن جدید، الگوریتم branch-and-cut |
| | | Shahabi & Unnikrishnan(۲۰۱۴) | فرموله کردنِ روباست (در شرایط تقاضای متغیر) |

اوکلی (۱۹۸۶) یکی از نخستین محققینی است که درباره طراحی شبکه مرکز و انشعاب پژوهش زیادی انجام‌داده است. او موقعیتهای بهینه حالت یک مرکزی و دومرکزی شبکه را از طریق کمینه کردن فاصله– جریان وزنی، تعیین کرد و سپس دریافت که در حالت دو مرکزی، همچنان که صرفه جویی های ناشی از مقیاس افزایش میابد، موقعیت جغرافیایی دو قطب از هم دورتر می شود.

در سال های بعد، مساله طراحی شبکه مرکز و انشعاب بدون در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت تحت سیاست مکانیابی مرکز سختگیرانه در فضاهای حل پیوسته و گسسته توسط جنگ (۱۹۸۸)، آیکین (۱۹۹۰)، کمپبل (۱۹۹۱)، کلینزویچ (۱۹۹۱، ۱۹۹۳) و آیکین و براون[۳] (۱۹۹۲)، کمپبل (۱۹۹۶)، ارنست و کریشنامورسی (۱۹۹۶)، ماریانوف و همکاران (۱۹۹۹)، چانگ لین و هاچن[۴] (۲۰۰۸)، یانگ[۵] (۲۰۰۹)، کریا[۶] و همکاران (۲۰۱۱)، چانگ لین و همکاران (۲۰۱۲)، سانتوس[۷] و همکاران (۲۰۱۵) مورد مطالعه قرار گرفت.

آیکین (۱۹۹۱) یک چارچوب یکپارچه برای طراحی شبکه های مرکز و انشعاب ارائه کرده است. او با فرض ظرفیت نامحدود مرکز، دو سیاست شبکه در نظر گرفت: (۱) یک سیاست سخت گیرانهٔ مکانیابی مرکز که نیاز است هر گره به یک مرکز برای همه جریان های ورودی و خروجی اختصاص داده شود، و (۲) یک سیاست غیر سختگیرانه شبکه که هر دو خدمات هوایی بدون توقف و مرکز متصل (تک توقف و دو توقف) بین گره ها را می‌پذیرد. در یک سیستم مرکز و انشعاب تحت سیاست مکانیابی مرکز غیر سختگیرانه، جریان ها از یک گره، بسته به مقصدشان، ممکن است از طریق مرکز های مختلفی منتقل شوند؛ و همچنین، جریان بین دو گره از مبدا آنها به مقصد خود به طور مستقیم (بدون توقف) منتقل

[۳] Brown
[۴] Change lin and Huchen
[۵] Ta-Hui Yang
[۶] keria
[۷] Santos

شود. در مقاله آیکین (۱۹۹۱) مسائل بدون محدودیت ظرفیت تحت این دو سیاست شبکه مطالعه شده است و نتایج مورد مقایسه قرار گرفته شده است.

## ۴-۳-۲- مقالات متمرکز در زمینه طراحی شبکه حمل و نقل هوایی

جیلت و همکاران[۱] (۱۹۹۶) با هدف کمینه کردن هزینه عملیاتی کل شبکه، نوع هواپیما، تقاضای مسافری، هزینه هر واحد پرواز (مایل یا کیلومتر)، ظرفیت هر نوع هواپیما، فاصله هوایی بین دو شهر و تعداد شهرهای تحت پوشش شرکت هواپیمایی را به عنوان پارامترهای ورودی و جریان مسافری در پروازهای مستقیم، جریان مسافری در پروازهای عبوری از قطب و تعداد هر نوع هواپیما را به عنوان متغیرهای مدل خود در نظرگرفته و مدل را به صورت مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط ارائه داده است. مدل جیلت به سه شکل مطرح و با استفاده از یک روش ابتکاری حل شده است.

