تخصیص ناوگان در سیستم اتوبوسرانی شهری

۶- تعاریف تخصیص ناوگان

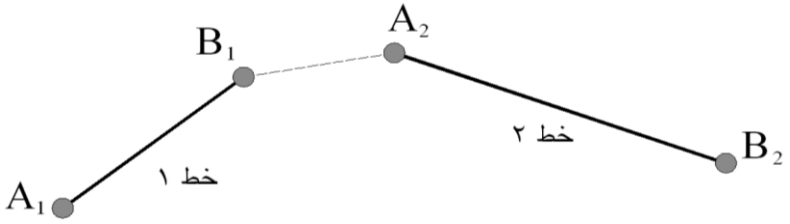
فرآیند تخصیص ناوگان به عنوان سومین گام در برنامه‌ریزی سیستم اتوبوسرانی شهری به دنبال پاسخ این سوال است که سفرهای تولید شده (پیمایش‌ها) در گام زمان‌بندی باید توسط کدام وسیله نقلیه (اتوبوس) انجام شوند. به بیان دیگر، یک وسیله نقلیه از ابتدای شروع به کار باید کدام سفرهای تولید شده در برنامه زمان‌بندی را انجام دهد. هدف این مرحله، کاهش تعداد وسیله نقلیه مورد نیاز برای پوشش سفرها با درنظر گرفتن محدودیت‌های سازمان نظیر سوخت گیری مجدد، تعمیرات و غیره می‌باشد.

هدف مسئله تخصیص ناوگان کاهش وسیله نقلیه مورد نیاز است که مستقیماً مطلوب شرکت‌های حمل‌ونقل می‌باشد. (توجه شود که کاهش وسیله نقلیه مورد نیاز با فرض ثابت بودن برنامه زمان‌بندی اتفاق می‌افتد یعنی هیچ کدام از سفرهای تولید شده در گام زمان‌بندی حذف نمی‌شوند.) از این رو این شرکت‌ها تاکنون سرمایه گذاری زیادی برای مطالعه بر روی این گام انجام داده‌اند و مطالعات گسترده تری نسبت به مراحل قبل در این مرحله صورت گرفته است.

در صورتی که بخواهیم تخصیص ناوگان را برای یک خط به صورت مستقل انجام دهیم، فرآیند تخصیص ناوگان بسیار ساده خواهد بود و بدیهی است حالت بهینه در شبکه به دست نخواهد آمد. چرا که در حالت تخصیص ناوگان به صورت مستقل برای هر خط، تعداد ناوگان مورد نیاز در شبکه در بیشترین حالت خود قرار خواهد گرفت.

اما می‌دانیم که در برخی خطوط در برخی ساعات خاص روز نیاز به ناوگان بیشتری داریم و در ساعات دیگر، ناوگان کمتر و این نیاز به ناوگان ممکن است در یک سری خطوط دیگر برعکس باشد. بدیهی است که می‌توان از ناوگان اضافه برخی خطوط در برخی ساعات در خطوط دیگر استفاده نمود. ارائه سرویس به چندین خط در سیستم‌های اتوبوسرانی دنیا رایج است. در ایران نیز بعضا این اتفاق و جابجا کردن اتوبوس‌ها بین خطوط انجام می‌گیرد، اما معمولاً برنامه خاصی برای آن وجود ندارد و به صورت آزمون و خطا در سطح مدیریت خطوط انجام می‌گیرد. در شهرهای توسعه یافته دنیا که در آن‌ها برنامه‌ریزی سیستم اتوبوسرانی انجام می‌شود، این عمل بر اساس فرآیند تخصیص ناوگان به صورت برنامه‌ریزی شده انجام می‌گیرد.

هنگامی که اتوبوس می‌خواهد از یک خط وارد خط دیگر شود، مجبور است یک قسمت از مسیر را بین دو انتها دو خط بدون مسافر طی کند. این سفر در که شکل شماره ۱ سفر بین B_1 و A_2 می‌باشد، "سفر مرده"(Deadhead Trip) نامیده می‌شود. به طور کلی به هر سفری که در آن اتوبوسارائه سرویس نکند، سفر مرده گفته می‌شود.



