# معماری کامپیوتر (۱۳۹۱-۱۱-۱۳)

## جلسه‌ی شانزدهم


دانشگاه شهید بهشتی

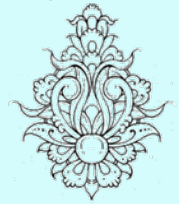
دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر


بهار ۱۳۹۱


احمد محمودی ازناوه

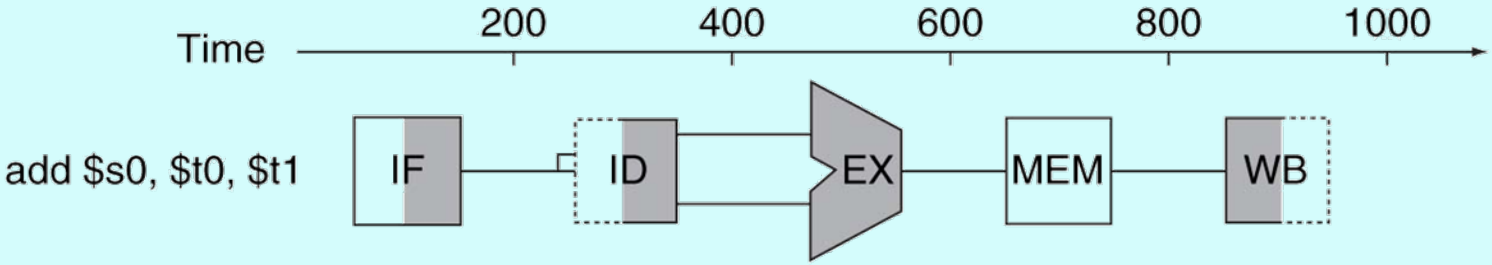
# فهرست مطالب

- مروری بر جلسه‌ی پیش
  - مخاطرات خط لوله
  - تعلیق و حباب
- مخاطرات کنترلی
- مسیر گذار داده



# مخاطره / مانع

- گاهی اوقات در مسیر خط لوله شرایطی پیش می‌آید که دستورالعمل بعدی را نمی‌توان در سیکل ساعت بعدی اجرا کرد. به چنین رخدادهایی اصطلاحاً «خطرات ناخواسته» یا به عبارت بهتر «مخاطرات و موانع سدّ راه در خط لوله» گفته می‌شود و با سه نوع مختلف از آن مواجه خواهیم بود.




این شکل مراحل مختلف یک خط لوله، برای دستور add را نشان می‌دهد، شکل‌هایی که سایه نخورده‌اند، در این دستور مورد استفاده قرار نمی‌گیرند، بخش‌های که در سمت راست (چپ) سایه خورده‌اند، بیانگر خواندن (نوشتن) داده از (در) حافظه می‌باشد

# مخاطرات خط لوله!!

Structural Hazard

– مخاطرات ساختاری

- یکی از منابع مورد نیاز مشغول است

– مخاطرات داده‌ای

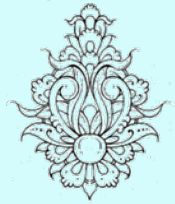
- به داده‌ای نیاز است که توسط دستور قبلی آماده نشده است

Data Hazard

– مخاطرات کنترلی

- چنان‌چه دستورات کنترلی بخواهند بر اساس اجرای دستور قبلی تصمیم‌گیری کنند.

Control Hazard



# مخاطرات ساختاری

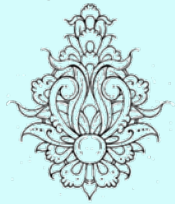
- اولین مانع در خط لوله به مخاطرات ساختاری شهرت دارد و بدین معناست که سخت‌افزار فی‌نفسه قادر به پشتیبانی ترکیبی خاص از دستورالعمل‌هایی که می‌خواهیم در یک سیکل واحد آنها را اجرا کنیم نیست.
- تعارض در هنگام استفاده از منابع مشترک
  - در MIPS با یک حافظه برای دستورالعمل‌ها و داده‌ها
    - دستورات خواندن و نوشتن به حافظه احتیاج دارند

stall

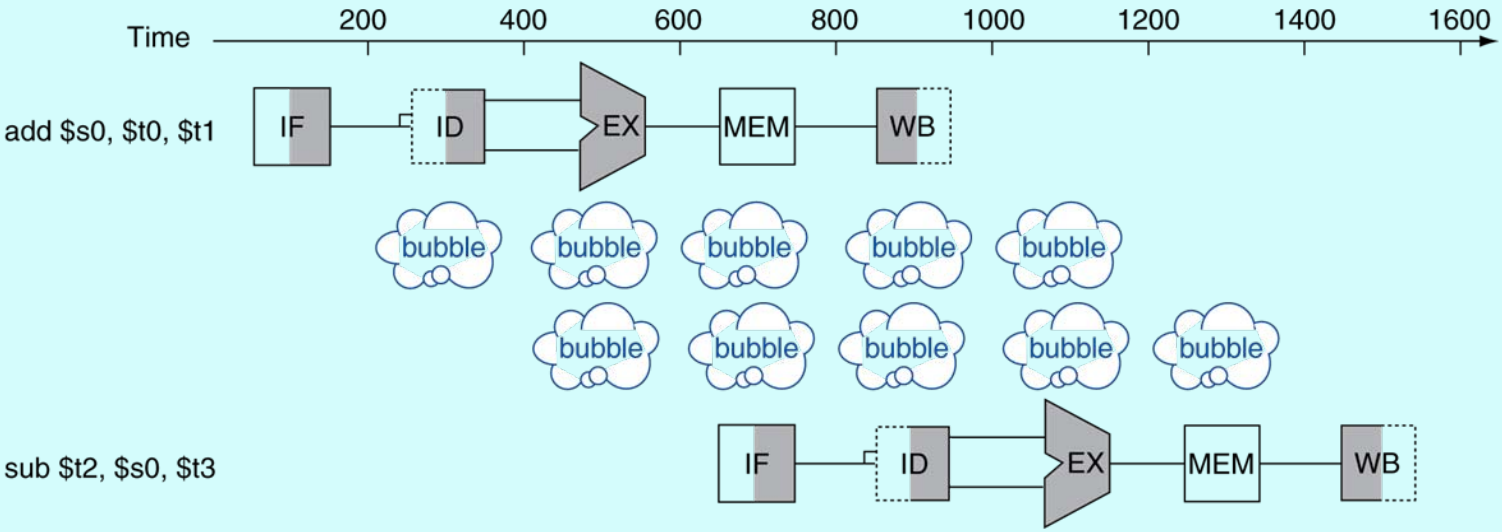
- در این صورت برای واکشی دستورات بعدی، تعلیق می‌شود.
  - در چنین حالاتی به جای دستورات بعدی حباب وارد خط لوله می‌شود.

Bubble

- خط لوله‌ی داده‌گذر (datapath) به دو حافظه‌ی داده و دستور نیاز دارد



# تعلیق

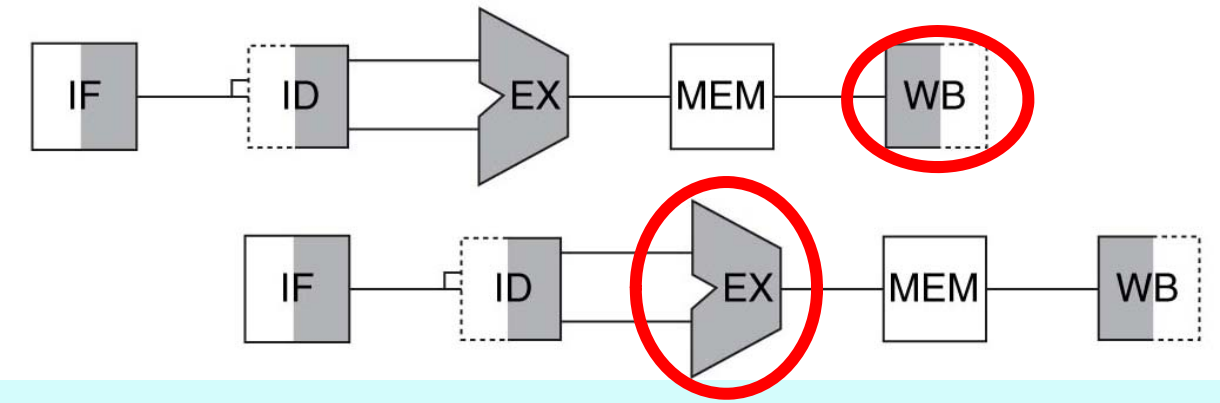



- این شکل یکی از مفاهیم بسیار با اهمیت در ایجاد خط لوله را به تصویر کشیده است که اگرچه عنوان رسمی «تعلیق خط لوله» دارد ولیکن اغلب اوقات از این پدیده با نام ساده‌تر «حباب» یاد می‌شود. در ادامه‌ی بحث به موانع منجر به «تعلیق» در بخش‌های دیگری از خط لوله خواهیم پرداخت.

# مخاطرات داده‌ای

- مخاطرات و موانع ناشی از داده موقعی رخ خواهد داد که خط لوله باید در انتظار تکمیل یکی از مراحل قبلی از حرکت باز داشته شود.

