

مرجع کامل میکروکنترلرهای

ARM

به زبان C سری LPC17XX

(Cortex-M3) Edition

تألیف:

محمد خوش باطن

نیاز دانش

۱۳۹۲



سرشناسه	: خوش باطن، محمد، ۱۳۶۷
عنوان و نام پدیدآور	: مرجع کامل میکروکنترلرهای Arm به زبان C سری LPC17XX ... / تالیف محمد خوش باطن
مشخصات نشر	: تهران، نیاز دانش، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ۲۵۶ ص، مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۶۴۸۱-۵۳-۱
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا.
موضوع	: کنترل کننده های برنامه پذیر
موضوع	: میکروکنترلرها
موضوع	: میکروکنترلرها- برنامه نویسی
موضوع	: سی (زبان برنامه نویسی کامپیوترها)
موضوع	: میکروکنترلر ا. ا. ر. ام
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۲ / ۵۹ / ۲۲۲۳ TJ
رده‌بندی دیوپی	: ۶۲۹/۸۹۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۲۷۴۵۳

نام کتاب	: مرجع کامل میکروکنترلرهای ARM به زبان C سری LPC17XX
مؤلف	: محمد خوش باطن
مدیر اجرایی - ناظر بر چاپ	: حمیدرضا محمد شیرازی - محمد شمس
طراح جلد	: کیانا آراین
ناشر	: نیاز دانش
صفحه‌آرا	: واحد تولید انتشارات نیازدانش
لیتوگرافی / چاپ	: گنجینه
نوبت چاپ	: اول - ۱۳۹۲
شمارگان	: ۶۵۰
قیمت	: ۱۴۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-6481-53-1

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۴۸۱-۵۳-۱

هر گونه چاپ و تکثیر (اعم از زیرگس، بازنویسی، ضبط کامپیوتری و تهیه‌ی CD) از محتویات این اثر بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است، متخلفان به موجب بند ۵ از ماده ۲ قانون حمایت از مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

کلیه حقوق این اثر برای ناشر محفوظ است.

تماس با انتشارات: ۰۲۱-۶۶۴۷۸۱۰۶-۶۶۴۷۸۱۰۸-۰۹۱۲۷۰۷۳۹۳۵

www.Niaze-Danesh.com

مشاوره جهت نشر: ۰۹۱۲-۲۱۰۶۷۰۹

پیشرفت هر کشوری در گرو کسب و بومی سازی دانش و فن آوری و استفاده از آن دو در تولید و افزایش سرمایه ملی می باشد.

جای بسی مسرت است که امروز به نقطه ای از دانش و فن آوری رسیده ایم که متخصصان این مرز و بوم توانایی تألیف کتب مناسب به زبان زیبای فارسی را دارا می باشند تا عموم دانش پژوهان به راحتی بتوانند از این کتب استفاده نموده و دانش خود را در خدمت پیشرفت و افزایش تولید ناخالص ملی قرار دهند.

کتاب حاضر توسط آقای مهندس خوش باطن، که خود از کارشناسان متبحر در این حوزه می باشند، تألیف گردیده و نمونه ای از تلاش در جهت بومی سازی فن آوری و آماده سازی آن برای استفاده ی متخصصان این حوزه می باشد که امید است منشأ خیر و برکت برای ایران اسلامی باشد.

دکتر رضا فاطمی مفرد

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی

مالک اشتر

- از همسرم سرکار خانم مهندس نوروزی که حقیقتاً بدون همراهی ایشان نگارش این کتاب میسر نبود، تشکر می‌نمایم.
- از جناب آقای دکتر رضا فاطمی مفرد که در عین فعالیت‌های فشرده‌ی علمی و مدیریتی خود، اینجانب را مورد لطف قرار دادند صمیمانه تقدیر می‌نمایم.
- از آقای مهندس امیرعلی بلورچیان، مدیر محترم سایت ECA نیز که با همکاری خود، اینجانب را یاری نمودند، قدردانی می‌نمایم.
- از مدیریت محترم انتشارات نیاز دانش، جناب آقای شیرازی که با همکاری و بردباری خود شرایط مساعدی را فراهم نمودند، صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایم.

با تمام تلاشی که صورت گرفته تا اشکالات احتمالی کتاب به حداقل برسد؛ اما به هیچ عنوان کتاب خالی از اشکال نیست. امید است دانش پژوهان و اساتید محترم اینجانب را از انتقادات و نظرات خود جهت ارائه کاری بهتر بهره‌مند سازند. لطفاً نظرات خود را به آدرس الکترونیکی مولف ارسال کنید. در عنوان کلمه [ARM-KHOSH BATEN] را قید کنید.

