

به نام خدا

وزارت آموزش و پرورش  
باشگاه دانش‌پژوهان جوان

مدت آزمون: ۴/۵ ساعت

سوال ۱ ..... ۸ امتیاز

می‌خواهیم با استفاده از  $\frac{n^2 - (n-2)^2}{4}$  عدد آجر  $1 \times 1 \times 2$  شکل پوسته‌ی خارجی یک مکعب  $n \times n \times n$  را بسازیم. (منظور از پوسته‌ی خارجی مکعب  $n \times n \times n$ ، یک مکعب  $n \times n \times n$  است که یک مکعب  $(n-2) \times (n-2) \times (n-2)$  از وسط آن برداشته شده است.) ثابت کنید که این کار تنها وقتی امکان پذیر است که  $n$  عددی زوج باشد.

سوال ۲ ..... ۱۰ امتیاز

فرض کنید یک ماشین در اختیار داریم که می‌تواند این سه کار را بر روی کارت‌هایی که بر روی هر یک از آنها یک کلمه نوشته شده است انجام دهد:

- دو کارت که بر روی آنها دو کلمه نوشته شده است را بگیرد و یک کارت تولید کند که بر روی آن این دو کلمه پشت سر هم نوشته شده‌اند. (برای مثال اگر بر روی کارت اول رشته‌ی  $aab$  و بر روی کارت دوم رشته‌ی  $bab$  نوشته شده باشد، خروجی ماشین کارتی خواهد بود که بر روی آن  $aabbab$  نوشته شده است.)
- یک کارت که بر روی آن کلمه‌ی  $S$  نوشته شده است را دریافت کند و در خروجی کارتی ایجاد کند که بر روی آن  $aSb$  نوشته شده است. (برای مثال

اگر بر روی کارت ورودی کلمه‌ی  $aba$  نوشته شده باشد، خروجی ماشین کارتی خواهد بود که بر روی آن کلمه‌ی  $aabab$  نوشته شده است.

• یک کارت که بر روی آن کلمه‌ی  $S$  نوشته شده است را دریافت کند و در خروجی کارت‌ی ایجاد کند که بر روی آن  $bSa$  نوشته شده است. (برای مثال اگر بر روی کارت ورودی هیچ کلمه‌ای نوشته نشده باشد، خروجی ماشین کارت‌ی خواهد بود که بر روی آن کلمه‌ی  $ba$  نوشته شده است.)

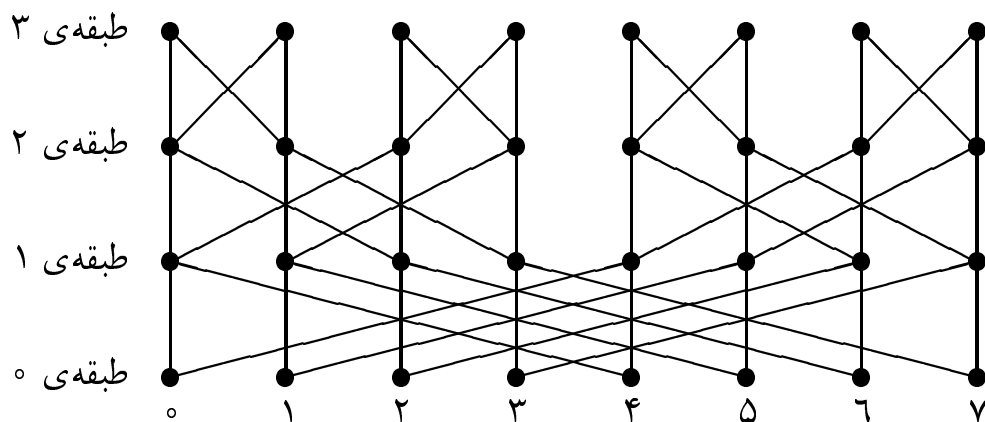
در ابتدا تعداد زیادی کارت که بر روی آنها هیچ کلمه‌ای نوشته نشده است در اختیار ما قرار گرفته است.

(۱) نشان دهید که با استفاده از این کارت‌ها و با این ماشین می‌توان کارت‌ی را ایجاد کرد که بر روی آن کلمه‌ی  $abbaba$  نوشته شده باشد.

