اتحادیه بین‌المللی راه آهنها

کد فیش UIC
این فیش بشماره ردیفهای زیر طبقه بندی میشود :
IV- بهـــــره‌برداری

۱ - ۴۰۵

R

چاپ اول ۷۹/۱/۱

روش مورد استفاده برای تعیین

ظرفیت خطوط

مرکز مطالعات و تحقیقات

مترجم : فریـــبا ظهیری

ویرایش : ابراهیم عیسائی

تنظیم : محمود رحمانی

دفتر امور بین‌الملل
ارزشیابی و بررسی
شماره ۱-۵-۴

شهریور ۱۳۷۳

بسمه تعالی

فهرست

۱- مقدمه

۲- فوائد پایه برای روش پیشنهادی

۳- روش محاسبه

۱-۳- تعریف مفاهیم پایه

۲-۳- فرمول محاسبه

۳-۳- دوره زمانی مبناء T

۴-۳- میانگین مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها t_{fm}

۱-۴-۳- روشی که بستگی به برنامه حرکت قطار دارد

۱-۱-۴-۳- تعیین تعداد فاصله حرکت قطارها

۲-۱-۴-۳- محاسبه مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها برای بهره برداری ازیک مسیر یک جهته

۳-۱-۴-۳- محاسبه مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها برای بهره برداری از یک مسیر دو جهته

۴-۱-۴-۳- استفاده از یک روش گرافیک

۲-۴-۳- روشی که بستگی به برنامه حرکت قطار ندارد

۵-۳- حاشیه زمان فوق‌العاده t_{Γ}

۶-۳- زمان اضافی t_{zu}

ضمیمه ۱- نمونه‌ای از محاسبه‌ء ظرفیت بخشی از خط در بهره‌برداری از یک مسیر یک جهته

ضمیمه ۲- نمونه‌ای از محاسبه ظرفیت بخشی از خط در بهره برداری ازیک مسیر دو جهته

۱- مقدمه

مفهوم شبکه خطوط در راس برنامه‌های مدیریت زیرسازی UIC ضرورت شناخت اصول کلی ناشناخته برای ارزیابی وتوسعه خطوط مختلف راایجاب میکند.

یکی از شرایط کلی قابل اجرا برای ارزیابی خطوط تعیین ظرفیت خطوط می‌باشد. روش‌های تعیین ظرفیت خطوط که اکنون نیز توسط راه آهنهای مختلف استفاده میشود، بدلیل گوناگونی‌شان امکان مقایسه و نیز دردست داشتن نتایج کلی، عمومی و ارزشمند رااز بین برده‌اند به همین دلیل به متدی یکنواخت برای تعیین ظرفیت خطوط احتیاج داریم.

با استفاده از روش تشریح شده در فیش فعلی، شرایطی فراهم میشود که امکان مقایسه میان قطعات خطوط شبکه‌های مختلف از نقطه نظر ظرفیت‌هایشان و شناخت به موقع واز قبل پیش‌بینی شده گلوگاههای یک شبکه درراس برنامه‌های

مدیریتی زیرسازی UIC را بوجود می‌آورد. همچنین به راه‌آهنها توصیه شده تا از این روش بخصوص برای محاسبهٔ ظرفیت خطوط در سطح بین‌المللی نیز استفاده کنند .

۲- قوائد پایه برای روش پیشنهادی

این روش براساس معیارهای زیر توسعه خواهد یافت:

- هریک از راه‌آهنها می‌بایست بتوانند از این روش استفاده کنند . به همین دلیل روشی که ضرورت استفاده از تجهیزات پردازش اطلاعات (کامپیوتر) را بهمراه داشته باشد انتخاب نمیشود .
- این روش باید ساده و قابل اجرا بدون هزینه‌های اضافی باشد .
- ظرفیت تعیین شده توسط این روش می‌بایست پارامترهای کلیهٔ قطارهای در حین حرکت روی خطوط مطالعه شده و نیز سهم نسبی انواع مختلف قطارها را در نظر بگیرد .
- علاوه بر آن این روش می‌بایست شرایط موجود روی خط مورد بحث را نیز در نظر بگیرد به عنوان مثال : بریدگی در قطعات بلاک، نوع تاسیسات ایمنی راه‌آهن .

۳- روش محاسبه

۱-۳- تعریف مفاهیم پایه

ظرفیت

ظرفیت یک خط آهن بیانگر تعداد قطارهایی است که در زمان معینی روی خط امکان تردد دارند و با در نظر گرفتن موارد زیر محاسبه میشود :

- بعضی از شرایط بهره‌برداری و فنی .
- بعضی‌از معیارهای کیفی که‌می‌بایست موردتوجه قرارگیرند .

ظرفیت بر اساس مقطع خط تعیین کننده بخشی از خط محاسبه میشود و برحسب تعداد قطارها در دوره‌ء زمانی مشخصی بیان میگردد .

ظرفیت یک‌خط از طریق گرافیک (شکل ۱) با کنار هم قرار دادن ظرفیت‌های تمامی بخشهای خط نیز مشخص میشود .

خط

یک‌خط دوایستگاه بسیار مهم را به یکدیگر متصل میکنند .

این خط معمولا" از چندین بخش تشکیل میشود .

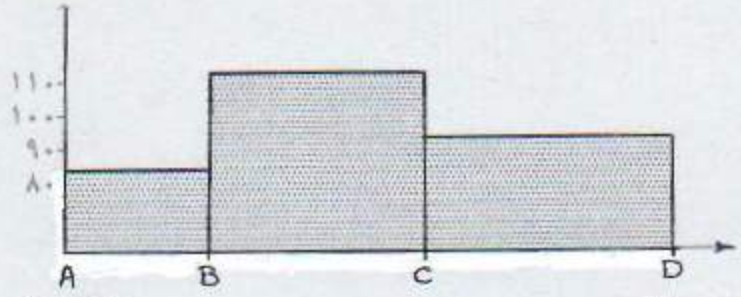
بخشی از خط

بخشی از خط دوایستگاه عبور و/ یا تقاطع (که معمولا" نزدیک هم نباشند) و یا انشعابات را به‌هم متصل میکنند، جایی که تغییرات محسوسی در ۱- تعداد قطارها (تا ۱۰٪) و

بخشی از خط معمولا" از چندین مقطع خط تشکیل شده است.

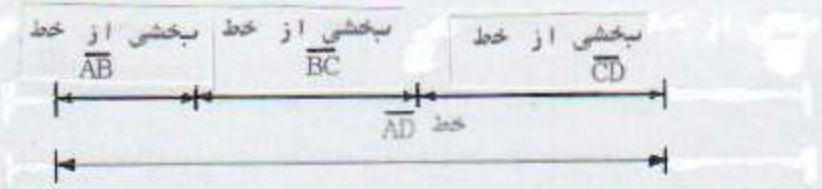
شکل‌شماره ۱- یک‌نمودار ظرفیت‌و توان یک‌خط(قطار بر روز)

ظرفیت خط



مقطع خط

گرافیک خط



مقطع خط تعیین کننده

یک مقطع خط دو ایستگاه عبور و/ یا تقاطع نزدیک به هم و همچنین یک‌ایستگاه عبور و/ یا ایستگاه تقاطع و انشعاب را بهم متصل میکنند.

مقطع خط تعیین کننده ،مقطعی‌است که دارای کمترین ظرفیت درمخشی از خط معین باشد.

۲-۳- فرمول محاسبه

محاسبه ظرفیت بخشی از خط براساس علامت‌های مخصوص مقطع خط تعیین کننده که به آن اعداد (اصطلاحات) تکمیلی و محاسباتی بخشی از خط نیز افزوده شده، انجام میشود.

مقطع خط تعیین کننده معمولا" مقطعی است که در آن طولانی‌ترین مدت زمان حرکت وجود داشته باشدو نیز جایی که مدت زمان متوسط حداقل فاصله حرکت قطارها t_{fm} بیشترین باشد. تمامی محاسبات در ارتباط با قسمت جلوی قطارها می‌باشند.

ظرفیت بخشی از خط از طریق فرمول زیر محاسبه میشود :

$$L = \frac{T}{t_{fm} + t_{r} + t_{zu}} \quad [\text{تعداد قطار به ازاء دوره زمانی مبناء}] \qquad [1]$$

که در این فرمول :

L = ظرفیت بخشی از خط بر حسب تعداد قطارها

T = دوره زمانی مبناء (به دقیقه)

به دقیقه:

- t_{fm} = میانگین مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها
- t_{r} = حاشیه زمان فوق العاده
- t_{zu} = زمان اضافی

۳-۳- دوره‌ء زمانی مبناء T

به دلیل ثابت نبودن شرایط معمولا" ظرفیت برای یک روز کامل در نظر گرفته میشود (۱۴۴۰ دقیقه).

ظرفیت ساعتی (۶۰ دقیقه) برای ارزیابی اشغال بودن یک مقطع خط در ساعات سنگین ترافیک از اهمیت بسیاری برخوردار است. در این مورد، مقدار حاشیه زمان فوق‌العاده را میتوان کاهش داد تا ظرفیت ساعتی محاسبه شده به این روش بیشتر از ظرفیت ساعتی متوسط محاسبه شده در کل یا در طول روز باشد .

علاوه بر آن محاسبه بعضی از ساعات روز نیز ضروری می‌باشد بخصوص اینکه تغییرات زیادی در تعداد یا سهم نسبی انواع مختلف قطارهای در حین حرکت در طول روز بوجود آید و یا اینکه از خط در طی ۲۴ ساعت بهره‌برداری نشود.

۴-۳- میانگین مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها t_{fm}

مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها t_f زمانی است که قطعا" لازم است تا بین دو قطار فاصله ایجاد شود .

میانگین مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها t_{fm} همان میانگین مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارهای محاسبه شده برای تمامی موارد فاصله حرکت قطارهای موجود روی

مقطع خط می‌باشد . برای تعیین تعداد فاصله حرکت قطارها میتوان از روشی مستقل و یا بدون در نظر گرفتن برنامه حرکت قطار استفاده کرد .

۱-۴-۳- روشی که بستگی به برنامه حرکت قطار دارد

در مورد بکارگیری روشی که بستگی به برنامه حرکت قطار داشته باشد ، میانگین مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها t_{fm} همان میانگین کلیه مدت زمانهای حداقل فاصله حرکت قطارها می‌باشد . میانگین مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها t_{fm} از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود :

در بهره‌برداری از یک مسیر یک جهته :

$$[2] \quad t_{fm} = \frac{\sum (n_{ij} \cdot t_{fij})}{\sum n_{ij}}$$

[دقیقه برقطار]

n_{ij} = تعداد فاصله حرکت قطارها (بند ۱-۱-۴-۳ را ملاحظه کنید)

t_{fij} = مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها بین دو گروه مدت زمان حرکت (بند ۲-۱-۴-۳ را ملاحظه کنید .)