آدرس الکترونیکی مولف :

m_khoshbaten@yahoo.com

مقدمه

در حال حاضر پردازنده‌های ARM رایج‌ترین پردازنده‌های ۳۲ بیتی هستند که با سرعت پردازشی از چند ده تا چند صد مگاهرتز در موارد بسیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اما خصوصیتی که باعث رواج هر چه بیش‌تر این نوع میکروکنترلرها گردیده است، قدرت پردازش بالا، ابعاد کوچک، مصرف توان پایین، قابلیت اطمینان بالا و در عین حال قیمت مناسب آن می‌باشد. از طرفی توسعه‌دهندگان ARM با ایجاد بلوک‌های دیگری از قبیل I2C, I2S, Ethernet, USB, CAN و ... در کنار پردازنده‌ی ARM، امکان اتصال این میکروکنترلرها را به شبکه‌های مختلف به راحتی فراهم ساخته‌اند.

میکروکنترلرهای ARM بر مبنای هسته‌های مختلفی عرضه می‌شوند که یکی از قدرتمندترین آن‌ها هسته‌های Cortex-M3 می‌باشد. مثلاً کلاک CPU در میکروکنترلرهای AT91SAM7 که ساخت شرکت ATMEAL می‌باشد از 55MHz تجاوز نمی‌کند. این مقدار در میکروکنترلرهای سری LPC23XX و سری LPC24XX ساخت شرکت NXP (PHILIPS) به 72MHz رسیده و در سری LPC17XX ساخت همین شرکت که با هسته Cortex-M3 ارائه گردیده است، به 120MHz می‌رسد.

با توجه به امتیازات ذکر شده از میکروکنترلرهای ARM و امتیازات آشکار آن در ساخت و توسعه‌ی سیستم‌های پیشرفته، بر آن شدیم تا مفاهیم اساسی مرتبط با این تراشه و نحوه برنامه‌نویسی آن‌ها را ابتدا در قالب مثال‌ها و سپس در خلال پروژه‌های ارائه شده، با ارائه سخت افزار و برنامه‌های مورد نیاز، بررسی نماییم.

در فصل اول، معماری پردازنده‌های ARM مورد بررسی قرار می‌گیرد. یکی از قوی‌ترین کامپایلرهای موجود که به راحتی در دسترس می‌باشد، کامپایلر Keil است. به همین دلیل فصل دوم را به معرفی محیط Keil اختصاص دادیم.

در فصل سوم نیز به دلیل لزوم ساخت پروگرامر برای برنامه‌ریزی تراشه‌ها، نحوه‌ی ساخت پروگرامر j-link و انواع دیگر آن آموزش داده می‌شود.

برای برنامه نویسی در محیط Keil لازم است با دستورات آن آشنا شویم. فصل چهارم به معرفی دستورات این محیط پرداخته است.

فصل‌های پنجم، ششم و هفتم نیز به معرفی نحوه پیکربندی اولیه و استفاده از امکانات جانبی میکروکنترلرهای ARM پرداخته شده است.

و در نهایت چند پروژه عملی نیز برای ایجاد مهارت بیش‌تر در کار با میکروهای ARM در قسمت آخر آورده شده است.

البته در تمامی بخش‌ها مثال‌هایی جهت آشنایی بیش‌تر با مباحث مطرح شده است.

نحوه مطالعه کتاب

هرچند خوانندگان این کتاب از فرهیختگان اهل مطالعه می‌باشند، اما نباید از این نکته نیز غافل ماند که هر وسیله‌ای نیازمند «دفت‌رچه راهنما» می‌باشد و از نظر مؤلف، کتاب هم از این قاعده مستثنا نیست. زیرا این کتاب بر اساس پیش فرض‌های مؤلف نگارش شده است.

ممکن است در نگاه اول با انبوهی از جداول و دستورات مواجه شوید که شاید به نظر کمی گنگ و گیج‌کننده باشد. اما از هیچ کدام از آن‌ها نترسید؛ زیرا به تدریج با مثال و توضیحات تشریح می‌شوند. سعی نکنید در یک یا چند روز تمام کتاب را از صفر تا صد مطالعه کنید و بخواهید آن‌ها را حفظ نمایید. بلکه بهترین راه برای یادگیری، تمرین عملی مثال‌های کتاب با استفاده از نرم‌افزار و حتی سخت‌افزار می‌باشد. شما در این حالت کار با رجیسترها و نحوه برنامه‌نویسی را می‌آموزید و سپس سعی کنید با نوشتن مثال‌های جدید، قدرت مانور خود را در کار با رجیسترها افزایش دهید.