ساساکی[۲] (۱۹۹۹)، مدل خود را به صورت p مرکز میانه با هدف کمینه کردن هزینه کل شبکه، فرموله کرده است. مدل ساساکی به صورت تک مرکزی با فرض محدودیت تعداد قطبها در شبکه، ارائه شده است. این مدل با استفاده از روش انشعاب و تحدید و یک روش ابتکاری در مسائل گسترده تر، حل می شود.

آدلر و برچمن[۳] (۲۰۰۱)، مدل ریاضی غیرخطی خود را با هدف بیشینه کردن سود کل شبکه، فرموله کردند، این مدل با تفکیک سفرهای تفریحی و کاری از یک دیگر، با استفاده از الگوریتم گولدفارب حل شده است.

یانگ (۲۰۰۹) دو مدل با محدودیت ظرفیت های مختلف برای تعیین محل مرکز و نحوهٔ خدمت رسانی شبکه ارائه داد؛ محدودیت های ظرفیت در مدل اول کل حجمی که از طریق فرودگاه ها منتقل می شود را محاسبه می کند، از جمله ورودی، خروجی، و ترافیک، بارگیری، در حالی که در مدل دوم فقط برای جریان انتقال (به یک وسیلهٔ دیگر) محاسبه می شود. هر دو مدل در غالب سرویس های خدمات ممکن، از جمله خدمات بدون توقف، توقف در مرکز و ترکیبی از هر دو نوع خدمترسانی در نظر گرفته شده است؛ که حداکثر انعطاف پذیری برای ساختار شبکه های خدمات حمل و نقل هوایی را فراهم می کند. تجزیه و

[۱] Jaillet et al
[۲] Sasaki
[۳] Adler and Berechman

تحلیل های او نشان می دهد که استفاده از محدودیت ظرفیت های مختلف منجر به مکانیابی های مختلف مرکز و ساختارهای شبکه ای مختلف خواهد شد.

آلومور[۴] و سرپر[۵] (۲۰۱۶) مکان و ظرفیت مرکز را در صورتیکه وسایل نقلیه مختلفی در هر مرکز خدمت رسانی کنند، تعیین کردند؛ همچنین مکان گره های غیر مرکز نسبت به مرکز و تعداد وسایل نقلیه از هر نوع را نیز مدنظر قرار دادند. نوع مساله ای که در نظر گرفتند از نوع تک تخصیص می باشد و بصورت حداقل کردن هزینه کل (هزینه ثابت تاسیس مرکز با ظرفیت های مختلف، هزینه خرید و عملیاتی وسایل نقلیه) مدلسازی شده است. همچنین تعریف ظرفیت مراکز به عنوان حداکثر تعداد وسایل نقلیه از هر نوع در نظر گرفته شده است.

## ۴-۴- جمع بندی

مطالعات در زمینه مسائل مکانیابی مرکز قدمت زیادی در طول تاریخ ندارد و اولین جرقه آن در دهه هفتاد میلادی زده شد و پس از آن اوکلی نقش مهمی در گسترش اولیه به خصوص در مدل سازی ایفا کرد. در سال های اخیر در زمینه کاربردی کردن مسائل مکانیابی مرکز، با اضافه کردن محدودیت های کاربردی، مدلهای اولیه توسعه بیشتری یافته اند.

[۴] Alumar

[۵] Serper

# فصل پنجم

# نتیجه گیری

## ۵-۱- مقدمه

در این فصل می خواهیم پس از پرداختن به خلاصه این پژوهش مروری بر کارهایی که در این سمینار انجام دادیم و بررسی آماری مقالات بررسی شده در فصل چهارم را در دستور کار قرار دهیم تا با به دست آوردن شکاف تحقیقاتی احتمالی به پیشنهادات مفید و عملی برای انجام پژوهش های آینده برسیم.

