روش تحلیلی برای برنامه ریزی تشکیل قطارها

مدرس: دکتر مسعود یقینی

روشهای برنامه ریزی تشکیل قطارها:

- روش ۱: بر اساس تعیین قطارهای مستقیم
- روش ۲: بررسی کلیه حالتهای ممکنه
- روش ۳: مدلهای بهینه سازی

۱- برنامه ریزی تشکیل قطارها بر اساس تعیین قطارهای مستقیم

روش تعیین قطارهای مستقیم

مثال: برای شبکه فرضی زیر میزان تقاضا و سایر پارامترهای موجود بشرح زیر است:

	A	B	C	D
A		90	60	100
B			80	120
C				100
D				

روش تعیین قطارهای مستقیم

- m: تعداد واگنهای هر قطار ۵۰
- c: ضریب تأخیر برای ایستگاه A و B برای قطارها به سایر ایستگاهها: ۱۲ ساعت
- متوسط زمان توقف برای عملیات مانور در ایستگاه B برای واگنهای A به D و A به C، ۳ ساعت است.
- متوسط زمان توقف برای عملیات مانور در ایستگاه C برای واگنهای A به D و B به D، ۴ ساعت است.
- ارزش هر واگن ساعت برای راه آهن ۲ واحد پولی است. (w)
- هزینه عملیات مانور برای هر واگن در ایستگاه B و C ، ۲/۵ واحد پولی محاسبه شود. (s)
- **برنامه تشکیل قطارها را طراحی کنید.**

روش تعیین قطارهای مستقیم

برنامه اول:

- در این برنامه هیچ قطار مستقیمی وجود ندارد.

مبدأ و مقصد	واگن	نحوه ارسال
A-D	100	A-B, B-C, C-D
A-C	60	A-B, B-C
A-B	90	A-B
B-D	120	B-C, C-D
B-C	80	B-C
C-D	100	C-D

روش تعیین قطارهای مستقیم

- در اینجا عامل هزینه عملیات مانور را هم اضافه می کنیم:

$$w(c.m) + w(N.t) + (N.s)$$

- w: هزینه هر واگن ساعت
- s: هزینه عملیات مانور

$$600 * 2 \leq (480 * 2) + (160 * 2.5)$$

$$1200 \leq 1360 \Rightarrow \text{yes}$$

- بنابراین بهتر است واگنهای A به C و A به D (مسیر A به C) با قطار مستقیم A به C حمل شود.

روش تعیین قطارهای مستقیم

مجموع زمان تأخیر برای تجمع واگنها:

- تاخیر برای تجمع واگنها در ایستگاه A و B و C:

$$3 * c.m = 3 * 12 * 50 = 1800$$

- تاخیر عملیات مانور در ایستگاه B:

$$(100 + 60) * 3 = 480$$

- تاخیر عملیات مانور در ایستگاه C:

$$(100 + 120) * 4 = 880$$

- جمع تاخیرات:

$$480 + 880 + 1800 = 3160 \quad \text{Car-hours}$$

روش تعیین قطارهای مستقیم

تعداد واگنهایی که در بین راه روی آنها عملیات مانور (انفصال و اتصال) انجام می شود:

- ۱۶۰ واگن در ایستگاه B برای تقاضای A به C
- ۲۲۰ واگن در ایستگاه C برای تقاضای B به D

- جمعاً بر روی ۳۸۰ واگن در ایستگاههای بین راهی عملیات مانور انجام می شود.

روش تعیین قطارهای مستقیم

محاسبه هزینه کل:

$3160 * 2 = 6320$	هزینه تاخیر
$+ 380 * 2.5 = 950$	هزینه عملیات مانور
$= 7270$	هزینه کل

روش تعیین قطارهای مستقیم

- شرط تشکیل قطار مستقیم:

$$B \leq N \cdot t_s$$

$$c.m \leq N \cdot t_s$$

- N: تعداد واگنهای یک مسیر خاص
- t_s: مجموع زمان صرف شده در ایستگاههای بین راهی برای عملیات مانور یک واگن در صورتی که واگنها با قطارهای جداگانه اعزام شود.

روش تعیین قطارهای مستقیم

- **بررسی قطار مستقیم A به D:**

$$B = c.m = 12 \times 50 = 600$$

- زمان تأخیر واگنها درصورتی که با قطارهای جداگانه اعزام شوند:

$$N \,.\, t_s = 100 \times (3+4) = 700$$

- آیا $B \leq N.\, t_s$ ؟

$$600 \leq 700 \quad \Rightarrow \text{yes}$$

- بنابراین تشکیل قطار مستقیم بهتر است. (در اینجا هزینه عملیات مانور در ایستگاههای میانی در نظر گرفته نشده است.)

