بهینه‌سازی میزان کاهش زمان سفر از طریق طرح پرش-توقف در خطوط قطار شهری (مطالعه موردی: خط۲ متروی تهران)

رضا مؤیدفر*، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران
مجتبی رحمانیان، دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: r-moayedfar@araku.ac.ir
دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۲۵– پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۱۸
صفحه۱۹۵-۲۱۴

چکیده

شرایط ترافیکی امروز به ویژه در کلان‌شهرها، گسترش حمل‌ونقل همگانی را بهترین راهکار تلقی می‌کند و باید مردم را به استفاده از آن ترغیب نمود. این مهم نیازمند کاهش زمان سفر توسط حمل و نقل همگانی نسبت به زمان سفر توسط وسایل نقلیه شخصی می‌باشد. حمل و نقل ریلی یکی از شیوه‌های مهم حمل‌ونقل همگانی درون‌شهری می‌باشد که بخش مهمی از زمان سفر را تشکیل می‌دهد. طرح پرش-توقف یکی از طرح‌های سرعت‌بخشی به سیستم‌های قطار شهری می‌باشد که پس از بررسی و در صورت به صرفه بودن با کمترین هزینه‌ی زیرساختی قابلیت اجرایی خواهد داشت. بدین صورت که قطارهای حاضر در خط مورد نظر به دو نوع A و B و ایستگاه‌ها نیز بر اساس حجم عبوری مسافرین به سه نوع A، B و AB تقسیم می‌شوند. هر نوع قطار علاوه بر توقف در ایستگاه‌های هم‌نام خود، در ایستگاه‌های AB نیز توقف خواهد داشت و از روی سایر ایستگاه‌ها پرش خواهد نمود. در این پژوهش سعی شده است شیوه‌ی اجرایی طرح پرش-توقف به نحوی تعیین شود تا زمان سفر بهینه گردد. لذا برنامه‌ای نوشته و ارائه شده است تا در خطوط مترو پس از ورود اطلاعات مربوطه، بهترین شیوه‌ی اجرایی این طرح پیشنهاد شود. هم‌چنین مطالعه موردی در خط۲متروی تهران انجام گرفته و در نهایت بهترین شیوه‌ی اجرای این طرح پیشنهاد شده است.

واژه‌های کلیدی: حمل‌ونقل همگانی، قطارشهری، مترو، کاهش زمان سفر، پرش-توقف

۱- مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت شهرها و افزایش عرضه‌ی وسایل نقلیه‌ی موتوری و در نتیجه کاهش ظرفیت راه‌ها مسائل و مشکلات عمده‌ای را در نظام حمل‌ونقل و ترافیک به وجود آورده است. در این میان جایگاه حمل‌ونقل عمومی به دلیل دارا بودن امتیازاتی چون ظرفیت جابجایی بالای مسافر و بار، ایمنی، سرعت و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی مورد توجه برنامه‌ریزان حوزه‌ی حمل‌ونقل بوده است. [طلوعی زاده، ۱۳۹۲] از طرفی حمل‌ونقل ریلی را می‌توان به عنوان کاراترین سیستم حمل‌ونقل زمینی از لحاظ مصرف انرژی به حساب آورد. [یقینی، زنوززاده، ۱۳۹۳] هم اکنون مترو به عنوان ستون فقرات شبکه‌ی حمل‌ونقل عمومی، بسیاری از سفرهای شهری را که با انگیزه‌های گوناگون در شهرهای بزرگ اتفاق می‌افتد، به خود جذب کرده است. [طلوعی زاده، ۱۳۹۲] زمان بندی بهینه‌ی حرکت قطارهای مترو با توجه به هزینه های بالای بهره برداری و هم‌چنین نیاز به سوق دادن تقاضای حمل‌ونقل به سوی حمل‌ونقل عمومی، از اهمیت

بسیار بالایی برخوردار است. برنامه‌ریزی در شبکه های ریلی شامل زیرمسأله‌های گوناگونی می‌شود که به عنوان نمونه می‌توان به مسائل پیش‌بینی تقاضا، طراحی شبکه، طراحی خطوط، زمان‌بندی حرکت قطارها، برنامه ریزی وسایل نقلیه و زمان‌بندی خدمه اشاره نمود. [یقینی، زنوززاده، ۱۳۹۳] در این مقاله نحوه حرکت قطارها و زمان‌بندی آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت و به دنبال راهکاری خواهیم بود تا بتوانیم از طریق آن بهترین شیوه حرکت قطار را در خطوط انتخاب کنیم. طرح پرش-توقف به قطار اجازه می‌دهد تا از روی برخی ایستگاه‌ها پرش نماید و در آن‌ها توقف نداشته باشد. بدین صورت که قطارها به دو نوع A و B تقسیم شده و قطار A در برخی ایستگاه‌ها و قطار B در برخی دیگر توقف نخواهند داشت.

۲- پیشینه تحقیق

روزانه میلیون‌ها نفر در سراسر جهان و ازجمله کلان شهر تهران به وسیله حمل‌ونقل انبوه (مترو) جابجا می‌شوند. از طرفی تشویق مردم به روی آوری به حمل‌ونقل همگانی و کاهش استفاده از وسایل نقلیه شخصی همواره جزو برنامه‌های دولت‌ها در زمینه بهینه سازی مصرف سوخت و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی بوده است. از بین تمامی شیوه‌های حمل‌ونقل درون شهری، حمل‌ونقل ریلی یکی از پاک‌ترین شیوه‌ها می‌باشد که ترغیب مردم به استفاده از آن تأثیر به سزایی در تسریع سفرهای درون شهری خواهد داشت. در این سال‌ها نیز شاهد تسریع در اجرای خطوط جدید مترو در شهر تهران بوده ایم. با این وجود افزایش زمان سفر، تأخیر بیش از حد مسافرین در ایستگاه‌ها و شلوغی بیش از حد مترو می‌تواند رغبت مردم به استفاده از این مود حمل‌ونقلی را کاهش دهد. لذا یکی از راه‌های مناسب در جهت بهبود عملکرد خطوط مترو، کاهش زمان سفر می‌باشد. بخش اعظمی از زمان سفر صرف توقف قطار در ایستگاه‌ها می‌شود. در حالی که مشاهدات نشان می‌دهد در برخی ایستگاه‌ها تعداد مسافرینی که از قطار پیاده و یا به قطار سوار می‌شوند، بسیار کم می‌باشد و بالعکس حجم مسافرینی که در برخی ایستگاه‌ها (مانند محل تلاقی دو خط مترو) پیاده و یا سوار می‌شوند، بسیار زیاد است. بنابراین وقت اکثر مسافران در ایستگاه‌های کم تردد تلف می‌شود. برای بهبود این وضعیت اجرای طرحی پیشنهاد می‌شود که در آن خط مترو به دو قطار تقسیم می‌شود. قطار شماره ۱ در برخی ایستگاه‌های غیر ضروری توقف نمی‌کند و قطار دیگر (شماره ۲) در برخی دیگر؛ اما این توقف‌ها و عدم توقف‌ها باید به صورتی باشد که در هر ایستگاه حداقل یک قطار توقف داشته باشد. این طرح به اصطلاح «پرش-توقف» گفته می‌شود.

۳- پیشینه پژوهش

طرح زمان‌بندی حرکت قطارها و اجرای استراتژی «پرش-توقف» در تحقیقات کشورهای مختلف انجام شده است. در کشور ما بیشتر تحقیقات درباره زمان‌بندی حرکت قطارهای شهری انجام شده است و در زمینه اجرای طرح «پرش-توقف» کمتر مطالعاتی به چشم می‌خورد. در زیر به برخی از مهم‌ترین تحقیقات در این زمینه اشاره می‌شود:

طرح «پرش-توقف» برای اولین بار توسط ووچیک در سال ۱۹۷٦ میلادی مطرح گردیده و تاکنون در کشورهای مختلفی مطرح شده است. وی در کتاب خود سه طرح اساسی برای افزایش سرعت حرکت قطار شهری بیان کرده است: طرح «پرش-توقف»، طرح منطقه ای و طرح محلی. [Vuchic, 2005]. سرعت عملکردی یک مسیر حمل‌ونقل، یک ویژگی کلیدی است و پیامدهای بسیاری در عملکرد ITS دارد. به طور کلی پذیرفته شده است که افزایش سرعت عملکردی ناوگان، موجب کاهش هزینه‌های عملیاتی (در هرکیلومتر)، زمان سفر و زمان انتظار می‌شود (سه تغییر که می‌توان دقیقا محاسبه نمود). بهبود سطح آسایش و خدمات می‌تواند موجب جذب مسافرین جدیدی شود که از خودروی شخصی فاصله گرفته اند. به همین دلیل است که چندین طرح عملیاتی برای افزایش سرعت عملکردی مطالعه شده اند؛ مانند سوارشدن بدون بلیط، خدمت رسانی سریع، «پرش-توقف» و... . زمان مورد نیاز برای توقف در هر ایستگاه بخش مهمی از زمان سفر را شامل می‌شود که کاهش آن قطعا دستاورد مهمی است. در این مقاله بر روی طرح «پرش-توقف» برای خطوط حمل‌ونقل ریلی تک مسیره تمرکز شده است. این طرح با موفقیت در سیستم قطار شهری سانتیاگو در شیلی اجرا گردیده است. در این مقاله

توابع هزینه برای عملیات توقف در تمامی ایستگاه‌ها و نیز طرح «پرش–توقف» محاسبه و با حل یک مثال نمونه تکمیل شده است. [Maxime, 2013]

اخیرا شخصی بنام «جنگ لی» مدل برنامه ریزی عددد صحیح صفر و یک را برای عملیات «پرش–توقف» با هدف حداقل نمودن زمان کلی سفر مسافران ایجاد نموده است. [Zheng, 2009]

