



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی‌تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی کامپیوتر

دستور کار آزمایشگاه مدارهای منطقی

تهییه و تنظیم:

گروه مدرسین

۱۳۹۹ مهر

این دستور کار (دستور کار آزمایشگاه مدارهای منطقی) زیر نظر اساتید محترم آقایان دکتر مرتضی صاحب‌الزمانی و دکتر مهدی صدیقی، توسط گروه مدرسین تهیه شده است.

گروه مدرسین (به ترتیب الفبا):

- ۱ وحید امینی
- ۲ جمیله بهزادی
- ۳ جواد تلافی
- ۴ امیر حاجی‌صادقی
- ۵ سعید سیدفرجی
- ۶ رضا فانی
- ۷ عظیم فرقدان
- ۸ هانیه قاسمی
- ۹ علی محمدپور
- ۱۰ پویا محمودی
- ۱۱ مرضیه هاشمی‌بور

• این نسخه از دستور کار در مهر ماه ۱۳۹۹ زیر نظر اساتید مورد بازبینی قرار گرفته است.

فهرست مطالب

| | |
|---------|---|
| ۳..... | فهرست مطالب |
| ۴..... | فهرست شکل‌ها |
| ۶..... | قوانين آزمایشگاه مدارهای منطقی |
| ۷..... | نکات مهم |
| ۱۰..... | ۱- آشنایی با ابزارهای آزمایشگاه |
| ۲۸..... | ۲- آشنایی با گیت‌های منطقی پایه |
| ۳۲..... | ۳- پیاده‌سازی توابع منطقی با استفاده از جدول کارنو |
| ۳۴..... | ۴- آشنایی با زبان توصیف سخت‌افزار (HDL) |
| ۳۶..... | ۵- آشنایی با مالتی‌پلکسر، انکدر و دیکدر |
| ۳۷..... | ۶- پیاده‌سازی مقایسه کننده به صورت ساختاری |
| ۳۸..... | ۷- پیاده‌سازی جمع کننده-تفریق کننده به صورت ساختاری |
| ۴۰..... | ۸- پیاده‌سازی واحد محاسبه و منطق |
| ۴۲..... | ۹- تحلیل و پیاده‌سازی مدارات ترتیبی |
| ۴۴..... | ۱۰- پیاده‌سازی ماشین حالت |
| ۴۵..... | پیوست ۱: راهنمای پایه‌های تراشه‌ها |
| ۴۶..... | پیوست ۲: روش نوشتن TESTBENCH |
| ۴۸..... | پیوست ۳: مراحل سنتر و بارگذاری کد توصیف سخت‌افزاری روی FPGA |
| ۶۰..... | پیوست ۴: کار با نمایشگر هفت قسمتی |
| ۶۳..... | پیوست ۵: مقسم فرکانسی |

فهرست شکل‌ها

| | |
|----------|---|
| ۱۰ | شکل ۱-۱ نمونه‌هایی از مالتی‌مترهای مرسوم |
| ۱۱ | شکل ۱-۲ تنظیم سلکتور روی اندازه‌گیری ولتاژ مستقیم با مقدار حداقل ۲۰ ولت |
| ۱۱ | شکل ۱-۳ تنظیم سلکتور روی اندازه‌گیری ولتاژ مستقیم برای برخی مالتی‌مترها |
| ۱۲ | شکل ۱-۴ کابل‌های اتصال یک سر فیشی یک سر سوزنی |
| ۱۳ | شکل ۱-۵ تنظیم سلکتور روی تست اتصال با بوق |
| ۱۳ | شکل ۱-۶ یک منبع تغذیه‌ی نوعی |
| ۱۴ | شکل ۱-۷ تنظیم ولتاژ کانال‌های ۱ و ۲ روی ولتاژهای مورد نظر |
| ۱۵ | شکل ۱-۸ کابل‌های دو سر سوسماری |
| ۱۶ | شکل ۱-۹ بردبورد |
| ۱۶ | شکل ۱-۱۰ انواع دیگری از بردبورد |
| ۱۷ | شکل ۱-۱۱ نمونه‌هایی از سوراخ‌های به هم متصل در بردبورد |
| ۱۷ | شکل ۱-۱۲ کل اتصالات یک بردبورد ۳۰ ستونی |
| ۱۸ | شکل ۱-۱۳ نحوه ایجاد اتصالات بردبورد |
| ۱۸ | شکل ۱-۱۴ اتصال دهنده‌های ستون‌های ۵ تایی سوراخ‌ها |
| ۱۹ | شکل ۱-۱۵ نحوه قرار گرفتن یک پایه از قطعات در بین دو نوار با خاصیت فنری |
| ۱۹ | شکل ۱-۱۶ نمونه‌هایی از قرار دادن قطعات در بردبورد |
| ۱۹ | شکل ۱-۱۷ نمونه‌ای از قرار دادن نادرست قطعات روی بردبورد |
| ۲۰ | شکل ۱-۱۸ اتصال ناخواسته‌ی پایه‌ی قطعات به هم |
| ۲۰ | شکل ۱-۱۹ اتصال تغذیه برای قطعات بردبورد |
| ۲۱ | شکل ۱-۲۰ اتصال ریل‌های بالا و پایین بردبورد به هم برای داشتن تغذیه‌ها از هر دو طرف آن |
| ۲۱ | شکل ۱-۲۱ راهی دیگر برای اتصال ریل‌های بالا و پایین تغذیه |
| ۲۲ | شکل ۱-۲۲ بردبوردهایی که ریل‌های تغذیه‌ی از وسط منقطع دارند |
| ۲۲ | شکل ۱-۲۳ دو نوع بردبورد با ریل‌های منقطع (بالا) و پیوسته (پایین) |
| ۲۳ | شکل ۱-۲۴ ایجاد اتصال در وسط ریل‌های تغذیه‌ی بردبوردهایی که ریل‌هایشان از وسط قطع می‌باشند |
| ۲۳ | شکل ۱-۲۵ سیم‌های آماده برای استفاده به منظور ایجاد اتصال بین قطعات |
| ۲۴ | شکل ۱-۲۶ مدار اتصال LED به منبع تغذیه |
| ۲۴ | شکل ۱-۲۷ دو روش اتصال مدار LED در بردبورد |

| | |
|----|---|
| ۲۴ | شکل ۱-۲۸ یک عکس واقعی از بستن مدارهای LED (به دو روش) |
| ۲۵ | شکل ۱-۲۹ تشخیص پایه‌های LED از هم |
| ۲۶ | شکل ۱-۳۰ کدهای مقاومتی |
| ۲۸ | شکل ۲-۱ نمونه‌هایی از تراشه‌های DIP |
| ۲۸ | شکل ۲-۲ نحوه‌ی اتصال تراشه‌های DIP به بردبورد |
| ۲۹ | شکل ۲-۳ بریدگی نیم‌دایره‌ای تراشه‌ها |
| ۲۹ | شکل ۲-۴ علامت فرورفتگی بالای پایه‌ی یک |
| ۲۹ | شکل ۲-۵ اتصال LED به خروجی تراشه‌ها |
| ۳۱ | شکل ۲-۶ یک نمونه مدار |
| ۳۴ | شکل ۴-۱ نوعی مدار افزونگی بیت توازن |

قوانين آزمایشگاه مدارهای منطقی

جهت افزایش کارآیی درس آزمایشگاه مدارهای منطقی، رعایت عدالت بین تمامی گروههای آزمایشگاه و آموزش حداکثری مطالب درس به صورت عملی، مدرسین و دانشجویان ملزم به رعایت نکات و قوانین ذیل هستند:

- ۱- تعداد جلسات در طول نیمسال حداقل ۱۲ جلسه خواهد بود (۱۰ جلسه آزمایش به همراه حداقل ۲ جلسه پرورزه).
- ۲- مدرسین و دانشجویان موظفند رأس ساعت در کلاس حاضر شوند.
- ۳- پس از گذشت پنج دقیقه از شروع کلاس، به ازای هر پنج دقیقه تأخیر ۱۰ درصد نمره آن جلسه کسر می‌شود.
- ۴- حداکثر میزان تاخیر ۳۰ دقیقه است.
- ۵- دانشجویان می‌توانند در طول ترم **حداکثر یک جلسه** غیبت داشته باشند. در صورت غیبت بیش از یک جلسه مطابق قانون، درس و آزمایشگاه آن‌ها حذف غیبت خواهد شد.
- ۶- دانشجویان در صورت غیبت نمی‌توانند در کلاس دیگری شرکت کنند. جهت جبران نمره آزمایشی که دانشجو در آن جلسه غایب بوده است، دانشجو می‌تواند در ساعات خالی آزمایشگاه، آزمایش را انجام دهد. بدیهی است این امر غیبت را حذف نمی‌کند و در صورت غیبت مجدد درس و آزمایشگاه دانشجو حذف غیبت خواهد شد.
- ۷- در صورت غیبت و عدم جبران آن، نمره آن جلسه صفر منظور خواهد شد.
- ۸- اگر دانشجویانی نتوانند در طی یک جلسه آزمایشی را تمام کنند، در طول هفته موظفند تا در ساعات خالی آزمایشگاه، آزمایش را تکمیل کنند و پیش از شروع جلسه بعد نتایج را به مدرس خود تحويل دهند. حداکثر تعداد جلساتی که به درازا کشیده می‌شود ۳ جلسه در طول نیمسال است. دانشجو برای تکمیل آزمایش نمی‌تواند به گروههای دیگر ملحق شود.
- ۹- آزمایش‌ها در گروههای دو نفره انجام می‌شوند و میزان فعالیت اعضای گروه تعیین کننده نمره آن‌ها خواهد بود (در صورت عدم فعالیت یکی از اعضای گروه آن فرد نمره‌ای دریافت نخواهد کرد).
- ۱۰- هر آزمایش شامل یک پیش‌گزارش است. این پیش‌گزارش باید به صورت دست نویس و پیش از شروع آزمایش‌ها به مدرس تحويل داده شود. پیش‌گزارش مطلوب هر آزمایش در دستور کار آمده است.
- ۱۱- ارائه گزارش کار آزمایش‌ها الزامی نیست و تحويل خروجی صحیح به مدرس کفايت می‌کند.
- ۱۲- جهت کسب نمره قبولی در آزمایشگاه، کسب حداقل نمره قبولی در درس الزامی است.
- ۱۳- جهت حفظ حرمت کلاس و نظافت آزمایشگاه، خواهشمند است از خوردن و آشامیدن در طول کلاس خودداری نمایید.
- ۱۴- وارد آوردن هرگونه خسارت و لطمہ به تجهیزات آزمایشگاه مستلزم جبران خسارت است.
- ۱۵- بارمبندی تقریبی نمره آزمایشگاه (که به استادی درس گزارش خواهد شد) به صورت زیر خواهد بود:
 - الف) پیش‌گزارش‌ها:٪۱۰
 - ب) انجام آزمایش‌ها:٪۵۵
 - پ) پرورزه:٪۳۵

نکات مهم

پیش از شروع آزمایش‌ها ضروری است تا دانشجویان گرامی این بخش را مطالعه فرمایند و در طی جلسات آزمایشگاه این نکات را رعایت نمایند.

- ۱- قبل از انجام هر آزمایش، مبحث تئوری مربوط به آن آزمایش به‌طور کامل مطالعه شود، چرا که در حین جلسه، وقت کافی برای توضیح و یادگیری قسمت تئوری وجود ندارد.
- ۲- در آزمایش‌های آخر، لازم است موارد ذکر شده در آزمایش‌های قبلی و ابتدایی را به خاطر داشته باشید. پس اگر آزمایشی را انجام می‌دهید، حتماً علاوه بر گزارش کاری که به مرتب خود تحویل می‌دهید، برای خود نیز یادداشت بردارید تا بعداً به مشکل برسنخورد.
- ۳- هرگاه جایی در آزمایش‌ها و نقشه‌های مدارها، اتصال خروجی تراشه‌ای مشخص نشده باشد، آن را آزاد رها کنید (به جایی وصل نکنید) ولی هیچ‌گاه ورودی یک تراشه را نمی‌توان به جایی وصل نکرد چون این کار باعث تاثیرپذیری زیاد مدار نسبت به نویز می‌شود.
- ۴- هیچ‌گاه خروجی یک تراشه را به خروجی تراشه‌ی دیگر یا V_{CC} و GND وصل نکنید. این کار به تراشه صدمه می‌رساند (با این توضیحات متوجه می‌شویم که مهم است بدانیم کدامیک از پایه‌ها مربوط به خروجی تراشه و کدامیک مربوط به ورودی آن می‌شوند). این امر مستلزم تسلط روی عملکرد مدار است. در نتیجه باز هم اهمیت مطالعه‌ی قسمت تئوری جلوه‌گر می‌شود).
- ۵- هیچ‌گاه دیودهای نورانی (یا اصولاً هر قطعه‌ای که در آن LED به کار رفته مثل هفت قسمتی‌ها و ماتریس‌های LED) را مستقیماً به خروجی تراشه یا منبع تغذیه وصل نکنید، بلکه آن را با یک مقاومت بین ۱۰۰ تا ۳۳۰ اهمیت سری نموده، و سپس وصل کنید.
- ۶- تراشه‌های TTL، نیاز به منبع تغذیه ۵ ولتی دارند ولی تراشه‌های CMOS می‌توانند با منبع تغذیه‌های ۳ تا ۱۵ ولتی کار کنند.
- ۷- قسمت مهم کار در این آزمایشگاه عیب‌یابی مدارها است. صرفاً وصل کردن مدار چندان مهم نیست؛ بلکه مهم، عیب‌یابی آن است. معمولاً مداری که وصل می‌کنید، دارای عیب‌هایی است و کمتر مداری بدون اشتباہ وصل می‌شود. پس باید یاد بگیرید که بتوانید هر مداری را (حتی مداری که خودتان در بستن آن نقشی نداشته‌اید)، عیب‌یابی کنید. برای این کار لازم است هر آزمایشی را که انجام می‌دهید و با هر تراشه‌ای که آشنا می‌شوید، طرز کار آن را دقیقاً یاد بگیرید تا وقتی که در مدارهای بزرگتر، از این تراشه‌ها در کنار هم استفاده می‌شود، بتوانید با پی‌گیری ولتاژ‌های خروجی‌های قطعات مدار، به مشکل کار بی ببرید.
- ۸- دقت کنید باز کردن و دوباره بستن مداری که درست کار نمی‌کند، راه حل درستی نیست. سعی کنید خودتان مشکل کار را پیدا کنید.
- ۹- در آزمایش‌های اول با سطوح ولتاژ آشنا می‌شوید. سعی کنید که محدوده‌ی ولتاژ‌های '۱' منطقی و '۰' منطقی درست را به خاطر بسپارید تا در عیب‌یابی مدارها وقتی به سطح ولتاژی غیر معمول برسنخورد، بدانید که در آنجا ممکن است مشکلی وجود داشته باشد. وقتی می‌خواهید ولتاژ خروجی تراشه‌ای را بخوانید، اگر خروجی آن به LED متصل است، اول LED را جدا کنید و بعد ولتاژ را بخوانید.

۱۰- تا مطمئن نشیدید که یک تراشه خراب است، اقدام به تعویض آن نکنید. حتماً اول به نحوی مطمئن شوید که تراشه مشکل دارد. بهترین راه برای اطمینان از خراب بودن تراشه، تست کردن جداگانه‌ی آن روی یک بردبورد سالم است. یادتان نرود که برای اطمینان بیشتر، ولتاژها را از روی پایه‌ی فلزی تراشه بخوانید.

۱۱- تراشه‌هایی که فکر می‌کنید چار مشکل هستند را پس از اطمینان از خراب بودن به جعبه‌ی خود در آزمایشگاه بر نگردانید تا بعداً همین تراشه‌های معیوب باعث اتلاف وقت دیگران یا خودتان نشوند.

۱۲- سعی کنید ولتاژهایی که با مالتی‌متر می‌خوانید، از روی پایه‌های فلزی تراشه‌ها باشد (یعنی ترمینال فلزی مالتی‌متر را با استفاده از یک تکه سیم که محکم به آن وصل کرده‌اید دقیقاً به پایه‌ای که می‌خواهید مقدارش را بخوانید تماس دهید نه به سوراخ‌های بردبورد؛ چون احتمال خرابی بردبورد یا قطع بودن سیم‌ها وجود دارد. حتماً می‌دانید که برای خواندن مقدار ولتاژ جایی توسط مالتی‌متر، یک سر (ترمینال به رنگ مشکی) مالتی‌متر را باید به زمین وصل کرد و ترمینال دیگر آن (به رنگ قرمز) را به جایی که می‌خواهید ولتاژ آن را اندازه بگیرید. پس برای راحتی کار می‌توانید در ابتدای آزمایش یک ترمینال مالتی‌متر را به طور ثابت به زمین (GND) مدار وصل کنید.

۱۳- همیشه قبل از شروع کار، با مالتی‌متر چک کنید که اصولاً ولتاژ تغذیه به مدار و تراشه‌ها می‌رسد یا خیر. با بررسی کردن پایه‌های مربوط به تغذیه‌ی تراشه‌ها می‌توانید قطعی‌های احتمالی سیم‌ها یا خرابی بردبورد (در راه رساندن ولتاژ تغذیه) را چک کنید. گاهی اوقات مداری که می‌بندید دارای اشکالی است که روی ولتاژ تغذیه اثر می‌گذارد و آن را کم می‌کند و حتی گاهی این ولتاژ را به حدود صفر می‌رساند. در این صورت باید در مدار دنبال جایی بگردید که احتمالاً خط V_{CC} ناخواسته به زمین (GND) وصل شده باشد. اگر مدار پیچیده است و پیدا کردن چنین موقعیتی مشکل است تک سیم‌های مدار (از سیم‌های تغذیه شروع کنید) را از جای خود جدا کنید و بعد به جای خود بردبورد از وسط منقطع می‌باشند و در صورت نیاز باید آن‌ها را با سیم به هم متصل کرد. کشیدن تعداد زیادی سیم از منبع تغذیه، مدار را شلوغ و کار را مشکل می‌کند.

۱۴- همیشه فقط دو سیم از منبع تغذیه به بردبوردی که مدار را روی آن می‌بندید بشیبد و در مدار هر جایی نیاز به منبع تغذیه داشتید از ریل‌هایی که این سیم‌ها به آن‌ها متصل شده استفاده کنید (دقیق کنید که در برخی بردبوردها چهار ریل افقی بردبورد از وسط منقطع می‌باشند و در صورت نیاز باید آن‌ها را با سیم به هم متصل کرد). کشیدن تعداد زیادی سیم از منبع تغذیه، مدار را شلوغ و کار را مشکل می‌کند.

۱۵- سیم (یا مقاومت، خازن یا مواردی شبیه این‌ها) را از روی تراشه‌ها رد نکنید. چون در این صورت اگر آن تراشه خراب باشد جایه‌جایی آن مشکل خواهد بود و همچنین رد کردن قطعات با پایه‌های لخت از روی تراشه‌ها یا از روی هم احتمال اتصال ناخواسته آن‌ها را به هم و به تراشه افزایش می‌دهد.

۱۶- هیچ وقت مطمئن نباشید مداری که بسته‌اید عاری از خطاست و دلیل کار نکردن آن خرابی قطعات است. اشتباه ممکن است همه جا و توسط هر کسی (حتی ماهرترین افراد) بوجود آید. پس اشکالی ندارد که در مداری که بسته‌اید، اشتباه وجود داشته باشد؛ بلکه مهم این است که بتوانید از مدار جواب بگیرید. باز هم تذکر داده می‌شود که بستن مدار به تنها یک کافی نیست، باید بتوانید مداری که بسته‌اید (توسط خودتان یا دیگران) را به بهترین نحو و در کوتاهترین زمان عیب‌یابی کنید و این کار جز با صبر و حوصله و همچنین تمرین و ممارست زیاد ممکن نمی‌شود. سعی کنید در این آزمایشگاه، عیب‌یابی را به بهترین نحو یاد بگیرید.

۱۷- مدار پیچیده‌ای که خود شامل قطعات مختلف است را می‌توان این گونه اشکال‌زدایی کرد که بعد از دادن ورودی‌ها و دیدن خروجی‌های نهایی، اگر این خروجی‌ها، با خروجی‌هایی که مورد نظر ماست، متفاوت باشند می‌توان یک مرحله به عقب برگشت (مثلاً اگر خروجی‌ها از تراشه‌ای گرفته می‌شوند به ورودی‌های آن تراشه رجوع کرد) و آن خطوط را چک کرد، اگر این خطوط مقادیر درست مورد نظر را داشتند، متوجه می‌شویم اشکال در تراشه‌ی مذکور وجود دارد و باید آن تراشه یا قطعات متصل شده به آن با دقت بیشتری چک شوند تا دقیقاً به عامل خطا رسید. ولی اگر این خطوط هم نادرست باشند، باز هم باید به یک مرحله عقب‌تر برگشت و این کار را آنقدر تکرار کرد تا به قطعه یا قطعات یا مسیرها یا به طور کلی هر مورد (یا مواردی) که مشکل را ایجاد کرده‌اند رسید. به این نکته هم توجه داشته باشید که ممکن است مداری به ازاء یک یا چند ورودی خاص جواب بدهد ولی به ازاء یک یا چند ورودی دیگر جواب ندهد. بدیهی است که این مدار را نمی‌توان مدار سالمی فرض کرد. همچنین ممکن است به مشکلی از مدار پی ببرید و آن را مرتفع کنید ولی کماکان خروجی‌های مدار، خروجی‌های مورد نظر نباشند. از اینجا نتیجه می‌گیریم که باز هم در مدار مشکل وجود دارد که باید دوباره کارهای فوق‌الذکر را تکرار کرد تا مشکل(های) دیگر هم برطرف شوند.

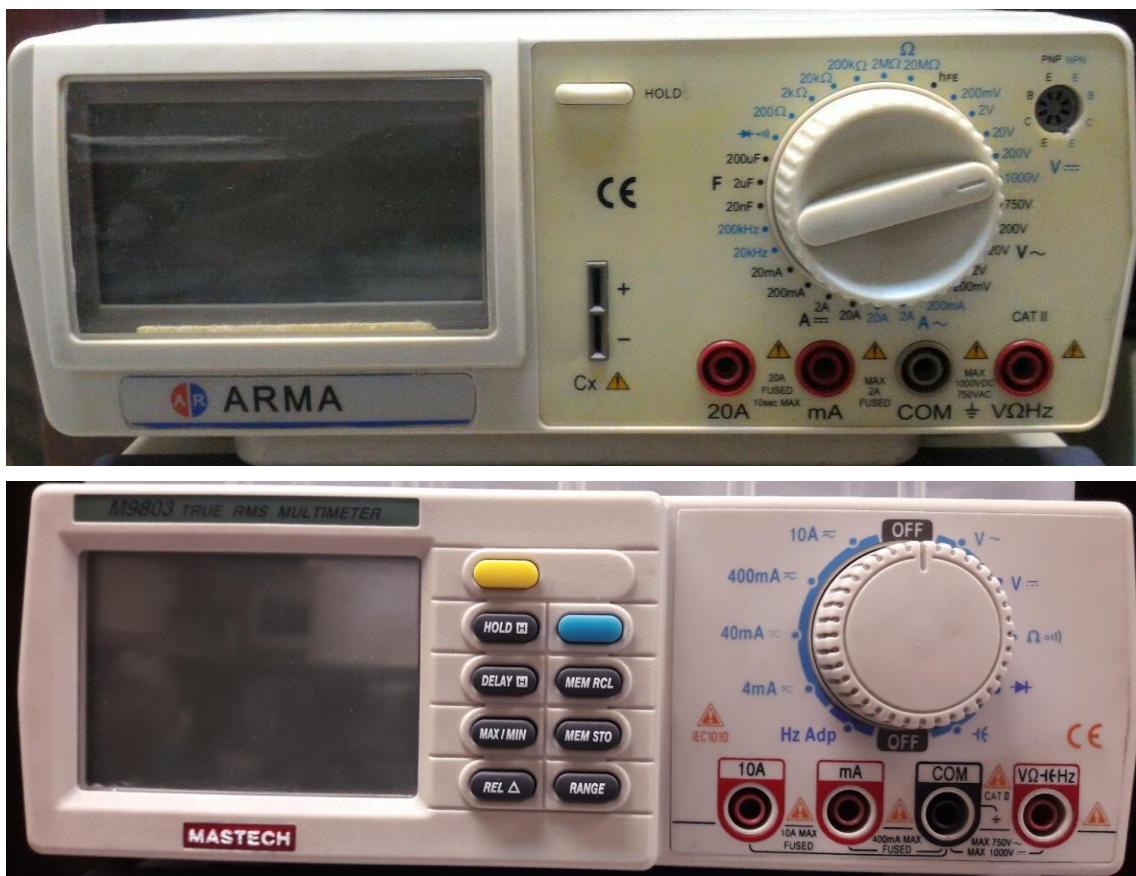
۱- آشنایی با ابزارهای آزمایشگاه

در اینجا به ابزارهای اساسی مربوط به آزمایشگاه مدارهای منطقی که زیاد با آنها سروکار خواهد داشت اشاره می‌شود. در صورتی که در حین انجام برخی آزمایش‌ها به صورت استثنای ابزار خاص دیگری نیاز داشته باشید، توضیحات تکمیلی در آزمایشگاه توسط مدرس داده خواهد شد.

(الف) مالتی‌متر

مالتی‌مترهای مرسوم می‌توانند سه عمل اصلی اندازه‌گیری ولتاژ، اندازه‌گیری جریان و اندازه‌گیری مقاومت را انجام دهند. در ضمن بعضی از مالتی‌مترها توانایی‌های دیگری از جمله اندازه‌گیری خارن، فرکانس، بتای ترانزیستور و تست دیود را هم دارند.