روش تعیین قطارهای مستقیم

- **بررسی قطار مستقیم A به C:**

$$B = c.m = 12 \times 50 = 600$$

- زمان تأخیر واگنها درصورتی که با قطارهای جداگانه اعزام شوند:

$$N \cdot t_s = 60 \times 3 = 180$$

- آیا $B \leq N.\ t_s$ ؟

$$600 \leq 180 \Rightarrow \text{no}$$

- بنابراین بهتر است واگنهای A به C از طریق A به B و C حمل شود و تشکیل قطار مستقیم به صرفه نیست.

روش تعیین قطارهای مستقیم

- **بررسی قطار مستقیم B به D:**

$$B = c.m = 12 \times 50 = 600$$

- زمان تأخیر واگنها درصورتی که با قطارهای جداگانه اعزام شوند:

$$N \,.\, t_s = 120 \times 4 = 480$$

- آیا $B \leq N.\, t_s$ ؟

$$600 \leq 480 \;\Rightarrow\; \text{no}$$

- بنابراین بهتر است واگنهای B به D از طریق B به C و D حمل شود و تشکیل قطار مستقیم به صرفه نیست.

روش تعیین قطارهای مستقیم

برنامه اول:

مبدأ و مقصد تقاضا	تعداد واگن	نحوه ارسال
A-D	100	A-D
A-C	60	A-B, B-C
A-B	90	A-B
B-D	120	B-C, C-D
B-C	80	B-C
C-D	100	C-D

$B = 11 \times 50 = 550$

روش تعیین قطارهای مستقیم

مجموع زمان توقف:

- برای تقاضای A به D

$12 * 50 = 600$

- زمان توقف تقاضای A به C در ایستگاه B:

$60 * 3 = 180$

- زمان توقف تقاضای B به D در ایستگاه C:

$120 * 4 = 480$

- جمع تاخیرات:

$600 + 180 + 480 = 1260$ *Car-hours*

$B = 11 \times 50 = 550$

روش تعیین قطارهای مستقیم

تعداد واگنهایی که در بین راه روی آنها عملیات مانور (انفصال و اتصال) انجام می شود:

- ۶۰ واگن در ایستگاه B برای تقاضای A به C
- ۱۲۰ واگن در ایستگاه C برای تقاضای B به D

- جمعاً بر روی ۱۸۰ واگن در ایستگاههای بین راهی عملیات مانور انجام می شود.

هزینه کل:

هزینه تاخیر	$1260 * 2 = 2520$
هزینه عملیات مانور	$+ 180 * 2.5 = 450$
هزینه کل	$= 2970$

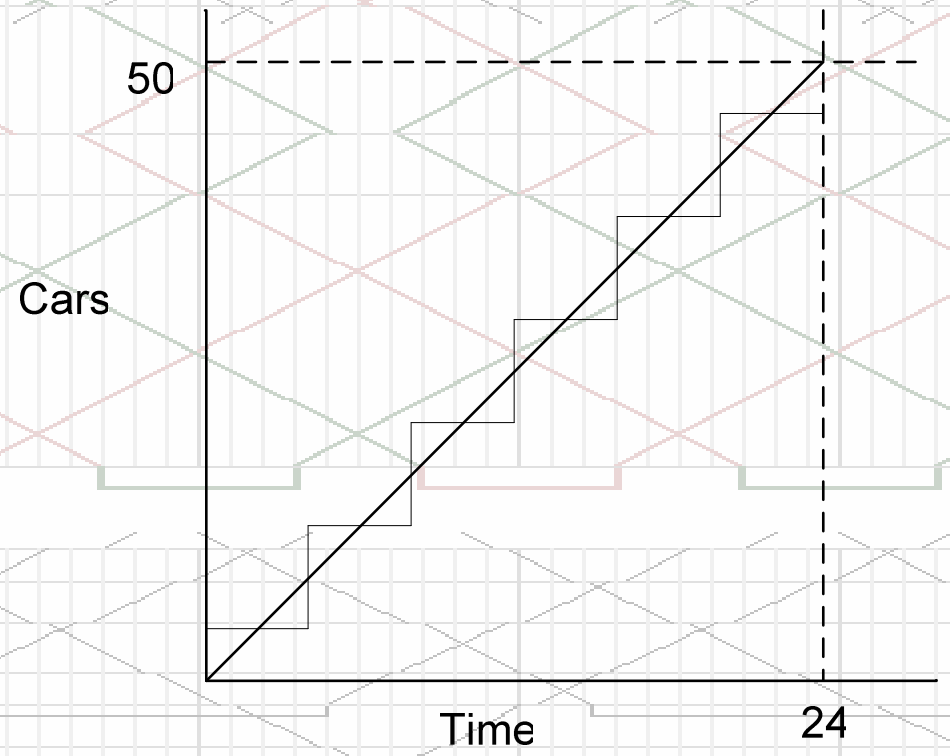
روش تعیین قطارهای مستقیم

- س: همانطور که ملاحظه می شود اگر ما بخواهیم برای یک مسیر مستقیم قطار داشته باشیم (مثلاً برای مسیر A به C) مقدار B را برای آن محاسبه می کنیم، ولی اگر قطار مستقیم اعزام نشود و غیر مستقیم بخواهیم واگنهای آن مسیر را ارسال کنیم باید واگنها برای تشکیل قطار توقف داشته باشند ولی چرا این زمان را اضافه نمی کنیم؟