در یک مقاله قدیمی بیان شده که رایج‌ترین شیوه اجرای طرح «پرش–توقف» این است که نیمی از قطارها در مجموعه ای از ایستگاه‌ها بنام (A) و نیمی دیگر در مجموعه (B) توقف می‌نمایند و در ایستگاه‌های پرتردد همه قطارها متوقف می‌شوند (AB). در این تحقیق توابع ریاضی خدمات قطار شهری برای ساعات اوج و غیراوج ارائه شده اند. [Edward, Morlok, 1975]

در راه‌آهن شهری دوخطه معمولاً همه‌ی قطارها در تمامی ایستگاه‌ها توقف می‌کنند. برنامه‌ریزان حمل‌ونقل گزینه‌های محدودی را در اختیار دارند تا بدون زیرساخت‌های اضافی زمان‌های سفر را بهبود بخشند. خدمات را می‌توان با یک اعمال طرح «پرش–توقف» بهبود بخشید. زمانی که قطارها در یک زیرمجموعه ای از تمام ایستگاه‌ها، توقف دارند. الگوی «پرش–توقف» باید یک تعادل مطلوب بین زمان‌های کوتاه‌تر سفر و تناوب سرویس کمتر در هر ایستگاه بیابد. در این تحقیق یک فرمول عدد صحیح مختلط برای تجزیه و تحلیل این توازن پیشنهاد شده است. با این حال، فرمول عدد صحیح مختلط نمی‌تواند به‌طور مؤثر در مقیاس بزرگ تجزیه و تحلیل خط رفت و برگشت قطار مدل شود. یک الگوریتم ژنتیک برای جستجو در فضای جواب مسئله در یک دامنه بزرگتر و پیچیده‌تر ارائه شده است. در یک مطالعه موردی از یک خط رفت و برگشتی در ناحیه شمال شرقی ایالات متحده، به طور کلی زمان سفر مسافرین می‌تواند حدود ۹/۵درصد کاهش یابد. هر دو تحلیل می‌توانند به اپراتورهای حمل‌ونقل نشان دهند که چگونه خدمات خود به مشتریان را بهبود بخشیده و تعداد مسافر خود را افزایش دهند. [Samuel, Sogin, 2012]

در کشور کره جنوبی چندین تحقیق بر روی طرح «پرش–توقف» در خطوط مترو انجام شده است. طبق پژوهشی که در سال ۲۰۰۷ بر روی خط ۵ متروی سئول ، با شبیه سازی زبان c انجام شده، مشاهده گردید که زمان انتظار در ساعات اوج، بین ٤٣/٨ تا ٥٦/٣ درصد افزایش داشته است. اما زمان سفر در مقایسه با سیستم‌های موجود بین ۱۰/۸ تا ۱۲/۹ درصد کاهش داشته است. با توجه به اینکه زمان انتظار حدود ٦/٩ تا ١١/٦ درصد از زمان کل سفر می‌باشد، زمان کلی سیستم سفر بین ۷/۱ تا ۷/۸ درصد و در بالاترین حد ۹/۸ درصد کاهش را نشان می‌دهد. سیستم «پرش–توقف» می‌تواند بدون ساخت امکانات اضافی، موجب بهبود نظام موجود شود. [Suh, Chon, 2007]

طبق یکی از تحقیقاتی که اخیرا در کشور کره جنوبی و تحت نظر دولت این کشور انجام شده است، نتایج خوبی حاصل شد. در این تحقیق که از الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی کاهش زمان سفر استفاده شده، بهبود کلی ارائه خدمات و کاهش کلی زمان سفر از نتایج مثبت این تحقیقات بوده که در نهایت منجر به افزایش سرعت عملکردی شده است. خط ٤ متروی شهر سئول به صورت موردی، تحت مطالعه قرار گرفته و با اجرای طرح «پرش–توقف»، زمان کلی سفر حدود ۱۷ تا ۲۰ درصد کاهش یافته است. متوسط زمانی که مسافران در قطار هستند، در ایستگاه‌هایی که پرش اتفاق می‌افتد، ۲۰ تا ٢٦ درصد کاهش داشته است. هرچند زمان انتظار، انتقال و دسترسی اضافی ٢٤ تا ۳۸ درصد افزایش نشان می‌دهد. [Young, 2012]

در یک پژوهش دیگر، برنامه ریزی طرح «پرش–توقف» توسط الگوریتم ژنتیک درونی صورت پذیرفته است که در نهایت این الگوریتم به طور موفقیت آمیزی در دنیای واقعی آزمایش و اجرا شده است. [Huimin, 2011]

استراتژی عملیات «پرش–توقف» به ندرت در شبکه‌های حمل‌ونقل ریلی چین دیده می‌شود چراکه طرحی ساده است اما کمتر در خدمات حمل‌ونقل، جهانی شده است. با این حال این استراتژی دارای مزایای عملکردی مانند کاهش زمان کلی سفر می‌باشد که به تعداد ایستگاه‌ها و میزان شلوغی مسافرین بستگی دارد تا بتوان سرعت تخلیه مسافران را در ایستگاه‌های متراکم و پرتردد در ساعات اوج افزایش داد که منجر به کاهش هزینه‌های شرکت‌های حمل‌ونقل خواهد شد. [Zhichao, Zhnzhou, 2014]

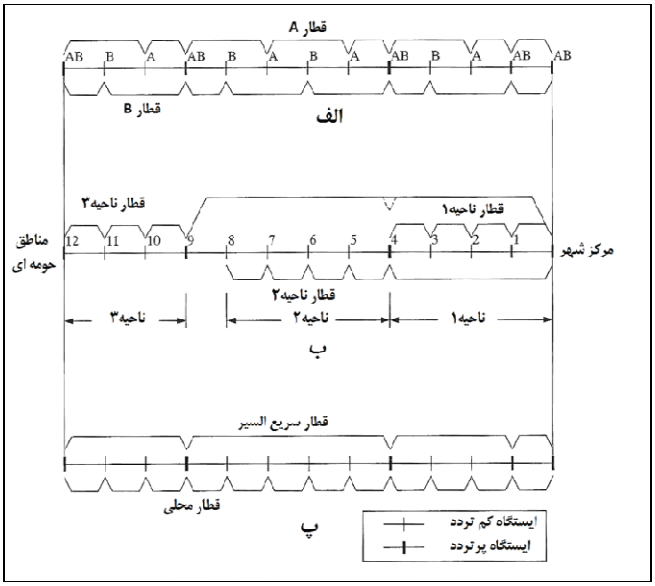
مسئله برنامه ریزی قطار شهری با توجه به مبدأ–مقصد وابسته به تقاضای مسافران، برای سیستم‌های ریلی درون

شهری در نظر گرفته شده است. در مقاله ای دیگر یک روش بهینه سازی برای حل مسئله زمان‌بندی قطار با طرح «پرش-توقف» پیشنهاد شده که اساسا یک مسئله عدد صحیح مختلط غیرخطی می‌باشد. عملکرد روش پیشنهادی از طریق مطالعه موردی با استفاده از داده‌های خط متروی پکن نشان داده شده است. [Wang, 2014]

«یی هونگ وای» نیز در فصل پنجم کتاب خود، بر اساس ماتریس مبدأ-مقصد، مشخصات تقاضای سفر شامل (تعداد مسافر منتظر، تعداد مسافر باقیمانده در قطار و تعداد مسافر باقیمانده در ایستگاه بلافاصله پس از خروج قطار) و نیز تعامل مسافر و وسیله نقلیه مدلی برای زمان‌بندی حرکت قطارهای شهری ارائه کرده است که بر اساس الگوریتم روش *ICP* ایجاد شده است. این مدل نهایتا برای طرح عدم توقف قطار در ایستگاه‌های کوچک (کم تردد) بسط داده شده و در یک مطالعه موردی بر روی خط متروی «یی ژوآنگ» بررسی گردیده است. این بررسی نشان می‌دهد که استراتژی «پرش-توقف» می‌تواند منجر به چرخه زمانی کوتاه تری شود. [Yihui, 2014]

٤- طرح پرش-توقف

«ووچیک» در کتاب خود به بررسی راه‌های افزایش سرعت حرکت سیستم حمل‌ونقل همگانی پرداخته است. توقف در ایستگاه‌ها، یک جزء مهم از زمان سفر در خطوط حمل‌ونقل همگانی به ویژه در سیستم‌های ترانزیت سریع محسوب می‌شود که نباید منجر به تأخیر گردد. فاصله بین ایستگاه‌ها در خطوط مترو در مناطق شهری معمولاً با پوشش منطقه ای مورد نیاز (بین ۵۰۰ تا ۹۰۰ متر) تعیین می‌گردد. با این فاصله گذاری، میانگین سرعت عملکردی واحدهای حمل‌ونقلی در محدوده‌ی ۲۵ تا ۳۵ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. این سرعت‌ها برای فواصل سفر معمولی (تا ۸ یا ۱۰ کیلومتر) در شهرها رضایت بخش است. اگرچه برای خطوط و سفرهای طولانی (۱۰ تا ۲۰ کیلومتر) گاهی اوقات سرویس دهی بسیار آهسته می‌شود. اگر تعیین موقعیت ایستگاه‌ها و هم‌چنین تعداد ایستگاه‌ها در طول خط ثابت شده باشد، تنها راه برای افزایش سرعت سیستم قطار شهری، معرفی طرح‌های سرعت بخشی می‌باشد که در آن‌ها برخی قطارها در بعضی از ایستگاه‌ها توقف نمی‌کنند. سه نمونه از طرح‌های سرعت بخشی شامل «طرح پرش-توقف»، «طرح ناحیه ای» و «طرح سریع السیر- محلی» می‌باشد که در شکل(۱) نشان داده شده است. طرح‌های سرعت بخشی عمدتاً در بیشتر خطوط طولانی با تعداد زیاد ایستگاه‌ها قابل به‌کارگیری بوده که علاوه بر آن به سرویس متناوب نیاز دارد. بنابراین برای تعداد زیادی از خطوط سریع به ویژه در طول ساعات اوج قابل استفاده می‌باشد. [Vuchic, 2005]



شکل۱. انواع طرح‌های سرعت بخشی: الف) طرح «پرش-توقف» ب) طرح «ناحیه‌ای» پ) طرح «سریع السیر-محلی»[Vuchic, 2005]

همان گونه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، اجرای طرح‌های ناحیه ای و محلی نیازمند بیش از ۲ خط ریل می‌باشند. اما طرح پرش-توقف را می‌توان در دو خط ریلی رفت و برگشت اجرایی نمود. لذا با توجه به این مطلب که تغییر زیرساخت‌ها در سیستم قطار شهری به ویژه مترو تقریباً غیرممکن می‌باشد، اجرای طرح‌های سرعت بخشی به حرکت قطار برای سیستم‌های حمل‌ونقل همگانیِ ریلیِ ساخته شده، محدود به طرح پرش-توقف خواهد شد و با کمترین هزینه ممکن در امر زیرساخت و با تغییر برنامه حرکت قطارها می‌توان زمینه‌ی افزایش سرعت حرکت سیستم و در نتیجه کاهش زمان سفر را فراهم نمود. هرچند این امر نیاز به بررسی‌های دقیق آماری خواهد داشت تا تصمیم نهایی راجع به اجرا و یا عدم اجرای طرح پرش-توقف اتخاذ گردد.