در شکل ۱-۱ نمای ظاهری نمونه‌هایی از مالتی‌مترها را مشاهده می‌کنید. اگر چه ممکن است مالتی‌مترها شکل‌های متفاوتی داشته باشند، ولی با دانستن طرز کار یکی از آن‌ها می‌توان تا حد زیادی به نحوه کار با دیگر مالتی‌مترها پی‌برد.



شکل ۱-۱ نمونه‌هایی از مالتی‌مترهای مرسوم

همان‌طور که از شکل ۱-۱ بیداست قسمت اصلی مالتی‌متر را یک کلید سلکتور چرخان و یک صفحه نمایش تشکیل می‌دهد. در آزمایشگاه مدارهای منطقی بیشتر با قسمت اندازه‌گیری ولتاژ مستقیم مالتی‌متر و گاهی هم خواندن مقدار مقاومت و تست اتصال (با بوق) سروکار داریم.

برای سنجش ولتاژ مستقیم، دکمه سلکتور چرخان مالتی‌متر را روی ۲۰۷ که در شکل ۱-۲ مشخص شده می‌گذاریم. در این حالت ولتاژ ۲۰ ولت حداکثر ولتاژی است که مالتی‌متر می‌تواند اندازه بگیرد (اصولاً در هر وضعیت، ولتاژ، جریان، مقاومت و بقیه‌ی موارد، عددی که سلکتور نشان می‌دهد، نشان‌دهنده‌ی بیشترین مقداری است که مالتی‌متر در آن وضعیت می‌تواند اندازه بگیرد). اینکه چرا عدد ۲۰ ولت انتخاب شده، به این دلیل است که در آزمایشگاه مدارهای منطقی با ولتاژهای حدود ۵ ولت مناسب نیست. ولتاژهای بیشتر از ۲۰ ولت هم به خاطر اینکه در آن‌ها دقیق کار پایین می‌آید معمولاً برای کار در این آزمایشگاه انتخاب نمی‌شوند.



شکل ۱-۲ تنظیم سلکتور روی اندازه‌گیری ولتاژ مستقیم با مقدار حداکثر ۲۰ ولت

البته برای نوع دیگر مالتی‌متر که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، فقط کافیست که سلکتور را روی علامت مشخص شده در شکل ۱-۳ قرار دهیم و خود مالتی‌متر عمل تنظیم دقیق و حداکثر ولتاژ را به صورت خودکار انجام می‌دهد. در برخی مالتی‌مترهای دیگر، کلیدی به نام RANGE (یا نامی مشابه) وجود دارد که با کمک آن می‌توان دقیق و حداکثر ولتاژ را تنظیم کرد.



شکل ۱-۳ تنظیم سلکتور روی اندازه‌گیری ولتاژ مستقیم برای برخی مالتی‌مترها

سپس باید کابل‌های اتصال یک سر فیشی یک سر سوزنی (شکل ۱-۴) که عموماً برای راحتی کار به دو رنگ قرمز و مشکی می‌باشند (ولی از نظر عملکرد با هم فرقی ندارند) را به ترتیب به دو سوکت VΩHz و COM متصل کنیم. طرف

دیگر آن‌ها را باید به جایی که می‌خواهیم اختلاف پتانسیل دو سرش را اندازه بگیریم، متصل کنیم. معمولاً بیشتر اوقات نیاز به خواندن ولتاژ نقطی از مدار داریم. برای این منظور، ترمینال قرمز (سوکت $V\Omega Hz$) را به نقطه‌ی مورد نظر از مدار وصل می‌کنیم. همچنین ترمینال مشکی (متصل شده به سوکت COM مالتی‌متر) را نیز به زمین مدار (قطب منفی منبع تغذیه) متصل می‌کنیم.

در ضمن اگر جای ترمینال‌ها را جابه‌جا متصل کنید، اشکالی رخ نمی‌دهد و فقط منفی ولتاژ مورد نظر را به ما نشان می‌دهد. دقت نمایید که مالتی‌متر در حالت HOLD قرار نداشته باشد چرا که در اینصورت آخرین مقدار قبل از Hold کردن را نشان می‌دهد و تغییرات را دنبال نمی‌کند. حالت HOLD در صفحه نمایش نشان داده می‌شود و با دکمه HOLD (فشاری یا قطعی/وصلی) می‌توان آن را انتخاب یا حذف کرد.

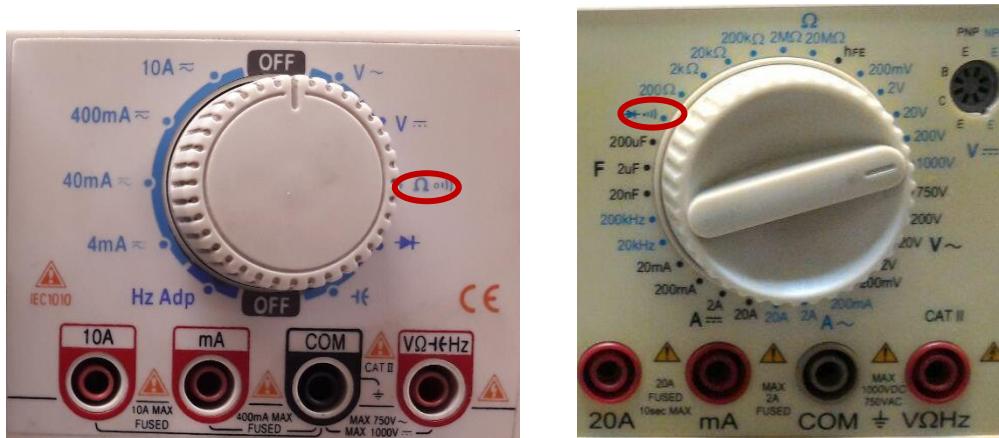
توجه داشته باشید که باید یک تکه سیم کوتاه به سرهایی که قرار است به مدار متصل شوند وصل کنید (یک سر آن را بیشتر لخت کنید و دور فلز سوزنی سر کابل بپیچید تا محکم شود) چون سرهای سوزنی به راحتی داخل سوراخ‌های بردبورد نمی‌روند و محکم نمی‌ایستند و در صورت فشار دادن بیش از حد به سوراخ بردبورد صدمه وارد می‌کنند.



شکل ۱-۴ کابل‌های اتصال یک سر فیشی یک سر سوزنی

حالت دیگری از مالتی‌متر که گاهی به آن نیاز پیدا می‌کنیم خواندن مقدار مقاومت است. در این حالت کلید سلکتور چرخان را روی یکی از حالت‌های مقاومت (Ω) قرار می‌دهیم و ترمینال‌ها هم به همان دو سوکت $V\Omega Hz$ و COM وصل می‌شوند. در این حالت مقداری که در نمایشگر مشاهده می‌کنید، مقدار مقاومت است. توجه داشته باشید که نباید همزمان به دو سر کابل‌های مالتی‌متر (قسمت فلزی آن‌ها) دست بزنید چرا که در این حالت مقاومت بدن شما با مقاومت مورد اندازه‌گیری سری یا موازی شده و عدد خوانده شده بسته به مورد ممکن است با واقعیت تفاوت زیادی پیدا کند.

حالت دیگر مورد نیاز، تست اتصال است که همانطور که در شکل ۱-۵ نشان داده شده سلکتور مالتی‌متر را روی علامت مشخص شده قرار می‌دهیم و ترمینال‌ها را به همان دو سوکت $V\Omega Hz$ و COM وصل می‌کنیم. در این صورت اگر دو سر ترمینال به دو نقطه وصل شوند که توسط یک رسانا (یا با یک مقاومت کم) به هم متصل هستند، دستگاه بوق میزند. این حالت برای جاهایی که با چشم نمی‌توان اتصال بین آن‌ها را چک کرد مثلاً سیم‌های دارای روکش یا بین سوراخ‌های بردبورد مناسب است.



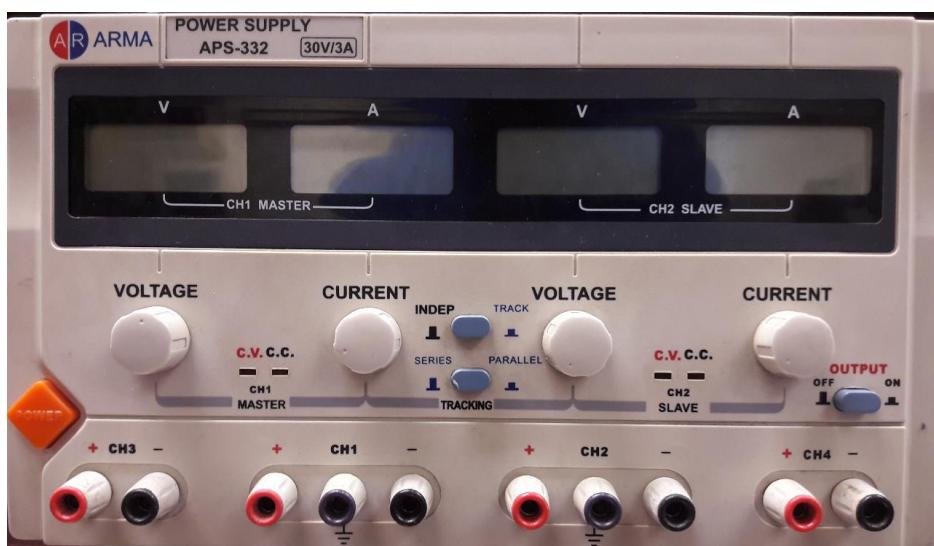
شکل ۱-۵ تنظیم سلکتور روی تست اتصال با بوق

برای اندازه‌گیری جریان باید سلکتور را روی گزینه مناسب A قرار داد و ترمینال‌های قرمز و مشکی را هم به ترتیب به mA و COM متصل کرد (جابجایی آن‌ها با هم فقط منفی جریان را نشان می‌دهد). دو ترمینال را باید به صورت سری در مسیر جریانی که قرار است اندازه‌گیری شود، قرار داد.

(ب) منبع تغذیه

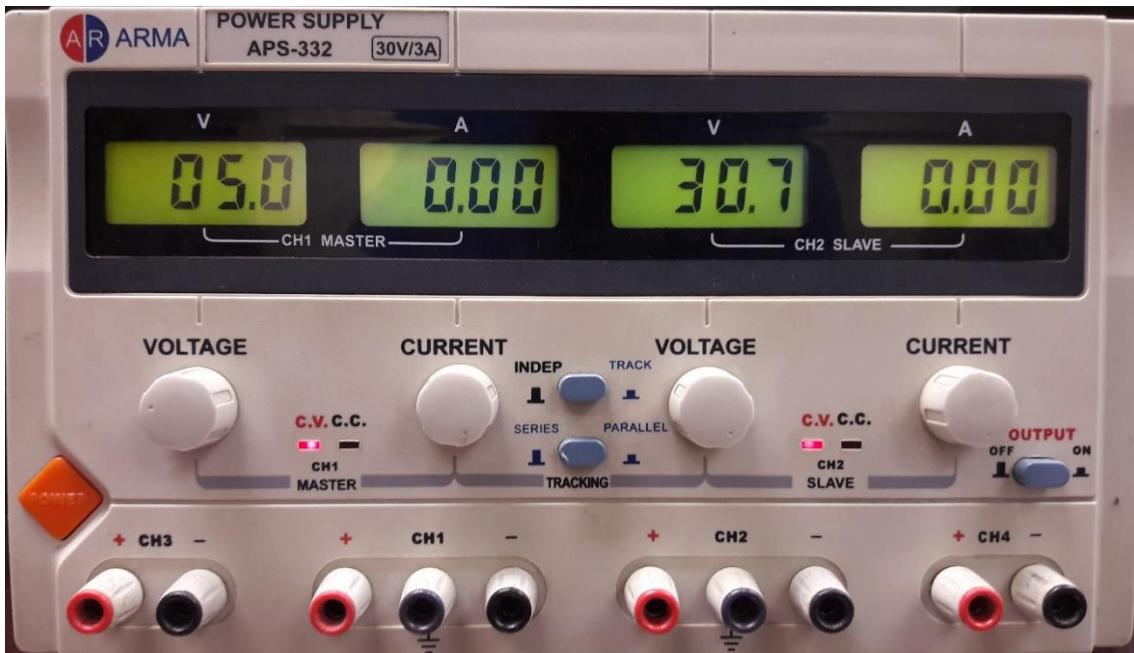
در شکل ۱-۶ نمای ظاهری یک نمونه از منابع تغذیه را مشاهده می‌کنید. ممکن است منابع تغذیه ظاهرهای مختلفی داشته باشند ولی با دانستن طرز کار یکی، می‌توان از نوع‌های دیگر منابع ولتاژ نیز استفاده کرد.

این منبع تغذیه دارای ۴ خروجی متمایز است که با CH1, CH2, CH3 و CH4 نشان داده شده‌اند. دو خروجی VOLTAGE و CH2 (که سوکت‌هایشان در وسط منبع تغذیه قرار دارد) قابل تنظیم هستند و با ولومهای پیچی CH1 مربوطه می‌توان ولتاژشان را تنظیم کرد و همزمان در صفحات نمایش (V) و CH1 MASTER (V) و CH2 SLAVE (V) مقدارشان را مشاهده کرد (بهتر است زیاد به مقداری که می‌بینید اتکا نکنید و خود خروجی کانال را با مالتی‌متر به صورت دقیق‌تر اندازه بگیرید).



شکل ۱-۶ یک منبع تغذیه‌ی نوعی

در شکل ۱-۷، نشان داده شده که کanal ۱ روی ولتاژ ۵ ولت و کanal ۲ روی ولتاژ $30/7$ ولت تنظیم شده است. خروجی های CH3 و CH4 به ترتیب دارای ولتاژ های ثابت و غیر قابل تغییر ۵ ولت و ۱۲ ولت می باشند. به خاطر داشته برای آنکه خروجی های منبع تغذیه فعال باشند، باید کلید OUTPUT که در سمت راست قرار دارد فشرده شده باشد (حالات ON) در غیر این صورت ولتاژ تمامی خروجی ها صفر خواهد بود (این کلید برای نرساندن موقت ولتاژ به مداری که به منبع وصل کرده اید و معمولاً می خواهید مشکلاتش را برطرف نمایید مناسب است).



شکل ۱-۷ تنظیم ولتاژ کanal های ۱ و ۲ روی ولتاژ های مورد نظر

توجه داشته باشید که کلید INDEP/TRACK که در وسط منبع قرار دارد بالا باشد (فسرده نشده باشد «حالت INDEP») چون در غیر این صورت (حالت TRACK) دو کanal ۱ و ۲ با هم موازی (در صورتی که کلید پایینی آن که کلید SERIES/PARALLEL است فشرده شده باشد «حالت PARALLEL») یا سری (در صورتی که فشرده نشده باشد «حالت SERIES») خواهد شد که به ترتیب برای داشتن جریان بیشتر (حاصل جمع جریان های دو کanal) و ولتاژ بیشتر (حاصل جمع ولتاژ های دو کanal) به کار می آیند. در این آزمایشگاه هم ولتاژ و هم جریان هر یک از کanal ها به تنهایی برای آزمایش ها کفایت کرده و نیازی به این کار نیست. در نتیجه نیازی به فشردن کلید INDEP/TRACK و انجام تنظیمات مربوطه نیست).

برای اتصال هر یک از کanal هایی که انتخاب کرده اید به مدار، می توانید از کابل های دو سر سوسناری استفاده کنید که در شکل ۱-۸ نشان داده شده اند. معمولاً کابل قرمز را به سوکت + و کابل مشکی را به سوکت - وصل می کیم (رنگ ها صرفاً جهت تسریع کار در نظر گرفته می شوند و فرقی با هم ندارند). خروجی های وسطی کanal های ۱ و ۲ که با علامت زمین مشخص شده اند به جایی وصل نمی شوند. توجه داشته باشید که باید یک تکه سیم کوتاه به سرهایی که قرار است به مدار متصل شوند وصل کنید.



شکل ۱-۸ کابل‌های دو سر سوسماری

دو ولوم CURRENT روی منبع، برای تنظیم حداکثر جریان تحویلی کانال‌های ۱ و ۲ هستند. همچنین برای اینکه به دلیل اتصال اشتباه به قطعات داخل مدار لطمہ‌ای وارد نشود، می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. در صورتی که حداکثر جریانی که قرار است مداراتان از منبع بکشد را بدانید (در حد چند یا چندین میلی‌آمپیر برای آزمایش‌های این آزمایشگاه)، می‌توانید ولوم مذکور را تنظیم کنید که منبع از آن جریان بیشتر تحویل ندهد. برای این منظور روی ولتاژ مورد نظرتان خروجی را اتصال کوتاه کنید (دو سر منفی و مثبت را به هم متصل کنید). اکنون ولوم CURRENT را آنقدر بچرخانید که صفحه نمایش مربوطه (A) CH2 SLAVE (A) و CH1 MASTER (A) مقدار جریانی که مدنظرتان است (کمی بیشتر از حداکثر جریان مدار به خاطر احتیاط) را نشان دهد. بعد از اینکه خروجی مورد نظر را از حالت اتصال کوتاه در آورده‌ید منبع آماده استفاده است. اگر به هر دلیلی جریانی بیش از مقدار مشخص شده بخواهد کشیده بشود منبع، آن را محدود نموده و چراغ کوچک C.C. مربوطه را روشن می‌کند.

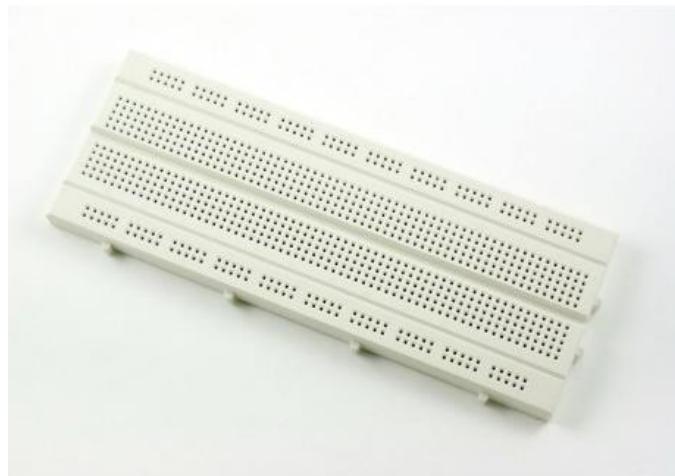
از این به بعد هر جا به علامت \Rightarrow برخوردید یعنی باید کار خواسته شده را عملأً انجام دهید.

نمودار با مالتی‌متر ولتاژ خروجی‌های ثابت (CH3 و CH4) و قابل تنظیم (CH1 و CH2) منبع تقدیم را اندازه بگیرید (گاهی اصطلاحاً می‌گوییم بخوانید).

(ج) بردبورد

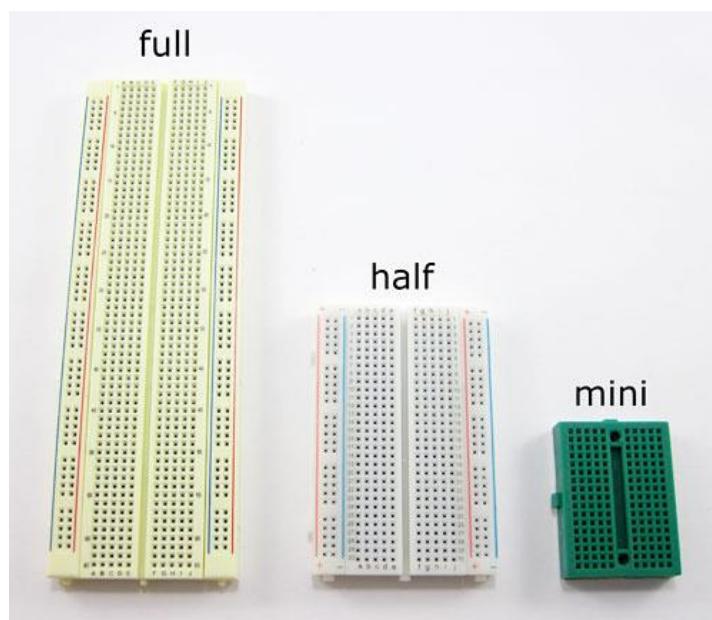
برای بستن و امتحان کردن مدارها راه‌های مختلفی وجود دارد که از بین آن‌ها بهترین گزینه برای کارهای آزمایشگاهی استفاده از بردبورد است. این وسیله بیشتر برای کارهای نمونه‌سازی (Prototyping) استفاده می‌شود که در آن از درستی عملکرد مداری که قرار است بعدها روی بوردهای مدار چاپی (PCB) ساخته شود اطمینان حاصل می‌شود و اگر بنا باشد تغییری در ساختار مدار برای بهبود آن داده شود در این مرحله به راحتی انجام می‌شود.

چون در بردبورد برخلاف بردۀای مدار چاپی عمل لحیم‌کاری صورت نمی‌گیرد، این وسیله قابل استفاده‌ی مجدد است. یک نمونه از بردبوردهای مرسوم در آزمایشگاه را در شکل ۱-۹ می‌توانید مشاهده کنید.



شکل ۱-۹ بردبورد

البته نمونه‌های دیگری هم از بردبورد وجود دارند که برخی از آن‌ها را در شکل ۱-۱۰ می‌بینید. اصول استفاده از همه‌ی آن‌ها یکسان است و در ادامه شرح داده خواهد شد.

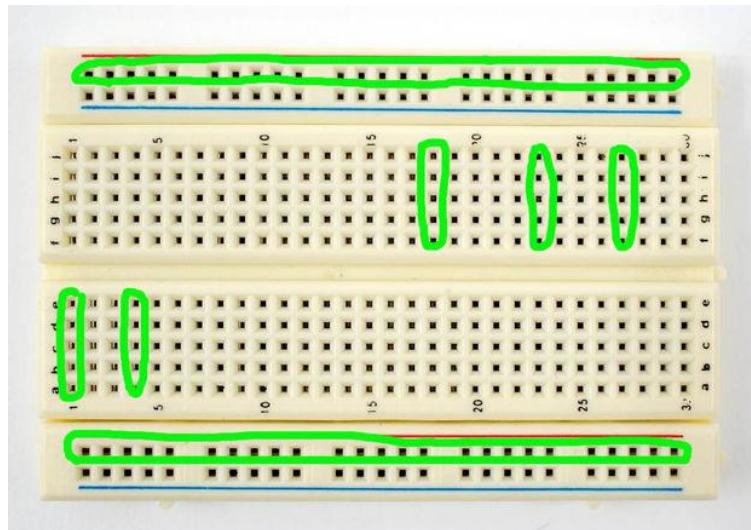


شکل ۱-۱۰ انواع دیگری از بردبورد

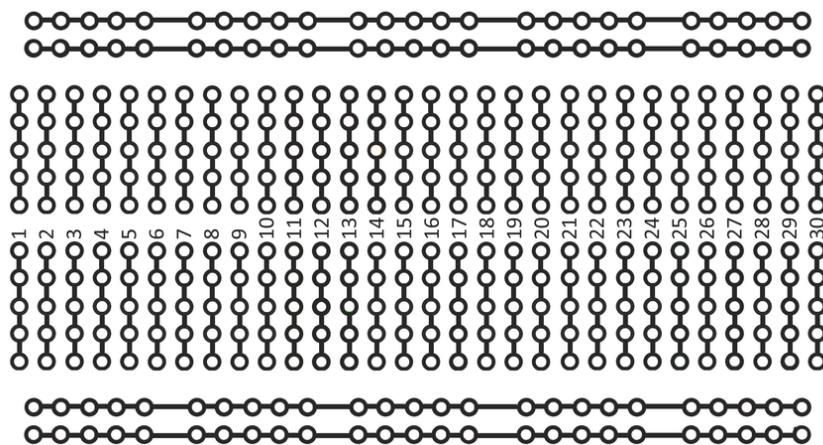
همانطور که در شکل‌ها مشاهده می‌کنید، روی بردبوردها تعدادی سوراخ وجود دارد که پایه‌های قطعات الکترونیکی و الکتریکی و همچنین سیم‌هایی که اتصالات آن‌ها به هم ایجاد می‌کنند در آن‌ها قرار می‌گیرد. این سوراخ‌ها به روش خاصی که در ادامه به آن اشاره می‌شود در داخل بردبورد به هم متصل هستند.

بردبورد شامل یک تعداد (نوعاً ۳۰ و ۶۴ به طور مرسوم) ستون ۵ تایی از سوراخ‌ها است که در امتداد هم در دو ردیف چیده شده‌اند. فاصله‌ی این ستونها از هم به صورت استاندارد است. در شکل ۱-۱۱ اتصال این ستون‌های ۵ تایی به یکدیگر را ملاحظه می‌کنید (این اتصال‌ها در داخل بردبورد انجام شده است). در ضمن چهار ردیف از سوراخ‌ها (موسوم به ریل) در بالا و پایین بردبورد وجود دارند و سوراخ‌های هر کدام از این ردیف‌ها به هم متصل هستند.

در شکل ۱-۱۱ دو نمونه از این ردیف‌ها مشخص شده‌اند. دقت داشته باشید که با اینکه در این ردیف‌ها دسته‌های سوراخی با یک فاصله از هم جدا شده‌اند ولی از نظر الکتریکی جدا نیستند و به هم متصلند. در شکل ۱-۱۲ هم کل اتصالات یک بردبورد ۳۰ ستونی (Half Size) نشان داده شده است. در این شکل خطوط بین دایره‌ها که نمادی از سوراخ‌ها می‌باشند، اتصالات را نشان می‌دهند.