روش تعیین قطارهای مستقیم

- مثلاً فرض کنیم که ۵۰ واگن از A-B اعزام می شود.

$$B = 24/2 * 50 = 12 * 50 = 600 \quad \text{Car/Hours}$$

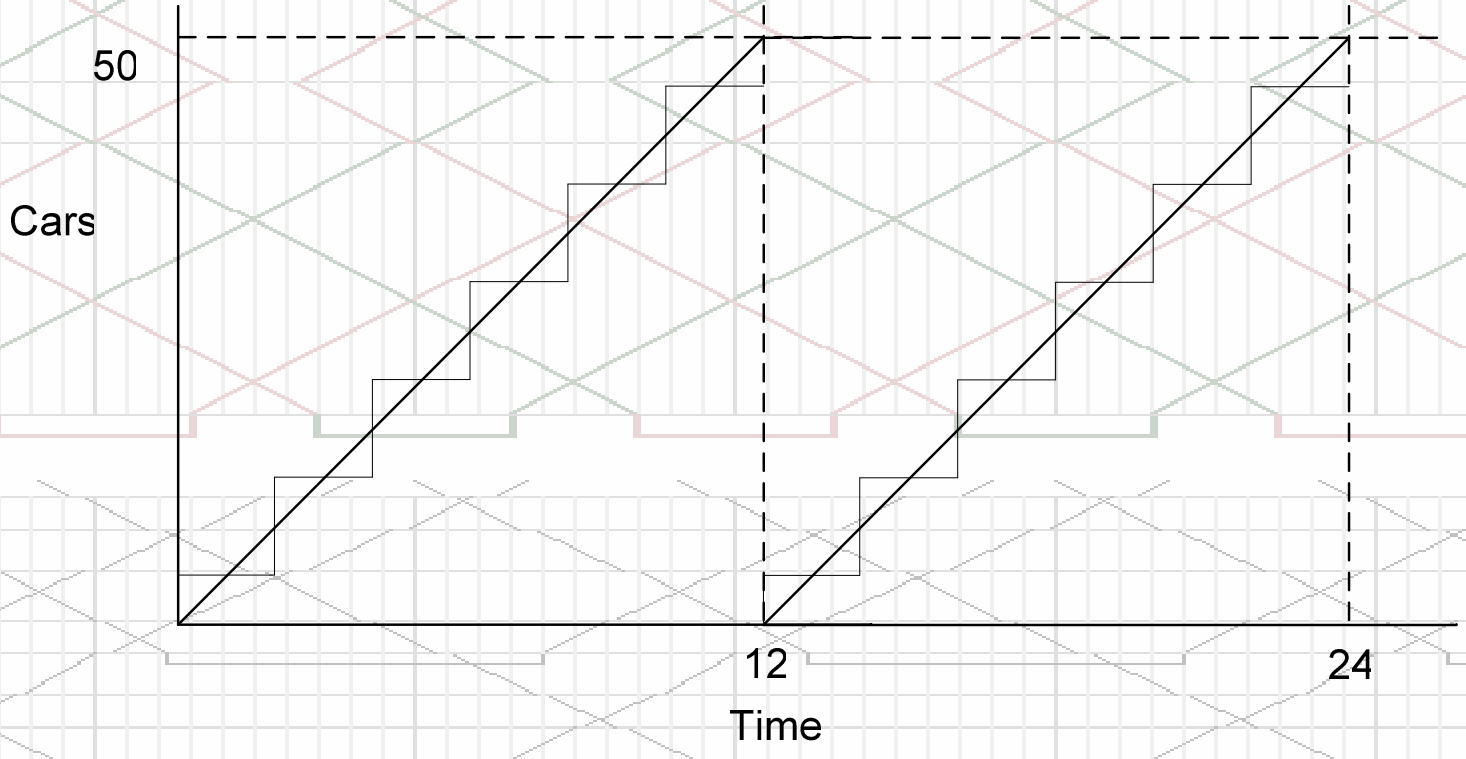


روش تعیین قطارهای مستقیم

- فرض کنیم ۵۰ به ۱۰۰ می رسد:

$$B = 12/2*50+12/2*50 = (6+6)*50 = 12*50 = 600$$

Car/Hours



روش تعیین قطارهای مستقیم

- چرا زمانهای توقف برای تجمع را برای واگنهای بین A به B و یا B به C و یا C به D را در نظر نمی گیریم؟
- چرا زمان و هزینه عملیات مانور را در مبداء و مقصد در نظر نمی گیریم؟
- چرا زمانی که واگنهای A به C وارد ایستگاه B می شود ما فقط زمان عملیات مانور را در نظر می گیریم و زمان تاخیر برای تجمع برای رفتن از B به C را در نظر نمی گیریم؟

