

# سازمان سما

---

و اسسهه دانشگاه آزاد اسلامی  
دانشگاه سما واحد حاجی آباد



# حل مسئله معماری کامپیووتر

منبع : معماری کامپیووتر - منوچهر بابایی

**WWW.HREZAPOUR.IR**

---

حمیدرضا رضاپور

# معماری کامپیووتر

درس هفتم: خط لوله (پایپ لاین) - پردازش موازی - بررسی کارایی

## (موازات)

❖ وقتی که یک کار (TASK) توسط چند پردازنده بطور همزمان اجرا می شود، موازات داریم و کار سریعتر انجام می شود، که میزان تسریع بصورت زیر است:

$$\text{تسريع} = \frac{\text{زمان اجرا توسط یک پردازنده}}{\text{زمان اجراتوسط } P \text{ پردازنده}} = \frac{\text{سرعت روی } P_{\text{پردازنده}}}{\text{سرعت روی یک پردازنده}}$$

❖ در بعضی از کارها امکان موازی سازی تمام بخش ها وجود ندارد، لذا آن بخش ها را روی یک پردازنده و بصورت ترتیبی اجرا می کنیم. در صد برنامه قابلیت موازی سازی نداشته باشد آنگاه تسریع بصورت زیر است:

$$\text{تسريع} = \frac{t}{(f + \frac{1-f}{P})t} = \frac{1}{f + \frac{1-f}{P}}$$

$f$  درصد: سریع  
 $1-f$  درصد: موازی

$$\frac{0.6t}{f + \frac{1-f}{P} t}$$

مثال (۱): یک برنامه بر روی کامپیوتر ۱۰۰ ثانیه اجرا می شود که ۸۰ ثانیه آن مربوط به دستورالعمل های ضرب برنامه است. دستورالعمل های ضرب چقدر سریعتر شود تا اجرای برنامه  $\frac{2}{5}$  برابر سریعتر شود؟

$$\text{دستورالعمل: } \frac{\frac{80}{100}}{\left(0.2 + \frac{0.8}{P}\right)} = 2.5$$

سریعتر

$$\rightarrow 0.5 + \frac{2}{P} = 1 \quad \rightarrow \frac{2}{P} = 0.5 \rightarrow P = 4$$

مثال (۲): یک بسته نرم افزاری روی تک پردازنده A نیاز به  $T$  ثانیه برای اجرا دارد. بخشی از این نرم افزار به روش موازی نوشته شده است. و این بخش می‌تواند از امکانات کامپیووتری که از ۴ پردازنده نوع A ساخته شده استفاده کند و با سرعت ۴ برابر نسبت به قبل اجرا شود. چند درصد از برنامه باید موازی باشد تا وقتی کل برنامه را روی کامپیووتر ۴ پردازنده اجرا کنیم نسبت به قبل افزایش سرعتی برابر با ۲ داشته باشیم؟

$$\frac{\text{سرعی}}{-} = \frac{T}{(f + \frac{1-f}{P})T} = 2 \rightarrow \frac{1}{f + \frac{1-f}{4}} = 2$$

$$\rightarrow 2f + \frac{2-2f}{4} = 1 \rightarrow 6f + 2 = 4 \rightarrow 6f = 2 \rightarrow f = \frac{1}{3}$$

$$1-f = \frac{2}{3}$$

- ❖ توان عملیاتی (throughput): تعداد کارهای انجام شده توسط یک ماشین در واحد زمان.
- ❖ کارایی یک سیستم بر حسب زمان اجرا (پاسخ) بصورت زیر است:

$$\text{کارایی (performance)} = \frac{1}{\text{زمان اجرا}}$$

اگر  $p_x > p_y \Rightarrow exe_x < exe_y$

❖ اگر ماشین x از ماشین y، برابر سریعتر باشد آنگاه داریم:

$$\frac{P_x}{P_y} = \frac{\text{excy}}{\text{excx}} = K$$

مثال (۳): کامپیوتر X، یک برنامه را به دو بخش تقسیم می کند. یک بخش را ترتیبی و بخش دیگر را با دو پردازنده موازی اجرا میکند. ولی کامپیوتر Y با همان قدرت تک پردازنده برنامه را بصورت ترتیبی اجرا میکند. کارایی کامپیوتر X چقدر بیشتر است؟

$$x = \left( 0.5 + \frac{0.5}{2} \right) T = 0.75 T$$

$$T = \text{زمان اجرا در } Y$$

$$\frac{x}{\text{کارایی } Y} = \frac{\text{زمان اجرا در } Y}{\text{زمان اجرا در } X} = \frac{T}{0.75T} = \frac{4}{3}$$

$$\rightarrow x = \frac{4}{3} \text{ کارایی } Y$$

❖ زمان پردازندۀ برای یک برنامه از حاصلضرب تعداد پالس های ساعت(Clock) در زمان هر پالس بدست می آید:

$$\text{زمان هر پالس ساعت} * \text{تعداد پالس های پردازندۀ برای برنامه} = \text{زمان پردازندۀ}$$

مثال (۴): برنامه A روی کامپیوتر X با ۱۲ پالس ساعت با فرکانس ۴ مگاهرتز اجرا می شود، همین برنامه روی کامپیوتر Y با فرکانس ۸ مگاهرتز، به تعداد پالس ساعت بیشتری نیاز دارد. در صورتی که کامپیوتر X از کامپیوتر Y سریعتر باشد، آنگاه حداقل تعداد پالس های ساعت برای اجرای برنامه بر روی کامپیوتر Y را بیابید.

$$f = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{f} \rightarrow T = \frac{1}{4 \times 10^6} = 0.25 \times 10^{-6}$$

$$0.25 \times 12 \times 10^{-6} = 3 \times 10^{-6} = \text{زمان اجرا X}$$

$$\rightarrow \frac{1}{8 \times 10^6} C_Y > 3 \times 10^{-6} \rightarrow C_Y > 24$$

زمان اجرا Y = 25

- ❖ CPI: متوسط تعداد پالس های ساعت برای اجرای یک دستور العمل .
- ❖ MIPS: تعداد دستورات اجرا شده در یک ثانیه بر حسب میلیون .

مثال (۵): در یک برنامه ۲۰٪ دستورات load، ۳۰٪ دستورات jump، ۵٪ دستورات add، ۰٪ دستورات mult هستند، این

برنامه روی یک کامپیوتر که دستور load دو کلاک سایکل، دستور store یک کلاک سایکل، یک کلاک سایکل jump، چهار کلاک سایکل mult دارد. یک کلاک سایکل زمان می برد اجرا شده است. CPI را محاسبه کنید.

$$\begin{aligned} \text{CPI} &= 0.2 \times 2 + 0.2 \times 1 + 0.25 \times 4 + 0.3 \times 1 + 0.05 \times 10 \\ &= 2.4 \end{aligned}$$

0.2 load  
0.25 jmp  
0.3 add  
0.05 mult  
0.2 store

مثال (۶): قطعه برنامه ای متشکل از حلقه ای است که یکصد دستور دارد و این حلقه ۵۰ بار تکرار می شود. اگر فرکانس ساعت کامپیوتر ۱/۲۵ پالس هر دستور باشد آنگاه MIPS برای این کامپیوتر چند است؟

$$T = \frac{1}{1.25 \times 10^{-9}} = 10^9 \rightarrow \text{زمان اجرای یک دستور} = 1.25 \times 10^{-9}$$

$$\frac{1}{I} = \frac{1}{1.25 \times 10^{-9}} = \frac{10^9}{1.25} = 8 \times 10^8$$

$$MIPS = 800$$

❖ زمان پردازندۀ بر حسب تعداد دستورات بصورت زیر بدست می آید:

$$\text{زمان هر پالس ساعت} * \text{CPI} * \text{تعداد دستورالعمل} = \text{زمان پردازندۀ}$$

مثال (۷): دو ماشین مختلف داریم، که فرکانس پالس ساعت آن ها برابر ۲۰۰ مگاهرتز است. جدول زیر

تعداد دستورات و میزان پالس ساعت موردنیاز برای هر دستور را نشان می دهد. مقدار **MIPS**, **CPI** و زمان اجرا را برای هر کدام بدست آورید.