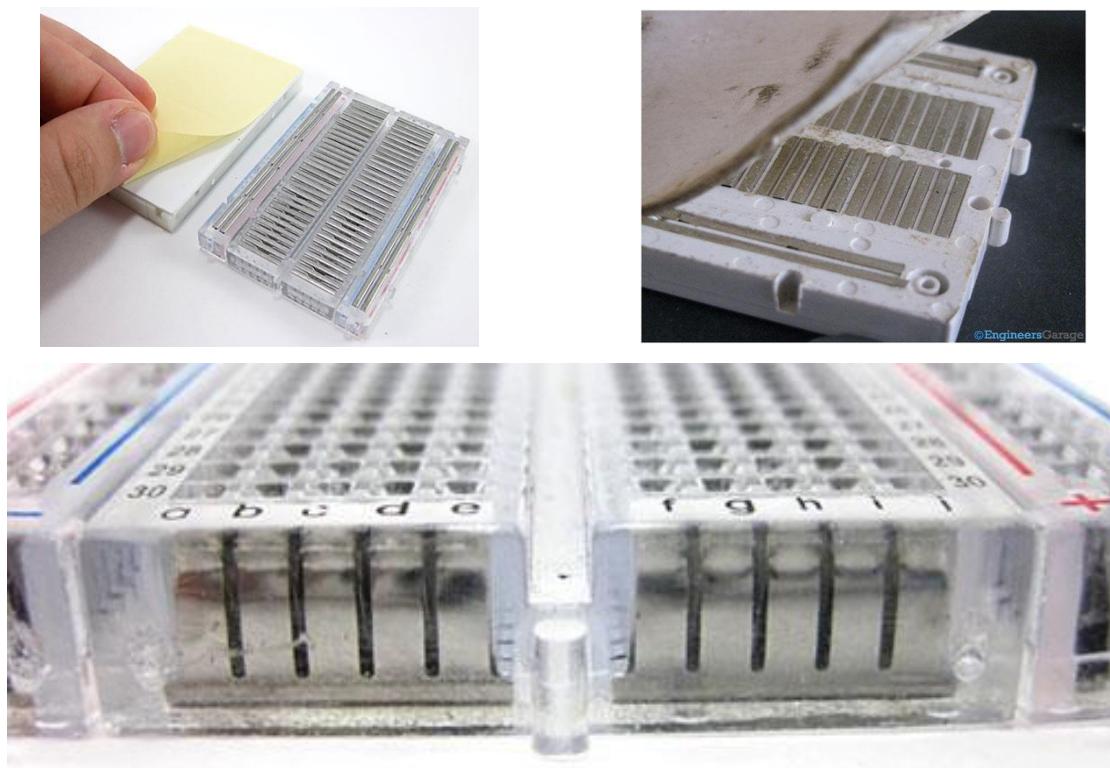
شکل ۱-۱۱ نمونه‌هایی از سوراخ‌های به هم متصل در بردبورد



شکل ۱-۱۲ کل اتصالات یک بردبورد ۳۰ ستونی

اگر پوشش پشتی بردبورد را باز کنید (عموماً با چسب محکمی چسبانده شده تا به راحتی و در حین کار جدا نگردد)، می‌توانید نحوه ایجاد اتصالات مذکور را ببینید. در شکل ۱-۱۳ این اتصالات در چند مورد و با زوایای مختلف نشان داده شده است.

در این آزمایشگاه به هیچ عنوان پوشش پشت بردبوردها را باز نکنید.



شکل ۱-۱۳ نحوه ایجاد اتصالات بردبورد

اتصالات ستون‌های ۵ تایی سوراخ‌ها توسط قطعاتی فلزی که در شکل ۱-۱۴ نمونه‌ای از آن‌ها را مشاهده می‌کنید ایجاد می‌شوند. در حقیقت قسمت بالای این قطعات شامل ۵ جفت نوار فلزیست که اتصالات فرگونه‌ای ایجاد می‌کنند و هر جفت دقیقاً در راستای یک سوراخ بردبورد قرار می‌گیرد که پایه‌های قطعات پس از وارد شدن در سوراخ بین دو نوار قرار گرفته و توسط آن جفت نوار محکم نگه داشته می‌شود و در ضمن به ۴ سوراخ دیگر از نظر الکتریکی متصل می‌شود.



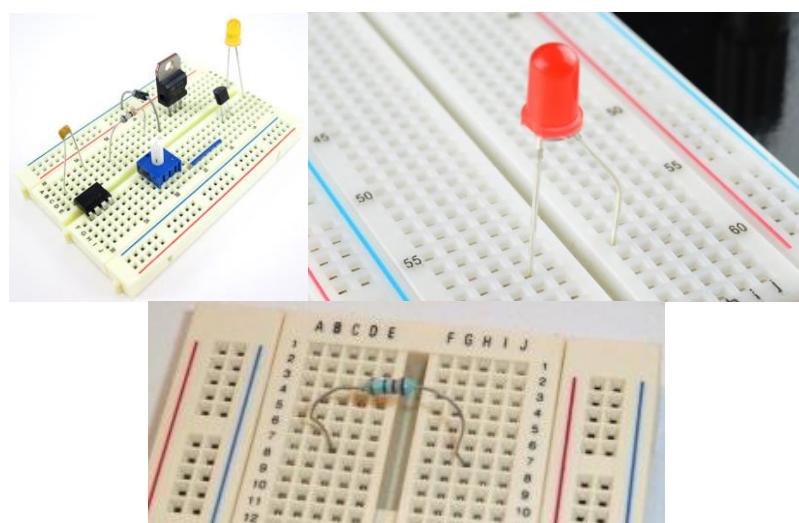
شکل ۱-۱۴ اتصال دهنده‌های ستون‌های ۵ تایی سوراخ‌ها

در شکل ۱-۱۵ نمونه‌هایی آورده شده که در آن‌ها می‌توانید ببینید که چگونه پایه‌ای از یک قطعه‌ی الکترونیکی بین دو نوار فلزی قرار گرفته شده و این دو نوار به علت خاصیت فنری که دارند آن پایه را محکم کرده‌اند تا به راحتی در حین انجام آزمایش تکان نخورد و اتصال الکتریکی آن با اجزاء دیگر برقرار بماند.



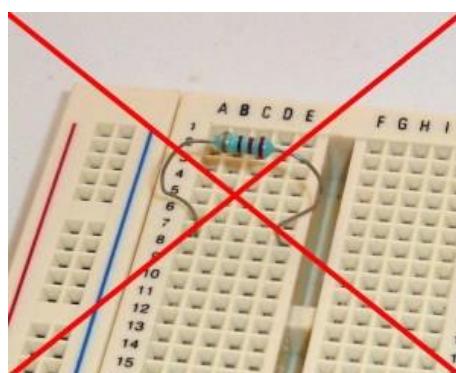
شکل ۱-۱۵ نحوه قرار گرفتن یک پایه از قطعات در بین دو نوار با خاصیت فنری

در شکل ۱-۱۶ هم نحوه قرار دادن تعدادی از قطعات در بردبورد را مشاهده می‌کنید. همانطور که مشاهده می‌شود پایه‌های قطعات باید در سوراخ‌های برابر فشار داده شوند تا توسط فنرهای مذکور محکم نگه داشته شوند.



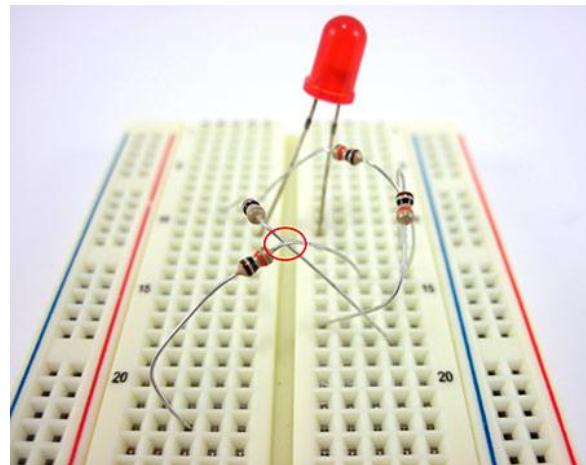
شکل ۱-۱۶ نمونه‌هایی از قرار دادن قطعات در بردبورد

باید توجه داشت که به دلیل اینکه ستون‌های ۵ تایی سوراخ‌ها از داخل به هم متصل می‌باشند، قرار دادن دو پایه یا بیشتر از یک قطعه‌ی الکترونیکی در یک ستون باعث می‌شود که عملً از نظر الکتریکی به هم متصل شوند و در نتیجه قطعه‌ی مورد نظر کار خود را انجام ندهد. در نتیجه چنینی شبیه به آنچه در شکل ۱-۱۷ امی‌بینید نادرست است.



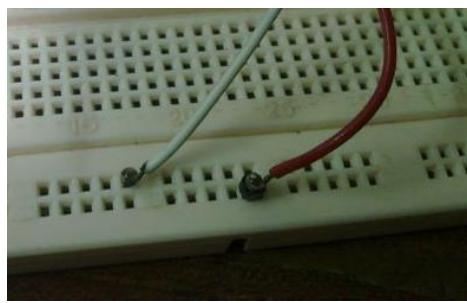
شکل ۱-۱۷ نمونه‌ای از قرار دادن نادرست قطعات روی بردبورد

نکته‌ی دیگری که باید به هنگام قرار دادن قطعات دقت کنید آن است که پایه‌های قطعات، مخصوصاً آن‌هایی که بلند می‌باشند آنقدر به هم نزدیک نشوند که در حین کار سهواً به هم برخورد کنند، چرا که در این صورت به علت هادی بودن پایه‌ها، اتصالات ناخواسته به وجود می‌آید. مخصوصاً وقتی مدار شلوغ است و قرار است تعداد زیادی قطعه در یک جای کوچک در کنار هم قرار گیرند. شکل ۱-۱۸ نمونه‌ای از این برخوردهای سهواً را نشان می‌دهد.



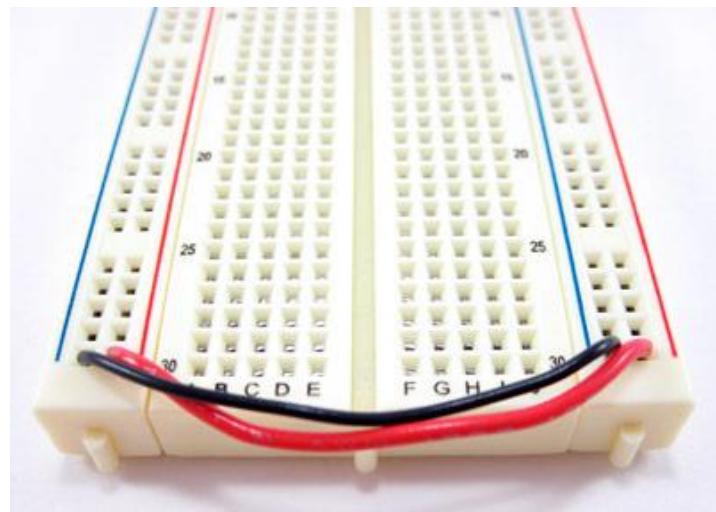
شکل ۱-۱۸ اتصال ناخواسته‌ی پایه‌ی قطعات به هم

حال به نحوه‌ی استفاده از بردبورد برای پیاده‌سازی مدارات می‌پردازیم. معمولاً در همه‌ی مدارها نیاز به یک منبع تغذیه داریم. معمولاً از چهار ردیف بالا و پایین بردبورد برای اتصال تغذیه استفاده می‌کنیم چون آن‌ها مناسب این کار هستند و کار رساندن تغذیه‌ی الکتریکی مورد نظر به قطعات را آسان می‌سازند. بدین منظور کافیست از دو قطب مثبت و منفی منبع تغذیه دو سیم به دو سطر از چهار سطر بردبورد که از این به بعد به آن‌ها ریل گفته می‌شود (و نامگذاری مرسومی هم هست) متصل کنیم. در شکل ۱-۱۹ این مطلب نشان داده شده است. توجه داشته باشید که ریل‌ها از نظر الکتریکی به ریل‌های دیگر متصل نیستند (و اینطور هم نباید باشد چون عملًا داشتن چند ریل به کار خاصی نمی‌آمد).



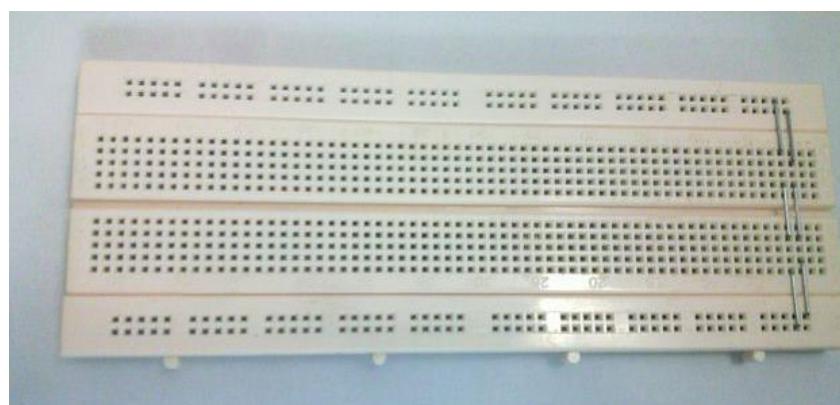
شکل ۱-۱۹ اتصال تغذیه برای قطعات بردبورد

با توجه به مورد ذکر شده چنانچه بخواهیم هم از بالای بردبورد تغذیه داشته باشیم و هم از پایین آن باید ریل‌های بالا و پایین را (نظیر به نظیر) به هم وصل کنیم. این کار مطابق شکل ۱-۲۰ انجام می‌شود. البته دقت کنید که ریل‌ها مشابه هم می‌باشند و اینکه از کدام ریل برای کدام ولتاژ (مثبت یا منفی) استفاده شود مهم نیست و فقط به قرارداد ما و اینکه به چه صورتی راحت هستیم بستگی دارد. البته در برخی بردبوردها از نوارهای رنگی قرمز و آبی (در بعضی مشکی) در کنار ریل‌ها برای کمک به این قضیه استفاده شده است.



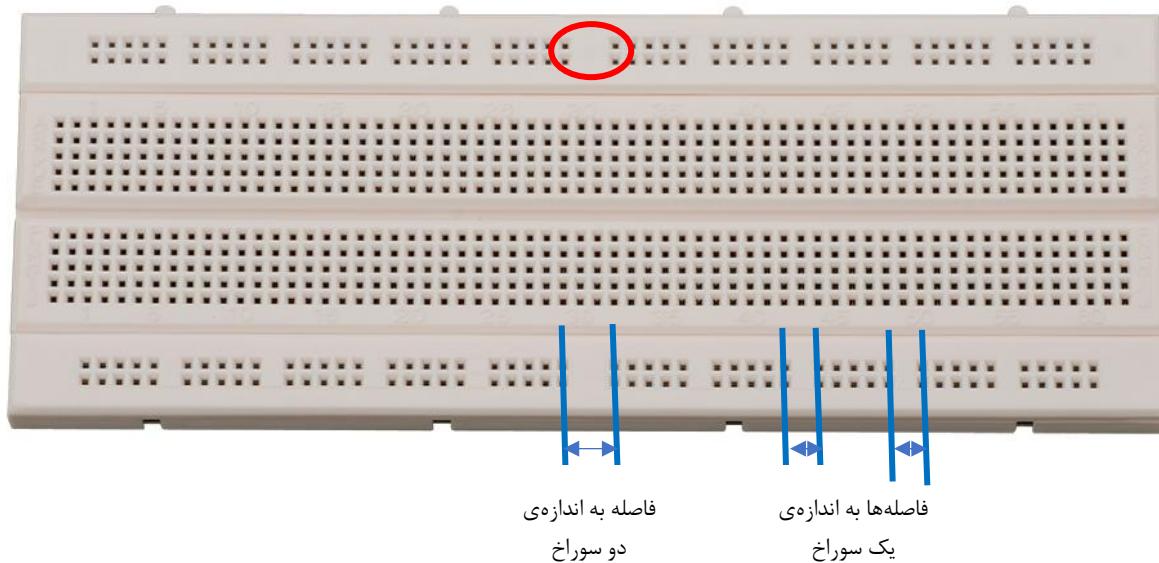
شکل ۱-۲۰ اتصال ریل‌های بالا و پایین بردهبورد به هم برای داشتن تغذیه‌ها از هر دو طرف آن

راهکار دیگری که برای این منظور می‌توان انجام داد و کمی هم مطمئن‌تر و محکم‌تر است، استفاده از سوزن‌های ماشین دوخت (مطابق شکل ۱-۲۱) است. قبل از این کار از رسانا بودن دو سر سوزن‌های مذکور و اینکه پوشش عایقی نداشته باشند اطمینان حاصل کنید (برای این کار می‌توان از تست بوق مالتی‌متر برای تشخیص رسانایی استفاده کرد).

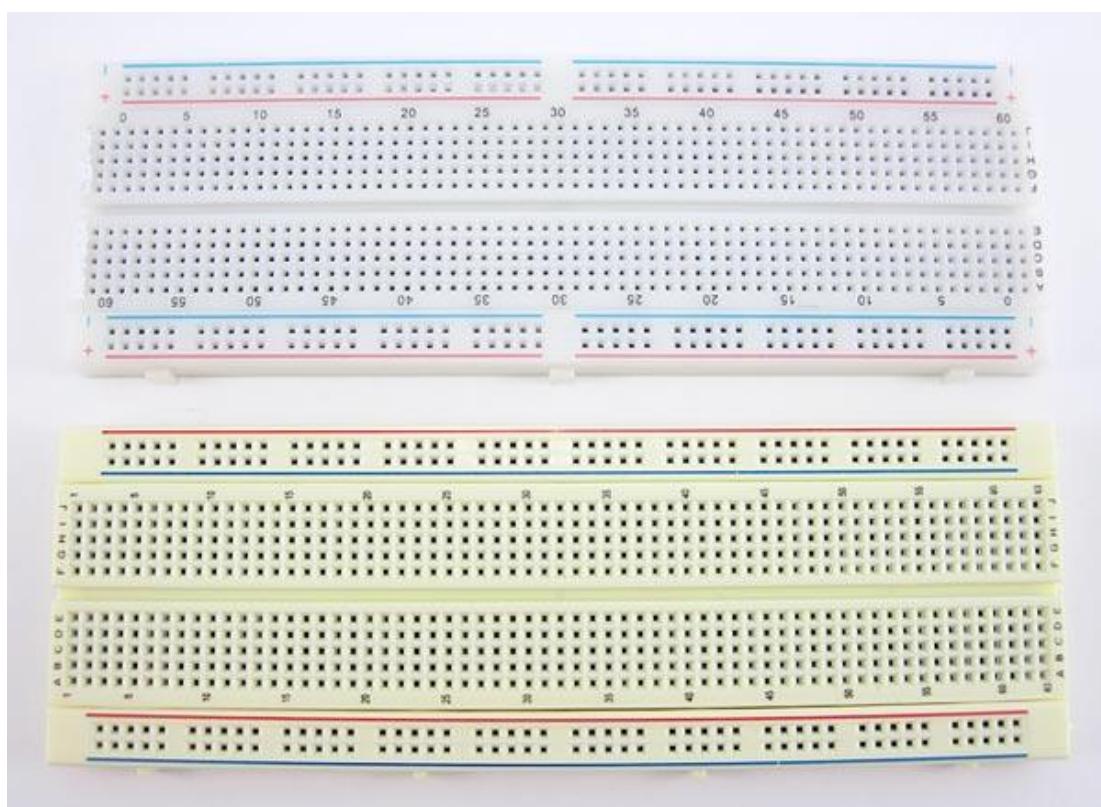


شکل ۱-۲۱ راهی دیگر برای اتصال ریل‌های بالا و پایین تغذیه

دقت داشته باشید در برخی از بردهبوردهای بزرگ (Full Size) ریل‌های تغذیه از وسط از هم جدا شده‌اند و به هم متصل نیستند. با نگاه کردن به شکل ظاهری بردهبوردها می‌توان این نوع‌ها را تشخیص داد. عموماً فاصله‌ی بین سوراخ‌های وسط ریل‌ها در اینگونه بردهبوردها بیشتر (به اندازه‌ی دو سوراخ) است در صورتی که در بردهبوردهای با ریل‌های متصل فاصله‌ی سوراخ‌های وسط با سوراخ‌های دیگر فرقی نمی‌کند و همه به اندازه‌ی یک سوراخ فاصله دارند. این مطلب در شکل ۱-۲۲ نشان داده شده است. در بردهبوردهایی که ریل‌ها با رنگ نشانه‌گذاری شده‌اند هم، برای نشان دادن این امر، خطوط رنگی در وسط منقطع شده‌اند (شکل ۱-۲۳).

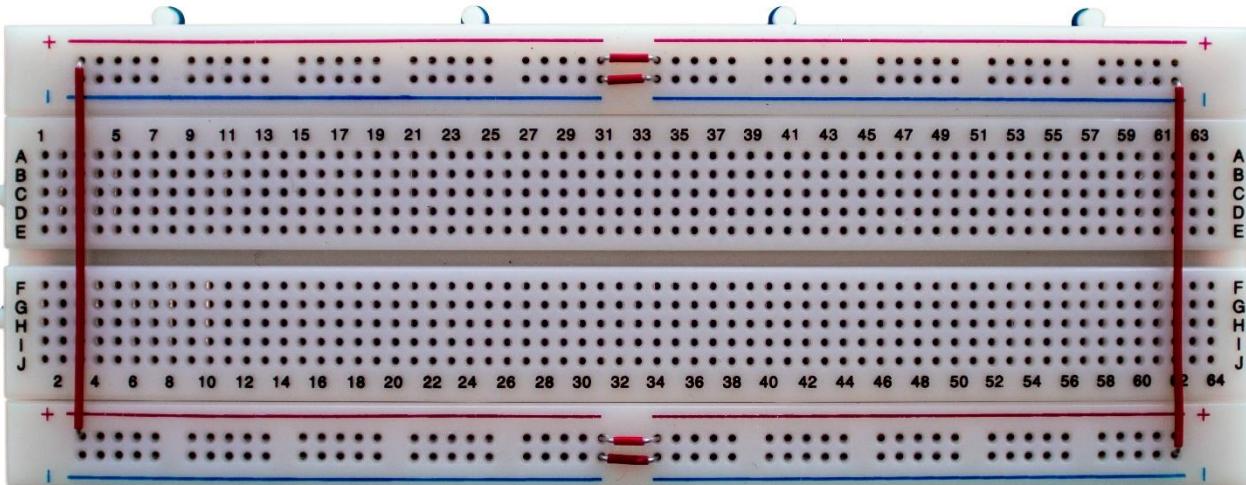


شکل ۱-۲۲ بردهوردهایی که ریل‌های تغذیه‌ی از وسط منقطع دارند



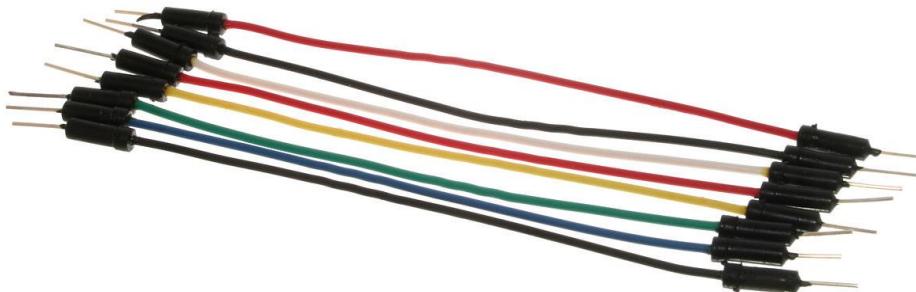
شکل ۱-۲۳ دو نوع بردهورد با ریل‌های منقطع (بالا) و پیوسته (پایین)

در اینگونه بردهوردها باید مطابق شکل ۱-۲۴ از سیم‌های کوتاهی (یا سوزن ماشین دوخت) برای اتصال بین دو نیمه‌ی ریل‌ها استفاده کرد تا تغذیه را در کل امتداد بردهورد داشته باشیم (البته در صورتی که نیاز داشته باشیم).



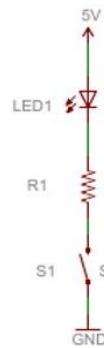
شکل ۱-۲۴ ایجاد اتصال در وسط ریل‌های تغذیه‌ی بردبوردهایی که ریل‌هایشان از وسط قطع می‌باشد

اتصال بین قطعات را می‌توان با استفاده از سیم‌ها انجام داد. نمونه‌ای از سیم‌های مخصوص این کار در شکل ۱-۲۵ نشان داده شده است. در صورت عدم وجود چنین سیم‌هایی می‌توان از سیم‌های معمولی (مفتولی نازک) روش دار استفاده کرد. توجه داشته باشید که این سیم‌ها نه کلفت باشند که با چند بار استفاده خاصیت فنری بردبوردها را از بین برند و نه چندان نازک که اتصال برقرار نگردد یا مدام قطع شود. بهترین قطر برای این سیم‌ها به اندازه‌ی قطر پایه قطعات مرسوم الکترونیکی است.



