دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی برق

ساختار کامپیوتر و ریزپردازنده و آزمایشگاه

نیمسال دوم ۹۳-۹۴

آزمایش شماره ۳

شبیه‌ساز اسمبلی *MIPS*

تهیه کننده:

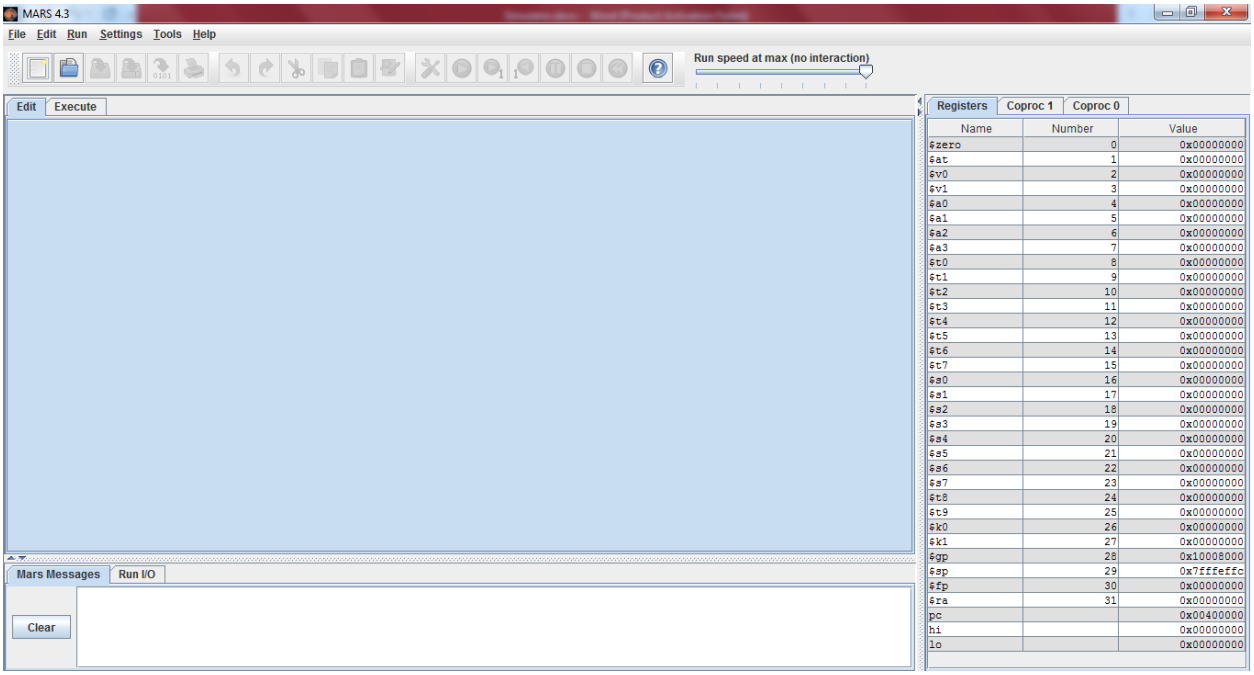
سید مهدی حسینی

در این آزمایش قصد داریم شما را با محیط یکی از شبیه‌سازهای پردازنده‌های مبتنی بر معماری *MIPS* آشنا کنیم. نرم‌افزاری که برای این کار انتخاب شده است، شبیه‌ساز *MARS* است که توسط محققین دانشگاه *"Missouri State University"* و بر اساس کتاب *"Computer Organization and Design"* طراحی و ارتقا داده شده است. در ابتدا با محیط این نرم افزار آشنا می‌شویم، سپس چند کد اسمبلی *MIPS* را به کمک آن شبیه‌سازی می‌کنیم.

۱- شبیه ساز *MARS*:

برای اینکه بتوانید این شبیه‌ساز را بر روی سیستم خود اجرا کنید در ابتدا لازم است که نرم‌افزار *"JAVA Runtime"* را بر روی سیستم خود نصب کرده باشد (فایل‌های نصب نسخه ۳۲ و ۶۴ بیتی *JAVA Runtime* بر روی لوح فشرده‌ای که در اختیارتان قرار گرفته موجود است). سپس کافی است که بر روی فایل *Mars4_3.jar* دبل کلیک کنید (دقت کنید که پسوند این فایل *jar* است و نباید از حالت فشرده خارج شود).

