

گراف و زمانبندی حرکت قطارها

مدرس: دکتر مسعود یقینی

۱- گراف قطارها

گراف قطارها

Train Working Graph / Traffic Diagram

Train Working Graph / Traffic Diagram

- این گراف از دو محور مسافت و زمان تشکیل شده است.
- در محور مسافت تقسیم بندی بر اساس فواصل ایستگاهها انجام می شود (ایستگاههایی که در آنها تلاقی و سبقت قطارها انجام می شود) و در محور زمان تقسیم بندی بر اساس ساعت، ۱۰ دقیقه ای و یا دو دقیقه ای انجام می شود. (در ایران ۱۰ دقیقه ای رایج است)
- اولین بار گراف قطارها در سال ۱۸۲۵ در بریتانیا بکار گرفته شد.

- انواع گراف قطارها از نظر نوع استفاده:

- بمنظور نمایش دادن حرکت قطارها و کنترل ترافیک
- بمنظور نمایش دادن برنامه حرکت قطارها

- انواع گراف قطارها از نظر نشان دادن زمان و مسافت روی محورها:

1. محور افقی یا طول برای نشان دادن زمان و محور عمودی یا عرض برای نشان دادن مسافت (مانند ایران)
2. محور افقی برای مسافت و عمودی برای زمان (کشورهای اروپایی)

- انواع گراف قطارها براساس تعداد خطوط بلاکها:

- یک خطه

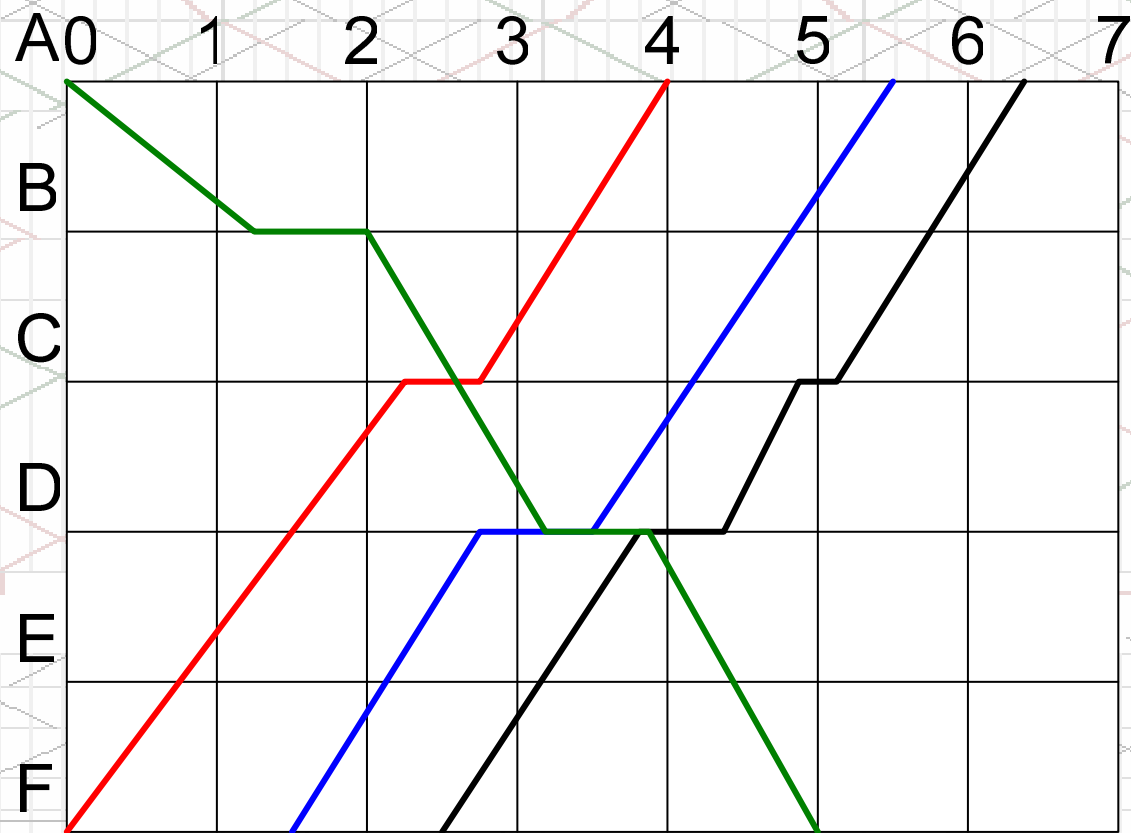
- دو خطه

- بخشی بصورت دو خطه و بخشی یک خطه

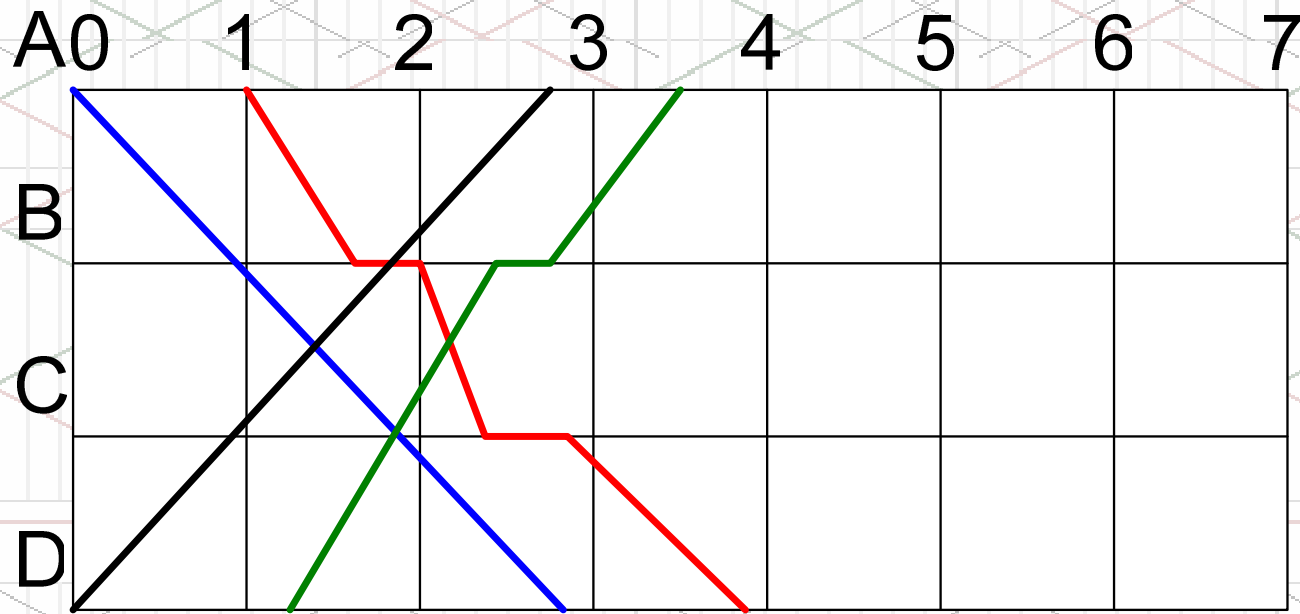
- در یک خطه تلاقی و سبقت در ایستگاهها انجام می شود.

- در دو خطه ایستگاهها سبقت انجام می شود.