شکل شماره ۱: سفر مرده

سفر مرده معمولاً در موارد زیر اتفاق می‌افتد:

۱- سفر مرده بین خطوط برای ارائه سرویس به چند خط در طول روز

۲- سفر مرده بین دپو و ابتدای خط در آغاز کار و از انتها خط تا دپو در پایان دوره سرویس دهی

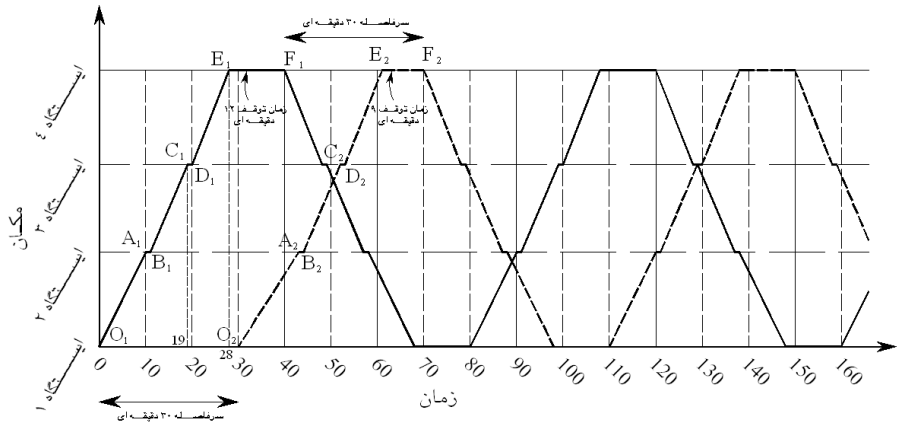
۳- سفر مرده بین خط اتوبوس و تعمیرگاه (این سفر معمولاً از انتها خط صورت می‌گیرد، مگر اینکه نقص فنی جدی باشد و اتوبوس نتواند نیم راه را به اتمام برساند.)

۴- سفر مرده بین انتها خط و ایستگاه سوخت رسانی

۵- سفر بین ایستگاه شروع تا یک ایستگاه میانی در مواقعی که می‌خواهیم اتوبوس از نقطه آغازین برداشت مسافر را آغاز نکند و برداشت از یک ایستگاه میانی آغاز شود. (این عمل معمولاً در مواردی که در ایستگاه‌های آغازین ازدحام مسافر وجود دارد انجام می‌شود)

سفرهای مرده هیچ گونه نفعی برای سیستم ندارند و بهتر است که طول این سفرها حتی الامکان کوتاه شوند. در حالتی که تخصیص ناوگان در سطح شبکه (نه در سطح خط) انجام می‌گیرد، حداقل کردن زمان‌های مرده از اساسی‌ترین اهداف به شمار می‌رود.

به منظور درک بهتر مسئله تخصیص ناوگان در سطح خط و شبکه از دیاگرام‌های مکان-زمان استفاده می‌کنیم.