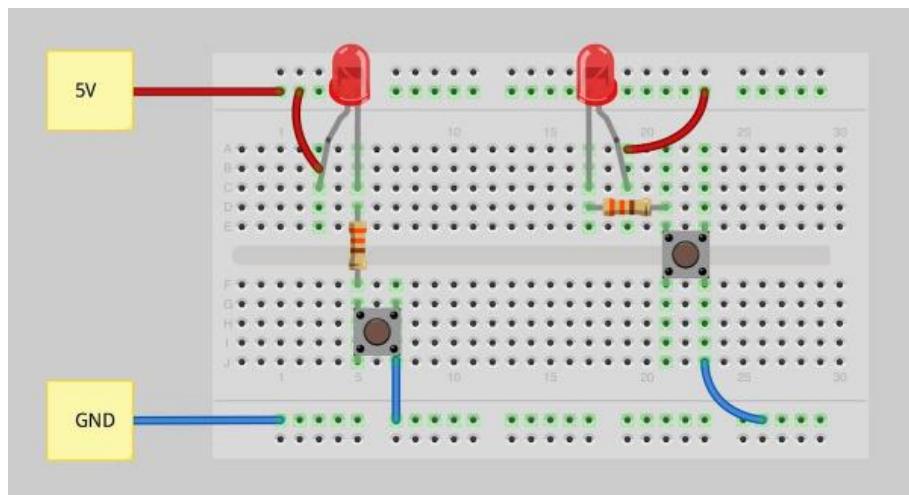
شکل ۱-۲۵ سیم‌های آماده برای استفاده به منظور ایجاد اتصال بین قطعات

می‌خواهیم مداری بیندیم که در آن یک LED (دیود نورانی) را روشن کنیم. این مدار در شکل ۱-۲۶ نشان داده است. داشتن مقاومت الزامی است چون بدون آن LED خواهد سوخت. می‌توان از کلید استفاده نکرد و در این صورت LED به طور دائم روشن خواهد بود.

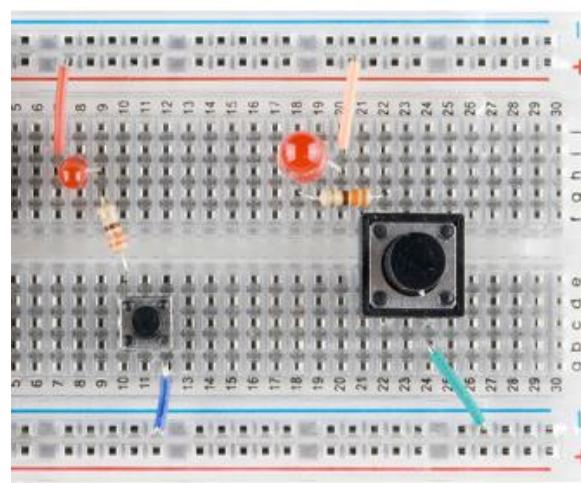


شکل ۱-۲۶ مدار اتصال LED به منبع تغذیه

این مدار را به روش‌های گوناگونی می‌توان روی بردبورد سوار کرد که در شکل ۱-۲۷ دو روش اتصال نشان داده شده است که از نظر الکتریکی هر دو دقیقاً یک کار را انجام می‌دهند. در شکل ۱-۲۸ هم یک عکس واقعی که از بسته شدن مدارهای فوق روی بردبورد گرفته شده نشان داده شده است.

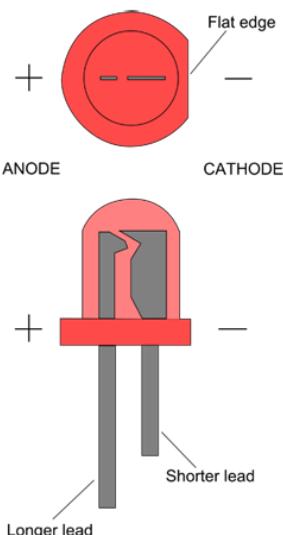


شکل ۱-۲۷ دو روش اتصال مدار LED در بردبورد



شکل ۱-۲۸ یک عکس واقعی از بستن مدارهای LED (به دو روش)

توجه داشته باشید که LED ها قطبی هستند، یعنی پایه‌هایشان با هم فرق می‌کند. در شکل ۱-۲۶ سر بالایی سر آند (Anode) و سر پایینی آن سر کاتد (Cathode) است. شکل ۱-۲۹ یک روش شناسایی پایه‌های LED (آند و کاتد) را از هم نشان می‌دهد. اگر پایه‌های LED سالم باشند و از قبل کوتاه نشده باشند، آن پایه که بلندتر است آند است و دیگری کاتد. در غیر اینصورت به پایین بدنه‌ی آن نگاه کنید. طرفی که یک قسمت تحت روی آن ایجاد کرده‌اند کاتد است و دیگری آند. راه دیگر نگاه کردن به داخل LED است. طرفی که فلز بزرگتری (منظور با سطح مقطع بیشتر) دارد کاتد و آن دیگری آند است.



شکل ۱-۲۹ تشخیص پایه‌های LED از هم

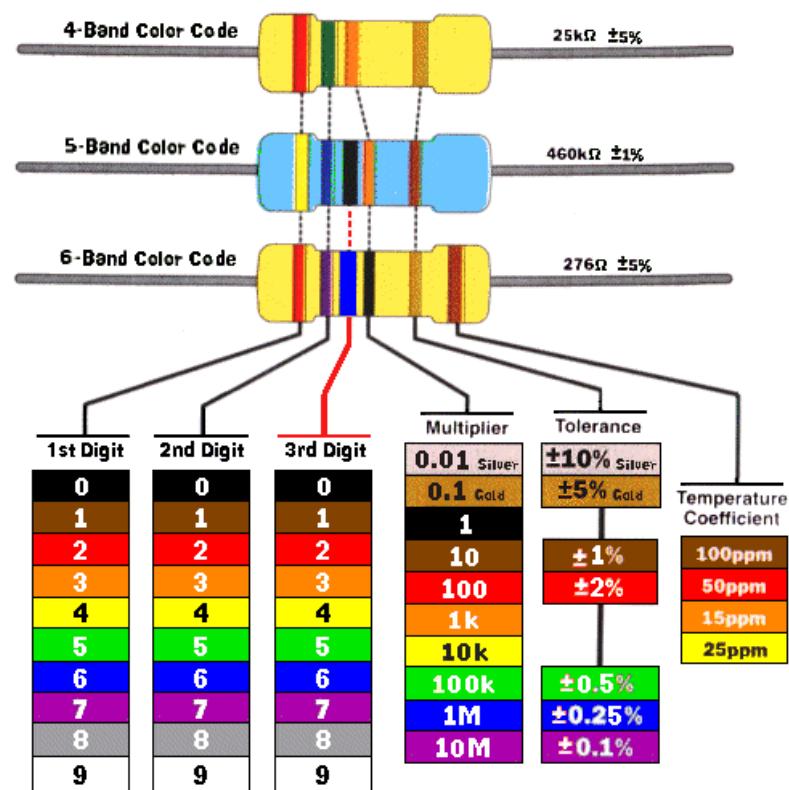
مقاومت به کار رفته در مدار فوق ۳۳۰ اهم است که وظیفه‌ی آن ممانعت از عبور جریان بسیار زیاد و به تبع آن جلوگیری از سوختن LED است (توجه داشته باشید که LED یک دیود است و در صورت وصل شدن به یک منبع جریان بزرگ‌تر از V_t به صورت ایده‌آل جریان بی‌نهایت را از خود عبور خواهد داد. البته LED‌ها ایده‌آل نیستند و یک مقاومت داخلی کوچک جریان را کنترل خواهد کرد ولی معمولاً آن مقاومت داخلی آنقدر بزرگ نیست که بتواند مانع سوختن LED‌ها که با ولتاژ ۵ ولت کار می‌کنند شود بنابراین قرار دادن یک مقاومت در محدوده چند صد اهم می‌تواند جریان عبوری را محدود و مانع سوختن LED‌ها شود).

شکل ۱-۳۰ (الف) و (ب) دو نحوه‌ی نمایش کدهای مقاومتی را نشان می‌دهند. اغلب مقاومت‌های استفاده شده در آزمایشگاه‌ها دارای ۴ نوار (۴ باند) می‌باشند (مقاومت بالایی شکل ۱-۳۰ (الف)) و رنگ چهارم که با کمی فاصله از بقیه قرار گرفته (یک روش تشخیص ترتیب شماره‌ی رنگ‌ها) اغلب طلازیست (تولرانس٪۵).

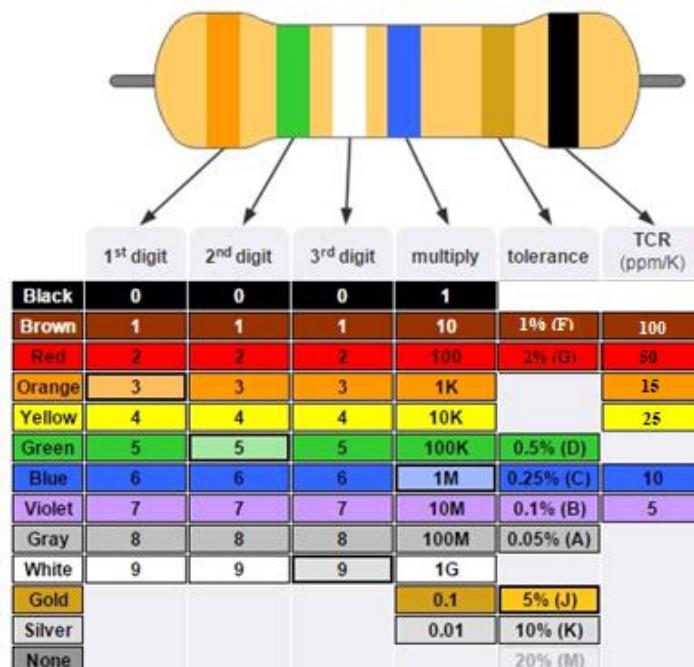
اگر رقم متناظر رنگ اول یک مقاومت ۴ باندی را a، رنگ دوم آن را b و رنگ سوم آن را c بنامیم، مقدار مقاومت بر حسب اهم از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\overline{ab} \times 10^c$$

که در آن \overline{ab} به معنی در کنار هم قرار دادن دو رقم a و b است. مثلاً زرد، بنفش، سبز مقدار $4.7M\Omega$ را می‌دهد. مقاومت‌های استاندارد با ضرایب ۱، ۱.۲، ۱.۴، ۱.۸، ۲.۲، ۲.۷، ۳.۳، ۳.۹، ۴.۷، ۵.۱، ۶.۵، ۶.۸ و ۸.۲ می‌باشند.



(الف)



(ب)

شکل ۱-۳۰ کدهای مقاومتی

آزمایش ۱

- ۱.۱) به جای کلید در شکل ۱-۲۶، دو ترمینال یک مالتیمتر که در حالت آمپر متر قرار داده شده را قرار دهید و مقدار جریانی که از مدار می‌گذرد را حساب کنید. در صورتی که مالتیمتر با قابلیت اندازه‌گیری جریان در اختیار ندارید یا در اختیار دارید ولی قسمت آمپر متر آن خراب است (معمولًاً فیوزهای محافظ قسمت آمپر متر به دلیل حساسیت بالا و اتصال اشتباه می‌سوزند پس زیاد با این مورد مواجه می‌شوید)، کافیست برای اندازه‌گیری جریان عبوری از مدار، ولتاژ دو سر مقاومت را بخوانید و تقسیم بر مقدار مقاومت کنید (به جای کلید در این حالت یک سیم قرار دهید).
- ۲.۱) مقدار ولتاژ روی مقاومت و ولتاژ روی LED را با مالتیمتر که در حالت ولت متر قرار داده شده بخوانید و بنویسید.
- ۳.۱) مقاومت را با مقادیر ۱۰۰ اهم، ۴۷۰ اهم و ۱ کیلو اهم عوض کنید و در هر حالت مراحل ۱ و ۲ را انجام دهید. در ضمن در هر حالت به شدت نور LED و اینکه خاموش یا روشن است هم توجه داشته باشید و مشاهدات و نتیجه‌گیری‌ها را یادداشت کنید.

۲- آشنایی با گیت‌های منطقی پایه

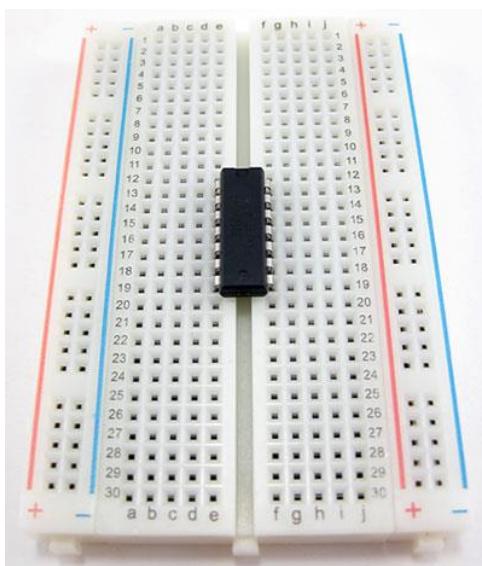
پیش‌گزارش

- تراشه‌های مورد استفاده در این آزمایش هر کدام چه گیتی هستند؟ درون هر کدام از آن‌ها چند گیت منطقی وجود دارد؟
- وجود پایه‌های VCC و GND در تراشه‌های منطقی به چه منظور است؟
- حدود ولتاژ‌های صفر و یک منطقی چقدر است؟

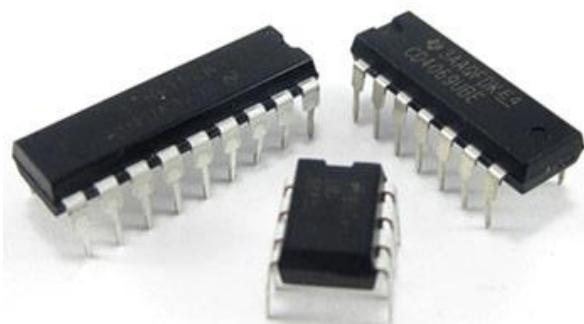
وسایل مورد نیاز

- منبع تغذیه، بردبورد، مالتی‌متر،
- مقاومت ۱۵۰ اهمی، دیود نورانی (LED)،
- تراشه‌های ۷۴۰۰، ۷۴۰۴، ۷۴۰۸، ۷۴۳۲، ۷۴۸۶ و ۴۰۱۱.

در شکل ۱-۲ نمونه‌هایی از پکیج (بسته‌بندی) تراشه‌های مرسوم موجود در آزمایشگاه را مشاهده می‌کنید که به آن‌ها گفته می‌شود و دارای دو ردیف پایه به موازات هم می‌باشند.



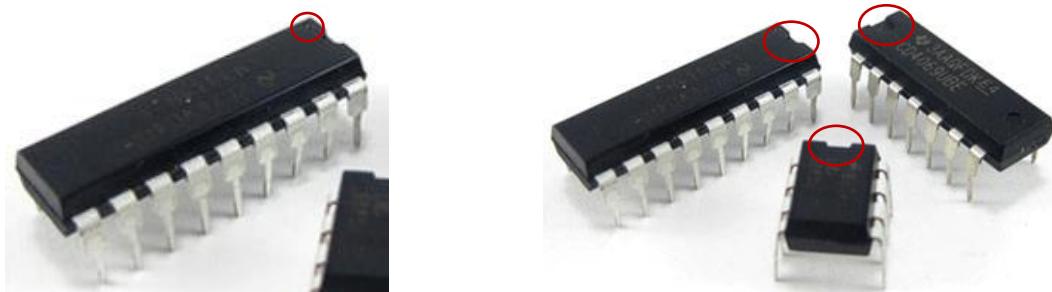
شکل ۲-۲ نحوه اتصال تراشه‌های DIP به بردبورد



شکل ۱-۲ نمونه‌هایی از تراشه‌های DIP

برای قرار دادن این تراشه‌ها در بردبورد به روشی که در شکل ۲-۲ نشان داده شده عمل می‌کنیم. توجه داشته باشد که حتماً باید دو ردیف پایه‌ها در دو طرف شیار وسطی بردبورد قرار گیرند چرا که در غیر اینصورت همه‌ی جفت پایه‌های روی روی هم تراشه به علت اینکه ستون‌های ۵ تایی بردبورد در داخل آن به هم متصل‌اند، نظیر به نظیر به هم وصل می‌شوند.

هر پایه‌ی تراشه یک شماره به خود اختصاص داده و شماره‌گذاری پایه‌ها بدین صورت است که وقتی از بالا به تراشه نگاه کنید و طوری آن را در دست بگیرید که بریدگی نیم‌دایره‌ی آن (که در شکل ۲-۳ نشان داده شده است) در سمت چپ واقع شود، پایه پایینی سمت چپی (که گاهی با یک نقطه فرورفتگی در بالای آن مشخص می‌شود و در شکل ۲-۴ نشان داده شده است) پایه‌ی شماره‌ی ۱ شده و پایه‌ی کناری آن پایه‌ی شماره‌ی ۲ و به همین ترتیب تا پایه‌ی انتهای پایینی تراشه می‌شماریم و سپس از روی آن (انتهای سمت راست بالایی) ادامه می‌دهیم (شماره‌گذاری به شکل پاد ساعتگرد است). بدین صورت پایه‌ی آخر، پایه‌ی انتهای سمت چپ بالایی تراشه خواهد بود.



شکل ۲-۴ علامت فرورفتگی بالای پایه‌ی یک

شکل ۲-۳ بریدگی نیم‌دایره‌ای تراشه‌ها

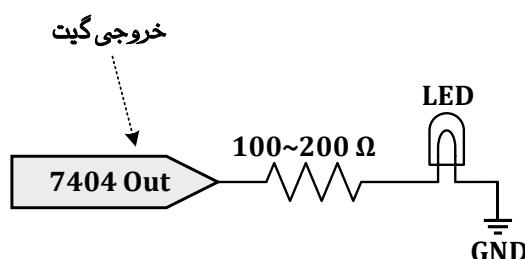
آزمایش ۲

۱.۲) تراشه‌ی 7404 (که شامل شش گیت NOT است) را آزمایش کنید.

برای این کار این تراشه را روی بردبورد قرار دهید و پایه‌های زمین یا GND (پایه‌ی شماره‌ی ۷) و V_{CC} (پایه‌ی شماره‌ی ۱۴) آن را به یک منبع تغذیه با خروجی ۵V متصل کنید. (نقشه‌ی تراشه‌ها در انتهای آمده است)

به ورودی یکی از گیتهای NOT تراشه، به ترتیب ولتاژ ۰ و ۵ ولت (یعنی ۰ و ۱ منطقی) وصل کنید و خروجی را در این دو حالت با مالتی‌متر اندازه بگیرید. ولتاژ خروجی در دو حالت صفر منطقی و یک منطقی چه مقداری است؟ حدود سطح‌های ولتاژ صفر منطقی و یک منطقی را در این آزمایش یادداشت کنید تا در آزمایش‌های بعدی به هنگام خطایابی از آن استفاده کنید.

با باز نگه داشتن ورودی (وصل نکردن به هیچ منبعی) یا به اصطلاح N.C. (No Connection)، خروجی چه مقداری به خود می‌گیرد؟ صفر منطقی است یا یک منطقی؟ در این صورت، ورودی صفر منطقی تعییر می‌شود یا یک منطقی؟ همچنین خروجی تراشه 7404 را در دو حالت یک منطقی و صفر منطقی با استفاده از دیود نورانی (LED) مشاهده کنید.



شکل ۲-۵ اتصال LED به خروجی تراشه‌ها

توجه کنید که LED را مستقیماً به خروجی وصل نکنید؛ چون ممکن است جریان زیادی کشیده شود و تراشه یا دیود بسوزد. بدین منظور LED را معمولاً با یک مقاومت بین ۱۰۰ تا ۳۳۰ اهم به خروجی مورد نظر وصل می‌کنند (شکل ۲-۵).

۲.۲ تراشه‌های ۷۴۰۰، ۷۴۳۲، ۷۴۰۸، ۷۴۸۶ و ۴۰۱۱ را هم آزمایش کنید. آن‌ها را به ترتیب روی بردبورد قرار دهید و طبق جدول ۲-۱ به پایه‌های ورودی، مقدار دهید و مقدار ولتاژ خروجی را در جدول یادداشت کنید.

همان طور که در درس الکترونیک دیجیتال آموزش داده خواهد شد، برای ساخت مدارات منطقی تکنولوژی ساخت‌های متفاوتی وجود دارد و این تکنولوژی‌ها می‌توانند باعث تغییراتی در عملکرد تراشه نسبت به دیگری شوند. برای مثال، این که اگر ورودی یک تراشه را به هیچ ولتاژی وصل نکنیم چه خواهد شد و یا این که پایه‌های خروجی تراشه تا چه حد قادر به تولید جریان هستند بستگی به تکنولوژی دارد. در ادامه ما دو خانواده را ایج از تراشه‌ها (با تکنولوژی‌های CMOS و TTL) را آزمایش می‌کنیم.

تفاوت بین اندازه‌ی ولتاژهای خروجی در حالت‌های یک منطقی و صفر منطقی بین تراشه‌های TTL (سری 7400) یا CMOS تراشه‌هایی که عموماً شماره آن‌ها با 74 شروع می‌شود با حروف وسط S، F، ALS، LS، H، (تراسه‌هایی که عموماً شماره آن‌ها با 4 شروع می‌شود یا شروع با 74 و حرف وسط HC و آن‌هایی که C دارند) را با توجه به اعدادی که در جدول پر کرده‌اید بیان کنید. در سطر اول جدول هم حرف وسط تراشه را در جای خالی پر کنید (در صورتی که حرف وسط نداشت با یک علامت ضربدر در جای خالی این را نشان دهید).

۲-۱ همچنین وقتی ورودی را NC می‌کنید چه تفاوتی در خروجی این دو نوع تراشه مشاهده می‌کنید؟

در صورتی که در آزمایشگاه گونه‌های متفاوتی (نه از نظر عملکرد بلکه از نظر نحوه ساخت) از تراشه‌ها (که حروف وسط متفاوتی دارند) موجود است آن‌ها را هم آزمایش کنید و ولتاژهایشان را در ستون‌های خالی جدول با ذکر حرف وسط یادداشت کنید. لازم نیست این کار را برای همه گیت‌های مذکور و برای همه‌ی حالات ورودی امتحان کنید. بلکه از هر گیتی یک نمونه و برای آن هم دو حالت خروجی ۱ و ۰ منطقی را انجام دهید.

در طراحی مدارهای منطقی، هیچ‌گاه نباید ورودی را باز (NC) نگه داشت؛ چون ممکن است باعث اختلال در عملکرد مدار شود.

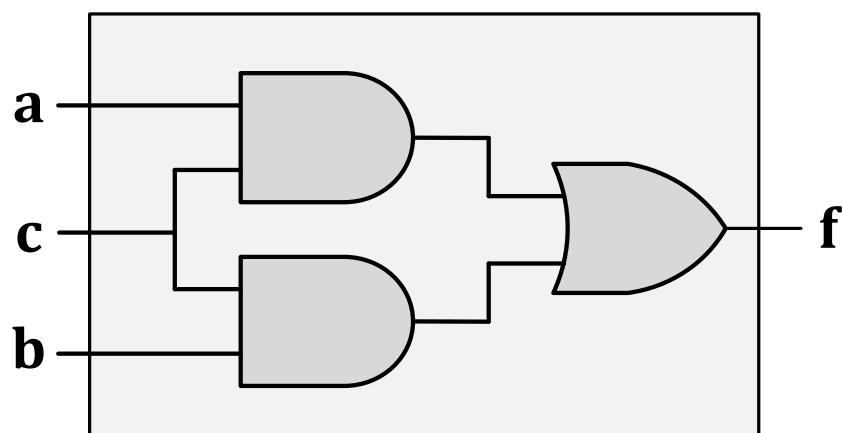
جدول ۲-۱ ولتاژهای ورودی و خروجی تراشه‌های مختلف

| A | B | 74---00 | 74---08 | 74---32 | 74---86 | 4 0 1 1 |
|-----|----|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0 | 0 | | | | | |
| 5 | 0 | | | | | |
| 5 | 5 | | | | | |
| N.C | 0 | | | | | |
| 5 | NC | | | | | |
| NC | NC | | | | | |

۳.۲) مدار شکل ۶-۲ را پیاده‌سازی کنید و به ازای تمام ورودی‌های ممکن، خروجی را اندازه‌گیری کرده و در جدول ۲-۲ یادداشت نمایید.

جدول ۲-۲ ولتاژ‌های ورودی و خروجی تراشه‌های مختلف

| a | b | c | f (0/1) | f (volt) |
|-----|-----|-----|--------------|---------------|
| 0 | 0 | 0 | | |
| 0 | 0 | 1 | | |
| 0 | 1 | 0 | | |
| 0 | 1 | 1 | | |
| 1 | 0 | 0 | | |
| 1 | 0 | 1 | | |
| 1 | 1 | 0 | | |
| 1 | 1 | 1 | | |



شکل ۶-۲ یک نمونه مدار

۳- پیاده‌سازی توابع منطقی با استفاده از جدول کارنو

پیش‌گزارش

☞ توابعی که در این آزمایش آمده‌اند را با استفاده از جدول کارنو ساده کنید.

وسایل مورد نیاز

- منبع تغذیه، بردبورد، مالتی‌متر،
- تراشه‌های ۷۴۳۲، ۷۴۰۸، ۷۴۰۴

آزمایش ۳

☞ ۱.۳) تابع منطقی زیر را با استفاده از جدول کارنو ساده کرده و مدار آن را با استفاده تراشه‌های منطقی به صورت مجموع حاصل ضرب‌ها^۱ پیاده‌سازی کنید. سپس جدول ۳-۱ را با توجه به عملکرد مداری که پیاده‌سازی کرده‌اید، تکمیل کنید (ولتاژ گره‌ها را یادداشت کنید).

$$f(A, B, C) = [(A' + B + C)(A + C)(A + B)]$$

جدول ۳-۱ نتیجه عملکرد مدار بخش ۱

| <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>f</i> (0/1) | <i>f</i> (volt) |
|----------|----------|----------|-------------------|--------------------|
| 0 | 0 | 0 | | |
| 0 | 0 | 1 | | |
| 0 | 1 | 0 | | |
| 0 | 1 | 1 | | |
| 1 | 0 | 0 | | |
| 1 | 0 | 1 | | |
| 1 | 1 | 0 | | |
| 1 | 1 | 1 | | |

¹ Sum of Products

این مدار یک رأی‌گیر اکثریت است. در این مدار هر زمان حداقل دوتا از ورودی‌ها یک (یا صفر) باشند، خروجی نیز یک (یا صفر) می‌شود. از این مدار در کاربردهایی که احتمال رخداد خطأ وجود دارد استفاده می‌شود، بدین صورت که محاسبات به طور همزمان در سه مدار انجام می‌شود و خروجی این مدارها به این رأی‌گیر داده می‌شوند.