پس از اجرا پنجره‌ای به شکل زیر باز می‌شود:

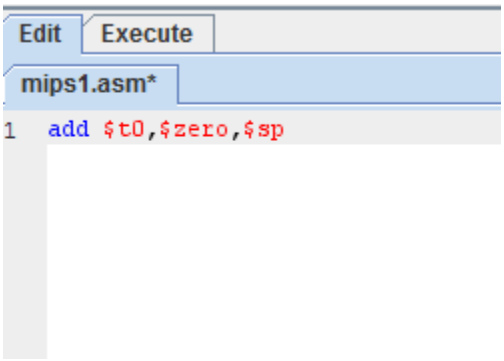


رجیسترها:

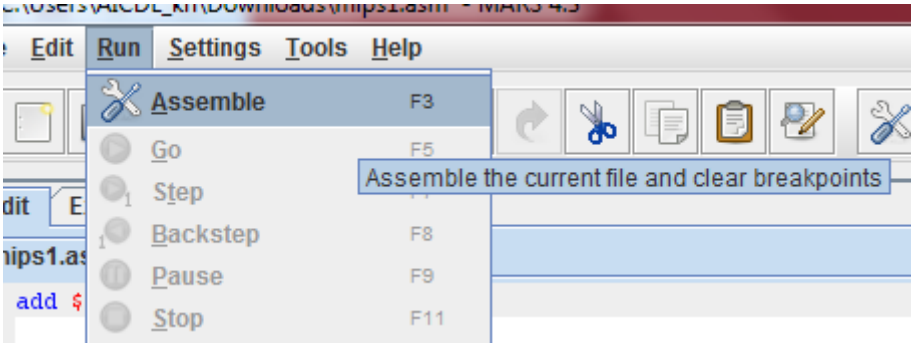
در قسمت سمت راست رجیسترهای پردازنده قرار گرفته‌اند که دارای سه بخش رجیسترهای عمومی، رجیسترهای ممیز شناور و رجیسترهای مربوط به رسیدگی به حالات استثنا قرار دارند که به ترتیب با نام‌های *Registers*، *Coproc1* و *Coproc0* مشخص شده‌اند. در هر بخش نام اسمبلی رجیستر (مانند $a0)، آدرس رجیستر(مانند 4) و محتوای کنونی آن(مانند 0x00000000) قرار دارد. در این قسمت می‌توان با دبل کلیک بر روی محتوای هر رجیستر مقدار آن را تغییر داد.

محیط ویرایشگر:

قسمت آبی‌رنگ محیط ویرایشگر را نشان می‌دهد، این قسمت دارای دو زیر بخش *Edit* و *Execute* است که از بخش *Edit* آن برای نوشتن کد اسمبلی و اصلاح آن استفاده می‌کنیم. برای ایجاد یک فایل اسمبلی جدید از منوی *File* گزینه *New* را انتخاب کنید. همانطور که مشاهده می‌کنید یک فایل جدید به نام mips1 و با پسوند asm. باز می‌شود که قرار است کد اسمبلی را در آن بنویسیم:

