Discrete Network Design Problem

University of Tehran

Master of Science Thesis| Persian Edition-1

Alireza Rahimi

2017

دانشگاه تهران

عنوان

الگوریتم طراحي شبكه گسسته با تقاضاي متغير براي شبكه هاي ترابري بزرگ مقياس

نگارش

علیرضا رحیمی

نسخه اولیه

فهرست عناوین

صفحه

چکیده

مسئله طراحی شبکه حمل و نقل با هدف مینیمم سازی کل زمان سفر استفاده‌کنندگان، در شرایط بودجه محدود، به صورت یک مسئله برنامه ریزی دوسطحی با متغیرهای صحیح (تصمیم گیری) و اعشاری(جریان) فرمول بندی می شود. هر چند که تقاضای متغیر از نظر تئوری می‌تواند جواب های مسئله طراحی شبکه را تغییر دهد، در اغلب مطالعات قبلی تقاضا بین زوج های مبدا مقصد ثابت فرض شده است. در این پژوهش مسئله طراحی شبکه در دو حالت تقاضای ثابت و متغیر، با استفاده از روش شمارش کامل (در سطح بالا) و روش فرانک-ولف (در سطح پایین)، برای شبکه معروف سوفالز در سطوح بودجه مختلف حل می‌شود. تابع تقاضای متغیر به فرم تابع نمایی در نظر گرفته می شود به طوری که اولا برای شبکه پایه همان تقاضای ثابت را نتیجه دهد، و ثانیا کشش پذیری تابع تقاضا نسبت به زمان سفر برای تمامی شبکه های امکان پذیر در محدوده قابل قبول باقی بماند. نتایج نشان می‌دهند که جواب های مسئله در دو حالت تقاضای ثابت و متغیر، به خصوص در سطوح بودجه میانی، اختلاف زیادی دارند.

کلمات کلیدی: طراحی شبکه حمل و نقل، تقاضای متغیر، روش فرانک-ولف

1 فصل اول
مقدمه

1-1- مقدمه

حمل و نقل مسافر و کالا جزيي جدا نشدني از هر جامعه توسعه يافته است، که از برهمکنش اقتصادي اجتماعي بين گروه هاي آن جامعه ناشي مي شود. شبکه هاي حمل و نقل با طراحي ضعيف بر جوامع هزينه مختلفی از جمله تاخير، عدم راحتی، آلودگی های زيست محيطی و تصادفات وارد می کنند.

يك شبکه کارا و مناسب حمل و نقلي موجب کاهش هزينه هاي تحميلي بر سيستم حمل و نقل، گردانندگان سيستم و استفاده کنندگان آن و حتي هزينه هاي غير استفاده کنندگان (آلودگي، تصادفات و مانند آن ها) مي شود. بنابراين، علاوه بر هزينه هاي مستقيم، براي کاهش هزينه هاي غير مستقيم نيز طراحي شبکه های کاراي حمل و نقلي لازم به نظر مي رسد.

تصميم گيري در خصوص نحوه تخصيص بودجه در سيستمهاي حمل و نقل شهري يکي از مسائل مهم در حمل و نقل مي باشد. امروزه عموماً تصميم گيري در اين خصوص در اغلب کشورها از جمله ايران به صورت تجربي انجام مي گيرد. در ادبيات حمل و نقل، مسئله طراحي شبکه[1] (NDP) معمولا به صورت مسئله انتخاب زيرمجموعه اي از مجموعه گزينه هاي (پروژه های) امکان پذير تعريف می شود به گونه اي که اجراي گزينه هاي انتخابي کل هزينه استفاده کنندگان از شبکه را مينيمم کند و در ضمن هزينه اجراي آن گزينه ها از سطح بودجه معيني تجاوز نکند. گزينه هاي مطرح در

[1]- Network design problem

مسئله طراحي شبكه معابر شامل گزينه هايي چون احداث يك راه جديد، افزايش عرضي يك راه موجود و يك طرفه كردن يك خيابان مي باشند. بخشي از دشواري هاي حل مسائل طراحي شبكه حمل و نقل واقعي مربوط به ابعاد بزرگ آن ها است. از سوي ديگر، با افزايش تعداد پروژه هاي نامزد، فضاي جستجو بزرگ شده، و حل مسئله در شرايط واقعي بسيار سخت مي شود.

ازنظر تئوري، مسئله طراحي شبكه را مي توان به صورت يك مسئله برنامه ريزي دو سطحي با متغيرهاي اعشاري و صحيح فرمول بندي كرد، كه در مسئله سطح بالا تعداد متغيرهاي صحيح برابر با تعداد گزينه ها، و در مسئله سطح پايين متغير هاي اعشاري شامل متغير هاي جريان در كمان هاي شبكه هستند. حل اين نوع مسئله به علت ماهيت تركيبي آن بسيار مشكل است به طوري كه براي حل تقريبي آنها از روش هاي جستجوي فراابتكاري مثل الگوريتم ژنتيك و كلوني مورچه استفاده شده است.

یکی از پارمترهای تاثیر گذار بر جواب مسئله طراحی شبکه، همان گونه که در فصل 4 پایان نامه بحث می شود، تقاضای سفر استفاده کننده به عنوان ورودی مسئله طراحی شبکه است. تقاضا می تواند به دو شکل ثابت و متغیر به کارگرفته شود. شفی [2] بیان می کند که استفاده از تابع تقاضای متغیر(الاستیک) نسبت به تقاضای ثابت موجب می شود که مدلسازی رفتار استفاده کنندگان واقعی تر باشد. اما با توجه به پیچدگی های مسئله طراحی شبکه و همچنین سختی مضاعف ناشی از استفاده از مدل های تقاضای الاستیک، همانگونه که فراهانی و همکاران [16] می گویند، تا کنون در هیچ کدام از پژوهش های انجام شده در مسئله طراحی شبکه حمل و نقل، تابع تقاضای متغیر مورد استفاده قرار نگرفته و همگی از تقاضای ثابت استفاده نموده اند.

در این پژوهش از تخصیص ترافیک قطعي[1] و ایستا[2] با تقاضای متغیر به عنوان مسئله سطح پایینی استفاده شده است، و در سطح بالایي براي انتخاب پروژه هاي نامزد روش شمارش کامل استفاده می شود. در ضمن، اثرات استفاده از تابع تقاضای متغیر بر جواب های مسئله طراحی شبکه بررسی شده، و ضمن مقایسه جواب های مسئله در دو حالت تقاضای ثابت و تقاضای متغیر میزان اهمیت یا عدم اهمیت استفاده از تابع تقاضای الاستیک در مسئله طراحی شبکه نشان داده می شود.

1-2- اهمیت مسئله

بخش حمل و نقل سهم قابل توجهي از سرمایه گذاري هاي سیستم شهري را به خود اختصاص داده است، که دلیل آن پرهزینه بودن اجرای پروژه ها در این بخش در مقایسه با سایر بخشهاي سیستم هاي شهري است. از طرف دیگر، سیستمهاي حمل و نقل و مشکلات مربوط به آن یکي از نگراني هاي اصلي مسولین و ساکنین شهرهاي بزرگ می باشد.

در کنار روشهاي مدیریت ترافیك، امروزه همچنان توسعه عرضه شبکه، به خصوص در کشورهاي در حال توسعه، از اهمیت بسیار زیادي برخوردار است. در نتیجه، تصمیم گیری در خصوص توسعه شبکه معابر با توجه به هزینه های سنگین آن بسیار مهم است. از طرف دیگر، سیستم هاي حمل و نقل امروزه تبدیل به سیستمهاي پیچیده اي شده اند که بر بسیاري از مسائل شهري از جمله آلودگي هوا، توسعه اقتصادي و آرامش روحي و رواني شهروندان تاثیر گذار هستند.

---

[1]– Deterministic

[2]– Static

از دیدگاه تئوریك نیز مسئله طراحي شبكه يكي از پيچيده ترين مسائل موجود در حمل و نقل است. هر چند در اين زمينه مطالعات زيادي شده است، ولي هنوز تا دستيابي به يك راه حل عملي و جامع فاصله زيادي وجود دارد. اين موضوع بنا به برخي دلائل است كه در ادامه مورد بررسي قرار خواهد گرفت.

حل مسئله طراحي شبكه بسيار زمانبر است. اين موضوع موجب شده است كه پياده سازي آن براي شهرهاي بزرگ بسيار مشكل باشد. اين موضوع اهميت و لزوم ايجاد روش هايي كه بتوانند مسئله مذكور را به شكلي مناسب و در زماني كوتاه حل كنند بيشتر نشان مى دهد. براي درك ميزان پيچيدگي اين مسئله فرض كنيد تنها 20 پروژه برای یک شبکه در نظر گرفته شود. براي انتخاب از بين تنها 20 پروژه (كه در سطح مسئله طراحي شبكه تعداد كمي است) ارزيابي بيش از يك ميليون شبكه گزينه ضرورت مي يابد. زيرا، انتخاب يا عدم انتخاب هر پروژه در مجموعه پروژه ها دو حالت ايجاد مي كند و براي 20 پروژه 2^{20} شبكه گزينه به وجود مي آيد. اگر با بهره گيري از برخي روش ها بتوان حتي بيش از نيمي از گزينه هاي غيرقابل اجرا از نظر محدوديت هاي موجود (بودجه) را حذف كرد، باز حدود نيم ميليون گزينه باقي مي ماند و اگر ارزيابي هر گزينه با كامپيوتر تنها 1 دقيقه طول بكشد، براي دستيابي به گزينه برتر حدود 1 سال محاسبه بدون وقفه نياز است [38]. نبايد از يادبرد كه ارزيابي گزينه ها برای شرايط مختلف بودجه اي به زمان ياد شده مي افزايد.

از طرف ديگر، جامعيت ديدگاه در اين مسئله تاكنون به شكل مناسبي تكوين نشده است. در واقع عوامل بسيار زيادي در تصميم گيري در خصوص عرضه تاثير گذار است، و برخي از اين عوامل به كلي قابل كمي سازي نيستند. اين موضوع موجب شده است كه نگاه تئوريك به مسئله طراحي شبكه داراي منتقدان زيادي باشد. برخي اين روش ها را فاقد قابليت لازم براي حل مسائل عملي ميدانند، زيرا حل دقيق آن برای شبکه های واقعی عملا ممكن نيست. ولي نكته

حائز اهمیت آن است که این روش ها حداقل مي توانند دید مناسبي از تفاوت بین پیامدهای ناشی از تصمیم گیري هاي موجود و بهینه را نشان دهند، و یکی از اهداف طراحان را به کمینه سازي این فاصله بدل کنند.

به موارد فوق باید اهمیت سیاسي مسئله حمل و نقل را نیز افزود. امروزه موضوعات مرتبط با حمل و نقل به یکي از موضوعات اصلي در مبارزات انتخاباتي بسیاري از مدیران در شهرها و کشورهاي دنیا بدل شده است. این موضوع نشانه اهمیت حمل و نقل از نظر شهروندان، و توجه آن ها به تصمیم گیری ها در این باره است. بنابراین، مسئله طراحي شبکه هم از دیدگاه عملي و هم از دیدگاه علمي داراي اهمیت بوده و لذا حل دقیق آن با در نظر گرفتن فرضیات مناسب در خصوص رفتار استفاده کنندگان مطلوب است. هدف این پژوهش بررسی شدت تاثیر استفاده از تقاضای متغیر بر جواب های مسئله طراحی شبکه در جهت هر چه دقیق تر شدن خروجی های مسئله است.