روش تعیین قطارهای مستقیم

- **بررسی قطار مستقیم B به D بصورت ترکیبی برای تقاضای B به D و A به D:**

$$B = c.m = 12 \times 50 = 600$$

- زمان تأخیر واگنها درایستگاه C در صورتی که تقاضای B به D و A به D با قطارهای جداگانه اعزام شوند:

$$N \cdot t_s = (100 + 120) \times 4 = 880$$

- آیا $B \leq N.\ t_s$ ؟

$$600 \leq 880 \Rightarrow \text{yes}$$

- بنابراین بهتر است واگنهای B به D و A به D (مسیر B به D) از طریق قطار مستقیم B به D حمل شود.

روش تعیین قطارهای مستقیم

برنامه دوم:

- در این برنامه تقاضای A به D از طریق A-B-D ارسال می گردد.
- در این برنامه تقاضای B به D از طریق B-D ارسال می گردد.

مبدأ و مقصد تقاضاها	واگن	نحوه ارسال
A-D	100	A-B, B-D
A-C	60	A-B, B-C
A-B	90	A-B
B-D	120	B-D
B-C	80	B-C
C-D	100	C-D

روش تعیین قطارهای مستقیم

مجموع زمان تأخیر:

- قطار مستقیم B به D:

$$12 * 50 = 600$$

- تاخیر عملیات مانور در ایستگاه B:

$$(100 + 60) * 3 = 480$$

- جمع تاخیرات:

$$600 + 480 = 1080 \quad \textit{Car-hours}$$

$B = 11 \times 50 = 550$

روش تعیین قطارهای مستقیم

تعداد واگنهایی که در بین راه روی آنها عملیات مانور (انفصال و اتصال) انجام می شود:

- جمعاً ۱۶۰ واگن در ایستگاه B برای تقاضای A به C و A به D

هزینه کل:

هزینه تاخیر	1080 * 2 = 2160
هزینه عملیات مانور	+ 160 * 2.5 = 400
هزینه کل	= 2560

- هزینه کاهش داشته است. بنابراین باید ترکیبات مختلف را در نظر گرفت.

روش تعیین قطارهای مستقیم

- **بررسی قطار مستقیم A به C بصورت ترکیبی برای تقاضای A به C و A به D:**

$$B = c.m = 12 \times 50 = 600$$

- زمان تأخیر واگنها درایستگاه B در صورتی که تقاضای A به C و A به D با قطارهای جداگانه اعزام شوند:

$$N \cdot t_s = (100 + 60) \times 3 = 480$$

- آیا $B \leq N.\ t_s$ ؟

$$600 \leq 480 \Rightarrow \text{no}$$

- با این تحلیل (بدون در نظر گرفتن هزینه عملیات مانور) بهتر است واگنهای A به C و A به D (مسیر A به C) با قطار مستقیم A به C حمل شود.

روش تعیین قطارهای مستقیم

- در اینجا عامل هزینه عملیات مانور را هم اضافه می کنیم:

$$w(c.m) \leq w(N.t) + (N.s)$$

- w: هزینه هر واگن ساعت
- s: هزینه عملیات مانور

$$600 * 2 \leq (480 * 2) + (160 * 2.5)$$

$$1200 \leq 1360 \Rightarrow \text{yes}$$

- بنابراین بهتر است واگنهای A به C و A به D (مسیر A به C) با قطار مستقیم A به C حمل شود.

روش تعیین قطارهای مستقیم

برنامه سوم:

- در این برنامه تقاضای A به D از طریق A-C-D ارسال می گردد.
- در این برنامه تقاضای A به C از طریق قطار مستقیم A-C ارسال می گردد.

مبدأ و مقصد	واگن	نحوه ارسال
A-D	100	A-C, C-D
A-C	60	A-C
A-B	90	A-B
B-D	120	B-C, C-D
B-C	80	B-C
C-D	100	C-D

روش تعیین قطارهای مستقیم

مجموع زمان تأخیر:

- قطار مستقیم A به C:

$12 * 50 = 600$

- تاخیر عملیات مانور در ایستگاه C:

$(100 + 120) * 4 = 880$

- جمع تاخیرات:

$600 + 880 = 1480$ *Car-hours*

روش تعیین قطارهای مستقیم

تعداد واگنهایی که در بین راه روی آنها عملیات مانور (انفصال و اتصال) انجام می شود:

- جمعاً ۲۲۰ واگن در ایستگاه C برای تقاضای A به D و B به D

هزینه کل:

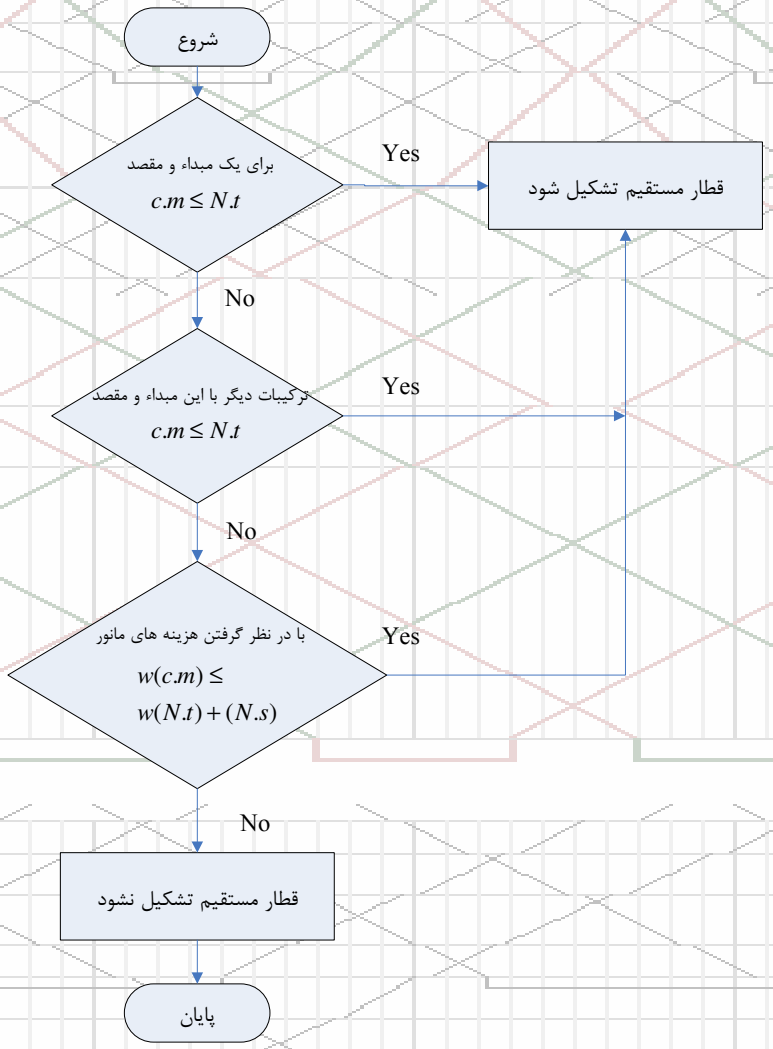
هزینه تاخیر	1480 * 2 = 2960
هزینه عملیات مانور	+ 220 * 2.5 = 550
هزینه کل	= 3510

روش تعیین قطارهای مستقیم

- مقایسه روشها:

روش	قطار مستقیم	مجموع تأخیرات	مجموع واگنها برای مانور	مجموع هزینه
I	A-D	1,260	180	2,970
II	B-D	1,080	160	2,560
III	A-C	1,480	220	3,510
IV	-----	1,360	380	3,670

روش تعیین قطارهای مستقیم



W: هزینه هر واگن ساعت

S: هزینه عملیات مانور

تمرین

برای شبکه فرضی زیر میزان تقاضا و سایر پارامترهای موجود بشرح زیر است:

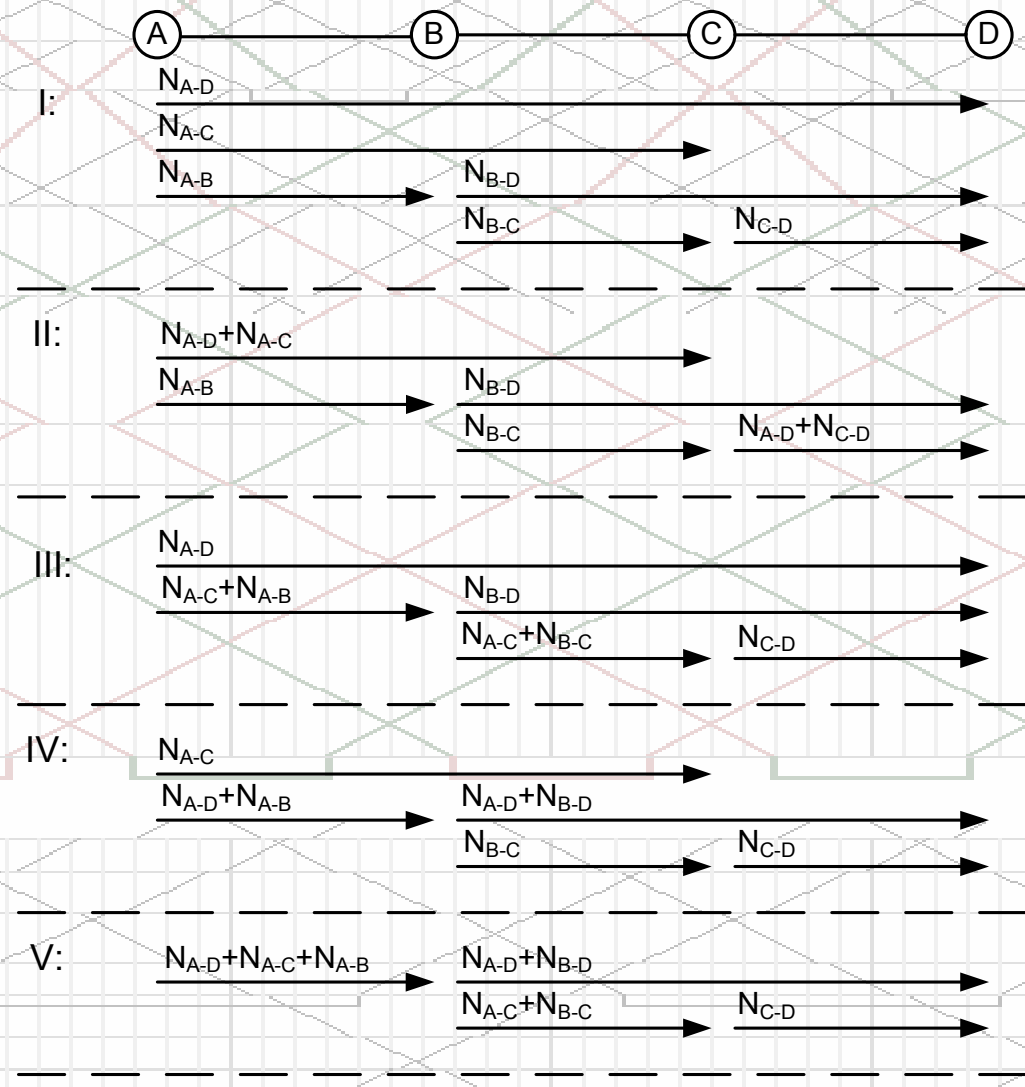
	A	B	C	D
A		115	185	120
B			95	90
C				100
D				

روش تعیین قطارهای مستقیم

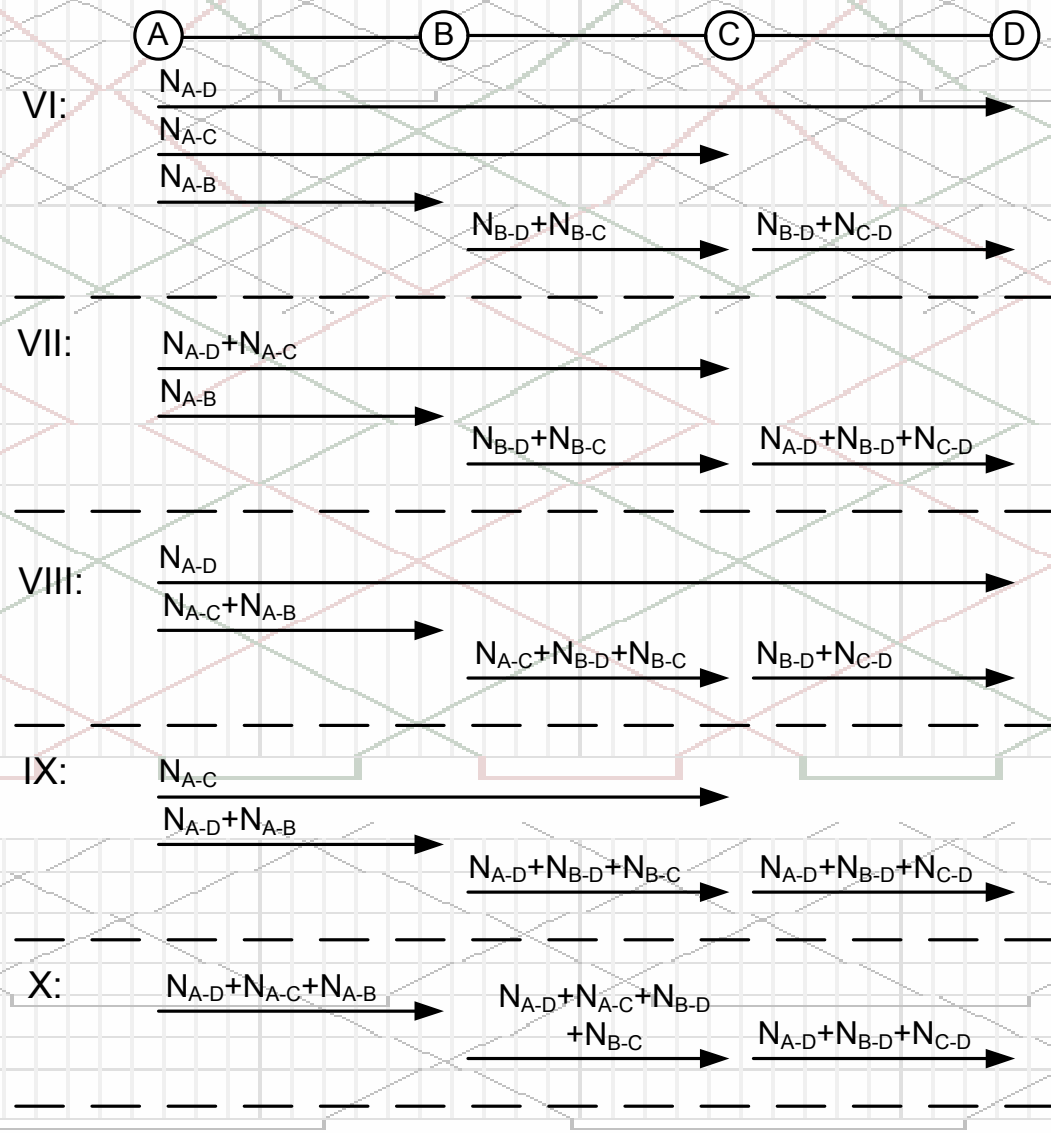
- m: تعداد واگنهای هر قطار ۵۰
- c: ضریب تأخیر برای ایستگاه A و B برای قطارها به سایر ایستگاهها: ۱۲ ساعت
- متوسط زمان توقف برای عملیات مانور در ایستگاه B برای واگنهای A به D و A به C، ۳ ساعت است.
- متوسط زمان توقف برای عملیات مانور در ایستگاه C برای واگنهای A به D و B به D، ۴ ساعت است.
- ارزش هر واگن ساعت برای راه آهن ۲ واحد پولی است. (w)
- هزینه عملیات مانور برای هر واگن در ایستگاه B و C ، ۲/۵ واحد پولی محاسبه شود. (s)
- **مطلوب است تعیین برنامه تشکیل قطارها (مسیرهای اعزام قطارها)**