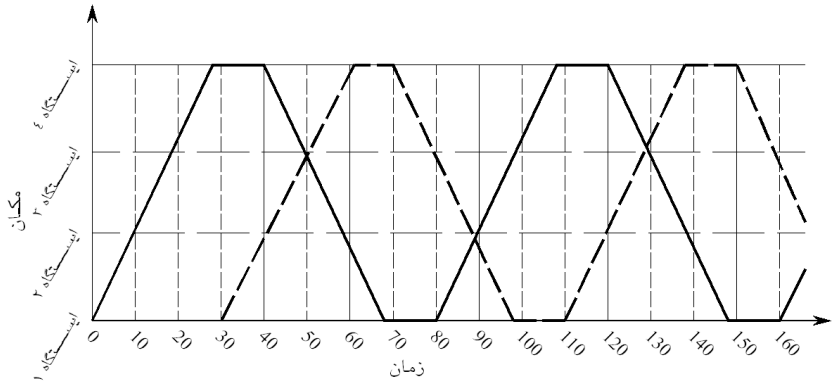


شکل شماره ۲: دیاگرام مکان-زمان یک خط اتوبوس فرضی

در شکل شماره ۲ شکل کلی دیاگرام مکان-زمان یک خط اتوبوسرانی نشان داده است. محور x نشان دهنده زمان (معمولاً بر حسب دقیقه) و محور y نشان دهنده مکان است که موقعیت‌های مشخص شده در این محور ایستگاه‌های اتوبوس را در طول خط نشان می‌دهند. خط پررنگ در دیاگرام بیان کننده حرکت یک اتوبوس در این خط است که در زمان صفر در ایستگاه ۱ قرار دارد و از آنجا شروع به حرکت می‌کند. اتوبوس مورد نظر در دقیقه ۱۰ به ایستگاه ۲ می‌رسد، که شیب خط O_1A_1 بیانگر سرعت اتوبوس در فاصله بین ایستگاه اول و دوم است. این اتوبوس در ایستگاه دوم به اندازه یک دقیقه توقف کرده و سپس به حرکت خود ادامه می‌دهد و پس از رسیدن به ایستگاه ۳ مدت یک دقیقه نیز در آنجا توقف می‌کند. با توجه به شیب خط B_1C_1 مشاهده می‌شود که سرعت حرکت حد فاصل ایستگاه‌های دوم و سوم بیشتر از سرعت بین ایستگاه‌های اول و دوم بوده است. این اتوبوس در دقیقه ۲۸ به ایستگاه چهارم رسیده، یک دقیقه توقف کرده و سپس به مدت ۱۱ دقیقه (زمان استراحت + زمان بازیابی) در آن ایستگاه می‌ماند. در دقیقه ۴۰، سفر برگشت آغاز شده و در دقیقه ۶۸، اتوبوس دوباره به ایستگاه اول می‌رسد. حال در ایستگاه اول مجدداً توقف کرده و سپس دور دوم را آغاز می‌کند. این اتوبوس تا انتها دوره سرویس‌دهی همچنان به فعالیت خود ادامه می‌دهد.

اتوبوس دوم که خط سیر آن با خط چین مشخص شده‌است، سفر اول خود را در دقیقه ۳۰ آغاز کرده و مشابه اتوبوس اول عمل می‌نماید. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، شیب خط O_2A_2 از خط O_1A_1 کمتر است که این به معنی کمتر بودن سرعت اتوبوس دوم نسبت به اتوبوس اول در این مقطع از مسیر در این بازه زمانی است که باعث افزایش زمان سفر کل از ایستگاه اول به چهارم می‌شود. در این شرایط برای آنکه بتوانیم سرفاصله را در مسیر برگشت حفظ کنیم، زمان توقف راننده در انتها خط کمی کمتر می‌شود (توجه شود که این کاهش زمان از بخش زمان بازیابی کسر خواهد شد و نه زمان استراحت).

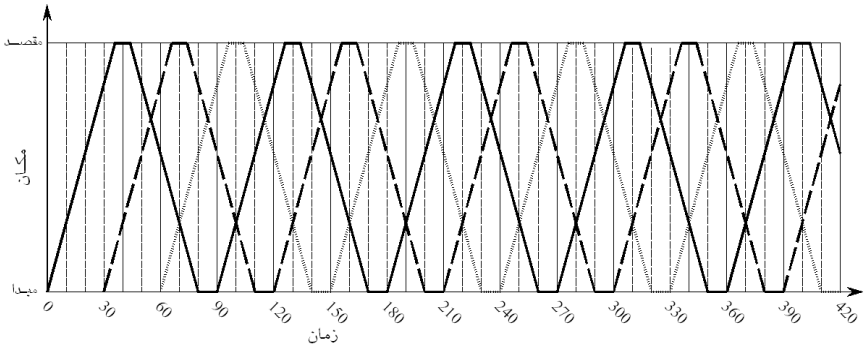
در دیاگرام‌های مکان–زمان جهت جلوگیری از شلوغ شدن نمودار معمولاً زمان توقف ترسیم نمی‌شود و تنها یک خط کلی که بیان کننده سرعت بین ایستگاه اول و آخر است رسم می‌شود. در این حالت شکل شماره ۲ به صورت شکل شماره ۳ ساده می‌شود.