۵- روش کار

۵-۱- جمع آوری اطلاعات

در این پروژه، اولین داده مورد نیاز اطلاعات مبدأ-مقصد مسافرین در طول خط مترو می‌باشد. این که مسافران در کدام ایستگاه سوار بر قطار شده و در کدام ایستگاه از آن پیاده می‌شوند. این داده به صورت یک ماتریس مربعی به ابعاد $n*n$ نمایش داده می‌شود و نشان می‌دهد از مبدأ i به مقصد jچه تعداد مسافر وارد خط قطار شهری شده اند.

بازه‌ی زمانی این اطلاعات نیز حائز اهمیت است. این بازه می‌تواند به صورت روزانه، هفتگی، ماهیانه و یا سالیانه باشد. اما با توجه به گستردگی این ماتریس، اطلاعات مربوط به یک هفته‌ی معمولی مناسب است که از مرکز کنترل و بهره برداری مترو قابل دریافت می‌باشد.

یکی دیگر از داده‌های مورد نیاز اطلاعات زمانی حرکت قطار شهری می‌باشد. خط مترویی که مورد مطالعه قرار می‌گیرد، در حالت اولیه یک سری اطلاعات مربوط به زمان سفر از جمله سرفاصله زمانی در اوقات مختلف هفته و روز، زمان سفر بین ایستگاه‌ها، زمان شتاب گیری و ترمز گیری، زمان حرکت با سرعت ثابت و زمان توقف در ایستگاه‌ها از این موارد می‌باشند. این اطلاعات در طرح پرش-توقف نیاز به اصلاحات اساسی داشته و پس از محاسبه اطلاعات زمانی حرکت هر قطار، زمان سفر بین مبدأ i تا مقصد j محاسبه می‌گردد.

در حقیقت تابع هدف به شکل رابطه‌ی (۱) نمایش داده می‌شود و در پایان نیز بر حسب این تابع بهترین شیوه اجرای طرح پرش-توقف انتخاب می‌گردد:

(۱)

$$F(X(i)) = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} OD(i,j).T(i,j) \quad ;$$

$$X(i) = \begin{Bmatrix} 1, i \equiv A \\ 0, i \equiv AB \\ -1, i \equiv B \end{Bmatrix}$$

$F(X(i))$: مجموع حاصل ضرب تعداد افرادی که از مبدأ i به مقصد jسفر می‌کنند در مدت زمان سفرشان

$OD(i,j)$: تقاضای مبدأ-مقصد مسافران بین ایستگاه‌های i و j

$T(i,j)$: زمان سفر

زمان سفر هر مسافر از مبدأ i به مقصد j طبق رابطه‌ی (۲) محاسبه می‌شود:

(۲)

$$T(i,j) - ST(i,j) + WT(i) + TT(i,s_t) + AT(i,s_o) + ET(s_d,j)$$

در این رابطه پارامترها به صورت زیر تعریف می شوند:

$ITT(i,j)$: زمان سفر اولیه بین ایستگاه های i و jدر حالت استاندارد (بدون پرش)

$ST(i,j)$: زمان به دست آمده از طریق پرش قطار در ایستگاه (های) خاص بین ایستگاه های i و j

$WT(i)$: میانگین زمان انتظار در ایستگاه i

s_t: ایستگاه انتقالی بین مبدأ و مقصد که هر دو قطار در آن توقف می‌کنند

$TT(i,s_t)$: زمان انتقال مورد نیاز برای تغییر قطار در ایستگاه انتقال (s_t)

s_o: نزدیک ترین ایستگاه به مبدأ با قطار یکسان به مقصد

$AT(i, s_o)$: زمان دسترسی به ایستگاه s_o با قطار یکسان به مقصد

s_d: نزدیک ترین ایستگاه به مقصد با قطار یکسان از مبدأ

$ET(s_d, j)$: زمان خروج از ایستگاه s_d با قطار یکسان از مبدأ

۵-۲- تعیین شیوه‌ی حرکت قطار در سناریوهای مختلف

در حالت استاندارد یا اولیه قطار در تمامی ایستگاه‌ها برای سوار و پیاده کردن مسافران توقف می‌کند. اما در طرح پرش-توقف هریک از دو قطار در تعدادی از ایستگاه‌ها توقف نمی‌کنند و اصطلاحاً از روی برخی ایستگاه‌ها پرش می‌نمایند. ایستگاه‌هایی که قطارها از روی آن‌ها پرش می‌کنند، باید در برابر سایر ایستگاه‌ها از حجم تبادل مسافر کمتری برخوردار باشند. لذا برای تعیین این ایستگاه‌ها توجه به آمار مبدأ-مقصد مسافران ضروری می‌باشد.

برای تشخیص و تعیین بهترین شیوه اجرای طرح پرش-توقف نیاز به تعیین سناریوهای مختلفی داریم تا طبق معیارهای مورد نظر بین آن‌ها بهترین سناریو را انتخاب کنیم. این سناریوها باید از یک سری ویژگی برخوردار باشند. از جمله این که:

- سناریوها اجرایی باشند؛
- تردد مسافر در ایستگاه‌های A و B از تردد مسافر در ایستگاه‌های AB کمتر باشند؛
- حجم مسافران قطارهای A و B تا حدودی با هم برابر باشند؛
- ایستگاه‌های A و B به طور یکنواخت در سطح خط توزیع شوند؛
- نوع ایستگاه‌ها (A، B یا AB) در حرکت رفت و برگشت قطار یکسان باشد.

بدین منظور با یک برنامه نویسی متلب سناریوهایی را طبق آمار مبدأ-مقصد تعیین می‌کنیم. به این صورت که ایستگاه‌ها با کمترین حجم تبادل مسافر را یک به یک جدا می‌کنیم. سناریوی اول به حالت استاندارد (بدون پرش-توقف) اختصاص می‌یابد و در آن تمامی ایستگاه‌ها از نوع AB می‌باشند؛ یعنی تمام قطارها در تمام ایستگاه‌ها توقف می‌کنند. در سناریوی دوم، ایستگاهی که کمترین حجم تبادل مسافر را دارد، ایستگاه A نامیده شده و سایر ایستگاه‌ها به صورت AB باقی می‌مانند. به عبارت دیگر قطار A در ایستگاه A و ایستگاه‌های AB توقف می‌نماید و از روی ایستگاه B پرش می‌کند. در سناریوی سوم، دو ایستگاه با کمترین حجم تبادل مسافر به ترتیب ایستگاه A و B نامیده می‌شوند و سایر ایستگاه‌ها به صورت AB باقی می‌مانند. به عبارت دیگر قطار A در ایستگاه A و ایستگاه‌های AB توقف می‌نماید و از روی ایستگاه B پرش می‌کند. هم‌چنین قطار B در ایستگاه B و ایستگاه‌های AB توقف نموده و از روی ایستگاه A پرش می‌کند. در سناریوی چهارم، سه ایستگاه با کمترین حجم تبادل مسافر به ترتیب ایستگاه A، B و A نامیده می‌شوند و سایر ایستگاه‌ها به صورت AB باقی می‌مانند. به عبارت دیگر قطار A در ایستگاه‌های A و AB توقف می‌نمایند و از روی ایستگاه B پرش می‌کنند. هم‌چنین قطار B در ایستگاه B و ایستگاه‌های AB توقف نموده و از روی ایستگاه‌های A پرش می‌کند. در سناریوی پنجم، چهار ایستگاه با کمترین حجم تبادل مسافر به ترتیب ایستگاه A، B، A و B نامیده می‌شوند و سایر ایستگاه‌ها به صورت AB باقی می‌مانند. به عبارت دیگر قطار A در ایستگاه A و AB توقف می‌نمایند و از روی ایستگاه‌های B پرش می‌کنند. هم‌چنین قطار B در ایستگاه‌های B و AB توقف نموده و از روی ایستگاه‌های A پرش می‌کند. این سناریوها به صورت خودکار توسط برنامه ایجاد می‌شوند و تا حالتی که تمام ایستگاه‌ها به صورت A و B در بیایند ادامه پیدا می‌کند. این برنامه به طوری نوشته شده است که محدودیتی در تعداد ایستگاه‌ها وجود ندارد. اگر تعداد ایستگاه‌ها n باشد، تعداد $(n+1)$ سناریو تشکیل می‌شود. بنابراین در پایان این مرحله تعدادی سناریو تولید شده است که در مراحل بعد باید از بین آن‌ها سناریوی بهینه را انتخاب نمود.

