



- پردازنده‌ای با مشخصات زیر در نظر بگیرید:
- رجیستر فایل شامل ۸ رجیستر ۸ بیتی است که آنها را  $r0$  تا  $r7$  می‌نامیم. رجیستر  $r0$  همواره مقدار ثابت صفر را در خود ذخیره کرده است.
  - تمام دستورات این پردازنده ۱۹ بیتی هستند.
  - پردازنده دارای یک حافظه دستور با گنجایش ۴۰۹۶ دستور (۱۹ بیتی) و یک حافظه داده با گنجایش ۲۵۶ بایت است.
  - پردازنده دارای یک استک با گنجایش ۸ خانه برای ذخیره کردن آدرس برگشت فراخوانی تابع است.
  - پردازنده دارای دو فلیپ‌فلاپ  $C$  و  $Z$  است.
  - پردازنده دارای یک ALU برای انجام محاسبات ۸ بیتی است. ALU دارای دو ورودی ۸ بیتی  $A$  و  $B$ ، یک ورودی یک بیتی  $Cin$ ، یک خروجی ۸ بیتی  $Y$ ، یک خروجی یک بیتی  $Zero$  و یک خروجی یک بیتی  $Cout$  است. خروجی  $Zero$  در صورتی که مقدار  $Y=0$  باشد برابر ۱ و در غیر این‌صورت برابر ۰ است. ورودی و خروجی  $Cin$  و  $Cout$  به ترتیب بیت نقلی ورودی و بیت نقلی خروجی عملیات محاسباتی است.

قالب دستورات این پردازنده در زیر آمده است:

#### ۱. دستورات محاسباتی/منطقی رجیستری

2	3	3	3	3	5
0	0	$fn$	$rd$	$r1$	$r2$
					$x$ $x$ $x$ $x$ $x$

یک عملیات محاسباتی/منطقی روی دو رجیستر ( $r1$ ,  $r2$ ) انجام شده و نتیجه در رجیستر مقصر ( $rd$ ) ذخیره می‌شود. نوع عملیات توسط  $fn$  مشخص می‌شود (جدول زیر را ببینید). اگر نتیجه محاسبه برابر صفر باشد  $Z=1$  و در غیر این‌صورت  $Z=0$  برای دستورات  $ADD$  و  $ADDC$  مقدار  $C$  برابر بیت نقلی عملیات جمع و برای دستورات  $SUB$  و  $SUBC$  مقدار  $C$  برابر بیت قرضی عملیات تفریق است. برای دستورات منطقی همواره  $C=0$ .

Instruction	Operation	fn
<b>ADD</b>	Add without carry in	000
<b>ADDC</b>	Add with carry in	001
<b>SUB</b>	Subtract without carry in	010
<b>SUBC</b>	Subtract with carry in	011
<b>AND</b>	Bitwise logical and	100
<b>OR</b>	Bitwise logical or	101
<b>XOR</b>	Bitwise logical xor	110
<b>MASK</b>	Bitwise logical mask (and-not)	111

#### ۲. دستورات محاسباتی/منطقی بلافاصل (Immediate)

2	3	3	3	8
0	1	$fn$	$rd$	$r1$
				$const$

یک عملیات محاسباتی/منطقی روی یک رجیستر ( $r1$ ) و یک داده بلافاصل ( $const$ ) انجام شده و نتیجه در رجیستر مقصر ( $rd$ ) ذخیره می‌شود. نوع عملیات و نحوه تغییر  $C$  و  $Z$  مانند دستورات محاسباتی/منطقی رجیستری است.

### ۳. دستورات شیفت

3			2		3		3		3		5				
1	1	0	<i>fn</i>		<i>rd</i>		<i>rl</i>		<i>sc</i>		<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>

یک عملیات شیفت و یا دوران روی یک رجیستر (*rl*) به تعداد بیت‌های مشخص شده (*sc*) انجام شده و نتیجه در رجیستر مقصر (*rd*) ذخیره می‌شود. نوع عملیات توسط *fn* مشخص می‌شود (جدول زیر را ببینید). اگر نتیجه محاسبه برابر صفر باشد  $Z=1$  و در غیر اینصورت  $Z=0$ . مقدار *C* برابر بیتی می‌شود که از عملیات شیفت یا دوران بیرون ریخته می‌شود.

Instruction	Operation	fn
<b>SHL</b>	Shift left	00
<b>SHR</b>	Shift right	01
<b>ROL</b>	Rotate left	10
<b>ROR</b>	Rotate right	11

### ۴. دستورات حافظه

3			2		3		3		8							
1	0	0	<i>fn</i>		<i>rd</i>		<i>rl</i>		<i>disp</i>							

برای عملیات خواندن (نوشتن) از (در) یک محل حافظه به کار می‌رود. آدرس محل حافظه از جمع یک مقدار علامت‌دار هشت بیتی (*disp*) و یک رجیستر پایه (*rl*) به دست می‌آید. برای دستور *LDM* رجیستر *rd* رجیستر مقصد و برای دستور *STM* رجیستر *rd* یکی از اپرندهای دستور است. نوع عملیات توسط *fn* مشخص می‌شود (جدول زیر را ببینید). مقادیر *C* و *Z* با اجرای این دستورات تغییر نمی‌کنند.