## ۵-۲- خلاصه ای از سمینار

در این سمینار سعی شد با مطالعه منابع موجود از قبیل مقالات، پایان نامه و کتب به موضوع طراحی شبکه های حمل و نقل با محدودیت ظرفیت پرداخته شود. فصل اول این پژوهش کلیات موضوع است که شامل عناوینی همچون هدف از سمینار، اهمیت موضوع و توضیح موضوع سمینار می باشد. شبکه پروازی یکی از اساسی ترین اجزای بازار حمل ونقل هوایی است و سیستم های حمل و نقل هوایی به طراحی شبکه های مختلف بر اساس ویژگی های خاص خود نیاز دارند. همچنین محدودیت ظرفیت یک عامل بسیار مهم در طراحی سیستم های حمل و نقل است.

در فصل دوم، مسائل مکانیابی مرکز، به دلیل کاربرد بسیاری که در حمل و نقل مدرن و سیستم های ارتباطی دارند معرفی شدند و همینطور به اصطلاحات رایج در این مسائل پرداخته شد. اهمیت، کاربردها و انواع مسائل مکانیابی مرکز در این فصل تشریح شدند.

در فصل سوم، در مورد انواع سیستم های حمل و نقل هوایی و خصوصا ساختار سیستم های مرکز و انشعاب که توجه زیادی را در سال های اخیر به خود جذب کرده است، صحبت شد. مزایا و معایب و انواع طبقه بندی های سیستم های مرکز و انشعاب بر اساس مطالعات انجام شده، بیان شد.

در فصل چهارم نیز به مرور ادبیات مقالات موجود در زمینه طراحی شبکه های حمل و نقل تاکنون (جولای۲۰۱۶) پرداخته شد و همچنین دسته بندی مقالات بر اساس فاکتورهای مختلف در این فصل انجام شد.

## ۵-۳- یافته ها و نتایج سمینار

در بررسی های انجام شده، مشخص شد که سیر مقالات با گذشت زمان، روند صعودی داشته است. مقالات در سال ۱۹۹۶ به طور قابل توجهی با رشد مواجه بوده اند که به نظر می رسد علت این امر به بلوغ رسیدن مدل سازی مسئله مکانیابی مرکز باشد. تمرکز مقالات در سال های اولیه روی مدل سازی، در اواسط، روی تکمیل و بهینه سازی مدل ها و در سال های اخیر بیشتر بر روی روش های حل بوده است. با این مرور می‌توان این نتیجه را گرفت که موضوع مکانیابی مرکز موضوعی به نسبت نو و زمینه ای مناسب برای تحقیق و توسعه است.

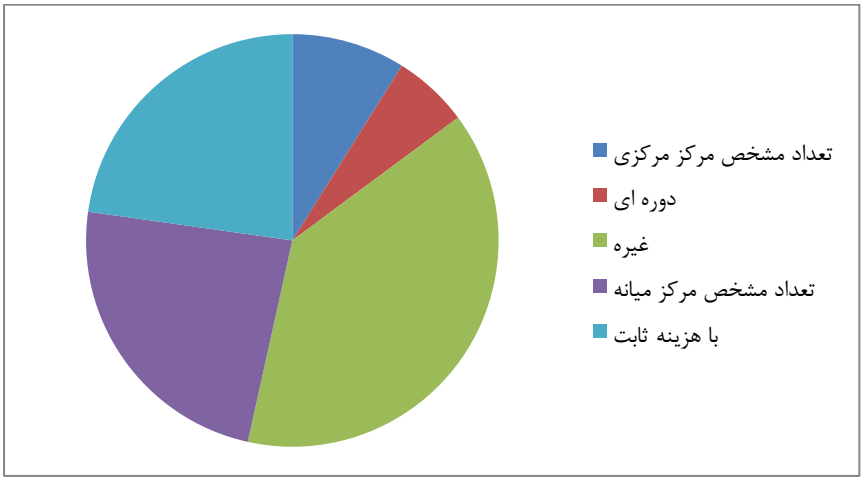
همچنین مطالعات انجام شده در زمینه مسائل مکانیابی مرکز بدون در نظر گرفتن ظرفیت به مراتب گسترده تر از مسائل با محدودیت ظرفیت می باشد.