1-3- تعریف مسئله

توسعه شهري همراه با افزایش جمعیت و به وجود آمدن فعالیت هاي جدید و متعدد در یك ناحیه شهري باعث افزایش دائمي تقاضاي سفر و بروز ازدحام و تراکم در شبکه معابر می شود. ازدحام و تراکم موجب افزایش زمان سفر، افزایش هزینه هاي عملکردي وسایل نقلیه و در نتیجه بروز بسیاري از مشکلات اجتماعي و اقتصادي مي شود که تمامي این مشکلات مي تواند باعث کاهش کیفیت زندگي مردم شوند.

به منظور حل این مشکلات، راه کارهاي متعددي توسط برنامه ریزان حمل و نقل ارایه شده است، که از جمله آن می توان به استفاده از سیستم هاي حمل و نقل هوشمند، ارتقاي سیستم هاي حمل و نقل همگاني، و توسعه شبکه معابر اشاره کرد. عامل محدود کننده در اجراي این راه کارها بودجه موجود است، زیرا اندک بودن بودجه براي

سرمایه گذاري و نیز بازگشت کم سرمایه، انتخاب راه کارهاي مناسب را مشکل می کنند.

در ادبیات حمل و نقل، بهبود شبکه معابر به صورت NDP مطرح مي شود که غالبا عبارتست از انتخاب زيرمجموعه امکان پذیري از مجموع پروژه هاي پیشنهادي به طوري که تابع هدف خاصي بهینه گردد. این تابع هدف معمولاً کل زمان سفر استفاده کنندگان شبکه است. مسئله طراحي شبکه در یک فرم خاص مسئله اي دو سطحي است، که در سطح پایین آن مسئله تخصیص ترافیك (مسئله تعیین جریان ترافیك براي هر وضعیت مفروض شبکه) و در مسئله سطح بالاي آن انتخاب پروژه هاي مناسب براي کاهش کل زمان سفر استفاده کنندگان قرار دارند.

مسئله طراحي شبکه به بهبود کارایي شبکه حمل و نقل با استفاده از سرمایه گذاري در بخش زیرساخت هاي حمل و نقل مي پردازد که این کار به صورت اجراي پروژه هایي با هزینه مشخص در شبکه صورت مي گیرد. گزینه های بهبود شبکه معمولا به دو صورت ساخت کمان جدید یا افزایش ظرفیت کمان هاي موجود مطرح مي شود. در ادبیات حمل و نقل مسئله طراحي شبکه به دو صورت مسئله طراحي شبکه پیوسته[1] (CNDP) و مسئله طراحي شبکه گسسته[2] (DNDP) مطرح مي شود. در CNDP متغیرهای تصمیم گیري پیوسته هستند (مثل میزان تعریض عرض راه) در حالي که در DNDP متغیرهای تصمیم گیري در بیشتر موارد یك متغیر باینري (صفر یا یک) مي باشند (مثل اضافه کردن یا نکردن یك راه جدید یا یك باند به یك راه موجود). مسئله مورد نظر در این پایان نامه همان مسئله DNDP است. معمولاً براي هر شبکه موجود مي توان تعداد زیادي پروژه تعریف کرد، ولي به علت محدودیت بودجه تنها تعداد محدودي از آنها را مي توان اجرا کرد. لذا در DNDP متغیر تصمیم گیري پذیرش یا عدم پذیرش یك پروژه است. حل این مسئله

---

[1]- Continues network design problem

[2]- Discrete network design problem

به علت ماهیت ترکیبي آن از پیچیدگي زیادي برخوردار است، به طوری که پیچیدگی آن برای n پروژه از مرتبه n^2 است.

تعریف مسئله طراحی شبکه می تواند تنوع زیادی داشته باشد. مثلا شبکه چنان طراحی شود که در سطح معینی از بودجه کمترین هزینه حمل و نقل، بیشترین پیوستگی، یا بیشترین دسترسی را داشته باشد. یا اینکه در یک سطح خدمت معین (مثل کل زمان سفر) کمترین سطح بودجه مورد نیاز باشد. حل مسئله با هدف هاي چندگانه نیز امکان پذیر است، ولي نیازمند روش هاي پیچیده تر و اطلاعات بیشتري است[2]. مسئله طراحي مورد بحث این مطالعه، مینیمم کردن کل زمان سفر حمل و نقل استفاده کنندگان شبکه در سطح معیني از سرمایه گذاري است.

وظیفه سرمایه گذاري براي بهبود شبکه به طور معمول بر عهده گرداننده (تهیه کننده) سیستم است. این سرمایه گذاري براي پرداخت هزینه هاي ساخت، نگهداري، عملیات[1]، و اداري است. هزینه عملیات قابل توجه نیست و به علاوه به طور اساسي نصیب استفاده کنندگان شبکه شده و در تابع هدف (کل زمان سفر در شبکه) به نحوي در نظر گرفته مي شود. بنابراین، تنها دو هزینه ساخت و نگهداري در مسئله طراحي شبکه موضوعیت مي یابند. هزینه هاي ساخت معابر بسته به نوع آن (اصلي، شریاني، فرعي، بزرگراه و آزادراه) متناسب با طول است. هزینه نگهداري را نیز مي توان به دو بخش تقسیم کرد. بخشي که به طور مستقیم با حجم ترافیك (میزان استفاده از معابر) متناسب است، و بخش دیگري که ناشي از عمر راه است. بخش اخیر در واقع ناشي از تغییرات جوي و اثر محیط بر راه بوده و با طول آن متناسب است. اکنون، اگر براي ساده کردن مطلب فرض شود که بخش نخست از هزینه هاي نگهداري نیز با طول راه متناسب است، میتوان هزینه هاي ساخت و نگهداري را با طول راه متناسب فرض کرد.

[1]– Operation

1-4- مروري بر فصول

در ادامه پايان نامه، در فصل دوم تاريخچه مسئله طراحي شبكه، نگرش هاي گوناگوني كه درباره اين مسئله وجود داشته و همچنين روش هاي مختلفي كه محققين براي حل اين مسئله بكار برده اند بيان مي شود. در فصل سوم نسخه های مختلف شبکه سوفالز به عنوان شبکه پایه مورد استفاده در این پایان نامه ارائه خواهد شد. در فصل چهارم، ابتدا به نحوه تعریف تابع تقاضای متغیر پرداخته می شود. سپس تاثیر استفاده از تابع تقاضای متغیر بر جواب های مسئله برای یک شبکه مفروض شامل 2 گره و n کمان موازی تحلیل می شود، و در نهایت مسئله طراحی شبکه گسسته در دوحالت تقاضای ثابت و متغیر برای یک شبکه ده کمانه و نیز شبکه معروف سوفالز حل شده و نتایج با هم مقایسه می شود. در فصل پنجم به نتیجه گیري، جمع بندي و ارائه پیشنهادات برای پژوهش های آینده پرداخته می شود.

2 فصل دوم
ادبیات مسئله طراحي شبکه حمل و نقل

2-1- مقدمه

در این فصل از پایان نامه به مرور و بررسي مقالات و تحقیقات انجام شده پیرامون مسئله طراحي شبکه، مسئله تخصیص ترافیک با تقاضای ثابت و متغیر و الگوریتم های حل آن ، مختصري از روش هایي که در حل NDP بکارگرفته شده است و در نهایت به تعریف مسئله طراحي شبکه پرداخته مي شود.

2-2- مسئله طراحی شبکه حمل و نقل

مسئله طراحی شبکه حمل و نقل در پنج دهه اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار داشته و تعداد پژوهش های انجام گرفته در این موضوع طی سالیان اخیر به طور قابل ملاحظه ای افزایش یافته است، که اهمیت این مسئله را بیش از پیش آشکار می کند. در ادبیات فنی سه تعریف اصلی برای مسئله طراحی شبکه حمل و نقل ارائه شده است. طبق پژوهش دانتزینگ و همکاران [13] مسئله طراحی شبکه حمل و نقل به ساخت راه های جدید یا گسترش ظرفیت راه های موجود می پردازد. این تعریف در مقالات بسیار رایج است. مطابق تعریف فریز [14] مسئله طراحی شبکه حمل و نقل عبارتند از مکانیابی بهینه تسهیلات و تعیین ظرفیت بهینه آن ها به منظور بهبود کیفیت سیستم. در این تعریف تسهیلات شامل گره ها و کمان های شبکه می شوند، بنابرین محدوده آن وسیع تر از حالت قبل می باشد. ماگانتی و وونگ [15] اشاره می کنند که مسئله طراحی شبکه حمل و نقل عبارت است از از تمامی ابعاد پروسه تصمیم گیری در برنامه ریزی حمل و نقل که شامل استراتژی ها ، تاکتیک ها

و تصمیم های عملکردی می باشد. تصمیم های استراتژیک نوعی تصمیم با دید بلند مدت است که به زیر ساخت های شبکه می پردازد، به طور مثال ساخت یک راه جدید یا طراحی یک شبکه جدید برای سیستم ترانزیت. تصمیم های تاکتیکال در جهت بهینه سازی یک سیستم حمل و نقلی موجود و منابع آن می باشد که از آن جمله می توان به تعیین جهت حرکت خیابان های یک طرفه یا تعیین فرکانس سرویس دهی خطوط ترانزیت اشاره کرد. در نهایت تصمیم های عملکردی شامل تصمیم های کوتاه مدت است که بیشتر به کنترل جریان ترافیک، کنترل تقاضا، و دسته بندی و بررسی مشکلات می پردازد، که به عنوان نمونه می توان به برنامه ریزی یک چراغ راهنمایی و تعیین محل توقف ممنوع در یک خیابان اشاره کرد. مطابق پژوهش فراهانی و همکاران [16] مسئله طراحی شبکه حمل و نقل به دو دسته کلی طراحی شبکه حمل و نقل عمومی[1] (UTNDP) و طراحی شبکه حمل و نقل معابر[2] (RNDP) تقسیم می شود. شایان ذکر است در این پژوهش منظور از طراحی شبکه، طراحی شبکه حمل و نقل معابر است. از طرفی مسئله طراحی شبکه معابر شامل دو دسته بندی کلی مسئله طراحی شبکه پیوسته (CNDP) و مسئله طراحی شبکه گسسته (DNDP) می باشد. تفاوت های مسئله طراحی شبکه پیوسته و گسسته از نظر تابع هدف و گزینه های تصمیم گیری مطابق پژوهش فراهانی و همکاران [16] در ادامه شرح داده خواهد شد.