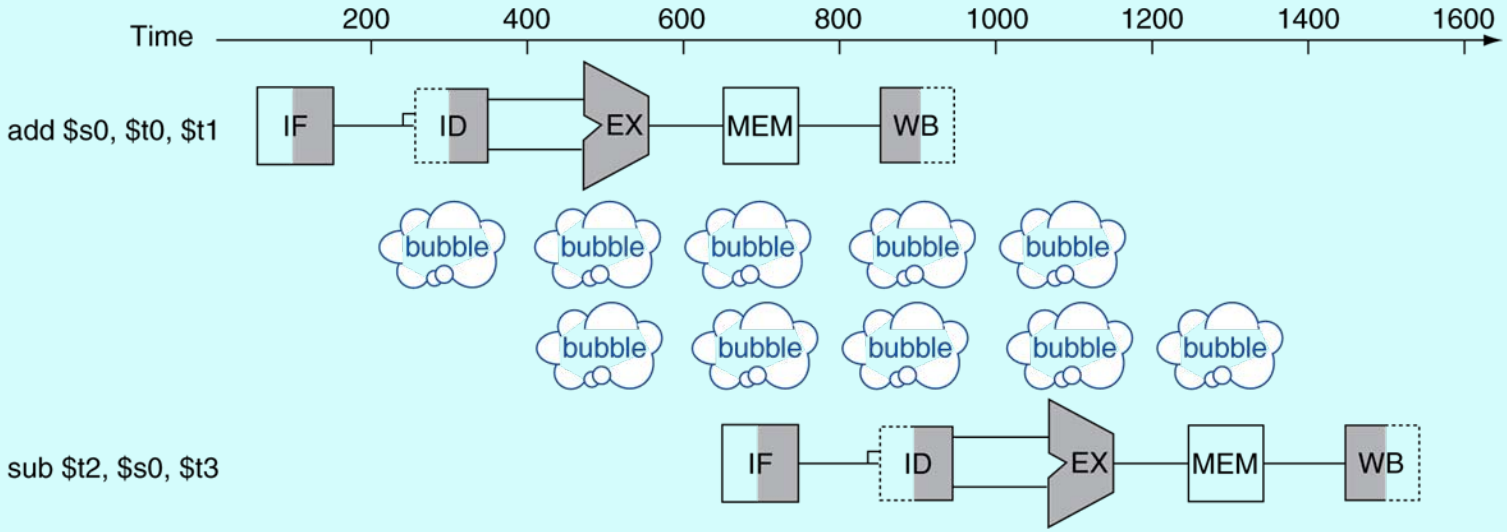
```
add $s0, $t0, $t1
sub $t2, $s0, $t3
```



# مخاطرات داده‌ای

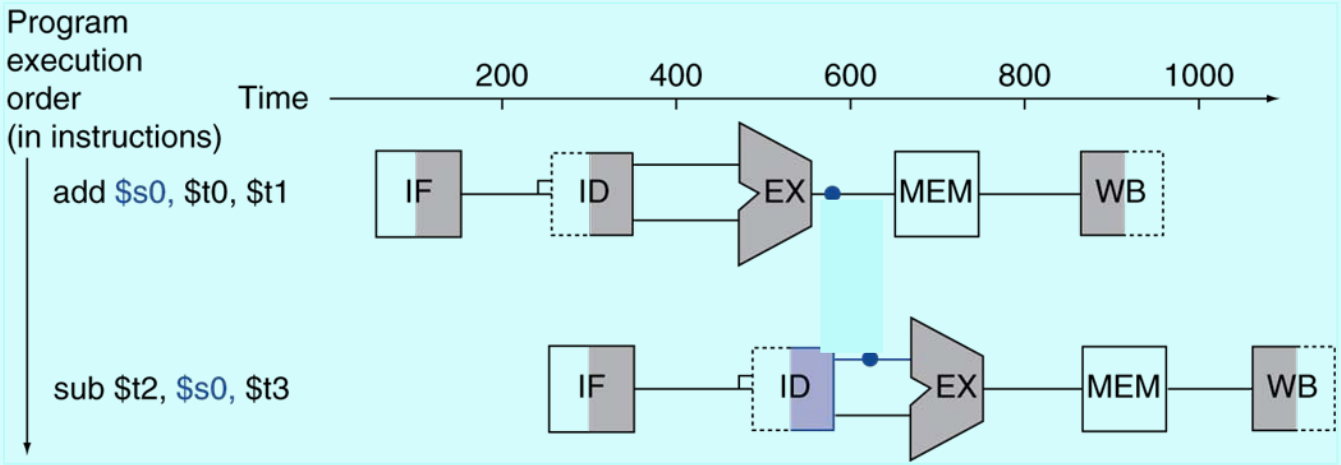
- یک دستورالعمل به داده‌ای نیاز دارد، که در دستور قبلی مشغول آماده کردن آن است

```
add $s0, $t0, $t1
sub $t2, $s0, $t3
```



# شگرد پیش فرستادن (هدایت رو به جلو)

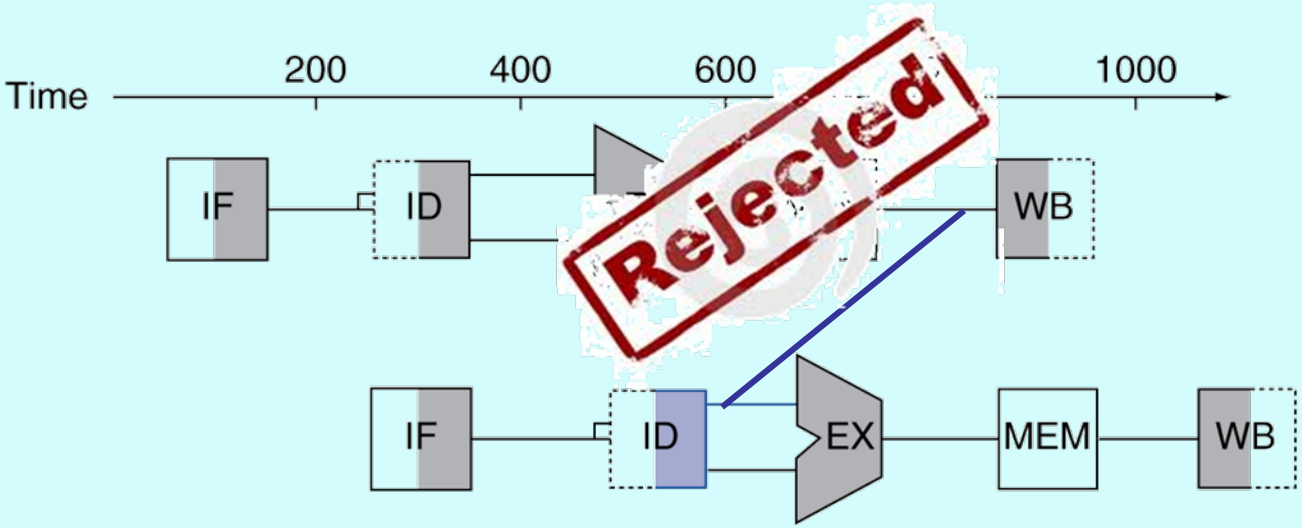
- در حالاتی که مخاطره‌ی داده رخ می‌دهد، پس از انجام دستورالعمل و آماده شدن داده، نتیجه به دست آمده پیش از ذخیره در ثبات، در دستور بعدی استفاده می‌شود.
- چنین حالتی، نیاز به اتصالات بیشتری در داده‌گذر (datapath) دارد.



# استفاده از داده‌ی در حال بارگذاری

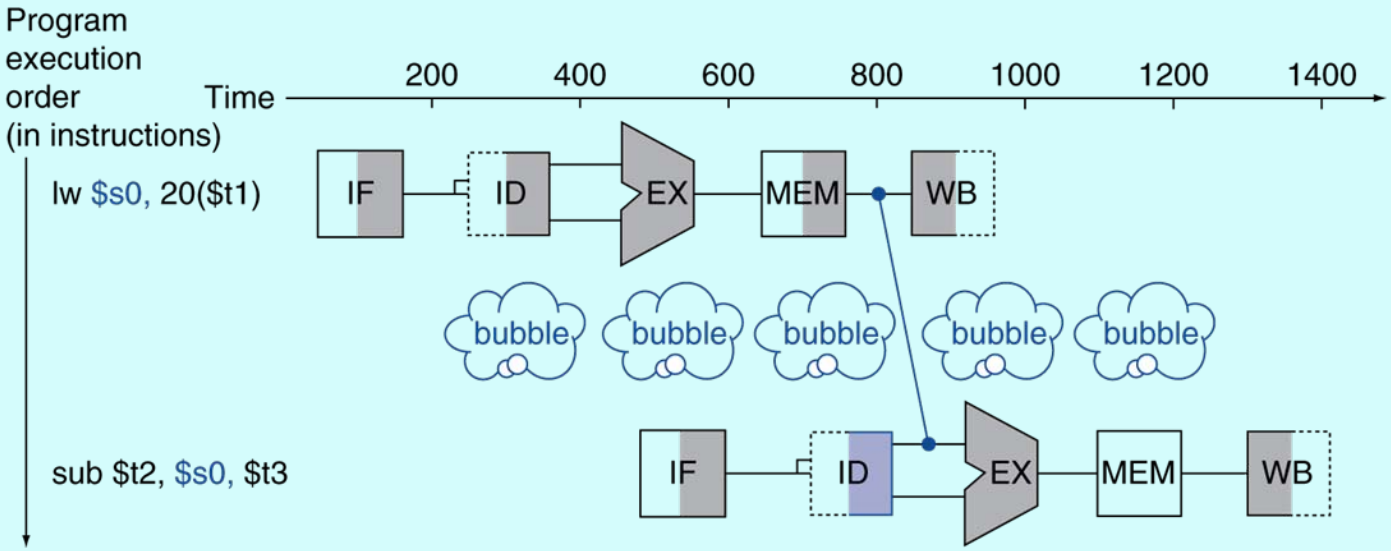
- نوع خاصی از مخاطره‌ی داده‌ای است که در آن داده‌ای در خواندن از حافظه است، هنوز برای استفاده در دستور بعدی آماده نیست.

```
lw  $s0, 20($t1)
sub $t2, $s0, $t3
```