۵-۳- تعیین نوع مبدأ-مقصد (OD)

همان گونه که گفته شد، ایستگاه‌ها به سه نوع A، B یا AB تقسیم شدند و در هرسناریو نوع ایستگاه‌ها مشخص می‌باشد. اکنون نوع سفر را باید تعیین کنیم. در نوع سفر دو ایستگاه مد نظر می‌باشد. ایستگاه مبدأ(i) و ایستگاه مقصد (j). هرکدام از ایستگاه‌های مبدأ یا مقصد می‌توانند از نوع A،

B یا AB باشند. با این تفاسیر انواع سفر به صورت زیر می‌باشد:

نوع اول: هر دو ایستگاه مبدأ و مقصد از نوع AB باشند؛ در این شیوه‌ی سفر، مسافر بر اولین قطار سوار و بدون تعویض قطار در ایستگاه مقصد پیاده می‌شود.

نوع دوم: قطار بین مبدأ و مقصد یکی باشد؛ در این حالت، مسافر باید بر قطار A یا B سوار شده و تا مقصد با همان قطار طی مسیر نماید. لذا باید در مبدأ منتظر قطار مربوط به خود باشد.

نوع سوم: مبدأ و مقصد مسافر متضاد باشند، یعنی از ایستگاه A به ایستگاه B و یا از ایستگاه B به ایستگاه A سفر می‌کند؛ این شیوه سفر مشکل‌ترین شیوه در طرح پرش-توقف می‌باشد و باید سعی شود با انتخاب بهترین سناریو زمان انتظار و زمان سفر مسافرین این نوع شیوه به حداقل برسد. در جدول (۱) انواع مبدأ-مقصد و تصمیم های مسافر در هر نوع سفر نشان داده شده است.

جدول ۱. انواع مبدأ-مقصد و تصمیم های مسافر

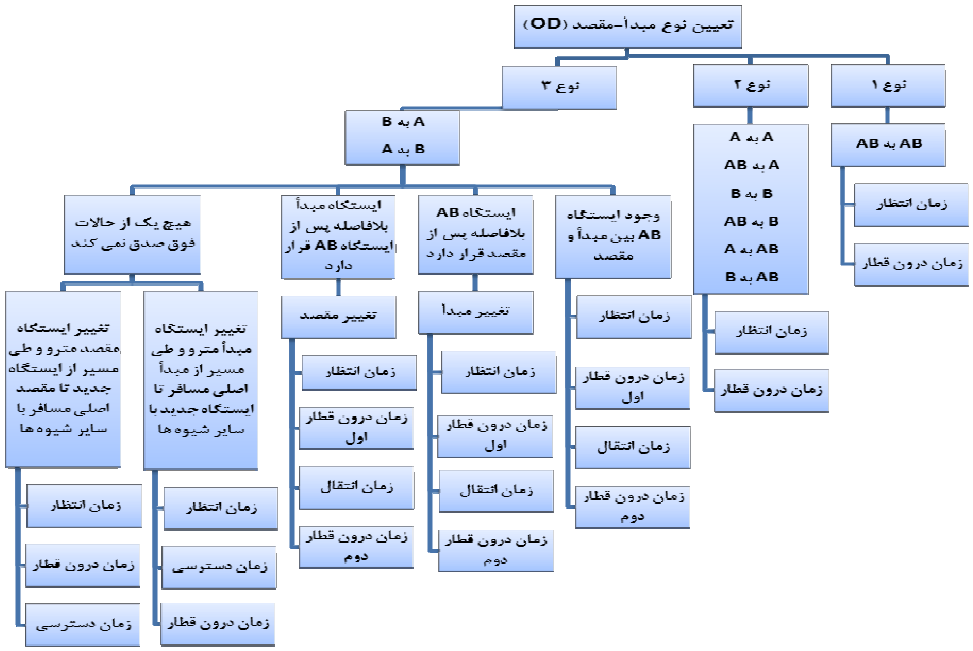
نوع سفر	مبدأ	مقصد	تصمیم
نوع اول	AB	AB	سوار شدن بر اولین قطار
نوع دوم	A	A	سوار شدن بر قطار A
	A	AB	
	B	B	سوار شدن بر قطار B
	B	AB	
	AB	A	منتظر ماندن برای قطار A
	AB	B	منتظر ماندن برای قطار B
نوع سوم	A	B	۱- سوار شدن بر قطار A و انتقال به قطار B در ایستگاه AB ۲- رفتن به نزدیک‌ترین ایستگاه B و طی مسیر تا مقصد ۳- سوار شدن بر قطار A و پیاده شدن در نزدیک‌ترین ایستگاه به مقصد
	B	A	۱- سوار شدن بر قطار B و انتقال به قطار A در ایستگاه AB ۲- رفتن به نزدیک‌ترین ایستگاه A و طی مسیر تا مقصد ۳- سوار شدن بر قطار B و پیاده شدن در نزدیک‌ترین ایستگاه به مقصد

۵-٤- تشکیل ماتریس زمان سفر مبدأ-مقصد

در این مرحله یک ماتریس با ابعاد $n*n$ برای تعیین زمان سفر بین مبدأ i تا مقصد j تشکیل می‌دهیم. در ابتدا و در حالت استاندارد بدون پرش، این ماتریس همان ITT می‌باشد که زمان سفر بدون عملکرد پرش-توقف را نشان می‌دهد. سپس برای هر سناریو ماتریس زمان سفر بین مبدأ و مقصد را باید محاسبه کرد تا در نهایت بر اساس تابع هدف تصمیم گیری و بهترین سناریو را انتخاب کرد. برای تعیین این ماتریس می‌توان از اطلاعات سفر خط متروی مورد نظر استفاده کرد. هم‌چنین با در اختیار داشتن فاصله‌ی بین ایستگاه‌ها، سرعت حداکثر قطار و نیز نرخ شتاب گیری و ترمزگیری قطار می‌توان این ماتریس را محاسبه کرد. از راه‌های دیگر تشکیل این ماتریس سوارشدن بر قطار و ثبت زمان سفر در طول مسیر می‌باشد که البته برای دقت بیشتر باید در چند نوبت مختلف و در ساعات مختلف روز این کار را انجام داد.

۵-۵- تعیین زمان سفر

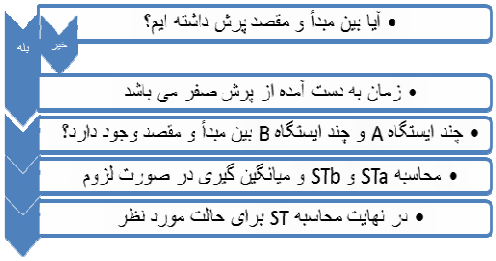
برای تک تک آرایه‌های ماتریس زمان سفر طبق رابطه‌ی (۲) در هرسناریو، براساس نوع سفر و با توجه به اطلاعات موجود، این مقدار محاسبه می‌گردد. همان‌گونه که در شکل(۲) مشاهده می‌شود، محاسبه‌ی زمان سفر برای هر آرایه از ماتریس نیازمند صرف زمان می‌باشد. اگر تمام آرایه‌ها را در نظر بگیریم و این کار را برای هر سناریو بخواهیم تکرار نماییم، مسلماً زمان بسیار زیادی لازم خواهد بود. لذا با نوشتن برنامه رایانه ای می‌توان این محاسبات طولانی را برای خطوط مترو به راحتی انجام داد.



شکل۲. انواع سفر و نحوه محاسبه‌ی زمان سفر برای حالات مختلف[Young, 2014]

می‌گردد. زمان سفر اولیه بین ایستگاه‌های i و j در حالت استاندارد نیز بر اساس اطلاعات مبدأ-مقصد مترو تعیین می‌شود. زمان به دست آمده از طریق پرش قطار در ایستگاه (های) خاص بین ایستگاه‌های i و j طبق الگوریتم بیان شده در شکل (۳) به دست می‌آید.

حال باید برای حالات ذکر شده در شکل(۲)، نحوه محاسبه‌ی زمان سفر را به برنامه معرفی کرد و پارامترهای لازم را تعیین نمود. زمان درون قطارها شامل زمان حرکت قطار در حالت استاندارد (بدون پرش-توقف) بوده که زمان به دست آمده از پرش بر روی ایستگاه‌ها نیز از آن کم



شکل۳. نحوه محاسبه‌ی زمان به دست آمده حاصل از پرش بر روی ایستگاه‌ها

زمان انتظار مسافران به نوع OD بستگی دارد. در نوع اول سفر از آن جا که مسافر بر اولین قطار سوار می‌شود و با همان قطار به مقصد خود می‌رسد لذا به طور میانگین زمان انتظار مسافران در ایستگاه مبدأ برابر با نصف سرفاصله زمانی (اولیه) حرکت قطار در نظر گرفته می‌شود. در نوع دوم سفر مسافر به وسیله یک قطار از مبدأ تا مقصد طی مسیر خواهد کرد. با این تفاوت که باید منتظر قطار متناسب با مبدأ و مقصد باشد تا به وسیله آن منتقل شود. لذا با این شرایط زمان انتظار مسافران دو برابر حالت قبل خواهد بود. برای نوع سوم سفر نیز زمان انتظار مسافران در ایستگاه مبدأ مشابه حالت قبل خواهد بود. سایر پارامترهای افزایش زمان سفر در نوع سوم سفر، در مراحل بعدی به صورت دقیق‌تر محاسبه خواهد شد.

زمان انتقال، زمان مورد نیاز برای تغییر قطار در ایستگاه انتقال (s_t) می‌باشد. ایستگاه انتقال به ایستگاهی گفته می‌شود که مسافر از قطار A پیاده شده و به قطار B سوار می‌شود و یا بالعکس، از قطار B پیاده شده، منتظر آمدن قطار A مانده و بر آن سوار می‌شود. مقدار زمان انتقال برای انواع سفر متفاوت می‌باشد. برای نوع اول و دوم سفر با توجه به اینکه مسافر از مبدأ تا مقصد را توسط یک قطار می‌پیماید، لذا نیاز به تعویض قطار نداشته و زمان انتقال برای این مسافرین صفر می‌باشد. اما در نوع سوم سفر با توجه به حالات مختلفی که به وجود می‌آید و ایستگاهی که مسافر تعویض قطار می‌نماید این زمان محاسبه خواهد شد.