در بهره برداری از یک مسیر دو جهته :

$$[3] \quad t_{fm} = \frac{\sum \left(n_{ij(aa)} \cdot t_{fij(aa)} \right) + \sum \left(n_{ij(ab)} \cdot t_{fij(ab)} \right) + \sum \left(n_{ij(bb)} \cdot t_{fij(bb)} \right) + \sum \left(n_{ij(ba)} \cdot t_{fij(ba)} \right)}{\sum n_{ij}}$$

[دقیقه برقطار]

nij = تعداد موارد فاصله حرکت قطارها (بند ۱-۱-۴-۳ را ملاحظه کنید)

t_{ij} = مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها بین دو گروه زمان حرکت (بند ۲-۱-۴-۳ را ملاحظه کنید)

۱-۱-۴-۳- تعیین تعداد فاصله حرکت قطارها

برای ساده‌ترکردن محاسبات قطارهایی که کم‌و بیش از مدت زمان حرکت یکسانی برخوردار هستند، گروه‌های مدت زمان حرکت طبقه‌بندی میشوند بطوریکه درآخر دو گروه و یاحداکثر چهار گروه داشته باشیم. در مورد برنامه حرکت واقعی ، تعداد فاصله حرکت قطارها برای هر گروه مدت زمان حرکت محاسبه ودر ماتریس وارد میشود .

در بهره‌برداری از یک مسیر یک جهته:

ماتریس (شکل ۲) نمونه‌ای از ارائه موارد فاصله حرکت قطارهابا سه گروه مدت زمان حرکت می‌باشد .

nij = تعداد موارد فاصله حرکت قطارها

i = گروه مدت زمان حرکت قطار قبلی

j = گروه مدت زمان حرکت قطار بعدی

شکل۲- ماتریس تعداد فاصله حرکت قطارها دربهره‌برداری از یک مسیر یک‌خطه

j \ i		قطار بعدی 1	2	3
قطار قبلی	1	n_{11}	n_{12}	n_{13}
	2	n_{21}	n_{22}	n_{23}
	3	n_{31}	n_{32}	n_{33}

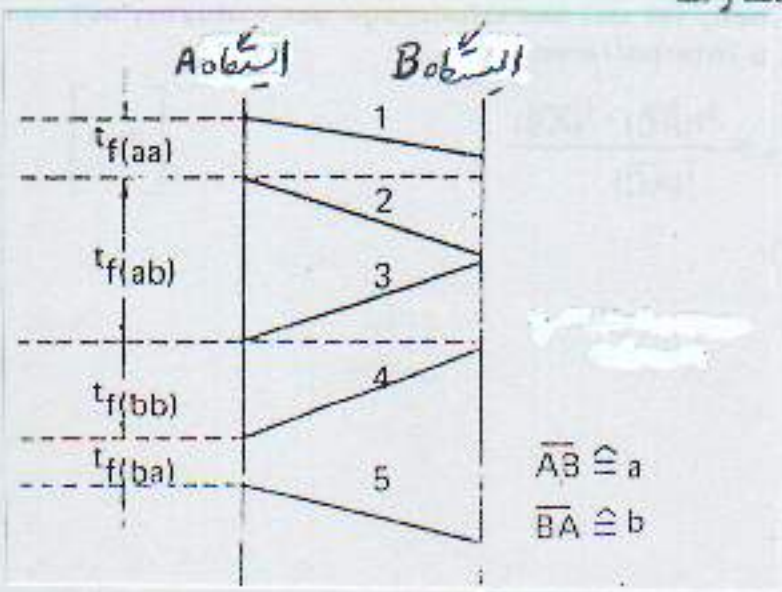
n_{ij} = تعداد موارد فاصله حرکت قطارها
i = گروه مدت زمان حرکت قطار قبلی
j = گروه مدت زمان حرکت قطار بعدی

در بهره برداری از یک مسیر دو جهته :

از این طریقه بهره‌برداری چهار نوع مختلف فاصله حرکت قطارها بدست میاید . (شکل ۳)

شکل ۳- انواع مواردفاصله‌حرکت قطارهابا مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارهابرای بهره‌برداری دریک‌مسیر دو جهته :

t_f = مدت‌زمان حداقل فاصله حرکت قطارها



ماتریس (شکل ۴) نمونه‌ای از موارد فاصله حرکت قطارها در بهره‌برداری از یک مسیر دو جهته با سه گروه مدت زمان حرکت را نشان میدهد . در ماتریس ، گروه‌های مدت زمان حرکت در جهت $\overline{AB}$ توسط " + " و گروه های مدت زمان حرکت در جهت $\overline{BA}$ (جهت برعکس) توسط " - " مشخص شده است .

شکل ۴: ماتریس نمونه‌ای از موارد فاصله حرکت قطارها در بهره‌برداری از یک مسیر دو جهته

n_{+3-3}	n_{+3-2}	n_{+3-1}	قطار قبلی	+3	n_{+3+1}	n_{+3+2}	n_{+3+3}
n_{+2-3}	n_{+2-2}	n_{+2-1}		+2	n_{+2+1}	n_{+2+2}	n_{+2+3}
n_{+1-3}	n_{+1-2}	n_{+1-1}		+1	n_{+1+1}	n_{+1+2}	n_{+1+3}
قطار بعدی -3		-2	-1		+1	+2	قطار بعدی +3
n_{-1-3}	n_{-1-2}	n_{-1-1}	قطار قبلی	-1	n_{-1+1}	n_{-1+2}	n_{-1+3}
n_{-2-3}	n_{-2-2}	n_{-2-2}		-2	n_{-2+1}	n_{-2+2}	n_{-2+3}
n_{-3-3}	n_{-3-2}	n_{-3-1}		-3	n_{-3+1}	n_{-3+2}	n_{-3+3}

که در آن :

n_{ij} = تعداد موارد فاصله حرکت قطارها

i = گروه مدت زمان حرکت قطار قبلی

j = گروه مدت زمان حرکت قطار بعدی

۲-۱-۴-۳- محاسبه مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها برای بهره‌برداری از یک مسیر یک جهته

برای محاسبه، مدت زمانهای مختلف حداقل فاصله حرکت قطارها t_z بیشتر مدت زمانهای حرکت t_{fi} و طولهای انواع مختلف قطارهایی l_i که روی مقطع خط تعیین کننده در حین حرکت هستند مورد توجه واقع میشوند . مدت زمانهای توقف پیش‌بینی شده در برنامه حرکت در مقطع خط بررسی شده شامل مدت زمانهای حرکت میشوند .

در خصوص بهره‌برداری از یک مسیر یک‌جهته برای هر یک از موارد فاصله حرکت قطارها که در ماتریس (شکل ۲) آورده شده مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها محاسبه میشود . در محاسبه مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها پارامترهای زیر می‌بایست مد نظر قرار بگیرند :

t_{ls}= مدت زمان حرکت بین نقطه قابل رویت اولین علامت (علامت اخباری) و نقطه اندازه‌گیری مدت‌زمان حرکت .

t_l = مدت زمان حرکت در مقطع خط بین دو نقطه اندازه‌گیری متوالی (فاصله حرکت قطار)

t_{IR} = مدت زمان حرکت در مقطع آزاد (فاصله ایمنی زیر علامت‌بلاک + طول قطار) .

t_b = زمان لازم برای شکل‌دهی و خراب کردن مسیرهای حرکت و سرویس تاسیسات‌بلاک.

t_a = زمان لازم برای ارسال و دریافت فرمان حرکت (فقط در مورد قطارهایی که در اولین ایستگاه متوقف میشوند.)

برای مقطع خطی که شامل پست بلاک میانی نباشد، فرمولی که زمان حداقل فاصله حرکت قطار را بیان میکند به صورت زیر می‌باشد:

قطار بعدی در ایستگاه A متوقف‌میشود:

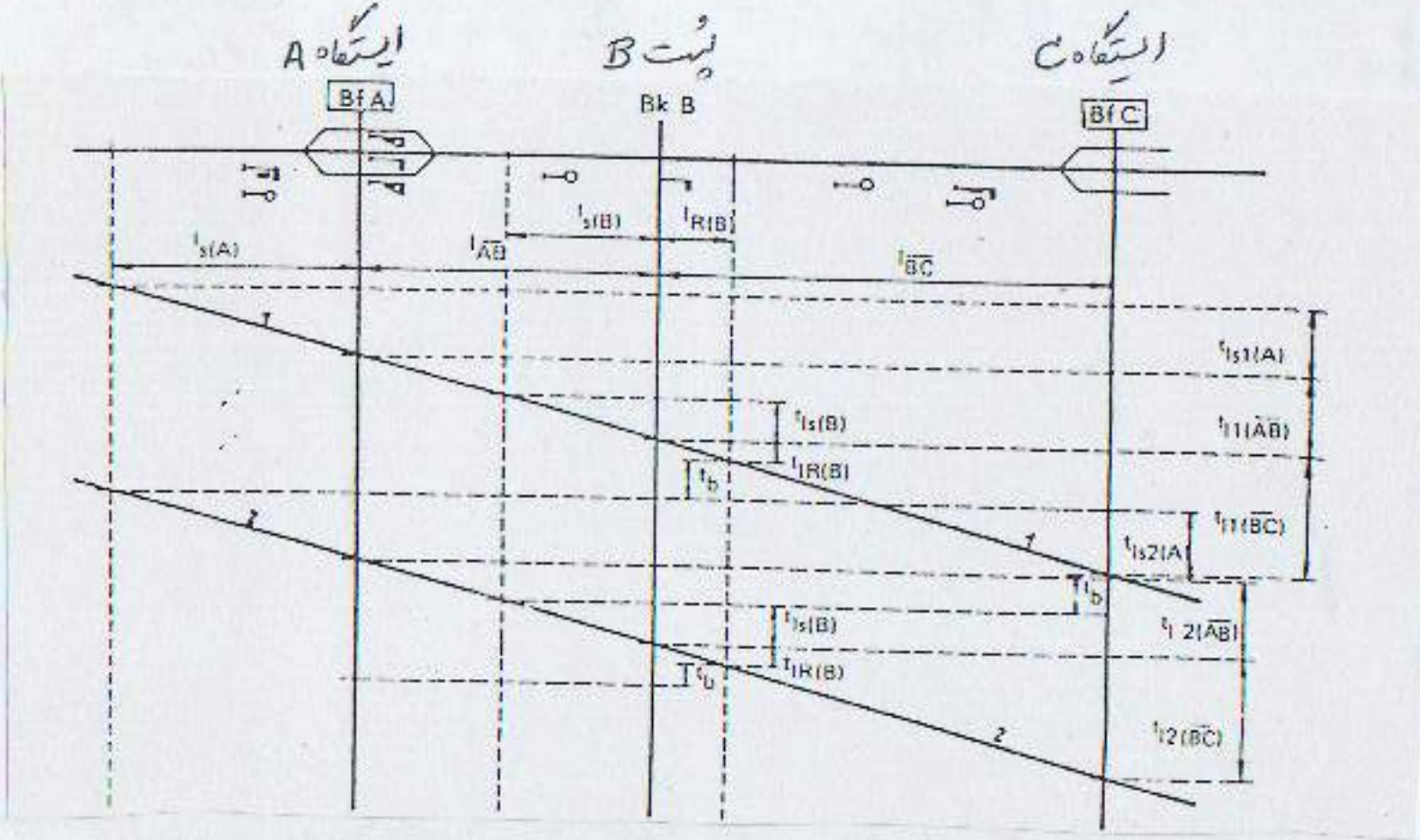
[4] $t_f = t_{11(\overline{AC})} + t_b + t_a$ [دقیقه]