نوع دستور العمل	تعداد دستور العمل به میلیون	تعداد پالس ساعت برای هر دستور
Machine A		
Arithmetic and logic	8	1
Load and store	4	3
Branch	2	4
Others	4	3
Machine B		
Arithmetic and logic	10	1
Load and store	8	2
Branch	2	4
Others	4	3

$$CPI_A = \frac{8 + 12 + 8 + 12}{8 + 4 + 2 + 4} = \frac{40}{18}$$

$$CPI_A = \frac{20}{9}$$

$$CPI_B = \frac{10 + 16 + 8 + 12}{10 + 8 + 2 + 4}$$

$$CPI_B = \frac{46}{24} = \frac{23}{12}$$

$$A_{زرمان احریاد} = 40 \times 0.5 \times 10^{-8} \times 10^6 = 0.25$$

$$T_A = \frac{1}{2 \times 10^{-8}} = 0.5 \times 10^{-8}$$

$$B_{زرمان احریاد} = 46 \times 10^6 \times 0.5 \times 10^{-8} = 23 \times 10^{-2} = 0.23$$

$$\frac{1}{x} \frac{T}{1} \rightarrow x = \frac{1}{T} \rightarrow MIPS = \frac{x}{10^6}$$

$$A_{زرمان احریاد} = \frac{20}{9} \times 0.5 \times 10^{-8} = T \rightarrow MIPS_A = \frac{1}{\frac{20}{9} \times 0.5 \times 10^{-8} \times 10^6}$$

$$\rightarrow MIPS_A = \frac{1}{\frac{10}{9} \times 10^{-2}} = \frac{9}{10} \times 10^2 = 90$$

## ❖ قانون آمدال:

تسریع(Speed up) بعد از بهبود یک برنامه (یا بهبود بخشی از برنامه) بصورت زیر محاسبه می شود:

$$\text{تسريع} = \frac{\text{کارایی قبل از بهبود}}{\text{کارایی بعد از بهبود}} = \frac{\text{زمان اجرا قبل از بهبود}}{\text{زمان اجرا بعد از بهبود}}$$

$$\text{زمان اجرای قسمت بهبودنیافته} + \frac{\text{زمان اجرای قسمت قابل بهبود}}{\text{میزان بهبود}} = \text{زمان اجرا بعد از بهبود}$$

مثال (۸): میخواهیم زمان اجرای یک برنامه یک برنامه را پنج برابر سریعتر کنیم، این امر میسر می شود. زمان اجرای برنامه قبل از بهبود چقدر بوده است؟ میزان تسریع را محاسبه کنید.

$x$  : زمان اجرای قبل از بهبود

$$x - 6.4 = \frac{0.8x}{5} + 0.2x$$

$$\rightarrow 5x - 32 = 0.8x + x \rightarrow 3.2x = 32 \rightarrow x = 10$$

$$\text{سریع} = \frac{\text{زمان اجرای قبل از بهبود}}{\text{زمان اجرای بعد از بهبود}} = \frac{10}{10 - 6.4} = \frac{10}{3.6} = \frac{25}{9} \approx 2.77$$