اگر بخواهیم در مورد روش های حل، جمع بندی داشته باشیم، می توان گفت :

معمولا در مسائلی که تعداد مراکز در آن ها مشخص نیست، از روش الگوریتم ژنتیک (با توجه به ماهیت این الگوریتم) برای تعیین تعداد مراکز استفاده می شود و فازهای بعدی با الگوریتم های دیگر انجام می شود. این موضوع نشان دهنده کاربردی بودن الگوریتم ژنتیک در حل اینگونه مسائل است. در فاز تخصیص و تعیین مراکز، معمولا جستجوی ممنوع مناسب تر است. در مسائلی که تعداد مراکز مشخص است، معمولا رویکردهای هیوریستیک استفاده شده است. تنها برای مسائل با مقیاس بزرگ، به سمت

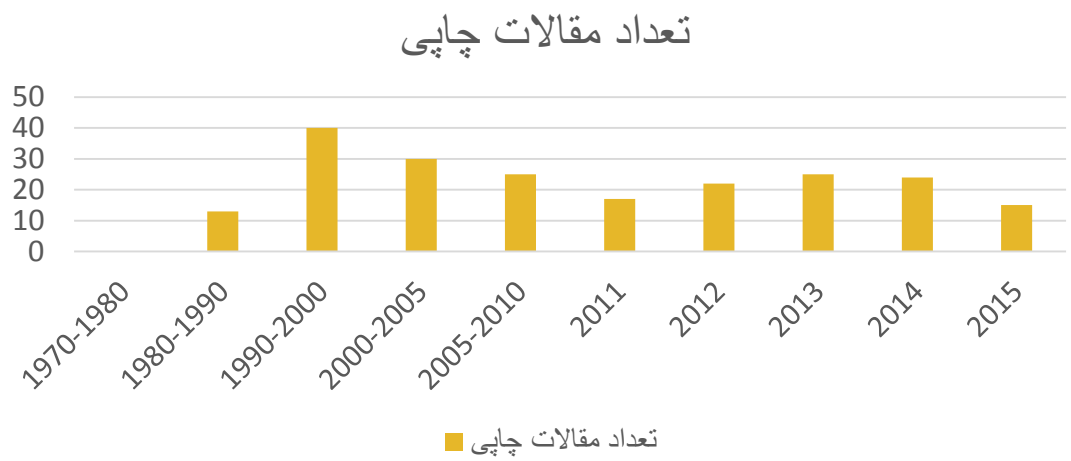
متاهیوریستیک ها رفته اند. استفاده از متاهیوریستیک ها نیز در صورتی مناسب است که کاملا با شرایط مساله همخوانی داشته باشد. اگر چه روش های متاهیوریستیک ممکن است تنها برای تولید جواب اولیه مورد نیاز الگوریتم های دقیق مورد استفاده قرار بگیرند. در این صورت نیازی به سازگاری با شرایط مساله، چندان اهمیت نمی یابد اما در صورتی که از متاهیوریستیک ها انتظار جواب مناسب برای مساله می رود، به این سازگاری نیاز است.

قبل از سال ۲۰۰۰، تحقیقات در زمینه مکانیابی مرکز، بیشتر بر روی تعریف و فرموله کردن مسائل جدید تمرکز داشت. در میان این مقالات نیز،توزیع مقالات مربوط به p مرکز میانه بیشتر بود. بعد از سال ۲۰۰۰، ارائه راه حل های جدید بیشترین مقالات را به خود تخصیص داده است. بیشتر این مقالات، هزینه ثابت را لحاظ کرده اند. توزیع مقالات در شکل ۵-۱ قابل مشاهده است.




**شکل(۵-۱) توزیع مقالات**

می توان نتیجه گرفت که در این حوزه، روش های حل و کاربردی کردن مسائل در آینده، از اهمیت خاصی برخوردار خواهند شد.