قطار بعدی بدون توقف از ایستگاه A میگذرد:

علامت اخباری نشانهء ورود به ایستگاه A زمانی که قطار بانقطهء قابل رویت برخورد میکند، می‌بایست روی " خط آزاد است" باشد .

[5] $t_f = t_{11(\overline{AC})} + t_b + t_{1S2(A)}$ [دقیقه]

در مورد مقطع خطی که شامل پست‌بلاک میانی باشد ، مدت



شکل ۵- نمایی از ارزیابی زمانهای مخصوص جهت تعیین مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها

زمان حداقل فاصله حرکت قطارها برای ایستگاه A می‌بایست با در نظر گرفتن کلیه، علامت‌های بلاکی که در این مقطع خط یافت میشود محاسبه شود. همچنین طولانی‌ترین زمان حداقل فاصله حرکت قطارها نیز در محاسبه منظور میگردد.

- مدت زمان حداقل فاصله، حرکت قطارها برای ایستگاه A در ارتباط با علامت خروجی‌اش .

قطار بعدی در ایستگاه A متوقف میشود :

[6] $t_f = t_{l1(\overline{AB})} + t_{lR1(B)} + t_b + t_a$ [دقیقه]

قطار بعدی از ایستگاه A بدون توقف میگذرد :

[7] $t_f = t_{l1(\overline{AB})} + t_{lR1(B)} + t_b + t_{ls2(A)}$ [دقیقه]

- مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها برای ایستگاه A در ارتباط با علامت بلاک پست بلاک B

[8] $t_f = t_{l1(\overline{AC})} + t_b - (t_{l2(\overline{AB})} - t_{ls2(B)})$ [دقیقه]

در مورد مقطع خطی بادو (یا حتی بیشتر) پست بلاک نیز فرمولبندی برای انجام محاسبات وجود دارد بدین ترتیب که برای ایستگاه A ، مدت‌زمان حداقل فاصله حرکت قطارها نیز با در نظرگرفتن علامت‌های مختلف‌بلاک‌محاسبه میشود.

اصطلاحات‌مختلف‌فرمول‌های قبلی بدین صورت تعریف میشوند :

t_l = مدت زمان حرکت در مقطع خط

مقدار t_l از برنامه حرکت قطار بدست می‌آید. اگر برنامه حرکت قطارها جزئیات سفر را برای پست‌های بلاک موجود نشان ندهد پس بنابراین این مقادیر باید براساس مدت زمان حرکت‌در این مقطع خط درج شود .

[9] $$t_{l(\overline{AB})} = \frac{t_{l(\overline{AC})} \cdot (\overline{AB})}{(\overline{AC})}$$ [دقیقه]

t_{ls} = مدت زمان حرکت بین نقطهء قابل رویت و نقطهء اندازه‌گیری مدت‌زمان حرکت بعدی .

اگر قطاری طبق برنامه حرکت می‌بایست بدون توقف از روی نقطهء اندازه‌گیری که در ابتدای یک مقطع خط یا قطعه بلاک واقع شده عبور کند ، قبل از آنکه مکانیک کاهش سرعت قطار را اندازه گرفته باشد ، باید اولین علامت (علامت‌اخباری) در وضعیت" خط آزاداست" باشد .

مسافت l_s از دو قسمت زیر تشکیل میشود :

- فاصلهء بین دو نقطه قابل رویت و اولین علامت (علامت‌اخباری)

قطارهایی که با سرعت بیشتر یا مساوی با ۸۰ کیلومتر در ساعت حرکت می‌کنند : ۳۰۰ متر

قطارهایی که با سرعت کمتر از ۸۰ کیلومتر درساعت حرکت می کنند : ۵۰۰ متر

- فاصله بین علامت اخباری و نقطهء اندازه‌گیری بعدی :

این مقدار از نمودار علامتگذاری خط بدست میاید . مدت زمان حرکت از نقطهء قابل رویت بر اساس [۹] و با درج مدت زمان مربوطه محاسبه میشود .

t = مدت زمان حرکت در مقطع آزاد شده

IR

در بعضی از شبکه‌ها بدلایل ایمنی قطار باید قبل از آنکه خط بالای قطعه بلاک مشخص شود، مسافت مشخصی را در پایین علامت حرکت کند .

مقطع آزاد از دو قسمت زیر تشکیل میشود :

- فاصله ایمنی در پایین علامت بلاک (block)

این مقدار، از نمودار علامتگذاری خط بدست‌میاید وهمچنین در بعضی از شبکه‌ها نیز میتوانند صفر باشد .

- طول قطار

در حالیکه تمامی محاسبات براساس قسمت جلوی قطار انجام میشود کل قطار می‌بایست از محدودهء ایمنی بگذرد .

مقادیر زیر به عنوان قراردادی قابل قبول می‌باشند :

- برای قطارهایی که با سرعت بیشتر یا مساوی با ۸۰

- برای قطارهایی که با سرعت کمتر از ۸۰ کیلومتر در ساعت حرکت میکنند : ۴۰۰ متر

مدت زمان حرکت در مقطع آزاد t_{1R} نیز بر اساس [۹] با درج مدت زمان حرکت مربوطه محاسبه میشود . برای احداث و ابطال مسیرها و همچنین برای سرویس تاسیسات بلاک t_b به زمان نیاز داریم . لازم است این زمان مورد نیاز را قبل و بعد از بهره‌برداری تاسیسات ایمنی هر قطار در پست‌های مختلف علائم در اطراف مقطع تعیین کننده خط مشخص کنیم . همچنین این مقادیر را میتوان از طریق بررسی ها و مشاهدات مستقیم بهره‌برداری در راه آهن تعیین کرد .

این مقادیر تقریبی که در شکل شماره ۶ دسته بندی شده اند را میتوان همانند مقادیر قراردادی پذیرفت.

شکل ۶- زمانهای تقریبی لازم برای احداث و ابطال مسیرها و سرویس تاسیسات بلاک

	پست مکانیک	پست تمام الکترونیک	پست تمام رله‌ای قابل رویت
ایستگاه محکم	1.5 min	1.0 min	0.3 min
تا اندازه‌ای محکم	1.0 min	0.5 min	0.0 min
پست بلاک	1.5 min	—	—

زمانهای لازم برای ارسال و دریافت فرمان حرکت t_a فاکتور
در خصوص توقف قطار در ایستگاه همچنین می‌بایست
دیگری از زمان نیز در نظر گرفته شود که از هنگام
دروضعیت قرارگرفتن "خط آزاد است" علامت خروج تا موقع
اعزام قطار محاسبه شود . این فاکتور زمان لازم را در
اختیار مسئول ایمنی یا رئیس قطار میگذارد تا بدین
وسیله بتوانند فرمان حرکت را صادر کرده و نیز آنرا
دریافت کنند و وضعیت " خط آزاد است" علامت خروج نیز
مفهوم شود . این مدت زمانها را از طریق بررسی
ومشاهدات مستقیم بهره‌برداری در راه آهن نیز میتوان
همانند مقادیر قراردادی پذیرفت .

۳-۱-۴-۳- محاسبه مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها
برای بهره‌برداری ازیک مسیر دو جهته .

برای محاسبه مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارهادر
بهره‌برداری ازیک مسیر دو جهته اصول محاسبه مدت زمان
حداقل فاصله حرکت قطارها دربهره‌برداری از یک مسیریک
جهته (بند ۳-۱-۴-۳ راملاحظه کنید) مورد استفاده می‌باشد .
۴ نوع مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها در
بهره‌برداری از یک مسیر دو جهته (شکل ۳) از رابطه‌های

مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها $t_{f(aa)}$

این نوع مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارهادر بهره‌برداری از یک مسیردو جهته (زمان حداقل فاصله حرکت قطارکه حرکت دو قطار درهمان جهت‌را از هم مجزا میکنند) بستگی به موارد بررسی شده در بهره‌برداری از یک مسیر یک جهته دارد .

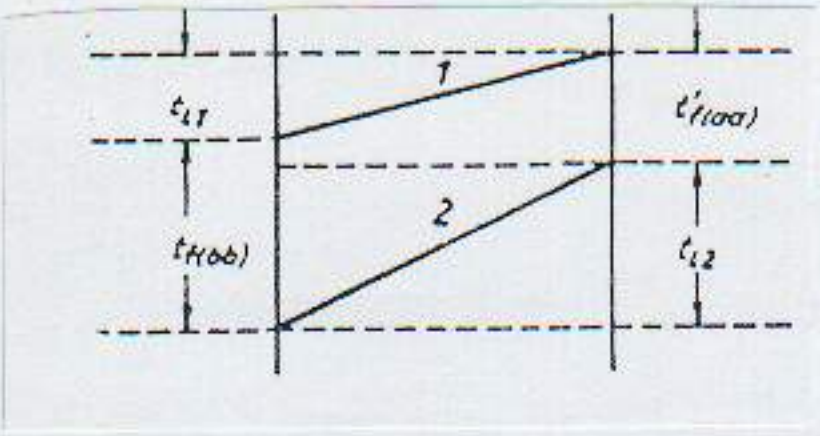
برای محاسبه مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها برای ایستگاه A از معادلات[۴]،[۵]،[۶]،[۷]و[۸]استفاده میشود .

مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها $t_{f(bb)}$

این نوع مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها (حداقل زمانی که رسیدن دو قطار در یک جهت راازهم مجزا میکنند) همانند مقدار مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها $t_{f(aa)}$ میباشد . (شکل ۷)

شکل ۷- نمایی از مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطار $t_{f(bb)}$

ایستگاه A ایستگاه B



t_1 = مدت زمان حرکت یک قطار

t_f = مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها ایستگاه A

t'_f = مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها ایستگاه B

[10] $t_{f(bb)} = t'_{f(aa)} + t_{l2} - t_{l1}$ [دقیقه]

محاسبه مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها $t_{f(aa)}$ برای ایستگاه B (جهت عکس) بر اساس فرمولهای [۴]، [۵]، [۶]، [۷] و [۸] انجام میشود .

مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها $t_{f(ab)}$

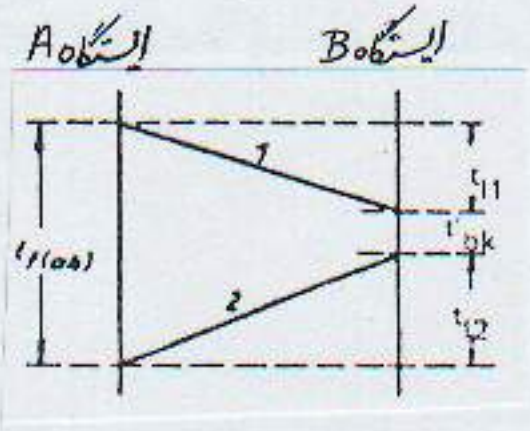
محاسبه این نوع مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها

(حداقل زمانی که اعزام یک قطار را از رسیدن فوری قطار دیگر مجزا میکنند) بر اساس نمودار زیر (شکل ۸) انجام میشود.

شکل ۸- نمایی از زمان حداقل فاصله حرکت قطارها $t_{f(ab)}$

t_1 = مدت زمان حرکت یک‌قطار

t'_{bk} = زمان تلاقی در ایستگاه B



[11] $t_{f(ab)} = t_{11} - t'_{bk} + t_{12}$ [دقیقه]

زمان تلاقی t'_{bk} در ایستگاه B از دو قسمت تشکیل میشود.

قطار بعدی در ایستگاه B متوقف میشود:

[12] $t'_{bk} = t'_{b} + t_{a}$ [دقیقه]

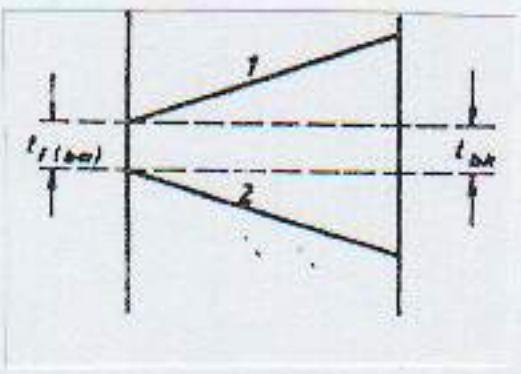
قطار بعدی بدون توقف از ایستگاه B عبور میکنند:

[13] $t'_{bk} = t'_{b} + t_{ls2}$ [دقیقه]

مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها $t_{f(ba)}$

این نوع مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها (حداقل زمانی که رسیدن یک قطار و حرکت فوری قطار بعدی در جهت عکس را از هم جدا میکند) بستگی به زمان تلاقی t_{bk} در ایستگاه A (شکل ۹) دارد.

شکل ۹- نمایی ازمدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها



فرمولهای [۱۲] و [۱۳] نیز برای ایستگاه A قابل استفاده می باشند .

پارامترهای زمانی برای محاسبه، حداقل مدت زمان فاصله حرکت قطارها در بهره‌برداری از یک مسیر دو جهته به همان طریق مورد استفاده در بهره‌برداری از یک مسیر یک جهته تعیین میشوند . (بند ۳-۱-۴-۳ را ملاحظه کنید) .

۳-۱-۴-۳ - استفاده از یک روش گرافیک

تعیین مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها به کمک

روش گرافیک نیز میسر می‌باشد ، دراین روش برای هر قطاری که در حال حرکت روی مقطعی از خط تعیین کننده می‌باشد مدت زمان اشغال خط معین میشود . بطوح مربوط به مدت زمان اشغال خط توسط دو قطار که یکی پس از دیگری در یک جهت عبور میکنند تا زمان تماس مستقیمشان به یکدیگر نزدیکتر میشوند . (شکل ۱۰) برای هر فاصله حرکت قطار میتوان حداقل مدت زمان رادر آغاز مقطع خط به عنوان فضای بین شروع دوره، اشغال خط در آن مقطع خواند یعنی از طریق اولین قطار و آغاز همان دوره برای قطار بعدی .

۲-۴-۳- روشی که بستگی به برنامه حرکت قطار ندارد .

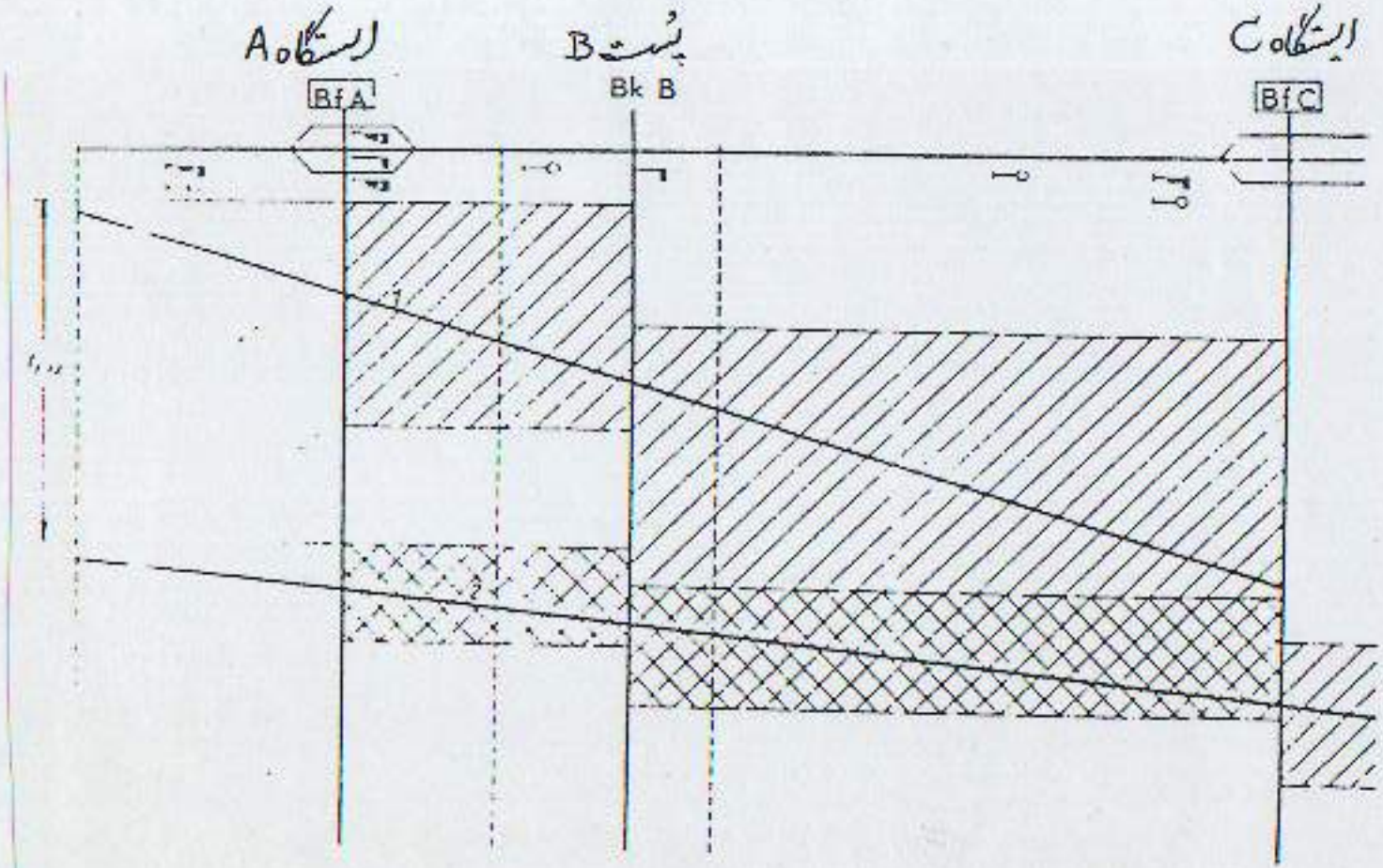
اگر برای خطوط مورد مطالعه ، برنامه حرکت قطاری که به شرایط مورد نظر پاسخ بگوید وجود نداشته باشد، موارد مختلف فاصله حرکت قطارها بصورت اتفاقی درنظرگرفته میشود ، بنابراین شناخت تعداد قطارها برای هریک از گروههای مدت زمان حرکت کافی می‌باشد .

[دقیقه بر قطار]

$$[14] \quad t_{fm} = \frac{\sum n_i \cdot n_j \cdot t_{fij}}{\sum n_i \cdot n_j}$$

که در آن :

شکل ۱۰ - جدول مدت زمان قطع (اشغال) مقطع خط برای تعیین گرافیکی ظرفیت خط



i = قطار قبلی

j = قطار بعدی

n_i, n_j = تعداد قطارها در گروههای زمانی

t_{fij} = مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها در دو گروه مختلف مدت زمان حرکت .

۵-۳- حاشیه زمان فوق العاده t_r

حاشیه زمان فوق‌العاده t_r زمان اضافی پیش بینی شده‌ای است که بعد ازهر مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها برای کاهش تاخیرات در نظر گرفته شده است . وسیع بودن حاشیه زمان فوق العاده تاثیر قابل توجهی در کیفیت بهره‌برداری یک‌خط دارد. از طرف دیگر چنانچه حاشیه زمان فوق‌العاده خیلی زیاد باشد ظرفیت خط کاهش می‌یابد .