• گراف یک خطه



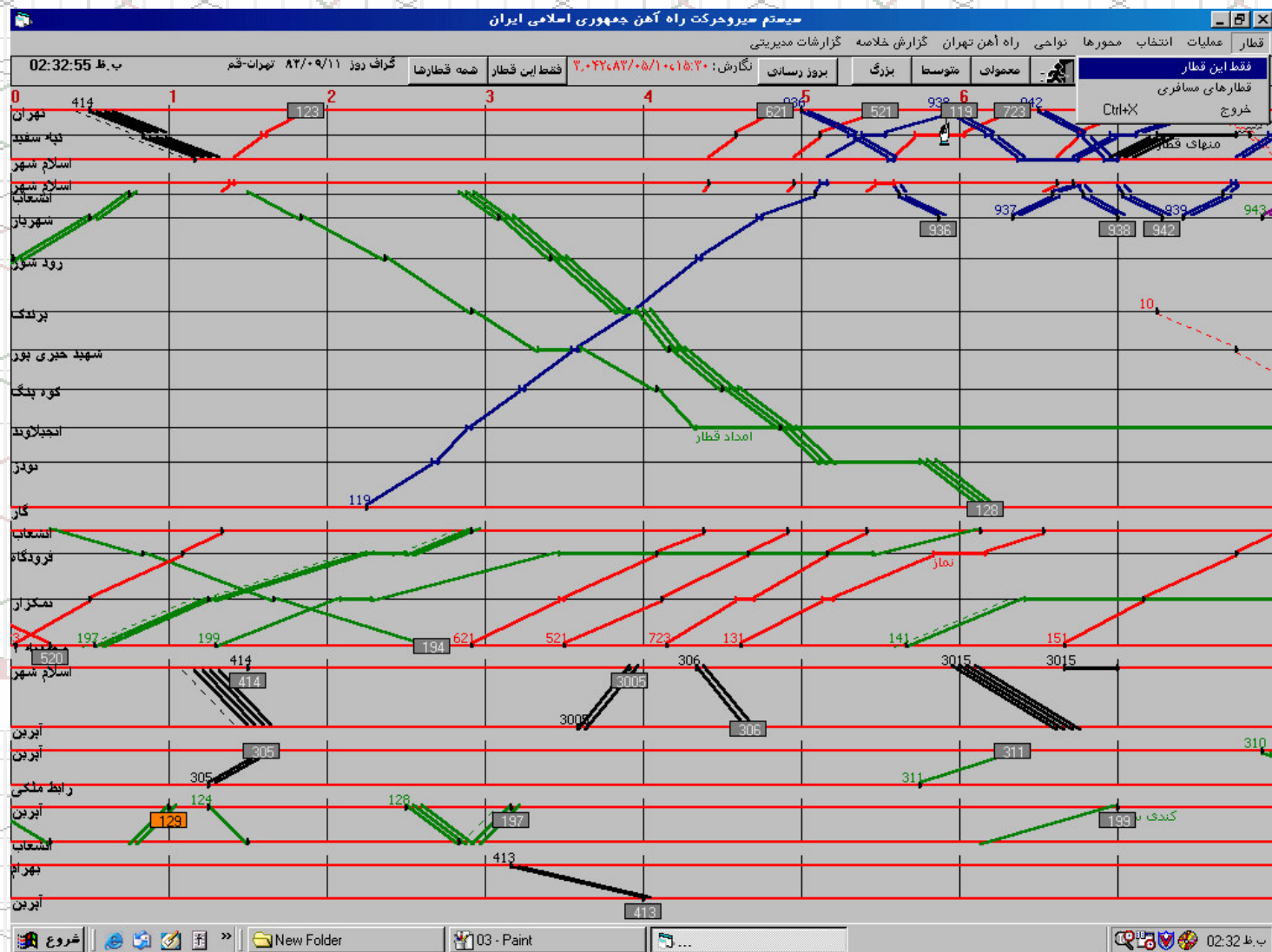
• گراف دو خطه



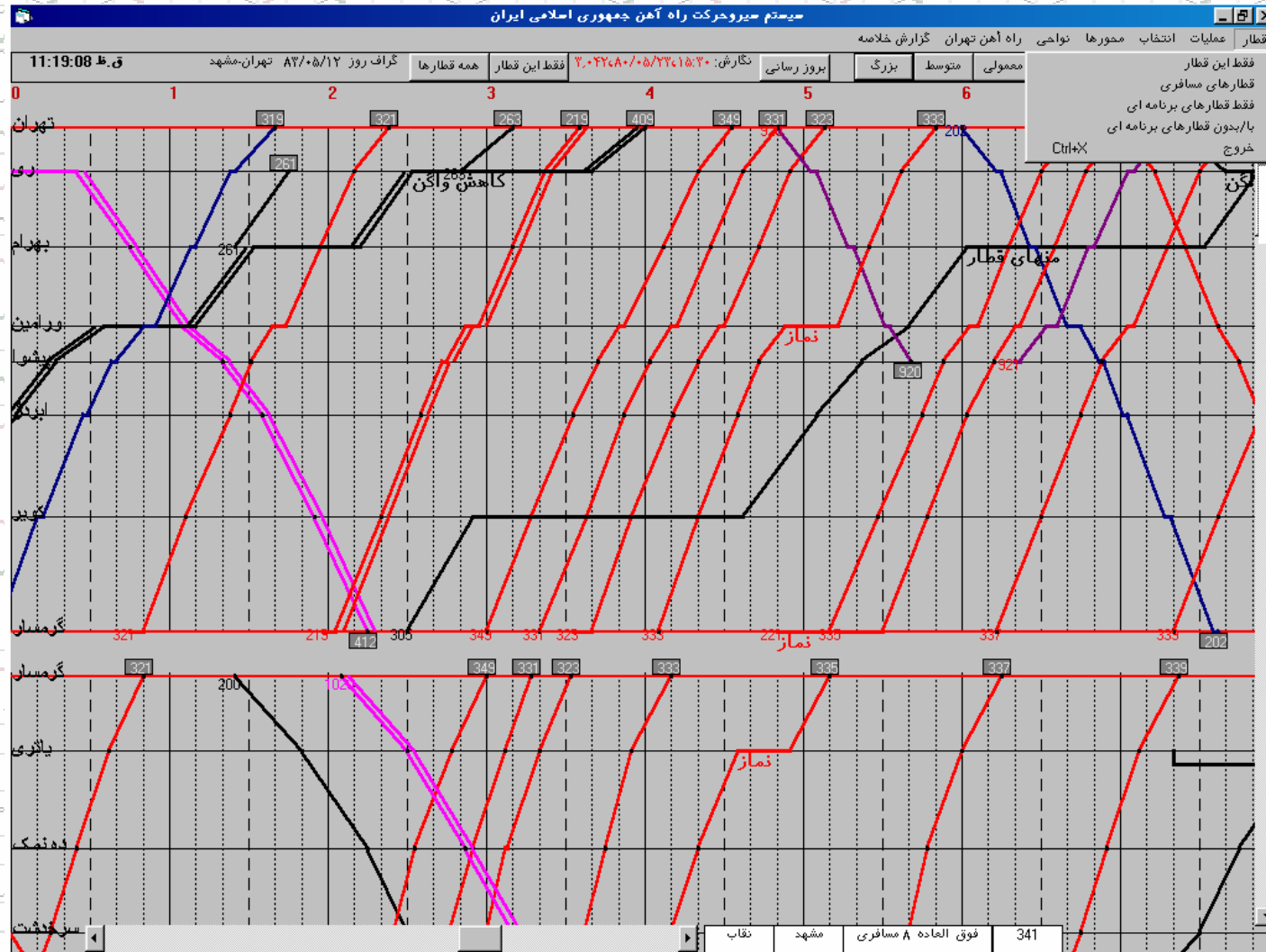
• خطوط قطارها روی گراف:

- خط سیاه: باری ناحیه که به سایر نواحی می رود
- خط سبز: باری سایر نواحی که به ناحیه وارد می شود
- خط قرمز: قطار مسافری سریع
- خط آبی: قطار مسافری عادی
- خط * _____ * آبی: قطار مسافری محلی
- خط * _____ * سیاه: قطار باری عملیات ، قطار نجات
- خط ----- سیاه: لکوموتیو منفرد
- خط _____ سیاه: دیزل سرد همراه قطار
- خط ----- قرمز: درزین ، زیر کوب، دستگاه اندازه گیر خط

سیستم کامپیوتری گراف



سیستم کامپیوتری گراف



۲- اطلاعات مورد نیاز برای زمانبندی حرکت قطارها

• زمانبندی حرکت قطارهای باری:

- زمانبندی حرکت قطارهای باری بعد از برنامه ریزی تشکیل قطارها انجام می شود. بصورت فصلی یا ۶ ماهه.
- در ایران خیلی محدود داریم.

• زمانبندی حرکت قطارهای مسافری:

- زمانبندی حرکت قطارهای مسافری نیز فصلی و ۶ ماهه و یا سالانه انجام می شود.
- در ایران چهار برنامه حرکت قطارهای مسافری داریم: نوروز، بهاری، تابستان و زمستان.

زمانبندی حرکت قطارها شامل تعیین:

1. زمان اعزام قطارها از ایستگاه مبدأ
2. مدت زمان سیر در بلاکها
3. زمان ورود و خروج و میزان توقف در ایستگاههای بین راهی
4. تلاقی و سبقت ها
5. زمان رسیدن به ایستگاه مقصد

ملاحظات در تهیه زمانبندی حرکت قطارها:

1. رعایت اصول ایمنی در حرکت قطارها
2. حداقل کردن زمان سیر قطارها از مبدأ به مقصد
3. حداکثر کردن استفاده از ظرفیت خطوط، ایستگاهها، ناوگان و مأمورین
4. تحقق بخشیدن برنامه تشکیل قطارها (برای زمانبندی قطارهای باری)

اطلاعات مورد نیاز برای زمانبندی حرکت قطارها:

1. اطلاعات پایه ای
2. اطلاعات قطارها
3. هدوی و زمان حائل بین قطارها

(۱) اطلاعات پایه ای:

• اطلاعات خطوط شبکه

- ترتیب ایستگاهها
- اطلاعات بلاکها ، و حداکثر سرعت مجاز واگنها برای قطارهای مختلف-
زمانبندی مسدودی بلاکها جهت عملیات تعمیر و نگهداری.
- محورهای موجود در ایران شامل محور خوزستان، جنوب، آذربایجان،
شمال، قم- بندرعباس

(۱) اطلاعات پایه ای: (ادامه)

• اطلاعات ایستگاهها

- موقعیت ایستگاهها از مرکز و ایستگاه قبلی و بعدی
- نوع ایستگاه (تشکیلاتی - غیر تشکیلاتی)
- تعداد خطوط قبول و اعزام
- طول مفید هر یک از خطوط قبول و اعزام
- داشتن نمازخانه و گنجایش آنها
- سیستم قبول و اعزام (CTC، جواز راه آزاد، RC و میله راهنما)
- وجود یا عدم وجود پست بازدید فنی
- امکانات آبگیری

۲) اطلاعات قطارها

- مبدأ و مقصد قطارها
- تعداد پیش بینی شده برای هر مبدأ و مقصد (قطار باری براساس برنامه تشکیل و قطار مسافری براساس پیش بینی تقاضا)
- زمان مورد نظر برای اعزام قطارها (رنج زمانی قابل قبول)
- اولویت تردد قطارها
 - (a) قطار مسافری سریع السیر
 - (b) قطار مسافری عادی
 - (c) باری مستقیم
 - (d) باری عادی یا محلی
- زمان سیر قطارها در بلاکها و حداکثر سرعت مجاز

۲) اطلاعات قطارها (ادامه)

• توقف های برنامه ای

- توقف جهت ادای فریضه نماز- باید در افق شرعی و ایستگاههایی که دارای نمازخانه باشند- گنجایش کافی داشته باشد. (معمولاً ۲۰ دقیقه در نظر گرفته می شود)
- سوار و پیاده شدن مسافران- تغییر آرایش قطار باری
- بازدید فنی
- آبگیری- (در فصل زمستان برای گرمایش قطارهای مسافری)
- کم یا اضافه کردن دیزل (در ناحیه شمال برای بلاکهای دارای فراز زیاد انجام می شود)

• شماره قطارها

- شماره فرد از ایستگاههای مختلف به تهران و زوج از تهران به سایر نواحی.

• طول قطارها

- روشهای محاسبه زمان سیر قطارها در بلاکها:

- آماری: بر اساس آمار زمان سیر گذشته

- ریاضی / شبیه سازی: کوتاه ترین زمان سیر + زمان جبرانی (Recovery Time)

- زمان جبرانی به دو روش بدست می آید:

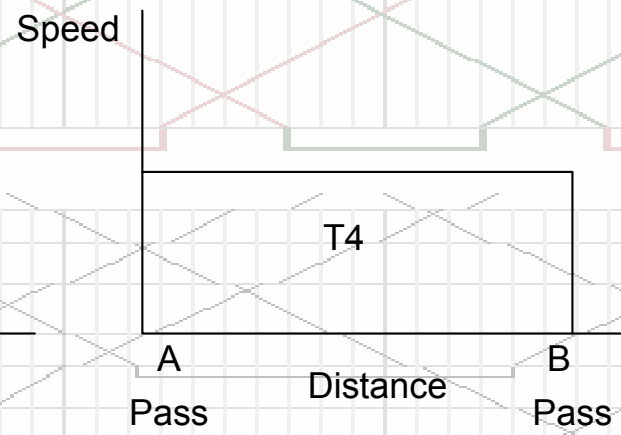
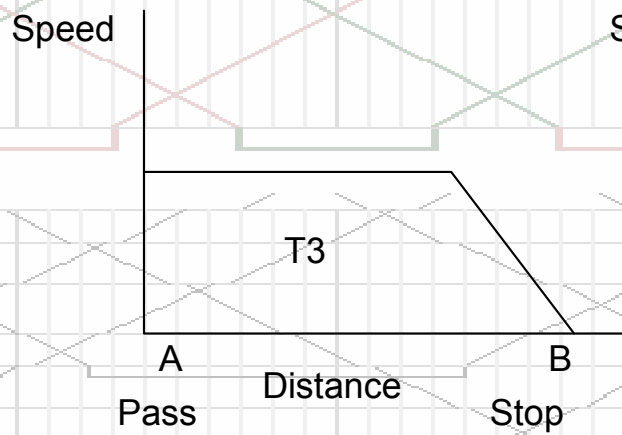
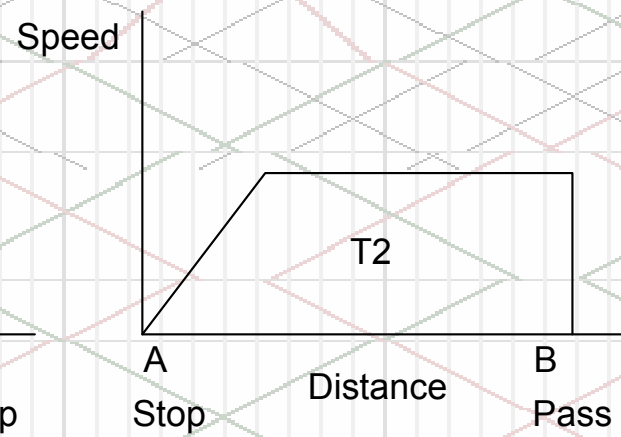
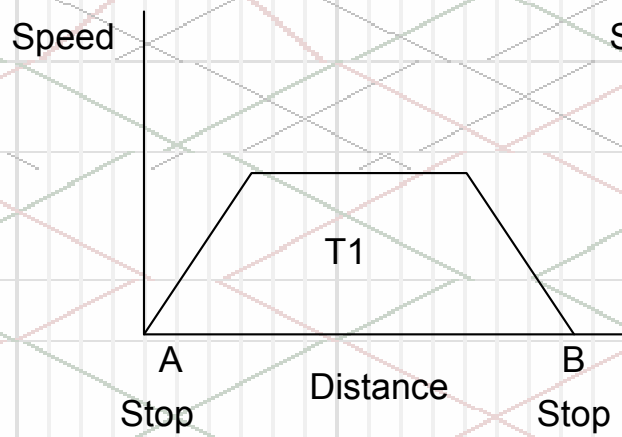
- درصدی از زمان محاسباتی (در آلمان ۳ تا ۷ درصد)

- یک عدد ثابت برای هر بلاک.

- نکته: زمان سیر برای رفت و برگشت بلاک ممکن است بر اساس شیب و فراز فرق کند.