# استفاده از داده‌ی در حال بارگذاری (ادامه...)

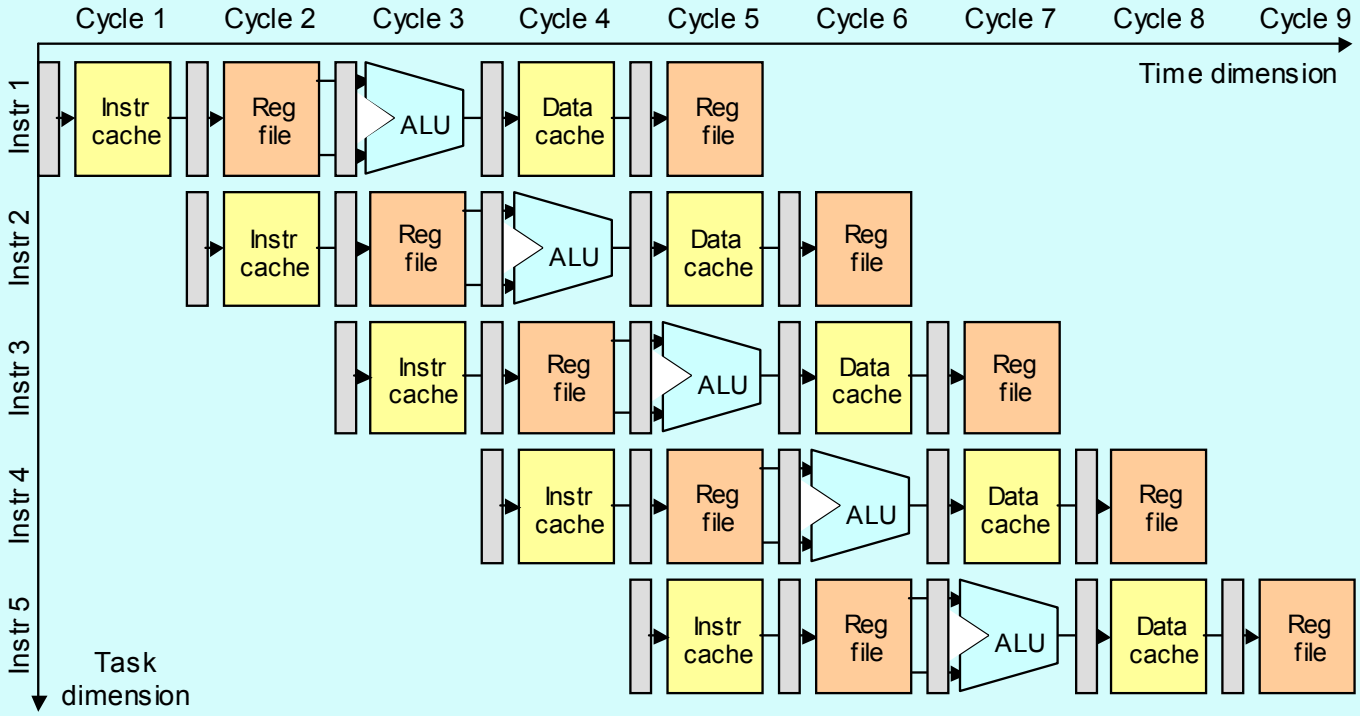
- با پیش‌فرستادن نمی‌توان از وقوع تعلیق اجتناب کرد.
- نمی‌توان در زمان سفر کرد !!



# استفاده از داده‌ی در حال بارگذاری (ادامه...)

- در صورت عدم استفاده از پیش‌فرستادن چند حباب وارد خط لوله می‌شود؟

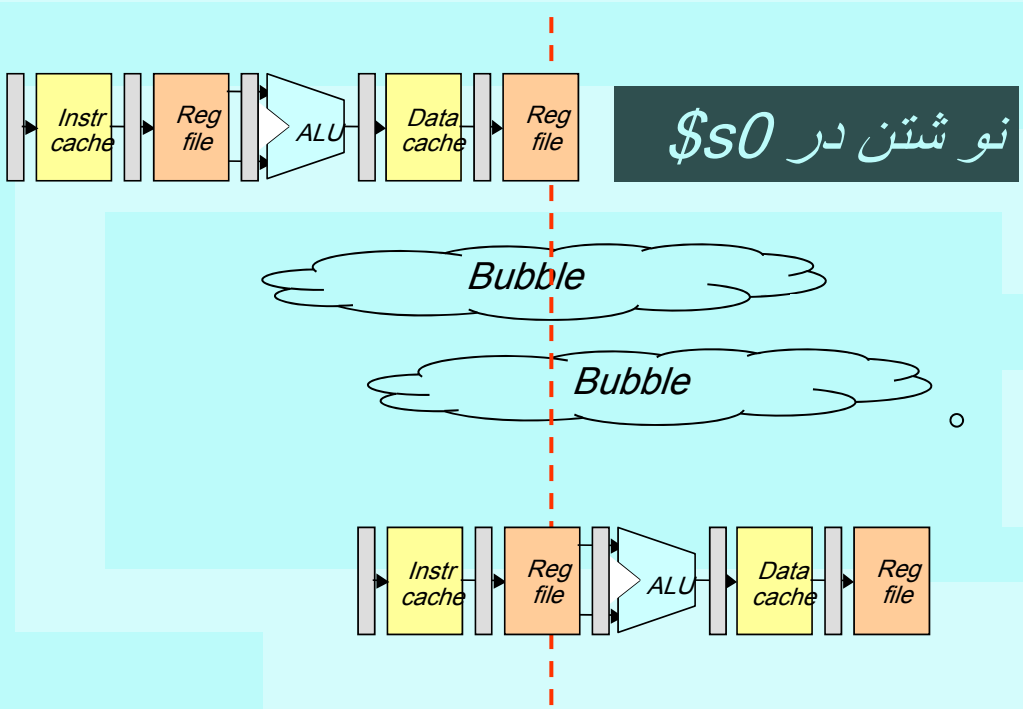
```
lw    $s0, 20($t1)
sub   $t2, $s0, $t3
```



# استفاده از داده‌ی در حال بارگذاری (ادامه...)

- در صورت عدم استفاده از پیش‌فرستادن چند حباب وارد خط لوله می‌شود؟

```
lw    $s0, 20($t1)
sub   $t2, $s0, $t3
```



# تغییر ترتیب برنامه

- با جابجا کردن کد می‌توان طول اجرای برنامه را کاهش داد.(از پیش‌فرستادن استفاده می‌شود.)

```
A = B + E;
C = B + F;
```

```
lw   $t1, 0($t0)
lw   $t2, 4($t0)
add  $t3, $t1, $t2
sw   $t3, 12($t0)
lw   $t4, 8($t0)
add  $t5, $t1, $t4
sw   $t5, 16($t0)
```

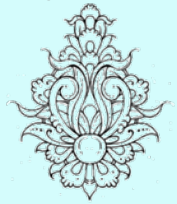
stall

stall

13 cycles

```
lw   $t1, 0($t0)
lw   $t2, 4($t0)
lw   $t4, 8($t0)
add  $t3, $t1, $t2
sw   $t3, 12($t0)
add  $t5, $t1, $t4
sw   $t5, 16($t0)
```

11 cycles



# Control Hazard or Branch Hazard

## مخاطره‌ی کنترلی

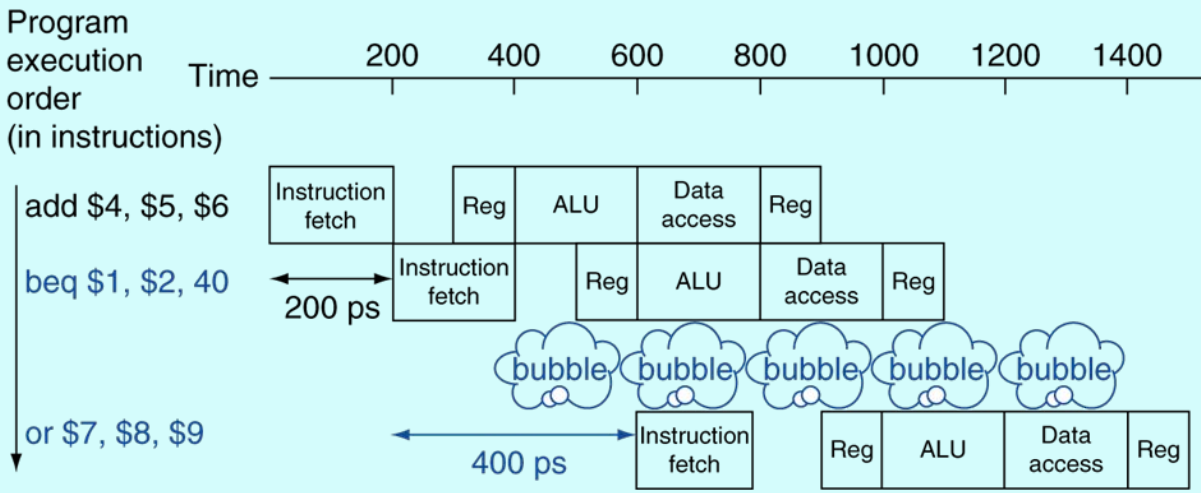
- در مواقعی که یک دستور پرش شرطی وجود دارد، ادامه‌ی دستورهایی که باید توسط پردازنده اجرا شوند وابسته به تصمیمی است که در این دستور گرفته می‌شود.

Stall on Branch

چه راه حلی پیشنهاد می‌دهید؟

- تعلیق؟؟

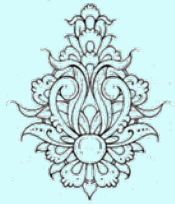
- در MIPS می‌توان با افزودن سخت‌افزار اضافی در گام ID، نتیجه‌ی شرط را زودتر به دست آورد.



# مخاطره‌ی کنترلی (ادامه...)

- برای خط لوله‌های که دارای تعداد گام بالا هستند، دستیابی سریع‌تر به نتیجه‌ی به سادگی امکان‌پذیر نیست.
  - در چنین حالاتی زیان ناشی تعلیق، پذیرفتنی نیست.

