

۲۰۳۳۵۸۴

به نام خدا



# آموزش کاربردی

# FPGA

مؤلف

مهندس امیر عزیزی

هر گونه چاپ و تکثیر از محتویات این کتاب بدون اجازه کتبی  
ناشر ممنوع است. متخلفان به موجب قانون حمایت حقوق  
مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.



## ◀ عنوان کتاب: آموزش کاربردی FPGA

◀ مولفان: مهندس امیر عزیزی

◀ ناشر: مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران

◀ صفحه آیی: فرنوش عبدالحی

◀ طراح جلد: اریوش درمایی

◀ نوبت چاپ: اول

◀ تاریخ نشر: ۱۳۹۸

◀ چاپ و صحافی: درج عقیبا

◀ تیراژ: ۱۰۰ جلد

◀ قیمت: ۸۰۰۰۰۰ ریال

◀ شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۲۱۸-۱۰۱-۷

◀ نشانی واحد فروش: تهران، میدان انقلاب،

خ کارگر جنوبی، روبروی پاساژ مهستان،

پلاک ۱۲۵۱

تلفن: ۲۲۰۸۵۱۱۱-۶۶۴۱۰۰۴۶

◀ فروشگاههای اینترنتی دیباگران تهران:

[WWW.MFTBOOK.IR](http://WWW.MFTBOOK.IR)

[www.dibagarantehran.com](http://www.dibagarantehran.com)

[www.mftdibagaran.ir](http://www.mftdibagaran.ir)

◀ نشانی تلگرام: @mftbook

اپلیکیشن دیباگران تهران را از سایت های اینترنتی دیباگران دریافت نمایید.

سرشناسه: غزنوی، امیر، ۱۳۶۱-

عنوان و نام پدیدآور: آموزش کاربردی FPGA / مولف:

امیر عزیزی

مشخصات نشر: تهران: دیباگران تهران: ۱۳۹۷

مشخصات ظاهری: ۲۸۰ ص: مصور،

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۲۱۸-۱۰۱-۷

وضعیت فهرست نویسی: فیبا

یادداشت: کتابنامه: ص: ۲۸۰

موضوع: تراشه های برنامه پذیر اف. پی. جی. ا.

موضوع: Field programmable gate arrays

رده بندی کنگره: ۴۱۳۹۷ غ ۴/ت ۷۸۹۵ TK

رده بندی دیویی: ۶۲۱/۳۹۵

شماره ثبت کتابخانه ملی: ۵۵۷۵۱۰۱

# فهرست مطالب

|                                                |         |
|------------------------------------------------|---------|
| فصل ۱.....                                     | ۱۰..... |
| آشنایی با FPGA و زبانهای توصیف سخت افزاری..... | ۱۰..... |

|                                        |         |
|----------------------------------------|---------|
| ۱-۱- مقدمه.....                        | ۱۱..... |
| ۱-۲- مقایسه FPGA و تراشه های ASIC..... | ۱۲..... |
| ۱-۳- مقایسه FPGA با میکروکنترلرها..... | ۱۲..... |
| ۱-۴- امکانات FPGA.....                 | ۱۳..... |
| ۱-۵- زبان های توصیف سخت افزاری.....    | ۱۵..... |
| ۱-۶- سخن آغازین.....                   | ۱۵..... |

|                        |         |
|------------------------|---------|
| فصل ۲.....             | ۱۷..... |
| ایجاد اولین پروژه..... | ۱۷..... |

|                                   |         |
|-----------------------------------|---------|
| ۲-۱- مقدمه.....                   | ۱۸..... |
| ۲-۲- شرح اولین پروژه.....         | ۱۸..... |
| ۲-۳- ایجاد پروژه در ISE.....      | ۲۷..... |
| ۲-۴- ایجاد فایل CONSTRAINT.....   | ۳۶..... |
| ۲-۵- مراحل سنتز و روتینگ طرح..... | ۴۰..... |
| ۲-۶- برنامه ریزی FPGA.....        | ۴۳..... |