زمان‌های ET و AT نیز تنها در نوع سوم سفر معنا پیدا می‌کنند. جایی که مسافران برای سفر بین مبدأ و مقصد اصلی خود، باید ایستگاه متروی مبدأ یا ایستگاه متروی مقصد را تغییر دهند. بدین صورت که اگر مسافر نزدیک‌ترین ایستگاه به مبدأ با قطار یکسان به مقصد برای شروع سفر ریلی انتخاب کند، زمان دسترسی او به ایستگاه مورد نظر AT نامیده و محاسبه می‌شود. هم‌چنین اگر مسافر نزدیک‌ترین ایستگاه به مقصد با قطار یکسان از مبدأ را برای پایان سفر ریلی خود انتخاب نماید، از ایستگاه پایانی مترو تا مقصد اصلی اش زمان خروج ET را خواهد داشت و باید محاسبه شود. در نوع سوم سفر برای محاسبه زمان‌های TT، ET و AT مراحل زیر را باید طی نمود:

حالت اول) بین مبدأ و مقصد ایستگاه AB (انتقالی) وجود دارد و در اولین ایستگاه AB قطار تعویض می‌گردد. در این نوع سفر به دلیل تعویض قطار دو حرکت وجود دارد؛ حرکت با قطار A و حرکت با قطار B. بنابراین زمان به دست آمده حاصل از پرش در ایستگاه‌ها را برای هر دو قطار (قطار اول بین مبدأ تا ایستگاه انتقالی و قطار دوم از ایستگاه انتقالی تا مقصد) محاسبه کرده و با هم جمع می‌کنیم تا مجموع زمان به دست آمده از پرش در ایستگاه‌ها محاسبه شود. در این نوع سفر با توجه به تعویض قطار در ایستگاه انتقالی، مسافر باید منتظر بماند تا قطار بعدی از راه رسیده و ادامه مسیر را توسط آن تا مقصد طی کند. این زمان برابر با سرفاصله زمانی دو قطار متوالی می‌باشد. در این نوع سفر، با توجه به این که مسافر نیازی به تغییر مبدأ یا مقصد ندارد، لذا زمان دسترسی از مبدأ اصلی مسافر تا ایستگاه متروی مبدأ و یا خروج از ایستگاه متروی مقصد تا مقصد اصلی مسافر صفر می‌باشد.

حالت دوم) بین مبدأ و مقصد، ایستگاه AB (انتقالی) وجود ندارد که در این صورت دو حالت به وجود می‌آید:

الف) قبل از مبدأ و یا بعد از مقصد (به فاصله یک ایستگاه) ایستگاه AB (انتقالی) وجود دارد و قطار در ایستگاه AB تعویض می‌گردد. این حالت در صورتی صدق می‌کند که مبدأ، ایستگاه شماره یک و مقصد، ایستگاه شماره n (ایستگاه آخر) نباشند. این حالت، تا حدودی شبیه حالت قبل می‌باشد و مسافر توسط دو قطار AB جابجا می‌شود. تنها تفاوت این حالت با حالت قبل این است که مسافر از ایستگاه مبدأ یک ایستگاه به عقب برگشته و از آنجا تا مقصد طی مسیر می‌نماید و یا از مبدأ تا یک ایستگاه پس از از مقصد رفته و توسط قطار دیگر یک ایستگاه باز می‌گردد. البته باید توجه داشت که این حالت تنها در صورت ضرورت و زمانی که بین مبدأ و مقصد ایستگاه انتقالی وجود ندارد اتفاق می‌افتد تا مسافر نیاز به جابجایی مبدأ و مقصد خود نداشته باشد. در این نوع سفر، زمان‌های ST، TT مانند حالت قبل بوده و AT و ET صفر می‌باشند. زمان سفر اولیه نیز در دوحالت مختلف تغییر می‌کند.

حالت الف-۱: زمان سفر اولیه بین مبدأ i و مقصد $i-1$ به اضافه‌ی زمان سفر اولیه بین مبدأ $i-1$ و مقصد j

حالت الف-۲: زمان سفر اولیه بین مبدأ i و مقصد $j+1$ به اضافه‌ی زمان سفر اولیه بین مبدأ $j+1$و مقصد j

باید به این نکته هم توجه کرد که طبق شماره گذاری یک طرفه ایستگاه‌ها این محاسبات در حالت رفت قطار صدق می‌کند و در حالت برگشت به صورت زیر می‌باشد:

حالت الف-۳: زمان سفر اولیه بین مبدأ i و مقصد $i+1$به اضافه‌ی زمان سفر اولیه بین مبدأ $i+1$ و مقصد j

حالت الف-٤: زمان سفر اولیه بین مبدأ i و مقصد $j-1$ به اضافه‌ی زمان سفر اولیه بین مبدأ $j-1$و مقصد j

ب) قبل از مبدأ و یا بعد از مقصد (به فاصله یک ایستگاه) ایستگاه AB (انتقالی) وجود ندارد. در این حالت چون دو حالت قبلی صدق نمی‌کند یعنی بین مبدأ و مقصد و هم‌چنین به فاصله یک ایستگاه قبل از مبدأ و یا بعد از مقصد ایستگاه انتقالی وجود ندارد، لذا مسافر مجبور است مبدأ یا

مقصد حرکت خود در مترو را تغییر دهد. بنابراین با دو حالت جدید مواجه می‌شویم: تغییر مبدأ و یا تغییر مقصد.

حالت ب-۱: تغییر مبدأ: اگر مسافر بخواهد مبدأ حرکت خود در مترو را تغییر بدهد، باید از مبدأ اصلی به نزدیک‌ترین ایستگاه هم نام با مقصد برود تا از آنجا توسط قطار مربوطه به مقصد برود. در این حالت زمان انتقالی صفر می‌باشد اما زمان‌های حاصل از پرش در ایستگاه‌ها، و نیز زمان دسترسی به ایستگاه متروی مبدأ باید محاسبه شوند. اگر ایستگاه مبدأ در حالت اولیه A باشد؛ مسافر به نزدیک‌ترین ایستگاه B مراجعه کرده و توسط قطار B به سمت مقصد که از نوع B می‌باشد حرکت می‌کند. در این حالت $ST=STb$ می‌باشد. اگر ایستگاه مبدأ در حالت اولیه B باشد؛ مسافر به نزدیک‌ترین ایستگاه A مراجعه کرده و توسط قطار A به سمت مقصد که از نوع A می‌باشد حرکت می‌کند. در این حالت $ST=STa$ می‌باشد. حالت ب-۲: تغییر مقصد: اگر مسافر بخواهد مقصد حرکت خود در مترو را تغییر بدهد، باید از مبدأ اصلی توسط مترو به نزدیک‌ترین ایستگاه هم نام با مبدأ به مقصد برود و از آنجا تا مقصد اصلی طی مسیر نماید. در این حالت زمان انتقالی صفر می‌باشد اما زمان‌های حاصل از پرش در ایستگاه‌ها، و نیز زمان خروج از ایستگاه متروی مقصد باید محاسبه شوند. اگر ایستگاه مبدأ از نوع B باشد، مسافر در مبدأ سوار بر قطار B شده، در نزدیک‌ترین ایستگاه B به مقصد اصلی از قطار پیاده می‌شود و تا مقصد اصلی که از نوع A می‌باشد توسط سایر وسایل نقلیه طی مسیر می‌کند. در این حالت $ST=STb$ می‌باشد. اگر ایستگاه مبدأ از نوع A باشد، مسافر در مبدأ سوار بر قطار A شده، در نزدیک‌ترین ایستگاه A به مقصد اصلی از قطار پیاده می‌شود و تا مقصد اصلی که از نوع B می‌باشد توسط سایر وسایل نقلیه طی مسیر می‌کند. در این حالت $ST=STa$ می‌باشد.

در این حالت‌ها باید توجه کرد که زمان سفر بین مبدأ و مقصد جدید مترو باید محاسبه شود و زمان حاصل از پرش در ایستگاه‌ها نیز طبق مبادی و مقاصد جدید محاسبه شود.

٦- برنامه نویسی متلب

٦-١- مقدمات

در بخش اول برنامه، مطابق شکل(٤)، اطلاعات مبدأ-مقصد به صورت یک فایل اکسل به نام *"Book1"* به برنامه داده می‌شود. هم‌چنین تعداد ایستگاه‌ها نیز مشخص می‌گردد.

```
filename = 'Book1.xlsx';
aod = xlsread(filename);
n=22;
```

شکل٤. مقدمات برنامه نویسی

```
for i=1:n
    for j=1:n
       sum = sum+aod(i,j);
    end
    bb(i)=sum;
    sum=0;
end
sum=0;
for i=1:n
    for j=1:n
        sum= sum + aod(j,i);
    end
    bb(i)= bb(i)+sum;
    sum=0;
end
```