- وضعیت قطار در شروع و پایان بلاک می تواند در زمان سیر قطار تاثیر بگذارد.
- در صورت حرکت از حالت توقف یک زمان شتاب گیری اضافه می گردد.
- در صورت توقف در ایستگاه پایان بلاک زمان ترمز گیری نیز اضافه می گردد.

$$T1 > T2, T3 > T4$$



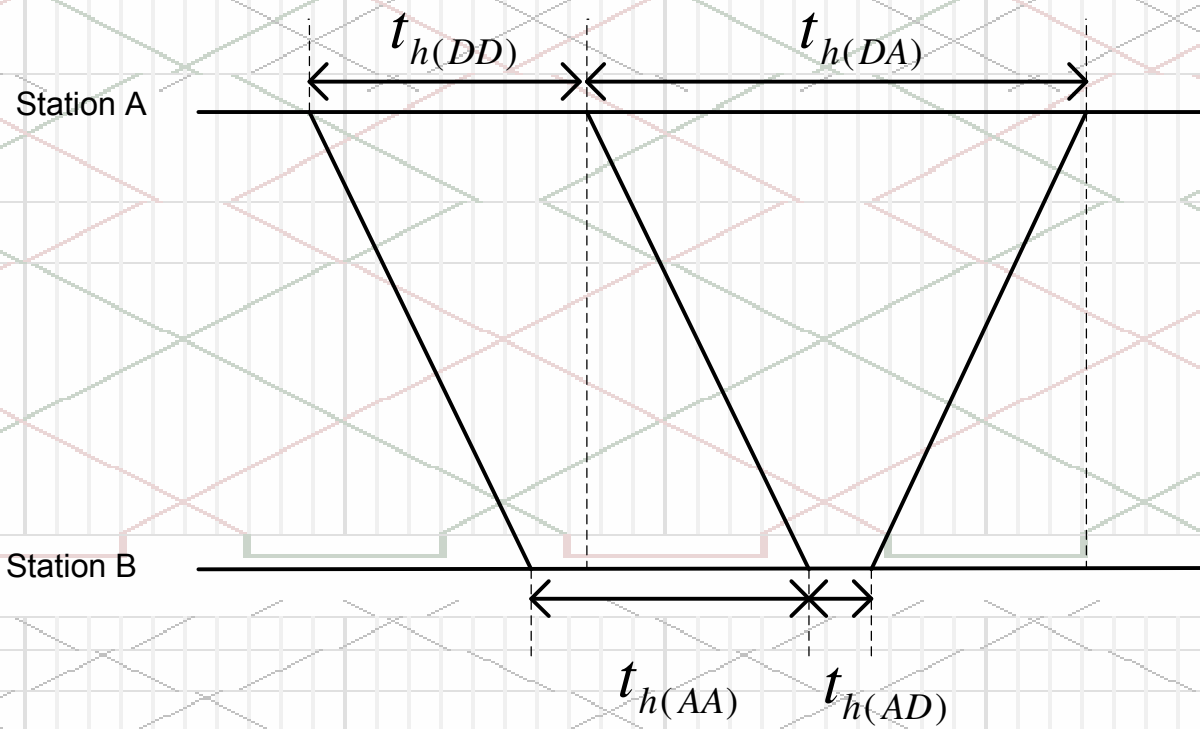
۳) هدوی و زمان حائل بین قطارها:

- هدوی قطارها (Headway): به حداقل فاصله زمانی اعزام و یا قبول قطارها از یک بلاک و یا به یک بلاک هدوی گفته می شود.

- هدوی قطارها را می توان به چهار نوع تقسیم کرد:

	قطار اول	قطار دوم
(a)	اعزام به بلاک	اعزام به بلاک از مسیر یکسان قطار اول
(b)	قبول از بلاک	قبول از بلاک از مسیر یکسان قطار اول
(c)	قبول از بلاک	اعزام به بلاک در مسیر مخالف قطار اول
(d)	اعزام به بلاک	قبول از بلاک از مسیر مخالف قطار اول

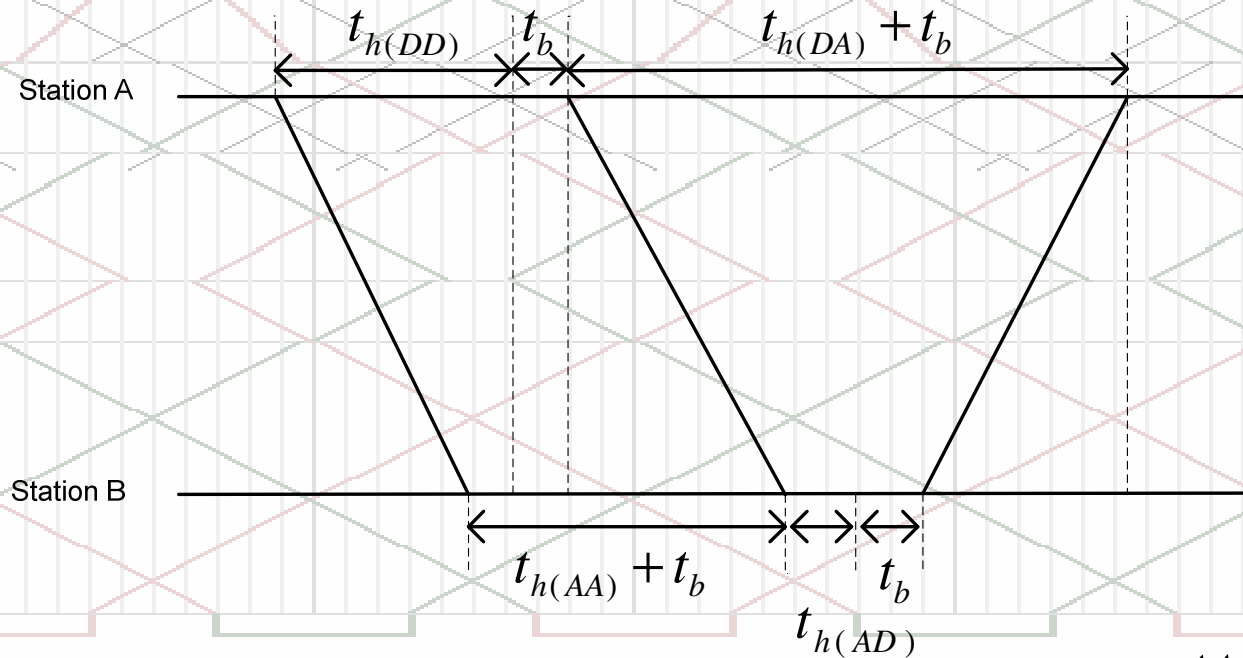
• هدوی قطارها:



زمان حائل بین قطارها:

- برای اطمینان از اجرای برنامه ای که براساس هدوی قطارها تنظیم می شود یک زمانی به هدوی قطارها اضافه می گردد بنام زمان حائل (Buffer Time)
- هدوی در واقع حداقل فاصله زمانی دو قطار بصورت فنی است که در عمل ممکن است به وقوع نپیوندد.
- بنابراین در عمل هدوی را $t_h + \text{Buffer Time}$ در نظر می گیریم.

• زمان حائل بین قطارها:



• زمان حائل:

- اگر قطار دوم اولویت بالاتری داشته باشد t_b را بزرگ می گیرند. (در آلمان ۳ دقیقه)
- اگر قطار دوم اولویت یکسان با قطار اول داشته باشد t_b در حد متوسط. (در آلمان ۲ دقیقه)
- اگر قطار دوم اولویت کمتری داشته باشد t_b را کوچکتر می گیریم. (در آلمان ۱ دقیقه)

۳- روش زمانبندی دستی

محدودیت هایی که باید در مسأله زمانبندی حرکت قطارها رعایت شود:

1. ورود قطار به بلاک اشغال شده (بلاکی که یک قطار در آن در حال حرکت است) از هر دو جهت ممنوع است.
2. زمانی را برای مسدودی خط جهت عملیات تعمیرات و نگهداری در نظر گرفته شود.
3. اولویت بندی قطارها به منظور اشغال بلاک رعایت شود.
4. قطار نباید در ایستگاهی توقف داشته باشد که طول قطار از طول بلندترین خط قبول و اعزام آن ایستگاه بلندتر باشد.
5. قطارها باید در محدوده افق شرعی در ایستگاههای دارای نمازخانه توقف داشته باشند.

6. برای قبول تلاقی دو قطار در یک ایستگاه حتماً باید دو خط آزاد وجود داشته باشد.

7. زمانی که دو قطار وارد یک ایستگاه می شود، امکان قبول همزمان نمی باشد، بلکه باید یک قطار وارد ایستگاه شده و متوقف شود و بعداً به قطار دیگر اجازه ورود داده شود.

8. در آن واحد نباید دو قطار مورد تلاقی را از یک ایستگاه حرکت داد، بلکه پس از فرمان حرکت و عبور انتهای یک قطار از جلوی ایستگاه باید به قطار دیگر فرمان داده شود.

روشهای زمانبندی حرکت قطارها به روش دستی:

1. ابتدا قطارها با هر اولویتی را از دو طرف مسیر به سمت هم اعزام کرده تا جایی که با یکدیگر تلاقی نمایند، و در زمان تلاقی با توجه به اولویت ها و رعایت حداقل توقف قطارها در هنگام تلاقی، برنامه تلاقی ها تنظیم گردد.

2. ابتدا قطارهای با اولویت بالاتر را از دو سمت اعزام کرده و تلاقی آنها با هم تنظیم گردد. سپس قطارهای با اولویت کمتر را تنظیم می کنیم. در اینجا قطارهای با اولویت کمتر از برنامه قطارهای با اولویت بیشتر تبعیت می کند. (مثلاً قطارهای باری / قطارهای مسافری عادی)

نکاتی در روش زمانبندی دستی:

- در هر دو روش توقفهای برنامه ای باید در نظر گرفته شود.
- در مورد توقف نماز باید با توجه به افق شرعی منطقه و ایستگاههای دارای امکانات اقامه نماز، ایستگاهی مناسب انتخاب گردد. چنانچه بتوان بیش از یک ایستگاه برای اقامه نماز در نظر گرفت محلی که کمترین بهم ریختگی در برنامه دیگر قطارها را دارا باشد یا همزمانی با توقفهای برنامه ای دیگر امکان پذیر باشد، مناسب است.
- بدیهی است به دلیل آنکه حالات متعددی از لحاظ تلاقی قطارها امکانپذیر است. یافتن بهترین آنها محتاج به تجربه و ابتکار در امر برنامه ریزی است.

نکاتی در روش زمانبندی دستی: (ادامه)

- برای رسیدن به یک برنامه خوب از روش سعی و خطا استفاده می شود. یعنی ممکن است در اولین گام برنامه ریزی، نحوه تلاقی قطارها با توقفهای زیاد همراه باشد و شاخص های برنامه را بخوبی رعایت ننماید. در چنین مواردی برنامه قطارهایی که باعث به هم ریختگی برنامه می گردند، به صورت بازگشتی تصحیح می گردند و مجدداً برنامه مورد ارزیابی قرار می گیرد. این عمل تا جایی ادامه می یابد تا به یک برنامه نسبتاً بهینه دست یابیم.
- برنامه ریزی محورهای یک خطه بسیار مشکل تر و پیچیده تر است.
- برنامه ریزی ابتدا بر روی گراف انجام می شود. و پس از اتمام برنامه ریزی گراف مادر (گراف برنامه ای) جدول زمانبندی تهیه می شود.

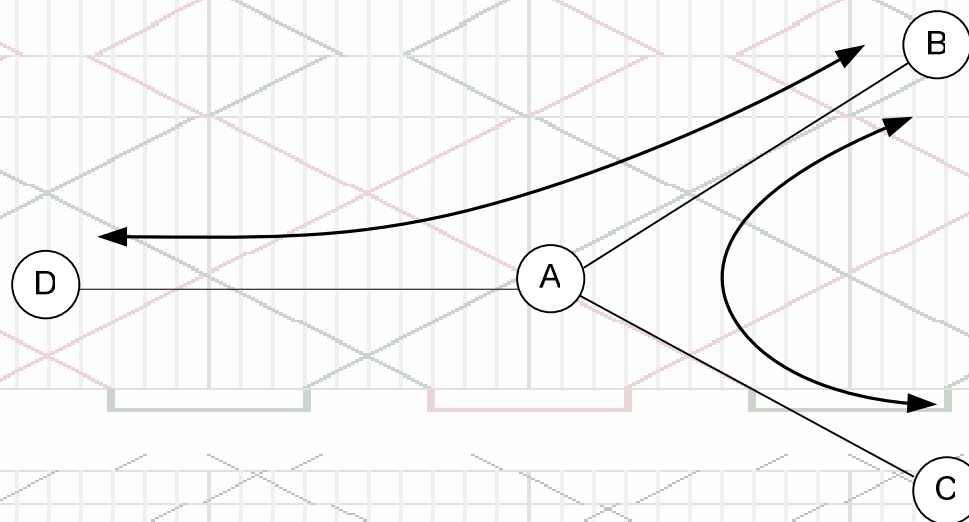
نکاتی در روش زمانبندی دستی: (ادامه)

- معمولاً گراف نهایی روی گراف های با فواصل زمانی ۱۰ دقیقه ای تهیه می شوند.
- معمولاً زمان اعزام قطارهای مسافری ترجیحاً قبل از ۱۲ شب و زمان رسیدن به ایستگاه مقصد بعد از ساعت ۶ است.
- برای زمانبندی قطارها، ابتدا می توان قطارهای مسافری را برنامه ریزی کرد و سپس قطارهای باری. و یا اینکه قطارهای باری و مسافری را با هم برنامه ریزی نمود.
- زمان تهیه گراف مادر قطارهای مسافری، باید حرکت قطارهای باری را در نظر بگیریم. یعنی بتوان در فواصل قطارهای مسافری قطار باری اعزام نمود.