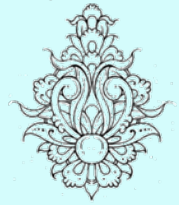
- در صورتی که از تعلیق برای رفع مشکل مخاطره‌ی کنترلی استفاده شود، تأثیر دستورات پرش شرطی بر CPI چه خواهد بود؟



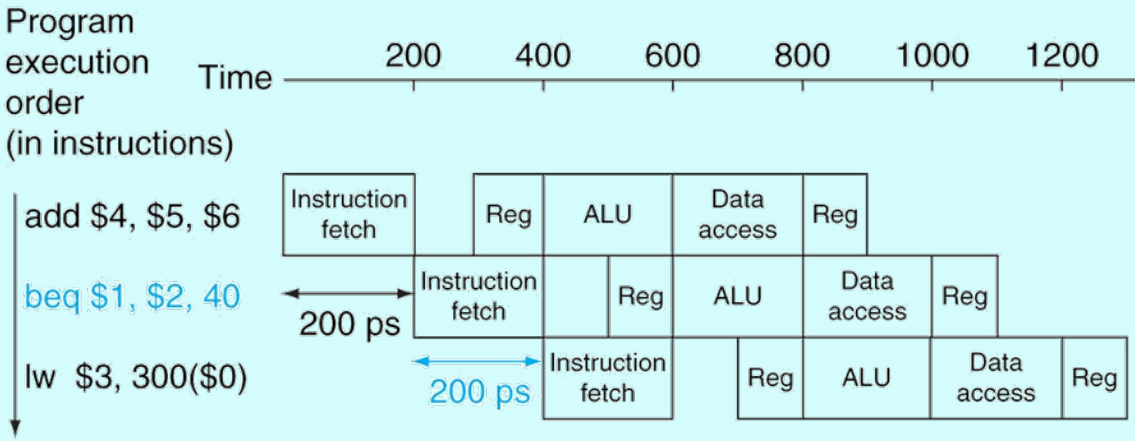
# مخاطره‌ی کنترلی (ادامه...)

## راه‌حل دیگر

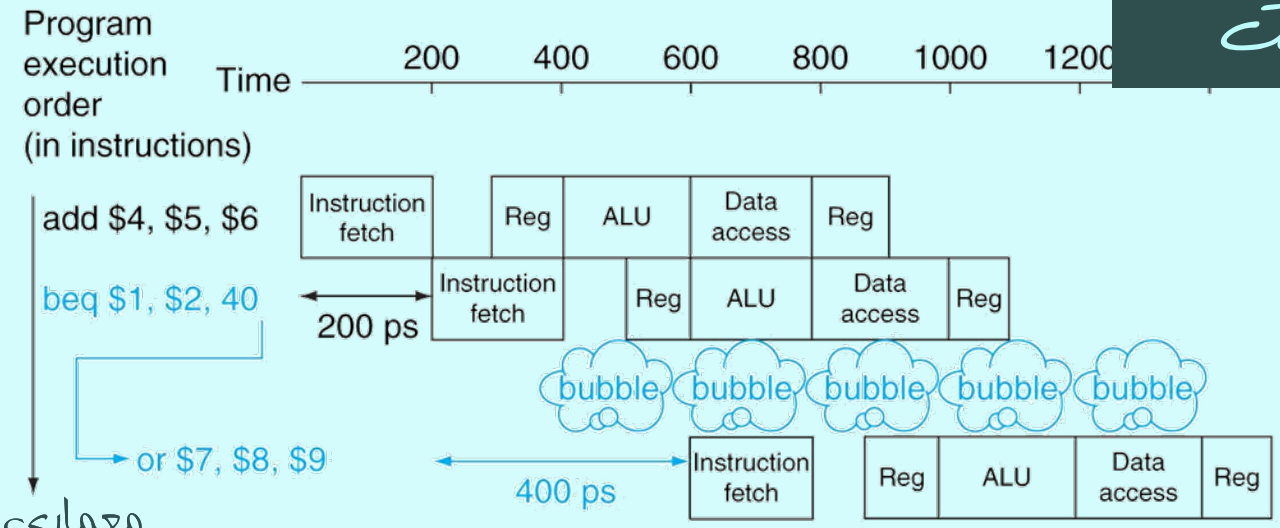
- استفاده از پیش‌بینی: یک راه ساده این است که همیشه فرض کنیم نتیجه شرط درست(نادرست) خواهد بود.
- در صورتی که پیش‌بینی ما درست باشد، خط لوله کار خود را به درستی انجام داده است.
- در غیر این صورت خط لوله دچار تعلیق می‌شود. ضمنا در چنین حالاتی باید مطمئن شویم که دستوراتی که به اشتباه وارد خط لوله شده‌اند، تأثیری از خود به جای نخواهند گذاشت



# مخاطره‌ی کنترلی (ادامه...)




پیش‌بینی درست




پیش‌بینی نادرست

# مخاطره‌ی کنترلی (ادامه...)

- یک راه پیچیده‌تر، استفاده از پیش‌بینی واقع‌گرایانه‌تر است.

*Predict backward branches taken*

  - مثلا در حلقه‌ها پیش‌بینی می‌شود، که شرط برقرار است.
  - در پیش‌بینی پویا، سخت‌افزاری برای پیش‌بینی عملکرد شرط در نظر گرفته می‌شود.

*Dynamic branch prediction*

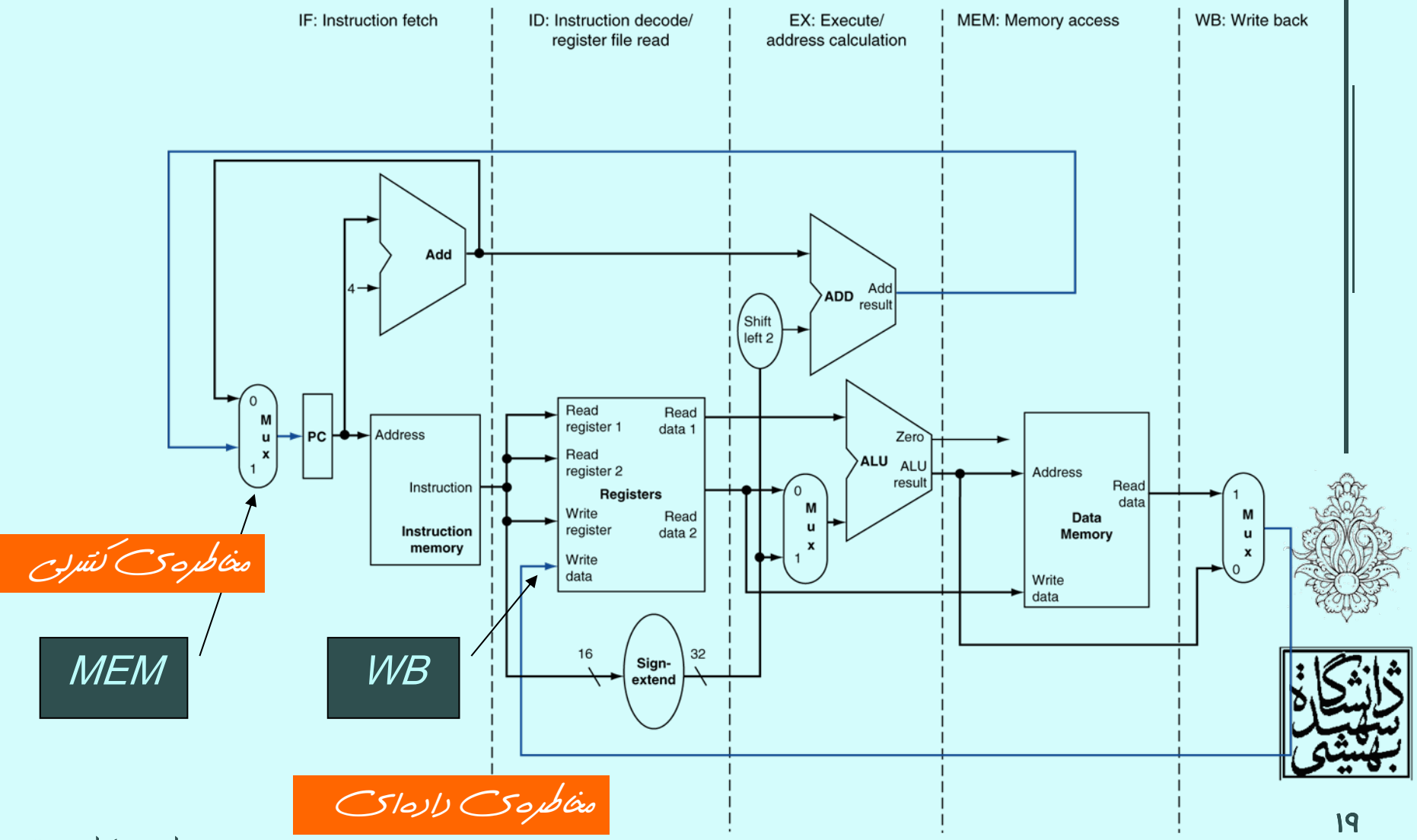
    - به عنوان مثال، می‌توان تاریخچه‌ای از رفتار شرط ذخیره نمود.

- راه سومی هم هست که در راه سومی هم هست که در MIPS مورد استفاده قرار می‌گیرد و آن این که اسمبلر دستوراتی را که در شرط مؤثر نیستند، به بعد از دستور پرش منتقل می‌کند.