|                                          |         |
|------------------------------------------|---------|
| فصل ۳.....                               | ۴۹..... |
| مفاهیم بنیادی VHDL: عبارتهای همزمان..... | ۴۹..... |

|                                                      |         |
|------------------------------------------------------|---------|
| ۳-۱- مقدمه.....                                      | ۵۰..... |
| ۳-۲- مفاهیم پایه.....                                | ۵۰..... |
| ۳-۳- شبیه سازی در VHDL و ISE.....                    | ۵۶..... |
| ۳-۴- پیاده سازی یک مساله.....                        | ۶۶..... |
| ۳-۵- پکیج های مفید: انواع داده و عملگرهای حسابی..... | ۸۲..... |
| ۳-۶- ساخت قفل دیجیتال ساده.....                      | ۸۵..... |
| ۳-۷- نمایش عدد ۴ بیتی روی نمایشگر 7SEGMENT.....      | ۹۴..... |

فصل ۴..... ۱۰۳

مفاهیم بنیادی VHDL: عبارتهای ترتیبی و طراحی مدارهای ترتیبی..... ۱۰۳

۱-۴- مقدمه..... ۱۰۴

۲-۴- بلوک PROCESS..... ۱۰۴

۳-۴- مسأله: طراحی یک مقایسه کننده..... ۱۰۷

۴-۴- مسأله: نمایش مقدار ورودی روی 7SEGMENT..... ۱۱۵

۵-۴- ایجاد گیت TRI-STATE..... ۱۱۸

۶-۴- مدارهای ترکیبی و ترتیبی..... ۱۱۹

۷-۴- مدارهای سنکرون..... ۱۲۰

۸-۴- ثبت، بیستر..... ۱۲۴

۹-۴- مسأله: پیاده سازی، رقص نور توسط FPGA..... ۱۲۶

۱۰-۴- مسأله: طراحی یک میله شمار با نمایشگر 7SEGMENT تک رقمی..... ۱۳۳

۱۱-۴- رفع GLITCH..... ۱۳۶

۱۲-۴- مباحث پیشرفته در کدگذاری FPG..... ۱۳۶

۱۳-۴- طراحی مدارهای ترتیبی با استفاده از ماشین حالت..... ۱۴۸

۱۴-۴- طراحی یک شمارنده با پوشش اتن و نمایشگر 7SEGMENT..... ۱۵۶

۱۵-۴- طراحی یک شمارنده منعطف و دارای نمایشگر 7SEGMENT چهار رقمی..... ۱۶۲

فصل ۵..... ۱۷۹

ساختمان FPGA و مدارهای آن..... ۱۷۹

۱-۵- مقدمه..... ۱۸۰

۲-۵- معرفی شرکت های سازنده FPGA و محصولات آنها..... ۱۸۰

۳-۵- مقایسه برخی محصولات مختلف XILINX و ALTERA..... ۱۸۲

۴-۵- ساختمان داخلی SPARTAN3..... ۱۹۱

۵-۵- برخی از منابع در ساختمان SPARTAN6..... ۲۰۰

۶-۵- منابع تغذیه..... ۲۰۱

۷-۵- تامین کلاک برای FPGA و مدار آن..... ۲۱۰

۸-۵- مدار پیکربندی برای FPGA های خانواده SPARTAN3 و SPARTAN6..... ۲۱۱

فصل ۶..... ۲۲۰

استفاده از IP CORE های پر کاربرد..... ۲۲۰

۱-۶- مقدمه..... ۲۲۱

۲-۶- آیی کور (DIGITAL CLOCK MANAGEMENT (DCM..... ۲۲۱