۲- برنامه ریزی تشکیل قطارها بر اساس بررسی کلیه حالتهای ممکنه

حالتهای مختلف تشکیل قطار



حالتهای مختلف تشکیل قطار



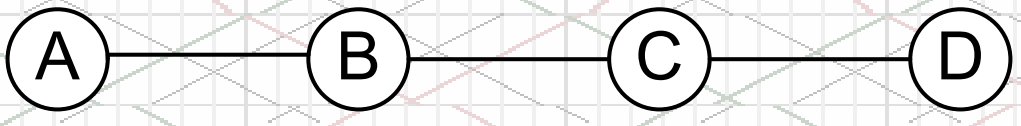
حالتهای مختلف تشکیل قطار

از مبدأ A	از مبدأ B	از مبدأ C
$N_{A-D}, N_{A-C}, N_{A-B}$	N_{B-D}, N_{B-C}	N_{C-D}
$N_{A-D}+N_{A-C}, N_{A-B}$	$N_{B-D}+N_{B-C}$	
$N_{A-C}+N_{A-B}, N_{A-D}$		
$N_{A-D}+N_{A-B}, N_{A-C}$		
$N_{A-D}+N_{A-C}+N_{A-B}$		

$$5 \times 2 \times 1 = 10$$

مثال

- در شبکه راه آهنی چهار ایستگاه وجود دارد که تقاضاهای بین آنها بصورت جدول زیر است:



	A	B	C	D
A		100	95	115
B			90	185
C				120
D				

مثال

- ظرفیت قطارها: ۵۰ واگن (m)
- c: ضریب تأخیر برای قطارها در ایستگاه A: ۱۰ ساعت (c.m = 500)
- c: ضریب تأخیر برای قطارها در ایستگاه B: ۱۰/۸ ساعت (c.m = 540)
- هزینه هر ساعت تأخیر واگنها: 2 واحد پولی
- هزینه عملیات مانور: 2.5 واحد پولی
- زمان عملیات مانور در B : 4ساعت
- زمان عملیات مانور در C : 3 ساعت
- **بهترین برنامه تشکیل قطارها را تعیین نمائید.**

مثال

پیدا کردن مینیموم مجموع هزینه های:

$$Min \sum[(k_i.c.m).w]+\sum[(N_i.t_i).w]+\sum(N_i.s_i)$$

- i: اندیس ایستگاهها
- k_i: تعداد قطارهای مستقیم که در ایستگاه i ام تشکیل می شود.
- c: پارامتر زمان تجمع
- m: تعداد واگنهای یک قطار
- w: هزینه زمان تأخیر واگنها
- N_i: تعداد واگنهایی که در ایستگاههای بین راهی i ام روی آنها عملیات مانور انجام می شود.
- t_i:زمان عملیات مانور در ایستگاه بین راهی i ام
- s_i: هزینه عملیات مانور در ایستگاه بین راهی i ام