برای محاسبهء هم طول مقطع خط تعیین کننده و هم سرعت قطارهایی که دراین مقطع در حین حرکت هستند از حاشیه‌های مختلف زمان فوق‌العاده بنابر تغییرات میانگین مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها استفاده میشود . بر اساس تجارب بدست‌آمده چندین شبکه راه آهن دربهره‌برداری زمانی که حداکثر اشغال قابل قبول مقطع خط تعیین کننده

برابر با ۶۰٪ = W باشد میتوان از سرویسی که جوابگوی کیفیت بهتر است استفاده نمود . پس برای حاشیه زمان فوق‌العاده مقدار زیر در نظر گرفته میشود :

[15] $t_r = 0.67 \times t_{fm}$ [دقیقه‌برقطار]

محاسبه: ظرفیت ساعتی (بند ۳-۳ را ملاحظه کنید) مبتنی بر حداکثر اشغال قابل قبول مقطع خط تعیین کننده W = ۷۵٪ می‌باشد . با درنظرگرفتن تجارب شبکه‌های مختلف راه آهنی و این میزان اشغال خط ،میتوان همزمان از سرویس‌ها بدون مشکل عمده‌ای استفاده کرد . برای ظرفیت ساعتی از نتایج کوتاه و خلاصه حاشیه زمان فوق العاده میبایست استفاده شود، پس بنابراین حاشیه زمان فوق‌العاده‌ای به صورت زیر خواهیم داشت:

[16] $t_r = 0.33 \times t_{fm}$ [دقیقه برقطار]

۶-۳- زمان اضافی t_{zu}

t_{zu} زمان اضافی دیگری است که بعداز هر مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطار پیش‌بینی میشود تا بطور تخمینی در مقطع یا مقاطعی از خطوط کیفیت سرویس در خواستی را تضمین کند .

بنابر تحقیقات انجام شده روی تقریبا " ۴۰ مقطع خط

راه آهن این نتیجه بدست آمده که باتعداد رو به افزایش مقطع خط و ضرورت وجود کیفیت بهتر خدمات مشابه ، ظرفیت بخشی از خط نسبت به آنچه که برای مقطع خط تعیین کننده محاسبه شده کاهش می یابد . در همان موقع یک ضریب تصحیح کننده ۰/۲۵ کیلومتر برقطار وبرمقطع خط بدست می‌آید .

پس برای t_{zu} مقدار زیر درنظر گرفته میشود :

[دقیقه بر قطار] $t_{zu} = a \times 0.25$ [17]

a = تعداد مقاطع خط

ضمیمه ۱

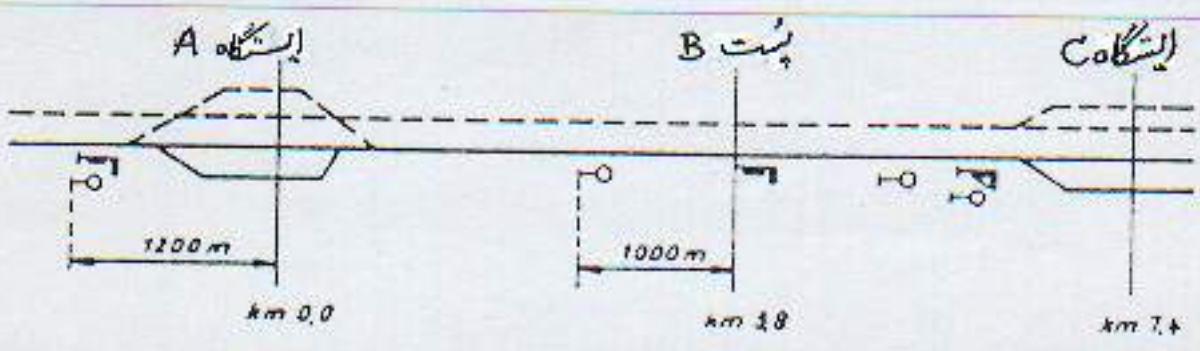
نمونه‌ای از محاسبهء ظرفیت‌بخشی ازخط در بهره‌برداری

از یک‌مسیر یک جهته

۱- مشخصات‌بخشی‌از خط

طول بخش	۳۶/۹ کیلومتر
تعداد مقاطع خط a	a = ۷
شامل یک پست بلاک میانی	۴
مقطع خط تعیین کننده	۷/۴ کیلومتر
(ایستگاه A - پست B - ایستگاه C)	
ایستگاه A - پستB	۳/۸ کیلومتر
پست B - ایستگاه C	۳/۶ کیلومتر

شکل ۱- نمای شماتیک مقطع خط تعیین کننده



محاسبه برای خط در جهتهای A - B - C انجام‌میشود .

جهت مخالف آن نیز به صورت مشابه محاسبه میشود اما در این مثال این محاسبات انجام نشده است .

برای کاهش مقدار عددی ، محاسبه فقط برای ۱۲ ساعت = ۷۲۰ دقیقه انجام میشود .

۲- محاسبه مدت زمان متوسط فاصله حرکت قطارها t_{fm}

۲-۱- روشی که بستگی به برنامه حرکت قطار دارد .

۲-۱-۱ - تعیین تعداد موارد فاصله حرکت قطارها

با در نظر گرفتن برنامه حرکت قطارها ، لیستی از قطارها (شکل ۲) که در جهت ایستگاه A پست B - ایستگاه C در حین حرکت هستند با مدت زمان حرکتشان به ترتیب زمانی آورده شده است . سپس سه دسته مدت زمان حرکت در نظر گرفته شده که در آنها زمانهای خاصی نیز تقسیم‌بندی شده اند .

همچنین دسته بندی میبایست به نحوی انجام شود که مقدار ستون " مدت زمان حرکت " و ستون " دسته مدت زمان سفر" بصورت تخمینی با هم برابر شود .

در این مثال ارائه شده ، مجموع تمرانهای هر دو مقدار داده شده بالغ بر ۲% = ۷/۹ min میشود .

مدت زمان حرکت t_l	درجه مدت زمان حرکت t'_i
-5,5 min	4,5 min
5,6 - 7,5 min	6,5 min
7,6 - min	8,5 min

شکل ۲- لیست قطارها برای ۱۲ ساعت

تمامی داده‌ها به دقیقه میباشد (min)

دسته مدت زمان سفر	مدت زمان حرکت	دسته مدت زمان سفر	مدت زمان حرکت	دسته مدت زمان سفر	مدت زمان حرکت	دسته مدت زمان سفر	مدت زمان حرکت
8,5	9,0	8,5	9,0	6,5	6,5	8,5	8,0
4,5	4,1	4,5	9,0	4,5	4,5	4,5	4,6
4,5	5,0	6,5	7,0	8,5	10,0	4,5	4,5
8,5	11,0	8,5	8,0	4,5	4,1	4,5	3,7
4,5	4,5	8,5	8,0	4,5	4,5	4,5	4,5
8,5	8,0	8,5	8,0	8,5	8,0	4,5	5,0
8,5	8,0	8,5	8,0	4,5	4,5	4,5	4,5
4,5	4,5	8,5	8,0	4,5	4,5	6,5	6,5
6,5	2,5	8,5	10,0	10,5	8,5	8,5	9,0
8,5	9,0	8,5	9,0	6,5	6,5	8,5	9,0
4,5	4,5	8,5	8,0	4,5	4,5	4,5	10,0
4,5	4,7	6,5	7,0	4,5	4,5	4,5	8,0
8,5	8,0	6,5	7,0	4,2	4,5	6,5	6,5
8,5	8,0	8,5	8,0	5,0	4,5	4,5	4,5
56 قطار							

مدت زمان های حرکت تعیین شده مشخص میکنند که قطار در ایستگاه A متوقف میشود ، توقف‌های قطارها در ایستگاه C هیچ گونه تاثیری در محاسبه ندارد . از لیست قطارها ، ماتریس موارد فاصله حرکت قطارها استخراج میشود (شکل ۳). باید خاطر نشان ساخت که آخرین قطار ثبت شده با اولین قطار ثبت شده یک نمونه‌از فاصله حرکت قطار را بوجود میاورد .

بدین ترتیب ، تعداد فاصله حرکت قطارها و نیز تعداد

قطارهایی که درحین حرکت هستند یکسان خواهد بود .

شکل ۳- ماتریس تعداد فاصله حرکت قطارها n

t_i [min]	قطار بعدی 4.5 عبور / توقف ایستگاه F		6.5 عبور / توقف ایستگاه F		8.5 عبور / توقف ایستگاه F		Σ
4.5	-	12	1	1	6	2	22
6.5	-	3	-	1	-	4	8
8.5	-	7	2	3	-	14	26
$\Sigma\Sigma$56							

۲-۱-۳- محاسبه مدت زمان ویژه حداقل فاصله حرکت قطارها t_{fi}

در مقطع خط تعیین کننده یک پست بلاک وجود دارد به همین دلیل از فرمولهای [۶]، [۷]، [۸] و [۹] قبلی استفاده میشود .

برای خطوط مورد بحث بر اساس مقادیر مخصوص زیر محاسبه انجام میشود .

طول مقطع خط ایستگاه A - ایستگاه C ۷/۴ کیلومتر

طول مقطع بلاک ایستگاه A - پست B ۳/۸ کیلومتر

مدت زمان حرکت روی قطعه بلاک

$t_{i(\overline{AC})}$	4.50	6.50	8.5	min
$t_{i(\overline{AB})}$	2.31	3.37	4.36	min

نقطه‌ء قابل رویت: فاصله‌ء میان نقطه‌ء قابل اندازه گیری ایستگاه A
و علامت اخباری نشانه‌ء خروج ۱۲۰۰متر

فاصله قابل رویت علامت اخباری نشانه‌ء خروج

برای t_l : ۴/۵۰ mn = t : ۵۰۰ متر

$$\begin{cases} ۶/۵۰ \text{ mn} = t \\ ۸/۵۰ \text{ mn} \quad l \end{cases}$$ ۳۰۰ متر

مدت زمان حرکت t :
ls(A)

t_l	4.5	6.5	8.5	min
t_{ls}	1.03	1.23	1.61	min

نقطه‌ء قابل رویت : فاصله بین نقطه‌ء قابل اندازه گیری
و علامت اخباری نشانه بلاک ۱۰۰۰ متر پست B

فاصله قابل رویت علامت اخباری نشانه بلاک همانند
ایستگاه A

مدت‌زمان حرکت t
ls(B)

t_l	4.5	6.5	8.5	min
t_{ls}	0.91	1.05	1.38	min

مقطع آزاد پست B : فاصله ایمنی ۳۰۰ متر

طول قطارها برای $\begin{cases} t = ۴/۵ \text{ min} \\ l = ۶/۵ \text{ min} \end{cases}$ ۴۰۰ متر

= ۸/۵ min ۷۰۰ متر

مدت زمان حرکت $t_{lR(B)}$

t_l	4.5	6.5	8.5	min
t_{lR}	0.36	0.53	1.03	min

زمان لازم برای شکل دهی و از بین بردن مسیر حرکت ایستگاه A

و زمان بلاک پست B $t_b = ۰/۵$ min

زمان لازم برای ارسال و دریافت سیگنال حرکت $t_a = ۰/۴$ min

برای محاسبهٔ t_{fi} جدول زیر قابل استفاده می‌باشد :

شکل ۴- جدول کمکی

تمامی داده‌ها به دقیقه می‌باشند .

t_l	4.5	6.5	8.5
I : $t_{l(\bar{A}B)} + t_{lR(B)} + t_b + t_a$	3.37	4.76	6.29
II : $t_{l(\bar{A}B)} + t_{lR(B)} + t_b$	3.17	4.36	5.89
III : $t_{ls(A)}$	1.03	1.23	1.61
IV: $t_{l(\bar{A}C)} + t_b$	5.00	7.00	9.00
V : $t_{l(\bar{A}B)} - t_{ls(B)}$	1.40	2.32	2.98

که در این جدول خواهیم داشت :

I : مدت زمان حرکت توسط یک قطار درقطعه بلاک ایستگاه A - پست B ، که زمان لازم برای ارسال علامت اعزام به قطار بعدی که در ایستگاه A متوقف شده نیز شامل آن میشود .