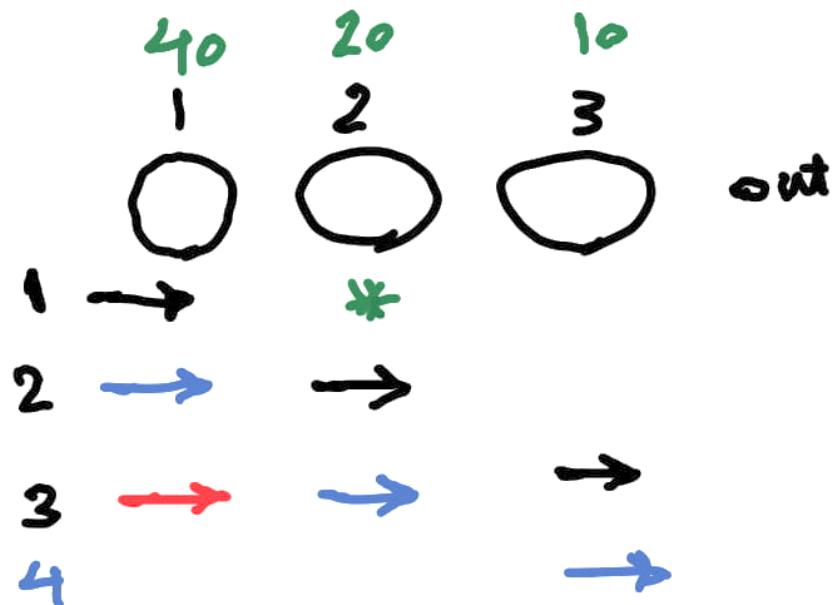
## طبقه بندی Flynn

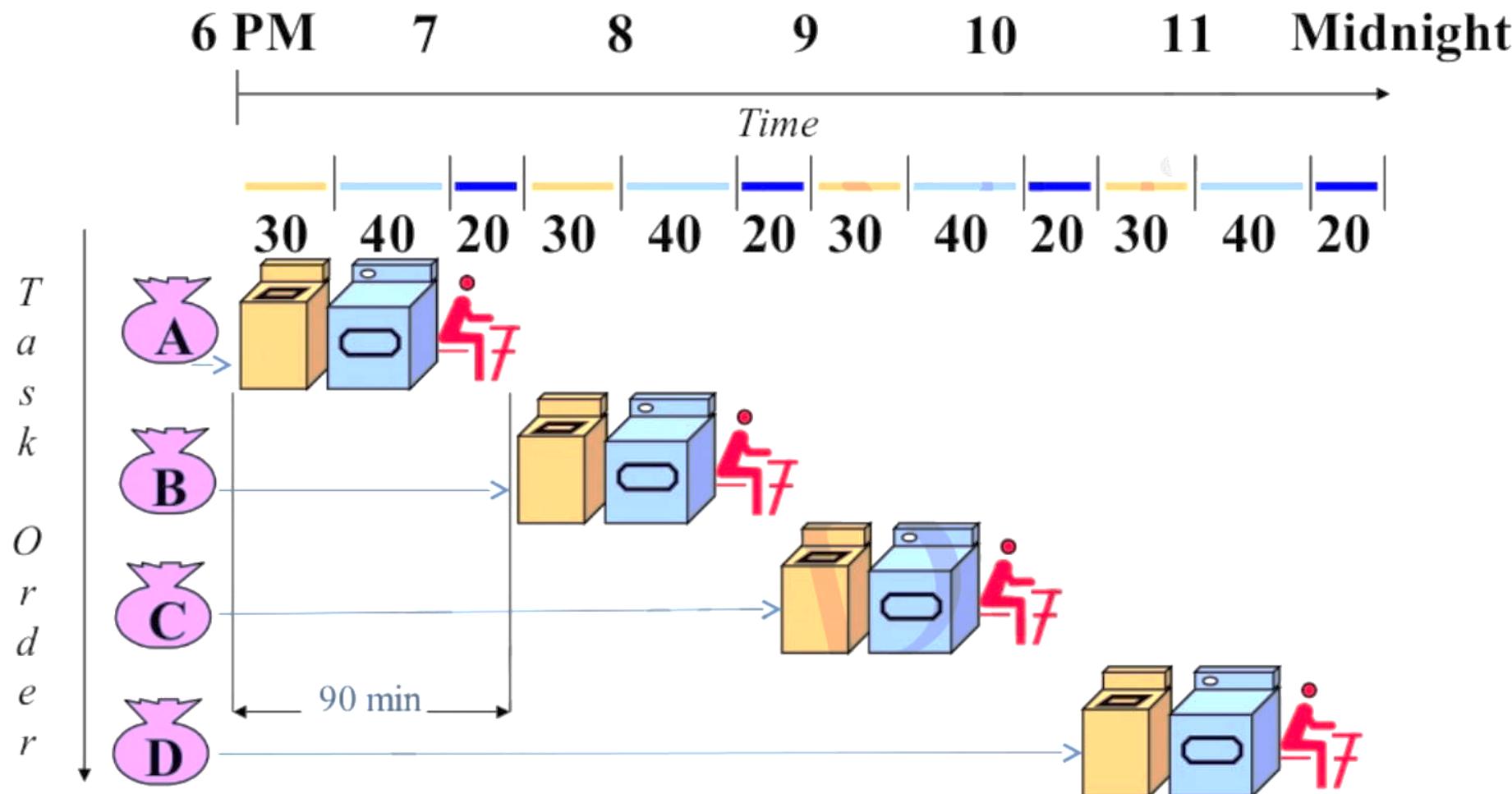
- ❖ کامپیوترهای تک دستوری-تک داده ای (SISD).
- ❖ کامپیوترهای تک دستوری-چند داده ای (SIMD).
- ❖ کامپیوترهای چند دستوری-تک داده ای (MISD).
- ❖ کامپیوترهای چند دستوری-چند داده ای (MIMD).

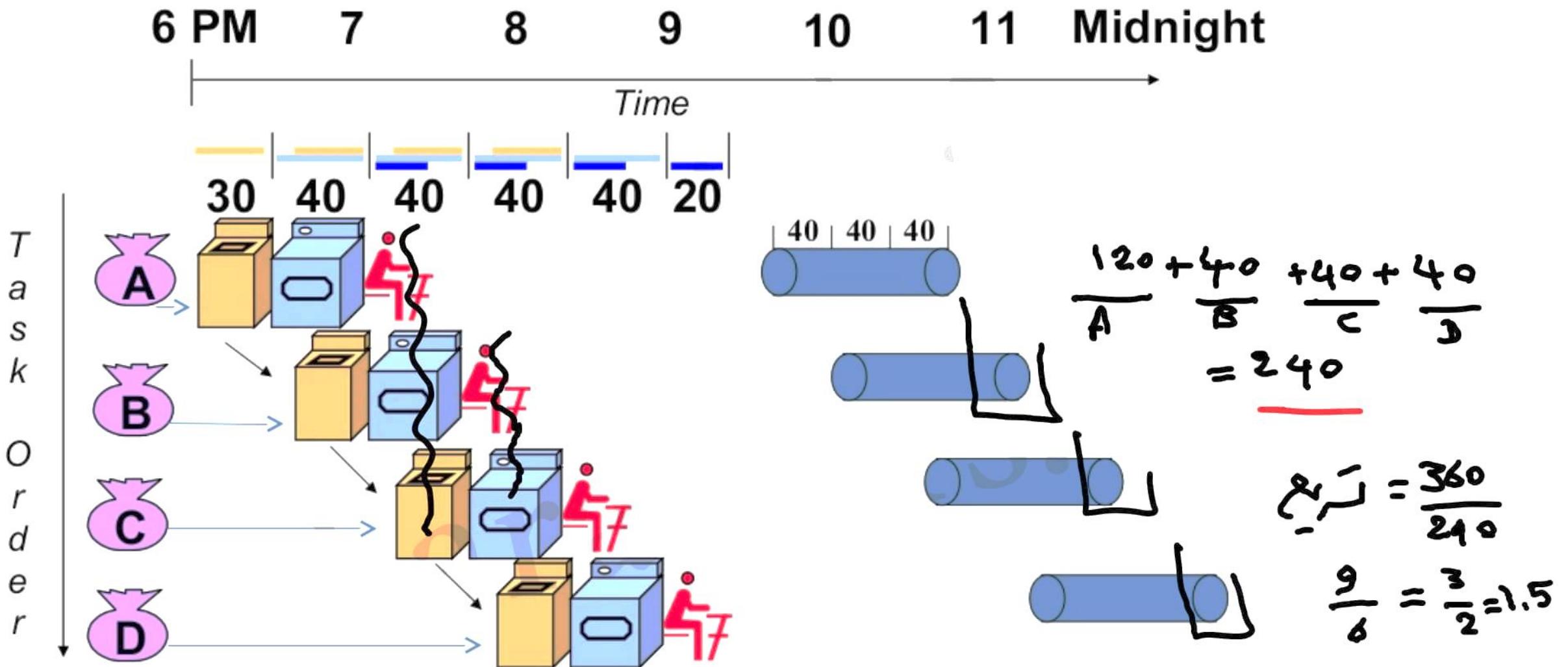
## خط لوله(پایپ لاین)

- ❖ خط لوله(پایپ لاین): تقسیم کردن یک کار ترتیبی به چند واحد عملیاتی می باشد.
- ❖ پایپ لاین را میتوان بصورت قطعات مختلفی تصور کرد که هر قطعه عملکرد خاصی دارد و قطعات مختلف بصورت موازی قسمت مخصوص بخود از کار را انجام می دهند. و خروجی هر بخش میتواند

بعنوان ورودی بخش بعدی باشد.