توابع هدف مسئله طراحی شبکه پیوسته به شش دسته کلی زیر تقسیم بندی می شوند:

1. ماکزیمم کردن منافع کاربران[3]
2. ماکزیمم کردن ظرفیت رزرو[1]

[1] – Urban Transit Network Design Problem

[2]– Road Network Design Problem

[3] – Max. consumer surplus

3. مینیمم کردن کل مسافت سفر[2]

4. مینیمم کردن هزینه ساخت

5. مینیمم کردن هزینه (زمان) سفر

همچنین گزینه های تصمیم گیری در این مسئله عبارتند از: عوارض راه، زمان بندی چراغ راهنمایی و ظرفیت معبر.

توابع هدف مسئله طراحی شبکه گسسته به شش دسته کلی زیر تقسیم بندی می شوند:

1. ماکزیمم کردن ظرفیت رزرو

2. مینیمم کردن بی نظمی جریان[3]

3. مینیمم کردن کل مسافت سفر

4. مینیمم کردن کل هزینه اجتماعی[4]

5. مینیمم کردن هزینه ساخت

6. مینیمم کردن هزینه (زمان) سفر

گزینه های تصمیم گیری در این مسئله عبارتند از محدود کردن (یا نکردن) گردش در تقاطع ها، تعداد باند معابر، یک طرفه کردن (یا نکردن) خیابان ها، ساخت (یا عدم ساخت) یک خیابان جدید.

شبکه $N(I,A)$ با مجموعه کمان های A و گره های I را در نظر بگیرید. فرض کنید $\bar{A}$ مجموعه کمان های پروژه است به طوری که $\bar{A}\cap A$ شامل پروژه های بهبود کمان (مانند تعریض یک راه موجود) و $\bar{A}-A$ شامل پروژه های ساخت کمان های جدید می

1- Max. reserve capacity

2- Min. total travel distance

3 - Min. flow entropy

4- Min. total societal cost

باشد. y_a متغیر تصمیم گیری برای کمان $a\in\bar{A}$ می باشد، و $y=(y_a)$ بردار تصمیم شامل متغیر های تصمیم گیری y_a است.

متغیر y_a تعیین کننده نوع مسئله از نظر پیوسته یا گسسته بودن است. این متغیر در حالت گسسته باینری (انتخاب شدن یا انتخاب نشدن یک پروژه) و در حالت پیوسته اعشاری می باشد. مطابق پژوهش فراهانی و همکاران [16]، به طور مثال اگر ماکزیمم و مینیمم ظرفیت هر کمان $C_{\max}$ و $C_{\min}$ تعریف شوند، آنگاه محدودیت $C_{\min}<y<C_{\max}$ یک فضای پیوسته را برای تصمیم y مشخص می کند. در حالت گسسته، تصمیم گیری در مورد انتخاب شدن یا عدم انتخاب یک پروژه، یا تعریض یا عدم تعریض یک راه با محدودیت $y\in\{0,1\}$ تعریف می شود.

از آنجا که موضوع مورد بررسی در این پایان نامه مسئله طراحی شبکه گسسته است. در ادامه به فرمول بندی این مسئله می پردازیم. فرض کنید $\bar{A}(y)\subseteq\bar{A}$ مجموعه پروژه های برگزیده در تصمیم y هستند که به صورت $\bar{A}(y)=\{a\in\bar{A}\mid y_a=1\}$ نمایش داده می شوند. DNDP برای تعیین متغیر تصمیم y در سطح بودجه B به شرح زیر بیان می شود:

(1-2)

$$DNDP\begin{cases} Min T(y)=\sum\limits_{a\in A-\bar{A}(y)} x_a\ t_a(x_a)+\sum\limits_{a\in\bar{A}(y)} x_a\ \bar{t}_a(x_a) \\ s.t. \\ \sum\limits_{a\in\bar{A}} c_a y_a\le B \\ y_a\in\{0\ ,1\} \qquad \forall a\in\bar{A}(y) \\ x(y)=Assign(y)\end{cases}$$

$T(y)$: زمان سفر کل شبکه برای تصمیم y

x_a : جریان در کمان برای $a\in\bar{A}\cup A$

$t_a(x)$: تابع زمان سفر کمان $a\in A$ در وضعیت موجود

$\bar{t}_a(x)$: تابع زمان سفر کمان $a\in\bar{A}$ پس از بهبود یا ساخت

y_a : متغیر تصمیم گیري برای کمان $a\in\bar{A}$

$x(y)$: بردار جریان در شبکه پس از تصمیم y ، $x(y)=(x_a)_{a\in A\cup\bar{A}(y)}$

c_a : هزینه اجرای پروژه $a \in \bar{A}$

B : سطح بودجه

Assign : یک الگوریتم تخصیص ترافیک که جریان $x(y)$ را برای تصمیم yبدست می آورد.

تابع هدف مسئله فوق به دنبال یافتن متغیر تصمیم گیری $y=(y_a)$ برای مینیمم کردن کل زمان سفر شبکه $T(y)$ است. در این مسئله محدودیت های اول و دوم محدودیت های امکان پذیری برای متغیر تصمیم y می باشند به طوریکه محدودیت اول همان محدودیت بودجه و محدودیت دوم محدودیت فضای انتخاب می باشد که یک متغیر باینری است. محدودیت سوم یک مدل تخصیص ترافیک است که جریان ترافیک را برای هر وضعیت مفروض از شبکه و تقاضا ارائه می دهد. مسئله تخصیص ترافيك براي اولين بار در دهه چهل ميلادي مطرح شده و اولين روش براي حل آن به عنوان روش همه يا هيچ شناخته مي شود [2]. اين روش بر اين فرض غير واقعي استوار بوده است كه زمان سفر هر كمان مستقل از جريان در شبكه مي باشد. امروزه الگوريتم هاي حل اين مسئله را مي توان به سه گروه اصلي الگوريتم هاي بر پايه كمان ،الگوريتم هاي بر پايه مسير و الگوريتم هاي بر پايه مبدا تقسیم بندی کرد[2]. در این پژوهش از الگوریتم تخصیص بر پایه کمان استفاده خواهد شد و این مسئله در بخش های بعد به تفضیل شرح داده خواهد شد.

2-3- مسئله تخصیص ترافیک

تخصیص ترافیک به عنوان جزئی مهم از الگوریتم مسئله طراحی شبکه مطرح است و نتایج حاصل از آن در کاهش زمان حل و دقت جواب ها اهمیت ویژه ای دارد. در حالت کلی مسئله تخصیص ترافیک به دو دسته تخصیص ترافیک با تقاضای ثابت و تخصیص ترافیک با تقاضای متغیر تقسیم بندی می شود. در این پژوهش ابتدا به مسئله تخصیص ترافیک با تقاضای ثابت و فرمول بندی آن می پردازیم، سپس حالت تقاضای متغیر و الگوریتم حل آن شرح داده می شود.

اولین بار واردراپ [4] در 1952وضعیت تعادل در شبکه را بررسی کرد که بعدها با نام او با عنوان اصول واردراپ معروف شد. اصل اول واردراپ به عنوان یک اصل منطقی و ساده براي تشریح نحوه توزیع تقاضا بین مسیرهاي مختلف در شرایط تراکم به کار می رود. مطابق این اصل، در شرایط تعادل استفاده کننده هیچ مسافري نمي تواند با تغییر مسیر، هزینه سفر خود (که مي تواند زمان سفر او باشد) را کاهش دهد. جریان ترافیکي که این اصل را ارضا کند غالباً تحت عنوان جریان تعادل استفاده کننده یا جریان تعادلی (UE) نامیده می شود. زیرا هر راننده بهترین مسیر را انتخاب کرده است. در صورتی که همه مسافران درک مشابهی از زمان سر داشته باشند، این اصل نتیجه می دهد که زمان سفر مسیرهای استفاده شده در شرایط تعادل با هم برابر بوده و کمتر یا مساوی زمان سفر مسیرهای استفاده نشده است. طبق اصل دوم واردراپ ، الگوی بهینه جریان در شبکه معادل با مینیمم سازی کل زمان سفر در شبکه است. در این وضعیت برخی استفاده کنندگان می توانند با تغییر مسیر زمان سفر خود را کاهش دهند. بکمن [9] براي اولین بار رفتار استفاده کنندگان شبکه را براساس دو ایده UE و SO فرمول بندي کرد. در SO فرض بر آن است که همه استفاده کنندگان باهم همکاري مي کنند تا کل زمان سفر در شبکه مینیمم شود، اما درUE ، هر استفاده کننده به دنبال کم کردن زمان سفر خود مي باشد.

شفی [2] در 1985 بیان می کند که، در یک سیستم حمل و نقل، رقابتي بین دو گروه وجود دارد. استفاده کنندگان (رانندگان) که رفتارشان با تابع تقاضا معرفي مي شود و عرضه کنندگان که رفتارشان با تابع عرضه یا عملکرد معرفي مي شود. سیستم حمل و نقل نوعي خدمت است که توسط عرضه کنندگان آن ارائه مي گردد. این سیستم شامل انواع ها راه ها ، شیوه های سفر و غیره می شود. میزان عملکرد این سیستم توسط سطح سرویس اندازه گیري مي شود که مي تواند شامل زمان، هزینه و ایمني سفر باشد. از طرفي تابع تقاضا نشان مي دهد که با تغییرات سطح سرویس ، تقاضا چگونه کم یا زیاد مي شود. جریان توزیع شده در شبکه پس از رسیدن سیستم حمل و نقل به تعادل بین عملکرد و تقاضا ، جریان تعادلي نامیده مي شود. مطابق

شفی [2] مسئله تخصیص ترافیك تعادلي ، نوعي مسئله تخصیص ترافیك براي تعیین جریان تعادلي در شبكه است. مسئله تخصیص تعادلي بر پایه قانون تعادل استفاده كننده استوار مي باشد. مطابق این قانون در شرایط تعادل هیچ راننده ای نمي تواند با تغییر مسیر خود، زمان سفرش را كاهش دهد. در این قانون فرض مي شود كه تمام رانندگان اطلاع دقیقي از همه مسیرهاي موجود و زمان سفرهاي آنها دارند و الگوي جریان در شبكه در بازه زماني مورد نظر ثابت است. فرض اول یعني اطلاع دقیق رانندگان از مسیرها ، میتواند دست كم براي همه رانندگان صادق نباشد. بر این اساس مدل هاي تعادلي به مدلهاي قطعي و تصادفی تقسیم مي شوند. در مدل قطعي اطلاعات رانندگان از مسیرها یكسان، ولي در مدل تصادفي این اطلاعات ناقص و متفاوت هستند. به علاوه، در هر یك از این دو مدل، اگر تقاضا سفر با زمان تغییر كند مدل دینامیکی و اگر تقاضا نسبت به زمان ثابت باشد مدل استاتیکی نامیده می شود.