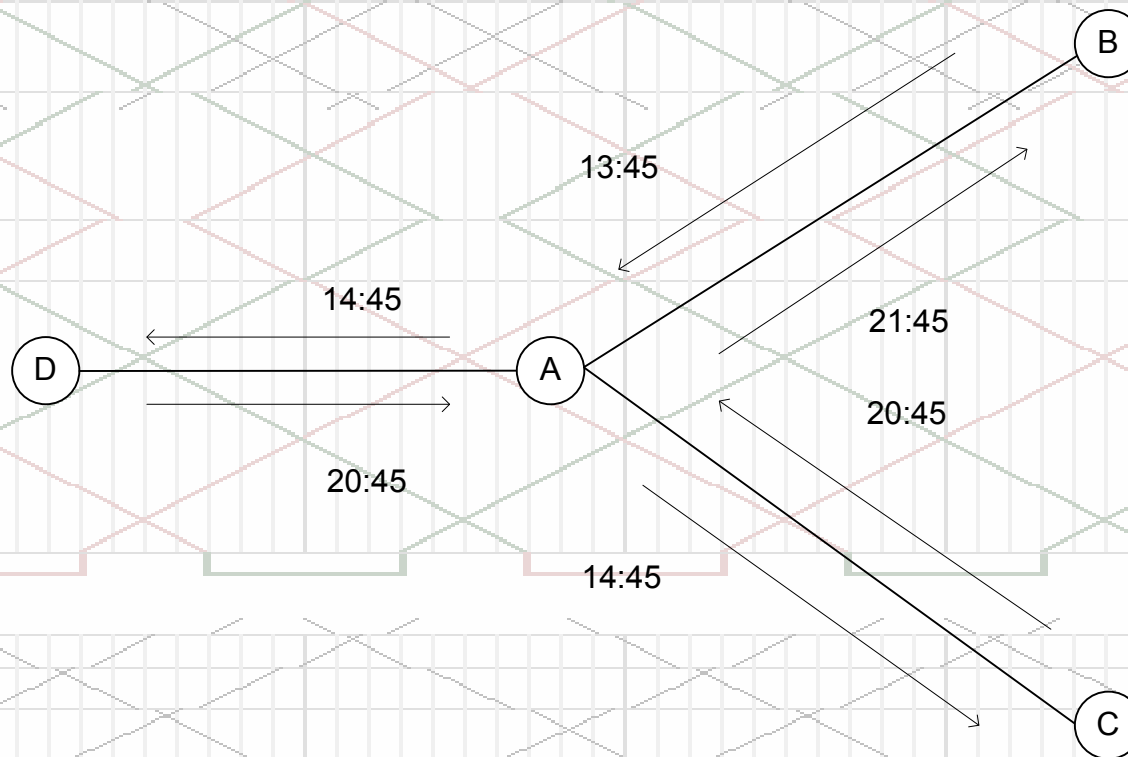
جابجایی مسافران بین قطارها:

- نکته ای که در زمانبندی قطارهای مسافری باید در نظر گرفت جابجایی مسافران بین قطارهای مختلف است که در محل اتصال چند خط با یکدیگر لازم است در نظر گرفته شود.

- مثال: در شبکه زیر فرض کنید، جریان اصلی مسافران از B به C و B به D وجود دارد و جریان کمتری بین C و D وجود دارد.
- اعزام روزانه یک قطار از هر یک از ایستگاههای D و B و C مورد نیاز است.



زمانهائی ورود و خروج قطارها:



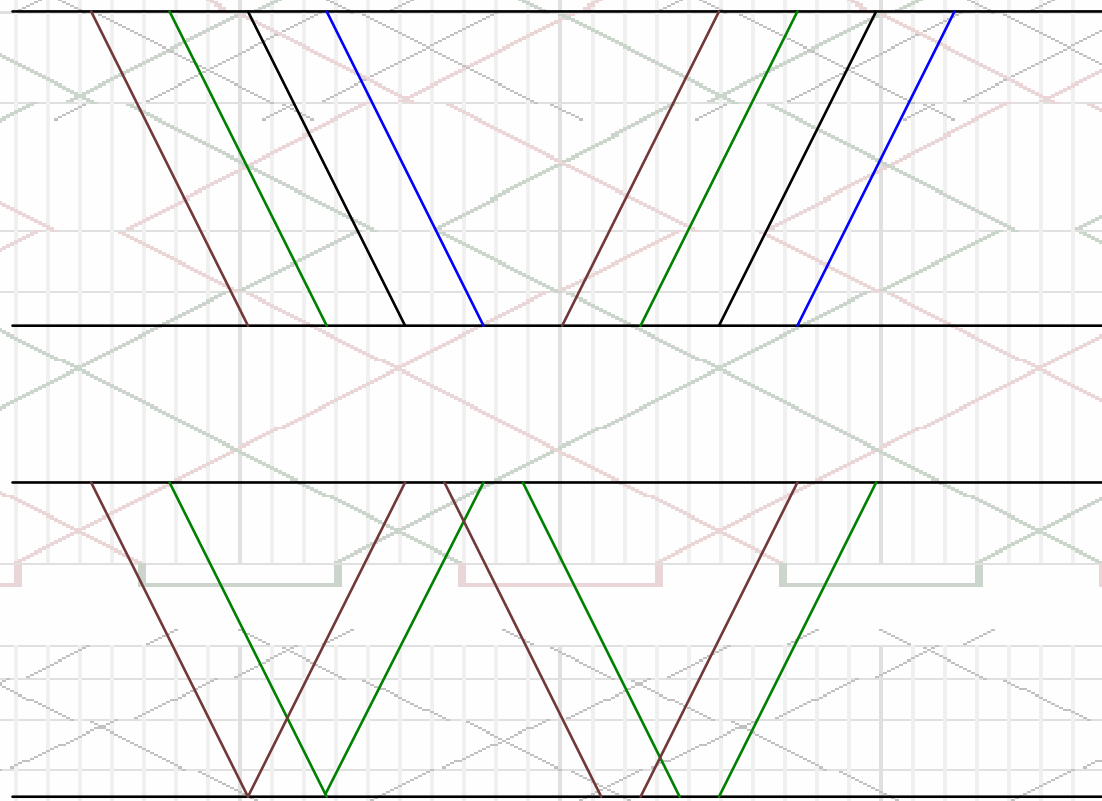
• سه حالت زیر وجود دارد:

- تشکیل روزانه یک قطار بین A و B و بین A و C و بین A و D
- تشکیل روزانه یک قطار بین B و C (رفت و برگشت) و یک قطار بین A و D (رفت و برگشت)
- تشکیل روزانه یک قطار بین B و D (رفت و برگشت) و یک قطار بین A و C (رفت و برگشت)

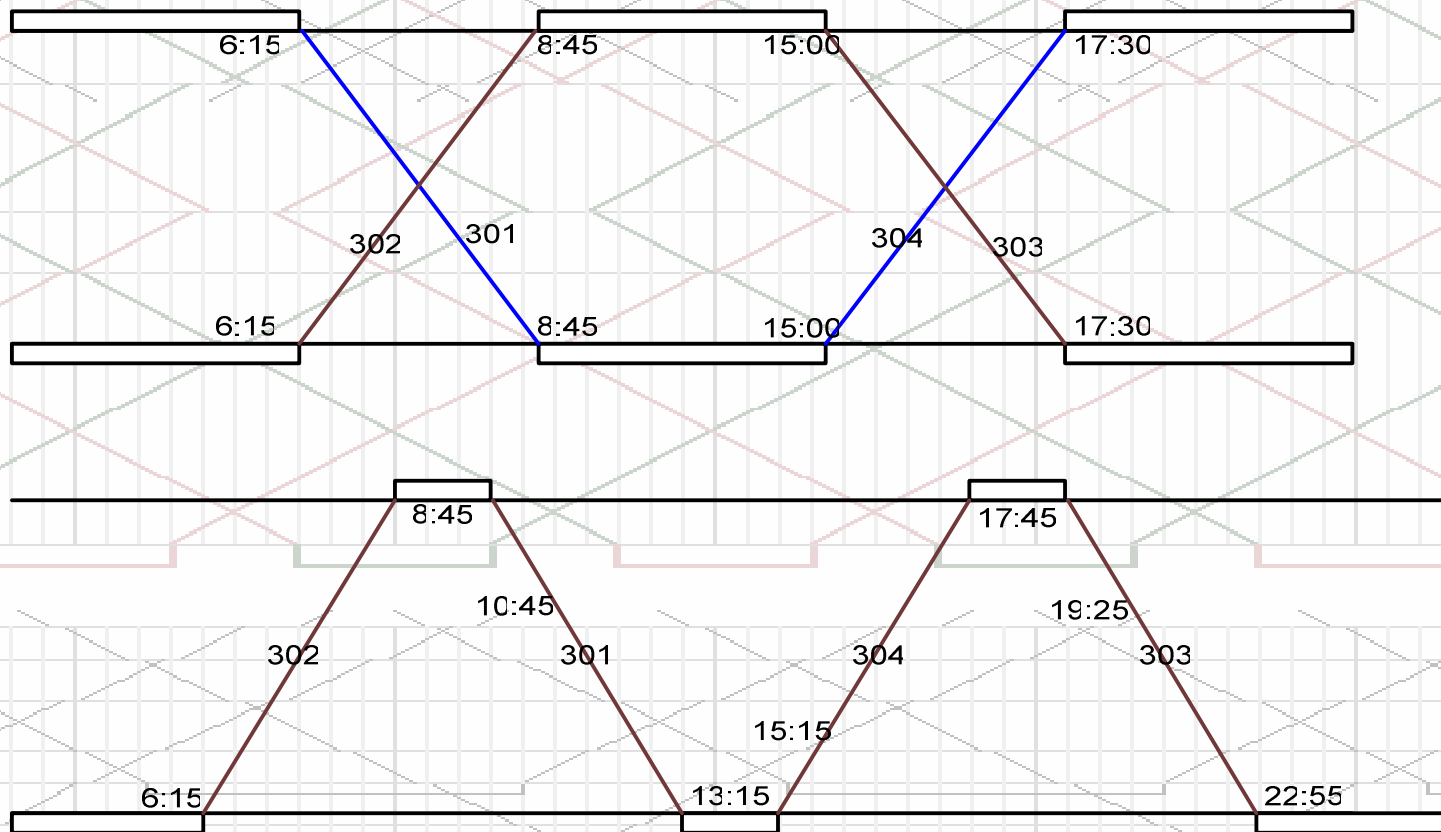
در نظر گرفتن تعداد لکوموتیو و بدنه قطار:

- نکته دیگری که باید در نظر گرفت مدت زمان توقف بدنه و لکوموتیو قطارهای مسافری در ایستگاههای مبدأ و مقصد هستند. باید برنامه را به نحوی تهیه کرد که ضمن راحتی مسافران حداقل لکوموتیو و بدنه قطار مورد استفاده قرار گیرد.