**شکل(۵-۲) توزیع و تعداد مقالات چاپی در طول زمان**

## ۵-۴- پیشنهاد زمینه هایی برای تحقیق مطابق با نتایج سمینار

از جمله زمینه های مطالعه آتی می توان به زمینه های زیر اشاره کرد:

- بررسی چندین هدف (پرداخته شده است اما کمتر پرداخته شده است)
- ارائه مدل های جدید ریاضی برای روش های حل ساده تر و سریعتر
- ارئه روش های حل دقیق برای مسائل بزرگتر
- نزدیک تر کردن مسائل موجود به مسائل کاربردی (افزودن محدودیت های ظرفیت جدید):

محدودیت های ظرفیت حریم هوایی یک ناحیه

حداقل و حداکثر زمان حمل و نقل بر روی پیوندهای حریم هوایی

حداکثر تاخیر زمینی و هوایی که می تواند توسط یک پرواز اتفاق بیافتد

حداقل زمان حرکت بین پروازهای متوالی برای یک هواپیما و هر گونه محدودیت مسیر

سه مورد اخیر ممکن است بنابر ویژگی های عملکردی هواپیما مانند سرعت اسمی و ارتفاع متفاوت باشند.

در ادبیات موضوع، مطالعات کافی در زمینه بررسی بیش از یک هدف بسیار کم است. تنها مطالعه کاستا و همکاران در سال ۲۰۰۸، دو هدف هزینه و زمان را بررسی کرده است. البته این مطالعه نیز بیشتر حالت تئوری دارد تا کاربردی. در این مقاله به جای قرار دادن محدودیت برای ظرفیت مراکز، تابع هدف جدیدی به مساله اضافه می شود. دو مدل برای مساله در نظر گرفته شده است. مدل اول، شامل دو تابع هدف است. تابع هدف اول، مینیمم کردن هزینه حمل و نقل در کل شبکه است و تابع هدف دوم، حداقل کردن کل زمانی است که کالاها (مسافران) در مراکز صرف می کنند. در مدل دوم، تابع هدف اول همان است و تابع هدف دوم، حداقل کردن حداکثر زمان سفر در مراکز است.

هنوز روش های حل دقیق قادر به حل مسائلی با ۱۰۰ گره و بیش از ۳ مرکز نمی باشند. بنابراین ضرورت دارد که روش هایی برای حل این مسائل برای یافتن جواب بهینه پیشنهاد شود.

از سوی دیگر وقتی مسائل به واقعیت نزدیک می شوند و جنبه کاربردی می یابند، پیچیده تر می شوند. در این صورت لازم است برای آن ها، مدل سازی ها و روش های حل مناسب ارائه شود.

## ۵-۵- جمع بندی

پس از بررسی آماری مقالات به این نتیجه رسیدیم که در این حوزه، روش های حل و کاربردی کردن مسائل از طریق افزودن محدودیت ها از جمله انواع مختلف محدودیت های ظرفیت در آینده، از اهمیت خاصی برخوردار خواهند شد.

در مورد روش حل نیز معمولا در مسائلی که تعداد مراکز در آن ها مشخص نیست، از روش الگوریتم ژنتیک و فازهای بعدی با الگوریتم های دیگر انجام می شود. در مسائلی که تعداد مراکز مشخص است، معمولا رویکردهای هیوریستیک استفاده شده است و تعداد کمی از مطالعات روش حل دقیق ارائه داده اند.

# مراجع


قربانی، م، مدل تقاضای سفر هوایی بین شهری ایران، ۱۳۸۷ ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی.

جمال محمدی، اصغر ضرابی ومحسن سقایی،۱۳۸۸، چالشهای صنعت حمل و نقل هوایی ایران، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی.

خلیل‌اله معمارزاده، ۱۳۹۴، بررسی کاربردهای تحقیق در عملیات در صنعت حمل و نقل هوایی، کنفرانس سالانه مدیریت و اقتصاد.

علی دبیریان، بهروز عباسی و مهدی غفاری، ۱۳۹۳، مدیریت تخصیص و احداث تسهیلات محوری با نگاهی اقتصادی در مساله مکان یابی هاب با رویکرد حل فراابتکاری ژنتیک، دومین همایش ملی پژوهش های کاربردی در علوم مدیریت و حسابداری.