II + III : مدت زمان حرکت یک قطار در قطعه بلاک ایستگاه A - پست B ، که در مدت زمان حرکت قطار بعدی بین نقطهء قابل رویت علامت اخباری نشانهء خروج و نقطهء قابل اندازه‌گیری ایستگاه A نیز شامل آن میشود.

IV - V : مدت زمان حرکت قطاردر مقطع خط ایستگاه A - ایستگاه C کمتر از مدت زمان حرکت قطار بعدی بین ایستگاه A و نقطهء قابل رویت علامت بلاک B (block) میباشد.

بر اساس این مقادیر، برای ایستگاه A میتوان مدت زمانهای حداقل فاصله حرکت قطارها (شکل ۵) را با در نظر گرفتن پست بلاک B محاسبه کرد.

شکل ۵- جدول کلیه مدت زمانهای حداقل فاصله حرکت‌قطارها کلیهء داده‌ها به دقیقه میباشد .

t_1	قطار بعدی 4,5 توقف ایستگاه A	4,5 عبور از ایستگاه A	4,5 پست B	6,5 توقف ایستگاه A	6,5 عبور از ایستگاه A	6,5 پست B	8,5 توقف ایستگاه A	8,5 عبور از ایستگاه A	8,5 پست B
4,5	-	4,20	3,60	3,57	4,40	2,68	3,57	4,78	2,02
6,5	-	5,39	5,60	-	5,59	4,68	-	5,92	4,02
8,5	-	6,92	2,60	6,29	2,12	6,68	-	2,50	6,02

قطار اول

هریک از این مقادیر تعیین شده بیشترین زمان حداقل فاصله حرکت قطارها بوده و مبنایی برای محاسبات بعدی (شکل ۶) میباشند ، بطوریکه قطار بعدی میتواند در نقطه‌ء قابل رویت علامت بلاک B برای " خط آزاد است " منتظر بماند .

شکل ۶- جدول زمانهای حداقل فاصله حرکت قطارها t_{fi} برای محاسبه .

تمامی داده‌ها به دقیقه میباشد .

قطار جلو	t_1	قطار بعدی 4,5 توقف ایستگاه A	4,5 عبور ایستگاه A	6,5 توقف ایستگاه A	6,5 عبور ایستگاه A	8,5 توقف ایستگاه A	8,5 عبور ایستگاه A
	4,5	-	4,20	3,57	4,40	3,57	4,78
	6,5	-	5,60	-	5,59	-	5,97
	8,5	-	7,60	6,68	7,12	-	7,50

۳-۱-۲- محاسبه‌ء میانگین مدت‌زمان حداقل فاصله حرکت قطارها t_{fm}

با ضرب‌کردن حداقل زمان فاصله حرکت قطارها t_{fi} (شکل ۶) در تعداد فاصله حرکت قطارها n_i (شکل ۳) میتوان زمان اشغال بودن خط را برای تعداد فاصله حرکت موجود قطارها بدست آورد . جمع کل ماتریس بعدی

(شکل ۷) مدت زمان اشغال کلی مقطع خط تعیین کننده در طی زمان مورد بحث را مجدداً" نشان میدهد .

شکل ۷- ماتریس زمانهای اشغال

کلیه داده‌ها به دقیقه می‌باشند .

		قطار بعدی					
		4.5		6.5		8.5	
t l		عبور ایستگاه A	توقف	عبور ایستگاه A	توقف	عبور ایستگاه A	توقف
قطار قبلی	4.5	-	50.40	3.37	4.40	21.42	9.56
	6.5	-	16.80	-	5.59	-	23.88
	8.5	-	53.20	13.36	21.36	-	105.00

$\sum 328,54$

طبق فرمول [۳] فیش ، برای میانگین مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها مقدار زیر بدست می‌آید :

$$t_{fm} = \frac{328.54 \text{ min}}{56 \text{ قطار}} = 5.87 \text{ دقیقه / قطار}$$

۳-۲- روشی که بستگی به برنامه حرکت قطار ندارد .

برای روشی که بستگی به برنامه حرکت قطار نداشته باشد ، میانگین مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها t_{fm} طبق فرمول [۱۴] فیش محاسبه میشود .

براساس گروههای مدت زمان حرکت شناخته شده ، تمامی

موارد این روش همانند روشی که بستگی به برنامه حرکت قطار دارد (بند ۲-۱-۲ را ملاحظه کنید) و جدول زمانهای حداقل فاصله حرکت قطارها (شکل ۸)

می‌باشد. در مثال فعلی فقط زمانهای حداقل فاصله حرکت قطارها برای قطارهایی که بدون توقف از ایستگاه A میگذرند مورد نظر می‌باشند. تعداد قطارها (n)

در سه گروه مدت زمان حرکت همانند همان روشی که بستگی به برنامه حرکت قطار دارد می‌باشد. (شکل ۳)

شکل ۸- جدول زمانهای حداقل فاصله حرکت قطارها t_{fi} کلیه داده‌ها به دقیقه می‌باشند .

t_l		قطار بعدی 4.5	6.5	8.5
قطار قبلی	4.5	4.20	4.40	4.78
	6.5	5.60	5.79	5.97
	8.5	6.60	7.12	7.50

تعداد قطارها در سه گروه مدت زمان حرکت

t_1	4.5	6.5	8.5	min
n	22	8	26	قطار

شکل ۹- جدول محاسبه

n_1	.	n_2	t_{fi}	
22	.	22	4.20	2032.80
22	.	8	4.40	774.40
22	.	26	4.78	2734.16
8	.	22	5.60	985.60
8	.	8	5.79	370.56
8	.	26	5.97	1241.76
26	.	22	7.60	4347.20
26	.	8	7.12	1480.96
26	.	26	7.50	5070.00
		Σ 3136		19037.44

میانگین مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها از شکل ۹ چنین بدست می‌آید :

دقیقه بر قطار $t_{fm} = \frac{19037}{3163} = 6.07$

۳- محاسبه ظرفیت بخشی از خط

ظرفیت L بکمک فرمول [1] فیش محاسبه میشود .

دقیقه بر قطار $t_{fm} = 5.87$ (روشی که بستگی به برنامهٔ حرکت قطار دارد)

(بند ۳-۱-۲ضمیمه)

دقیقه بر قطار $t_r = 0.60 \times 5.87 = 3.93$

(بند ۵-۳ فیش را ملاحظه کنید)

دقیقه بر قطار $t_{zu} = 7.0/25 = 1/75$ (بند ۶-۳ فیش را ملاحظه کنید)

$$L = \frac{750}{5.87 + 3.93 + 1.75} = \frac{720}{11.75} = 62.34$$

قطار / ۱۲ ساعت

برای ۱۲ ساعت، ظرفیت L تا ۶۲ قطار افزایش مییابد:

براساس محاسبات انجام شده ظرفیت بر روز را چنین میتوان تعیین کرد: قطار / روز $L = 124$

ظرفیت بر ساعت براساس حاشیه زمان فوقالعاده کاهش یافته زیر میباشد.

(بند ۵-۳ فیش را ملاحظه کنید)

$$t_r = 0.33 \times t_{fm}$$

$$t_r = 0.33 \times 5.87 = 1.94 \quad \text{min / train}$$

$$L_h = \frac{60}{5.87 + 1.94 + 1.75} = 6.28$$ قطار بر ساعت

در نتیجه ظرفیت برساعت برابر است با:

$L_h = 6.28$

قطار برساعت

در حالیکه ظرفیت متوسط ساعتی محاسبه شده درکل روزفقط، $L = 5.20$ قطار / ساعت، می باشد.

ضمیمه ۲

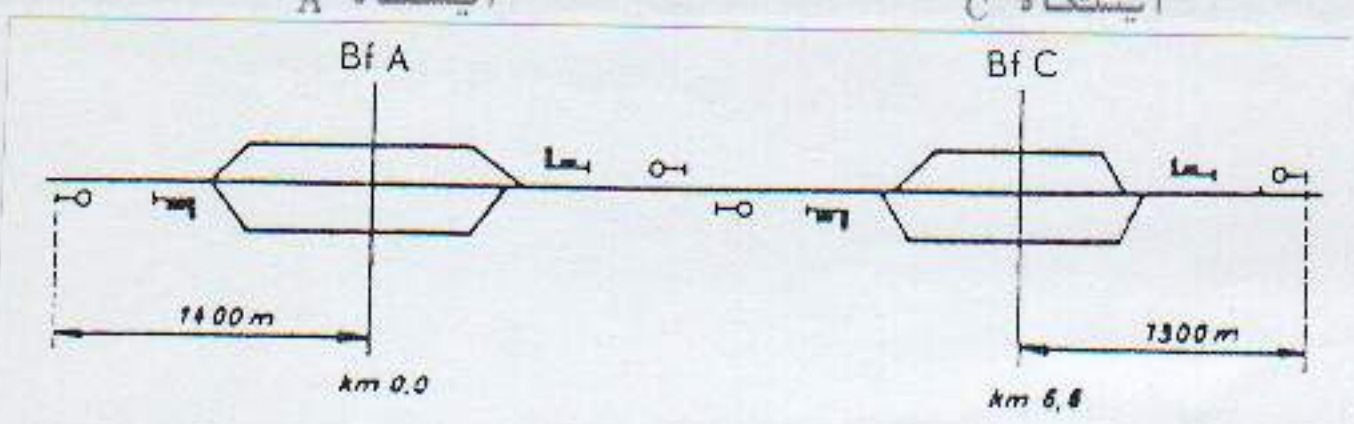
نمونه‌ای از محاسبهٔ ظرفیت بخشی از خط در بهره‌برداری از یک مسیر دو جهته

۱- مشخصات بخشی از خط

طول این بخش از خط	۱۸/۵ کیلومتر
تعداد مقاطع خط	۴
مقطع خط تعیین کننده	۶/۶ کیلومتر

(ایستگاه A - ایستگاه C)

شکل ۱- نمای شماتیک مقطع خط تعیین کننده



در این مثال، روی مقطع خط تعیین کننده پست بلاک میانی وجود ندارد ، اگر بر عکس در مقطع خط تعیین کننده پست‌های بلاک باشد ، زمانهای حداقل فاصله حرکت قطارها (بند ۳-۱-۴-۳ فیش را ملاحظه کنید) $t_{f(bb)}$ و $t_{f(aa)}$

می‌بایست همانند روش ارائه شده در ضمیمه ۱ ، بند۲-۱-۲ محاسبه شود .