مثال (۹): اجرای پایپ لاین و غیرپایپ لاین ۳ دستورالعمل در پنج مرحله

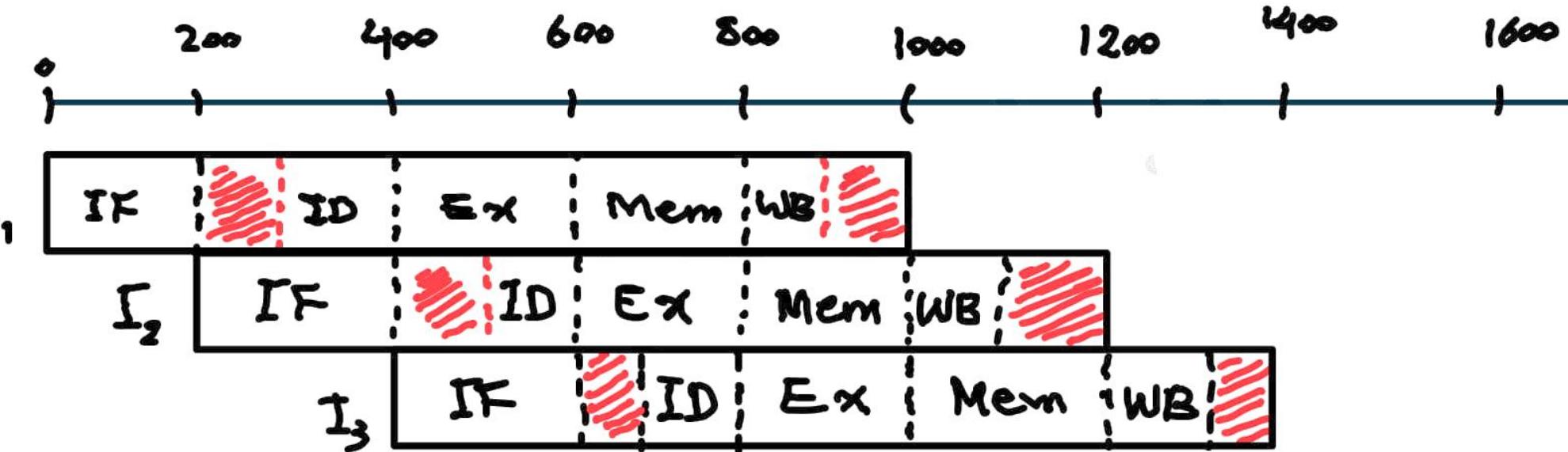
IF	ID	Ex	Mem	WB
200ps	100ps	200ps	200ps	100ps



IF | ID | Ex | Mem | WB

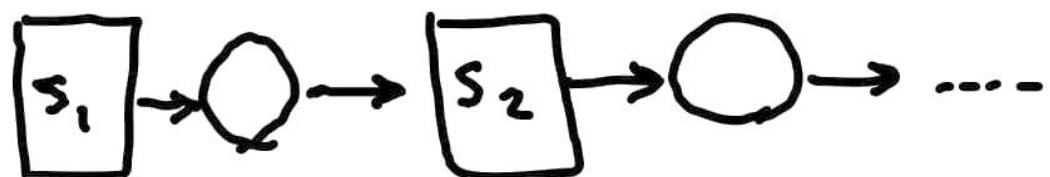
IF | ID | Ex | Mem | WB

IF | ID | Ex | Mem | WB



$$\text{میزان} = \frac{\text{زمان بذوق تک لول}}{\text{زمان فتح لول}} = \frac{2400}{1400} \approx 2$$

- ❖ دستورالعمل خارج شده از قطعه  $k-1$  بعنوان ورودی پردازش قطعه  $k$  استفاده می شود.
- ❖ همه قطعات موجود در خط لوله دارای یک زمان هستند، که به آن سیکل پردازشی می گویند
- ❖ طول سیکل پردازش با توجه به کندترین قطعه مشخص می شود. در واقع ماکزیمم زمان پردازشی قطعات می باشد.
- ❖ بعضی مواقع از یک ثبات برای نگهداری نتایج میانی بین قطعات استفاده می شود. که تاخیر ان در زمان خط لوله تاثیر منفی دارد.



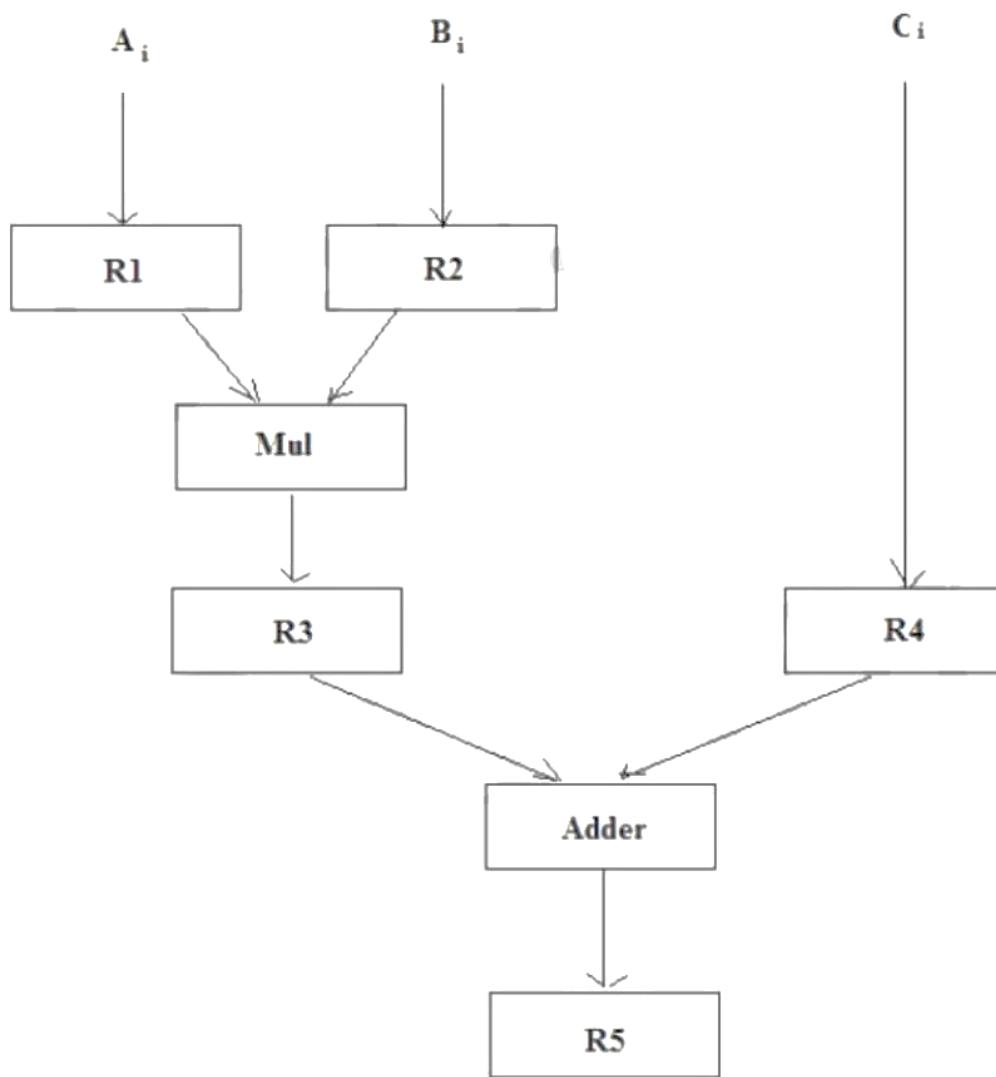
❖ در پایپ لاین با  $k$  قطعه، اولین دستور بعد از  $k$  سیکل از خط لوله خارج می شود. بعد از خروج اولین دستور، دستورات بعدی در هر سیکل از خط لوله خارج می شوند لذا برای  $n$  کار اگر زمان سیکل پردازش هر قطعه،  $T_m$  و تاخیر هر ثبات میانی  $T_l$  باشد. اولین دستور  $(T_l + k(T_m + T_l))$  و دستور بعدی هر کدام  $T_m + T_l$  زمان اجرا داریم. لذا زمان خط لوله برابر است با:

$$k(T_m + T_l) + (n-1)(T_m + T_l) = (T_m + T_l)(k+n-1)$$

$$R1 \leftarrow A_i, \quad R2 \leftarrow B_i$$

$$R3 \leftarrow R1 * R2 \quad R4 \leftarrow C_i$$

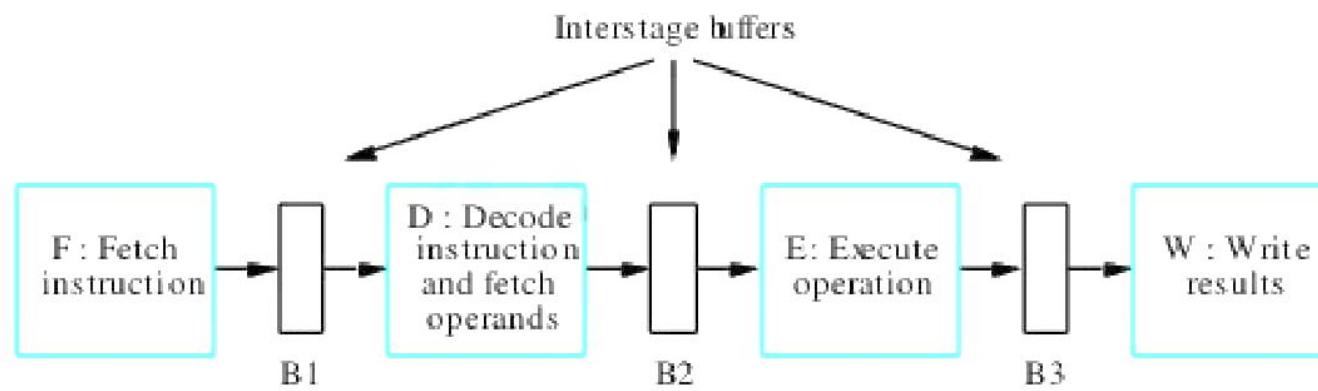
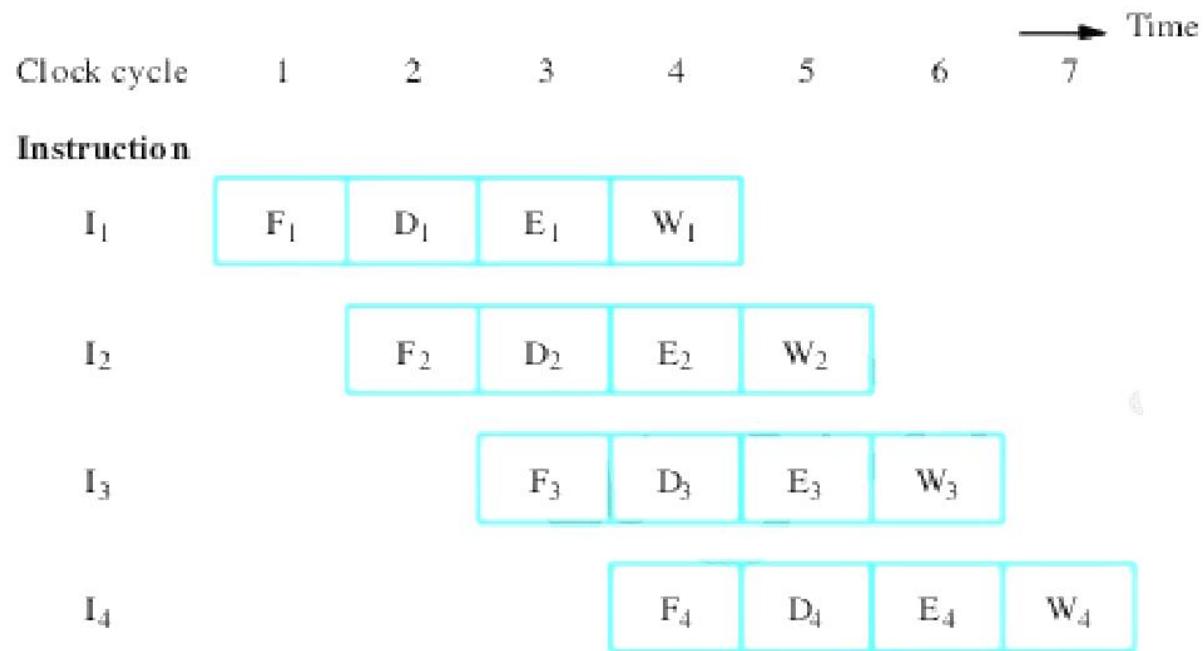
$$R5 \leftarrow R3 + R4$$