Adler.B, Berechman.J, ۲۰۰۱, Evaluating Optimal Multi-hub Networks in a Deregulated Aviation Market with an Application to Western Europe, Transportation Research Part A ۳۵, ۳۷۳-۳۸۰.

Alumar.S, Kara.B.Y, ۲۰۰۷, Network hub location problems: The state of the art, European Journal of Operational Research.

Aykin.T, ۱۹۸۸, On the location of hub facilities", Transportation Science ۲۲, ۱۵۵-۱۵۷.

Aykin.T, ۱۹۹۰, On A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities, European Journal of Operational Research ٤٦, ٤٠٩-٤١١.

Aykin.T, and Brown.G.F, ۱۹۹۲, Interacting new facilities and location-allocation problems, Transportation Science ٢٦, ٢١٢-٢٢٢.

Aykin.T, ۱۹۹٤, Lagrangean relaxation based approaches to capacitated hub-and-spoke network design problem. European Journal of Operational Research ٧٩ (٣), ٥١١–٥٢٣.

Aykin.T, ١٩٩٥a. Networking policies for hub-and-spoke systems with application to the air transportation system. Transportation Science ٢٩ (٣), ٢١١–٢٢١.

Aykin.T, ١٩٩٥b. The hub location and routing problem. European Journal of Operational Research ٨٣, ٢١١–٢١٩.

Campbell.J.F, ١٩٩٠a, Locating transportation terminals to serve an expanding demand, Transportation Research B ٢٤, ١٧٣-١٩٢.

Campbell, J.F. ١٩٩٠b, Location-allocation for distribution systems with transshipments and transportation economies of scale, presented at the Fifth International Symposium on Locational Decisions (ISOLDE V), Lake Arrowhead, CA.

Campbell.J.F, ١٩٩١, Hub location problems and the p-hub median problem, Center for Business and Industrial Studies Working Paper ٩١-٠٦ ٢١, University of Missouri-St. Louis, St. Louis, MO.

Chan.Y, and Ponder.R.J, ١٩٧٩, The small package air freight industry in the United States: A review of the Federal Express Experience, Transportation Research A ١٣, ٢٢١-٢٢٩.

Costa.M, Captive.M, And Climaco, J., ٢٠٠٨, Capacitated single allocation hub location problem a bi-criteria approach, Computers & Operations Research, ٣٥, ٣٦٧١-٣٦٩٥.

Ebery.J, Krishnamoorthy.M..Ernst.A, Boland.N, ٢٠٠٠, The capacitated multiple allocation hub location problem: Formulations and Falgorithms. European Journal of Operational Research ١٢١, ٦١٤–٦٣١.

Elif Zeynep.Serper, Sibel.Alumur, ٢٠١٦, The design of capacitated inter modal hub networks with different vehicle types, TransportationResearchPartB ٨٦, ٥١–٦٥.

Ernest.A.T, Krishnamoorthy.M, ١٩٩٩, Solution algorithms for the capacitated single allocation hub location problem. Annals of Operations Research ٨٦, ١٤١–١٥٩.

Hakimi.S.L, ١٩٦٤, Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph, Operations Research ١٢, ٤٥٠-٤٥٩.

Hakimi.S.L, ١٩٦٥, Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems, Operations Research ١٣, ٤٦٢-٤٧٥.

Hamacher.H.W, Labbe.M, Nickel.S, Sonneborn.T, ٢٠٠, Adapting polyhedral properties from facility to hub location problems . Discrete Applied Mathematics ١٤٥ (١), ١١٤–١١٦.

Hamacher.H.W, Nickel.S, ١٩٩٨, Classification of location models, Location Science, ٦،٢٢٩-٢٤٢.

Hamsa Balakrishnan, ٢٠١٦, Control and optimization algorithms for air transportation systems, Annual Reviews in Control.