۲.۳) تابع منطقی زیر را با استفاده از جدول کارنو ساده و مدار آن را با استفاده از تراشه‌های منطقی پیاده‌سازی کنید. بعد از پیاده‌سازی تابع، جدول ۲-۳ را تکمیل کنید.

$$f(a, b, c, d) = \sum(1, 3, 4, 5, 6, 9, 11, 12, 14) + d(0, 7)$$

۳.۳) در مداری که پیاده‌سازی کرده‌اید، مقادیر حالات بی اهمیت چیست؟ این رفتار را چگونه توجیه می‌کنید؟

جدول ۳-۲ نتیجه عملکرد مدار بخش ۲

| a | b | c | d | $f(0/1)$ | $f(volt)$ |
|----------|----------|----------|----------|----------------------------|-----------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 0 | 0 | 0 | 1 | | |
| 0 | 0 | 1 | 0 | | |
| 0 | 0 | 1 | 1 | | |
| 0 | 1 | 0 | 0 | | |
| 0 | 1 | 0 | 1 | | |
| 0 | 1 | 1 | 0 | | |
| 0 | 1 | 1 | 1 | | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | | |
| 1 | 0 | 0 | 1 | | |
| 1 | 0 | 1 | 0 | | |
| 1 | 0 | 1 | 1 | | |
| 1 | 1 | 0 | 0 | | |
| 1 | 1 | 0 | 1 | | |
| 1 | 1 | 1 | 0 | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | | |

۴- آشنایی با زبان توصیف سخت افزار (HDL)

پیش گزارش

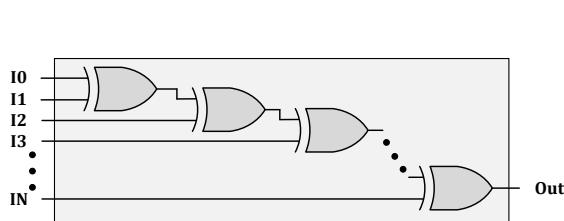
- ☞ برای مدار قسمت «پ» در شکل ۱-۴ جدول صحت را بدست آورده و آن را به صورت مجموع حاصل ضربها پیاده سازی کنید.
- ☞ مدار طراحی شده در قسمت قبل را با استفاده از زبان وریلاغ توصیف نمایید.

آزمایش ۴

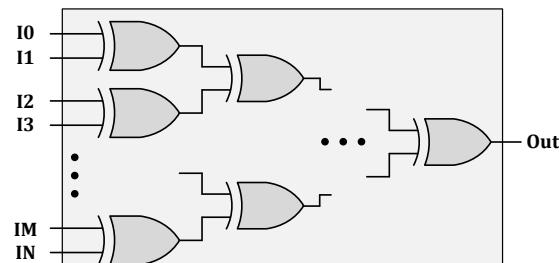
زبان توصیف سخت افزار، زبانی است که از آن برای توصیف سخت افزار سیستم های دیجیتال به صورت متنی استفاده می کنند. به عبارت دیگر، از زبان های HDL می توان برای توصیف رابطه های منطقی بین سیگنال های ورودی یک مدار و سیگنال های خروجی آن بهره برد. از این رو، این زبان ها می توانند مدار های منطقی، عبارت های بولی و یا مدار های پیچیده را توصیف کنند. زبان های HDL متنوعی مانند VHDL و Verilog ارائه شده است. در این آزمایشگاه از زبان Verilog استفاده خواهد شد.

یک شبیه ساز HDL توصیف مدار را دریافت و بر اساس مقدار ورودی ها و ساختار مدار یا سیستم دیجیتالی، مقدار خروجی ها را مشخص می کند. بنابراین می توان قبل از ساخت، مدار را آزمایش کرد و از صحت عملکرد آن مطمئن شد. در این آزمایشگاه جهت شبیه سازی از ابزار Xilinx ISim استفاده خواهیم کرد.

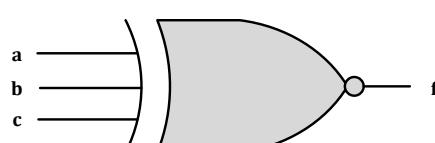
مدار شکل ۱-۴ مدار افزونگی بیت توازن^۲ است که جهت تشخیص و تصحیح خطأ در سیستم های دیجیتال مورد استفاده قرار می گیرد. این مدار تعداد ۱ های موجود را در یک رشته بیتی در نظر می گیرد. مدار افزونگی بیت توازن در دو بخش فرستنده (تولید کننده) و گیرنده (تشخیص دهنده) پیاده سازی می شود.



ب) مدار بیت توازن به صورت زنجیری



الف) مدار بیت توازن به صورت درختی



پ) مدار تولید کننده بیت توازن سه ورودی ...
شکل ۱-۴ نوعی مدار افزونگی بیت توازن

² Parity bit

بیت‌های توازن دارای دو مدل زوج و فرد هستند که در انتقال و ذخیره اطلاعات، در کنار داده اصلی قرار می‌گیرند تا اگر داده‌ی اصلی دچار تغییر شد این تغییر کشف شود. مقدار این بیت توسط جدول ۱-۴ تعیین می‌شود:

جدول ۱-۴ تصمیم‌گیری مقدار بیت افزونگی

| فرد | | زوج | | نوع بیت توازن |
|-----|-----|-----|-----|-------------------|
| فرد | زوج | فرد | زوج | تعداد یک‌های داده |
| . | ۱ | ۱ | . | مقدار بیت توازن |

۱۰.۴) با توجه به جدول ۱-۴، با ذکر دلیل نوع بیت توازن (فرد یا زوج) را برای مدار قسمت «پ» در شکل ۱-۱ تعیین کنید.

۲۰.۴) مدار قسمت «پ» در شکل ۱-۴ را با استفاده از زبان وریلاغ در سطح گیت توصیف نمایید. (گیت *xnor* را ایجاد (Instantiate) کنید)

۳۰.۴) فایل محیط آزمونی^۳ طراحی نمایید که تمامی ورودی‌های ممکن را به مدار اعمال کند. سپس مدار را شبیه‌سازی نمایید. درستی مقادیر حاصل از شبیه‌سازی را با مقادیر صحیح مقایسه کنید.

۴۰.۴) مدار قسمت «پ» در شکل ۱-۴ را به صورت مجموع حاصل ضرب‌ها طراحی نمایید. سپس با استفاده از زبان وریلاغ آن را توصیف نمایید. فایل محیط آزمون طراحی شده در بخش ۳.۴ را به آن اعمال کرده و درستی خروجی آن را بررسی نمایید.

۵۰.۴) کدام یک از روش‌های پیاده‌سازی را ترجیح می‌دهید؟ چرا؟

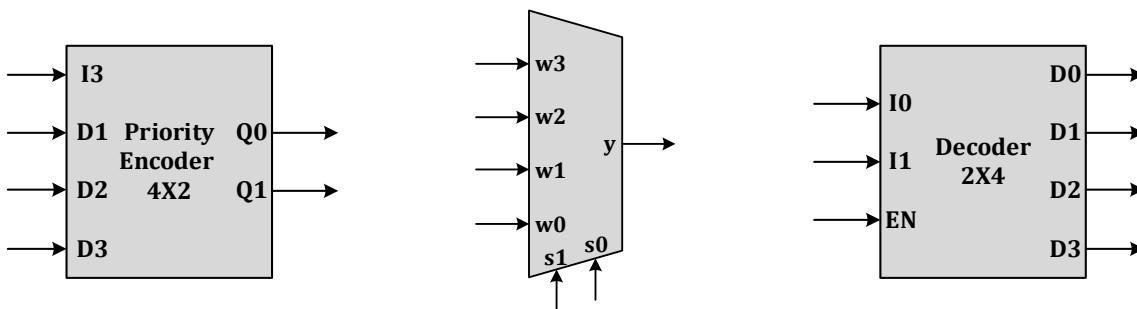
۶۰.۴) اکنون که از صحت خروجی‌ها مطمئن شده‌اید، به کمک «پیوست ۳: مراحل سنتز و بارگذاری کد توصیف سخت‌افزاری روی FPGA» این مدار را سنتز کرده و آن را روی بورد FPGA برنامه‌ریزی کنید. مجدداً به کمک ورودی‌ها و خروجی‌های بورد، صحت عملکرد کد خود را بررسی کنید.

³ Testbench file

۵- آشنایی با مالتیپلکسر، انکدر و دیکدر

پیشگزارش

- ۱) مدارهای دیکدر ۲ به ۴، مالتیپلکسر ۴ به ۱ و انکدر اولویت ۲ به ۴ را در سطح گیت رسم کرده و توصیف آنها را با زبان وریلاگ در سطح گیت بنویسید.



آزمایش ۵

- ۱.۵) مدارهای بالا را در سطح گیت و با استفاده از زبان وریلاگ توصیف نمایید. یک فایل محیط آزمون طراحی کرده و مدارهای طراحی شده را شبیه‌سازی کنید.
- ۲.۵) با استفاده از مدار دیکدر 2×4 طراحی شده در قسمت قبل، یک دیکدر 4×16 طراحی نمایید. مدار را با استفاده از زبان وریلاگ توصیف نمایید.
- ۳.۵) با استفاده از دیکدر 4×16 طراحی شده در قسمت قبل، تابع زیر را پیاده‌سازی کنید. (شاید در این پیاده‌سازی‌ها لازم باشد از یکی از گیت‌های پایه مانند And و Or ... استفاده کنید).

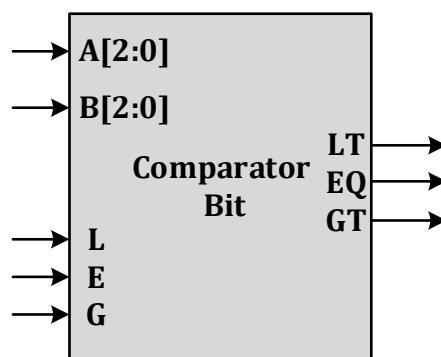
$$f(a, b, c, d) = \prod (0, 1, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 14, 15)$$

- ۴.۵) تابع پیاده‌سازی شده توسط دیکدر را روی بورد FPGA برد و آن را تست کنید.

۶- پیاده‌سازی مقایسه‌کننده به صورت ساختاری

پیش‌گزارش

۱. مدار شکل ۶-۱ یک مقایسه‌کننده ۳ بیتی است. مدار آن را در سطح گیت (با استفاده از گیتهای پایه) رسم کنید. سپس با استفاده از زبان وریلág آن را توصیف نمایید.



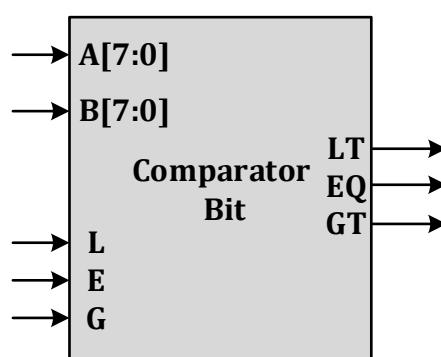
شکل ۶-۱ مقایسه‌کننده ۳ بیتی

آزمایش ۶

- ۱.۶) مدار شکل ۶-۱ را با استفاده از زبان وریلág توصیف نمایید. یک فایل محیط آزمون طراحی نموده و مدار را شبیه‌سازی کنید.

- ۲.۶) مقایسه‌کننده ۳ بیتی طراحی شده در بخش قبل را بر روی بورد FPGA پیاده‌سازی کرده و درستی آن را بررسی کنید.

- ۳.۶) با استفاده از مقایسه‌کننده ۳ بیتی طراحی شده در قسمت قبل یک مقایسه‌کننده ۸ بیتی طراحی نمایید. سپس آن را شبیه‌سازی نمایید.



شکل ۶-۲ مقایسه‌کننده ۸ بیتی

۷- پیاده‌سازی جمع‌کننده-تفریق‌کننده به صورت ساختاری

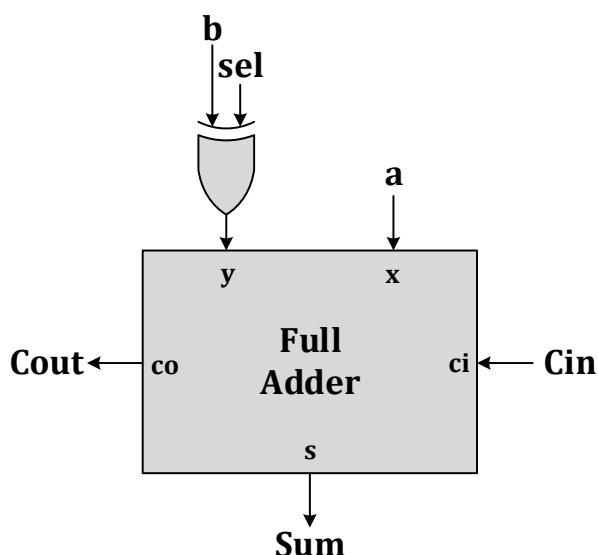
پیش‌گزارش

☞ پس از مطالعه دستور کار این آزمایش، توصیف‌های خواسته شده را به زبان Verilog بنویسید.

آزمایش ۷

☞ ۱.۷) در گام نخست این آزمایش، هدف پیاده‌سازی مدار شکل ۱-۷ است. این مدار دو بیت A و B را دریافت و بر اساس اینکه مقدار Cin صفر یا یک باشد، به صورت متناظر دو بیت را با یکدیگر جمع یا از یکدیگر تفریق می‌کند.

از دانشجویان انتظار می‌رود تا این مدار را با زبان Verilog به صورت ساختاری^۴ توصیف کنند. توصیف مدار تمام جمع‌کننده‌ی این شکل نیز باید در سطح گیت انجام پذیرد (فرض کنید تأخیر گیت‌های AND و OR هر کدام ۵ نانو ثانیه، گیت XOR ۱۰ نانو ثانیه و گیت NOT ۲ نانو ثانیه است. تأخیرهای ذکر شده در تمامی مراحل این آزمایش برقرار هستند).

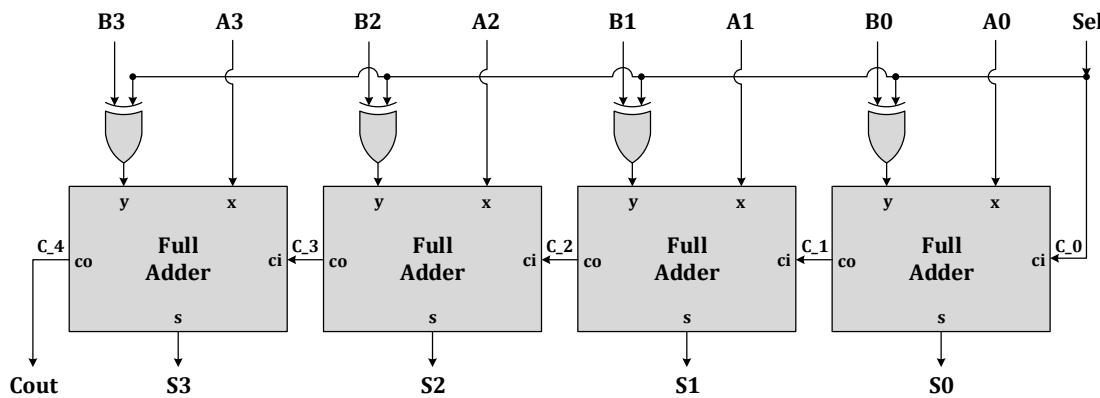


شکل ۱-۷ مدار جمع‌کننده-تفریق‌کننده تک بیتی

☞ ۱.۷) در گام دوم این آزمایش لازم است تا دانشجویان مطابق شکل ۷-۲ مدار جمع‌کننده-تفریق‌کننده ۴ بیتی را با استفاده از مدار بخش اول توصیف کنند.

☞ ۲.۷) اکنون دانشجویان باید برای این مدار یک برنامه آزمون نوشته و مدار را به ازای حداقل ۳ حالت تفریق و ۳ حالت جمع آزمایش کنند. پس از اعمال ورودی تا زمانی که خروجی ثابت بشود، خروجی چه گذارهایی دارد؟ آنها را یادداشت کنید. علت این تغییرات چیست؟

^۴ یعنی با ایجاد نمونه (instantiation) از گیت‌ها و اتصال آنها به یکدیگر با سیم



شکل ۷-۲ مدار جمع کننده-تفریق کننده چهار بیتی

۳.۷) در گام آخر این آزمایش لازم است دانشجویان مطابق مراحل ذکر شده در پیوست ۳، کدهای بخش اول و دوم خود را سنتز کرده و آن را بر روی بورد FPGA بارگذاری کنند. ورودی‌های بخش ۲.۷ را با کمک کلیدهای موجود بر روی بورد اعمال کنید و نتایج را مشاهده کنید.

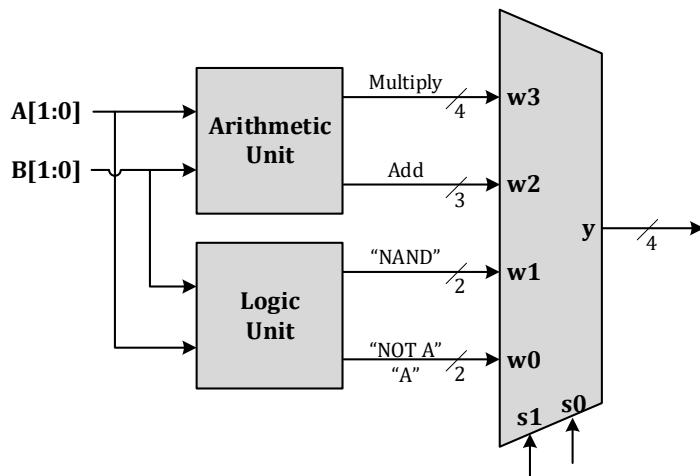
۸- پیاده‌سازی واحد محاسبه و منطق

پیش‌گزارش

پس از مطالعه دستور کار این آزمایش، توصیف‌های خواسته شده را به زبان Verilog بنویسید.

آزمایش ۸

واحد محاسبه و منطق^۵ یکی از مهم‌ترین قسمت‌های یک پردازنده است. ALU از سه قسمت محاسبه، منطق و کنترل تشکیل شده است. قسمت محاسباتی اعمالی نظیر جمع، تفریق، ضرب و تقسیم را انجام می‌دهد. در قسمت منطقی اعمالی نظیر NOT، OR، XOR و NOR انجام می‌شود. در نهایت، قسمت کنترل نیز وظیفه تعیین واحد عملیاتی و عملیات مورد نظر را به عهده دارد. در این آزمایش هدف پیاده‌سازی یک ALU بسیار ساده است. شکل ۸-۱ بلوک دیاگرام این ساختار را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۱ بلوک دیاگرام یک واحد محاسبه و منطق

جدول ۸-۱ کدهای عملیاتی را که توسط واحد محاسبه و منطق در این آزمایش مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشان می‌دهد. در این آزمایش به دلیل محدودیت زمانی از پیاده‌سازی سایر عملگرها صرف نظر می‌شود. عملکرد مورد نظر و همچنین داده‌های ورودی را می‌توان با استفاده از سوییچ‌های (DIP Switch) موجود بر روی بورد تعیین نمود.

جدول ۸-۱ کدهای تعیین‌کننده عملکرد ALU

| <i>Operation</i> | <i>Description</i> | <i>Sel₁</i> | <i>Sel₀</i> |
|------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| NOT | <i>NOT A</i> | 0 | 0 |
| NAND | $\overline{A \bullet B}$ | 0 | 0 |
| ADD | $A + B$ | 1 | 1 |
| MULTIPLY | $A \times B$ | 1 | 1 |

⁵ Arithmetic-Logic-Unit

- ۱۰.۸) جدول ۸-۱ را ابتدا در سطح جریان داده^۶ ساختاری توصیف کنید. اکنون برنامه آزمونی بنویسید تا صحت عملکرد طرح را بررسی کند. بعد از اطمینان از صحت نتایج، برنامه را بر روی بورد FPGA و با استفاده از LED ها آزمایش کنید.

نکات مهم:

در خطوط ورودی مالتی‌پلکسر برخی ورودی‌ها تعداد بیت کمتری دارند. برای آنکه تمامی ورودی‌ها ۴ بیتی باشند، بیت پر ارزش در این ورودی‌ها را صفر در نظر بگیرید.

⁶ dataflow

۹- تحلیل و پیاده‌سازی مدارات ترتیبی

پیش‌گزارش

- ☞ پس از مطالعه دستور کار این آزمایش، توصیف‌های خواسته شده را به زبان Verilog بنویسید.
- ☞ برای مدار این آزمایش، نمودار زمانی صفحه بعد را با فرض آن که گیت‌های منطقی بدون تاخیر هستند رسم کنید.
- ☞ توجه: در این آزمایش رسم نمودار زمانی مدار زیر با فرض تاخیر برای گیت‌ها در آزمایشگاه کوئیز گرفته خواهد شد.

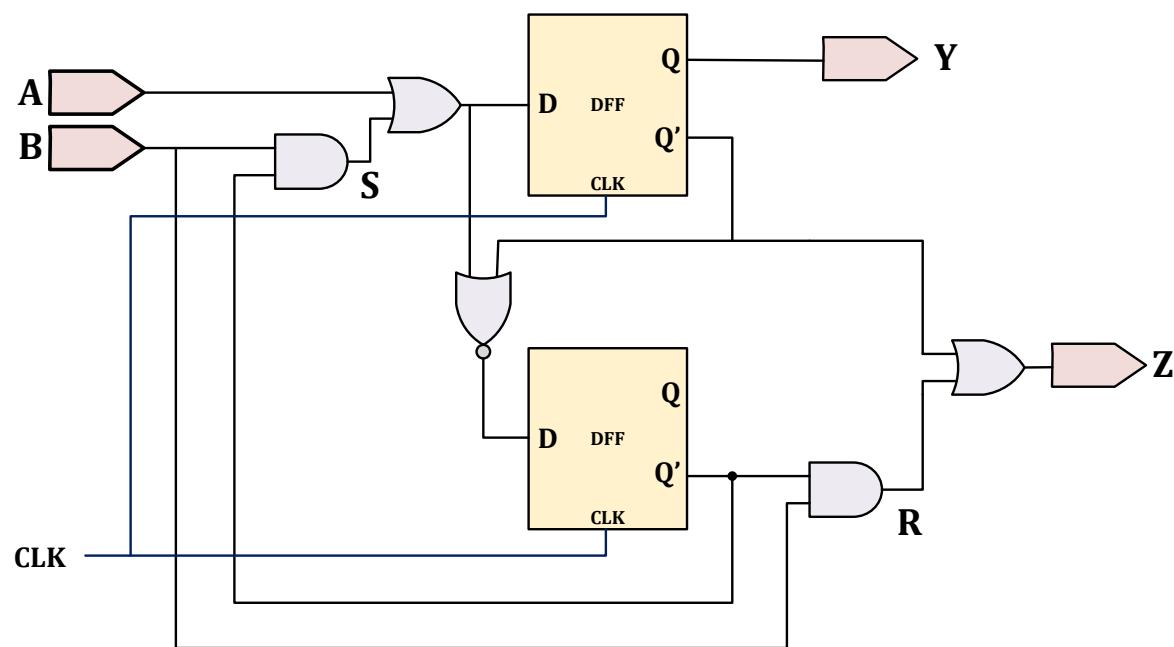
آزمایش ۹

- ☞ (۱.۹) فلیپ‌فلاب‌ها با لبه پایین‌رونده سیگنال ساعت (CLK) کار می‌کنند. اکنون این مدار را با استفاده از زبان وریلág توصیف کنید. برنامه محیط آزمونی بنویسید که ورودی‌هایش مشابه با نمودار داده شده در بخش اول باشد. خروجی شبیه‌سازی را با خروجی گام نخست مقایسه کنید.
- ☞ (۲.۹) با استفاده از تأخیرهای داده شده، مدار را شبیه‌سازی کنید و نتیجه شبیه‌سازی را با نتیجه بدست آمده توسط خودتان مقایسه کنید. تأخیر هر یک از گیت‌ها را ۱۰ نانوثانیه در نظر بگیرید. دوره تناوب سیگنال ساعت را نیز ۸۰ نانوثانیه و تأخیر ورودی ساعت تا خروجی فلیپ‌فلاب را ۵ نانوثانیه در نظر بگیرید.
- ☞ (۳.۹) رفتار خروجی‌ها را تحلیل کنید. به نظر شما این مدار چه عملیاتی را پیاده‌سازی می‌کند؟
- ☞ (۴.۹) مدار را بر روی بورد FPGA پیاده‌سازی کرده و خروجی‌ها را به نمایشگر هفت قسمتی^۷ وصل کنید. توضیحات نحوه عملکرد نمایشگر هفت قسمتی و کدهای لازم جهت راه‌اندازی این نمایشگر روی بورد FPGA موجود در آزمایشگاه، در پیوست ۴ آمده است. جهت نمایش برروی بورد از قسم فرکانسی^۸ جهت تولید ساعت استفاده کنید.

فرکانس کلاک ورودی بورد FPGA آزمایشگاه برابر ۴۰ مگاهرتز است. بنابراین اعداد نمایش داده شده برروی مدار بسیار سریع بوده و با چشم قابل دیدن نخواهد بود. قسم فرکانسی در واقع فرکانس کلاک ورودی را کاهش داده و یک کلاک کنترل می‌سازد. از قسم فرکانسی استفاده کرده و از روی کلاک با فرکانس ۴۰ مگاهرتزی یک کلاک ۱ هرتزی تولید می‌کنیم. در ضمیمه ۵ قطعه کد مقسم فرکانسی آمده است.