۳-۶- استفاده از IP CORE تقسیم کننده (DIVIDER)..... ۲۳۰

فصل ۷..... ۲۳۳

استفاده از بلاک رم (BLOCK RAM)..... ۲۳۳

۱-۷- مقدمه..... ۲۳۴

۲-۷- ایجاد یک بلاک رم به روش کد نویسی..... ۲۳۴

۳-۷- انواع بلاک رمها..... ۲۳۶

۴-۷- تعیین مقدار اولیه برای بلاک رمها..... ۲۳۷

۵-۷- استفاده از بلاک رم برای حافظه ROM..... ۲۳۹

فصل ۸..... ۲۴۲

راه اندازی LCD های کاراکتری و 4x4 KEYPAD..... ۲۴۲

۱-۸- مقدمه..... ۲۴۳

۲-۸- کیپد ماتریسی 4x4..... ۲۴۴

۳-۸- راه اندازی LCD های کاراکتری..... ۲۵۱

۴-۸- نمایش یک عبارت روی LCD کاراکتری..... ۲۷۱

۵-۸- نمایش کد هگز کیپد روی LCD..... ۲۷۶

منابع..... ۲۸۰

# مقدمه مولف

FPGA یک موضوع محبوب در بین طراحان سیستم‌های نهفته است که کاربردهای وسیعی دارد. بوسیله تراشه‌های FPGA می‌توان انواع سیستم‌های نهفته که به سرعت بالا نیاز دارند را طراحی کرد، بهترین بستر برای انجام پردازش‌های سریع و حجیم سیگنال‌های دیجیتال می‌باشد و سرانجام، برای طراحان مدارهای مجتمع دیجیتال ابزار بسیار مناسبی است. از سوی دیگر، زبان‌های توصیف سخت افزاری ابزار اساسی برای توسعه کد در FPGA می‌باشند که البته نمی‌توان نگاه برنامه‌نویسی نرم افزاری به زبان‌های توصیف سخت افزاری داشت. معروفترین این زبان‌ها، VHDL و Verilog می‌باشند.

این کتاب با ۱۰ مسئله ساده اما پر محتوی که در واقع مثال‌هایی عملی هستند شما را بتدریج با عبارت‌های زبان برنامه‌نویسی VHDL آشنا ساخته و همراه با آن، تکنیک‌های برنامه‌نویسی VHDL را آموزش می‌دهد. نگار کتاب سعی کرده این کتاب به FPGA دارد، باعث شده است که تمرکز کتاب بر روی عبارت‌های قابل سنتز و پیکان‌سازی VHDL باشد. بعلاوه، نحوه ایجاد پروژه عملی در نرم افزار Xilinx ISE و ساخت فایل‌های پیکان‌سازی برنامه‌ریزی FPGA در این کتاب به خوبی آموزش داده می‌شوند. با این وجود، کتاب از عبارت‌های قابل شبیه سازی نیز غافل نشده است و نحوه ایجاد فایل Test Bench و شبیه سازی در ISE نیز آموزش داده می‌شود.

کتاب‌های زیادی در زمینه FPGA منتشر شده است، اما اغلب، تمرکز آنها بر روی کدنویسی VHDL است و به موضوع مهمی که سوی دیگر توسعه FPGA است، یعنی سخت افزار و مدارهای FPGA، نمی‌پردازند. تجربه مولف این است که اغلب برنامه نویسان با VHDL دانش اندکی در زمینه سخت افزار FPGA و طراحی مدارهای الکترونیکی دارند که باعث سردرگم شدن آنها در برخی از پروژه‌ها می‌شود. به همین جهت، رویکرد این کتاب این است که از همان ابتدا هر دو جنبه برنامه‌نویسی VHDL و طراحی مدار را پوشش دهد.