*Delayed decision*

جریان داده از راست به چپ منجر به بروز مخاطره می شود

# مسیر گذار داده‌ی مجهز به خطلوله




مخاطره‌ی کنترلی

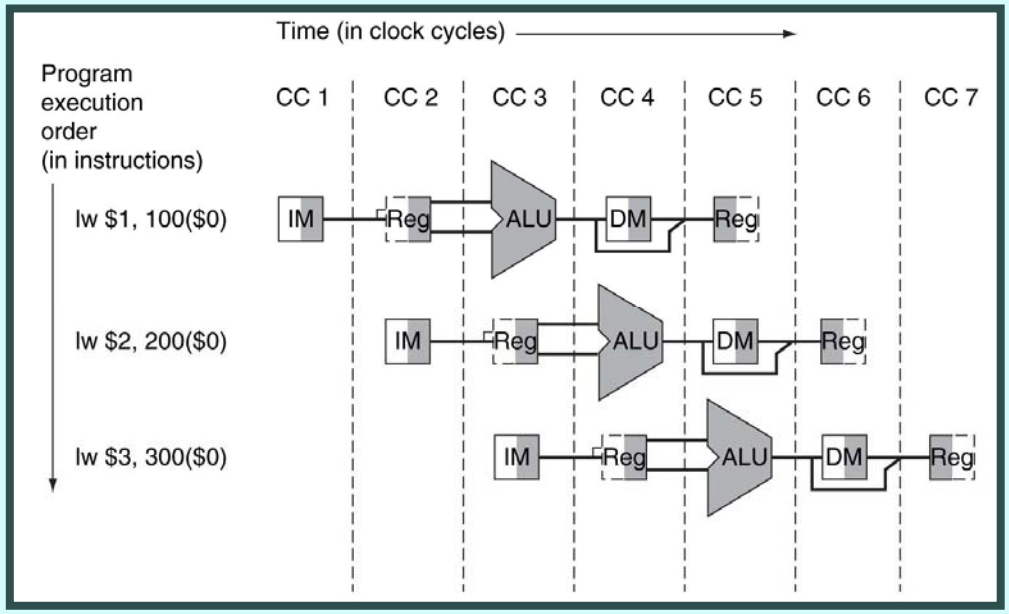
MEM

WB

مخاطره‌ی داده‌ای

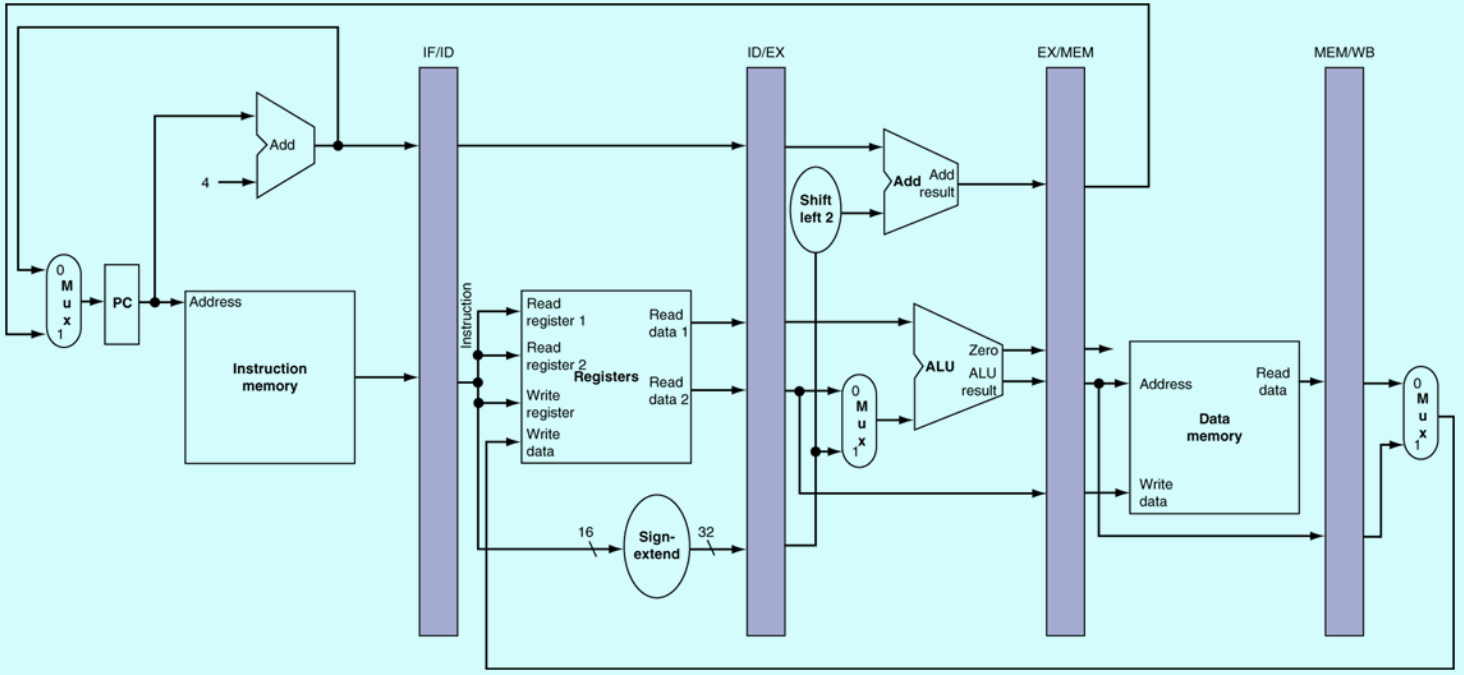
# گذرداده‌ی مجهز به خطلوله (ادامه...)

- چنان‌چه ملاحظه شد، مخاطره‌ی خط لوله دو سرچشمه دارد، که در هر دو جریان داده از سمت راست به چپ می‌باشد:
  - مرحله‌ی WB (مخاطره‌ی داده‌ای)
  - انتخاب آدرس بعدی (مخاطره‌ی کنترلی)

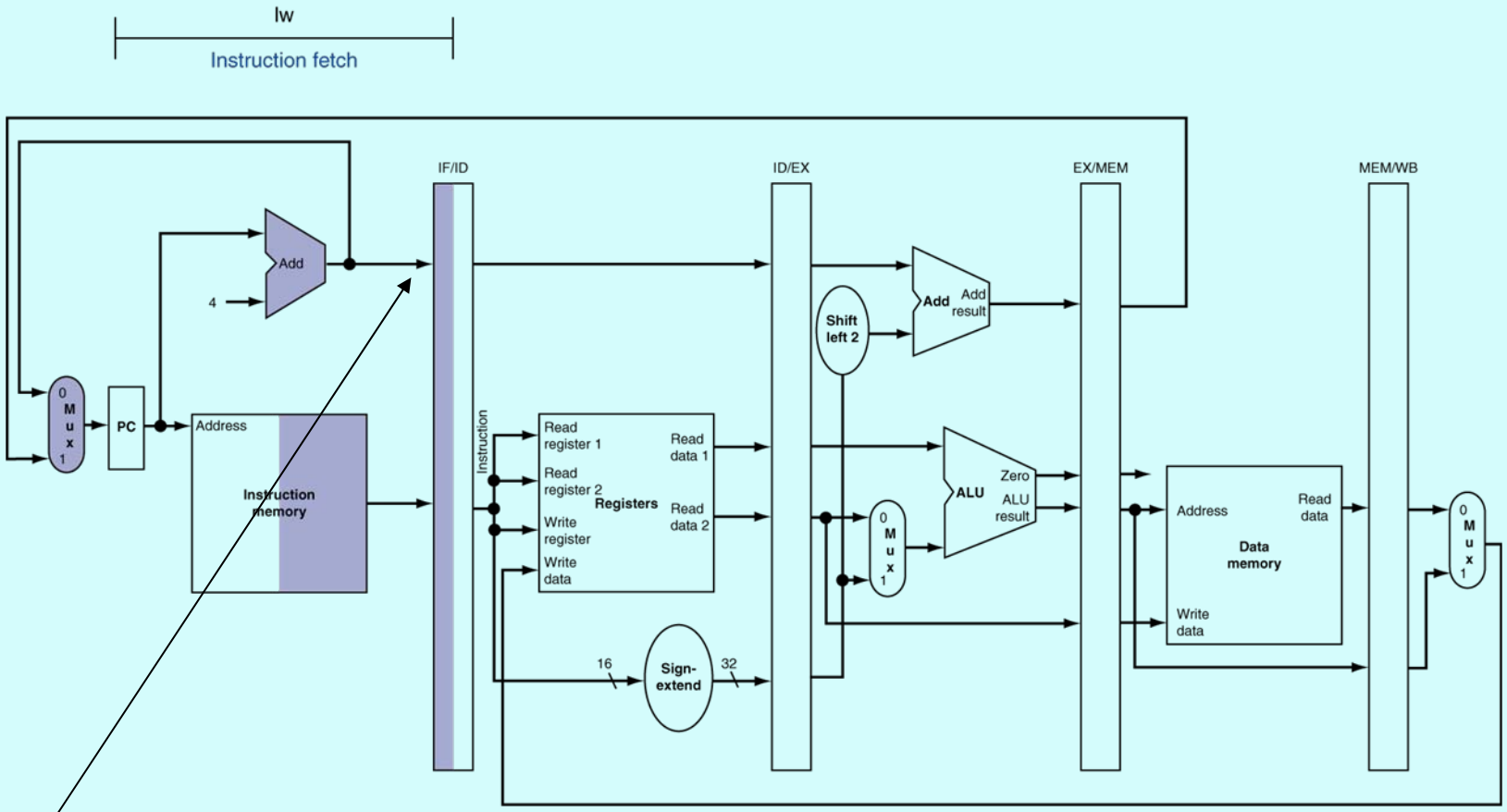


# ثبات‌های خط لوله

- برای این که داده‌ی تولید شده در هر گام حفظ شود، می‌باید بین گام‌های مختلف خط لوله از ثبات استفاده شود.