⁷ 7-Segment display

⁸ Frequency Divider



The figure displays a timing diagram with seven horizontal signal lines labeled CLK, A, B, R, S, Y, and Z from top to bottom. The CLK signal is a standard square wave. Signal A starts high, goes low at the first rising edge of CLK, and remains low until the third rising edge. Signal B starts low, goes high at the second rising edge of CLK, and remains high until the fourth rising edge. Signal R is high during the first two rising edges of CLK and low during the next three. Signal S is high during the last three rising edges of CLK and low during the first two. Signal Y is high whenever R is high and S is low. Signal Z is high whenever A is high and B is low.

| Time | CLK | A | B | R | S | Y | Z |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | High | High | Low | High | High | Low | Low |
| 1 | Low | Low | Low | Low | Low | High | Low |
| 2 | High | Low | Low | High | Low | Low | High |
| 3 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 4 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 5 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 6 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 7 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 8 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 9 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 10 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 11 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 12 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 13 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 14 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 15 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 16 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 17 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 18 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 19 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 20 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 21 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 22 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 23 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 24 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 25 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 26 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 27 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 28 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 29 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 30 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 31 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 32 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 33 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 34 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 35 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 36 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 37 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 38 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 39 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 40 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 41 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 42 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 43 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 44 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 45 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 46 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 47 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 48 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 49 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 50 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 51 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 52 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 53 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 54 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 55 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 56 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 57 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 58 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 59 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 60 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 61 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 62 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 63 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 64 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 65 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 66 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 67 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 68 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 69 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 70 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 71 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 72 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 73 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 74 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 75 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 76 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 77 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 78 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 79 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 80 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 81 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 82 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 83 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 84 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 85 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 86 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 87 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 88 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 89 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 90 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 91 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 92 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 93 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 94 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 95 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 96 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 97 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 98 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |
| 99 | Low | Low | High | High | High | High | Low |
| 100 | High | Low | High | Low | Low | Low | High |

۱۰- پیاده‌سازی ماشین حالت

پیش‌گزارش

- ☞ دیاگرام حالت ماشین زیر را رسم کنید.
- ☞ با استفاده از زبان وریلگ، یک ثبات ۴ بیتی توصیف نمایید.

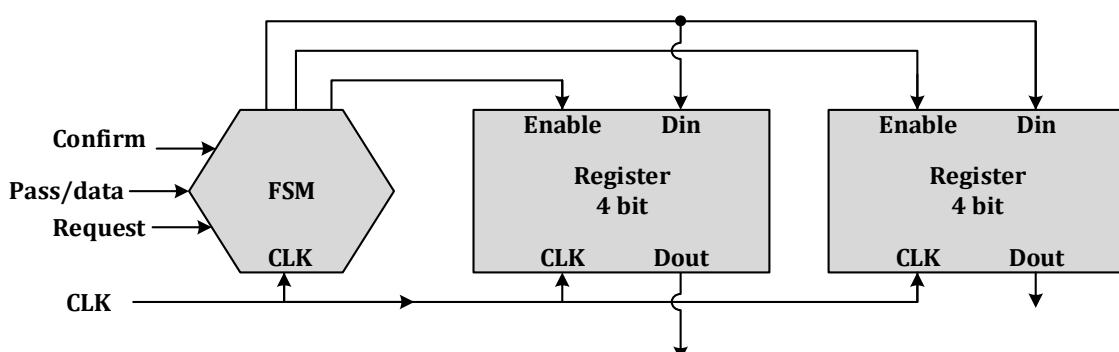
آزمایش ۱۰

- ☞ ۱.۱۰) یک ثبات ۴ بیتی توصیف نمایید.

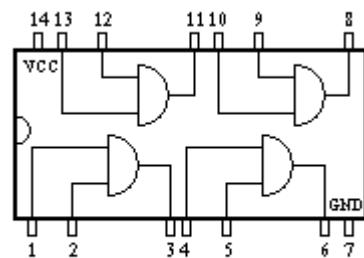
سامانه‌ای را در نظر بگیرید که نیاز است پس از احرار هویت فرد، اطلاعاتی را در یکی از دو جعبه‌ی مشخص شده نگه‌داری کند. فرد رمز را وارد کرده و در صورت درست بودن آن، داده را در سامانه وارد می‌کند. سامانه با توجه به نوع داده جعبه‌ی مورد نظر را شناسایی کرده و داده را در آن قرار می‌دهد. حال از شما خواسته شده است تا یک سامانه‌ی دیجیتالی برای این منظور طراحی نمایید. در یک سامانه‌ی دیجیتالی ثبات مانند یک جعبه عمل می‌کند.

- ☞ ۲.۱۰) سامانه در ابتدا در حالت "بیکار" قرار دارد (حالت 000). کاربر باید ابتدا با فعال کردن ورودی Request، سامانه را وارد حالت «فعال» نماید (حالت 001). سپس سامانه منتظر می‌ماند تا کاربر رمز عبور ۴ بیتی را وارد کرده و دکمه‌ی تأیید (Confirm) را فشار دهد. درصورتی که رمز عبور درست باشد، سامانه وارد حالت "درخواست" می‌شود (حالت 101) و درغیر این صورت، سامانه به حالت تله (حالت 111) می‌رود. اگر سامانه وارد حالت "درخواست" شود، منتظر می‌ماند تا کاربر یک داده ۴ بیتی را وارد نموده و دکمه‌ی Confirm را انتخاب کند تا در لبه‌ی فعال ساعت بعدی، سامانه اطلاعات را در ثبات‌های مربوطه ذخیره کند (حالت 110). در تمام این مراحل اگر کاربر ورودی Request را صفر کند، سامانه بلاfacسله به حالت "بیکار" می‌رود. داده‌های فرد باید در یکی از ثبات‌ها و داده‌های زوج در ثبات دیگر ذخیره شود.

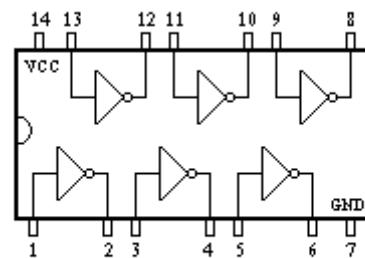
- ☞ ۳.۱۰) با در نظر گرفتن شکل زیر جهت پیاده‌سازی سامانه، دیاگرام ماشین حالت سامانه را رسم کنید.
- ☞ ۴.۱۰) بر اساس دیاگرام حالت طراحی شده، سامانه را با استفاده از ماشین حالت محدود (FSM) طراحی و با زبان Verilog توصیف نمایید. سپس طراحی خود را شبیه‌سازی کنید.



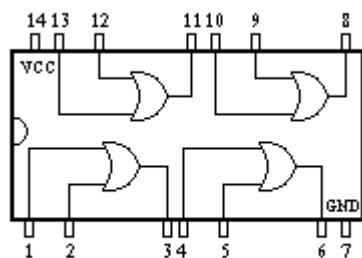
پیوست ۱: راهنمای پایه‌های تراشه‌ها



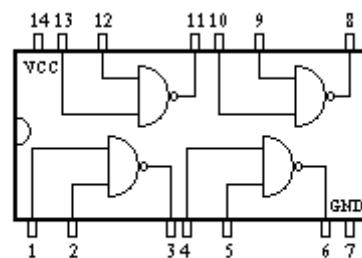
7408



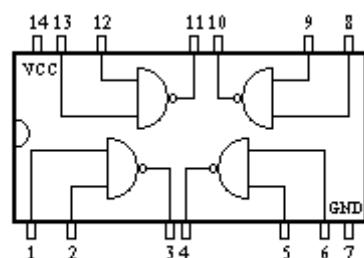
7404



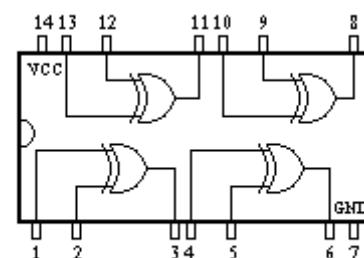
7432



7400



4011



7486

پیوست ۲: روش نوشتن Testbench

فایل محیط آزمون یا Testbench به طراح کمک می‌کند بدون اینکه سختافزار واقعی را داشته باشد، رفتار آن را شبیه‌سازی کند. مزیت اصلی شبیه‌سازی این است که می‌توان مقادیر همه سیگنال‌ها را بررسی کرد. برای اینکه بتوانید طراحی خود را شبیه‌سازی کنید، باید برای آن یک Testbench بنویسید.

چیست؟ Testbench

در واقع یک فایل HDL (در اینجا Verilog) است، اما با کدی که شما مدار مورد نظرتان را در آن توصیف کرده‌اید، متفاوت است. این کد در واقع برای این نوشه می‌شود که عملکرد مدار اصلی را با استفاده از آن شبیه‌سازی کرده و خروجی‌ها را بررسی کنیم. کد زیر را در نظر بگیرید:

```
module basic_and (a, b, out);
  input a, b;
  output out;
  and XGATE(out, a, b);
endmodule
```

این کد عملکرد گیت AND را توصیف می‌کند، برای اینکه بخواهیم عملکرد این گیت را آزمایش کنیم، باید برای این کد یک Testbench بنویسیم، کد زیر نوشته شده برای این گیت است.

```
module basic_and_tb();
  reg a, b;
  wire out;

  basic_and DUT(a, b, out);

  initial begin
    a = 1'b0;
    b = 1'b0;
    #20;
    a = 1'b1;
    b = 1'b0;
    #20;
    a = 1'b1;
    b = 1'b1;
    #20;
  end
endmodule
```

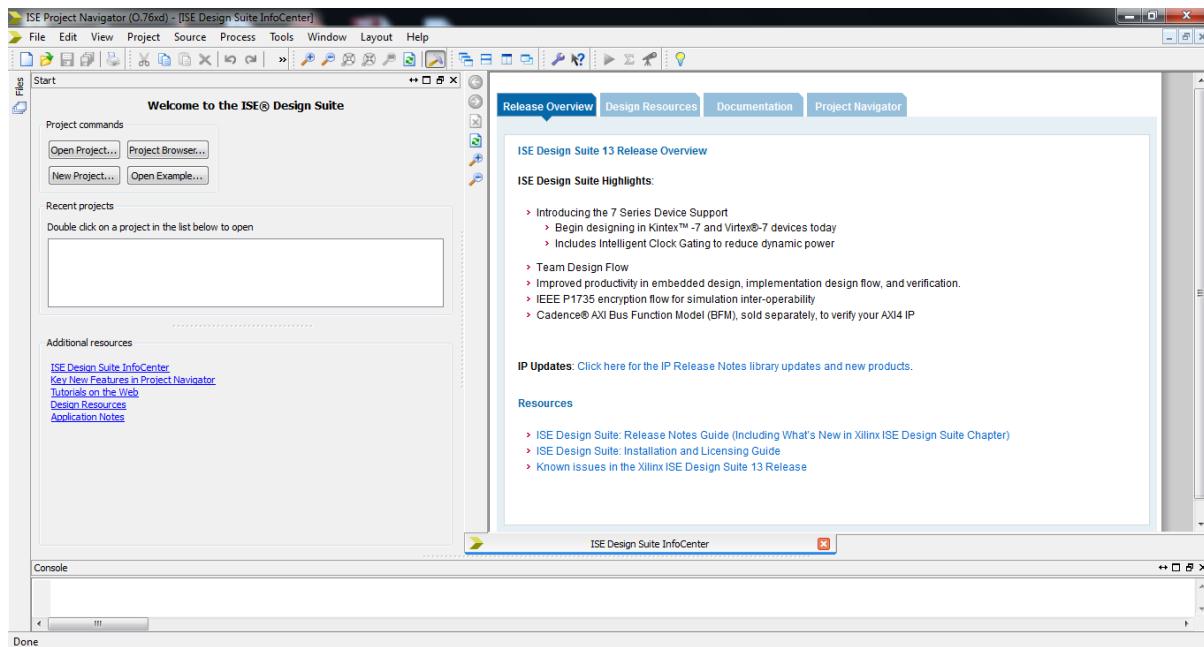
همان طور که مشاهده می‌شود، یک Testbench، مانند هر توصیف دیگر Verilog با اعلان یک مازول شروع می‌شود، با این تفاوت که این مازول هیچ ورودی و خروجی ندارد. بعد از اعلان متغیرهای لازم، مازولی که قرار است عملکرد آن به وسیله این DUT^۹ نام رایجی است که برای یک نمونه مازول انتخاب می‌کنیم. Testbench بررسی شود را نمونه‌گیری می‌کنیم.

⁹ Design Under Test

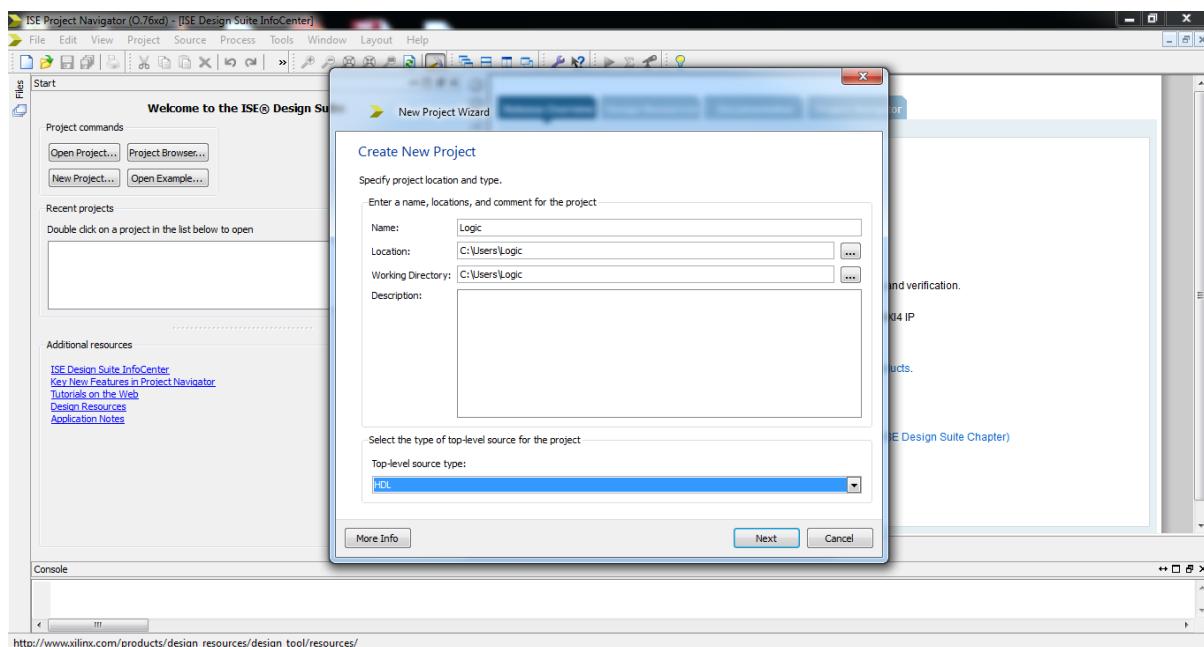
بعد از نمونه‌گیری از مازول تحت تست، بعد از عبارت کلیدی initial begin، شروع به مقداردهی ورودی‌های مدار می‌کنیم. بعد از اعمال هر ترکیب ورودی یک عبارت به صورت `#20` می‌بینیم، این عبارت در واقع به این معناست که بعد از اعمال هر ترکیب ورودی، به مدت ۲۰ واحد زمانی که در ابتدای کد و با کلمه کلیدی Timescale مشخص شده است، منتظر می‌ماند و بعد از آن ترکیب بعدی را به ورودی اعمال می‌کند.