شکل شماره ۳: شکل ساده شده دیاگرام مکان–زمان

در دیاگرام شکل شماره ۳ مشاهده می‌شود که دو اتوبوس در این خط در این مقطع زمانی کار می‌کنند که اتوبوس اول تا دقیقه ۱۵۰ چهار نیم راه (دو سیکل) سفر را انجام می‌دهد، در حالی که اتوبوس دوم سه نیم راه سفر را پوشش می‌دهد. این نمودار ساده ترین نوع تخصیص ناوگان در سطح خط می‌باشد.

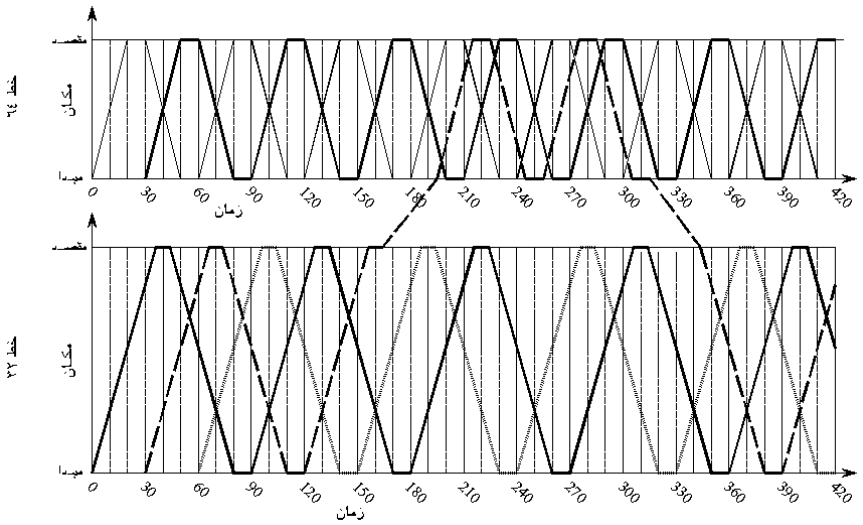
حال فرض کنید نمودار مکان–زمان خط شماره ۳۲ مثال بخش زمان‌بندی در شکل شماره ۴ ترسیم شده‌است. این خط با سرفاصله ۳۰ دقیقه‌ای عمل می‌کند و سه اتوبوس فعال در آن سرویس‌دهی می‌نمایند.



شکل شماره ۴: دیاگرام مکان–زمان خط شماره ۳۲

اگر فرض کنیم در بازه زمانی ۱۵۰ تا ۳۴۰ نیازی به سرفاصله ۳۰ دقیقه‌ای نباشد، می‌توان اتوبوس شماره ۲ را مرخص نمود.

حال اگر در یک خط دیگر مانند خط ۶۴ در این بازه نیاز به یک اتوبوس کمکی داشته باشیم، می‌توانیم از اتوبوس مرخص شده خط ۳۲ برای این منظور استفاده نماییم. در این حالت اتوبوس از خط ۳۲ خارج شده و وارد خط ۶۴ می‌شود. شکل شماره ۵ دیاگرام مکان–زمان این تغییر خط را نشان می‌دهد.