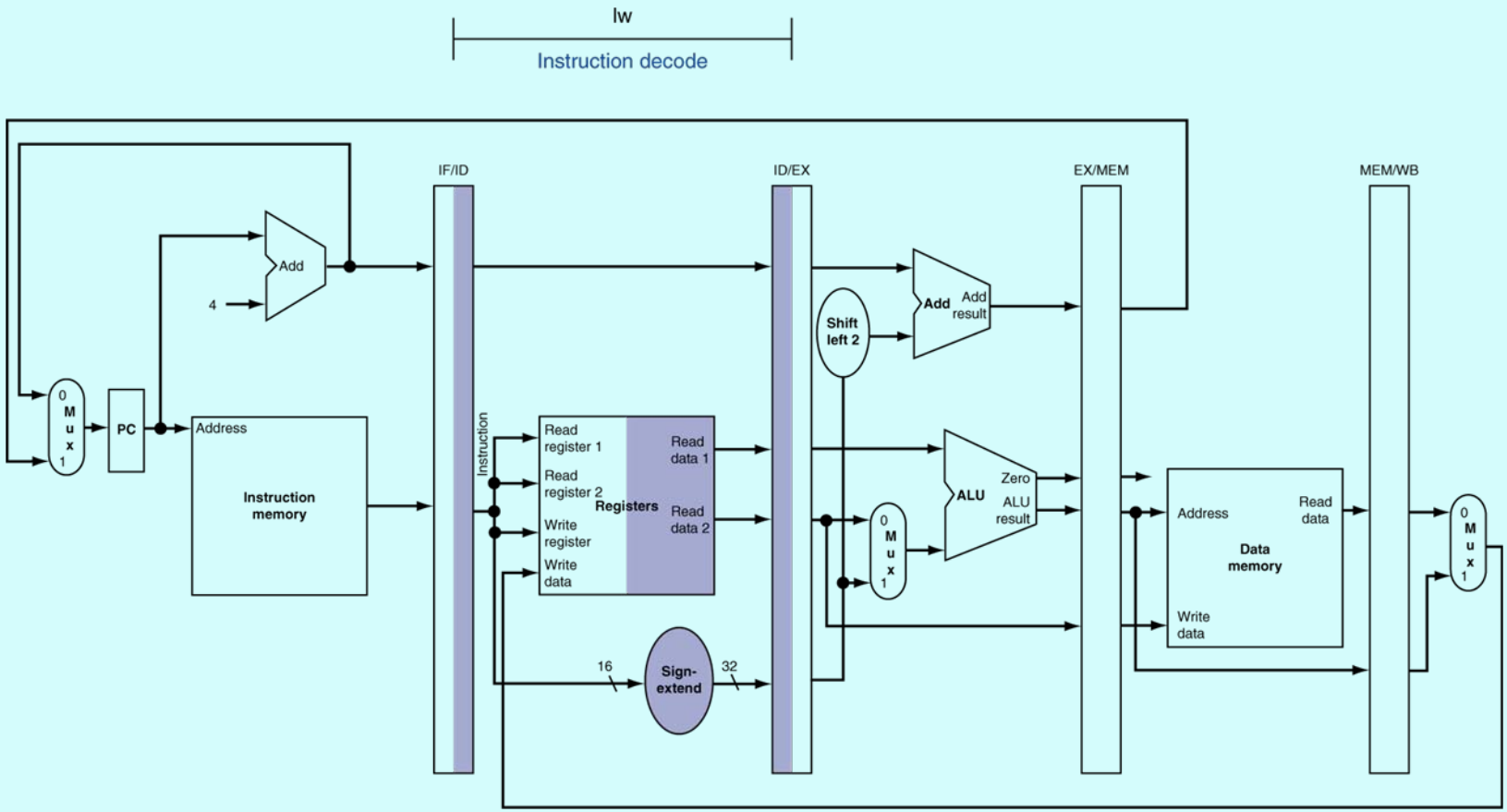


# دستورات نوشتن و خواندن حافظه IF

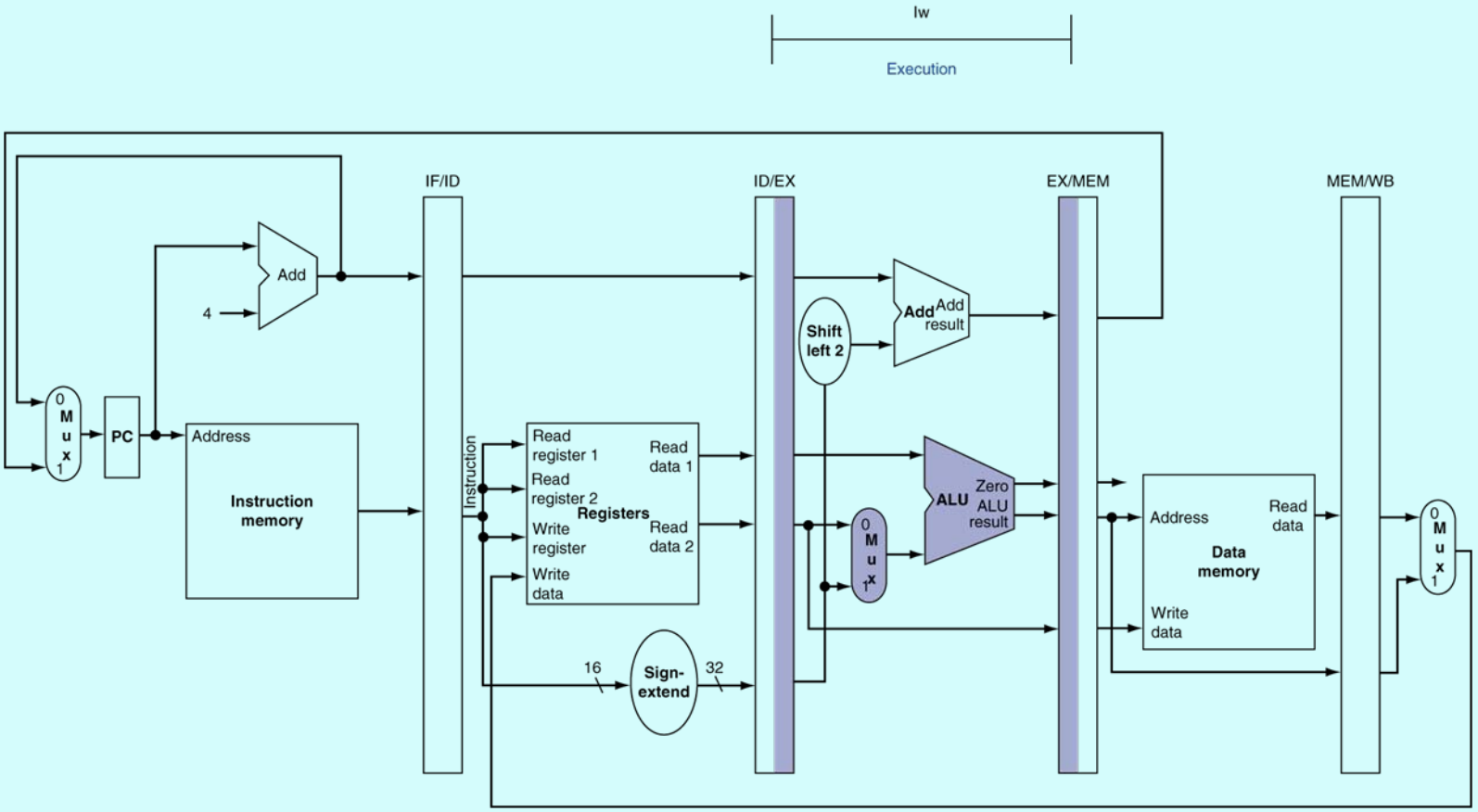



در صورتی که دستور پرش شرطی باشد، به این آدرس نیز خواهیم داشت

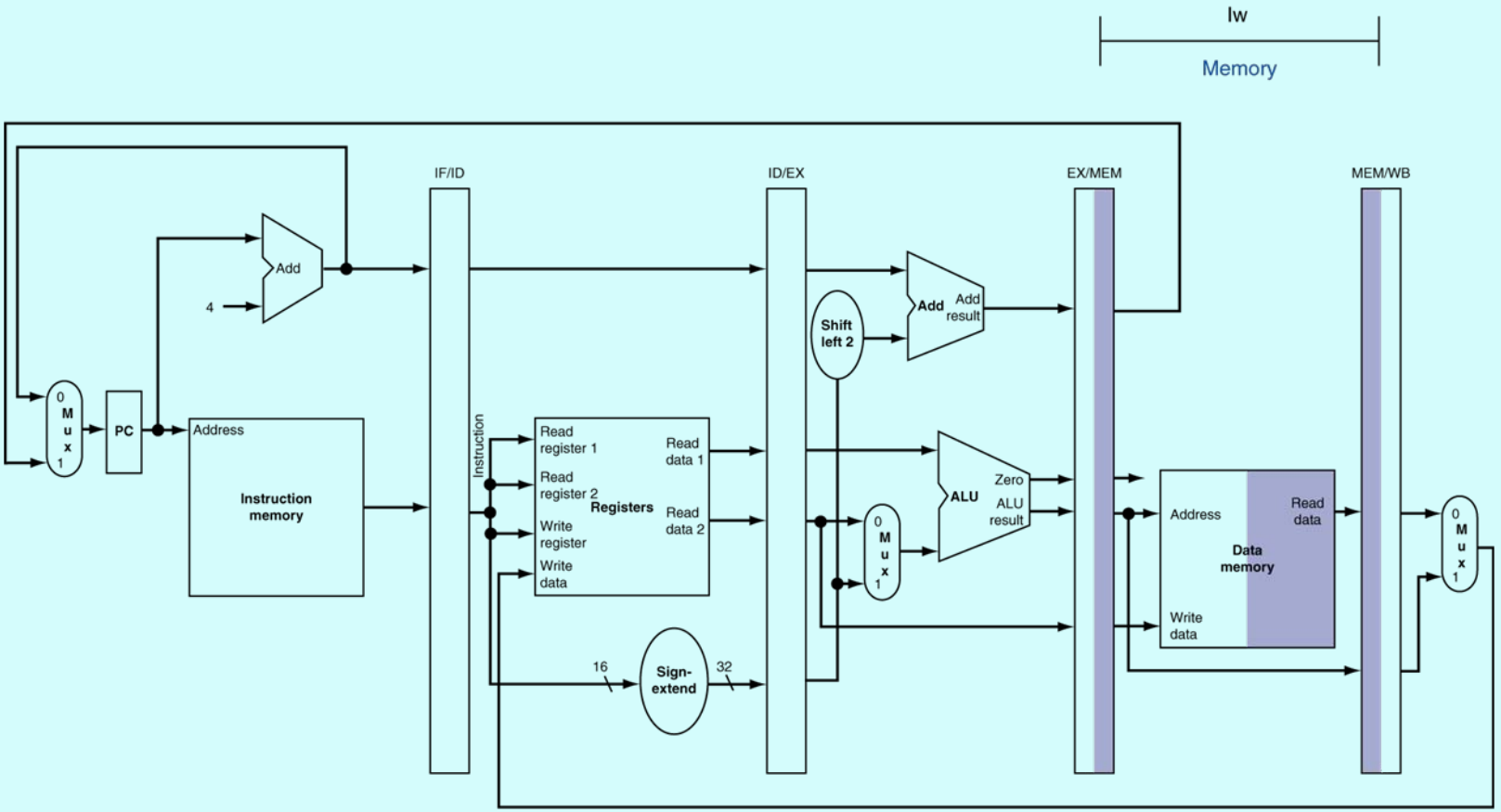