۲- محاسبهٔ میانگین مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها t_{fm}

۱-۲- روشی که بستگی به برنامه حرکت‌قطار دارد.

۱-۱-۲- تعیین تعداد فاصله حرکت قطارها

با در نظر گرفتن برنامه حرکت قطارها، لیستی از قطارهای (شکل ۲) درحین حرکت روی مقطع خط تعیین کننده بامدت زمان حرکتشان به ترتیب زمانی آورده شده است.

مدت زمانهای حرکت قطارها در جهت ایستگاه A - ایستگاه C توسط " + " و نیز جهت عکس آن با " - " مشخص شده‌اند . سپس چهار گروه مدت زمان حرکت در نظر گرفته شده که درآنها زمانهای خاصی نیز تقسیم شده است.

همچنین دسته بندی می‌بایست بصورتی انجام شود که مقدار ستون " مدت زمان حرکت " و ستون " گروه (دسته) مدت زمان سفر " با هم‌برابر شوند . سپس دو ستون بدون در نظر گرفتن علامت‌ها با هم جمع شوند.

دسته مدت‌زمان سفر مدت زمان حرکت

دسته مدت‌زمان سفر	مدت زمان حرکت
8 min	- 9, 0 min
10 min	9,5 - 11,0 min
12 min	11,5 - 13,0 min
14 min	13,5 - min

درمثال فعلی حالتی ایده آل وجوددارد‌که تلرانس هردومقدار بالغ بر 0.0 دقیقه میشود .

شکل ۳- لیست قطارها برای ۲۴ ساعت (کلیهٔ داده‌ها به دقیقه می‌باشد)

گروه مدت زمان سفر	مدت زمان حرکت	گروه مدت زمان سفر	مدت زمان حرکت	گروه مدت زمان سفر	مدت زمان حرکت	گروه مدت زمان سفر	مدت زمان حرکت
+ 8	+ 8	+ 8	+ 8	- 10	- 10	+ 8	+ 8
+ 8	+ 8	- 8	- 8,5	+ 8	+ 8	+ 8	+ 9
+ 10	+ 10	- 10	- 10	+ 8	+ 8	- 10	- 10
- 8	- 8	+ 8	+ 8	- 9	- 8	- 8	- 8,5
- 10	- 10	+ 10	+ 10	+ 12	+ 12	+ 8	+ 2,5
+ 8	+ 8	- 8	- 8,5	- 8	- 8	- 10	- 10
- 8	- 8	+ 8	+ 8	+ 8	+ 8	+ 8	- 10
+ 8	+ 8	+ 10	+ 10	- 14	- 14	+ 10	+ 10
- 10	- 10	+ 8	+ 7	+ 8	+ 8	- 10	- 10
- 8	- 8	- 8	- 8,5	- 8	- 8	- 8	- 8
- 14	- 14	+ 12	+ 12	+ 7	+ 8	+ 10	+ 10
- 8	- 8	- 8	- 8	- 8,5	- 8	+ 8	+ 8
+ 12	+ 12	+ 10	+ 10	+ 12	+ 12	- 8	- 8
+ 8	+ 8	- 10	- 10	+ 10	+ 10	- 12	- 11
- 8	- 8	+ 8	+ 8	+ 8	+ 8	+ 10	+ 10
- 8	- 8	- 2,5	- 8	+ 8	+ 8	+ 8	+ 8
+ 14	+ 14	+ 11	+ 12	- 8	- 8	- 7	- 8
- 8	- 8	- 8,5	- 8	- 11	- 12		

71 قطار

مدت زمانهای حرکت مشخص شده نشان میدهد که قطار در ایستگاه ورودی مقطع خط تعیین کننده متوقف میشود (قطارهای در جهت " + " در ایستگاه A و قطارهای در جهت" - " در ایستگاه C متوقف میشوند).

از لیست قطارها ماتریس تعداد موارد حداقل فاصله حرکت قطارها (شکل ۳) بیرون آورده میشود. همچنین

می‌بایست خاطر نشان ساخت که آخرین قطار ثبت شده با اولین قطار ثبت شده یک مورد از فاصله حرکت قطار را بوجود میاورد، بنابراین تعداد فاصله حرکت قطارها و تعداد قطارهای در حین حرکت یکسان می‌باشند.

شکل ۳- ماتریس تعداد فاصله حرکت قطارها n

1	-	-	-	-	+14	-	-	-	1/0
5	-	-	-	-	+12	0/1	0/1	-	3/0
8	-	-	-	-	+10	2/2	-	2/0	2/0
22	-	-	-	-	+ 8	2/2	0/3	3/0	11/0
	+14	+12	+10	+ 8	t_1 (min)	- 8	-10	-12	-14
22	0/1	5/0	1/1	6/1	- 8	1/0	3/0	2/0	1/0
9	-	-	0/1	4/0	-10	1/0	3/0	-	-
2	-	-	0/1	1/0	-12	-	-	-	-
2	-	-	-	1/0	-14	1/0	-	-	-
71									

قطار بعدی — قطار قبلی

۲/۱ - رقم قبل از خط کج (/) : قطارهای بعدی در ایستگاه ورودی مقطع خط متوقف میشوند.

رقم بعد از خط کج (/) : قطارهای بعدی بدون توقف از ایستگاه ورودی مقطع خط عبور میکنند.

۲-۱-۳- محاسبهٔ زمان‌های ویژه حداقل فاصله حرکت قطارها

t_{fi} همانند مورد ۳-۱-۲-۳ قبلی ، در بهره‌برداری از یک مسیر دو خطه ، چهار نوع مختلف زمان حداقل فاصله حرکت قطارها ($t_{f(aa)}$, $t_{f(ab)}$, $t_{f(ba)}$, $t_{f(bb)}$) می‌بایست محاسبه شوند .

محاسبهٔ $t_{f(aa)i}$

مقادیر ویژه خط که درزیر آمده مبنای محاسبه می‌باشد :

طول مقطع خط : ۶/۶ کیلومتر

نقطهٔ قابل رویت ایستگاه A : فاصله بین نقطهٔ اندازه‌گیری و علامت اخباری (جهت " + ")

نشانهٔ ورود ۱۴۰۰ متر

فاصلهٔ بین نقطهٔ قابل رویت و علامت اخباری نشانهٔ ورود

۵۰۰ متر $\begin{cases} +8 \text{ mn} \\ +10 \text{ mn} \end{cases}$ = در t_l

۳۰۰ متر $\begin{cases} +13 \text{ mn} \\ +14 \text{ mn} \end{cases}$ = در t_l

مدت زمان حرکت $t_{ls(A)}$

t_{l}	+8	+10	+12	+14	min
t_{ls}	2,3	2,9	2,9	3,4	min

زمان لازم برای از بین بردن و شکل دهی مسیر حرکت

t_b : 0.5 min

زمان لازم برای ارسال و دریافت علامت حرکت

t_a : 0.4 min .

طبق فرمولهای [۴] و[۵] فیش و به کمک این مقادیر

میتوان زمانهای حداقل فاصله حرکت قطارهای بعدی $t_{f(aa)i}$

(شکل ۴) را محاسبه کرد.

برای موارد مربوط به نمونه‌های خالی شکل ۳ محاسبه انجام نمیشود .

شکل ۴- زمانهای حداقل فاصله حرکت قطارها $t_{f(aa)i}$ کلیه داده‌ها به دقیقه می‌باشد.

t_1	قطار بعدی + 8 عبور	+ 8 توقف	+ 10 عبور	+ 10 توقف	+ 12 عبور	+ 12 توقف	+ 14 عبور	+ 14 توقف
	ایستگاه A		ایستگاه A		ایستگاه A		ایستگاه A	
+14	-	-	-	-	-	-	-	-
+12	12,9	14,8	12,9	15,4	-	-	-	-
+10	10,9	12,8	-	-	-	-	-	-
+ 8	8,9	10,8	8,9	11,4	-	-	-	-

قطار قبلی

محاسبه $t_{f(ab)i}$ همانند تقاطعی قطارهایی که درجهت " - " بوده و در ایستگاه c متوقف میشوند، فرمولهای [۱۱] و [۱۲] فیش مورد استفاده قرار میگیرد .

مقادیر $t_{f(aa)}$ و $t_{a\ b}$ همانند t_{mn} ۰/۵ mn , ۰/۴ mn می‌باشند.

فقط زمانهای حداقل فاصله حرکت قطارهای مربوط به موارد پر شده درشکل ۳- یکسان محاسبه میشوند .

شکل۵- زمانهای حداقل فاصله حرکت قطارها $t_{f(ab)i}$ کلیه‌داده‌ها به دقیقه می‌باشند.

	قطار بعدی			
t_l	-8	-10	-12	-14
قطار قبلی +14	22.9	-	-	-
+12	20.9	-	-	-
+10	18.9	20 .9	-	-
+8	16.9	18 .9	-	22.9

محاسبه‌ء $t_{f(ba)i}$

برای محاسبه‌ء زمانهای حداقل فاصله حرکت قطارها ، از فرمولهای [۱۲] و [۱۳] فیش استفاده میشود . مقادیر $t_{f(aa)}$ و $t_{f(bb)}$ همانند t_a mn ۰/۵ و t_b mn ۰/۴ میباشند .