1-3-2- مدل بهینه سازی تخصیص ترافیک با تقاضای ثابت

همان گونه که آشتیانی [1] در 1976 بیان می کند، زمان سفر کمان ها معمولا بهترین معیار براي ارزیابي عملكرد ترافیكي كمان ها هستند. زمان سفر یك كمان نه تنها تابعی از جریان در آن كمان، بلكه تابعي از جریان در كمان های اطراف آن نیز می باشد. اما در اغلب مدل هاي تخصیص ترافیك، به منظور ساده سازي در حل مسئله، فرض می شود که زمان سفر هر کمان فقط به جریان در آن کمان بستگي دارد. به علاوه زمان سفر هر مسیر برابر حاصل جمع زمان سفر كمان هاي تشكیل دهنده آن مسیر است . واضح است که با افزایش جریان در یك كمان ابتدا سرعت به طور ملایم كاهش یافته و سپس با افزایش تراكم وسایل نقلیه و ایجاد صف، كاهش سرعت شدت یافته و زمان سفر افزایش مي یابد. در عمل فرض مي شود كه تابع زمان سفر هر كمان پیوسته، مشتق پذیر، غیر منفي و اكیداً صعودي (یا فقط صعودي) است. توابع زمان سفر متفاوتي براي كاربردهاي مختلف، در مراجع پیشنهاد شده اند. تابع زمان سفر مورد

استفاده در این پژوهش همان تابع معروف BPR [2] است.
مسئله UE تحت دو فرض:
1-تابع زمان سفر هر کمان، تنها تابعی از جریان در همان کمان باشد.
2- تابع زمان سفر مثبت و اکیدا صعودی باشد.

به یک مسئله بهینه سازی تبدیل می شود. این مسئله بهینه سازی که توسط بکمن [9] ارئه شده به شرح زیر است:
(2-2)

$$\begin{cases} \min \; z(x) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega \\ s.t. \\ \sum_k f_k^{rs} = q_{rs} & \forall r,s \\ f_k^{rs} \ge 0 & \forall r,s,k \\ x_a = \sum_{rs}\sum_k f_k^{rs}\delta_{ak}^{rs} & \forall a \in A \end{cases}$$

در این مدل x_a جریان در کمان a، $t_a(x)$ تابع زمان سفر کمان a، f_k^{rs} جریان در مسیر k برای زوج مبدا مقصد rs و q_{rs} تقاضای بین زوج مبدا مقصد rs می باشد. همچنین پارامتر δ_{ak}^{rs} برابر یک است اگر کمان a روی مسیر k مربوط به زوج مبدا مقصد rs واقع باشد و در غیر این صورت برابر برابر صفر است. در مدل بکمن (2-2) تابع هدف برابر مجموع انتگرال های توابع زمان سفر کمان ها است. این تابع هدف همان گونه که شفی [2] بیان می کند هیچ تعبیر اقتصادی یا رفتاری ندارد. در این مدل محدودیت اول بیان می دارد که مجموع جریان عبوری از مسیر های مربوط به یک زوج مبدا مقصد بایستی با تقاضای مربوط به آن زوج برابر باشد. محدودیت دوم به دلیل اطمینان از غیرمنفی شدن جریان بیان شده و محدودیت سوم نشان دهنده رابطه بین جریان در مسیر k مربوط به زوج مبدا مقصد rs و جریان در کمان a می باشد. الگوریتم فرانک _ ولف[1] (FW) معروف ترین روش حل مسئله تخصیص ترافیک (2-2) است.

---

[1]- Frank - Wolfe

مدل بهینه سازی SO نیز مشابه (2-2) تعریف می شود با این فرق که تابع هدف آن مینیمم سازی کل زمان سفر استفاده کنندگان به صورت $\sum_a t_a(x_a)x_a$ است.

2-3-2- مدل بهینه سازی تخصیص ترافیک با تقاضای متغیر

مدل بهینه سازی UE (2-2) که در بخش قبل به آن اشاره شد با فرض ثابت و معین بودن تقاضا بین هر زوج مبدا مقصد نوشته شده است. همان گونه که شفی [2] بیان می کند در واقعیت تقاضا تحت تاثیر سطح سرویس شبکه است؛ به طور مثال هر چه تراکم افزایش می یابد استفاده کنندگان تصمیم می گیرند از مسیر های جایگزین یا شیوه های دیگر برای جابجایی استفاده کنند.

برای فرمول بندی UE با تقاضای متغیر فرض کنید تقاضای سفر q_{rs} بین هر زوج مبدا مقصد rs در شبکه تابعی به صورت $q_{rs}=D_{rs}(u_{rs})$ است که در آن u_{rs} مینیمم زمان سفر بین زوج مبدا مقصد rs و $D_{rs}(.)$ تابع تقاضا بین آن زوج می باشد. در این حالت مسئله بهینه سازی UE با تقاضای متغیر به فرم زیر نوشته می شود.

(3-2)

$$\begin{cases} \min\ z(x,q)=\sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega)d\omega-\sum_{rs}\int_0^{q_{rs}} D_{rs}^{-1}(\omega)d\omega \\ s.t. \\ \sum_k f_k^{rs}=q_{rs} & \forall r,s \\ f_k^{rs}\geq 0 & \forall r,s,k \\ q_{rs}\geq 0 & \forall r,s \end{cases}$$

که در آن $D_{rs}^{-1}(.)$ معکوس تابع تقاضا زوج مبدا مقصد rs می باشد و رابطه $x_a=\sum_{rs}\sum_k f_k^{rs}\delta_{ak}^{rs}$ برای هر $a\in A$ برقرار است. تابع هدف این مسئله در مقایسه با مدل بکمن (فرمول 2-2) شامل یک قسمت اضافی و برابر با مجموع انتگرال های معکوس

توابع تقاضا است. محدودیت های اول و دوم در مدل بکمن شرح داده شد و محدودیت سوم برای اطمینان از غیر منفی بودن تقاضای زوج های مبدا مقصد در حل مسئله است. تابع هدف مدل (3-2)به صورت مدل (4-2) قابل تجزیه است.

(4-2)

$$\begin{cases} \min\ z(x,q) = \min\{z_1(x) - z_2(q)\} \\ z_1(x) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega \\ z_2(q) = \sum_{rs} \int_0^{q_{rs}} D_{rs}^{-1}(\omega) d\omega \end{cases}$$

با توجه به تابع هدف تجزیه شده معادله لاگرانژ مدل (3-2) به فرم زیر خواهد بود.

(5-2)

$$L(f,q,u) = z_1[x(f)] + z_2(q) + \sum_{rs} u_{rs}(q_{rs} - \sum_k f_k^{rs})$$

در معادله (5-2) u عبارتند از بردار u_{rs} ها که نشانگر مینیمم زمان سفر بین زوج مبدا مقصد rs است. در نهایت با توجه به معادلات (3-2) الی (5-2) شرایط مرتبه اول مسئله تعادل استفاده کننده با تقاضای متغیر به صورت معادلات (6-2) نوشته می شود.

(6-2)

$$\begin{cases} f_k^{rs} \dfrac{\partial L(f,q,u)}{\partial f_k^{rs}} = 0 & \forall r,s,k \\ \dfrac{\partial L(f,q,u)}{\partial f_k^{rs}} \geq 0 & \forall r,s,k \\ q_{rs} \dfrac{\partial L(f,q,u)}{\partial q_{rs}} = 0 & \forall r,s \\ \dfrac{\partial L(f,q,u)}{\partial q_{rs}} \geq 0 & \forall r,s \\ \dfrac{\partial L(f,q,u)}{\partial u_{rs}} = 0 & \forall r,s \\ f_k^{rs} \geq 0 & \forall r,s,k \\ q_{rs} \geq 0 & \forall r,s \end{cases}$$

واضح است:

(7-2)

$$\begin{cases} \dfrac{\partial L(f,q,u)}{\partial f_k^{rs}} = c_k^{rs} - u_{rs} \\ \dfrac{\partial L(f,q,u)}{\partial q_{rs}} = -D_{rs}^{-1}(q_{rs}) + u_{rs} \\ \dfrac{\partial L(f,q,u)}{\partial u_{rs}} = q_{rs} - \sum_k f_k^{rs} \end{cases}$$

که در آن $c_k^{rs} = \sum_a t_a(x_a)\delta_{ak}^{rs}$ زمان سفر مسیر k از r به s است.
با جایگذاری معادلات بالا در (6-2) نتیجه می شود.

(2-8)

$$\begin{cases} f_k^{rs}(c_k^{rs} - u_{rs}) = 0 & \forall r,s,k \\ c_k^{rs} - u_{rs} \geq 0 & \forall r,s,k \\ q_{rs}(u_{rs} - D_{rs}^{-1}(q_{rs})) = 0 & \forall r,s \\ u_{rs} - D_{rs}^{-1}(q_{rs}) \geq 0 & \forall r,s \\ q_{rs} - \sum_k f_k^{rs} = 0 & \forall r,s \\ f_k^{rs} \geq 0 & \forall r,s,k \\ q_{rs} \geq 0 & \forall r,s \end{cases}$$

که همان شرایط UE برای تقاضای متغیر هستند. شفی[2] الگوریتم FW را به شرح زیر برای حل مسئله (2-3) تعمیم داد.

گام صفر- (مقدار دهی اولیه)

یک جواب اولیه قابل قبول برای q_{rs}^{n} و x_a^n بیابید. قرار دهید $n=1$.

گام 1- (به روز رسانی)

برای هر $a\in A$ قرار دهید $t_a^n=t_a^n(x_a^n)$ و مقدار معکوس تابع تقاضا $D_{rs}^{-1}(q_{rs}^n)$ را برای هر زوج مبدا مقصد rs محاسبه کنید.

گام 2- (جهت یابی)

کوتاه ترین مسیر m بین هر زوج مبدا مقصد rs را با توجه به زمان سفر t_a^n بیابید و زمان سفر آن را $C_m^{rs^n}$ بنامید. مطابق معادلات (2-9) و (2-10) مقادیر کمکی y_a^n و v_{rs}^n را بیابید. در معادله (2-9) $\bar{q}_{rs}$ یک حد بالایی برای تقاضا زوج مبدا مقصد rs می باشد. همچنین $g_k^{rs^n}$ متغیر کمکی جریان در مسیر و v_{rs}^n متغیر کمکی تقاضای زوج مبدا مقصد rs می باشند.

(2-9)

$$\begin{cases} if \quad C_m^{rs^n} < D_{rs}^{-1}(q_{rs}^n) \;\rightarrow\; g_m^{rs^n}=\bar{q}_{rs} \;\;\&\;\; g_k^{rs^n}=0 \quad \forall k\neq m \\ if \quad C_m^{rs^n} > D_{rs}^{-1}(q_{rs}^n) \;\rightarrow\; g_k^{rs^n}=0 \quad \forall k \end{cases}$$

(10-2)

$$\begin{cases} y_a^n=\sum_{rs}\sum_k g_k^{rs^n}.\delta_{ak}^{rs} & \forall a \\ v_{rs}^n=\sum_k g_k^{rs^n} & \forall r,s \end{cases}$$

گام 3- (اندازه گام)

مقدار α_n (اندازه گام در تکرار n ام) را با توجه به (2-11) بیابید.

(11-2)

$$\begin{cases} \min\ z(\alpha)=\sum_a \int_0^{x_a^n+\alpha(y_a^n-x_a^n)} t_a(\omega)d\omega-\sum_{rs}\int_0^{q_{rs}^n+\alpha(\upsilon_{rs}^n-q_{rs}^n)} D_{rs}^{-1}(\omega)d\omega \\ s.t. \\ 0\le\alpha\le 1 \end{cases}$$

گام 4- (به روز رسانی جریان)

مقادیر x_a^{n+1} و q_{rs}^{n+1} را به روز رسانی کنید.