شکل شماره ۵: دیاگرام مکان–زمان تغییر خط اتوبوس از خط ۳۲ به خط ۶۴

همان گونه که در شکل شماره ۵ مشاهده می‌شود، تعداد اتوبوس در بازه زمانی ۱۵۰ تا ۳۴۰ در خط ۳۲ به عدد ۲ می‌رسد که بر اساس محاسبات زیر سرفاصله ۴۵ دقیقه خواهد شد:

طول سیکل $C_k = 90 min$

ناوگان موجود $2\ veh$

سرفاصله اجرایی $\frac{90}{2} = 45\ min$

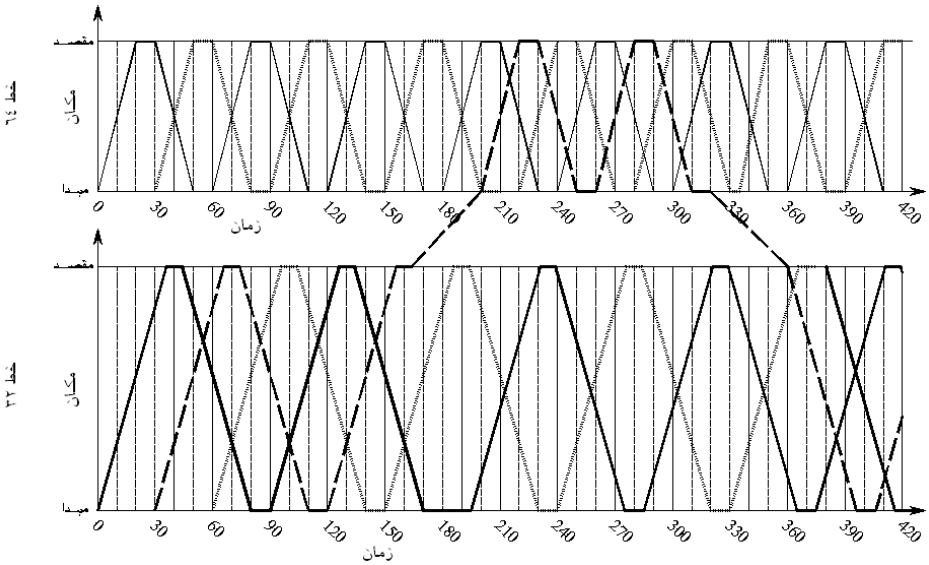
از سوی دیگر، در خط ۶۴ که قبلا با دو دستگاه اتوبوس و سرفاصله ۳۰ دقیقه‌ای و طول سیکل ۶۰ دقیقه کار می‌کرد، خواهیم داشت:

طول سیکل $C_k = 60 min$

ناوگان موجود $3\ veh$

سرفاصله اجرایی $\frac{60}{3} = 20\ min$

لذا باید در بازه زمانی ۱۵۰ تا ۳۴۰ با ایجاد تغییر در زمان بازیابی، سرفاصله‌ها را در دو خط ۳۲ و ۶۴ منظم نمود. در نتیجه این کار دیاگرام مکان–زمان این دو خط به صورت شکل شماره ۶ خواهد شد.



شکل شماره۶: سرفاصله‌های اصلاح شده در بازه زمانی ۱۵۰ تا ۳۰ در دو خط ۳۲ و ۶۴

تخصیص ناوگان با فرض ارائه سرویس به چند خط در شرایطی مشابه آنچه در خصوص خط ۳۲ و ۶۴ بیان شد، پیچیدگی خاصی ندارد؛ اما در شرایطی که شبکه اتوبوسرانی بزرگی مثلاً با ۱۰۰ خط اتوبوس وجود داشته‌باشد، دیگر نمی توان با رسم دیاگرام‌های مکان–زمان تخصیص ناوگان را انجام داد. بدیهی است در چنین حالتی و به طور کلی برای تخصیص ناوگان در سطح شبکه در هر شهری و با هر وسعتی، باید به سراغ روش‌های ریاضی و برنامه‌های رایانه‌ای رفت. این فرآیند بایستی توسط کارشناسان خبره صورت گرفته و به طور مداوم کنترل شود.

برنامه‌های تخصیص ناوگان به دو صورت ثابت و متغیر مورد توجه طراحان و متصدیان می‌باشد. برنامه تخصیص ناوگان ثابت، برنامه‌ای است که در طول روز تغییری نمی‌کند، اما در برنامه متغیر با توجه به تغییرات احتمالی که در سیستم به وجود می‌آید (خروج از خط یا نیاز به کاهش سرفاصله)، برنامه عوض می‌شود.