هنگامی که قطاربعدی در ایستگاه A متوقف میشود ، در تمامی موارد mn ۰/۹ میباشد . اگر قطار بعدی بدون توقف از ایستگاه A بگذرد ، از تعداد موارد فاصله حرکت قطارهای ذکر شده در شکل ۳ استفاده میکنیم :

	قطار بعدی			
t_l	+8	+10	+14	min
$t_{f(ba)i}$	2.8	3.4	3.9	min

محاسبه‌ء $t_{f(bb)i}$

مقادیر ویژه خط که درزیر آمده مبنای محاسبه میباشد :

طول مقطع خط ۶/۶ کیلومتر

نقطهء قابل رویت ایستگاه C فاصله بین نقطهء

اندازه‌گیری و علامت اخباری

(جهت " - ")

نشانهء حدود ۱۳۰۰ متر

فاصلهء قابل رویت علامت

اخباری نشانه ورود :

$$\text{برای } t_l = \begin{cases} -8 \text{ mn} & \text{۵۰۰ متر} \\ -10 \text{ mn} & \end{cases}$$

$$\text{برای } t_l = \begin{cases} -12 \text{ mn} & \text{۳۰۰ متر} \\ -14 \text{ mn} & \end{cases}$$

مدت زمان حرکت $t_{ls(C)}$

t_l	-14	-12	- 10	-8	min
t_{ls}	3.2	2.7	2.7	2.2	min

زمان لازم برای ازبین بردن و شکل دهی مسیر حرکت،
t_b : ۰/۵ mn

زمان لازم برای ارسال و دریافت علامت حرکت،
t_a : ۰/۴ mn

به کمک این مقادیر و طبق فرمول [۱۰] فیش ، زمانهای حداقل فاصله حرکت قطارهای $t_{f(bb)i}$ بعدی (شکل ۶) را میتوان محاسبه کرد. محاسبهء $t_{f(aa)}$ همانند محاسبهء $t_{f(aa)}$ می‌باشد.

برای موارد خالی شکل ۳ محاسبه‌ای انجام نمیشود.

فقط برای کلیه، قطارهای در جهت" - " که در ایستگاه C متوقف میشوند این موارد محاسبه میشود .

شکل ۶- زمانهای حداقل فاصله حرکت قطارها $t_{f(bb)i}$ کلیه، داده‌ها به دقیقه می‌باشد .

قطار قبلی	t_l	قطار بعدی			
		-8	-10	-12	-14
قطار	-8	8.9	10.9	12.9	14.9
	-10	8.9	10.9	-	-
	-12	-	-	-	-
	-14	8.9	-	-	-

۲.۱.۳- محاسبه، میانگین مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها t_{fm} با ضرب کردن زمانهای خاص حداقل فاصله حرکت قطارها $t_{f(aa)i}$. $t_{f(ab)i}$. $t_{f(bb)i}$ در تعداد موارد فاصله حرکت قطارها n_i (شکل۳) زمانهای اشغال بودن خط برای تعداد موارد فاصله حرکت موجود (شکل ۷) تعیین میشود .

شکل ۷- ماتریس زمانهای اشغال خط

کلیه، داده‌ها به دقیقه می باشد.

-	-	-	22,9	+14	-	-	-	-
-	-	-	62,7	+12	14,8	15,4	-	-
-	-	41,8	37,8	+10	21,8/ 25,6	-	-	-
22,9	-	56,7	185,9	+ 8	17,8/ 21,8	34,2	-	-
-14	-12	-10	- 8		+ 8	+10	+12	+14
قطار بعدی					قطار بعدی			
14,9	25,8	32,7	8,9	- 8	5,4/ 2,8	0,9/ 3,4	4,5	3,9
-	-	10,9	26,7	-10	3,6	3,4	-	-
-	-	-	-	-12	0,9	3,4	-	-
-	-	-	8,9	-14	0,9	-	-	-
								Σ= 744 min

طبق فرمول [۳] فیش برای میانگین مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها مقدار زیر بدست آمده است :

$$t_{fm} = \frac{744 \text{ mn}}{71 \text{ قطار}} = 10.48 \text{ دقیقه بر قطار}$$

۳.۲- روشی که بستگی به برنامه حرکت قطار ندارد .

طبق روشی که بستگی به برنامه حرکت قطار نداشته باشد ، مدت زمان حداقل فاصله حرکت قطارها t_{fm} بر اساس فرمول [۱۴] فیش محاسبه میشود .

بر مبنای گروه‌های مدت زمان حرکت شناخته شده و به صورتی مشابه با روشی که بستگی به برنامه حرکت قطار دارد (بند ۲-۱-۲ را ملاحظه کنید) ، زمان حداقل فاصله حرکت قطارها $t_{f(ab)i}$ ، $t_{f(ba)i}$ ، $t_{f(bb)i}$ تعیین میشود. به هر صورت کلیهء زمانهای حداقل فاصله حرکت قطارها می بایست محاسبه شوند (شکل ۸) زیرا تا بحال مشخص نبوده که از کدام نوع از فاصله حرکت قطارها استفاده خواهد شد . به هرحال با نبودن برنامه حرکت قطارهای فعلی ، تصور میشود که کلیهء قطارها در ایستگاه A و C متوقف شوند . تعداد قطارها در هر یک از گروههای مدت زمان حرکت همانند روشی که بستگی به برنامه حرکت قطار دارد تعیین میشود . (شکل ۳)

t_i	-14	-12	-10	-8	+8	+10	+12	+14	min
n	2	2	9	22	22	8	5	1	قطار

شکل ۸- زمانهای حداقل فاصله حرکت قطارها

کلیه‌ء داده‌ها به دقیقه می‌باشند.

28,9	26,9	24,9	22,9	+14	14,9	14,9	14,9	14,9
26,9	24,9	22,9	20,9	+12	12,9	12,9	12,9	12,9
24,9	22,9	20,9	18,9	+10	10,9	10,9	10,9	10,9
22,9	20,9	18,9	16,9	+ 8	8,9	8,9	8,9	8,9
-14	-12	-10	- 8	t_i min	+ 8	+10	+12	+14
قطار بعدی				قطار قبلی	قطار بعدی			
14,9	12,9	10,9	8,9	- 8	0,9	0,9	0,9	0,9
14,9	12,9	10,9	8,9	-10	0,9	0,9	0,9	0,9
14,9	12,9	10,9	8,9	-12	0,9	0,9	0,9	0,9
14,9	12,9	10,9	8,9	-14	0,9	0,9	0,9	0,9

پس بنابراین از شکل شماره‌ء ۹- میتوان میانگین مدت زمان حداقل فاصله‌ء حرکت قطارها را چنین بدست‌آورد :

$$t_{fm} = \frac{50544.9}{5036} = 10.04$$ دقیقه بر قطار

۳- محاسبه‌ء ظرفیت بخشی از خط

ظرفیت طبق فرمول [۱] فیش محاسبه میشود .

شکل شماره ۹-

$n_1 \cdot n_2$	t_{fi}		$n_1 \cdot n_2$	t_f	
1 . 2	28,9	57,8	22 . 2	14,9	655,6
1 . 2	26,9	53,8	22 . 2	12,9	567,6
1 . 9	24,9	224,1	22 . 9	10,9	2158,2
1 . 22	22,9	503,8	22 . 22	8,9	4307,6
1 . 22	14,9	327,8	22 . 22	0,9	435,6
1 . 8	14,9	119,2	22 . 8	0,9	158,4
1 . 5	14,9	74,5	22 . 5	0,9	99,0
1 . 1	14,9	14,9	22 . 1	0,9	19,8
5 . 2	26,9	269,0	9 . 2	14,9	268,2
5 . 2	24,9	249,0	9 . 2	12,9	232,2
5 . 9	22,9	1030,5	9 . 9	10,9	882,9
5 . 22	20,9	2299,0	9 . 22	8,9	1762,2
5 . 22	12,9	1419,0	9 . 22	0,9	178,2
5 . 8	12,9	516,0	9 . 8	0,9	64,8
5 . 5	12,9	322,5	9 . 5	0,9	40,5
5 . 1	12,9	64,5	9 . 1	0,9	8,1
8 . 2	24,9	398,4	2 . 2	14,9	59,6
8 . 2	22,9	366,4	2 . 2	12,9	51,6
8 . 9	20,9	1504,8	2 . 9	10,9	196,2
8 . 22	18,9	3326,4	2 . 22	8,9	391,6
8 . 22	10,9	1918,4	2 . 22	0,9	39,6
8 . 8	10,9	697,6	2 . 8	0,9	14,4
8 . 5	10,9	436,0	2 . 5	0,9	9,0
8 . 1	10,9	87,2	2 . 1	0,9	1,8
22 . 2	22,9	1007,6	2 . 2	14,9	59,6
22 . 2	20,9	919,6	2 . 2	12,9	51,6
22 . 9	18,9	3742,2	2 . 9	10,9	196,2
22 . 22	16,9	8179,6	2 . 22	8,9	391,6
22 . 22	8,9	4307,6	2 . 22	0,9	39,6
22 . 8	8,9	1566,4	2 . 8	0,9	14,4
22 . 5	8,9	979,0	2 . 5	0,9	9,0
22 . 1	8,9	195,8	2 . 1	0,9	1,8
			$\sum 5036$	-	50544,9

(بند ۳-۱-۳ ضمیمه)

دقیقه بر قطار 10.48 = (روشی که بیشتری به برنامه حرکت قطار دارد) t_{fm}

(بند ۳-۵ فیش)

دقیقه بر قطار $t_r = 0.67 \times 10.48 = 7.02$

(بند ۳-۶ فیش)

دقیقه بر قطار $t_{zu} = 4 \times 0.25 = 1.00$

قطار بر روز $L = \frac{1440}{10.48 + 7.02 + 1.00} = \frac{1440}{18.5} = 77.84$

در نتیجه ظرفیت بر روز چنین خواهد بود :

قطار بر روز $L \approx 78$

ظرفیت ساعتی بر اساس حاشیه زمان فوق‌العاده کاهش یافته زیر می‌باشد :

(بند ۳-۵ فیش) $t_r = 0.33 \times t_{fm}$

دقیقه بر قطار

قطار بر ساعت $t_r = 0.33 \times 10.48 = 3.46$

$L_h = \frac{60}{10.48 + 3.46 + 1.00} = \frac{60}{14.94} = 4.02$

در نتیجه ظرفیت برای یک ساعت چنین خواهد بود :

قطار بر ساعت $L_h \approx 4$

در حالیکه ظرفیت متوسط ساعتی محاسبه شده در کل یک روز فقط ،قطار برساعت $L = 3/24$ خواهد بود.