پیش نیاز این کتاب یک دانش اولیه در زمینه مدارهای دیجیتال است. در اولین فصل، با FPGA و کاربردهای آن آشنا می‌شوید. فصل دوم با بیان یک مسئله ساده به دنبال آموزش بدنه اصلی VHDL و ایجاد پروژه در نرم افزار Xilinx ISE است. فصل سوم، به معرفی عبارت‌های همزمان در VHDL می‌پردازد و درکنار آن نحوه انجام شبیه‌سازی در ISE آموزش داده می‌شود. تکنیک مهم و پرکاربرد توصیف ساختاری که اساس پروژه‌های مازولار است، جزو مباحث فصل سوم می‌باشد. فصل چهارم، که شاید بتوان آن را قلب این کتاب دانست، در ابتدا عبارت‌های ترتیبی را شرح می‌دهد و پس از آن به سراغ طراحی مدارهای ترتیبی سنکرون می‌رود. طراحی مدار ترتیبی مبتنی بر ماشین حالت، پرکاربردترین تکنیک کد نویسی زبان‌های توصیف سخت افزاری است که در فصل چهارم پوشش داده

می‌شود. همچنین، نکات خیلی مهمی در زمینه طراحی مدارهای ترتیبی و ترکیبی در این فصل بیان می‌شود که سعی کنی در هر پروژه‌های آنها را بکار ببری. مطالب فصل دوم تا چهارم به یکدیگر وابسته هستند. از این رو، نباید فصل چهارم را بدون مطالعه فصل سوم خواند. تا انتهای فصل چهارم، تحلیل ۱۰ مسأله به اتمام می‌رسد که حکایت از این دارد که آموزش قسمت های بنیادی VHDL به اتمام رسیده است.

فصل پنجم از دو بخش تشکیل می‌شود: بخش اول پس از معرفی چند خانواده FPGA از سازندگان مطرح، به معرفی ساختمان داخلی FPGA های خانواده Spartan3 و Spartan6 می‌پردازد. در بخش دوم که کاربردی‌تر است، طراحی منابع تغذیه برای FPGA، تامین کلاک برای آن و مدار اتصال حافظه PROM با FPGA های Spartan3 و Spartan6 شرح داده می‌شود. در فصل ششم، دو IP Core پرکاربرد DCM و Divider معرفی می‌شوند. پس از آن، در فصل هفتم نحوه استفاده از Block RAM داخلی FPGA شرح داده می‌شود.

سرانجام، به عنوان رزوه نهایی، تکمیل مطالب آموزش داده شده، در فصل هشتم نحوه راه اندازی دو وسیله جانبی کیپد و LED منی به نمایندگی از سایر وسایل جانبی بطور مفصل شرح داده می‌شود.

برای حل مسائل این کتاب می‌تواند از هر های آموزشی Spartan3 یا Spartan6 موجود در بازار، مانند بردهای microPartan3 و یا microSpartan6 استفاده کنید. با این وجود، با دانشی که در این کتاب کسب خواهید کرد، چنانچه طراحی PCB و ریزتاژ قطعات SMD را نیز بلد باشید می‌توانید خودتان یک برد آموزشی بسازید.

سخن آخر اینکه، لطفاً برای هرگونه اظهار نظر، انتقاد و پیشنهادی که می‌تواند منجر به بهتر شدن کتاب در نسخه‌های بعدی باشد، با آدرس ایمیل [fpgabook.ir](mailto:fpgabook.ir) مکاتباته نمایید.

## سپاسگزاری‌ها

سال‌ها تجربه پشتوانه‌ای بود برای نوشتن این کتاب و در کنار آن افراد و نویسندگان کتاب‌های مفیدی که به من آموختند و فرصت‌های خوبی را برای کسب دانش و تجربه برای من ایجاد کردند. نمی‌توان نام تمام آنها را در اینجا آورد اما از همه آنها و بویژه از مادرم و برادرم آرمن تشکر می‌کنم و برایشان آرزوی سلامتی و موفقیت دارم. تشکر می‌کنم از مجموعه انتشارات دیباگران و بویژه سرکار خانم زهره قزلباش بخاطر این موقعیت خوبی که به بنده ارائه دادند تا بخش مهمی از تجربیاتم و نتیجه چند سال تدریس را در اختیار علاقه‌مندان به طراحی FPGA قرار دهم. سرانجام و مهمتر از همه، تشکر می‌کنم از همسر، بخاطر دلگرمی‌ها و باوری که به من دارد، کمک شایانی بود برای اتمام این کتاب.