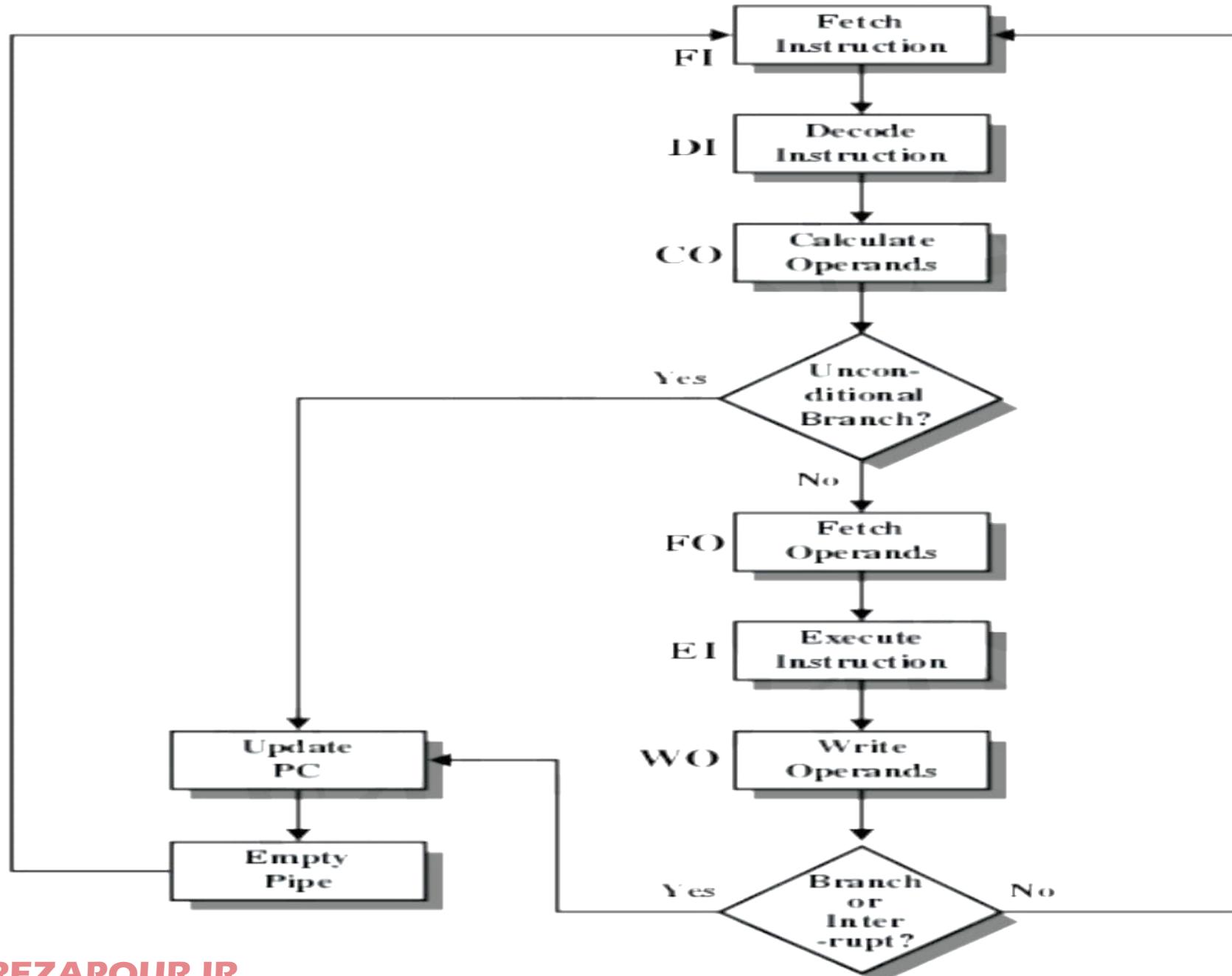


Clock Pulse Number	Segment 1		Segment 2		Segment 3	
	R1	R2	R3	R4	R5	
1	$A_1$	$B_1$	—	—	—	
2	$A_2$	$B_2$	$A_1 * B_1$	$C_1$	—	
3	$A_3$	$B_3$	$A_2 * B_2$	$C_2$	$A_1 * B_1 + C_1$	
4	$A_4$	$B_4$	$A_3 * B_3$	$C_3$	$A_2 * B_2 + C_2$	
5	$A_5$	$B_5$	$A_4 * B_4$	$C_4$	$A_3 * B_3 + C_3$	
6	$A_6$	$B_6$	$A_5 * B_5$	$C_5$	$A_4 * B_4 + C_4$	
7	$A_7$	$B_7$	$A_6 * B_6$	$C_6$	$A_5 * B_5 + C_5$	
8	—	—	$A_7 * B_7$	$C_7$	$A_6 * B_6 + C_6$	
9	—	—	—	—	$A_7 * B_7 + C_7$	

$$(K+n-1)$$

$$3+7-1 = 9$$





مثال (۱۰): ۱۰۰ دستور در یک پایپ لاین با ۴ طبقه با پردازشگر سیکل زمانی ۶، ۳، ۶ و ۹ اجرا می شوند  
در صورتیکه میزان تاخیر ثبات های مورد استفاده در بین قطعات ۱ واحد باشد. میزان تسریع در این خط  
لوله چند است؟

$$\begin{array}{l} T_m = 9 \\ T_L = 1 \end{array} \rightarrow \quad \text{سیکل زمان} = T_m + T_L = 10$$

$$= 100 \times (6+3+7+9) = 2500$$

$$= (K+n-i)T = (4+99)10$$

$$\text{تسريع} = \frac{\text{زمان بدون حظوظ}}{\text{زمان با حظوظ}} = \frac{2500}{103 \times 10} = \frac{250}{103}$$

مثال (۱۱): پردازنده‌ای با ساختار خط لوله دارای چهار مرحله زیر است:  
 $IF \rightarrow ID \rightarrow EX \rightarrow WB$ . فرض کنید با هر واکشی می‌توان سه دستور وارد پردازنده کرد ولی بدلیل نبود واحدهای موازی کافی، در مرحله EX فقط دو دستور از سه دستور واکشی شده و دیگر شده، همزمان قابل اجراست. حال اجرای ۳۳ دستور در این پردازنده چند پالس ساعت طول می‌کشد؟

F	D	E	W	
F	D	E	W	
F	D	E	W	
<b>1</b>	F	D	E	W
	F	D	E	W
	F	D	E	W
<b>2</b>	F	D	E	W
	F	D	E	W
	F	D	E	W
<b>3</b>	F	D	E	W
	F	D	E	W
	F	D	E	W
<b>4</b>	F	D	E	W
	F	D	E	W
	F	D	E	W
<b>5</b>	F	D	E	W
	F	D	E	W
	F	D	E	W

Handwritten annotations:

- Row 1: Red '5' at the end of column D, with a blue '1' arrow pointing down to the next row.
- Row 2: Red '6' at the end of column E, with a blue '2' arrow pointing down to the next row.
- Row 3: Red '8' at the end of column E, with a blue '1' arrow pointing down to the next row.
- Row 4: Red '9' at the end of column E, with a blue '2' arrow pointing down to the next row.
- Row 5: Red '11' at the end of column E, with a blue '1' arrow pointing down to the next row.
- Row 6: Red '12' at the end of column E.

$$\frac{5}{3} + \frac{\text{زمان}}{30} = 5 + 15 = 20$$

باز کردن

$$\frac{30}{3} = 10$$

$$\begin{aligned} \text{زمان} &= (1+2+1+2+1+2+1+2) \\ &= 5 + 10 = 15 \end{aligned}$$

مثال (۱۲): در یک پردازنده خط لوله به شکل جدول زیر است. فرض می کنیم که همه دستورات باقیستی از تمامی واحدهای خط لوله عبور کنند و خط لوله به حالت پایدار رسیده است. در این حالت با کاهش و افزایش ۵۰ درصدی زمان موردنیاز برای ALU میزان تسریع را محاسبه کنید.

IF	R-read	Alu	Data access	R-Write	Total
200ps	100ps	200ps	200ps	100ps	800ps

$$\begin{aligned}
 \text{کاهش ۵۰٪ زمان} &= 100ps \xrightarrow{\text{خط لوله}} (K + (n-1))T = (5 + n - 1) \times 200 \\
 &= 800 + 200n \\
 \text{افزایش ۵۰٪ زمان} &= 300ps \xrightarrow{\text{خط لوله}} (5 + n - 1)300 = 1200 + 300n
 \end{aligned}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{کامن} \\ \text{٪} \end{array} \right\} \quad \frac{\text{سیدعی}}{\text{زمان اجرای بدن خط‌لوله}} = \frac{700n}{800 + 200n}$$

