



به موارد زیر توجه کنید:

- ۱- حتما نام و شماره دانشجویی خود را روی پاسخنامه بنویسید.
- ۲- کل پاسخ تمرینات را در قالب یک فایل pdf با شماره دانشجویی خود نام گذاری کرده در سامانه CW بارگذاری کنید.
- ۳- این تمرین ۶۰ نمره دارد که معادل ۰,۶ نمره از نمره کلی درس است.
- ۴- در صورت مشاهده هر گونه مشابهت نامتعارف هر دو (یا چند) نفر **کل نمره** این تمرین را از دست خواهند داد.

۱- (۱۲ نمره) برای ارزیابی دو کامپیوتر از ۵ نوع دستور متفاوت استفاده می کنیم. فرکانس کاری کامپیوتر نخست ۳ گیگاهرتز و فرکانس کاری کامپیوتر دوم ۲,۷ گیگاهرتز است. با توجه به این اطلاعات و داده های جدول زیر به سوالات پاسخ دهید.

Instruction Type	CPU1		CPU2	
	CPI	# of instructions	CPI	# of instructions
1	1	6×10^9	2	8×10^9
2	4	12×10^9	1	10×10^9
3	2	14×10^9	4	13×10^9
4	5	9×10^9	3	14×10^9
5	2	15×10^9	4	18×10^9

الف) CPI میانگین را برای کامپیوترهای ۱ و ۲ به دست آورده و با هم مقایسه کنید.

ب) کدام یک از کامپیوترها زمان اجرای کمتری دارد؟

ج) این بار برنامه محک (benchmark) زیر را روی دو کامپیوتر اجرا می کنیم. زمان اجرای آن روی کدام کمتر خواهد بود؟

Benchmark Instructions: 50% instruction 2, 30% instruction 3, 20% instruction 5

پاسخ:

الف) می دانیم که $CPI_{avg} = \frac{\#of\ cycles}{\#of\ instructions}$ است، بنابراین داریم:

$$CPI_1 = \frac{1 * 6 + 4 * 12 + 2 * 14 + 5 * 9 + 2 * 15}{6 + 12 + 14 + 9 + 15} = 2.8$$

$$CPI_2 = \frac{2 * 8 + 1 * 10 + 4 * 13 + 3 * 14 + 4 * 18}{8 + 10 + 13 + 14 + 18} = 3.04$$

می بینیم که $CPI_1 < CPI_2$.

ب) می دانیم که $CPU\ time = \frac{(CPI * \#instructions)}{clock\ rate}$ بنابراین داریم:

$$time_1 = \frac{2.8 * (6 + 12 + 14 + 9 + 15) * 10^9}{3 * 10^9} = 52.26\ s$$

$$time_2 = \frac{3.04 * (8 + 10 + 13 + 14 + 18) * 10^9}{2.7 * 10^9} = 70.93\ s$$

بنابراین می توانیم نتیجه بگیریم که $time_1 < time_2$.

ج) تعداد دستورات برنامه محک را x در نظر می گیریم. در این صورت خواهیم داشت:

$$time_1 = \frac{0.5x * 4 + 0.3x * 2 + 0.2x * 2}{3 * 10^9} = x\ ns$$

$$time_2 = \frac{0.5x * 1 + 0.3x * 4 + 0.2x * 4}{2.7 * 10^9} = 0.925x\ ns$$

پس $time_2 < time_1$.

۲- (۲۰ نمره) قصد داریم برنامه P را بر روی دو پردازنده A و B اجرا کنیم. جدول زیر نشان می‌دهد اجرای هر کدام از انواع دستورات پایه در هر کدام از این دو پردازنده چند چرخه ساعت طول می‌کشد. از طرفی دو کامپایلر متفاوت نیز در اختیار داریم که این جدول مشخص می‌کند هر کدام برنامه P را به چه صورت به دستورات پایه تقسیم می‌کنند.

Instruction	CPI_A	CPI_B	Compiler 1	Compiler 2
Load/Store	8	8	32%	8%
ALU	3	4	56%	52%
Branch/Jump	7	2	12%	40%

با فرض این که فرکانس پردازنده‌های A و B به ترتیب ۱ و ۰.۸ گیگاهرتز است، به سوالات زیر پاسخ دهید.
الف- آیا بدون انجام محاسبات می‌توانید استدلال کنید اجرای برنامه P تحت هر کدام از دو کامپایلر ۱ و ۲ روی کدام ماشین عملکرد بهتری دارد؟