مثال

	9 (7+8)	8 (4*s)	7 (6*w)	6 (3+5)	5 (4*t)	4		3 (1+2)	2	1	
	مجموع هزینه	هزینه مانور Σ(N.s)	هزینه تأخیرات Σ(k.cm +N.t).w	Σ k.cm + N.t	Σ N.t	تعداد واگن‌های با عملیات sort		Σ (k.cm)	ایستگاه B (k.cm)	ایستگاهA (k.cm)	روش
						C	B				
	3,080	----	3,080	1540	----	----	----	1540	540	1000	I
	3,127.5	287.5	2,840	1385	345	115	----	1040	540	500	II
Min	3,007.5	237.5	2,770	1420	380	----	95	1040	540	500	III
	3,287.5	287.5	3,000	1500	460	----	115	1040	540	500	IV
	3,285	525	2,760	1380	840	----	210	540	540	----	V
	3,572.5	462.5	3,110	1555	555	185	----	1000	----	1000	VI
	3,550	750	2,800	1400	900	300	----	500	----	500	VII
	3,570	700	2,870	1435	935	185	95	500	----	500	VIII
	4,757.5	1,037.5	3,720	1860	1360	300	115	500	----	500	IX
	4,755	1,275	3,480	1740	1740	300	210	----	----	----	X

اطلاعات مورد نیاز برای تهیه برنامه تشکیل قطارها:

- برنامه کلان حمل و نقل بار- شامل تناژ بار بین مبادی و مقاصد مختلف بار.
- ظرفیت عملیات مانور ایستگاههای مختلف و ظرفیت خطوط گروه بندی واگنها.
- زمان ارسال محموله ها که باید سریع تر بروند، مثل کالاهای فاسد شدنی و یا با قابلیت انفجار.
- مدت زمان تأخیر برای تجمع واگنها برای تشکیل قطارها در ایستگاه مبدأ و مدت زمان عملیات مانور در ایستگاههای مبدأ میانی و مقصد
- هزینه عملیات مانور(خصوصاً در ایستگاههای بین راهی)
- استانداردها و قوانین مرتبط با جابجایی واگنها و یا اولویت های خاص جابجایی

سایر نکات برنامه ریزی تشکیل قطارها:

- در برنامه تشکیل قطارها، می توان جابجایی واگنهای خالی نیز در نظر گرفته شود.
- در صورتیکه تغییرات عمده ای در تقاضای حمل بار اتفاق بیافتد باید در برنامه تشکیل قطارها اعمال شود. و می توان برنامه های فعلی را تهیه کرد.
- این برنامه باید یک تقسیم کار بین ایستگاههای راه‌آهن انجام دهد.

حالتهای مختلف تشکیل قطار

- **جدول حالت ممکنه برای ۲ تا ۹ ایستگاه:**

تعداد ایستگاه	تعداد حالات مختلف
2	1
3	2
4	10
5	150
6	7,800
7	1,583,400
8	$1.39*10^9$
9	$5.7*10^{12}$

حالتهای مختلف تشکیل قطار

- q(n): تعداد حالات مختلف
- f(n): تعداد اضافه شده به ازای یک ایستگاه اضافی
- n: تعداد ایستگاه

$$q(n) = f(n).q(n-1)$$

$$f(n) = \sum_{i=0}^{n-2} C_{n-2}^{i} f[(n-1)-i] \quad \text{for} \quad n \geq 3$$

$$f(2), f(1) = 1$$

حالتهای مختلف تشکیل قطار

- برای ۳ ایستگاه:

$$n = 3$$

$$q(3) = f(3).q(3-1)$$

$$f(3) = \sum_{i=0}^{3-2} C_{3-2}^{i} f[(3-1)-i]$$

$$f(3) = \sum_{i=0}^{1} C_{1}^{i} f(2-i) = C_{1}^{0} f(2) + C_{1}^{1} f(1) = 2$$

$$q(3) = q(2) \times f(3) = 1 \times 2 = 2$$

حالتهای مختلف تشکیل قطار

- برای ۴ ایستگاه:

$$n = 4$$

$$f(4) = \sum_{i=0}^{2} C_2^i f(3-i)$$

$$= C_2^0 f(3) + C_2^1 f(2) + C_2^2 f(1) = 5$$

$$q(4) = q(3) \times f(4) = 2 \times 5 = 10$$

حالتهای مختلف تشکیل قطار

- برای ۵ ایستگاه:

$$n = 5$$

$$f(5) = \sum_{i=0}^{3} C_3^i f(4-i)$$

$$= C_3^0 f(4) + C_3^1 f(3) + C_3^2 f(2) + C_3^3 f(1) = 15$$

$$q(5) = q(4) \times f(5) = 10 \times 15 = 150$$

حالتهای مختلف تشکیل قطار

- **جدول حالت ممکنه برای ۲ تا ۹ ایستگاه:**

تعداد ایستگاه n	f(n)	تعداد حالات مختلف q(n)
2	1	1
3	2	2
4	5	10
5	15	150
6	52	7,800
7	203	1,583,400
8	877	$1.39*10^9$
9	4,140	$5.7*10^{12}$

روش تحلیلی برای برنامه ریزی تشکیل قطارها