(۲) ثابت کنید که با استفاده از این ماشین می‌توان هر کارت‌ی که بر روی آن یک کلمه نوشته شده است را تولید کرد، اگر و فقط اگر این کلمه تنها از  $a$  و  $b$  تشکیل شده باشد و تعداد  $a$  های آن برابر با تعداد  $b$  های آن باشد.

### سوال ۳ ..... ۱۷ امتیاز

یک ساختمان چهار طبقه به شکل عجیبی ساخته شده است. طبقات با شماره‌های صفر (همکف) تا ۳ شماره گذاری شده‌اند. در هر طبقه ۸ اتاق با شماره‌های صفر تا ۷ (به ترتیب از چپ به راست) قرار دارند و در هر یک از اتاق‌های طبقات ۱ تا ۳، یک نفر قرار دارد. اتاق‌ها از طریق کانال‌های «مستقیم» و یا «کج» مطابق شکل زیر به اتاق‌های طبقه‌ی پایین راه دارند.



(۱) فرض کنید که یک توپ در اتاق شماره  $i$  از طبقه  $i$  سوم قرار دارد ( $0 \leq i \leq 7$ ). بر روی این توپ عدد  $j$  نوشته شده است ( $0 \leq j \leq 7$ ). می‌خواهیم این توپ را از طریق کانال‌های موجود به اتاق شماره  $j$  از طبقه  $i$  همکف بفرستیم. این کار توسط افرادی که در اتاق‌ها هستند بدین صورت انجام می‌شود که هر فرد با دریافت توپ و تنها بر اساس شماره‌ی اتاق و شماره‌ی طبقه‌ای که در آن قرار دارد و نیز عدد  $j$  که بر روی توپ نوشته شده است تصمیم می‌گیرد که توپ را از طریق یکی از کانال‌های مستقیم یا کج به اتاق طبقه‌ی پایین ارسال کند (توپ هیچ‌گاه به طبقه‌ی بالا نمی‌رود). مشخص کنید که این افراد بر اساس چه الگوریتمی می‌توانند این کار را انجام دهند. توجه کنید که لازم است کلیه‌ی افراد بر اساس یک الگوریتم واحد تصمیم بگیرند. احتیاج به نوشتن برنامه نیست ولی لازم است که اثبات کنید که الگوریتم شما درست عمل می‌کند.

(۲) ثابت کنید که مسیر توپ در بند فوق برای هر  $i$  و  $j$  یکتاست.

(۳) فرض کنید که  $n$  ( $1 < n \leq 8$ ) عدد توپ در  $n$  اتاق از طبقه  $i$  سوم قرار دارند و از سمت چپ به راست بر روی این توپ‌ها شماره‌های صفر تا  $n - 1$  نوشته شده است. اثبات کنید که اگر افراد موجود در اتاق‌ها همگی بر اساس الگوریتم بند فوق عمل کنند، توپی که بر روی آن شماره  $i$  نوشته شده است در انتها به

اتاق شماره  $i$  در طبقه  $i$  همکف می‌رسد و در این مدت هیچ گاه بیش از یک توپ وارد یک اتاق نمی‌شود.

## سوال ۴ ..... ۲۰ امتیاز

یک ماشین حساب در اختیار داریم که دارای ۴ حافظه است که با شماره‌های ۱ تا ۴ مشخص می‌شوند. هر یک از این حافظه‌ها می‌تواند یک عدد صحیح مثبت را در خود نگهداری کند (محدودیتی در مقدار این عدد وجود ندارد). این ماشین حساب می‌تواند یک برنامه را اجرا کند. هر برنامه شامل تعدادی دستور است که به ترتیب مشخصی قرار گرفته‌اند. این ماشین حساب تنها سه نوع دستور را قبول می‌کند. این سه نوع دستور عبارتند از:

- $I n$  (یک عدد صحیح بین ۱ تا ۴ است.): این دستور به مقدار حافظه  $n$  شماره  $n$  یکی اضافه می‌کند. پس از اجرای این دستور، ماشین حساب دستور بعدی را اجرا می‌کند.
- $D n$  (یک عدد صحیح بین ۱ تا ۴ است.): اگر مقدار حافظه  $n$  شماره  $n$  مساوی صفر باشد، این دستور هیچ کاری انجام نمی‌دهد و پس از آن دستور بعدی اجرا می‌شود. ولی اگر مقدار حافظه  $n$  شماره  $n$  مثبت باشد، این دستور یکی از مقدار حافظه  $n$  شماره  $n$  کم می‌کند و سپس از دستور بعدی صرف نظر کرده و دستور بعد از آن را اجرا می‌کند.
- $T d$  (یک عدد صحیح مثبت یا منفی است.): این دستور به تنهایی کاری انجام نمی‌دهد ولی مقدار  $d$  مشخص می‌کند که چه دستوری پس از این دستور اجرا شود. اگر  $d$  یک عدد منفی باشد، دستوری که  $|d|$  تا قبل از این دستور قرار گرفته است پس از این دستور اجرا می‌شود. به همین صورت اگر  $d$  یک عدد مثبت باشد، دستوری که  $d$  تا بعد از این دستور قرار گرفته است پس از این دستور اجرا می‌شود.

اجرای یک برنامه از دستور اول آن شروع می‌شود و با توجه به شرایط فوق تا وقتی که دستوری که باید اجرا شود وجود داشته باشد، ادامه می‌یابد. برای مثال این برنامه را در نظر بگیرید:

D 2  
T 2  
T -2  
D 1  
T 3  
I 2  
T -3

این برنامه ابتدا حافظه‌ی شماره‌ی ۲ را پاک می‌کند و سپس مقدار حافظه‌ی شماره‌ی ۱ را در حافظه‌ی شماره‌ی ۲ ذخیره می‌کند و مقدار حافظه‌ی شماره‌ی ۱ را مساوی با صفر می‌کند. اجرای برنامه پس از اجرای دستور T 3 تمام می‌شود؛ چون دستوری که باید اجرا شود وجود ندارد.

(۱) برنامه‌ی زیر را در نظر بگیرید:

D 1  
T 6  
D 1  
T 3  
I 2  
T -5  
I 3  
D 2  
T 5  
I 1  
D 2  
T -11  
T -3

اگر مقدار حافظه‌ی شماره‌ی ۱ برابر با ۱۳۷۴ و مقدار بقیه‌ی حافظه‌ها برابر با صفر باشد، پس از اجرای این برنامه این مقادیر به چه صورت خواهند بود؟

(۲) فرض کنید  $a_n$  تعداد اعدادی باشد که از ارقام ۱ و ۲ تشکیل شده‌اند و مجموع ارقام آنها برابر با  $n$  است. برنامه‌ای برای این ماشین حساب بنویسید که مقدار  $a_n$  را محاسبه کند. مقدار  $n$  قبل از اجرای برنامه در حافظه‌ی شماره‌ی ۱ قرار داده می‌شود و مقدار بقیه‌ی حافظه‌ها در ابتدا برابر با صفر است. در انتهای اجرای برنامه مقدار  $a_n$  باید در حافظه‌ی شماره‌ی ۱ ذخیره شده باشد. تعداد دستورهای برنامه‌ی شما نباید از  $30$  بیشتر باشد.

(۳) فرض کنید  $b_n$  تعداد اعدادی باشد که از ارقام ۱ و ۲ و ۳ تشکیل شده‌اند و مجموع ارقام آنها برابر با  $n$  است و همچنین ارقام یکان و دهگان آنها هر دو همزمان یک نیستند. (برای مثال  $b_4 = 5$  است چون تنها عددهای ۳۱ و ۲۲ و ۱۲۱ و ۱۱۲ و ۱۳ وجود دارند که دارای این شرایط هستند.) برنامه‌ای برای این ماشین حساب بنویسید که مقدار  $b_n$  را محاسبه کند. مقدار  $n$  قبل از اجرای برنامه در حافظه‌ی شماره‌ی ۱ قرار داده می‌شود و مقدار بقیه‌ی حافظه‌ها در ابتدا برابر با صفر است. در انتهای اجرای برنامه مقدار  $b_n$  باید در حافظه‌ی شماره‌ی ۱ ذخیره شده باشد.

توجه کنید که در قسمت‌های ۲ و ۳ باید در مورد ایده‌ی برنامه‌ای که می‌نویسید توضیح دهید.