ب- میانگین CPI برنامه P را وقتی تحت هر یک از دو کامپایلر روی هر کدام از دو پردازنده اجرا می‌شود حساب کنید.
ج- هنگام اجرای برنامه P تحت کامپایلر اول، کدام یک از دو پردازنده و به چه مقداری کارایی بهتری دارد؟ آیا نتیجه به دست آمده با استدلالی که در بند الف دادید، همسو است؟
د- هنگام اجرای برنامه P تحت کامپایلر دوم، کدام یک از دو پردازنده و به چه مقداری کارایی بهتری دارد؟ آیا نتیجه به دست آمده با استدلالی که در بند الف دادید، همسو است؟
ه) اگر بتوانیم سرعت اجرای یکی از دستورات پایه را در پردازنده A به میزان دلخواه بهبود دهیم، با فرض بدون تغییر ماندن فرکانس پردازنده و اجرای برنامه تحت کامپایلر دوم، حداکثر بهبود حاصل در بهره‌وری را محاسبه کنید. (اجرای دستورات پایه حداقل یک چرخه زمان می‌برد).

پاسخ:

الف) همان‌طور که از جدول مشخص است CPI مربوط به دستورات لود و استور برای هر دو ماشین A و B با هم برابر می‌باشند. همچنین CPI مربوط به دستورات ALU در ماشین A به اندازه ۱ واحد کمتر از ماشین B می‌باشد ولی CPI دستورات پرش در ماشین A به شدت بیشتر از ماشین B می‌باشد.
در زمان اجرای برنامه تحت کامپایلر ۱ به دلیل که عمده دستورات، دستورات ALU هستند و تعداد کمی از دستورات، دستورات مربوط به پرش می‌باشند بنابراین نمی‌توان بدون انجام محاسبات استدلالی را انجام داد.
اما در زمان اجرای برنامه تحت کامپایلر ۲ به دلیل اینکه بخش قابل توجهی از دستورات را دستورات پرش تشکیل می‌دهند و در این دستورات CPI ماشین A به میزان بسیار زیادی بزرگ‌تر از CPI ماشین B می‌باشد بنابراین انتظار داریم که در این حالت ماشین B عملکرد بهتری داشته باشد.

ب) ابتدا فرض می‌کنیم که برنامه تحت کامپایلر نخست اجرا می‌شود. در این صورت داریم:

$$CPI_A = 0.32 * 8 + 0.56 * 3 + 0.12 * 7 = 5.08$$

$$CPI_B = 0.32 * 8 + 0.56 * 4 + 0.12 * 2 = 5.04$$

حال فرض می‌کنیم که برنامه تحت کامپایلر دوم اجرا می‌شود. در این صورت داریم:

$$CPI_A = 0.08 * 8 + 0.52 * 3 + 0.4 * 7 = 5$$

$$CPI_B = 0.08 * 8 + 0.52 * 4 + 0.4 * 2 = 3.52$$

ج) اگر تعداد دستورات را برای اجرای برنامه تحت کامپایلر ۱، x در نظر بگیریم، خواهیم داشت:

$$CPU\ time = \frac{(CPI * \#instructions)}{clock\ rate} \Rightarrow \begin{cases} time_A = \frac{5.08 * x}{1 * 10^9} = 5.08x\ ns \\ time_B = \frac{5.04 * x}{0.8 * 10^9} = 6.3x\ ns \end{cases}$$

بنابراین در این حالت زمان اجرای برنامه روی ماشین A تقریباً ۰.۸ زمان اجرای برنامه روی ماشین B می‌باشد. پس در این حالت ماشین A و به میزان ۲۰ درصد کارایی بهتری خواهد داشت.

د) اگر تعداد دستورات را برای اجرای برنامه تحت کامپایلر ۲، x در نظر بگیریم، خواهیم داشت:

$$CPU\ time = \frac{(CPI * \#instructions)}{clock\ rate} \Rightarrow \begin{cases} time_A = \frac{5 * x}{1 * 10^9} = 5x\ ns \\ time_B = \frac{3.52 * x}{0.8 * 10^9} = 4.4x\ ns \end{cases}$$

بنابراین در این حالت زمان اجرای برنامه روی ماشین B تقریباً ۰.۸۸٪ زمان اجرای برنامه روی ماشین A می‌باشد. پس در این حالت ماشین B و به میزان ۱۲ درصد کارایی بهتری خواهد داشت.