# دستورات نوشتن و خواندن حافظه ID



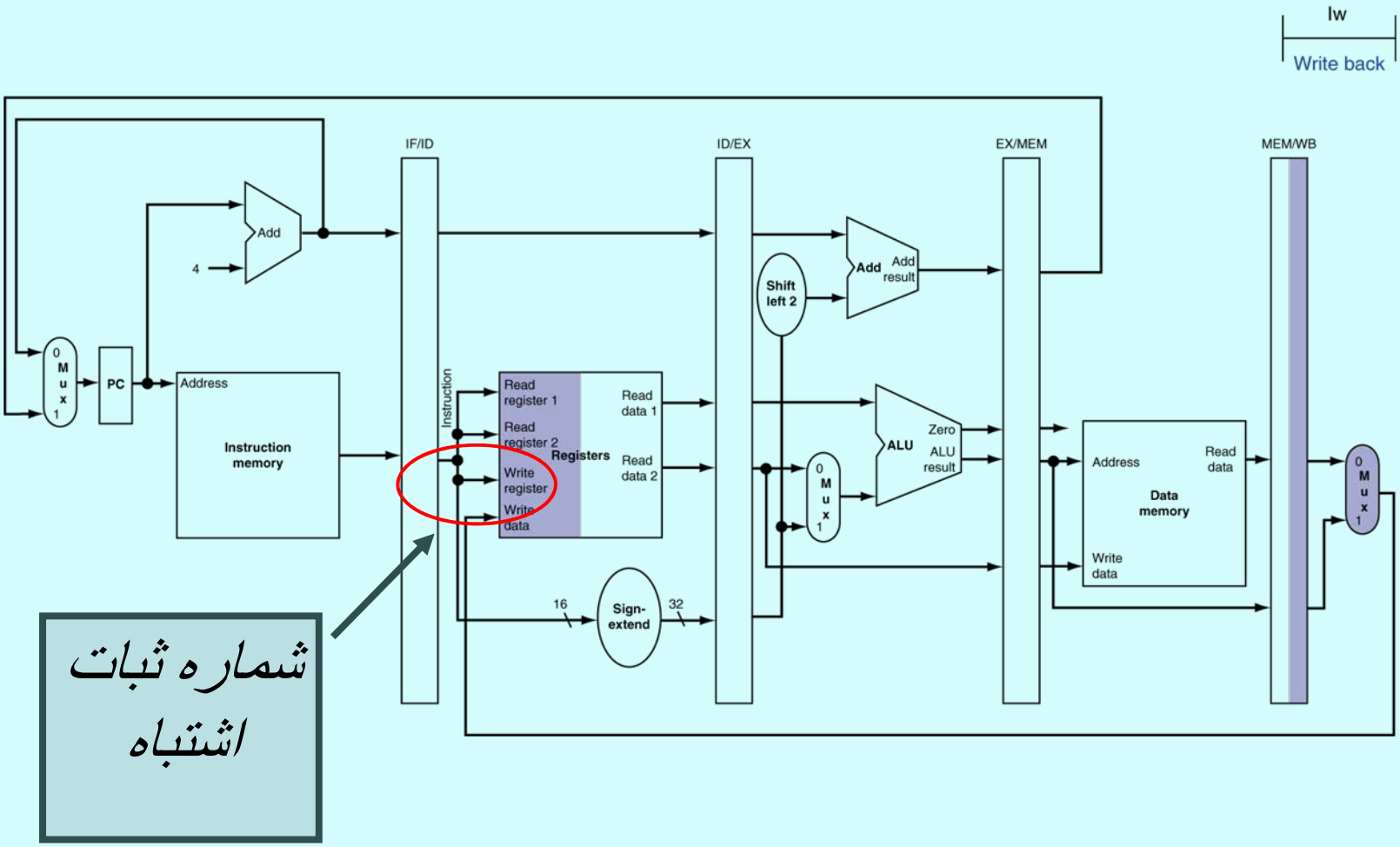
# دستور خواندن حافظه EX



# دستور خواندن حافظه MEM

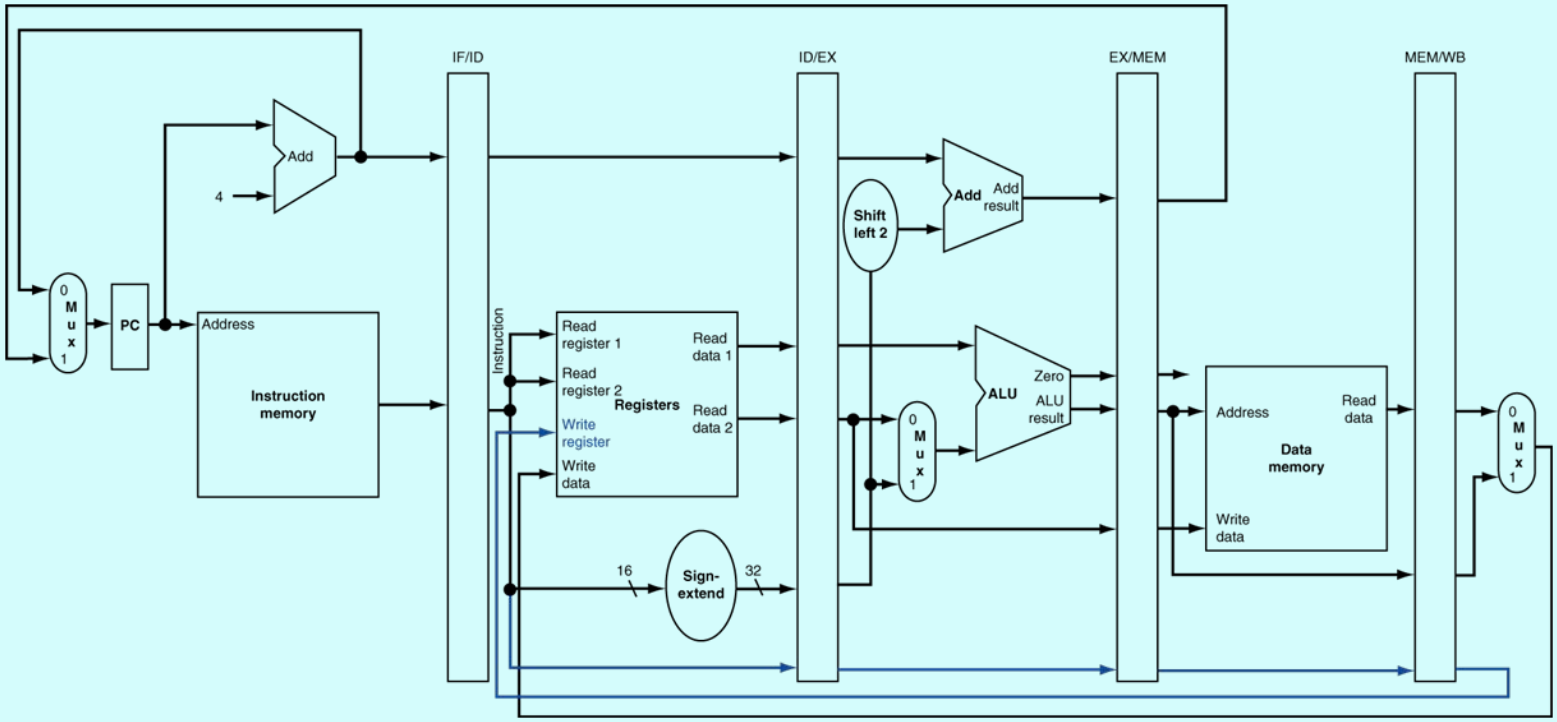


# دستور خواندن حافظه WB

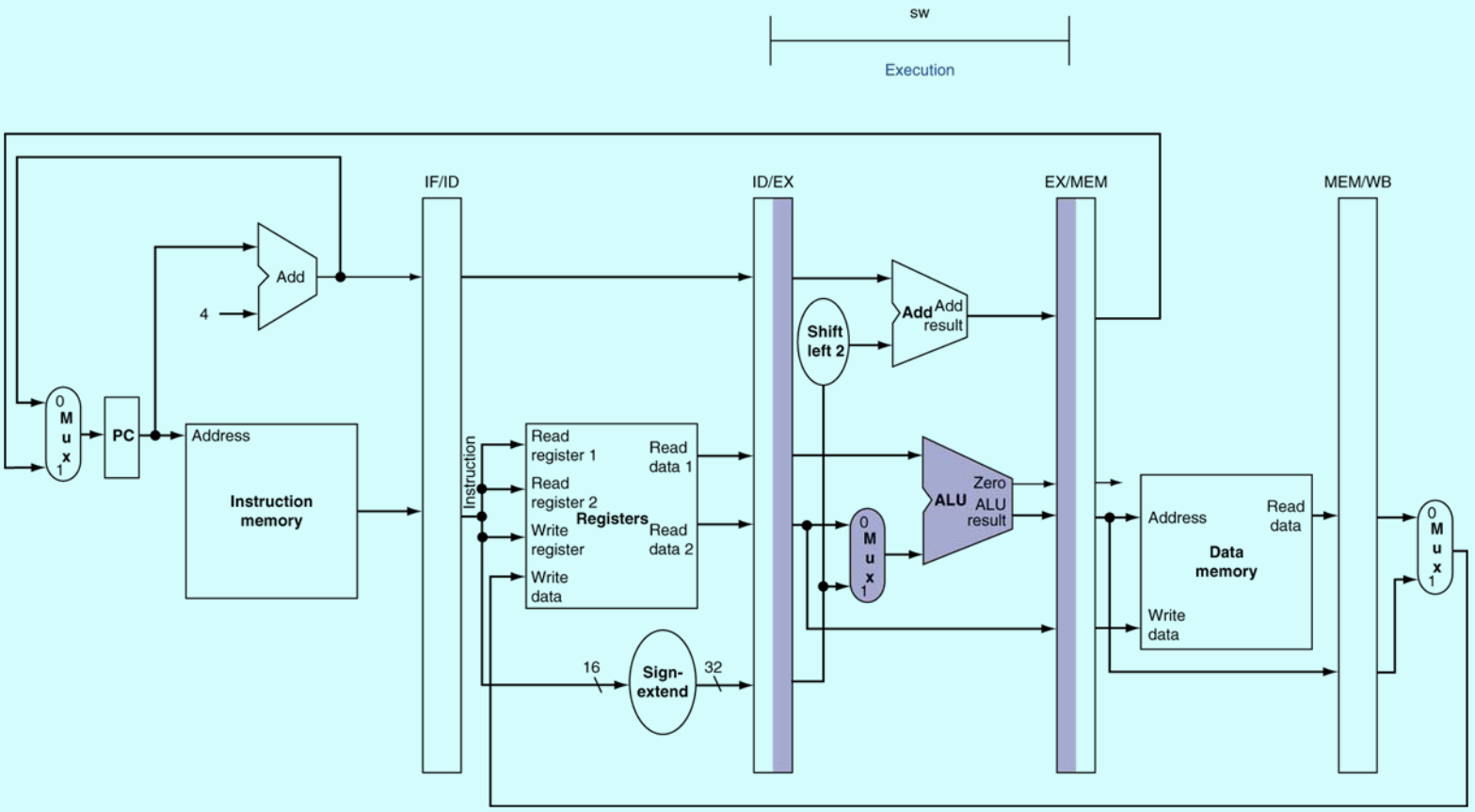



شماره ثبات اشتباه

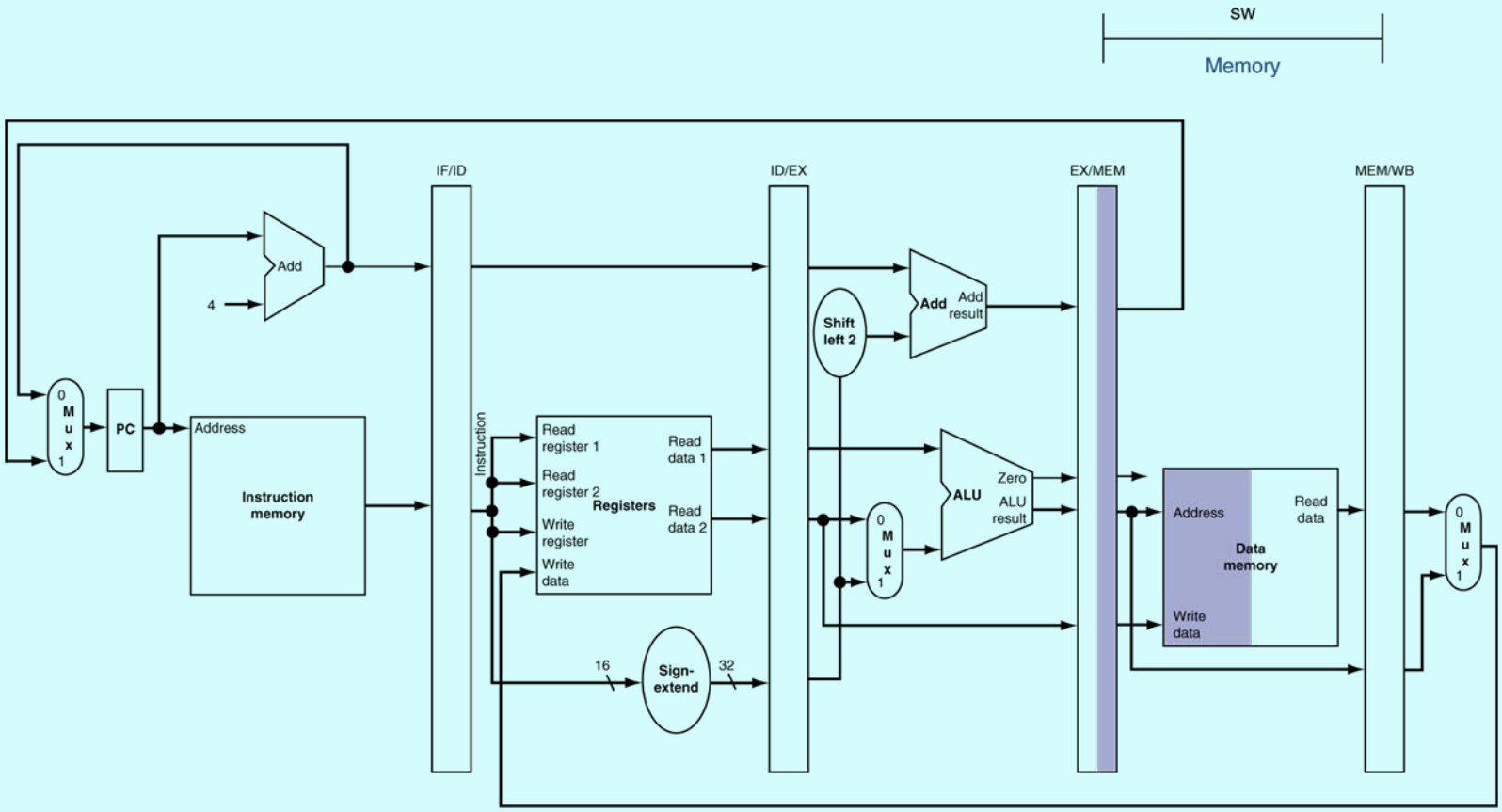