شکل٥. ادامه مقدمات برنامه نویسی

سپس حجم تردد مسافرین از ایستگاه‌های مختلف توسط برنامه محاسبه می‌گردد. بدین صورت که طبق برنامه نوشته شده در شکل (۵) حجم مسافرانی که از ایستگاه i به ایستگاه j می‌روند با حجم مسافرانی که از ایستگاه j به ایستگاه i می‌روند، جمع زده می‌شود تا تمام ایستگاه‌ها از نظر حجم تردد مسافر رده بندی شوند. از آن جا که برای پیاده سازی و اجرای طرح پرش- توقف لازم است ایستگاه‌های مسیر رفت و مسیر برگشت از یک نوع باشند، لذا این رده بندی بر اساس حجم مسافران به صورت رفت و برگشتی انجام می‌پذیرد. رده‌بندی ایستگاه‌ها به صورت نشان داده شده در شکل(٦) انجام می‌شود. پس از رده بندی ایستگاه‌ها بر اساس حجم تردد مسافران، نوبت به تعیین نوع ایستگاه‌ها به شکل A، B و یا AB می‌رسد. به این صورت که پس از تولید تعداد $(n+1)$ سناریو توسط نرم افزار، برای هرکدام از سناریوها نوع ایستگاه‌ها مشخص می‌شود. در برنامه نشان داده شده پارامتر c جهت تعیین نوع ایستگاه به صورت اتوماتیک توسط برنامه مشخص می‌شود. بدین صورت که مقدار صفر نشان دهنده ایستگاه نوع AB، مقدار یک نشان دهنده ایستگاه نوع A و مقدار منفی یک نشان دهنده ایستگاه نوع B می‌باشد. برنامه برای هر سناریو طوری نوع ایستگاه‌ها مشخص می‌کند که سایر ایستگاه‌هایی که از نوع AB نیستند، به صورت یک‌درمیان A و B نام گذاری می‌شوند تا سناریوها به صورت اجرایی باشند، حرکت قطارها به راحتی و سرعت بیشتری انجام شود و ایمنی طرح بالا رود.

```
for i=1:(n+1)
[M,I] = min(bb);
x(t)=I;
t=t+1;
bb(I)=1e10;
[M,I] = min(bb);
x(t)=I;
bb(I)=1e10;
t=t+1;
end
z=2;
for i=1:n
    y(1:i)=sort(x(1:i));
    for (j=1:i)
        c(y(j),i)=(-1)^z;
        z=z+1;
    end
        z=2;
end
```

شکل٦. نحوه رده‌بندی ایستگاه‌ها در برنامه‌نویسی

```
d(1:n,1)=0;
c =[d,c];
sum1=0;sum2=0;sum3=0;zz(1:n+1)=0;
for k=1:n+1
    for i=1:n
        if(c(i,k)==1)
          sum1= sum1+ dd(i);
        elseif (c(i,k)==-1)
            sum2= sum2+ dd(i);
        elseif (c(i,k)==-1)
            sum3= sum3+dd(i);
        end
        if
(((sum1+(sum3/2))/(sum2+(sum3/2))<0.75)|((sum1+(sum3/2))/(sum
2+(sum3/2))>1.25))
            zz(k)=1;
        end
    end
end
```

شکل۷. ادامه‌ی برنامه نویسی و تعیین حجم تبادل سفر

در مرحله‌ی بعد بر اساس مجموع حجم تبادل مسافر در انواع ایستگاه‌های مختلف، تعدیل حجم مسافران در قطارهای A و B بررسی می‌شود. به این صورت که اگر حجم مسافران در هر قطار با قطار دیگر بیش از ۱۰ درصد تفاوت داشته باشد، آن سناریو به عنوان سناریوی نامناسب به کاربر معرفی می‌گردد. در شکل(۷) مقادیر *(sum1)* ، *(sum2)* و *(sum3)* به ترتیب نشان‌دهنده‌ی حجم تبادل مسافر در ایستگاه‌های A، B و AB می‌باشد. نسبت حجم مسافران در قطار A به حجم مسافران در قطار B به این صورت محاسبه می‌شود که مجموع حجم تبادل مسافر در ایستگاه‌های A و نیمی از حجم تبادل مسافر در ایستگاه‌های AB محاسبه شده و بر مقدار مجموع حجم تبادل مسافر در ایستگاه‌های B و نیمی از حجم تبادل مسافر در ایستگاه‌های AB تقسیم می‌شود. این کار به این دلیل صورت می‌پذیرد که قطارهای A و B علاوه بر ایستگاه‌های هم نام خود از سایر ایستگاه‌ها که از نوع AB هستند نیز پذیرش مسافر دارند. در این مرحله مطابق شکل (۸) اطلاعات لازم دیگری به برنامه اضافه می‌شود. زمان اولیه سفر بین ایستگاه‌های مختلف به صورت فایل اکسل به نام *"Book2"* و در قالب یک ماتریس به برنامه وارد می‌گردد و پارامتر *itt* را تشکیل می‌دهد. هم‌چنین زمان دسترسی به ایستگاه‌های مختلف و زمان خروج از ایستگاه‌های مختلف نیز یکی از موارد دیگر مورد نیاز برای این برنامه می‌باشد که در این قسمت با نام فایل اکسل *"Book3"* به نرم افزار وارد می‌گردد و در ادامه به طور دقیق تری توضیح داده خواهد شد. برای تبدیل این مقادیر از واحد دقیقه به واحد ثانیه در ٦٠ ضرب شده اند. سایر پارامترهایی که در ادامه‌ی برنامه مورد استفاده خواهد بود نیز در این قسمت به برنامه معرفی شده اند. سرفاصله زمانی بین قطارها در حالت اولیه (بدون طرح پرش-توقف) نیز به صورت پارامتر h به برنامه معرفی و مقدار آن به واحد ثانیه تعیین می‌شود. پارامتر m برای تعیین زمان حاصل از پرش بر روی یک ایستگاه و واحد آن ثانیه می‌باشد.

```
filename = 'Book2.xlsx';
itt(1:n,1:n) = xlsread(filename);
filename = 'Book3.xlsx';
at(1:n,1:n)= xlsread(filename);
et=at;
et=et*90;
at=at*90;
    T(1:n+1,1:n,1:n)=0;
    m=52;
    sta(1:n,1:n)=0;
    stb(1:n,1:n)=0;
    a=0;b=0;ab=0;h=120;
```

شکل۸. ادامه‌ی برنامه نویسی و سایر ورودی‌ها به برنامه

٦-٢- محاسبه‌ی زمان سفر در حالت رفت قطار

نوع اول سفر: همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد نوع اول سفر از ایستگاه‌های مبدأ AB به ایستگاه‌های مقصد AB می‌باشد. در این نوع سفر زمان‌های اولیه سفر، زمان به دست آمده حاصل از پرش بر روی ایستگاه‌های B (توسط قطار A) و یا پرش بر روی ایستگاه‌های A (توسط قطار B) و زمان انتظار محاسبه می‌گردد و طبق روال نشان داده شده در شکل(۹) وارد برنامه می‌گردد. از این رو که مسافر در این نوع سفر، بر اولین قطار سوار می‌شود، لذا قطار به صورت تصادفی انتخاب شده و برای محاسبه‌ی زمان پرش، میانگین زمان پرش بر روی ایستگاه‌های A و B درنظرگرفته می‌شود. زمان انتظار نیز به طور میانگین برابر با نصف سرفاصله زمانی می‌باشد.

نوع دوم سفر: در این نوع سفر، مبدأ و مقصد سفر توسط یک قطار انجام می‌شود، اما مسافر باید برای رسیدن قطار مورد نظر منتظر بماند. لذا تفاوت اصلی این نوع سفر با حالت قبل، زمان انتظار مسافر در ایستگاه مبدأ می‌باشد که دو برابر حالت قبل و برابر با سرفاصله زمانی در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین بر اساس نوع قطار، زمان پرش بر روی ایستگاه‌ها محاسبه می‌شود. به این صورت که قطار نوع A از روی ایستگاه‌های B پرش کرده و زمان حاصل از پرش آن، به صورت sta به نرم افزار معرفی شده است. از سوی دیگر قطار نوع B نیز از روی ایستگاه‌های A پرش کرده و زمان به دست آمده از پرش آن، به صورت stb مشخص شده است. روابط مربوط به محاسبه‌ی زمان سفرهای نوع دوم مطابق شکل(۱۰) به برنامه وارد می‌گردد.

نوع سوم سفر: در این نوع سفر، مبدأ و مقصد مخالف یکدیگر هستند. اگر بین مبدأ و مقصد مسافر، ایستگاه نوع AB وجود داشته باشد، آن ایستگاه به عنوان ایستگاه تبادلی انتخاب شده و مسافر در آن ایستگاه قطار خود را تغییر می‌دهد. رابطه‌ی محاسبه‌ی زمان سفرهای نوع سوم در این حالت مطابق شکل(۱۱) به برنامه وارد شده است.

```
        for i=1:n
            for j=i+1:n
                if ((c(i,k)==0)&(c(j,k)==0))
                    T(k,i,j)=itt(i,j)-
(sta(i,j)+stb(i,j))/2+h/2;
```

شکل۹. وارد کردن رابطه‌ی محاسبه‌ی زمان سفر برای نوع اول سفر

```
elseif ((c(i,k)==0)&(c(j,k)==-1))
T(k,i,j)=itt(i,j)-stb(i,j)+h;
elseif ((c(i,k)==0)&(c(j,k)==1))
T(k,i,j)=itt(i,j)-sta(i,j)+h;
elseif ((c(i,k)==1)&(c(j,k)==0))
T(k,i,j)=itt(i,j)-sta(i,j)+h;
elseif ((c(i,k)==1)&(c(j,k)==1))
T(k,i,j)=itt(i,j)-sta(i,j)+h;
```

شکل ۱۰. وارد کردن روابط محاسبه‌ی زمان سفر برای نوع دوم سفر

```
elseif ((c(i,k)==1)&(c(j,k)==-1))
                    for l=i+1:j
                        if (c(l,k)==0)
             T(k,i,j)=itt(i,l)-sta(i,l)+itt(l,j)-stb(l,j)+2*h;
                            break
                        end
                    end
```

شکل ۱۱. وارد کردن رابطه‌ی محاسبه‌ی زمان سفر برای نوع سوم سفر- حالت اول

```
                    if (i~=1&c(i-1,k)==0&l==j)
                         l=i-1;
             T(k,i,j)=itt(i,l)-sta(i,l)+itt(l,j)-stb(l,j)+2*h;
                    elseif (j~=n&c(j+1,k)==0&l==j&l~=(i-1))
                         l=j+1;
             T(k,i,j)=itt(i,l)-sta(i,l)+itt(l,j)-stb(l,j)+2*h;
```

شکل۱۲. برنامه‌ی مربوط به پیشنهاد تغییر ایستگاه

مطابق برنامه شکل(۱۲)، به عنوان یک پیشنهاد مطرح شده است که اگر قبل از ایستگاه مبدأ و یا بعد از ایستگاه مقصد نیز ایستگاه نوع AB وجود داشته باشد، مسافر ترجیح خواهد داد که با قطار هم نام با ایستگاه مبدأ به ایستگاه انتقالی سفر کرده و از آن جا راهی مقصد خود شود.

