

در تمرین کامپیوتری دوم به طراحی و مدلسازی پردازنده تک سیکل با زبان VHDL خواهیم پرداخت. نام این پردازنده AUT-MIPS می باشد. AUT-MIPS یک پردازنده ۱۶ بیتی می باشد. در این پردازنده بانک ثبات شامل ۸ ثبات ۱۶ بیتی می باشد.<sup>۱</sup> ISA این پردازنده شبیه به ISA پردازنده MIPS می باشد ولی تفاوت‌هایی نسبت به آن دارد. طول دستورات در این پردازنده ۱۶ بیت می باشد. یعنی PC<sup>۲</sup> به جای اینکه با ۴ جمع شود باید با ۲ جمع شود. PC یک ثبات ۱۶ بیتی می باشد. در این پردازنده سه نوع ماشین کد وجود دارد که عبارتند از: R-Type, I-Type و J-Type. در ادامه درباره هر یک از آنها توضیح داده می شود.

۱- R-Type: دستورات R-Type مانند دستورات R-Type در MIPS می باشد. دو ثبات source و یک ثبات مقصد دارند. ماشین کد دستورات R-Type به شکل زیر می باشد. چهار بیت اول (بیت‌های ۱۲ الی ۱۵) opcode را مشخص می کند که opcode برای دستورات R-Type صفر می باشد ("0000"). سه بیت بعد (بیت‌های ۹ الی ۱۱) شماره ثبات مبدأ اول را مشخص می کند. سه بیت بعد (بیت‌های ۶ الی ۸) شماره ثبات مبدأ دوم را مشخص می کند. سه بیت بعد (بیت‌های ۳ الی ۵) شماره ثبات مقصد را مشخص می کند و ۳ بیت آخر (بیت‌های صفر الی ۲) نوع عملیات را مشخص می کند. مقادیر opcode و function برای دستورات add, sub, and, or, xor, slt و jr در جدول ۱ آمده است. دستور jr یک ثبات به عنوان پارامتر ورودی می گیرد (بیت‌های ۹ الی ۱۱ شماره ثبات را مشخص می کنند) و به محتوای آن ثبات پرش می کند (یعنی محتوای آن ثبات در PC ریخته می شود). در این دستور از بیت‌های صفر الی ۸ استفاده نمی شود.

15.....12	11.....9	8.....6	5.....3	2.....0
4-bits	3-bit	3-bit	3-bit	3-bit
opcode	source 1	source 2	destination	function

شکل ۱- قالب دستورات R-Type

opcode	function	operation
0000	000	add
0000	001	sub
0000	010	and
0000	011	or
0000	100	xor
0000	101	Mul
0000	110	slt
0000	111	jr

جدول ۱- مقادیر opcode و function برای دستورات R-Type

۲- I-Type: دستورات I-Type مانند دستورات I-Type در MIPS می باشد با این تفاوت که مقدار immediate ۶ بیتی می باشد. ماشین کد دستورات I-Type در شکل ۲ آورده شده است. چهار بیت اول (بیت‌های ۱۲ الی ۱۵) opcode را مشخص می کند. سه بیت بعد (بیت‌های ۹ الی ۱۱) شماره ثبات را مشخص می کند. سه بیت بعد (بیت‌های ۶ الی ۸) شماره ثبات دوم را مشخص می کند. ۶ بیت آخر (بیت‌های صفر الی ۵) مقدار immediate را مشخص می کند.

<sup>1</sup> Instruction Set Architecture

<sup>2</sup> Program Counter

برای دستورات addi, ori و andi چهار بیت اول (بیت‌های ۱۲ الی ۱۵) opcode را مشخص می‌کند. سه بیت بعد (بیت‌های ۹ الی ۱۱) شماره ثبات مبدأ را مشخص می‌کند. سه بیت بعد (بیت‌های ۶ الی ۸) شماره ثبات مقصد را مشخص می‌کند. ۶ بیت آخر (بیت‌های صفر الی ۵) مقدار immediate را مشخص می‌کند. این مقدار ۶ بیتی sign extend می‌شود به یک مقدار ۱۶ بیتی و بعد با محتوای ثبات عملیات انجام می‌شود. مقادیر opcode برای دستورات addi, andi و ori، در جدول ۲ آمده است.