پیوست ۳: مراحل سنتز و بارگذاری کد توصیف سخت افزاری روی FPGA

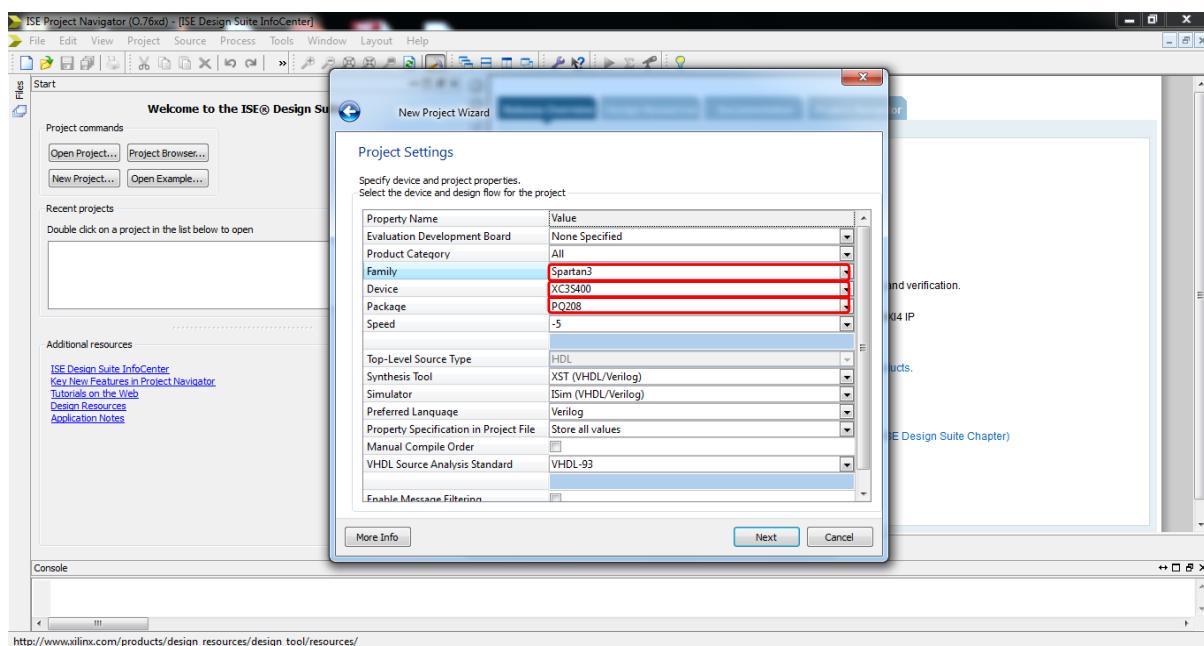
فاز اول: ایجاد پروژه



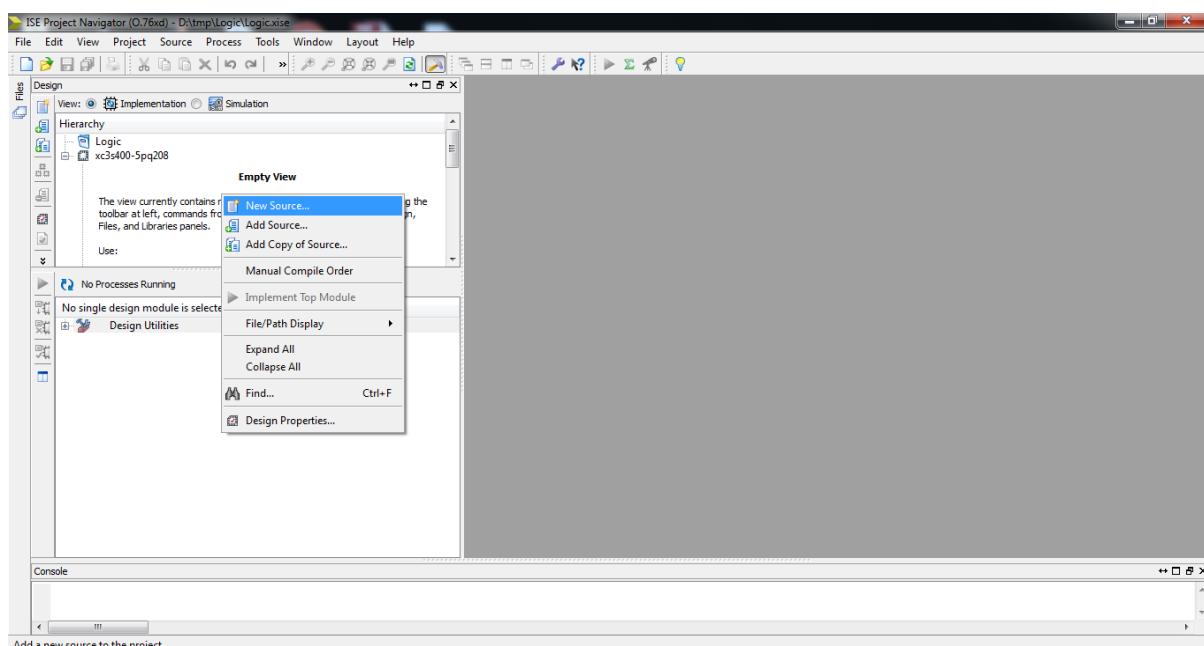
شکل ۱-۰- صفحه شروع کار با ابزار ISE



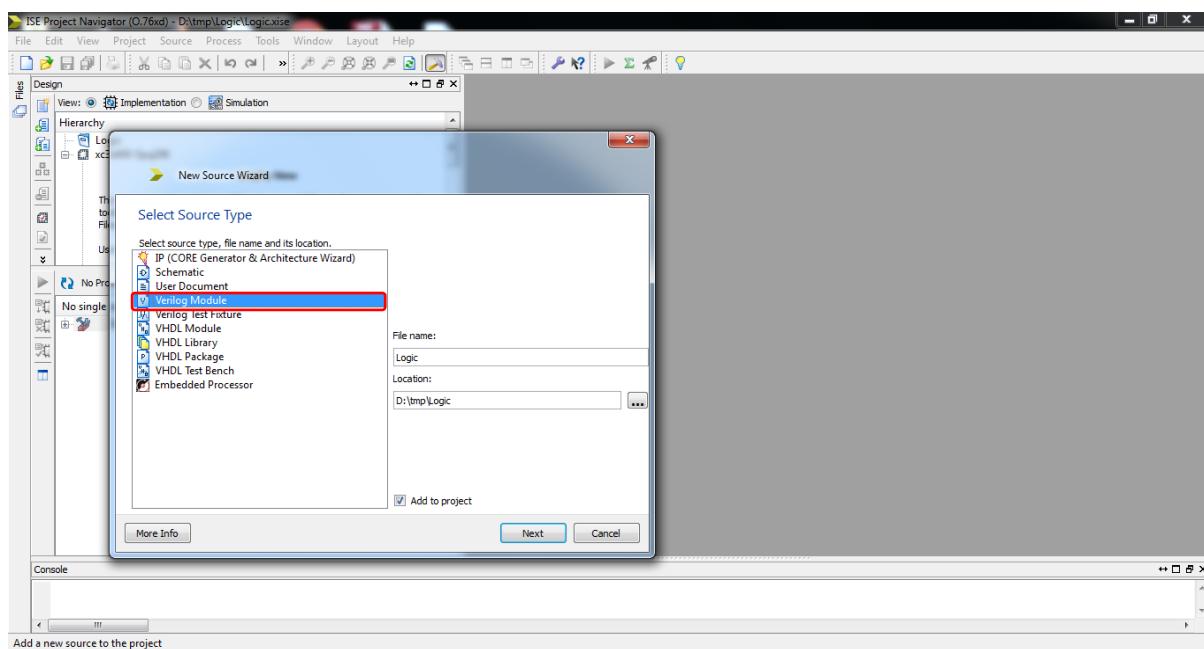
شکل ۲-۰- ایجاد یک پروژه جدید



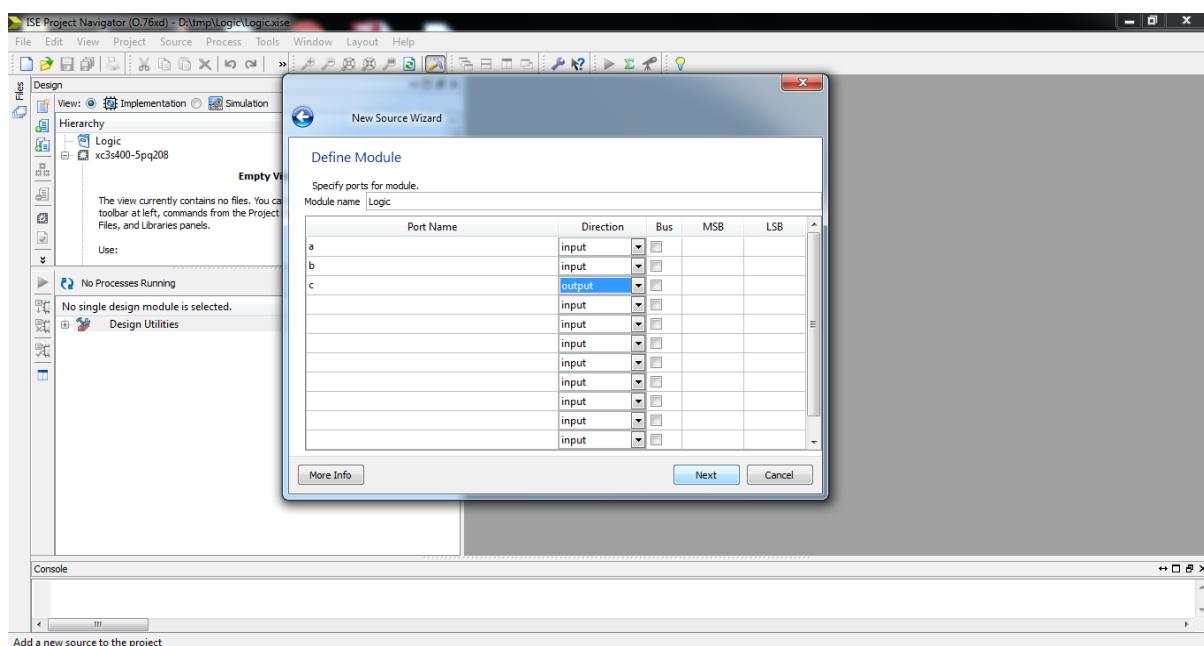
شکل ۳-۰ تعيين ويزگي هاي بورد FPGA



شکل ۴-۰ ايجاد يك فايل در پروژه



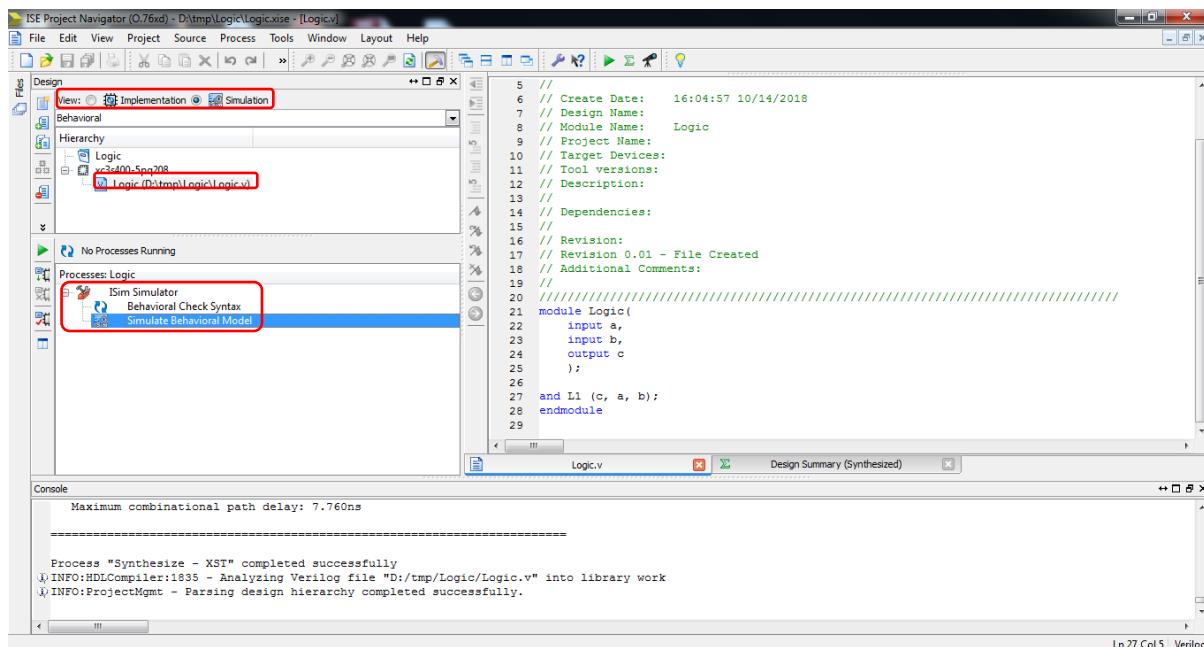
شکل ۵ - تعیین نوع و نام فایل



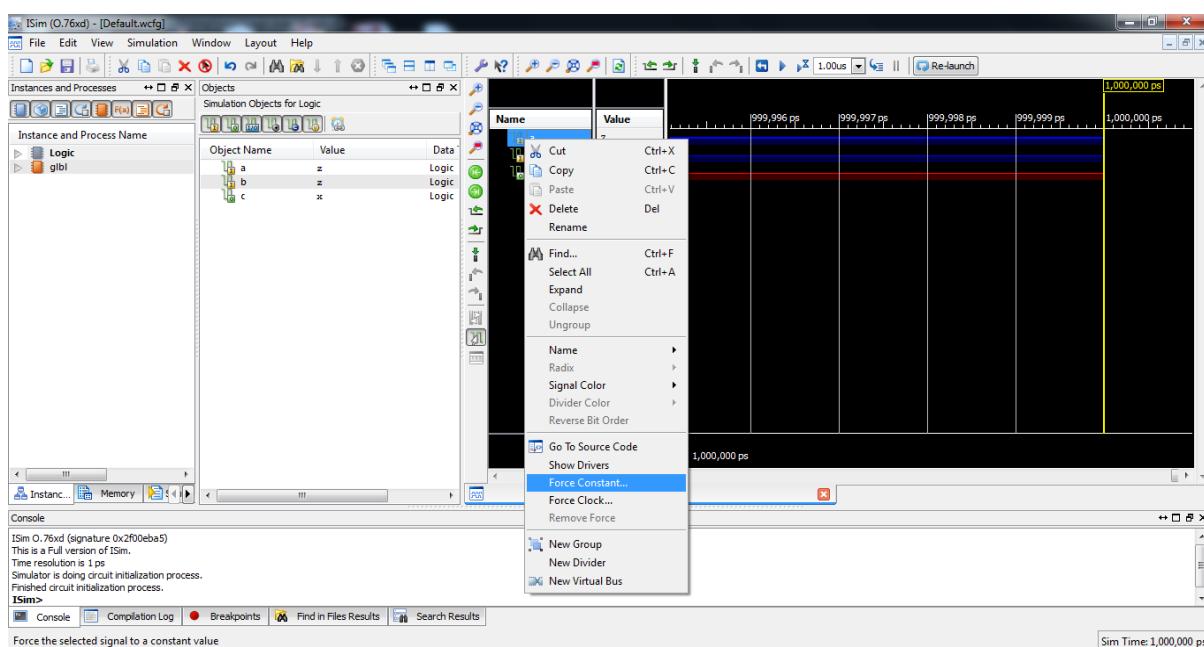
شکل ۶ - تعیین پورت‌های ورودی و خروجی

تعیین پورت‌های ورودی و خروجی در این بخش الزامی نیست.

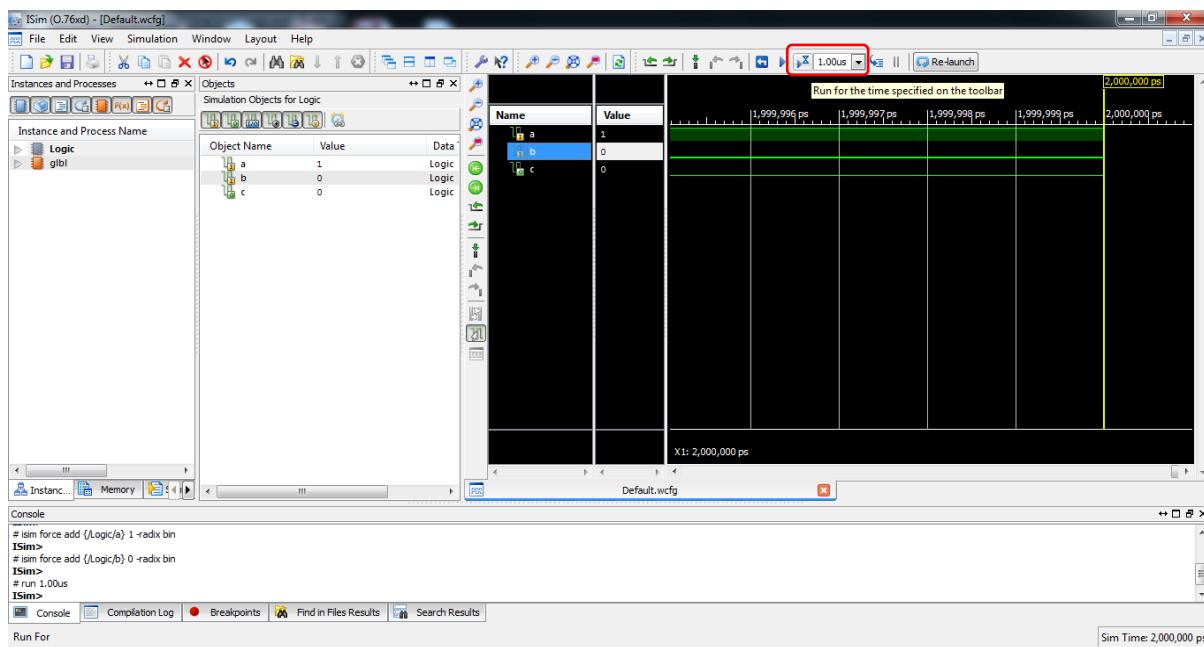
فاز دوم: شبیه‌سازی کد



شکل ۷-۰ منوی شبیه‌سازی با ISim

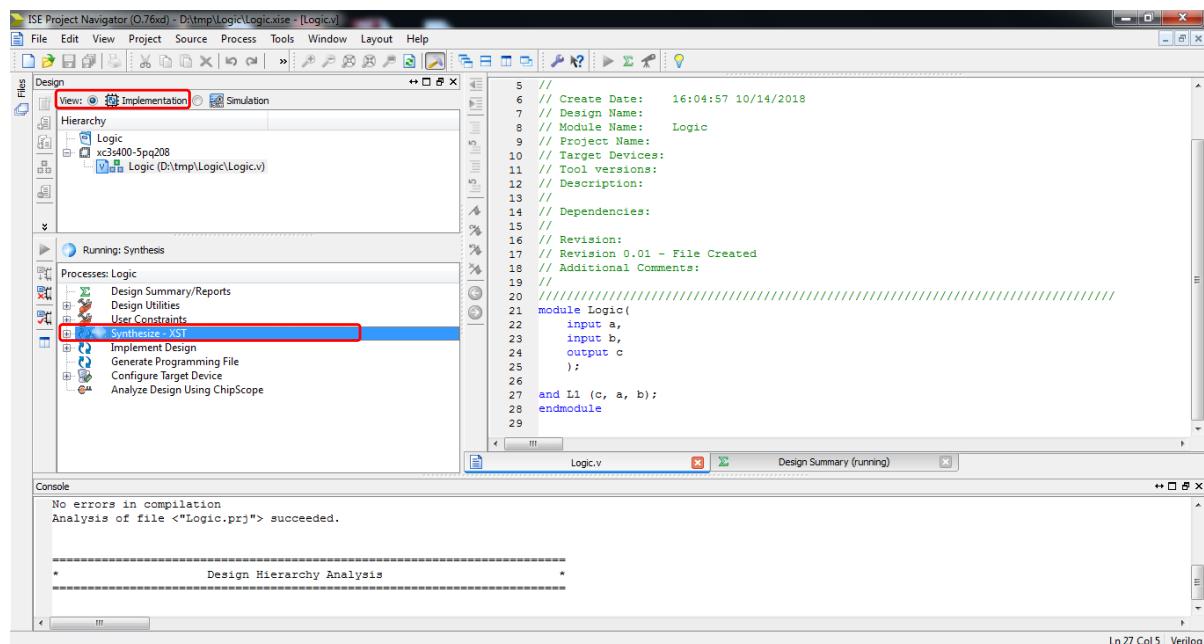


شکل ۸-۰ اعمال مقدار ثابت به سیگنال‌ها (هنگامی که testbench نداریم)

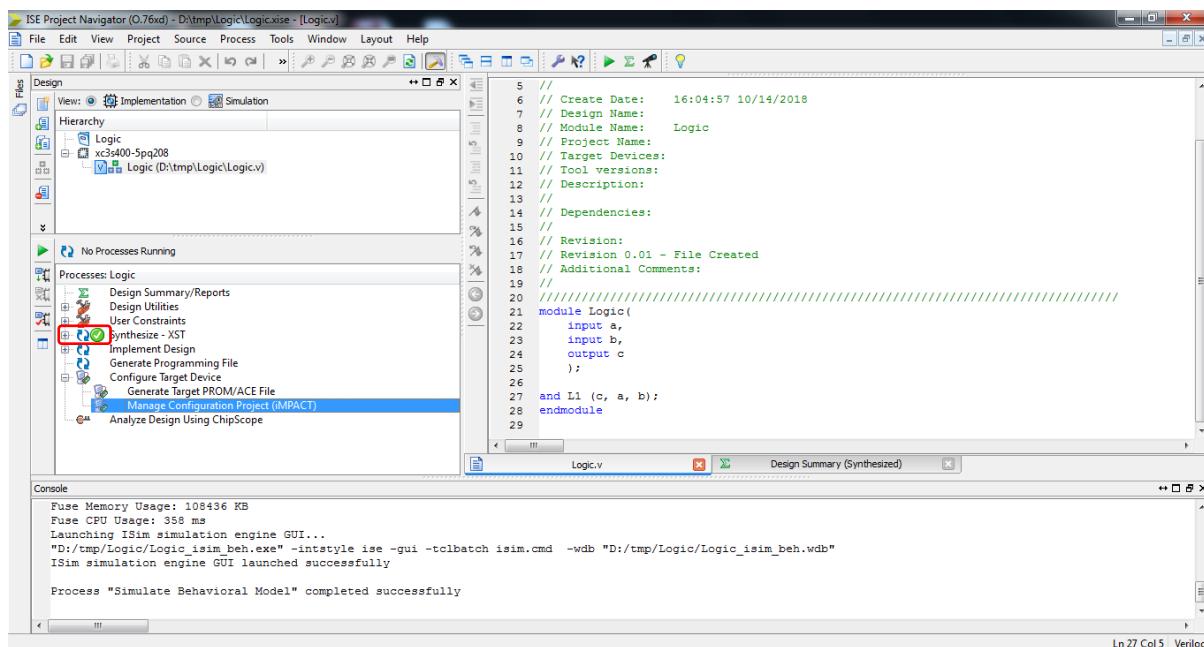


شکل ۹-۰ نتیجه شبیه‌سازی

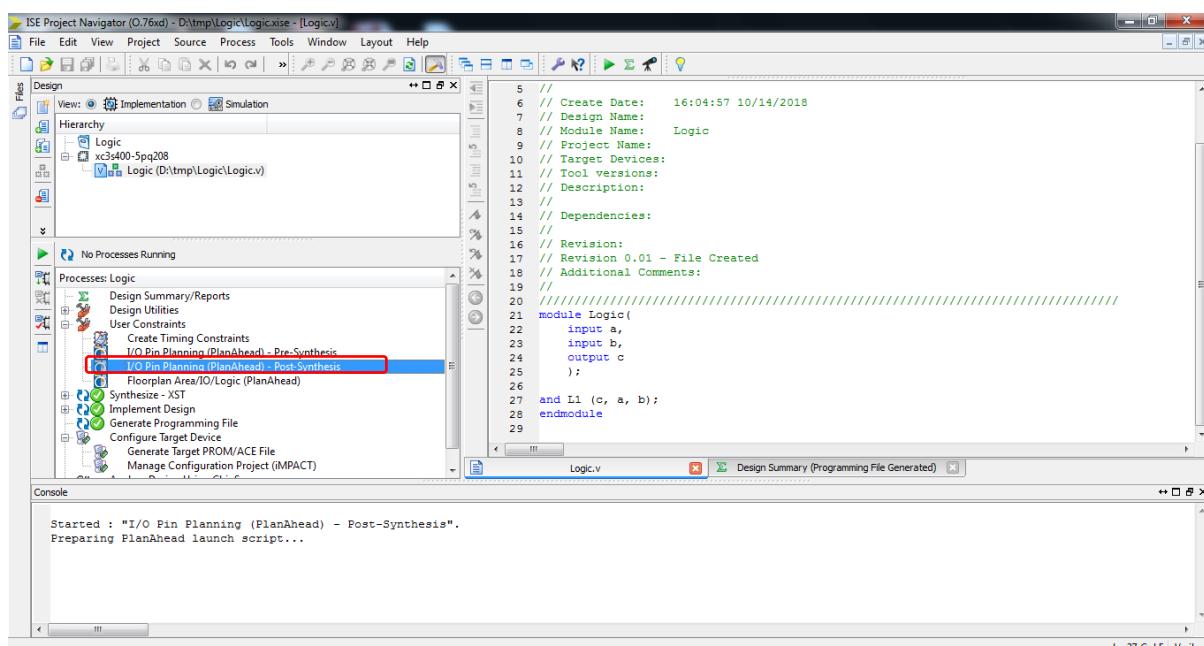
فاز سوم: سنتز و برنامه‌ریزی بورد



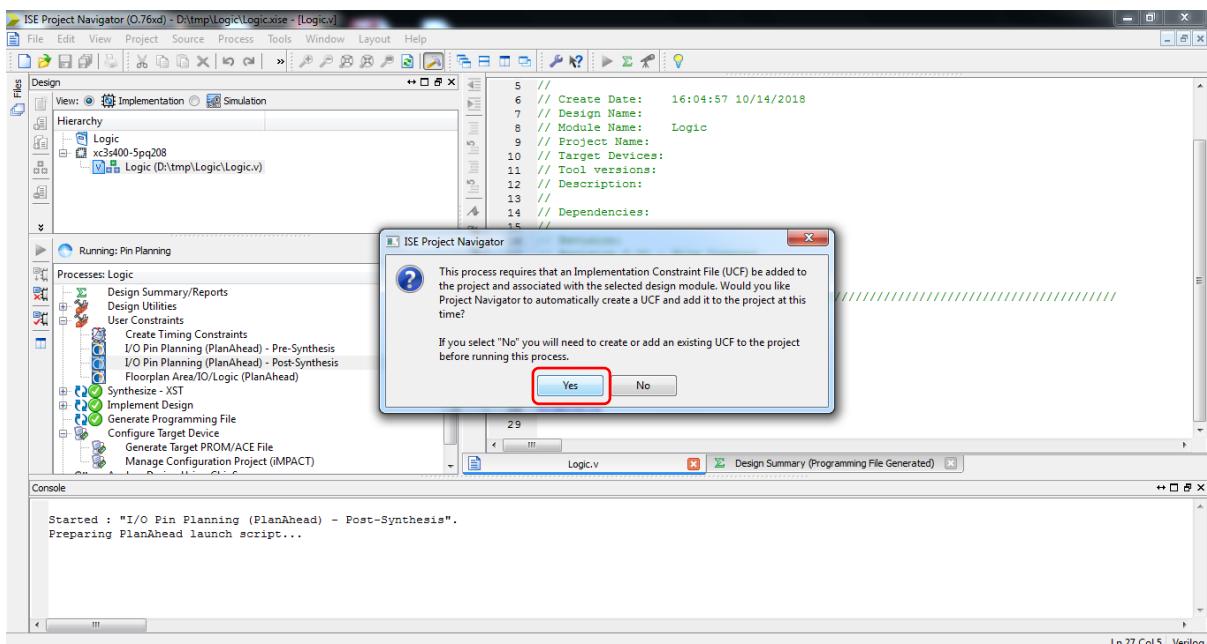
شکل ۱۰-۰ منوی سنتز



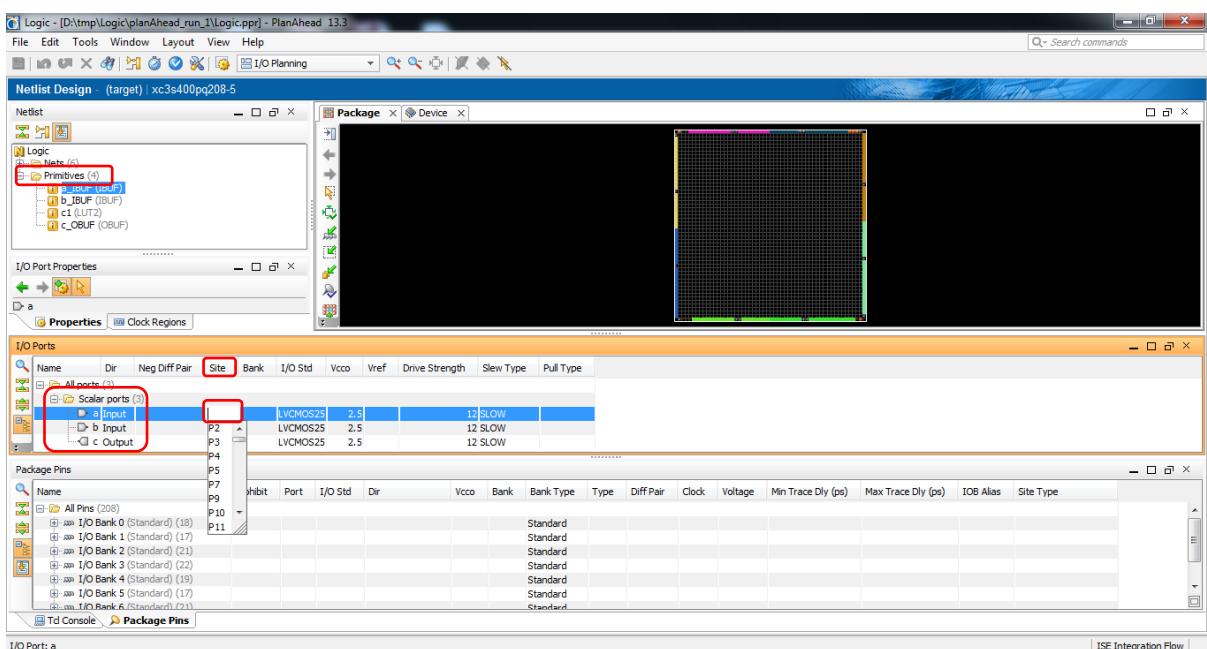
شکل ۱۱-۰ نتیجه سنتز



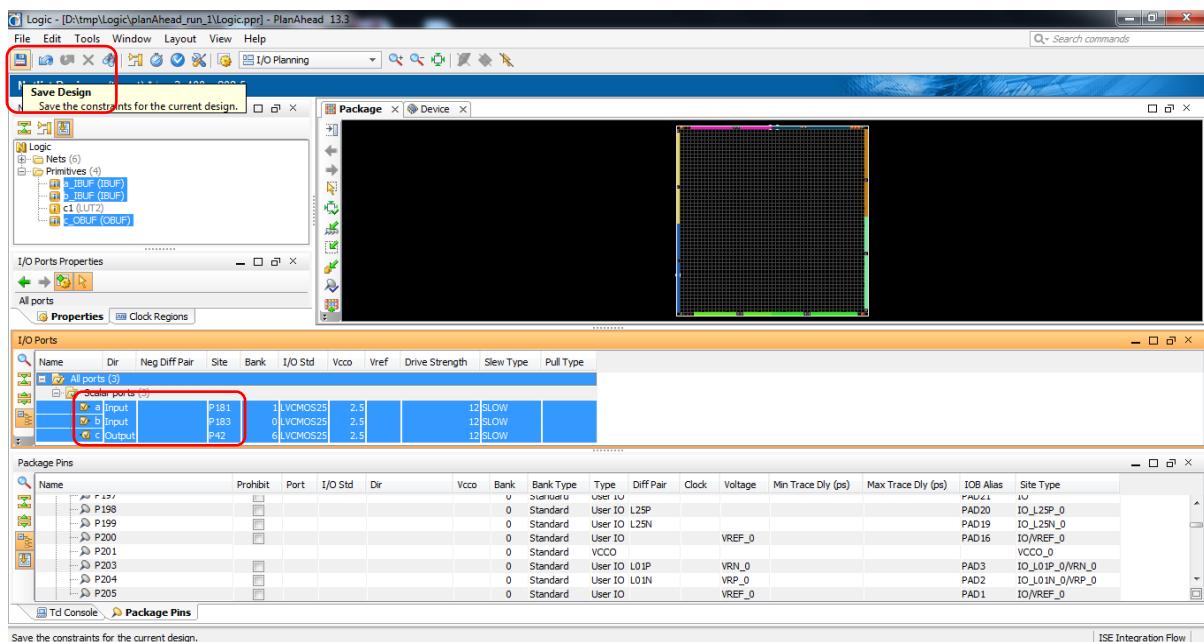
شکل ۱۲-۰ اجرای برنامه تخصیص پایه‌های ورودی و خروجی



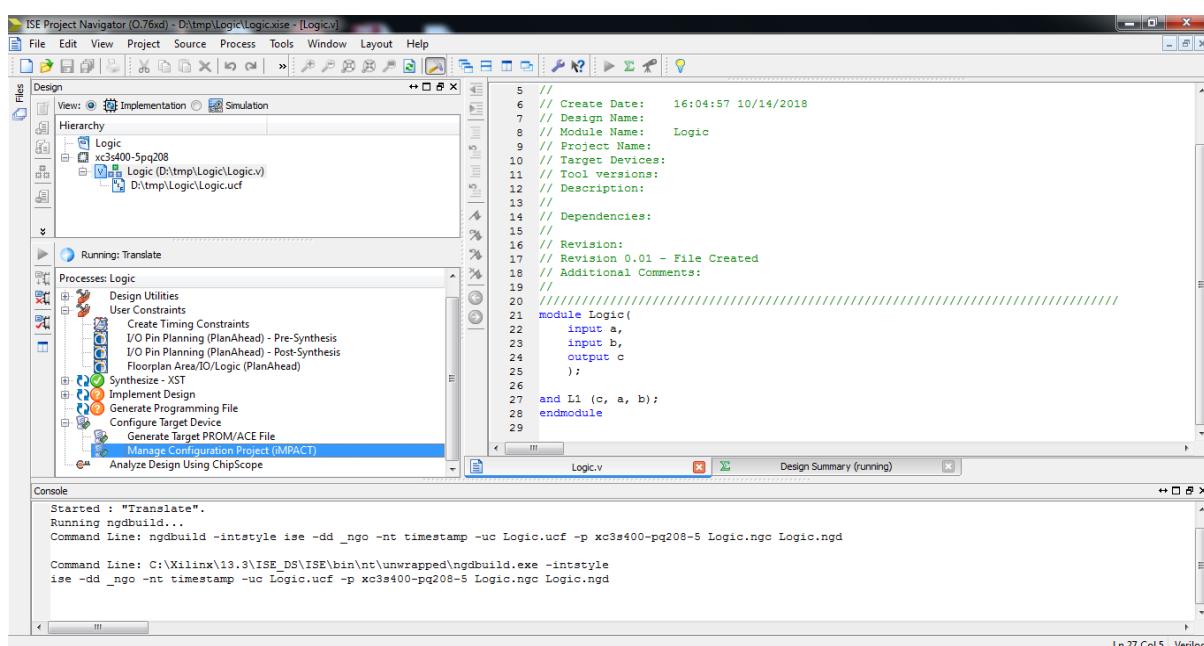
شکل ۱۳-۰ تایید اجرای برنامه تخصیص پایه‌های ورودی و خروجی