Instruction	Operation	fn
<b>LDM</b>	Load memory	00
<b>STM</b>	Store memory	01

### ۵. دستورات پرش شرطی

3			2		6						8							
1	0	1	<i>fn</i>		<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>disp</i>							

در صورت برقرار بودن شرط پرش، پرش به آدرس پرش انجام می‌شود و در غیر این صورت *pc* با ۱ جمع می‌شود تا به سراغ دستور بعد از دستور پرش برویم. آدرس پرش از جمع یک مقدار علامت‌دار هشت بیتی (*disp*) و آدرس دستور بعد از پرش ( $pc+1$ ) به دست می‌آید. نوع عملیات توسط *fn* مشخص می‌شود (جدول زیر را ببینید). مقادیر *C* و *Z* با اجرای این دستورات تغییر نمی‌کنند.

Instruction	Operation	fn
<b>BZ</b>	Branch if zero	00
<b>BNZ</b>	Branch if not zero	01
<b>BC</b>	Branch if carry	10
<b>BNC</b>	Branch if not carry	11

## ۶. دستورات پرش بدون شرط

	5	2	12
JMP	1 1 1 0 0	x x	addr
JSB	1 1 1 0 1	x x	addr

با اجرای این دستورات، کنترل به آدرس مشخص شده (*addr*) منتقل می‌شود. دستور *JSB* برای فراخوانی تابع به کار می‌رود. در این دستور پیش از این که پرش انجام شود، ابتدا آدرس برگشت ( $pc+1$ ) روی استک *push* می‌شود. مقادیر *C* و *Z* با اجرای این دستورات تغییر نمی‌کنند.

## ۷. دستورات متفرقه

	6	13
RET	1 1 1 1 0 0	x x x x x x x x x x x x x x

دستور *RET* برای بازگشت از یک تابع به کار می‌رود. برای این منظور آدرس بازگشت از روی استک *pop* شده و در *pc* قرار می‌گیرد.

این پردازنده دارای یک پایه ورودی *reset* است. در صورت فعال شدن این پایه، مقادیر فلیپ‌فلاپهای *Z* و *C* صفر شده و سپس با صفر شدن *pc* اجرای دستورات از آدرس 000 حافظه شروع می‌شود.

**مسیر داده و واحد کنترل این پردازنده را به صورت پایپ‌لاین طراحی کنید و سپس با زبان توصیف سخت‌افزاری Verilog آن را توصیف کنید. انواع هازاردها را تشخیص داده و برطرف کنید.**

برای تست پردازنده خود ابتدا دو برنامه اسمبلی زیر به زبان ماشین تبدیل کنید سپس آن را در آدرس ۰ حافظه دستور لود کرده و اجرا کنید. بدیهی است که باید در حافظه داده نیز داده‌های مناسب را قرار دهید تا نتیجه اجرای برنامه شما مشخص شود.

**برنامه ۱:** برنامه زیر دو عدد ۱۶ بیتی که در آدرسهای ۱۰۰ حافظه داده (بایت رتبه پایین عدد اول در آدرس ۱۰۰ و بایت رتبه بالای عدد اول در آدرس ۱۰۱) و ۱۰۲ حافظه داده (بایت رتبه پایین عدد دوم در آدرس ۱۰۲ و بایت رتبه بالای عدد دوم در آدرس ۱۰۳) قرار گرفته‌اند را با هم جمع کرده و حاصل جمع ۱۶ بیتی را در آدرس ۱۰۴ حافظه داده (بایت رتبه پایین حاصل جمع در آدرس ۱۰۴ و بایت رتبه بالای حاصل جمع در آدرس ۱۰۵) قرار می‌دهد.

```

i ← 0
104[i] = 100[i] + 102[i];      // Add low order bytes
105[i] = 101[i] + 103[i] + ci; // Add high order bytes with carry

LDM    r1, 100(r0)
LDM    r2, 102(r0)
ADD    r3, r1, r2
STM    r3, 104(r0)
LDM    r1, 101(r0)
LDM    r2, 103(r0)
ADDC   r3, r1, r2
STM    r3, 105(r0)

```

**برنامه ۲:** برنامه زیر بزرگترین عنصر را در یک آرایه ۲۰ عنصری با آدرس شروع ۱۰۰ به دست می‌آورد (این مقدار در رجیستر *r7* ذخیره می‌شود).

```

Max = 0;
for (i = 0; i < 20; i++)
    if (Max < A[i])
        Max = A[i];

ADD    r7, r0, r0
ADD    r1, r0, r0

```

```
Loop: SUBI    r3, r1, 20
      BZ      END
      LDM     r2, 100(r1)
      SUB     r3, r7, r2
      JNC     L1
      ADD     r7, r2, r0
L1:    ADDI    r1, r1, 1
      JMP     Loop
END:
```