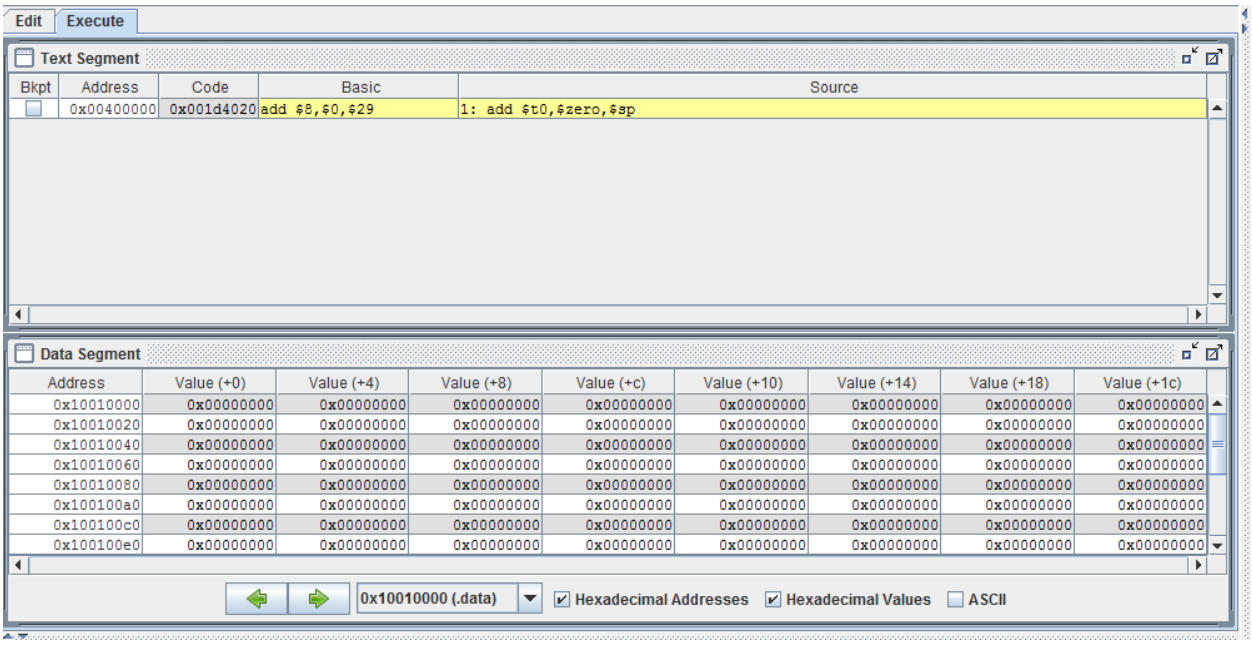


فراموش نکنید پس از نوشتن کد، فایل ایجاد شده را ذخیره کنید. برای مثال، در شکل بالا یک خط کد اسمبلی نوشته شده است که محتوای رجیستر $sp را به وسیله جمع با رجیستر صفر به رجیستر $t0 منتقل می‌کند. همانطور که مشاهده می‌کنید در کد بالا ما از نام‌های قراردادی رجیسترها (مانند $sp) استفاده کرده‌ایم که برای پردازنده نامفهوم است چرا که پردازنده رجیسترها را با آدرسشان می‌شناسد، همچنین موارد دیگری همچون نشانه‌گذاری حلقه‌ها، وارد کردن اعداد ثابت به شکل ده دهی، استفاده از دستوراتی که در مجموعه دستورات پردازنده وجود ندارد!! (که با نام *Pseudo assembly* شناخته می‌شوند) و ... که برای راحتی اسمبلر ایجاد شده‌اند باعث می‌شود که نیاز به ترجمه کد اسمبلی به زبان اسمبلی قابل فهم برای پردازنده و کد ماشین متناظر با آن باشد. این ترجمه را نرم افزار شبیه‌ساز برای ما انجام می‌دهد. برای این کار از منوی *Run* گزینه *Assemble* را انتخاب می‌کنیم:



در این مرحله اگر کد نوشته شده *Error* نداشته باشد، به زبان اسمبلی نهایی ترجمه شده و در زیر بخش *Execute* نمایش داده می‌شود. در صورتی که کد شما خطا داشته باشد در پنجره *MARS Messages* شماره خط مربوط به خطا و توضیحاتی در رابطه با علت آن نمایش داده می‌شود.