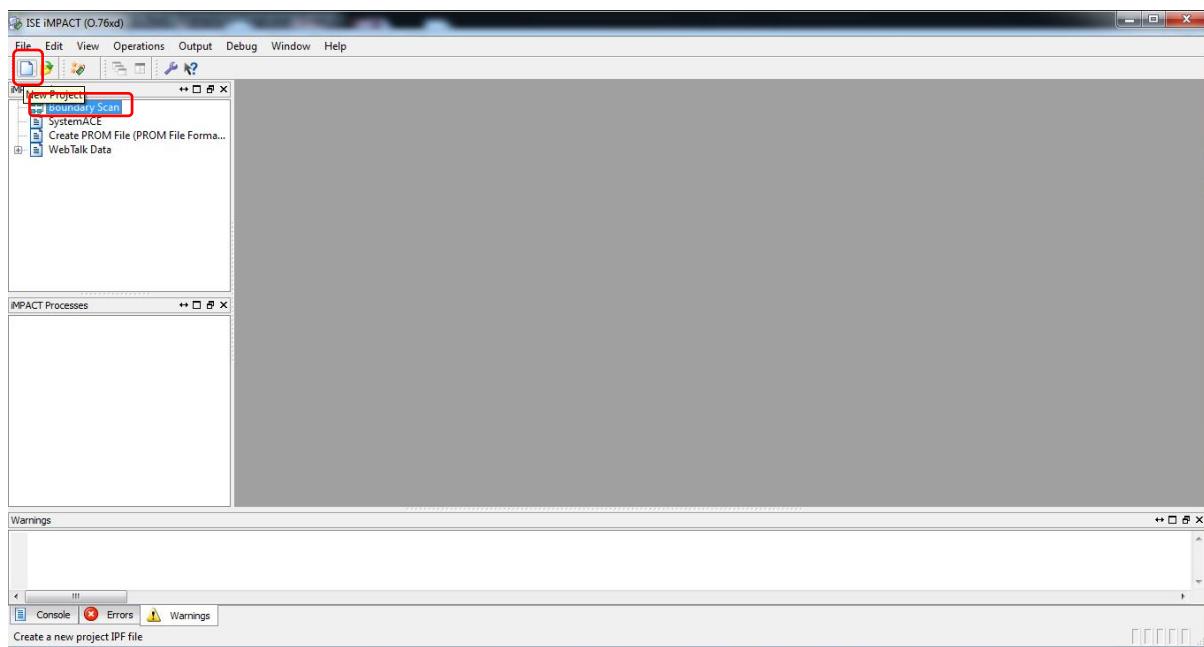
شکل ۱۴-۰ منوی تخصیص پایه‌های ورودی و خروجی



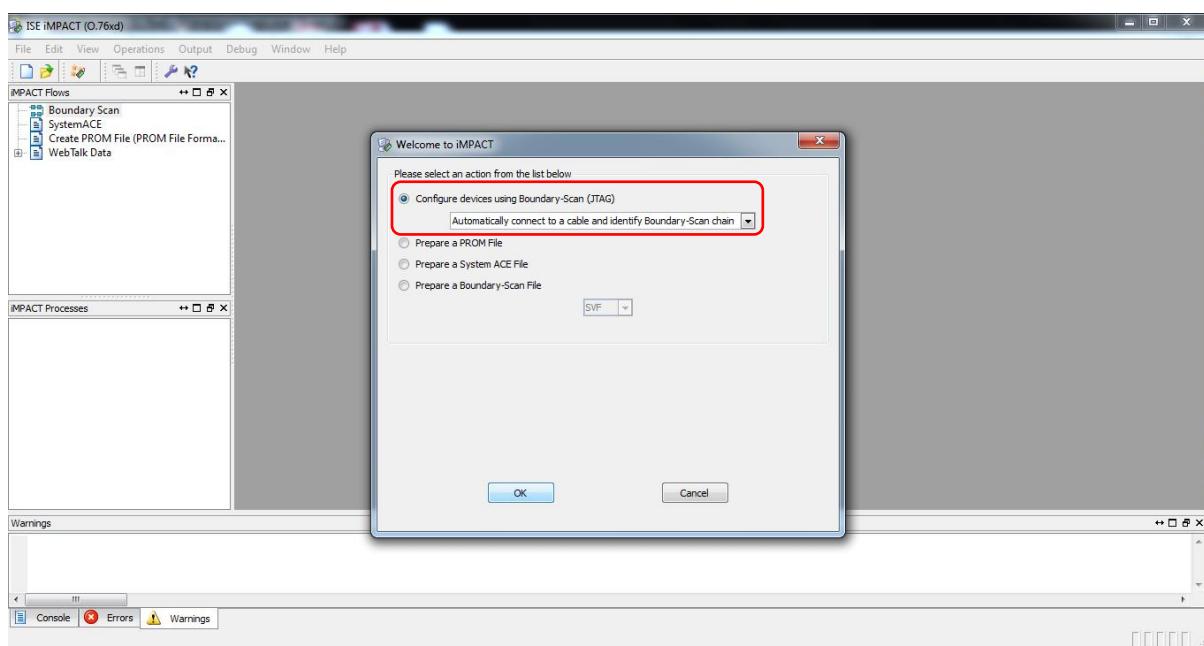
شکل ۱۵-۰ تخصیص پایه‌های ورودی و خروجی



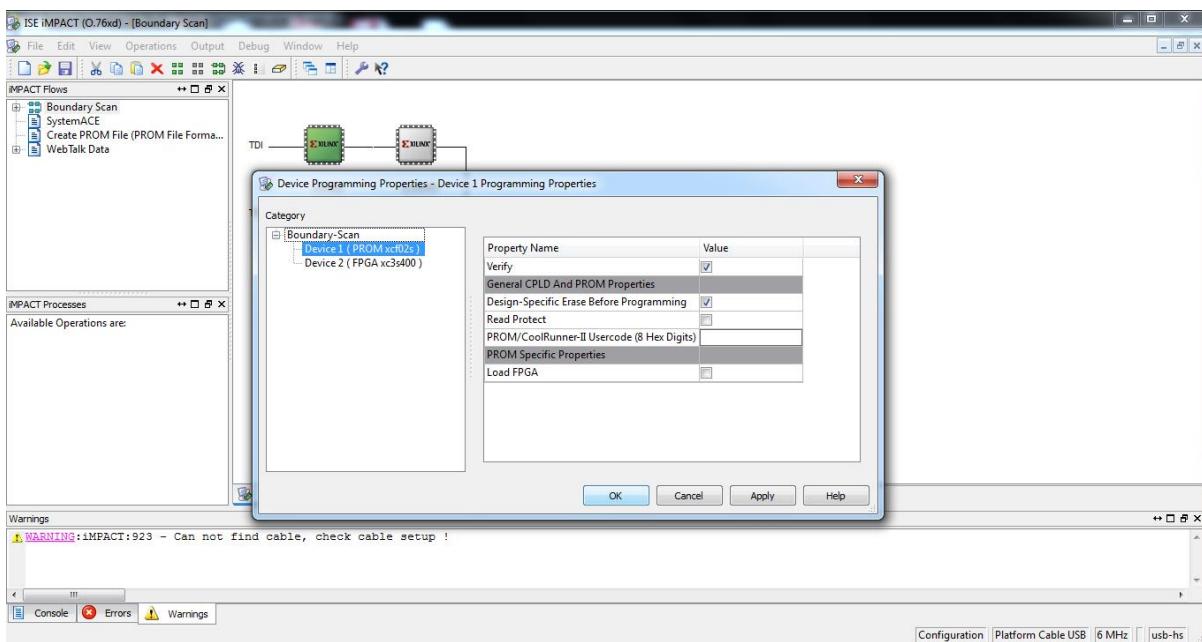
شکل ۱۶-۰ ایجاد فایل برنامه‌ریزی



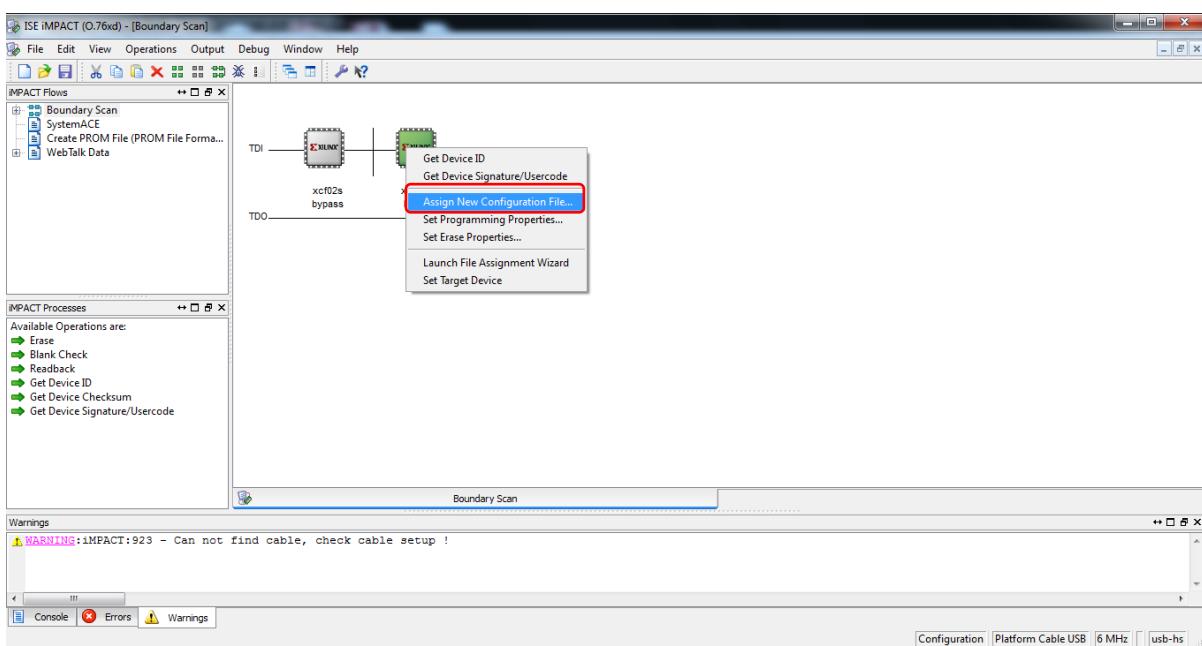
شکل ۱۷-۰ ایجاد یک پروژه برنامه‌ریزی بورد FPGA



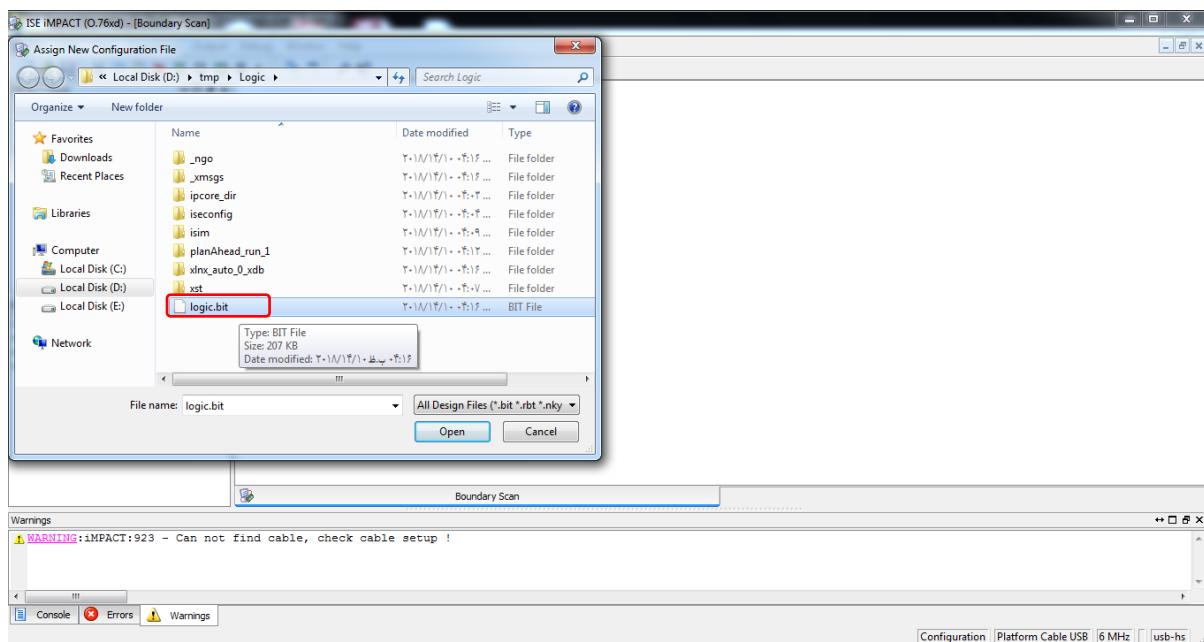
شکل ۱۸-۰ تایید نوع برنامه‌ریزی



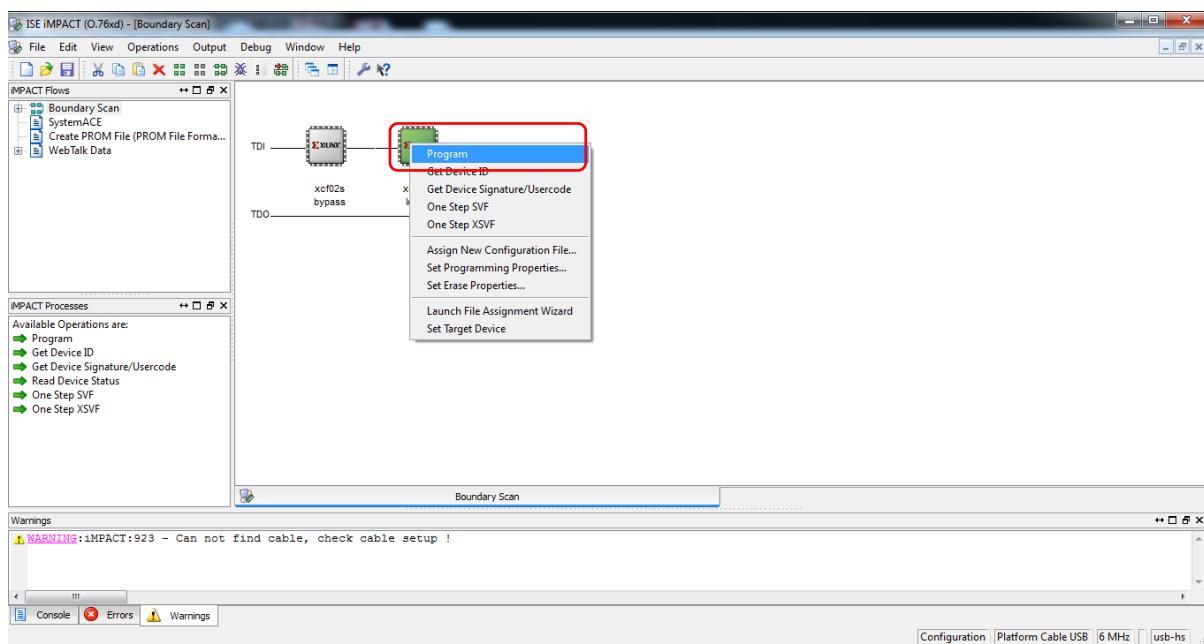
شکل ۱۹-۰ انصاف از برنامه‌ریزی بخش حافظه بورد FPGA



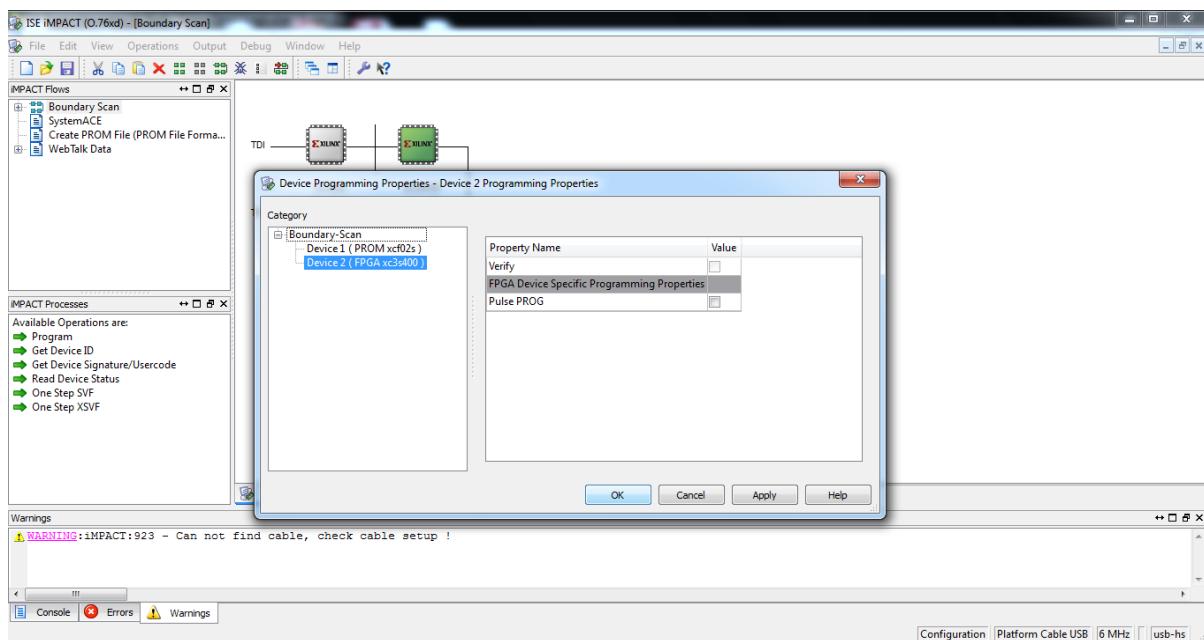
شکل ۲۰-۰ افزودن فایل برنامه‌ریزی مناسب



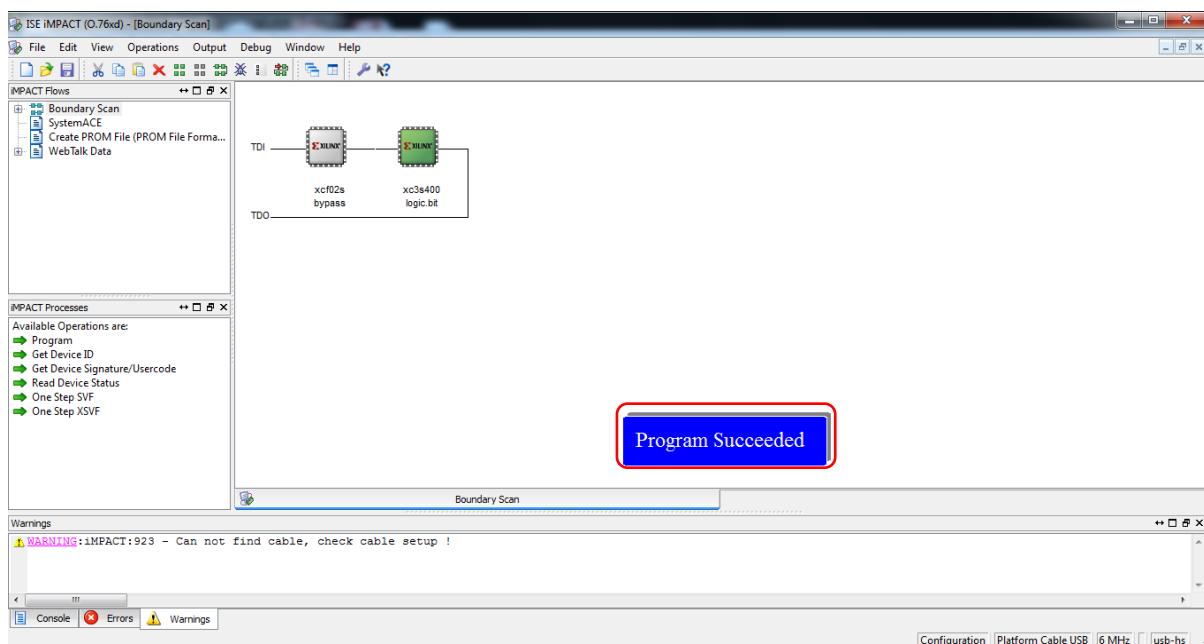
شکل ۲۱-۰ انتخاب فایل مناسب



شکل ۲۲-۰ برنامه ریزی FPGA



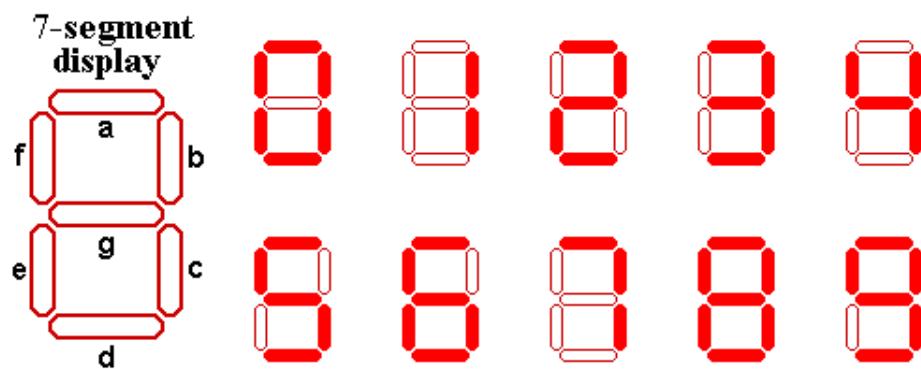
شکل ۲۳ - تائید نهایی



شکل ۲۴ - وضعیت برنامه ریزی

پیوست ۴: کار با نمایشگر هفت قسمتی

نمایشگر هفت قسمتی، از هفت قطعه فتوالکتریک، مانند کریستال مایع یا LED ساخته می‌شود. این قطعات به گونه‌ای که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در کنار هم قرار داده شده‌اند. با روشن کردن برخی از این LED‌ها می‌توان اعداد و همچنین برخی از کاراکترها را نمایش داد.



شکل ۱: چگونگی نمایش اعداد با 7-seg

| Binary Inputs | | | | Decoder Outputs | | | | | | | 7-Segment Display Outputs | |
|---------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|---|---|---|---------------------------|---|
| D | C | B | A | a | b | c | d | e | f | g | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | | 2 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | | 3 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | | 4 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | | 5 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 6 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 7 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 8 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | | 9 |

شکل ۲: نگاشت مقادیر BCD به 7-seg

ماژول مبدل BCD به 7-Segment

```

module bcd2seven_seg(a,b,cin, sel, SEG_SEL, SEG_DATA) ;

input [1:0]a;
input [1:0]b;
input [1:0]sel;
input cin;
output [4:0]SEG_SEL;
output [7:0]SEG_DATA;
reg [7:0]SEG_DATA;
wire [3:0]mux_out;

always @ (mux_out)
begin
    case (mux_out)
        0:SEG_DATA = 8'b00111111;
        1:SEG_DATA = 8'b00000110;
        2:SEG_DATA = 8'b01011011;
        3:SEG_DATA = 8'b01001111;
        4:SEG_DATA = 8'b01100110;
        5:SEG_DATA = 8'b01101101;
        6:SEG_DATA = 8'b01111101;
        7:SEG_DATA = 8'b00000111;
        8:SEG_DATA = 8'b01111111;
        9:SEG_DATA = 8'b01101111;
    endcase
end

assign SEG_SEL=5'b00001;

//MODULE INSTANTIATIONS IN BASED ON TABLE 1

endmodule

```

تعیین پورت‌های طرح بر روی FPGA

```
# PlanAhead Generated physical constraints
```

```
NET "SEG_DATA[0]" LOC = P10;
NET "SEG_DATA[1]" LOC = P7;
NET "SEG_DATA[2]" LOC = P11;
NET "SEG_DATA[3]" LOC = P5;
NET "SEG_DATA[4]" LOC = P4;
NET "SEG_DATA[5]" LOC = P12;
NET "SEG_DATA[6]" LOC = P9;
NET "SEG_DATA[7]" LOC = P3;

NET "SEG_SEL[0]" LOC = P15;
NET "SEG_SEL[1]" LOC = P20;
NET "SEG_SEL[2]" LOC = P19;
NET "SEG_SEL[3]" LOC = P18;
NET "SEG_SEL[4]" LOC = P16;

NET "a[0]" LOC = P161;
NET "a[1]" LOC = P162;

NET "b[0]" LOC = P172;
NET "b[1]" LOC = P175;
NET "sel[0]" LOC = P182;
NET "sel[1]" LOC = P181;
NET "cin" LOC = P183;
```

پیوست ۵: مقسم فرکانسی

```

module freqDivider(
    clk_in,
    clk_out
);
input clk_in;
output clk_out;
reg [28:0] counter;

always @(posedge clk_in)
begin
    counter <= counter + 28'd1;
    if (counter == 400000000)
        counter <= 0;
    end
    assign clk_out = (counter <= 200000000) ? 1'b1 : 1'b0 ;

```

endmodule

منابع:

- [1] “7-Segment Display.” [Online]. Available: <http://www.physics.udel.edu/~watson/scen103/7seg.html>.
- [2] “BCD to 7-Segment Decoder.” [Online]. Available: <http://macao.communications.museum/eng/exhibition/secondfloor/MoreInfo/Displays.html>.