# داده‌گذر اصلاح شده برای دستور خواندن



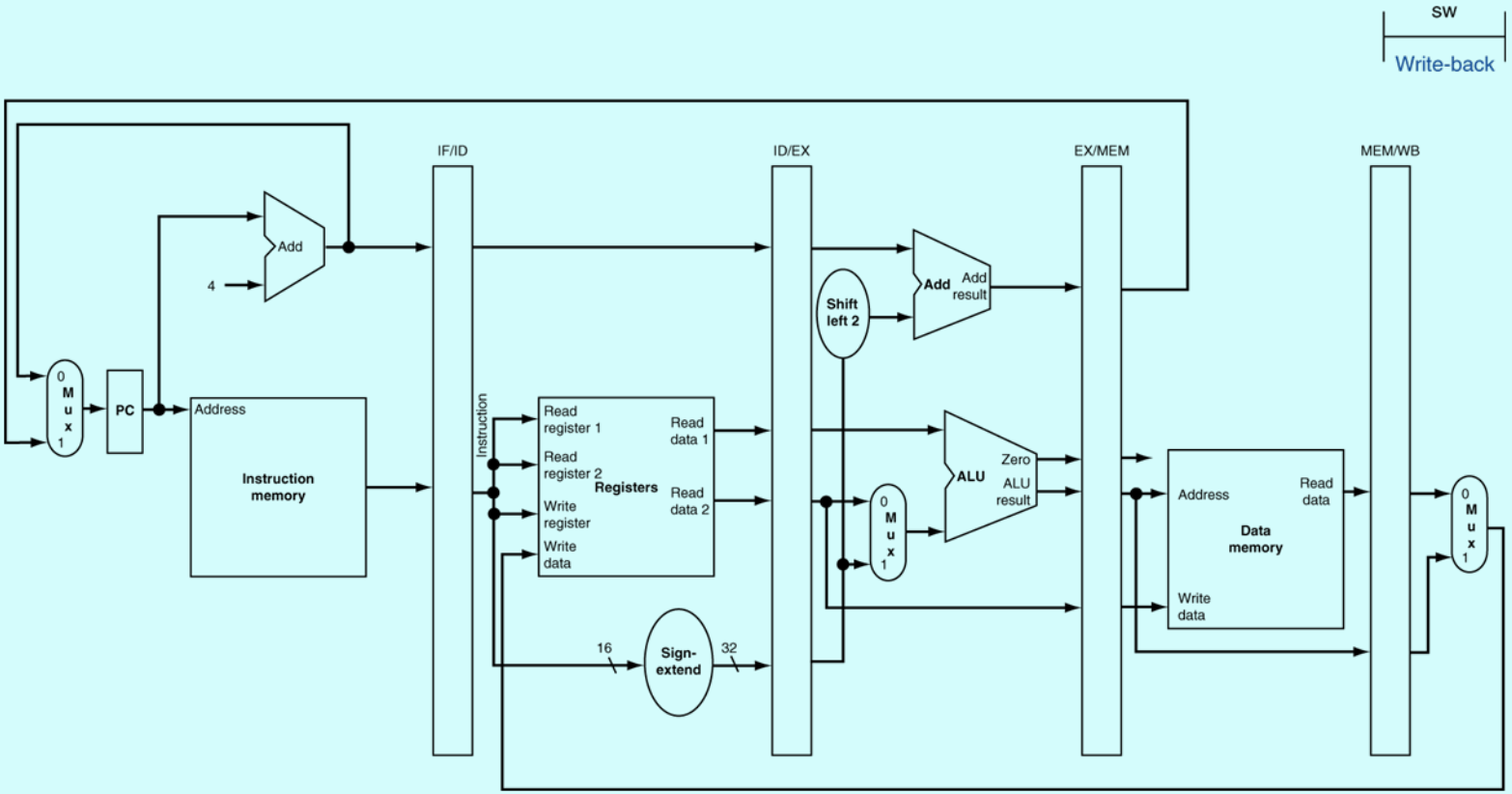
# دستور نوشتن در حافظه EX



# دستور نوشتن در حافظه MEM



# دستور نوشتن در حافظه WB



# نمودار خط لوله به صورت چندسیکلی

- در این شیوه به کارگیری منابع نشان داده شده است