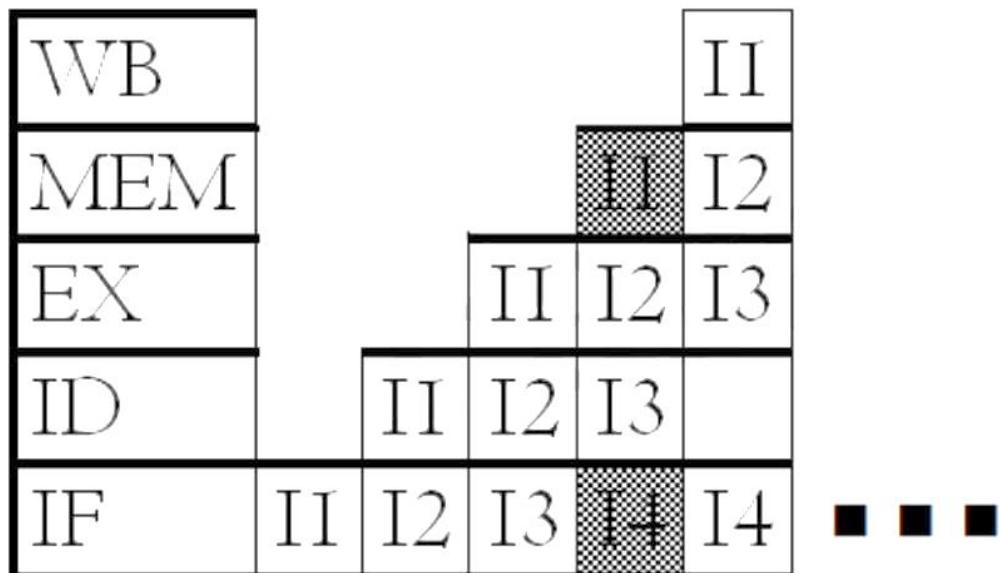
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{کامن} \\ \text{٪} \end{array} \right\} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{700n}{800 + 200n} = \frac{700n}{200n} = \frac{7}{2} = 3.5$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{افزون} \\ \text{٪} \end{array} \right\} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{900n}{1200 + 300n} = \frac{900n}{300n} = 3$$

## مخاطرات (Hazard) در خط لوله

۱- مخاطرات ساختاری: اگر قطعات مختلف پایپ لاین همزمان به یک ابزار مشترک مانند پردازنده-حافظه و.. نیاز داشته باشندو ابزار مشترک هم فقط توسط یک قطعه استفاده باشد آنگاه مخاطره ساختاری داریم.

اگر در سیستم یک حافظه برای خواندن و نوشتمن وجود داشته باشد انگاه در پایپ لاین زیر مخاطره ساختاری داریم:



## مخاطرات (Hazard) در خط لوله...

۲- مخاطرات داده ای: مخاطره داده ای از وابستگی یک دستور به نتیجه دستور العمل جلوتر از خود در پایپ لاین ناشی می شود.

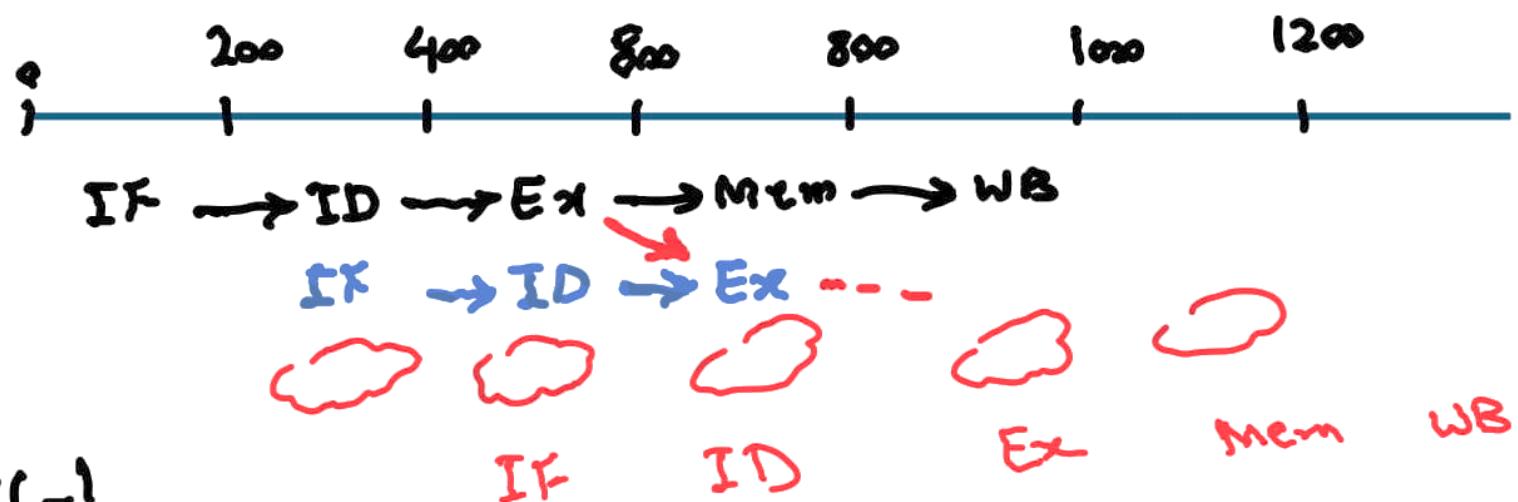
Add \$S\_0, \$t\_0, \$t<sub>1</sub>

Sub \$t<sub>2</sub>, \$S<sub>0</sub>, \$t<sub>3</sub>

۱- ابیاد حینه کر سنت اقتداری

۲- ایجاد غلوبه

۳- استفاده از کامپایلر



## مخاطرات (Hazard) در خط لوله...

۲- مخاطرات کنترلی: این نوع مخاطره از تصمیم‌گیری بر اساس اجرای یک دستور در حالیکه دستورالعمل های دیگر در حال اجرا هستند اتفاق می‌افتد. دستور انشعاب میتواند باعث مخاطره کنترلی شود.

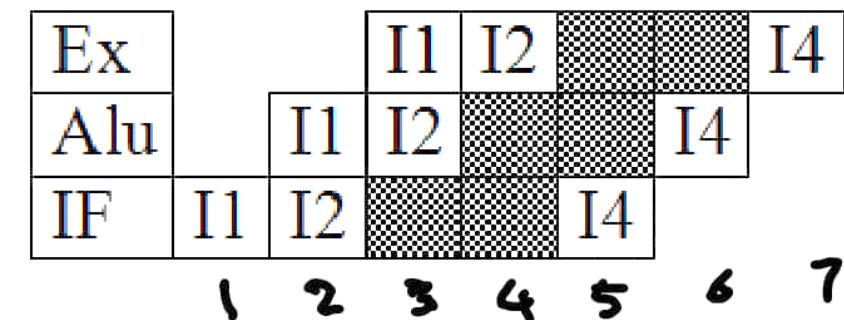
- ❖ در دستور انشعاب براساس نتیجه (بعد از چند سیکل ساعت) ما به آدرس خاصی انشعاب می‌کنیم. لذا پایپ لاین تا زمان مشخص شدن نتیجه بیکار می‌ماند.
- ❖ یک راه حل برای حل این نوع مخاطرات، قرار دادن دستورات NOP، در پایپ لاین می‌باشد تا اینکه نتیجه انشعاب مشخص شود.

I1:107 add R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>

I2:108 branch #10A

I3:109 sub R<sub>2</sub>,R<sub>4</sub>,R<sub>5</sub>

I4:10A store R<sub>6</sub>



مثال (۱۳): ۲۵۰ دستور العمل در یک پایپ لاین با طبقات (fetch,Decode,Exe,WB) اجرا

می شوند. در صورتی که حافظه داده و دستورات مشترک باشد و وابستگی بین دستورات وجود

نداشته باشد زمان اجرای دستورات چقدر است؟

	1	2	3	4	5	6
I <sub>1</sub> :	F	D	E	W		
I <sub>2</sub> :		F	D	E	W	
I <sub>3</sub> :			F	D	E	W

والستی دکمه هم با نوشتن دسکوڈ اول  
محض مان است مر این مدلول شرکر  
بودن حافظه دسکوید و را ده امکان  
پذیر نیست.