• در نظر گرفتن تعداد لکوموتیو و بدنه قطار:



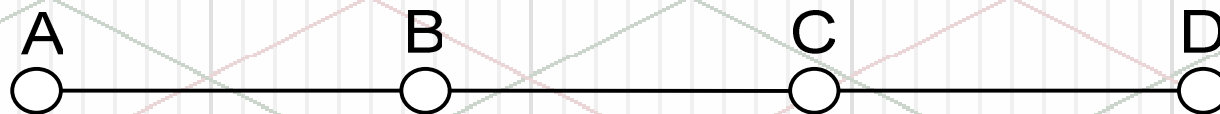
• در نظر گرفتن تعداد لکوموتیو و بدنه قطار:



- باید سعی شود قطارهای با اولویت بالاتر از قطارهای با اولویت پایین تر سبقت نگیرند.

- مثال: در شبکه زیر برنامه ریزی قطارها انجام شده اند.

- قطارها دارای توقف برنامه ای نیستند.

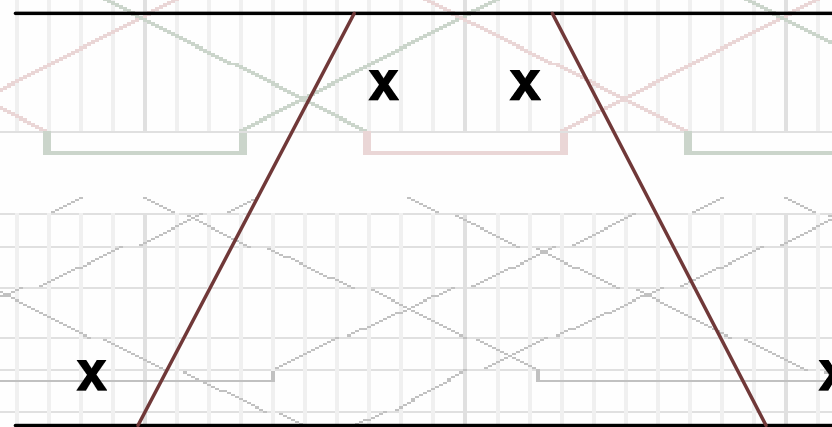


• زمانبندی قطارها بشرح زیر است:

زمان سیر در بلاک C-D/D-C (دقیقه)	زمان سیر در بلاک B-C/C-B (دقیقه)	زمان سیر در بلاک A-B/B-A (دقیقه)	زمان اعزام از مبدا	مبدا و مقصد	اولویت قطار	شماره قطار
20	17	20	1:20	A-D	2	1311
14	13	13	1:50	A-D	1	85
20	17	20	2:26	A-D	2	2211
20	15	15	1:00	D-A	2	2212
20	15	15	1:50	D-A	2	1312

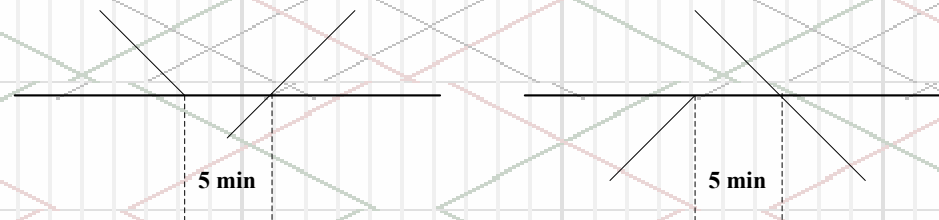
محل درج زمانها در گراف:

- زمان ورود قطار به بلاک سمت چپ و زمان خروج قطار از بلاک در سمت راست نوشته می شود.
- در صورت شروع و پایان صفر و یا در فواصل ده دقیقه ای گراف باشد، زمان نوشته نمی شود.

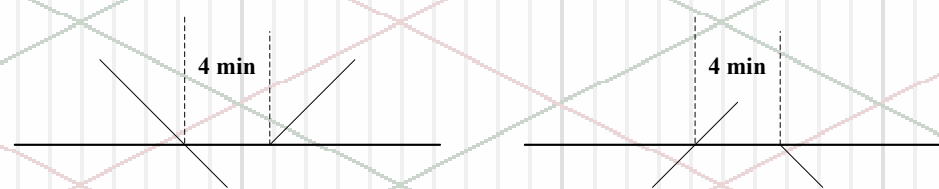


فواصل زمانی بین قطارها:

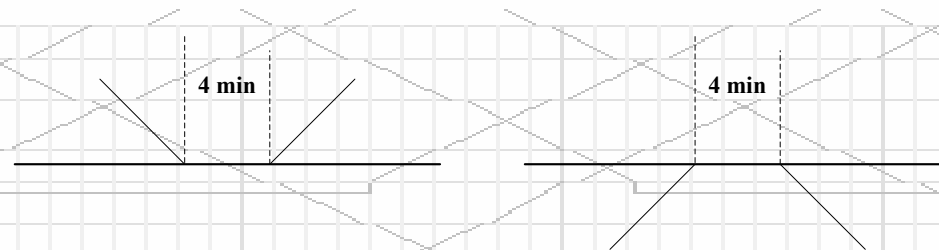
حالت اول: قطار اول ورود و توقف - قطار دوم عبوري



حالت دوم: قطار اول عبوري - قطار دوم حرکت از حالت توقف

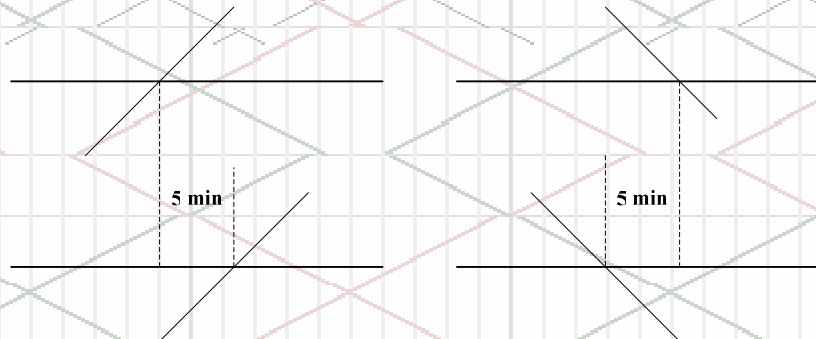


حالت سوم: قطار اول ورود و توقف - قطار دوم حرکت از حالت توقف

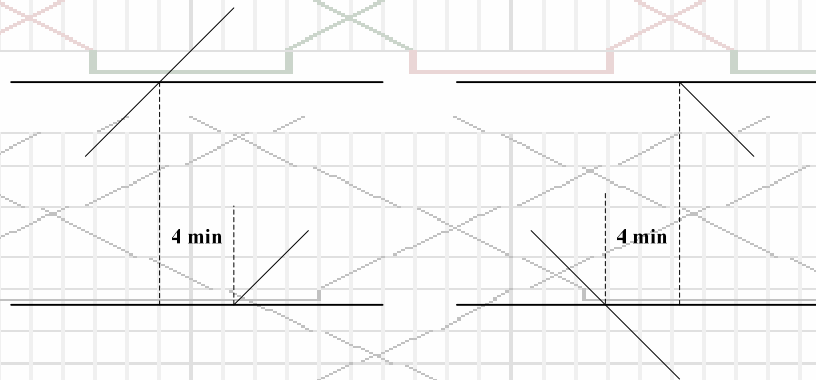


فواصل زمانی بین قطارها: (ادامه)

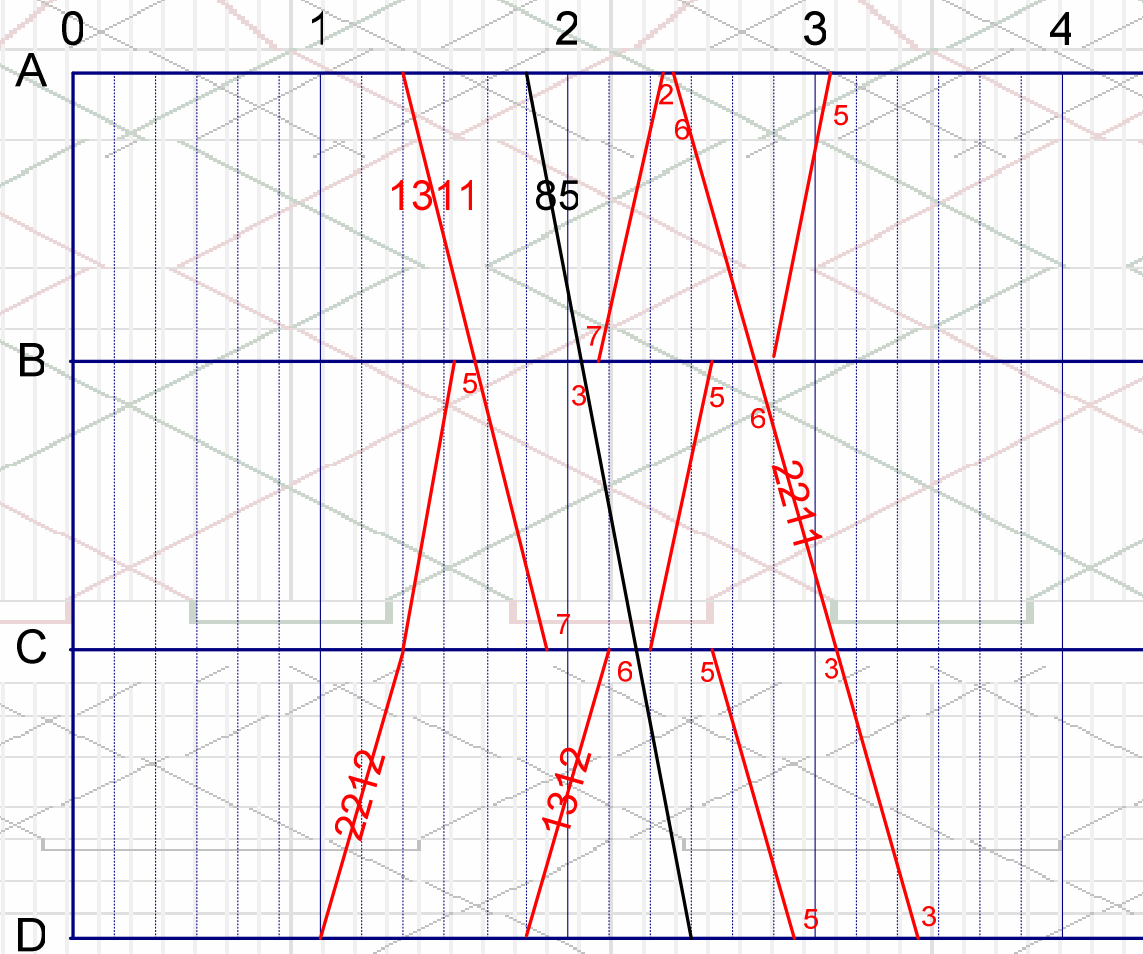
حالت چهارم: قطار اول عبوري از ايستگاه مجاور - قطار دوم عبوري از ايستگاه