(12-2)

$$\begin{cases} x_a^{n+1}=x_a^n+\alpha_n(y_a^n-x_a^n) \\ q_{rs}^{n+1}=q_{rs}^n+\alpha_n(\upsilon_{rs}^n-q_{rs}^n) \end{cases}$$

گام 5 (معیار همگرایی)

اگر معادله (2-13) برقرار بود الگوریتم خاتمه می یابد؛ در غیر این صورت قرار دهید $n=n+1$ و به گام 1 بازگردید. در این معادله κ عبارتند از معیار همگرایی.

(13-2)

$$\sum_{rs}\frac{\left|D_{rs}^{-1}(q_{rs}^n)-u_{rs}^n\right|}{u_{rs}^n}+\sum_{rs}\frac{\left|u_{rs}^n-u_{rs}^{n-1}\right|}{u_{rs}^n}\le\kappa$$

■

2-4- مروری بر الگوریتم های طراحی شبکه حمل و نقل

مسئله طراحی شبکه گسسته نخستین بار توسط استینبرینک [17] در 1974مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش بهینه سازی به صورت تک هدفه بوده و تابع هدف آن مینیمم کردن کل هزینه اجتماعی[1] استفاده کنندگان شبکه می باشد. برای تخصیص ترافیک از مدل SO

[1] - Min. total societal cost

استفاده شده، تقاضا به صورت ثابت بوده و متغیر تصمیم افزایش ظرفیت معابر موجود و ساخت معابر جدید در نظر گرفته شده است. همچنین از الگوریتم تجزیه تکراری[1] برای حل مسئله استفاده شده است. لبلانک [18] در 1975 به حل DNDP به صورت تک هدفه با تابع هدف مینیمم کردن زمان سفر کل و استفاده از مدل تخصیص ترافیک UE با تقاضای ثابت پرداخت. متغیر تصمیم افزایش ظرفیت معابر موجود بوده و مسئله با استفاده از روش شاخه و کرانه حل شده است. پورزاهدی و ترنکوئیست[19] در 1982با فرضیات مشابه لبلانک[18] به حل DNDP پرداختند. تفاوت پژوهش آن ها با لبلانک[18] در نظر گرفتن متغیر تصمیم ساخت معابر جدید و استفاده از روش ابتکاری Branch and Backtrack به جای روش شاخه و کرانه می باشد. چن و آلفا [20] در 1991 DNDP تک هدفه با تابع هدف کمترین مسافت سفر به علاوه هزینه ساخت را با به کارگیری تخصیص ترافیک UE تصادفی با تقاضای ثابت حل کردند. متغیر تصمیم آن ها تنها ساخت راه های جدید بوده و از روش شاخه و کرانه برای حل مسئله سطح بالا و روش تخصیص جزئی تصادفی[2] برای حل مسئله سطح پایین استفاده نموده اند. گائو و همکاران [22] در 2005 DNDP مشابه لبلانک [18] را مورد بررسی قرار دادند. تفاوت آن ها با لبلانک [18] استفاده از متغیر تصمیم ساخت راه جدید و بکارگیری روش عمومی تجزیه بندرز با تابع حمایت[3] برای حل مسئله می باشد. پورزاهدی و ابولقاسمی [23] در 2005 به حل DNDP مانند مسئله مورد بررسی پورزاهدی و ترنکوئیست[19] پرداختند با این تفاوت که آن ها از روش کلونی مورچه[4] برای حل مسئله خود استفاده کردند. پورزاهدی و روحانی [24] نیز در 2007 به حل DNDP با مشخصاتی شبیه مسئله پورزاهدی و ترنکوئیست[19] پرداختند با این تفاوت که آن ها از هیبرید روش

[1]– Iterative decomposition algorithm

[2]– Stochastic increment assignment

[3] – Generalized Benders decomposition method with support function

[4] – Ant Colony

فراابتکاری کلونی مورچه و روش های الگوریتم ژنتیک[1]، شبیه سازی سرد و گرم شدن[2] و جستجوی تابو[3] استفاده کردند. نتیجه کار آن ها این بود که روش های فراابتکاری هیبرید شده سرعت و دقت حل مسئله را افزایش می دهند. فراهانی و میاندوآبچی [33] در 2010 به حل DNDP به صورت تک هدفه با تابع هدف ماکزیمم ظرفیت رزرو[4] و استفاده از مدل تخصیص ترافیک UE با تقاضای ثابت پرداختند. متغیرهای تصمیم گیری در این پژوهش تخصیص باند در معابر دو طرفه، یک طرف کردن معابر و افزایش ظرفیت معابر موجود می باشد. همچنین این پژوهشگران از روش بهبود یافته شبیه سازی سرد و گرم شدن و هیبرید روش های شبیه سازی سرد و گرم شدن و الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله استفاده نمودند. بابازاده و همکاران [38] در 2011 با استفاده ازالگوریتم بهینه سازی گروه ذرات[5] به حل DNDP با مشخصات مسئله پورزاهدی و ترنکوئیست[19] پرداختند و کارایی این روش را نسبت به روش های ارائه شده در [24] نشان دادند. وانگ و همکاران [39] در 2013 DNDP را با مشخصاتی شبیه مسئله پورزاهدی و ترنکوئیست[19] با بهره گیری از دو روش بهینه سازی جهانی[6] حل کردند، که در این دو روش از رابطه بین UE و SO استفاده شده است. ژانگ و همکاران [40] در 2014 به بررسی مسئله طراحی شبکه گسسته به صورت یک سطحی با محدودیت تکمیلی در حالت چند شیوه ای[7] با در نظر گیری شبکه معابر و ترانزیت پرداختند. در این پژوهش متغیر های تصمیم اضافه شدن ظرفیت معابر، جانمایی مسیر اتوبوس ها، تعیین فرکانس و میزان کرایه آن ها در نظر گرفته شده و اثر برهم کنش بین شیوه ها با استفاده از

---

[1]- Genetic Algorithm

[2]– Simulated Annealing

[3] –Tabu Search

[4]– Max. reserve capacity

[5]– Particle swarm optimization

[6] - Global optimization

[7]– Multimodal

تعادل استفاده کننده ی چند شیوه ای حل شده است. و در نهایت دیوید وانگ و همکاران [54] در 2015 یک روش بهینه سازی جهانی برای حل DNDP با مشخصات مسئله پورزاهدی و ترنکوئیست[19] ارائه کردند. در این روش علاوه بر تعیین پروژه ها (معابر مورد نیاز برای اضافه شدن به شبکه) ظرفیت بهینه معبر نیز محاسبه می شود. نکته قابل توجه آن که مطابق فراهانی و همکاران [16] مباحثی مانند استفاده از تقاضای متغیر در مسائل طراحی شبکه تاکنون مورد بحث و پژوهش قرار نگرفته است.

2-5- مدل دو سطحی طراحی شبکه گسسته با تقاضای ثابت

مسائل طراحي شبكه را ميتوان براساس استفاده از مدل های بهینه سازی SO یا UE به جای تابع *Assign* در مدل (1-2) به دو دسته تقسیم کرد. استفاده از مدل SO موجب تبدیل مسئله NDP به مسئله اي يك سطحي مي شود كه حل آن ساده تر است. اما، مشكل اساسي اين حالت غيرواقعي بودن آن است. با در نظر گرفتن مدلUE مسئله NDP به مسئله اي دو سطحي تبديل مي شود كه UE به عنوان مسئله سطح پایین می باشد. حل مسئله دوسطحي NDP دشوار است اما به دليل واقعي تر بودن فرض بكار رفته، محققان اين مدل را براي مسئله طراحي شبكه ترجيح مي دهند و در این پایان نامه نیز از حالت دو سطحی استفاده می شود. در این حالت در سطح بالا گردانندگان سيستم تصميم مي گيرند كه چه پروژه هايي روي شبكه اجرا شود و در سطح پایین استفاده کنندگان در مورد چگونگي استفاده از شبكه تصميم مي گيرند. DNDP با تقاضای ثابت با استفاده از مدل بهینه سازی UE (2-2) به عنوان مسئله سطح پایین به صورت زیر عنوان می شود.

(14-2)

$$ULP\begin{cases} MinT(y)=\sum_{a\in A-\bar{A}(y)} x_a t_a(x_a)+\sum_{a\in \bar{A}(y)} x_a \bar{t}_a(x_a) \\ s.t. \\ \sum_{a\in \bar{A}} c_a y_a \le B \\ y_a \in \{0\ ,\ 1\} \qquad \forall a\in \bar{A}(y) \\ x(y)\ is\ solution\ of\ LLP(y) \end{cases}$$

(15-2)

$$LLP(y)\begin{cases} \min\ z(x)=\sum_{a\in A-\bar{A}(y)} \int_0^{x_a} t_a(w)dw+\sum_{a\in \bar{A}(y)} \int_0^{x_a} \bar{t}_a(w)dw \\ s.t. \\ \sum_k f_k^{rs}=q_{rs} \qquad \forall r,s \\ f_k^{rs}\ge 0 \qquad \forall r,s,k \\ x_a=\sum_{(r,s)}\sum_k f_k^{rs}\delta_{ak}^{rs} \qquad \forall a\in A\cup \bar{A}(y) \end{cases}$$

در این مدل تابع هدف مسئله سطح بالا (2-14) به دنبال یافتن متغیر تصمیم گیری $y=(y_a)$ برای مینیمم کردن کل زمان سفر شبکه $T(y)$ است. و مدل سطح پایین (2-15) یک الگوریتم تخصیص ترافیک است که جریان $x(y)$ را برای تصمیم y بدست می آورد. در ادامه به معرفی دو الگوریتم شناخته شده برای حل مسئله طراحی شبکه گسسته با تقاضای ثابت می پردازیم. روش اول یک روش دقیق (الگوریتم لبلانک)، و روش دوم یک روش فرا ابتکاری (الگوریتم بهینه سازي گروه ذرات) خواهد بود.

2-5-1- الگوریتم لبلانک

روش پیشنهادي لبلانك [43] از نوع روشهاي شاخه و کرانه براي حل DNDP می باشد که در آن تناقض بریز [45] شناسایي و در فرایند حل مسئله در نظر گرفته می شود. بدین ترتیب که این روش مطمئن می شود که افزایش سرمایه گذاري حتما باعث کاهش تابع هدف طراحي (کل زمان سفر در

شبکه) خواهد شد. روش شاخه و کرانه به صورت مرحله به مرحله یك ساختار درختي مي سازد، بدین شرح که در هر مرحله یکي از گره هاي درخت (پدر) با شاخه شدن دو گره جدید (فرزندان) را ایجاد مي کند. این فرایند از یك گره به نام گره ریشه شروع و گره هاي جدید به آن اضافه مي شوند. هر گره از این درخت توسط یك کمان جهت دار به دو گره فرزند خود متصل می شود.