محیط *Execute* به صورت زیر است:

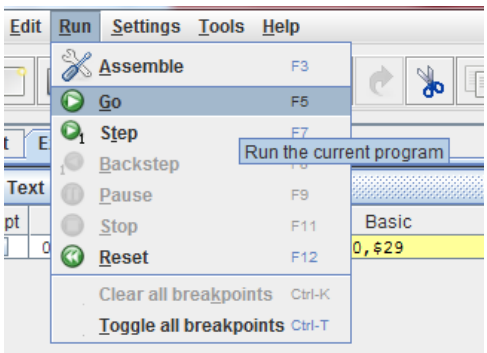


در بخش بالایی کد ترجمه شده شما قرار دارد. همانطور که مشاهده می‌کنید در اینجا رجیسترها با آدرس معادلشان جایگذاری شده‌اند و کد اسمبلی نهایی نوشته شده است(*Basic*) و کد ماشین متناظر با آن‌ها نیز تولید شده است(*Code*). بخش *Address* محل ذخیره شدن دستورالعمل در حافظه را نشان می‌دهد و بخش *Source* کد نوشته شده توسط شما را مشخص می‌کند تا متوجه شوید که این دستورالعمل به طور دقیق متناظر با کدام بخش از کد شماست.

در قسمت پایین محتوای حافظه نمایش داده شده است که در اینجا نیز با دبل کلیک بر روی هر بخش می‌توانید مقدار درون هر خانه از حافظه را جهت انجام شبیه‌سازی تغییر دهید.

اجرای کد:

حال می خواهیم کد ترجمه شده را اجرا کنیم. برای این کار از منوی *Run* گزینه *Go* را انتخاب می‌کنیم.



این گزینه تمام کد را اجرا می‌کند. گزینه *Step* فقط دستورالعمل بعد را اجرا می‌کند و گزینه *Reset* نیز به تبع تمام شبیه‌سازی را ریست می‌کند.

پس از انتخاب *Go* می‌توانیم نتیجه کار را در محتوای رجیسترها مشاهده کنیم.

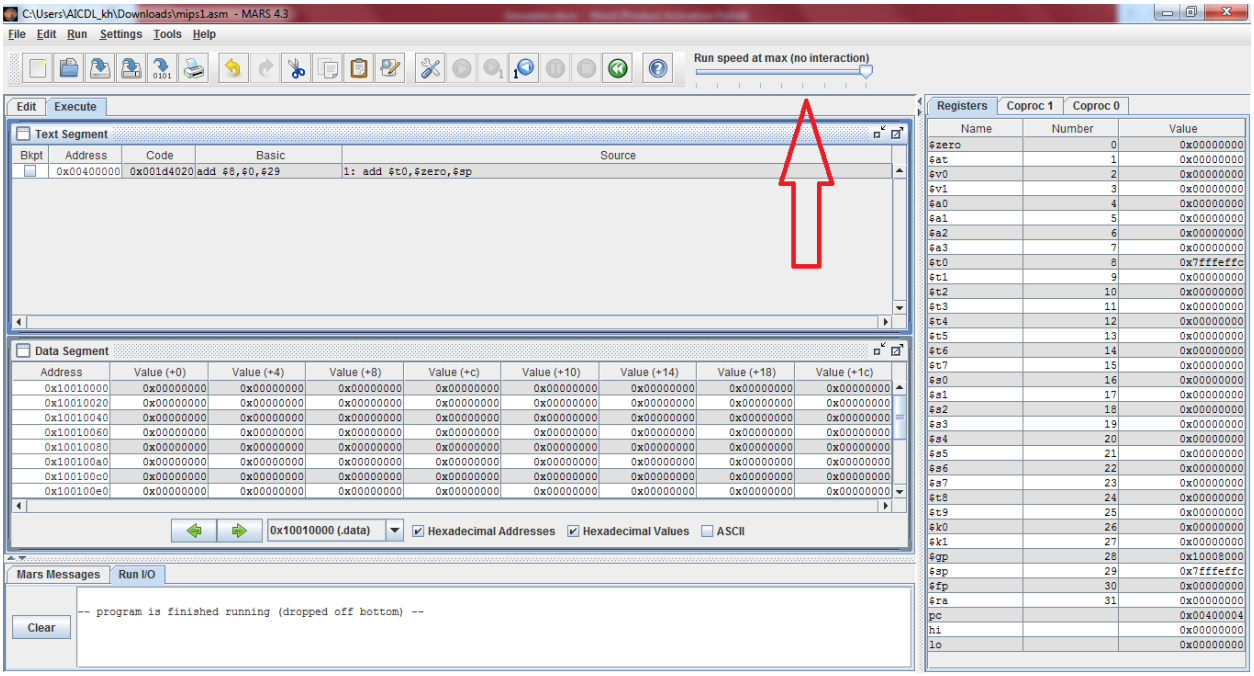
Registers | Coproc 1 | Coproc 0

Name	Number	Value
$zero	0	0x00000000
$at	1	0x00000000
$v0	2	0x00000000
$v1	3	0x00000000
$a0	4	0x00000000
$a1	5	0x00000000
$a2	6	0x00000000
$a3	7	0x00000000
$t0	8	0x7fffeffc
$t1	9	0x00000000