در نوع سوم سفر اگر بین مبدأ و مقصد، و یا به فاصله یک ایستگاه قبل از مبدأ یا بعد از مقصد ایستگاه نوع AB وجود نداشته باشد، مسافر نمی‌تواند تمام مسیر را توسط قطار طی کند و باید مبدأ یا مقصد خود را در طول مسیر مترو تغییر دهد. لذا زمان‌های دسترسی به ایستگاه مبدأ (مترو) و یا خروج از ایستگاه مقصد (مترو) در این حالت کاربرد خواهد داشت و طبق برنامه نشان داده شده در شکل(۱۳) به نرم افزار معرفی می‌شود.

```
elseif (i~=1&j~=n)
T(k,i,j)=min((itt(i-1,j)-stb(i-1,j)+h+at(i,i+1)),(itt(i,j+1)-
sta(i,j+1)+h+et(j-1,j)));
                    end
                elseif ((c(i,k)==-1)&(c(j,k)==0))
                    T(k,i,j)=itt(i,j)-stb(i,j)+h;
                elseif ((c(i,k)==-1)&(c(j,k)==1))
                    for l=i+1:j
                       if (c(l,k)==0)
T(k,i,j)=itt(i,l)-stb(i,l)+itt(l,j)-sta(l,j)+2*h;
                           break
                       end
                    end
```

شکل۱۳. وارد کردن روابط محاسبه‌ی زمان سفر برای نوع سوم سفر- حالت دوم

در قسمت اول برنامه فرض شده است که مبدأ مسافر ایستگاه نوع A و مقصد مسافر ایستگاه نوع B باشد. یک بار دیگر همین برنامه را برای حالتی که مبدأ مسافر ایستگاه نوع B و مقصد مسافر ایستگاه نوع A باشد، تعریف می‌کنیم. شکل (۱٤) برنامه‌نویسی برای این حالت از مسئله را نشان داده است.

```
                elseif ((c(i,k)==-1)&(c(j,k)==1))
                    for l=i+1:j
                       if (c(l,k)==0)
          T(k,i,j)=itt(i,l)-stb(i,l)+itt(l,j)-sta(l,j)+2*h;
                           break
                       end
                    end
                    if (i~=1&c(i-1,k)==0&l==j)
                        l=i-1;
          T(k,i,j)=itt(i,l)-stb(i,l)+itt(l,j)-sta(l,j)+2*h;
                    elseif (j~=n&c(j+1,k)==0&l==j&l~=(i-1))
                        l=j+1;
 T(k,i,j)=itt(i,l)-stb(i,l)+itt(l,j)-sta(l,j)+2*h;
                    elseif (i~=1&j~=n)
T(k,i,j)=min((itt(i-1,j)-sta(i-1,j)+h+at(i,i+1)),(itt(i,j+1)-
stb(i,j+1)+h+et(j-1,j)));
                    end

                elseif ((c(i,k)==-1)&(c(j,k)==-1))
           T(k,i,j)=itt(i,j)-stb(i,j)+h;
                end
             end
         end
    end
```

شکل۱٤. ادامه‌ی برنامه نویسی و تکمیل موارد قبل در حالت عکس

```
filename = 'Book1.xlsx';
    od (1,1:22,1:22) = xlsread(filename);
    tt(n+1)=0;
    ss(1,1:n,1:n)=0;
    for k=1:n+1
       ss= T(k,1:n,1:n).*od(1,1:n,1:n);
       sum=0;
       for i=1:n
           for j=1:n
               sum= sum+ss(1,i,j);
           end
       end
       tt(k)=sum;
       sum=0;
    end
   [M,I] = min(tt)
```

شکل۱۵. معرفی تابع هدف به برنامه جهت محاسبه

در پایان تابع هدف که مجموع حاصل‌ضرب ماتریس مبدأ-مقصد در ماتریس زمان سفر می‌باشد، تحت عنوان *tt* برای هر سناریو به برنامه معرفی شده و کمترین مقدار آن از بین تمامی سناریوها معرفی می‌گردد تا سناریوی بهینه مشخص شود. در شکل(۱۵) که این بخش از برنامه نویسی را نشان می‌دهد، *ss* حاصل‌ضرب موردی ماتریس مبدأ-مقصد در ماتریس زمان سفر می‌باشد.

۷- مطالعه موردی

در این بخش طرح پیشنهاد شده برای خط ۲ متروی تهران مورد بررسی قرار گرفته است که به صورت مختصر بیان می‌گردد. در ابتدا اطلاعات مبدأ-مقصد خطوط متروی تهران در فاصله زمانی دوهفته ی اول اردیبهشت ماه از شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه دریافت شده است. پس از بررسی آمار مورد نظر، اطلاعات مربوط به خط ۲ متروی تهران در قالب یک ماتریس مربعی به ابعاد ۲۲، به صورت یک فایل اکسل به نام *"Book1"* آماده‌ی ورود به برنامه گردید. سپس نوبت به زمان اولیه سفر می‌رسد. یکی از مهم‌ترین پارامترها در این رابطه، فاصله‌ی بین ایستگاه‌های مترو می‌باشد. هم‌چنین با در نظر گرفتن سرعت متوسط حرکت قطار، می توان مدت زمان خروج از ایستگاه مبدأ تا ورود به ایستگاه مقصد را در یک حرکت قطار محاسبه نمود. زمان توقف در هر ایستگاه نیز حائز اهمیت می باشد. هم‌چنین زمان های شتاب گیری در ایستگاه مبدأ و ترمزگیری در ایستگاه مقصد نیز در محاسبه زمان سفر اولیه مهم می‌باشد. در مجموع پس از جمع آوری این اطلاعات، شروع به تشکیل ماتریس زمان سفر اولیه خواهیم کرد. در حالت معمولی سرعت ثابت قطار حدوداً ٤٥ کیلومتر بر ساعت و زمان حرکت بین ایستگاه شماره‌ی اول و ایستگاه آخر ٤٧ دقیقه اعلام شده است. با در نظر گرفتن این سرعت، به عنوان سرعت ثابت، نتیجه‌ی محاسبات و فواصل زمانی بین ایستگاه‌های مختلف خط ۲ متروی تهران به صورت جدول(۲) به دست آمده و پس از تشکیل ماتریس مربوطه به صورت یک فایل اکسل به نام "Book2" آماده‌ی ورود به برنامه گردیده است تا پارامتر itt را تشکیل دهد.

جدول۲. فاصله و زمان‌های حرکت قطار بین ایستگاه‌های متوالی

شماره ایستگاه ها	فاصله (متر)	زمان توقف در ایستگاه اول (ثانیه)	زمان های شتاب گیری و ترمزگیری (ثانیه)	زمان حرکت با سرعت ثابت (ثانیه)	مجموع زمان ایستگاه تا ایستگاه (ثانیه)
۱ تا ۲	۱۲۰۵	۳۰	۱۲/۵	۹۱/۵	۱٤٦/۵
۲ تا ۳	۱٤٦۵	۳۰	۱۲/۵	۱۱۲/۳	۱٦۷/۳
۳ تا ٤	۱۰٦۵	۳۰	۱۲/۵	۸۰/۳	۱۳۵/۳
٤ تا ۵	۱٤۱۵	۳۰	۱۲/۵	۱۰۸/۳	۱٦۳/۳
۵ تا ٦	۹۵۰	۳۰	۱۲/۵	۷۱/۱	۱۲٦/۱
٦ تا ۷	۱۳۸۰	۳۰	۱۲/۵	۱۰۵/۵	۱٦۰/۵
۷ تا ۸	۵۹۰	۳۰	۱۲/۵	٤۲/۳	۹۷/۳
۸ تا ۹	۸۵۰	۳۰	۱۲/۵	٦۳/۱	۱۱۸/۱
۹ تا ۱۰	۷۱۰	۳۰	۱۲/۵	۵۱/۹	۱۰٦/۹
۱۰ تا ۱۱	۸۰۵	۳۰	۱۲/۵	۵۹/۵	۱۱٤/۵
۱۱ تا ۱۲	٦۸۰	۳۰	۱۲/۵	٤۹/۵	۱۰٤/۵
۱۲ تا ۱۳	۸٦۵	۳۰	۱۲/۵	٦٤/۳	۱۱۹/۳
۱۳ تا ۱٤	۹۷۵	۳۰	۱۲/۵	۷۳/۱	۱۲۸/۱
۱٤ تا ۱۵	۱٤۵۰	۳۰	۱۲/۵	۱۱۱/۱	۱٦٦/۱
۱۵ تا ۱٦	۸۳۰	۳۰	۱۲/۵	٦۱/۵	۱۱٦/۵
۱٦ تا ۱۷	۱٤۵۵	۳۰	۱۲/۵	۱۱۱/۵	۱٦٦/۵
۱۷ تا ۱۸	۱۱۲۰	۳۰	۱۲/۵	۸٤/۷	۱۳۹/۷
۱۸ تا ۱۹	۸۵۵	۳۰	۱۲/۵	٦۳/۵	۱۱۸/۵
۱۹ تا ۲۰	۱۰۱۵	۳۰	۱۲/۵	۷٦/۳	۱۳۱/۳
۲۰ تا ۲۱	۱٤۳۵	۳۰	۱۲/۵	۱۰۹/۹	۱٦٤/۹
۲۱ تا ۲۲	۱۵۱۵	۳۰	۱۲/۵	۱۱٦/۳	۱۷۱/۳
مجموع					۲۸٦۳

در مرحله‌ی بعد به محاسبه‌ی زمان به دست آمده از پرش بر روی یک ایستگاه می‌پردازیم. با این فرض که زمان های ترمزگیری، شتاب گیری و توقف قطار در ایستگاه تبدیل به حرکت با سرعت ثابت خواهد شد، این زمان به صورت رابطه‌ی (۳) ارائه می‌گردد و مقدار به دست آمده وارد برنامه می گردد.