فرض کنید $m=|A|$ پروژه برای انتخاب در DNDP وجود دارد. در الگوریتم لبلانك هر گره درخت معرف یك جواب نیمه کامل براي مسئله طراحي شبکه است. این جواب نیمه کامل با بردار m بعدي z نشان داده می شود که در مورد 0 یا 1 بودن برخي از اجزاي آن هنوز تصمیم گیري نشده است. به طور مثال $z=(0,1,1,\_,...,\_)$ یك جواب نیمه کامل است که تصمیم گیري در مورد ساخت کمانهاي 4 تا m قطعي نمي باشد. فرض کنید $I_1(z)$, $I_0(z)$ نشانگر پروژه هایي هستند که در گره z به ترتیب در مقادیر 0و 1 ثابت شده اند. در مثال قبلي $I_0(z)=1$, $I_1(z)=\{2,3\}$ است. همچنین فرض کنید $I(z)$معرف پروژه هاي آزاد (پروژه هایي در z است که هنوز در مورد آنها تصمیم گیري نشده است) مي باشد. در مثال قبلي$I(z)=\bar{A}-I_1(z)-I_0(z)$ می باشد و هر سه مجموعه اخیر زیر مجموعه هایي از $\bar{A}$ هستند.

در هر مرحله از دستور حل، یك گره z از درخت انتخاب، و براساس قبول یك پروژه یا رد آن پروژه ، دو گره جدید که متناظر با دو جواب نیمه کامل دیگر هستند ایجاد و z توسط دو شاخه (کمان) جهت دار به آن دو گره متصل می شود. در این دو جواب جدید، تصمیم گیري در خصوص پروژه $a\in I(Z)$ نهایي شده به طوري که در یکي $y_a=0$و در دیگري $y_a=1$ مي باشد. براي هر گره نیمه کامل z، آیندگان z به مجموعه جوابهاي کاملي اطلاق می شود که مي توانند از گره z تولید شوند. در مثال قبلي، جواب $y=(0,1,1,0,...,0)$ یکي از آیندگان z می باشد. مجموعه آیندگان z با $S(z)$ نشان داده می شود.

هر بار که گره اي مثل z ایجاد شود، مقداري به عنوان حد پایین تابع هدف مسئله طراحي شبکه براي همه جواب هاي موجود در$S(z)$محاسبه می شود. محاسبه حد پایین یکي از قواعد اصلي در روش هاي شاخه و کرانه است زیرا مي تواند از شاخه شدن هاي بي حاصل جلوگیري نماید. در

دستور حل لبلانك، براي تعيين حد پايين هر گره z كافي است مسئله تعادل سيستم براي يكي از آيندگان z كه در آن $y_a = 1$ براي هر $a \in I(z)$ است حل و سپس مقدار تابع هدف طراحي متناظر با آن جواب محاسبه شود. الگوريتم لبلانك به شرح زير است.

گام صفر – آماده سازي

جريان تعادل استفاده كننده شبكه موجود $y = 0$ را بدست آوريد. قرار دهيد $y^* = 0$ و $T^* = T(0)$

مجموعه جواب هاي نيمه كامل را با گره ريشه z_0 تشكيل دهيد بطوريكه $I(z_0) = \bar{A}$. حد پايين ريشه درخت را برابر كل زمان سفر در جريان تعادل استفاده كننده در شبكه نظير $y = 1$ قرار دهيد. شمارنده تكرار را برابر $n = 1$ قرار دهيد.

گام 1 – شاخه كردن

از مجموعه جوابهاي نيمه كامل، جواب نيمه كامل، z داراي كمترين مقدار حد پايين را انتخاب كرده، اين جواب را از مجموعه يادشده حذف كنيد و بجاي آن دو جواب نيمه كامل z_j و z_k را با ثابت كردن يكي از مولفه هاي آزاد z به ترتيب در 0 و 1 جايگزين كنيد.

گام 2 – بررسي امكان پذيري

اگر جواب z_k (بدون احتساب پروژههاي آزاد ($I(z_k)$) در محدوديت بودجه مي گنجد، به گام 3 برويد. در غير اينصورت هيچ يك از آيندگان $S(z_k)$ نيز در محدوديت بودجه نخواهند گنجيد. z_k را از مجموعه جوابهاي نيمه كامل حذف كنيد و به گام 4 برويد.

گام 3 – تعيين كرانه

اگر z_k و z_j جواب هاي كامل هستند جريان تعادل UE را براي شبكه هاي نظير حل كنيد و مقدار تابع هدف طراحي (كل زمان سفر در شبكه) را براي هريك از آنها محاسبه كنيد. اين زمان سفرها را با مقدار بهينه جاري T^* مقايسه كرده و كمترين مقدار آنها را به عنوان مقدار بهينه

جاري T^*ثبت و شبكه نظير آن را شبكه بهينه جاري y^* بناميد.

اگر z_k يا z_j جواب نيمه كامل هستند، مسئله تعادل سيستم را براي z_j و با فرض $y_a=1$ براي $a \in I(z_j)$ حل كنيد و مقدار تابع هدف طراحي متناظر را برابر حد پايين گره z_j قرار دهيد. در ضمن، حد پايين گره z_k را برابر حد پايين گره پدر z قرار دهيد. اگر حد پايين z_j بيش از مقدار بهينه جاري T^* باشد گره z_j را از مجموعه جوابهاي نيمه كامل حذف كنيد.

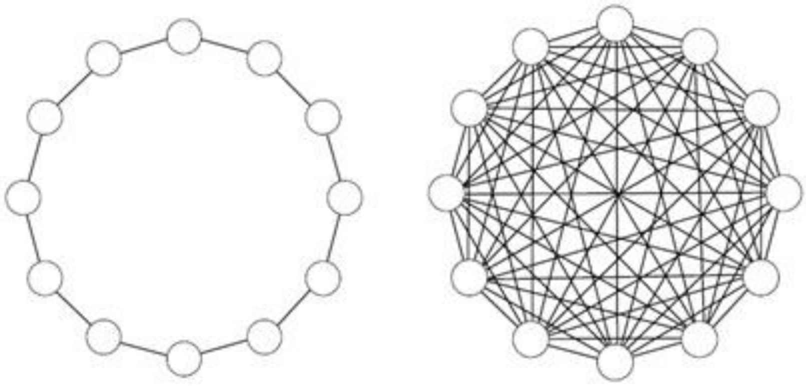
گام 4 – پايان

اگر مجموعه جوابهاي نيمه كامل تهي نيست، قرار دهيد $n=n+1$ و به گام 1 برگرديد، در غير اينصورت شبكه y^* بهترين شبكه از نظر كل زمان سفر در شبكه است و سرمايه گذاري مربوط به آن در محدوديت بودجه مي گنجد. ■

2-5-2- الگوريتم بهينه سازي گروه ذرات

الگوريتم استاندارد PSO با مجموعه اي از ذرات كه هركدام از آنها نشان دهنده يك راه حل هستند آغاز مي شود. هر ذره براي يافتن جواب هاي جديد در فضاي جستجوي مسئله (كه در حالت كلي يك فضاي چند بعدي است) حركت مي كند و سرعت حركت در آن فضا بر اساس تجربيات خودش و همسايگانش تنظيم مي شود. اساساً دو نوع الگوريتم PSO موجود است [46] كه در اندازه همسايگي با يكديگر متفاوت هستند. اين دو الگوريتم، الگوريتمهاي lbest و gbest ناميده مي شوند. در الگوريتم lbest توپولوژي شبكه اجتماعي به شكل يك حلقه است يعني هر ذره دو همسايه دارد و بنابراين مولفه اجتماعي سرعت متاثر از بهترين موقعيت تجربه شده توسط همان دو همسايه مي باشد. در الگوريتم gbest هر ذره از بهترين موقعيت تجربه شده توسط تمام ذرات ديگر متاثر مي شود و در واقع همه ذرات، همسايه يكديگر محسوب مي شوند. اين نوع توپولوژي شبكه اجتماعي ستاره نام دارد. نام گذاري اين دو الگوريتم نيز به همين سبب است. در الگوريتم lbest هر ذره از

بهترین موقعیت محلي[1] در اطراف خود استفاده مي كند ولي در الگوریتم gbest هر ذره از بهترین موقعیت جهاني[2] استفاده مي كند. از این پس منظور از الگوریتم PSO نوع gbest آن مي باشد. در شكل1 شمایي كلي از رفتار مدلهاي lbest و gbest نشان داده شده است.



شكل 2-1 -توپولوژي شبكه اجتماعي در مدلهاي lbest (سمت چپ) و gbest (سمت راست)

در الگوریتم استاندارد PSO فضاي مسئله یك فضاي پیوسته است. فرض كنید $p_i=(p_{ij})$ بردار مكان ذره i و p_{ij} مكان آن در بعد j است. همچنین فرض كنید $v_i=(v_{ij})$ بردار سرعت ذره i مي باشد. $p_i(t)$ كه مكان ذره i در فضاي جستجو در تكرار زمانی[3] t است، با اضافه كردن سرعت فعلي $v_i(t)$ به مكان ذره در تكرار زماني $(t-1)$ بدست مي آید.

(16–2)

$$p_i(t)=p_i(t-1)+v_i(t)$$

اجزاي $p_i(t=0)$ نیز به صورت تصادفي از بازه $[-p_{max},p_{min}]$ انتخاب مي شوند. بردار سرعت فرآیند بهینه سازي را به جلو هدایت مي كند و نمایانگر دانش تجربي ذره و اطلاعات اجتماعي اوست كه از همسایگان ذره دریافت شده است.

[1] - Local best position

[2] - Global best position

[3]– Time step

دانش تجربي هر ذره عموماً به عنوان مولفه آگاهي[1] شناخته مي شود كه متناسب با فاصله ذره از بهترين مكاني كه تاكنون تجربه كرده، بهترين مكان شخصي[2] مي باشد. اطلاعات اجتماعي نيز به عنوان مولفه اجتماعي[3] در معادلات سرعت استفاده مي شود. در الگوريتم استاندارد PSO ، سرعت ذره i در جهت j در زمان $t+1$ براساس موقعيت و سرعت آن ذره در زمان t به صورت زير محاسبه مى شود.

$$v_{ij}(t+1)=\omega\, v_{ij}(t)+c_1r_1(p^*_{ij}(t)-p_{ij}(t))+c_2r_2(p^*_g(t)-p_{ij}(t)) \tag{17-2}$$

كه $v_{ij}(t)$ سرعت و $p_{ij}(t)$ مكان ذره i در بعد j در زمان t، c_1 و c_2 دو عدد ثابت مثبت براي تعيين سهم مولفه هاي شخصي و اجتماعي، و r_1 و r_2 دو مقدار تصادفي در بازه $(0,1)$ هستند. اين مقادير تصادفي اجزاي تصادفي الگوريتم را تشكيل مي دهند. ω وزن اينرسي است كه براي افزايش سرعت همگرايي و كنترل تاثير سرعت گذشته بر سرعت جديد ذرات در نظر گرفته مى شود [46]. اجزاي v_i را مي توان در بازه $[-v_{max},v_{min}]$ محدود كرد تا احتمال خروج ذرات از فضاي جستجو كاهش داده شود. مقدار v_{max} معمولا طبق رابطه $k\times p_{max}$ تعيين مي شود كه $0.1<k<1.0$ است [46]. $p^*_i(t)$ بهترين موقعيت تجربه شده توسط ذره i و $p^*_g(t)$ بهترين موقعيت تجربه شده توسط كل گروه از لحظه شروع الگوريتم تا زمان t مي باشند. اگر مسئله ما يافتن مينيمم يك تابع باشد، p^*_i در زمان t به صورت (2-18) محاسبه مي شود.