همانطور که انتظار داشتیم محتوای رجیستر $sp که مقدار 0x7fffeffc بود درون رجیستر $t0 قرار گرفته است.

:Run Speed

مثال بالا یک کد ساده یک خطی بود اما در موارد پیچیده‌تر، معمولا علاقه‌مندیم که نتیجه اجرای خط به خط برنامه را ببینیم. شبیه ساز *MARS* گزینه‌ای را در اختیار ما قرار می‌دهد که به وسیله آن می‌توانیم انتخاب کنیم که سرعت اجرای خط به خط کد چه مقدار باشد تا به وسیله آن بتوانیم اجرا شدن خط به خط کد و نتایج حاصل از آن را مشاهده کنیم. این مشخصه توسط گزینه‌ی زیر قابل تنظیم است:



البته برای بررسی دقیق‌تر می‌توانید در زمان اجرا از گزینه *Step* استفاده کنید تا خودتان کد را خط به خط اجرا کنید.

- برای آشنایی بیشتر با شبیه‌ساز MARS می‌توانید به سایت توسعه‌دهندگان این نرم افزار مراجعه کنید:

http://courses.missouristate.edu/KenVollmar/MARS/index.htm

۲- یک مثال ساده

در این مثال قصد داریم برنامه‌ای را به زبان اسمبلی بنویسیم که دو عدد بدون علامت ۶۴ بیتی(!) را به وسیله دستورالعمل‌های ۳۲ بیتی *MIPS* با یکدیگر جمع کند و حاصل را درون دو رجیستر ۳۲ بیتی ذخیره کند. فرض کنید این اعداد مقادیر زیر را داشته باشند:

A=0x0154A8D0,EEE94560

B=0x0000102A,18002E00

می‌بایست حاصل برابر با S=0x0154B8FB06E97360 شود.

واضح است که به دلیل ۳۲ بیتی بودن پردازنده تمام دستورالعمل‌ها و رجیسترها ۳۲ بیتی است!

حل:

در ابتدا بایستی به وسیله دو دستور ori و lui مقادیر A و B را درون ۴ رجیستر قرار دهیم:

Edit | Execute

64bit_Add_Unsigned

```
1  lui $t0,0xeee9
2  ori $t0,$t0,0x4560
3  lui $t1,0x0154
4  ori $t1,$t1,0xa8d0
5  lui $t2,0x1800
6  ori $t2,$t2,0x2e00
7  lui $t3,0x0000
8  ori $t3,$t3,0x102A
```

حال مقادیر عددی که دارای ارزش یکسان هستند را با یکدیگر جمع می‌کنیم، به عبارت دیگر ۳۲ بیت کم‌ارزش A با ۳۲ بیت کم‌ارزش B جمع می‌شود و همینطور ۳۲ بیت پرارزش(باید توجه داشت که جمع از نوع بدون علامت است):

```
9  addu $t4,$t0,$t2
10 addu $t5,$t1,$t3
```

اما اشکال کار اینجاست که جمع ۳۲ بیت کم ارزش ممکن است در بعضی موارد یک رقم نقلی تولید کند که در این صورت لازم است که نتیجه حاصل از جمع ۳۲ بیت‌های پرارزش به علاوه یک شود. در اینجا از این خاصیت استفاده می‌کنیم که "در صورت تولید رقم نقلی حاصل جمع از هر دو عدد ورودی کوچکتر است" (صحت این جمله را یک بار برای خودتان بررسی کنید). درنتیجه