ه) از آن‌جا که در ماشین A دستورات پرش CPI بسیار بالایی دارند و هم‌چنین با توجه به آن که تعداد بسیار زیادی از دستورات در هنگام اجرای برنامه تحت کامپایلر دوم، دستورات پرش هستند پس حداکثر بهره‌وری زمانی حاصل می‌شود که CPI مربوط به دستورات پرش را در ماشین A برابر ۱ قرار دهیم. در این صورت داریم:

$$CPI'_A = 0.08 * 8 + 0.52 * 3 + 0.4 * 1 = 2.6$$

$$CPU\ time' = \frac{(CPI * \#instructions)}{clock\ rate} \Rightarrow time_A = \frac{2.6x}{1 * 10^9} = 2.6x\ ns$$

بنابراین میزان بهبود حاصل شده برابر است با:

$$1 - \frac{CPU\ time'}{CPU\ time} = 1 - \frac{2.6}{5} = 0.48$$

پس در این حالت ۴۸ درصد بهبود حاصل می‌شود.

۳- (۸ نمره) در یک پردازنده واکنشی هر دستور ۲ پالس ساعت و اجرای هر دستور ۴ پالس ساعت طول می‌کشد. این پردازنده با فرکانس ۱۰۰ مگاهرتز کار می‌کند. سه راه برای تغییر عملکرد این پردازنده پیشنهاد شده است. این راه‌ها را بر اساس زمان اجرا با یکدیگر مقایسه کنید.

الف) انجام واکنشی در ۱ پالس ساعت. در این صورت فرکانس پردازنده به ۷۵ مگاهرتز کاهش می‌یابد.

ب) اجرای دستورات در ۳ پالس ساعت. در این صورت فرکانس پردازنده به ۹۰ مگاهرتز کاهش می‌یابد.

ج) انجام واکنشی در ۳ پالس ساعت و اجرای دستورات در ۵ پالس ساعت. در این صورت فرکانس پردازنده به ۱۵۰ مگاهرتز افزایش می‌یابد.

پاسخ: با فرض اینکه I بیانگر تعداد دستورات باشد، و در نظر گرفتن اینکه CPI برای هر دستور، برابر زمان لازم برای واکنشی و اجرای آن است، زمان اجرا را برای سه پردازنده محاسبه می‌کنیم.

$$T_{ex} = \frac{CPI \times I}{CPU\ Clock\ Rate}$$

$$T_{exA} = \frac{(1 + 4) \times I}{75 \times 10^6} = 0.067\ \mu s$$

$$T_{exB} = \frac{(2 + 3) \times I}{90 \times 10^6} = 0.056\ \mu s$$

$$T_{exC} = \frac{(3 + 5) \times I}{150 \times 10^6} = 0.053\ \mu s$$

۴- (۵ نمره) یک مجموعه محک (benchmark) از پنج برنامه تشکیل شده است. با توجه به زمان اجرای هر برنامه، عملکرد پردازنده‌های A و B را به کمک SPECratio با هم مقایسه کنید.

Program	Reference Time (s)	CPU A Runtime (s)	CPU B Runtime (s)
Prog1	7634	743	1024
Prog2	543	51	113
Prog3	2561	2003	1381
Prog4	400	219	12
Prog5	1210	47	121

پاسخ:

برای مقایسه دو کامپیوتر، ابتدا مقدار SPECratio ها برای هر برنامه را حساب می کنیم. داریم:

$$SPECratio_A = \frac{ExecutionTime_{reference}}{ExecutionTime_A}$$

$$MeanSPECratio_A = \sqrt[5]{\prod_{i=1}^5 \frac{ExecutionTime_{reference}(i)}{ExecutionTime_A(i)}} = \sqrt[5]{\frac{7634}{743} \times \frac{543}{51} \times \frac{2561}{2003} \times \frac{400}{219} \times \frac{1210}{47}} = 5.802$$

$$MeanSPECratio_B = \sqrt[5]{\prod_{i=1}^5 \frac{ExecutionTime_{reference}(i)}{ExecutionTime_B(i)}} = \sqrt[5]{\frac{7634}{1024} \times \frac{543}{113} \times \frac{2561}{1381} \times \frac{400}{12} \times \frac{1210}{121}} = 7.397$$

$$\frac{Performance_A}{Performance_B} = \frac{MeanSPECratio_A}{MeanSPECratio_B} = \frac{5.802}{7.397} \approx 0.785$$

با مقایسه SPECratio ها می توانیم نتیجه گیری کنیم که عملکرد کلی B از A بهتر است.

۵- (۱۵ نمره) یک پردازنده جدید در حال ساخت است. نرخ ساعت این پردازنده ۲۰۰ مگاهرتز است. اجرای یک برنامه محک (benchmark) با مشخصات زیر ۱۱ ثانیه طول می کشد.