---

[1] – Cognitive component

[2] - Personal best position

[3] - Social component

(18-2)

$$p_i^*(t)=\begin{cases} p_i^*(t-1) & if \quad f(p_i^*(t-1))\le f(p_i(t)) \\ p_i(t) & if \quad f(p_i^*(t-1))> f(p_i(t)) \end{cases}$$

که در آن f همان تابع مورد نظر مسئله است که تابع صلاحیت[1] یا تابع برازندگي[2] نامیده مي شود. این تابع نشان مي دهد که چقدر به پاسخ مسئله نزدیك هستیم و در واقع میزان صلاحیت و شایستگي موقعیت یك ذره را تعیین مي کند. به همین ترتیب $p_g^*(t)$ نیز به صورت زیر محاسبه مي شود:

(19-2)

$$p_g^*(t)=\begin{cases} p_g^*(t-1) & if \quad f(p_g^*(t-1))\le \min_i f(p_i(t)) \\ \arg(\min_{p_i} T(p_i(t))) & if \quad f(p_g^*(t-1))> \min_i f(p_i(t)) \end{cases}$$

بابازاده و همکاران [38] الگوریتمي مبتني بر PSO پیوسته براي حل مسئله طراحي شبکه گسسته ارایه کردند. در ادامه به تشریح این الگوریتم پرداخته مي شود.

فرض کنید $m=|\bar{A}|$ پروژه نامزد براي انتخاب در DNDP وجود دارد. در این حالت، هر جواب yمسئله به صورت یك رشته باینري m بیتي تعریف شده، و در نتیجه فضاي جستجوي مسئله یك فضاي باینريm بعدي است که هر نقطه در آن نماینده یك جواب امکان پذیر(جوابي که در محدودیت بودجه صدق کند) براي مسئله طراحي شبکه است. استفاده از PSO پیوسته براي حلDNDP نیازمند اصلاحاتي در الگوریتم اصلی PSO می باشد. اولا، DNDP یك مسئله ترکیبي بر حسب متغیر y است. به منظور تطبیق PSO پیوسته با این مسئله ترکیبي، این پژوهشگران از این ایده استفاده مي کنند که هر عدد باینري m بعدي قابل تبدیل به یك عدد صحیح در فاصله پیوسته $[0,2^m-1]$ است. بر این اساس آنها با تبدیل فضاي جستجو باینري m بعدي به فضاي پیوسته یك بعدي، الگوریتمي مبتني برPSO پیوسته براي

[1] - Merit function

[2]- Fitness function

حل مسئله ارایه کردند. در این الگوریتم ابتدا موقعیت p_i هر ذره i که یك عدد اعشاري است را به نزدیکترین عدد صحیح در فاصله $[0,2^m-1]$ منتقل، و سپس عدد صحیح حاصل به یك رشته باینري m بعدي تبدیل مي شود. این تبدیل با تابع $y(p_i)$ نمایش داده مي شود. ثانیا، PSO استاندارد باید با محدودیت بودجه موجود درDNDP تطبیق داده شود. این کار با یك اصلاح ساده در الگوریتم انجام مي گیرد، بدین شرح که تابع برازندگي هر جواب امکان ناپذیر برابر عدد بزرگ M قرار داده مي شود.

هر ذره با حرکت از موقعیت فعلي خود (جواب فعلي) در هر تکرار به موقعیت بعدي (جواب بعدي) در تکرار بعدي مي رسد، و هر جواب با محاسبه مقدار تابع هدف به ازاي آن ارزیابي مي شود. نرخ جابجایي (سرعت) ذره i در فضاي یك بعدي با v_i ، بهترین جواب محلي ذره i (جوابي که کمترین مقدار تابع هدف را مي دهد) با p_i^* و بهترین جواب جهاني با p_g^* نشان داده مي شوند. در هر تکرار t سرعت ذره i توسط رابطه (2-20) بهنگام می شود[38]:

(2-20)

$$v_i(t+1)=\omega v_i(t)+c_1r_1(p_i^*(t)-p_i(t))+c_2r_2(p_g^*(t)-p_i(t))$$

که در آن c_1 و c_2 مقادیر ثابتي هستند که برابر با 2 در نظر گرفته مي شوند. r_1 و r_2 اعدادي تصادفي در بازه (0و1) هستند، ω همراه با افزایش تکرار از $\omega_i=1.2$ به $\omega_f=0.4$ کاهش می یابد، و $v_{\max}=0.5p_{\max}$ در نظر گرفته شده است. موقعیت ذره i در تکرار $t+1$ با استفاده از رابطه زیر بهنگام مي شود:

(2-21)

$$p_i(t)=p_i(t-1)+v_i(t)$$

مراحل الگوریتم PSO پیوسته به صورت زیرمی باشد:

گام صفر - آماده سازي

تعداد ذرات m ، پارامترهاي c_1 و c_2 ، وزن اینرسي اولیه و نهایي ω_i و ω_f، حداكثر سرعت $v_{\max}$ ، و تعداد تکرار N را انتخاب كنید. مسئله UE را براي شبكه پایه $y=0$ حل كنید و تابع هدف طراحي نظیر آن را $T(0)$ بنامید.

براي هر پروژه $j=1,\dots,m$ ، مسئله تعادل UE را حل كنید، تابع هدف طراحي آنرا T^jبنامید، و جذابیت پروژه j را برابر $T(0)-T^j$ قرار دهید. سپس براي هر ذره $i=1,\dots,m$ موقعیت اولیه $p_i=(p_{ij})$ را به طور رندوم در فاصله $[0,2^m-1]$ به گونه ای تعیین كنید كه $y(p_i)$ در محدودیت بودجه صدق كند. مسئله UE را براي جواب $y(p_i)$ حل و تابع برازندگي $f(p_i)$ را برابر مقدار تابع هدف طراحي آن جواب قرار دهید؛ قرار دهید $p_i^*=p_i$ و v_i را بطور تصادفي در بازه $[-v_{\min},v_{\max}]$ تولید كنید. قرار دهید $p_g^*=\arg(\min(f(p_1),\dots,f(p_m))$ ، $\omega=\omega_i$ ، و شمارنده تكرار را برابر $t=0$ قرار دهید.

گام 1 - بهنگام كردن موقعیت و سرعت ذرات

براي هر $i=1,\dots,m$ ، اعداد تصادفي r_1,r_2 را در $(0,1)$ تولید كنید؛ و قرار دهید:

$$v_i=\omega v_i+c_1r_1(p_i^*-p_i)+c_2r_2(p_g^*-p_i) \qquad (22-2)$$

v_i را در دامنه $[-v_{\min},v_{\max}]$ محدود كنید، و قرار دهید:

$$p_i=p_i+v_i \qquad (2-23)$$

p_iرا در دامنه $[0,2^m-1]$ محدود كنید.

گام 2- محاسبه تابع برازندگي ذرات

براي هر $i=1,\dots,m$، در صورتیكه $y(p_i)$ یك جواب امكان ناپذیر است قرار دهید $f(p_i)=M$ (یك عدد بسیار بزرگ)؛ در غیر اینصورت، مسئله UE را براي آن جواب حل و تابع $f(p_i)$را برابر تابع هدف طراحي قرار دهید. (در صورتیكه p_i یك جواب تكراري است، $f(p_i)$ از اطلاعات قبلي جایگزین مي شود).

گام 3 - محاسبه بهترین موقعیتهاي محلي و جهاني برای هر $i=1,...,m$ قرار دهید.

(24-2)
$$p_i^* = \arg\ \min(f(p^*_i), f(p_1))$$

و سپس قرار دهید:

(25-2)
$$p_g^* = \arg\ \min(f(p_g), (p_1), ..., f(p_m))$$

گام 4 - بررسي شرط توقف

قرار دهید $t=t+1$. اگر $t \le N$ قرار دهید $\omega = \max(\omega - (\omega_f - \omega_i)/N, \omega_f)$ و به گام 1 برگردید. در غیر اینصورت $y^* = y(p_g^*)$ را با تابع هدف طراحي $T^* = T(y^*)$ به عنوان بهترین جواب بدست آمده براي مسئله طراحي شبکه گزارش کنید. ■

6-2- جمع بندی

مسئله طراحی شبکه حمل و نقل از جمله مباحث پیچیده و مورد توجه در زمینه مدیریت شهری می باشد. برخی پژوهشگران مانند لبلانک[18] روش های حل دقیق را برای این مسئله پیشنهاد کرده اند. برخی دیگر از محققین مانند بابازاده و همکاران[38] با توجه به محدودیت روش های حل دقیق برای حل مسائل واقعی و بزرگ مقیاس، روش های ابتکاری و فراابتکاری را برای این مسئله پیشنهاد نموده اند. استفاده فرضیاتی که بیشتر به واقعیت نزدیک می باشد همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. به عنوان مثال، هرچند استفاده از مدل تعادل استفاده کننده حل مسئله را نسبت به حالت بهینه سیستم دشوارتر می کند، اما با توجه به واقعی تر بودن این فرضیه پژوهشگران آن را به مدل بهینه سیستم ترجیح می دهند. یکی دیگر از فرضیات مهم در مسئله طراحی شبکه، تقاضای ورودی مسئله است.

تقاضای متغیر نسبت به تقاضای ثابت رفتار استفاده کنندگان را بهتر و دقیق تر مدل می کند (شفی[2]). هر چند که تقاضای متغیر از نظر تئوری می‌تواند جواب های مسئله طراحی شبکه را تغییر دهد، در تمامی مطالعات انجام شده در زمینه طراحی شبکه حمل و نقل تقاضا ثابت فرض شده است. هدف این پایان نامه بررسی میزان اهمیت یا عدم اهمیت استفاده از تقاضای متغیر نسبت به تقاضای ثابت در حل مسئله طراحی شبکه است.

منـابـع و مـراجع

REFERENCES

Abdulaal, M., LeBlanc, L.J. Continuous equilibrium network design models. Transportation Research 13B, 19– 32, 1979.

Azimi, Ghazaleh, Hamidreza Asgari, Alireza Rahimi, and Xia Jin. Investigation of heterogeneity in severity analysis for large truck crashes. No. 19-02748. 2019. https://scholar.google.com/scholar?cluster=14444678103173399465&hl=en&as_sdt=0,10&sciodt=0,10 https://trid.trb.org/view/1658006

Azimi, G., Rahimi, A., Asgari, H., & Jin, X. (2020). Severity analysis for large truck rollover crashes using a random parameter ordered logit model. Accident Analysis & Prevention, 135, 105355. https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.105355 https://scholar.google.com/scholar?cluster=16968193197712644355&hl=en&as_sdt=0,10&sciodt=0,10

Rahimi, A., Azimi, G., Asgari, H., & Jin, X. (2019). Clustering approach toward large truck crash analysis. Transportation research record, 2673(8), 73-85. https://doi.org/10.1177%2F0361198119839347

Bojian Zhou, Michiel Bliemer, Hai Yang, Jie He, 2014. A trial-and-error congestion pricing scheme for networks with elastic demand and link capacity constraints. Transportation Research Part B, 72, 77–92, 2015.