حالت پنجم: قطار اول عبوري از ايستگاه مجاور - قطار دوم حرکت از حالت توقف



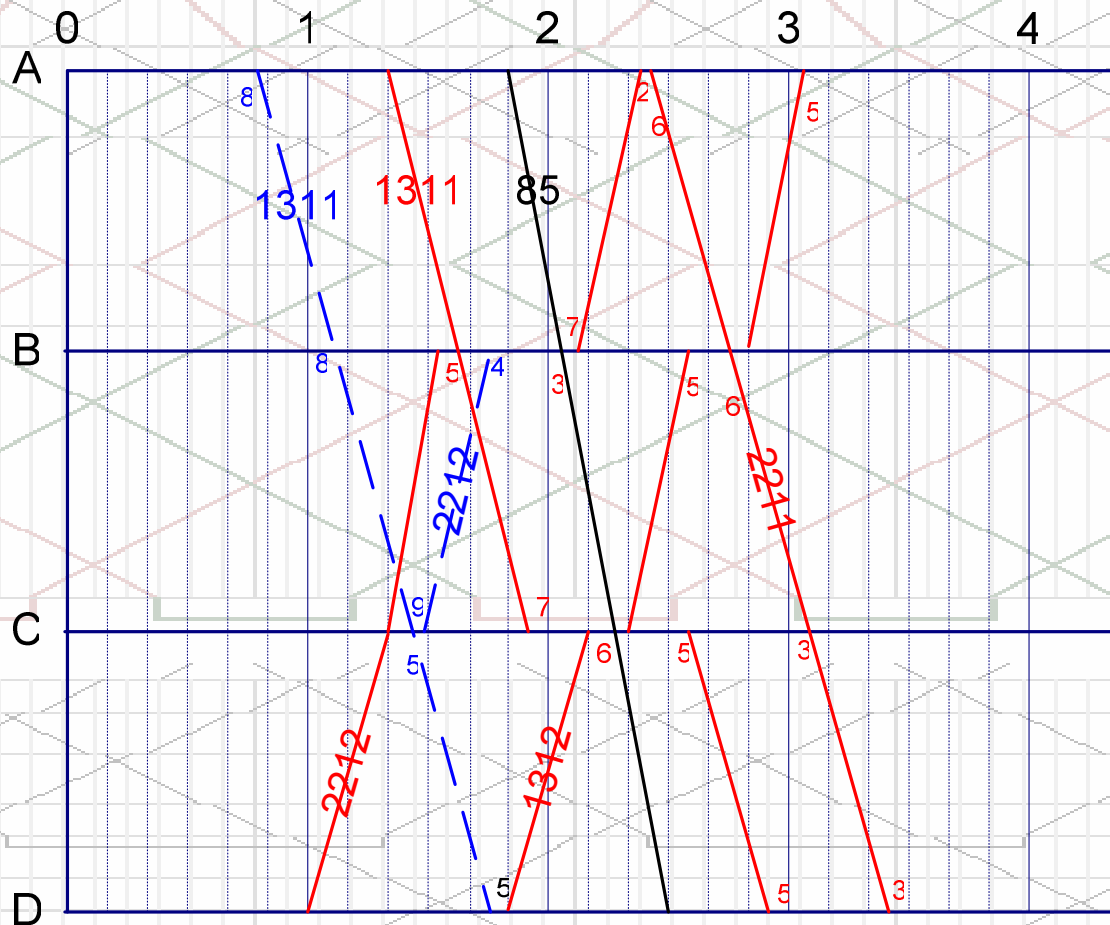
قطار 85 از قطار شماره 1311 سبقت گرفته است.



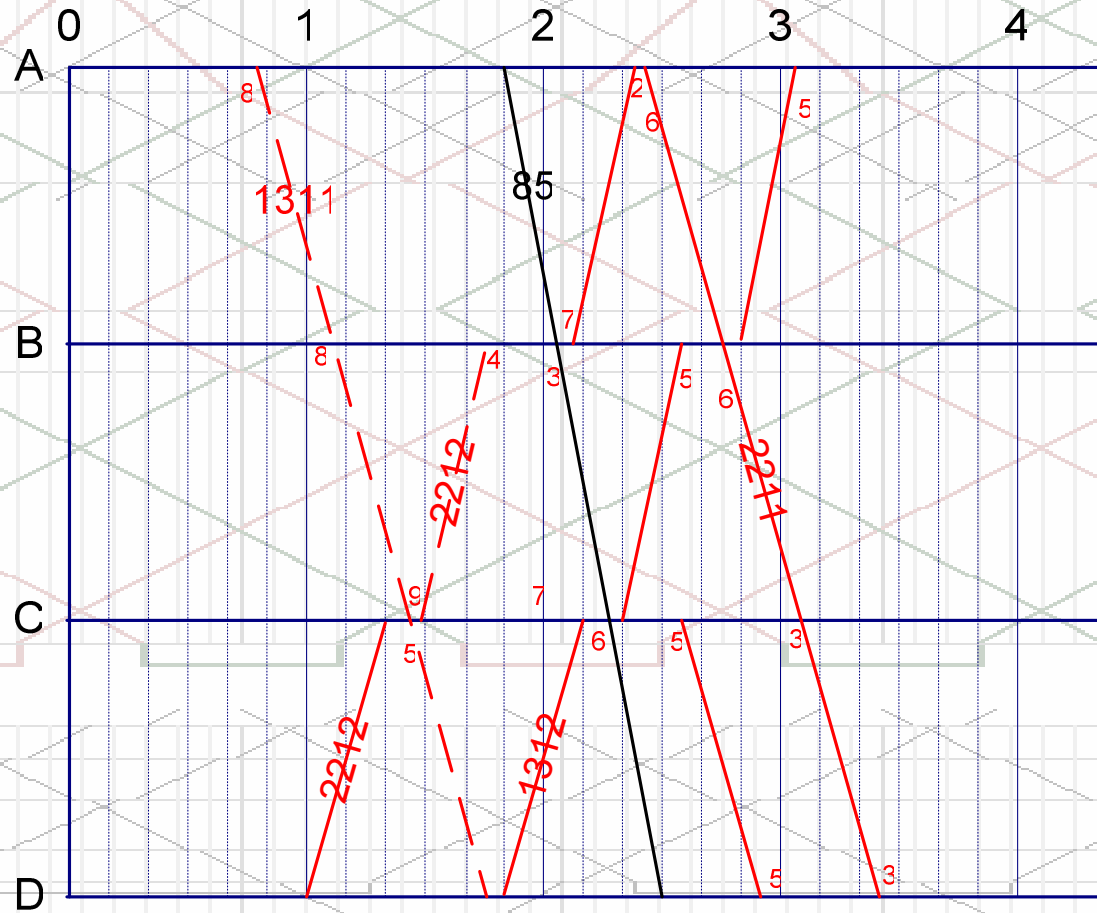
میزان تاخیرات:

جمع تاخیرات	تأخیر در ایستگاه C	تأخیر در ایستگاه B	قطار
38	38	-	1311
-	-	-	2211
32	-	32	2212
25	10	15	1312
<u>95</u>	48	47	جمع تاخیرات

- تغییر زمان اعزام قطار ۱۳۱۱ از 1:20 به 0:48 میزان تأخیرات را ۴۰ دقیقه کمتر می کند.



• گراف جدید:

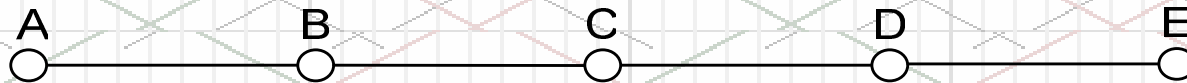


تاخیرات جدید: (۴۰ ساعت کاهش در تاخیرات)

جمع تاخیرات	تاخیر در ایستگاه C	تاخیر در ایستگاه B	قطار
-	-	-	1311
-	-	-	2211
30	9	21	2212
25	10	15	1312
<u>55</u>	19	36	جمع تاخیرات

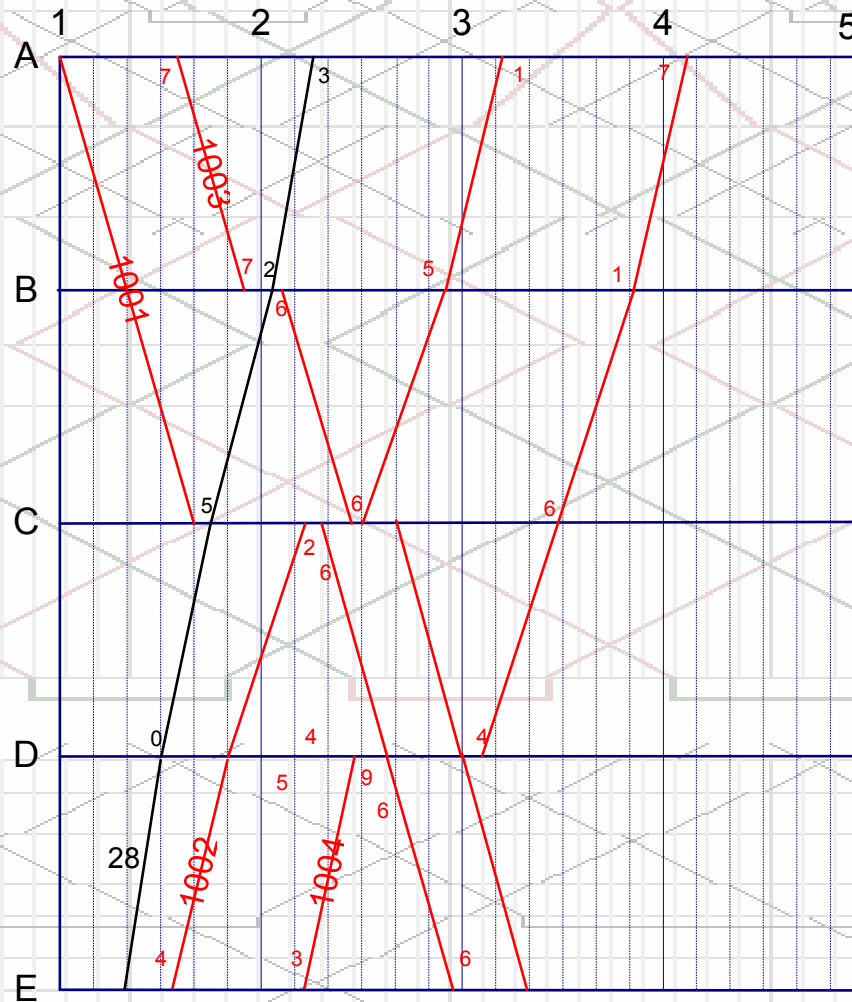
- مورد بعدی زمانیکه قطار با اولویت کمتر را بعد از قطار با اولویت بالاتر اعزام می کنیم، باید طوری اعزام شود که بین قطار با اولویت بالاتر و قطار با اولویت پائین تر بعد از آن، امکان اعزام قطار دیگری وجود داشته باشد، به این وسیله میزان تأخیرات کاهش می یابد.

- مثال: در شبکه زیر قطارهای برنامه ریزی قطارها انجام شده اند.
- قطارها دارای توقف برنامه ای نیستند.



زمان سیر				زمان اعزام از مبدأ	مسیر	اولویت قطار	قطار
در بلاک D-E/E-D	در بلاک C-D/D-C	در بلاک B-C/C-B	در بلاک A-B / B-A				
20	20	20	20	1:00	A-E	2	1001
20	20	20	20	1:37	A-E	2	1003
10	15	17	11	1:20	E-A	1	28
16	22	25	16	1:34	E-A	2	1002
16	22	25	16	2:13	E-A	2	1004

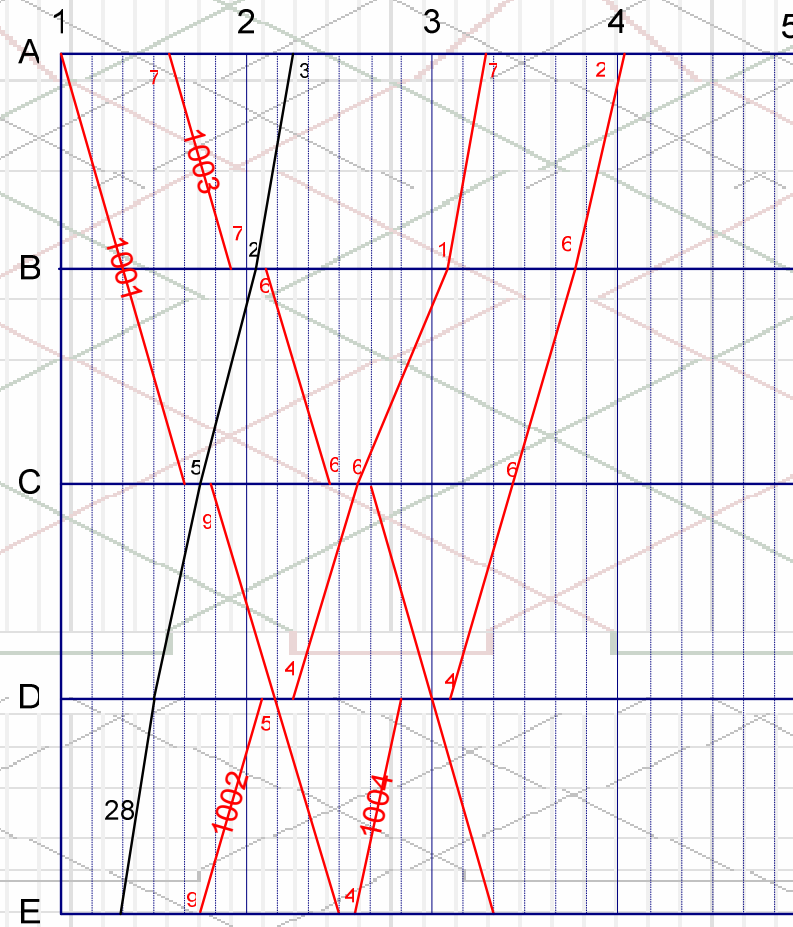
• گراف اولیه:



• میزان تأخیرات:

شماره قطار	تأخیر در ایستگاه B	تأخیر در ایستگاه C	تأخیر در ایستگاه D	جمع تأخیرات
1001	-	36	-	36
1003	9	14	-	23
1002	-	18	-	18
1004	-	-	37	37
جمع تأخیرات	9	68	37	114

تغییر زمان حرکت قطار 1002 :

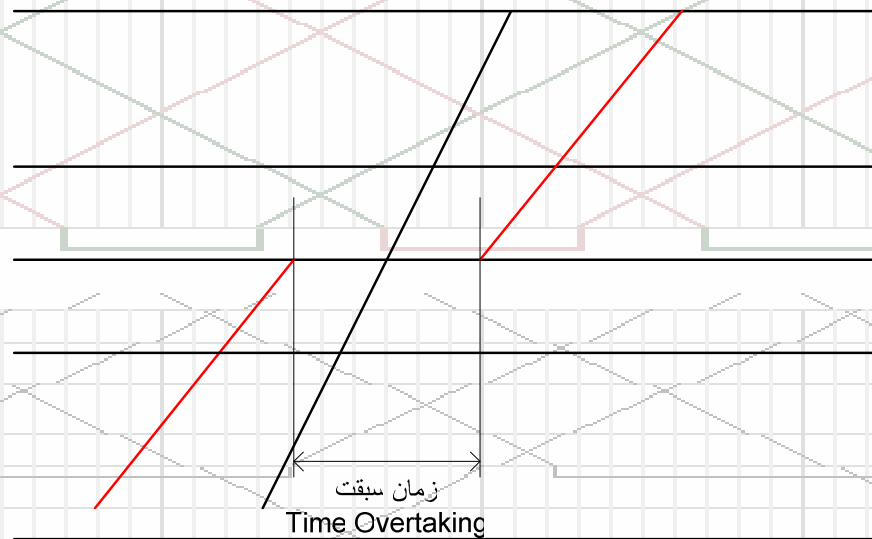


مجموع تاخیرات جدید:

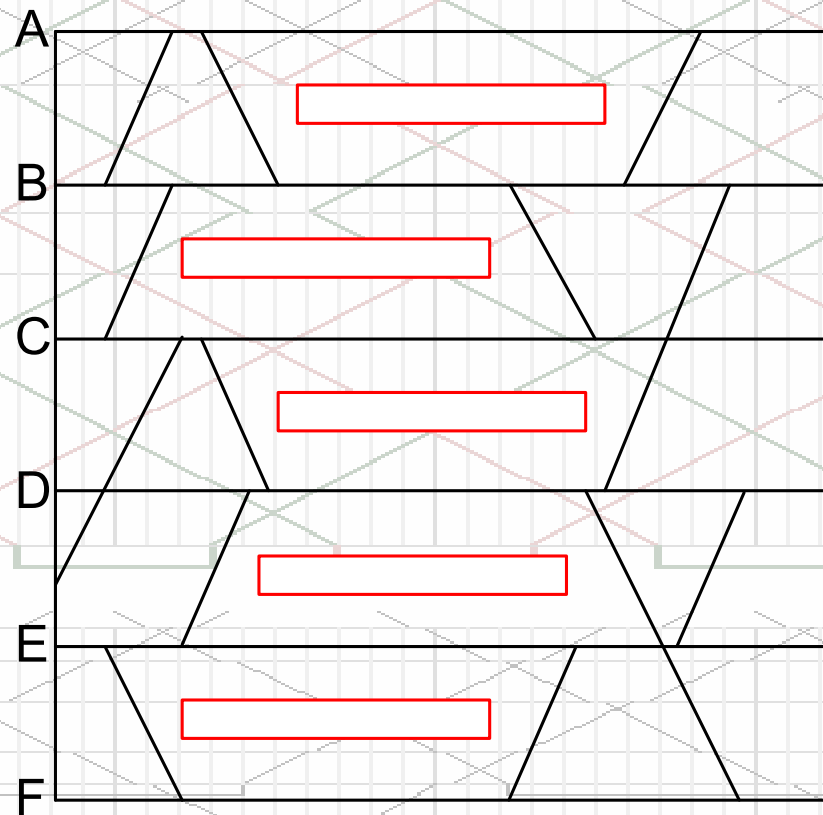
شماره قطار	تاخیر در ایستگاه B	تاخیر در ایستگاه C	تاخیر در ایستگاه D	جمع تاخیرات
1001	-	9	-	9
1003	9	14	-	23
1002	-	-	9	9
1004	-	-	9	9
جمع تاخیرات	9	23	18	50

تنظیم سبقتها بین کوچکترین بلاکها سبقت قطارها:

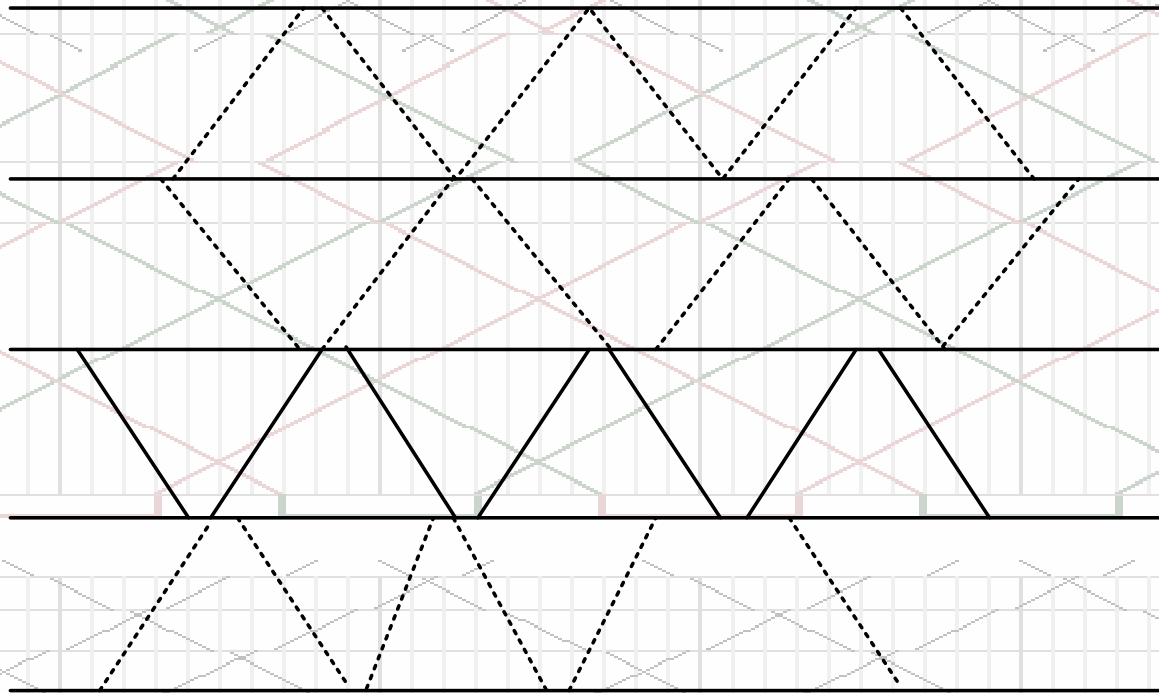
- باید تا حد امکان از سبقت ها جلوگیری کرد و در غیر این صورت سبقتها را با توقفهای برنامه ای با هم انطباق داد.
- در صورت امکان باید سبقت ها را در ایستگاههایی قرار داد که زمان سیر قطارها در بلاکهای مجاور آن ایستگاه کمترین زمان سیر باشد.



• در نظر گرفتن زمان تعمیر و نگهداری خط در برنامه



- برنامه ریزی را باید بر اساس بلاک محدود کننده (Limiting Block) انجام داد.



بلاک محدود کننده

- جنبه های مختلف تهیه برنامه زمان بندی با هم در تضاد هستند، مثلاً زمان مناسب برای اعزام قطارهای مسافری از نظر راحتی مسافران ممکن است به بالا بردن تعداد بدنه های قطار مورد نیاز باشد. و یا ممکن است زمان توقف را افزایش بدهد. در اینجا ما نیاز برنامه ای بهینه داریم که همه عوامل را مد نظر قرار دهد.

مواردی که باید در گراف نهایی چک شود:

- آیا توقف های برنامه ای درست انجام شده است؟
- زمان های سیر درست در نظر گرفته شده اند؟
- اولویت قطارها در اشغال بلاکها در نظر گرفته شده است؟
- آیا بهره برداری بهینه از بدنه قطارها شده است؟
- آیا از امکانات ایستگاهها بطور مناسبی استفاده شده است؟

۴-۴ - شاخص های ارزیابی یک گراف برنامه ای

شاخص های ارزیابی یک گراف برنامه ای:

1. شاخص های ارزیابی کمی
2. شاخص های ارزیابی کیفی

شاخص های ارزیابی کمی یک گراف برنامه ای:

1. تعداد قطارهای برنامه ریزی شده

2. کیلومتراژ طی شده قطارها

شاخص های ارزیابی کیفی یک گراف برنامه ای:

1. مجموع تأخیرات در گراف

2. میانگین سرعت قطارها در بلاکها (برای قطارهای باری و مسافری می توان جداگانه محاسبه نمود)

مجموع کیلومتر اژ طی شده قطارها

= میانگین سرعت قطارها در بلاکها

مجموع زمان سیر قطارها در بلاکها

3. میانگین سرعت قطارها با توقفهای غیر برنامه ای (تأخیرات)

$$\text{میانگین سرعت قطارها با توقفهای غیر برنامه ای} = \frac{\text{مجموع کیلومتر اژ طی شده قطارها}}{\text{مجموع زمان سیر قطارها در بلاکها} + \text{مجموع زمان توقفات غیر برنامه ای}}$$

4. میانگین کلی سرعت قطارها

$$\text{میانگین کلی سرعت قطارها} = \frac{\text{مجموع کیلومتر اژ طی شده قطارها}}{\text{مجموع زمان سیر قطارها در بلاکها} + \text{مجموع زمان توقفات غیر برنامه ای} + \text{مجموع زمان توقفات برنامه ای}}$$

5. میانگین توقفات غیر برنامه ای قطارها:

$$\text{میانگین توقفات غیر برنامه ای قطارها} = \frac{\text{مجموع تأخیرات}}{\text{تعداد قطارها}}$$

6. میانگین توقفات غیر برنامه ای قطارها برای ایستگاهها

$$\text{میانگین توقفات غیر برنامه ای در یک ایستگاه} = \frac{\text{مجموع زمان توقفات غیر برنامه ای در یک ایستگاه}}{\text{تعداد قطارهای با توقف غیر برنامه ای}}$$

7. میانگین کیلومتر از لکوموتیوها

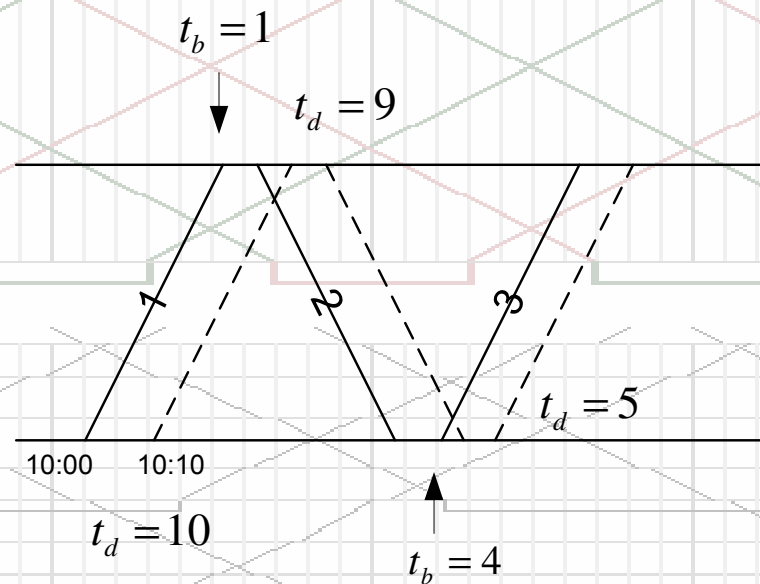
$$\text{میانگین کیلومتر از لکوموتیوها} = \frac{\text{مجموع کیلومتر از طی شده لکوموتیوها}}{\text{تعداد لکوموتیوهای استفاده شده}}$$

8. نزدیک بودن نرخ جبران تاخیرات بلاکها

• عوامل تاثیر گذار:

– میانگین زمانهای حائل در ایستگاههای دو طرف یک بلاک

– پراکندگی مناسب بین زمانهای حائل



• مثال: شبکه ای را که شامل ۳ ایستگاه در نظر بگیرید.