15.....12	11.....9	8.....6	5.....0
4-bits	3-bit	3-bit	6-bit
opcode	register1	register2	Immediate

شکل ۲- قالب دستورات I-Type

opcode	Operation
0001	addi
0010	andi
0011	ori

جدول ۲- مقادیر opcode برای دستورات addi, andi و ori

برای این پردازنده دستورات شیفت جزء قالب I-Type حساب می‌شوند. برای دستورات sll (shift left logical), srl (shift right logical) و sra (shift right arithmetic) چهار بیت اول (بیت‌های ۱۲ الی ۱۵) opcode را مشخص می‌کند. سه بیت بعد (بیت‌های ۹ الی ۱۱) شماره ثبات مبدأ را مشخص می‌کند. سه بیت بعد (بیت‌های ۶ الی ۸) شماره ثبات مقصد را مشخص می‌کند. ۶ بیت آخر (بیت‌های صفر الی ۵) مقدار شیفت را مشخص می‌کند. مقدار شیفت یک مقدار بدون علامت<sup>۳</sup> می‌باشد. مقادیر opcode برای دستورات sll, srl و sra، در جدول ۳ آمده است.

Opcode	Operation
0100	sll
0101	srl
0110	sra

جدول ۳- مقادیر opcode برای دستورات sll, srl و sra

برای این پردازنده دستورات load (lhw) و store (shw) جزء قالب I-Type حساب می‌شوند. دستورات lhw و shw به ترتیب یک داده ۱۶ بیتی را از حافظه می‌خواند و یک داده ۱۶ بیتی را در حافظه می‌نویسد. در این پردازنده مانند MIPS از آدرس دهی displacement (محتوای ثبات + offset) برای محاسبه آدرس استفاده می‌شود. برای دستورات lhw چهار بیت اول (بیت‌های ۱۲ الی ۱۵) opcode را مشخص می‌کند. سه بیت بعد (بیت‌های ۹ الی ۱۱) شماره ثبات پایه را مشخص می‌کند. سه بیت بعد (بیت‌های ۶ الی ۸) شماره ثبات مقصد را مشخص می‌کند. ۶ بیت آخر (بیت‌های صفر الی ۵) مقدار offste را مشخص می‌کند که باید sign extend شود و بعد با ثبات پایه جمع شود و آدرس را تولید کند. برای دستورات shw چهار بیت اول (بیت‌های ۱۲ الی ۱۵) opcode را مشخص می‌کند. سه بیت بعد (بیت‌های ۹ الی ۱۱) شماره ثبات پایه را مشخص می‌کند. سه بیت بعد (بیت‌های ۶ الی ۸) شماره ثبات مبدأ را مشخص می‌کند. ۶ بیت آخر (بیت‌های صفر الی ۵) مقدار offste را مشخص می‌کند که باید

<sup>۳</sup> unsigned

sign extend شود و بعد با ثبات پایه جمع شود و آدرس را تولید کند. مقدار offset یک مقدار علامت دار<sup>۴</sup> می باشد. مقادیر opcode برای دستورات lhw و shw، در جدول ۴ آمده است.

opcode	Operation
0111	lhw
1000	shw

جدول ۴- مقادیر opcode برای دستورات lhw و shw

برای این پردازنده دستورات پرش (branch) جزء قالب I-Type حساب می شوند. دستورات پرش محتوای دو ثبات را با یکدیگر مقایسه می کنند و بر اساس نوع مقایسه، اگر نتیجه درست باشد پرش انجام می شود و در غیر اینصورت انجام نمی شود. آدرس پرش به اینصورت محاسبه می شود که مقدار ۶ بیتی immediate به مقدار ۱۶ بیتی sign extend می شود سپس در دو ضرب می گردد و بعد با  $PC+4$  جمع می شود. نتیجه این جمع آدرس محل پرش را مشخص می کند:

$$(PC+4+(sign\ extend\ (imm)*2))$$

جدول ۵ انواع دستورات پرش و opcode آنها را نشان می دهد.

opcode	instruction	Operation
1001	beq	Branch if equal
1010	bne	Branch if not equal
1011	blt	Branch if less than
1100	bgt	Branch if greater than
1101	ble	Branch if less than or equal
1110	bge	Branch if greater than or equal

جدول ۵- مقادیر opcode برای دستورات پرش

۳- J-Type: دستور jmp از نوع J-Type می باشد. ماشین کد دستورات J-Type در شکل ۳ آورده شده است. در این دستور ۱۲ بیت پایین دستور (بیت‌های صفر الی ۱۱) در ۲ ضرب می شود (تبدیل به یک مقدار ۱۳ بیتی می شود) و سپس سه بیت بالای PC به ابتدای آن اضافه می شود تا یک مقدار ۱۶ بیتی ایجاد گردد و سپس در PC نوشته می شود. Opcode دستور jmp برابر "1111" می باشد.

$$PC \leftarrow PC[15..13] \&\& (instr[11..0]) \&\& "0"$$

15.....12	11.....0
4-bits	12-bit
Opcode (1111)	jump address

شکل ۳- قالب دستورات J-Type

<sup>4</sup> signed