Boyce, D.E., Farhi, A., Weischedel, R. Optimal network problem: a branch-and-bound algorithm. Environment and Planning 5, 519–533, 1973.

Braess, D. Uber ein paradox der verkehrsplanung. *Unternehmenstorchung 12,* pp. 258-268, 1968.

Bruynooghe, M. An Optimal Method of Choice of Investments in a Transport Network. In: PTRC Proceedings, 1972.

Jin, Xia, Hamidreza Asgari, Ming Lee, Alireza Rahimi, Ghazaleh Azimi, Ilir Bejleri, Nahal Hakim, Liang Zhai, and Grady Carrick. "Large Truck Crash Analysis for Freight Mobility and Safety Enhancement in Florida." (2019). https://trid.trb.org/view/1679139 https://scholar.google.com/scholar?cluster=18089332597705060961&hl=en&as_sdt=0,10&sciodt=0,10 https://fdotwww.blob.core.windows.net/sitefinity/docs/default-source/research/reports/fdot-bdv29-977-31-rpt.pdf

C. Lee, K. Yang Network design of one-way streets with simulated annealing Papers in Regional Science, 73 [2], pp. 119–134, 1994.

Dantzig, G.B., Harvey, R.P., Lansdowne, Z.F., Robinson, D.W., Maier, S.F. Formulating and solving the network design problem by decomposition. Transportation Research Part B 13 [1], 5–17, 1979.

Azimi, G. (2017). Traffic Assignment Problem with Strict Capacity Constraints.

Jin, X., Asgari, H., Lee, M., Rahimi, A., Azimi, G., Bejleri, I., ... & Carrick, G. (2019). Large Truck Crash Analysis for Freight Mobility and Safety Enhancement in Florida. https://fdotwww.blob.core.windows.net/sitefinity/docs/default-source/research/reports/fdot-bdv29-977-31-rpt.pdf https://trid.trb.org/view/1679139 https://scholar.google.com/scholar?cluster=18089332597705060961&hl=en&as_sdt=0,10&sciodt=0,10

David Z.W. Wang, Haoxiang Liu, W.Y. Szeto, A novel discrete network design problem formulation and its global optimization solution algorithm, Transportation Research Part E, 213-230, 2015.

Parsa, A. B., Movahedi, A., Taghipour, H., Derrible, S., & Mohammadian, A. K. (2020). Toward safer highways, application of XGBoost and SHAP for real-time accident detection and feature analysis. Accident Analysis & Prevention, 136, 105405.

Parsa, A. B., Movahedi, A., Taghipour, H., Derrible, S., & Mohammadian, A. K. (2020). Toward safer highways, application of XGBoost and SHAP for real-time accident detection and feature analysis. Accident Analysis & Prevention, 136, 105405.

E. Miandoabchi, R.Z. Farahani Optimizing reserve capacity of urban road networks in a discrete network design problem Advances in Engineering Software, 42 [12], pp. 1041–1050, 2010.

EMME release 9.2, INRO Consultant, INC., Montreal, Canada, 1992.

Abedin, M., & Mehrabi, A. B. (2019). Novel approaches for fracture detection in steel girder bridges. Infrastructures, 4(3), 42.

Abedin, M., Farhangdoust, S., & Mehrabi, A. B. (2019, August). Fracture detection in steel girder bridges using self-powered wireless sensors. In Proceedings of the In Risk-Based Bridge Engineering: Proceedings of the 10th New York City Bridge Conference (p. 216).

Florian, M. and Nguyen, S., Recent Experience with Equilibrium Methods for the Study of a Congested Urban Area Proceedings of the International Symposium on Traffic Equilibrium Methods, University of Montreal, 1974.

Azimi, G., Rahimi, A., Asgari, H., & Jin, X. (2020). The Role of Attitudes in Transit and Auto Users' Mode Choice of Ridesourcing. Transportation Research Record

Rahimi, A., Azimi, G., Jin, X., Zhai L., & Bejleri, I. (2020). Exploring Crash Causation for Large Truck-Involved Accidents: A Hierarchical Framework. Journal of Transportation Engineering.

Rahimi, A., Azimi, G., Asgari, H., & Jin, X., (2020). Injury Severity of Pedestrian and Bicyclist Crashes Involving Large Trucks. Journal of Transportation Engineering.

Rahimi, A., Azimi, G., Asgari, H., & Jin, X., (2020). Potential Implications of Automated Vehicle Technologies on Travel Behavior-A Literature Review. Journal of Transportation Engineering.

Azimi, G., Rahimi, A., Asgari, H., & Jin, X. Investigating the Impacts of Mode Dependency on Ride-Hailing Decisions (2020). COTA International Conference of Transportation Professionals.

Florian, M. Hearn, H. Chapter 6: Network equilibrium models and algorithms. Handbooks in Operations Research and Management Science, Volume 8, Pages 485-550, 1995.

Friesz, T.L. Transportation network equilibrium, design and aggregation: key developments and research opportunities. Transportation Research Part A 19 (5–6), 413–427, 1985.

Gerard de Jong and Hugh Gunn, Recent Evidence on Car Cost and Time Elasticities of Travel Demand in Europe, Journal of Transport Economics and Policy Vol. 35, No. 2, pp. 137-160, 2001.

Asgari, H., Rahimi, A., Azimi, G., Wu, J., & Jin, X. Application of Machine Learning Methods in Crash Severity Prediction for Large Truck-Involved Work Zone Crashes (2020). COTA International Conference of Transportation Professionals.

H. Farvaresh, M. Sepehri, A branch and bound algorithm for bi-level discrete network design problem Networks and Spatial Economics, 13 [1], pp. 67–106, 2013.

H. Yang, M.G.H. Bell A capacity paradox in network design and how to avoid it Transportation Research Part A, 32 [7], pp. 539–545, 1998.

H. Zhang, Z. Gao Two-way road network design problem with variable lanes Journal of Systems Science and Systems Engineering, 16 [1], pp. 50–61, 2007.

J. G. Wardrop, Some theoretical aspects of road traffic research, in Inst Civil Engineers Proc London, UK, 1952.

J. Kennedy and R. Eberhart, Particle swarm optimization, in Neural Networks. IEEE International Conference on, 1995, vol. 4, pp. 1942–1948, 1995.

J. Long, Z. Gao, H. Zhang, W.Y. Szeto A turning restriction design problem in urban road networks European Journal of Operational Research, 206 [3], pp. 569–578, 2010.

J.J. Wu, H.J. Sun, Z.Y. Gao, H.Z. Zhang Reversible lane-based traffic network optimization with an advanced traveller information system Engineering Optimization, 41, pp. 87–97, 2009.

Ke Han, Terry L. Friesz, W.Y. Szeto c, Hongcheng Liu. Elastic demand dynamic network user equilibrium: Formulation, existence and computation. Transportation Research Part B, 81 183–209, 2015.

L. Zhang, H. Yang, D. Wu, D. Wang Solving a discrete multimodal transportation network design problem Transport. Res. Part C: Emerg. Technol., 49, pp. 73–96, 2014.

L.J. Leblanc An algorithm for the discrete network design problem, Transportation Science, 9 [3], pp. 183–199, 1975.

Larry J. Leblanc, Edward K. Morlok, William P. Pierskal, An efficient approach to solving the road network equilibrium traffic assignment problem, Transportation Science, pp. 172–181, 1975.

Lemke, C. E. Bimatrix equilibrium points and mathematical programming, Management Science, Vol. 11, No. 7, Series A, pp. 681-689, 1965.

M. Chen, A.S. Alfa A network design algorithm using a stochastic incremental traffic assignment approach Transportation Science, 25 [3], pp. 215–224, 1991.

M. Frank and P. Wolfe, An algorithm for quadratic programming, Naval research logistics quarterly, vol. 3, no. 1–2, pp. 95–110, 2006.

M. Gallo, L. D'Acierno, and B. Montella, A meta-heuristic approach for solving the Urban Network Design Problem, European Journal of Operational Research, vol. 201, no. 1, pp. 144–157, 2010

Abedin, M., Maleki, S., Kiani, N., & Shahrokhinasab, E. (2019). Shear Lag Effects in Angles Welded at Both Legs. Advances in Civil Engineering, 2019.

M. J. Beckmann, Equilibrium versus optimum in public transportation systems, in Traffic Equilibrium Methods, D. M. A. Florian, Ed. Springer Berlin Heidelberg, pp. 119–131, 1976.

Magnanti, T.L., Wong, R.T. Network design and transportation planning: models and algorithms. Transportation Science 18 [1], 1–55, 1984.

P.A. Steenbrink Transport network optimization in the Dutch integral transportation study Transportation Research, 8 [1], pp. 11–27, 1974.

Patriksson, M. The traffic assignment problem: models and methods. Utrecht, the Netherlands, 1994.

R. Farahani, E. Miandoabchi, W. Szeto, H. Rashidi, A review of urban transportation network design problems ,European Journal of Operational Research, 229, pp. 281–302, 2013.

S. Wang, Q. Meng, H. Yang Global optimization methods for the discrete network design problem Transport. Res. Part B, 5, pp. 42–60, 2013

Sheffi, Y. Urban transportation networks: equilibrium analysis and mathematical programming methods. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1985.

Samimi, A., Rahimi, E., & Amini, H. (2018). A disaggregate analysis of rail-truck mode choice behaviors for freight shipments in Iran and their environment effects. AMIRKABIR J. Civ. Eng, 50(3), 519-528.

Samimi, A., Rahimi, E., Amini, H., & Jamshidi, H. (2019). Freight modal policies toward a sustainable society. Scientia Iranica.

Suwansirikul, C., Friesz, T.L., Tobin, R.L. Equilibrium decomposed optimization: A heuristic for the continuous equilibrium network design problem. Transportation Science 40, 540–542, 1987.

Tatineni, M., Edwards, H. and Boyce, D. Comparison of the disaggregate simplicial decomposition and frank-wolfe algorithms for user-optimal route choice. Transportation Research Record, 1617, p.p. 157-162, 1998.

Understanding Transport Demands and Elasticities How Prices and Other Factors Affect Travel Behavior, Todd Litman Victoria Transport Policy Institute, 2013.

Wardrop, J. G. Some theoretical aspects of road traffic research. Proc., Institution of Civil Engineers, Part II, 1, pp. 325–378, 1952.

Yang, H., Bell, M.G.H. Traffic restraint, road pricing and network equilibrium. Transportation Research B 31, 303–314, 1997.

Yang, H., Meng, Q., Lee, D.H. Trial-and-error implementation of marginal-cost pricing on networks in the absence of demand functions. Transportation Research Part B 38 [6], 477–493, 2004.