کافی است حاصل جمع کم‌ارزش را با یکی از دو ورودی مقایسه کنیم و در صورتی که حاصل جمع کوچکتر بود، حاصل جمع پرارزش را با عدد یک جمع کنیم:

```
11  sltu $t6,$t4,$t0
12  addu $t5,$t5,$t6
```

توجه کنید که اگر مقدار حاصل، از مقدار ورودی کمتر باشد دستور sltu رجیستر $t6 را یک می‌کند در غیر این صورت آن را برابر صفر قرار می‌دهد. درنتیجه، در انتها کافی است حاصل جمع پرارزش را با $t6 جمع کنیم تا حاصل نهایی جمع در دو رجیستر {$t5,$t4} قرار بگیرد.

حال کد را اسمبل و اجرا می‌کنیم و محتوای رجیسترها را مشاهده می‌کنیم:

Registers | Coproc 1 | Coproc 0

Name	Number	Value
$zero	0	0x00000000
$at	1	0x00000000
$v0	2	0x00000000
$v1	3	0x00000000
$a0	4	0x00000000
$a1	5	0x00000000
$a2	6	0x00000000
$a3	7	0x00000000
$t0	8	0xeee94560
$t1	9	0x0154a8d0
$t2	10	0x18002e00
$t3	11	0x0000102a
$t4	12	0x06e97360
$t5	13	0x0154b8fb
$t6	14	0x00000001
$t7	15	0x00000000
$s0	16	0x00000000

نتیجه همان شد که انتظار آن را داشتیم. (کد اسمبلی این مثال در سامانه *cw* قرار داده شده است.)

۳- سوال شماره ۱

الف – مثال بالا را به گونه‌ای تغییر دهید که در ابتدا دو عدد ورودی را از خانه‌های حافظه به آدرس 0x10010000 برای ۳۲ بیت کم‌ارزش A، 0x10010004 برای ۳۲ بیت پرارزش A، 0x10010008 برای ۳۲ بیت کم‌ارزش B و 0x1001000C برای ۳۲ بیت پرارزش B بخواند و حاصل را در آدرس‌های 0x10010010 و 0x10010014 به ترتیب برای ۳۲ بیت کم ارزش و پرارزش قرار دهد. دقت کنید که این‌بار جمع را با فرض علامتدار بودن دو عدد ورودی انجام دهید.

ب – سپس کد را به گونه‌ای تغییر دهید که به جای عملیات جمع، عملیات تفریق بر روی دو عدد صورت گیرد.

(در صورت بروز *Overflow* پردازنده *MIPS* یک *Exception* تولید خواهد کرد و روال اجرای برنامه قطع شده و رجیسترهای *Coproc0* مقدار دهی خواهند شد. (یک *PDF* آموزشی جهت آشنایی با عملکرد این چهار رجسیتر بر روی سامانه *cw* قرار داده شده است که در صورت لزوم می‌توانید به آن مراجعه کنید).

۴- سوال شماره ۲

در این بخش به جای انجام جمع علامتدار، دو عدد ورودی را در هم ضرب بدون علامت کرده و حاصل ۱۲۸ بیتی را در خانه‌های حافظه به ترتیب از آدرس 0x10010010 تا 0x1001001C قرار دهید.

۵- سوال شماره ۳

در این قسمت فرض کنید دو عدد ۳۲ بیتی در خانه‌های حافظه به آدرس 0x10010000 و 0x10010004 قرار دارند که محتوای این خانه‌ها نمایشگر دو عدد ممیز شناور در قالب استاندارد IEEE754 است. می‌خواهیم به وسیله دستورات مربوط به اعداد صحیح این دو عدد را با یکدیگر مقایسه کنیم و عدد بزرگتر را در خانه حافظه به آدرس 0x10010000 و عدد کوچکتر را در خانه 0x10010004 قرار دهیم. (دقت کنید که به هیچ وجه مجاز به استفاده از دستورالعمل‌ها و رجیسترهای مربوط به اعداد ممیز شناور نخواهید بود.)