– جدول زمانبندی قطارها برای مسیر A به C بشرح زیر است.

– در فاصله ورود یک قطار به ایستگاه A و خروج قطار بعدی از A، ۵ دقیقه زمان حائل در نظر گرفته شده است.

– در تلاقی دو قطار در ایستگاه B، ۱ دقیقه زمان حائل در نظر گرفته شده است.

– زمان آزاد سازی بلاک برای همه حالتها ۳ دقیقه فرض شده است.

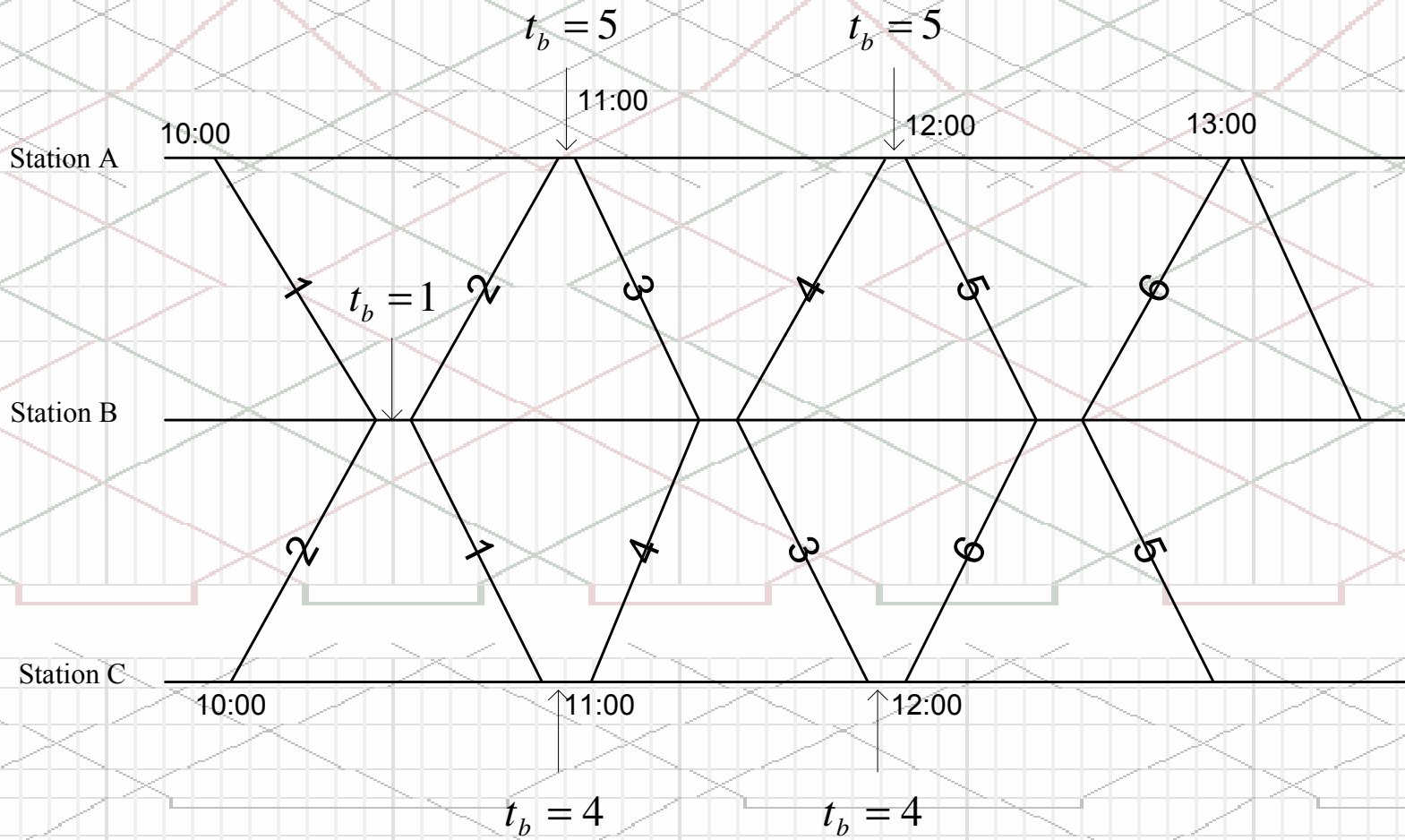
قطار	اعزام از A	زمان سیر در A-B (دقیقه)	ورود به B	هدوی در B (دقیقه)	اعزام از B	زمان سیر در B-C (دقیقه)	ورود به C
1	10:00	24	10:24	4	10:28	25	10:53
3	11:00	24	11:24	4	11:28	25	11:53
5	12:00	24	12:24	4	12:28	25	12:53

• جدول زمانبندی مسیر C به A بشرح زیر است.

– در فاصله ورود یک قطار به ایستگاه C و خروج قطار بعدی از C، ۴ دقیقه زمان حائل در نظر گرفته شده است.

قطار	اعزام از C	زمان سیر در C-B (دقیقه)	ورود به B	هدوی در B (دقیقه)	اعزام از B	زمان سیر در B-A (دقیقه)	ورود به A
2	10:00	24	10:24	4	10:28	24	10:52
4	11:00	24	11:24	4	11:28	24	11:52
6	12:00	24	12:24	4	12:28	24	12:52

گراف قطارها:



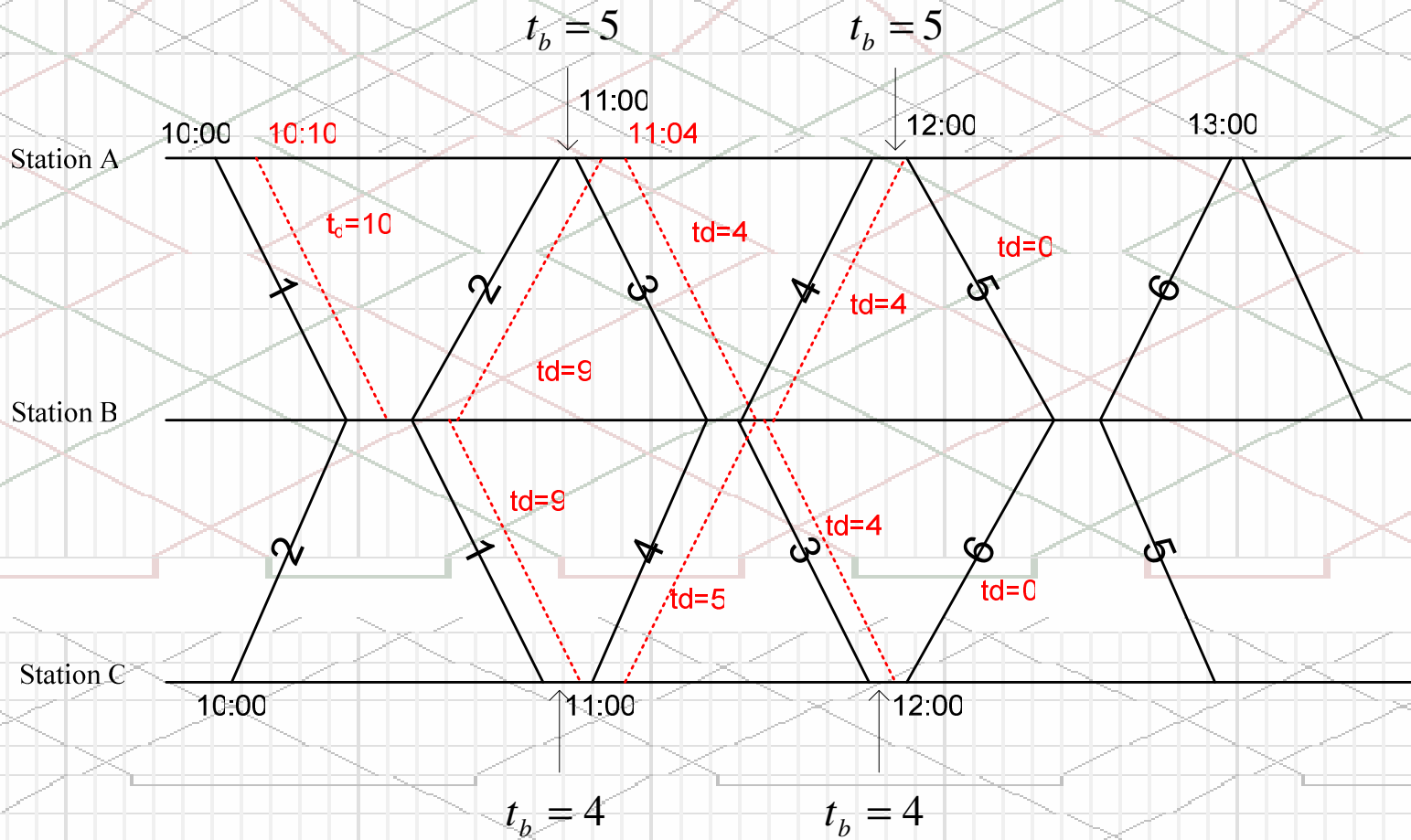
- فرض کنید قطار ساعت ۱۰، با ده دقیقه تاخیر از ایستگاه A اعزام شود.
- جدول زمانبندی مسیر A به C:

قطار	اعزام از A	تأخیر (دقیقه)	زمان سیر در A-B (دقیقه)	ورود به B	توقف (دقیقه)	اعزام از B	تأخیر (دقیقه)	زمان سیر در B-C (دقیقه)	ورود به C
1	10:10	10	24	10:34	3	10:37	9	25	11:02
3	11:04	4	24	11:28	4	11:32	4	25	11:57
5	12:00	0	24	12:24	4	12:28	0	25	12:53

• جدول زمانبندی مسیر C به A:

قطار	اعزام از C	تأخیر (دقیقه)	زمان سیر در C-B (دقیقه)	ورود به B	توقف (دقیقه)	اعزام از B	تأخیر (دقیقه)	زمان سیر در B-A (دقیقه)	ورود به A
2	10:00	0	24	10:24	13	10:37	9	24	11:01
4	11:05	5	24	11:29	3	11:32	4	24	11:56
6	12:00	0	24	12:24	4	12:28	0	24	12:52

گراف قطارها با نمایش تاخیرات قطارها:



• مجموع تأخیرات

– مجموع تأخیرات برای بلاک $B-A / A-B$:

$$9+4+4=17$$

– مجموع تأخیرات برای بلاک $C-B / B-C$:

$$9+5+4=18$$

• بلاک $B-C$ بیشتر تحت تأثیر قرار می گیرد. بعلت زمانهای حائل کمتر.

• باید سعی شود، زمانهای حائل بصورت یکنواخت در کل ایستگاهها پراکنده شود.

• **نرخ جبران تأخیرات:** ضریبی برای ارزیابی و مقایسه زمانهای حائل بلاکها.

$$\text{نرخ جبران تأخیرات} = \frac{t_d}{\sum t_b}$$

• برای دقیقه تاخیر:

– برای بلاک A-B:

$$10/(5+1)=1.67$$

– برای بلاک B-C:

$$10/(4+1)=2$$

• بطور کلی هر قدر این مقادیر کوچکتر و نزدیکتر به هم باشند بهتر است.

گراف و زمانبندی حرکت قطارها