Iyer.A.V, Ratliff.H.D, ١٩٩١. Accumulation point location on tree networks for guaranteed time distribution. Management Science ٣٦(٨), ٩٥٨–٩٦٩.

Isabel Correia, Stefan Nickel, Francisco Saldanha-da-Gama, ٢٠١١, European Journal of Operational Research ٢٠٧, Elsevier.

Gang Yu, Jian Yang, ١٩٩٨, Optimization Application in the Airline Industry, Handbook of Combinatorial Optimization, Kluwer Academic Publishers.

Marianov.V, Serra.D, Revelle.C,١٩٩٩, Location of hubs in a competitive environment. European Journal of Operational Research,١١٤، ٣٦٣-٣٧١.

Marianov.V, Serra.D, ٢٠٠٣, Location Models for Airline Hubs Behaving as M/D/C queues, Computers & Operation Reasearch ٣٠, ٩٨٣-١٠٠٣.

O'Kelly.M.E, ١٩٨٦, The location of interacting hub facilities, Transportation Science ٢٠, ٩٢-١٠٦.

O'Kelly.M.E, ١٩٨٧, A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities, European Journal of Operational Research ٣٢, ٣٩٣-٤٠٤.

O'Kelly.M.E, ١٩٩٢, Hub facility location with fixed costs", Papers in Regional Science: The Journal of the RSAI ٧١, ٢٩٣-٣٠٦.

O'Kelly.M.E, and Lao.Y, ١٩٩١, Mode choice in a hub-and-spoke network: A zero-one linear programming approach, Geographical Analysis ٢٣, ٢٨٣-٢٩٧.

O'Kelly.M.E, and Miller.H.J, ١٩٩١, Solution strategies for the single facility minimax hub location problem, Papers in Regional Science: The Journal of the RSAI ٧٠, ٣٦٧-٣٨٠.

O'Kelly.M, Miller.H, ١٩٩٤, The Hub Network Design problem: A Review and Synthesis, Journal of Transport Geography٢(١), ٣١-٤٠.

Patrick Jaillet, Gao Song, Gang Yu,١٩٩٦, Airline Network Design and Hub Location problems, Location Sience,٤, ١٩٥-٢١١.

Podnar.H, Skorin-Kapov.J, Skorin-Kapov.D, ١٩٩٩, Network cost minimization using threshold based discounting, European Journal of Operational Research,١٣٧.

Sasaki.M, Suzuki.A, Drezner.Z, ١٩٩٩, On the selection of hub airports for the airline huband-spoke system. Computers & OR ٢٦, ١٤١١–١٤٢٢.

Ta-Hui Yang, ٢٠٠٩, AIRLINE NETWORK DESIGN PROBLEM WITH DIFFERENT AIRPORT CAPACITY CONSTRAINTS, Taylor & Francis.

# Abstract

Air transport industry, because a great impact on economic development and the welfare of society, than any other method of transportation is particularly important. Flight Network is one of the most fundamental components of air carriers has important effect on the income of airlines. Air transport systems to network design based on its own characteristics need. Capacity constraints also a very important factor in the design of transport systems. In this seminar, after the introduction of air transportation systems and importence of hub location problems and hub-and-spokes systems in air transportation, the concepts are told. several articles in the field of air transport systemes were studied and classified based on the conventional factor system as well as papers. The statistical comparison of articles in various branches of the research gaps were realized and followed by related proposals were presented with the results of the seminar.



Keywords: air transport systems, Capacity constraints, hub location, hub-and-spokes

K. N. Toosi University Of Technology
Department of Industrial Engineering

# Air transportation system design study with capacity constraints

**Parastoo Mohamadzadeh**

**Supervisor:**

**Dr. Reza Ramezanian**

**Master of Science Seminar in industrial engineering**

**July** 2016

K. N. Toosi University Of Technology
Department of Industrial Engineering

# Air transportation system design study with capacity constraints

**Parastoo Mohamadzadeh**

**Supervisor:**

**Dr. Reza Ramezanian**

**Master of Science Seminar in industrial engineering**

**July** 2016