اچرایی هر سه دسکور به ۶ پالس ساعت نیاز دارد پس زمان احیرایی ۶۴۹ دسکور بیانگر است با:

$$\frac{۶۴۹}{\frac{۳}{۴}} \times 4 = ۸۹۸ \text{ پالس ساعت}$$

د دسکور حیست د پیچیده ۴ پالس ساعت نیاز دارد حدا:

$$498 + 4 = 502$$

مثال (۱۴): یک خط لوله دستورالعمل بنام A شامل سه بخش است: واکشی (F)، اجرا (E) و ذخیره نتیجه (S) برای پیاده سازی این خط لوله از حافظه داده و برنامه یکسان استفاده شده است.

الف) چهار دستور بدون وابستگی داده ای روی خط لوله A اجرا می شوند و همگی به حافظه مراجعه می کنند، با رسم دیاگرام زمانی اجرای این چهار دستور در خط لوله A مشخص نمایید چه مشکلی پیش می آید؟

ب) خط لوله B با همین سه بخش و حافظه داده و برنامه جدا از هم مفروض است. برنامه ای با ۱۰۰ دستور که همگی به حافظه مراجعه می کنند و وابستگی داده ای ندارند با اجرای این برنامه روی هر دو خط لوله کدامیک سریعتر است؟

(الف)

S		I1	I2			I3	I4	
EX		I1	I2			I3	I4	
IF	I1	I2			I3	I4		
	1	2	3	4	5	6	7	8

I<sub>3</sub> (نَاهِنْ حَافَّةَ دُكَرْ  
وَدَادَه)

وَدَادَه

$$(ب) P_A : \frac{100}{2} \times 4 = 200 \text{ پالس}$$

$$P_B : (3 + 100 - 1) = 102 \text{ پالس}$$

در خط لوله A بیانای هر چهار پالس  
دو دکور اجرامی شونده پس برای آدنست  
(زوج)  $\sim 2n$  پالس نیاز داریم.

خط لوله B ، تقریباً دو برابر  
خط لوله A سرعت است

مثال (۱۵): یک سیستم پایپ لاین سه طبقه ای را به چهار طبقه ای تبدیل می کنیم، پریود ساعت از  $T$  به  $0.9T$  کاهش می یابد. فرض کنید ۳۰٪ دستورات پرش هستند. و آخرین دستور در برنامه پرش نیست. اگر میزان پالس ساعت در برابر تعداد دستورات خیلی ناچیز باشد، تسریع را محاسبه کنید؟

**حل:** هر گاه که دستور پرس وارد خط لوله می شود جمیع دستورات بعد از آن اجرا زده و در برابر خط لوله ندارد. پس در میان خط لوله با  $K$  قاعده،  $1 - K$  پالس ساعت دستوری که وارد نگوایده شده . ( $0.3n$  لز دستورات پرش هستند)

خط لوله ۳ و ۴ نسبتی :  $(3+n-1)T + 0.3n(3-1)T = 2T + nT + 0.6nT$   
 $= 2T + 1.6nT$

خط لوله ۴ و ۵ نسبتی :  $(4+n-1)0.9T + 0.3n(4-1)0.9T$

$$= 2.7T + 0.9nT + 0.81nT = 2.7T + 1.71nT$$

$$\frac{\text{زمان خط لوله ۴ و ۵ نسبتی}}{\text{زمان خط لوله ۳ و ۴ نسبتی}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2.7T + 1.71nT}{2T + 1.6nT} = \frac{1.71}{1.6}$$

$$(3 \leftarrow 4) \text{ سریع} = 1.06$$

$$(4 \leftarrow 3) \text{ سریع} = 0.93$$

## پردازش برداری

یکسری از مسایل محاسباتی وجود دارند، که اگر بصورت سریال حل شوند زمان بسیار زیادی با کامپیووترهای معمولی نیاز دارند. لذا میتوان انها را با کامپیووترهای موازی حل کرد. با تبدیل این مسایل در قالب برداری و استفاده از خط لوله میتوان سرعت اجرا را بالا برد.

$$A(1:10^7)$$

$$B(1:10^7)$$

$$C(1:10^7)$$

معانی‌سنجها  
هر دفعه کردن مانسنهای (1)  
جمع یا تفریق مانسنهای (2)  
هزار مالیزه کردن نتیجه (3)  
هزار مالیزه کردن نتیجه (4)

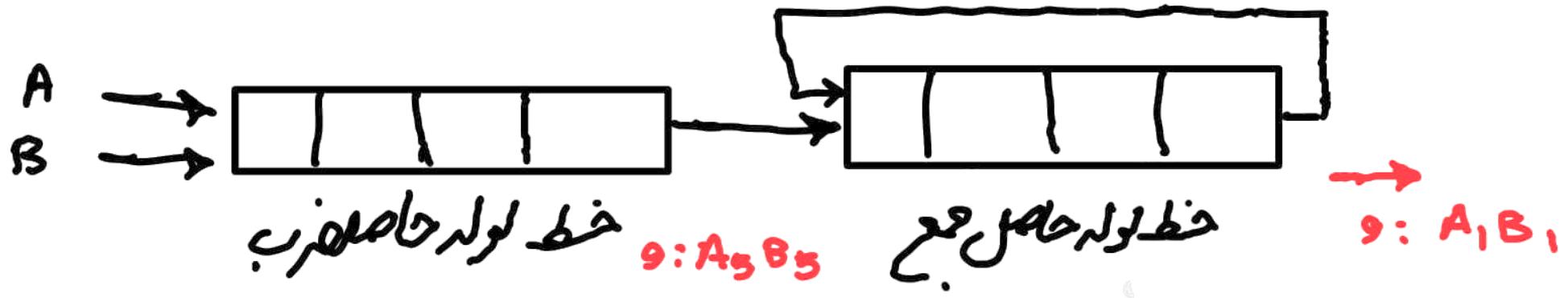
$$\frac{4 + 10^7}{4 \times 10^7} = 1)T = \text{مطابق}$$

## (ضرب ماتریسی)

$$\begin{pmatrix} \underline{a_{11}} & \underline{a_{12}} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{pmatrix}$$

$$c_{11} = \overset{\textcircled{o}}{a_{11}} b_{11} + b_{12} b_{21} + a_{13} b_{31}$$

$$C = A_1 B_1 + A_2 B_2 + \dots + A_K B_K$$



$$\begin{aligned}
 C &= A_1 B_1 + A_5 B_5 + A_9 B_9 + \dots \\
 &\quad + A_2 B_2 + A_6 B_6 + A_{10} B_{10} + \dots \\
 &\quad + A_3 B_3 + A_7 B_7 + A_{11} B_{11} + \dots \\
 &\quad + A_4 B_4 + A_8 B_8 + A_{12} B_{12} + \dots
 \end{aligned}$$