۶- پروژه‌های اختیاری

الف – همانطور که می‌دانید در معماری *MIPS* زمانی که می‌خواهیم یک تابع را فراخوانی کنیم آرگومان‌های ورودی را به ترتیب در رجیسترهای $a0 تا $a3 قرار می‌دهیم و آدرس برگشت را نیز در رجیستر $ra ذخیره می‌کنیم؛ در انتها پس از اجرای تابع نیز حاصل بازگشتی را به ترتیب در رجیسترهای $v0 و $v1 قرار می‌دهیم (رجیستر $v1 زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مقدار بازگشتی ۶۴ بیتی باشد) و همچنین پس از آن به آدرس بازگشت پرش می‌کنیم.

در این پروژه قصد داریم تابعی را پیاده‌سازی کنیم که یک عدد (n) را به عنوان ورودی دریافت کند و عدد متناظر با آن در دنباله فیبوناچی (F) را به عنوان خروجی برگرداند. فرض کنید مقدار n در رجیستر $a0 موجود است و آدرس بازگشت در رجیستر $ra ذخیره شده است. شما بایستی F متناظر را در رجیستر $v0 قرار دهید و به آدرس بازگشت پرش کنید. برای جلوگیری از سرریز فرض کنید : 0<n<48

ب – تابعی را پیاده‌سازی کنید که بتواند تاریخ شمسی و میلادی را به یکدیگر تبدیل کند. ورودی‌های تابع روز، ماه، سال و شمسی یا میلادی بودن تاریخ ورودی است و خروجی روز، ماه و سال متناظر با ورودی خواهد بود.

ج – تابعی را پیاده‌سازی کنید که یک تاریخ شمسی را به عنوان ورودی دریافت کند و تعداد روزهای سپری شده از تاریخ اول فروردین ۱۳۰۰ تا آن روز را به عنوان خروجی برگرداند. دقت کنید که سال‌های کبیسه نیز بایستی مدنظر گرفته شوند. (به طور مثال خروجی تابع برای دوم فروردین ۱۳۰۰ یک خواهد بود!)

د – تابعی را پیاده‌سازی کنید که ۳۲ بیت را به عنوان ورودی دریافت کند، که این ۳۲ بیت نمایشگر ۸ رقم BCD است؛ سپس معادل باینری آن را به عنوان خروجی برگرداند.

ه – همانند سوال بالا، اما این بار ورودی ۳۲ بیت نمایشگر یک عدد ۳۲ بیتی باینری است و تابع شما بایستی معادل BCD آن را برگرداند. (دقت کنید که اعدادی مانند 0xffffffff نیز بایستی بتوانند به عنوان ورودی به تابع داده شوند.)

و – در صورتی که علاقه‌مند باشید می‌توانید با هماهنگی با یکی از دستیاران آموزشی، توابعی همانند توابع بالا (حتی پیچیده‌تر) با استفاده از خلاقیت خودتان تعریف کنید و آن را پیاده‌سازی کنید و از نمره اضافه به دست آورده لذت ببرید. ☺

توجه ۱ : در تمامی سوالات و پروژه‌های اختیاری بهینه بودن کد نیز در کنار عملکرد صحیح تابع، مورد بررسی و ارزشیابی قرار خواهد گرفت.

توجه ۲ : در تمامی سوالات بالا دانشجویان به هیچ وجه مجاز به استفاده از دستورات *Pseudo assembly* نیستند و تمامی دستورات بایستی جزئی از *ISA* مربوط به *MIPS* ۳۲ بیتی باشد. (*Pseudo assembly* دستوراتی است که در *ISA* وجود ندارند و برای راحتی اسمبلر اضافه شده‌اند و در نهایت به دستورات موجود در *ISA* ترجمه می‌شوند. برای مثال دستور *move* در *MIPS ISA* وجود ندارد و به وسیله جمع با رجیستر صفر انجام می‌شود، برای فهم بیشتر از دستور *move* در محیط *edit* استفاده کنید و ترجمه آن را در محیط *Execute* مشاده کنید.) برای این که مطمئن شوید دستوراتی که نوشته‌اید *Pseudo assembly* نیست از منوی *settings* گزینه *Permit extended (pseudo) instruction and formats* را غیرفعال کنید. در این صورت استفاده از دستورات *Pseudo assembly* باعث ایجاد خطا خواهد شد.