Instruction Type	Frequency	Cycles
Loads & Stores	30%	6
Arithmetic instructions	50%	4
All Others	20%	3

الف- میانگین CPI این برنامه را محاسبه کنید.

ب- متخصصی داریم که می گوید اگر تعداد ثباتها را دو برابر کنیم، کامپایلر می تواند کدی تولید کند که در آن تعداد دستورات load و store نصف می شود، بدون این که تعداد سایر انواع دستورات تغییر کند. میانگین CPI را در این شرایط حساب کنید.

ج- به دلایل مختلف، دو برابر کردن تعداد ثباتها باعث می شود چرخه ساعت (cycle time) این پردازنده ۲۰٪ افزایش یابد. در این صورت نرخ ساعت (clock rate) چند مگاهرتز خواهد شد؟

د- با توجه به بندهای ب و ج، زمان اجرای این برنامه محک را در شرایط جدید (دو برابر شدن تعداد ثباتها) محاسبه و با زمان اجرا پیش از این تغییر مقایسه کنید.

و- کمیت MIPS (Million Instructions Per Second) را در دو حالت پیش و پس از افزایش ثباتها محاسبه و با هم مقایسه کنید.

ه- نتایج بندهای د و و را تحلیل کنید.

پاسخ:

الف-

$$CPI = (0.30 * 6) + (0.50 * 4) + (0.20 * 3) = 4.4 \text{ clock per instruction}$$

ب- اگر تعداد دستورات load و store نصف شود، معادل این است که از هر ۱۰۰ دستور، به جای ۳۰ دستور load و store، تنها ۱۵ دستور load و store داشته باشیم. بنابراین CPI جدید را می توانیم این طور محاسبه کنیم:

$$CPI = ((15 * 6) + (50 * 4) + (20 * 3)) / 85 = 4.12 \text{ clock per instruction}$$

ج-

$$Clock \text{ Time} = 1 / Cycle \text{ Time} \Rightarrow Cycle \text{ Time} = 1 / Clock \text{ Time}$$

داشتیم که نرخ ساعت برابر با ۲۰۰ مگاهرتز است:

$$Cycle \text{ Time} = 1 / (200 * 10^6) = 5 * 10^{-9}$$

می دانیم که چرخه ساعت به اندازه ۲۰ درصد افزایش پیدا کرده است:

$$New \text{ Cycle Time} = (5 * 10^{-9}) * 1.2 = 6 * 10^{-9}$$

$$New \text{ Clock Rate} = 1 / (6 * 10^{-9}) = 166.667 * 10^6 \text{ or } 166.667 \text{ MHz}$$

د- با توجه به رابطه زیر تعداد دستورات در ۱۱ ثانیه را به دست می آوریم:

$$\text{CPU seconds} = (\text{Number of instructions} * \text{Number of Clocks per instructions}) / \text{Clock Rate}$$

$$\text{MIPS1} = (11 * 200 * 10^6) / 4.4 = 500 * 10^6 \text{ instructions in 11 seconds}$$

می دانیم ۳۰ درصد این دستورات از نوع load و store است و با افزایش تعداد ثبات ها، تعداد آنها نصف می شود. پس تعداد دستورات در حالت دوم ۸۵ درصد تعداد آنها در حالت اول خواهد بود:

$$\text{New Number of Instructions} = 500 \times 10^6 \times 0.85 = 425 \times 10^6$$

با جاگذاری در رابطه اولیه مربوط به زمان اجرا داریم:

$$\text{New CPU seconds} = ((425 * 10^6) * 4.12) / (166.667 * 10^6) = 10.5 \text{ seconds}$$

می بینیم که زمان اجرا نسبت به حالت اول که ۱۱ ثانیه بود کم شده است.

و-

$$\text{MIPS} = \text{Clock rate} / (\text{CPI} * 10^6)$$

در حالت اولیه Clock Rate برابر با 200 MHz بود پس برای MIPS داریم :

$$\text{MIPS1} = (200 * 10^6) / (4.4 * 10^6) = 45.454545$$

در حالت پس از افزایش ثبات داریم که Clock rate برابر با 166.667 MHz و CPI برابر با 4.12 است پس برای MIPS در این حالت داریم :

$$\text{MIPS2} = (166.667 * 10^6) / (4.12 * 10^6) = 40.4532$$

مشاهده میشود که میزان MIPS در حالت دوم نسبت به حالت اولیه نیز کاهش پیدا کرده است.

ه- می بینیم با این که MIPS در حالت اول بیش از حالت دوم است، زمان اجرای برنامه بیش از حالت دوم طول می کشد.