$$m = t_a + t_s + t_b - (\frac{3.6\ l}{V}) = 12.5 + 30 + 12.5 - (\frac{3.6 \times 78 \times 2}{45}) = 42.5\ (sec) \qquad (۳)$$

V : سرعت ثابت قطار (کیلومتر بر ساعت)

l : مجموع طول های شتاب گیری و ترمزگیری قطار (متر)

t_a : زمان شتاب گیری قطار (ثانیه)

t_b : زمان ترمز گیری قطار (ثانیه)

t_s : زمان توقف قطار در ایستگاه (ثانیه)

زمان های دسترسی به ایستگاه یا خروج از ایستگاه در معدود حالاتی از سفر پیش می آیند که مسافر ناچار است ایستگاه مبدأ یا مقصد خود را تغییر دهد و با سایر مُدهای حمل‌ونقل به یک ایستگاه قبل یا یک ایستگاه بعد برود. بنابراین فاصله ی زمانی هر ایستگاه با ایستگاه های مجاور در این قسمت مورد نیاز می باشد. با توجه به اینکه اکثر سفرهای شهری توسط وسایل نقلیه اعم از شخصی، نیمه عمومی و یا همگانی صورت می پذیرد، فاصله ی زمانی بین ایستگاه ها به صورت سواره برآورد شده است. این زمان ها بر اساس نقشه های مسیریاب گوگل برآورد شده و در قالب ماتریس مربعی به ابعاد ۲۲ به صورت فایل اکسل *"Book3"* در آمده‌اند.

پس از تکمیل اطلاعات وارده به نرم افزار متلب، برنامه را اجرا کرده و خروجی های برنامه را بررسی می‌نماییم. برنامه

پس از تشکیل ۲۳ سناریو و با توجه به مشخصات وارد شده سناریوی بهینه را معرفی خواهد کرد. نتیجه‌ی این بررسی ها به صورت جدول‌های (۳) و (٤) نشان داده شده است. هم‌چنین سناریوی برگزیده در جدول (۵) معرفی شده است.

جدول۳. انتخاب سناریوی بهینه

سرفاصله زمانی حرکت قطار		سناریوی بهینه	سناریوی انتخابی
ساعات اوج	۱ دقیقه	۱۲	۱۲
	۲ دقیقه	۱۲	
ساعات غیر اوج	٤ دقیقه	٤	۱
	۵ دقیقه	۱	
	۷ دقیقه	۱	
	۱۰ دقیقه	۱	
	۱۵ دقیقه	۱	

جدول٤. مقایسه سناریوهای مختلف در شرایط متفاوت

سناریو	۱	۱۲	۱	۱۲	۱۲	۱۲
زمان توقف (ثانیه)	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۲۰	۲۰
سرفاصله زمانی (دقیقه)	٤	٤	۲	۲	۲	۲
سرعت ثابت (کیلومتربرساعت)	٤۵	٤۵	٤۵	٤۵	٤۵	۵۵
شاخص تابع هدف ***tt***	۸/٤۹٦۱	۸/٦۰٤۵	۷/۹۳۱۵	۷/۸۱۸۱	۷/۳٦۸٤	٦/۵٦۹۵
درصد تغییر شاخص نسبت به حالت استاندارد (کنونی)	–	۱/۲۸	-٦/٦۵	-۷/۹۸	-۱۳/۲۷	-۲۲/٦۸

جدول۵. معرفی سناریوی برگزیده

ایستگاه	۱	۲	۳	٤	۵	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
	صادقیه	طرشت	شریف	شادمان	نواب	میدان‌حر	دانشگاه‌امام علی (ع)	حسن‌آباد	امام‌خمینی (ره)	ملت	بهارستان
سناریو۱	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB
سناریو۱۲	AB	A	AB	AB	AB	B	A	AB	AB	B	AB
ایستگاه	۱۲	۱۳	۱٤	۱۵	۱٦	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
	دروازه شمیران	امام‌حسین (ع)	مدنی	سبلان	فدک	گلبرگ	سرسبز	علم و صنعت	شهید باقری	تهرانپارس	فرهنگسرا
سناریو۱	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB
سناریو۱۲	AB	A	AB	B	A	B	AB	A	B	A	AB

۸- نتیجه‌گیری

برای افزایش سرعت حرکت سیستم های ریلی حمل و نقل همگانی درون شهری، و نیز کاهش زمان سفر، طرح های مختلفی وجود دارد. یکی از کم‌هزینه‌ترین راه‌ها، اجرای طرح پرش-توقف می باشد. اما برای توجیه اجرای طرح مورد نظر حتماً باید بررسی های لازم قبل از اجرا انجام گیرد تا اجرای طرح به بهترین شیوه و با رضایت همگانی همراه باشد. لذا طبق برنامه ارائه شده در این پژوهش می توان به راحتی و با در اختیار داشتن اطلاعات خط مورد نظر، اعم از اطلاعات مبدأ-مقصد، فاصله‌ی بین ایستگاه‌ها و نیز اطلاعات زمان سفر، بهترین شیوه‌ی اجرای طرح پرش-توقف را تعیین نمود. در این پژوهش علاوه بر ارائه‌ی شیوه کلی بررسی این مسئله، به عنوان مثال کاربردی، خط ۲ متروی تهران مورد بررسی قرار گرفته و نتیجه‌ی مناسبی اخذ گردید. بدین صورت که در ساعات اوج که سرفاصله‌ی زمانی حرکت قطارها کوتاه‌تر می‌باشد، اجرای طرح پرش-توقف مقرون به صرفه تر بوده و پیشنهاد می‌گردد. بهترین شیوه‌ی حرکت قطارها و توقف آن‌ها در ایستگاه‌های مختلف نیز توسط برنامه متلب، پس از بررسی سناریوهای مختلف ارائه گردید. اجرای طرح پرش-توقف به تنهایی در بهبود شاخص زمان سفر تأثیرگذار است؛ اما زمانی که در کنار طرح هایی چون کاهش سرفاصله‌ی زمانی، افزایش سرعت ثابت قطار و کاهش زمان توقف قطار در ایستگاه‌ها قرار می‌گیرد نتیجه‌ی بهتری خواهد داد. اجرای طرح پرش-توقف هرچند نیاز به زیرساخت جدیدی ندارد، اما بدون اطلاع رسانی کافی و مناسب امکان پذیر نخواهد بود. هم‌چنین در ایستگاه‌هایی که از نوع A و یا B می‌باشند، با توجه به عدم توقف برخی قطارها و جهت ایمنی بالاتر پیشنهاد می‌گردد بین محل توقف مسافران و محل حرکت قطار توسط درب‌های اتوماتیک حائل ایجاد گردد و زمان توقف کامل قطار، درب‌های این حائل باز گردد. چراکه در زمان پرش قطار از روی این ایستگاه‌ها بهتر است سرعت ثابت قطار حفظ گردد. به عنوان پیشنهاد می‌توان عنوان کرد که در خطوط ریلی در حال ساخت که تقاضای بالایی دارند (مثلاً در مراکز کلانشهرها) اگر به جای دوخطه بودن، آن ها را سه خطه اجرا نمایند، می‌توان از سایر طرح های سرعت بخشی به حرکت قطارها مانند طرح منطقه ای و یا طرح سریع السیر محلی که منجر به کاهش زمان سفر می‌گردد نیز استفاده نمود.

۹-مراجع

- طلوعی زاده، س.، (۱۳۹۲)، شناسایی و رتبه بندی عوامل مؤثر بر افزایش کیفیت مدیریت حمل و نقل شهری (مطالعه موردی: شرکت بهره برداری متروی تهران و حومه)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور.

- یقینی، م.، زنوززاده، س. (۱۳۹۳)، "ارائه‌ی یک مدل بهینه سازی و برای زمان‌بندی قطارهای مترو: مطالعه‌ی موردی متروی تهران، چهاردهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران.

- Edward K, Morlok OS. (1975),"Urban Bus and Rail Transit Supply Functions: Models and Empirical Estimates: University of Pennsylvania.

- Huimin N. (2011), "Determination of the Skip-Stop Scheduling for a Congested Transit Line by Bilevel Genetic Algorithm: Lanzhou Jiaotong University.

- Maxime F, Ricardo G. , Juan CM. (2013), "Continuous Approximation for Skip-Stop Operation in Rail Transit: ISTTT.

- Samuel L, Sogin BM, Caughron SG, Chadwick, , (2012), "Optimizing Skip Stop Service in Passenger Rail Transportation: Proceedings of the 2012 Joint Rail Conference.

- Suh W, Chon KS, Rhee SM. (2001), "An Analysis of Railroad Skip Stop System Without Siding Track: Elsevier.

- Young-Jae Lee. (2012), "Mathematical Modeling for Optimizing Skip-Stop RailTransit Operation Strategy Using Genetic Algorithm: Department of Transportation and Urban Infrastructure Studies.

- Young JL. (2014), "Optimizing Skip-Stop Rail Transit Stopping Strategy using a Genetic Algorithm: Morgan State University.

- Zheng, (2009), "Song Optimization Model and Algorithm of Skip-stop Strategy for Urban Rail Transit: Journal of the China Railway Society.

- Zhichao C, Zhenzhou Y, Dewei L. (2014), Estimation Method for a Skip-Stop Operation Strategy for Urban Rail Transit in China: J Mod Transport.

- Suh, W., Chon, K.S. & Rhee. S.M. , (2007), "Effect of Skip-Stop Policy on a Korean Subway System". Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board Mag.

- Vuchic VR. (2005), "Urban Transit: Operations, Planning, and Economics: John Wiley & Sons, Inc.

- Wang Y ,De SB ,van dBTJJ, Ning B. (2014), "Origin-Destination Dependent Train Scheduling Problem with Stop-Skipping for Urban Rail Transit Systems: Transportation Research Board 93rd Annual Meeting.

- Yihui W. (2014), "Optimal Trajectory Planning and Train Scheduling for Railway Systems: Beijing Jiaotong University.