به یاد داشته باشید که حفظ کردن به شما کمکی نمی‌کند. مغز شما برای تحلیل اطلاعات و استفاده یا ایجاد ترکیبات جدید از داده‌ها ساخته شده است. حفظ کردن فقط سرعت شما را در رسیدن به نتیجه افزایش می‌دهد. پس اگر برای بار اول این کتاب را مطالعه می‌کنید، ذهنتان را با جداول و اطلاعات زیاد خسته نکنید. در این مرحله شما فقط باید ببینید که چه چیزهایی وجود دارد. هنگام طراحی پروژه‌ها، مغزتان شما را در پیدا کردن مطالب راهنمایی می‌کند.

پیشنهاد مؤلف جهت مطالعه‌ی مؤثر کتاب و یادگیری بیش‌تر بدین شرح است:

فصل اول: این فصل را در ابتدا فقط مرور کنید. لازم نیست اطلاعات را در این مرحله حفظ کنید. ممکن است برخی مطالب آشنا باشند، ولی در غیر این صورت در بخش‌های مربوطه تبیین شده‌اند. در ادامه نیز با مشخصات تراشه‌ها آشنا می‌شوید.

فصل دوم: سعی کنید هنگام مطالعه‌ی این فصل، کامپیوترتان روشن باشد و همگام با مطالعه‌ی کتاب، عمل آن‌ها را ببینید.

فصل سوم: این قسمت را برای کسانی که دوست دارند همه چیز را خودشان تجربه کنند قرار داده‌ایم. در صورتی که می‌خواهید حرفه‌ای کار کنید، باید از پروگرامرهای J-Link استفاده کنید (در سایت‌های فروش اینترنتی موجود می‌باشد). در غیر این صورت از بردهای توسعه استفاده کنید که دارای پروگرامر بوت-لودر (Boot Loader) باشند.

فصل چهارم: شاید مطالعه‌ی این فصل، یکی از خاطره‌انگیزترین زمان‌ها باشد. زیرا بیش‌تر مطالب این فصل برای شما آشنا می‌باشند. در هر صورت مشکلی با این فصل نخواهید داشت.

فصل پنجم: این فصل زیاد مشکل نیست. برای یادگیری بهتر، ابتدا مثال‌ها را ببینید و آن‌ها را در Keil بنویسید. اینجا فقط به ترتیب دستورات دقت کنید. حال، مطالب و رجیسترها را مطالعه نمایید. هر رجیستری را که می‌خوانید، به جایگاه و مقدارش در مثالی که وجود دارد دقت نمایید و ببینید از کدام بیت‌ها استفاده شده است. این کار را تا پایان مطالعه‌ی تمام رجیسترها ادامه دهید. سعی کنید در ترتیب و یا مقادیر رجیسترها تغییر ایجاد کنید و نتیجه را عملاً مشاهده نمایید.

در این زمان مثالی برای خودتان طرح کنید و به حل آن با استفاده از مثال کتاب بپردازید.

فصل ششم : قبل از مطالعه‌ی این فصل لازم است تا با مفهوم وقفه‌ها آشنا باشید. در این فصل ابتدا سعی کنید به فلسفه‌ی نام‌گذاری وقفه‌ی Cortex-M3 به نام NVIC پی ببرید. پس از آن به دنبال درک مفهوم وقفه‌ی مَعَوَّق (به تعویق افتاده) باشید. شما باید با این موضوع که چگونه یک خصوصیت با یک رجیستر فعال می‌شود، اما باید با یک رجیستر دیگر غیر فعال شود، آشنا شوید. به مثال توجه کنید و مراحل مطالعه‌ی فصل پنجم را پیمایید.

فصل هفتم : از نظر مؤلف، یادگیری این فصل با تمرین عملی و با توجه به روش مطالعه‌ی فصل پنجم میسر است. برای خود تمرین طرح کنید و در صورت امکان مدار مورد نظرتان را ببندید و عیناً نتیجه را مشاهده کنید. شاید شبیه‌سازی به اندازه‌ی تمرین عملی مؤثر نباشد و با بعضی از اشکالات آشنا نشوید. به هر حال : «کاجی به از هیچی!»

در این قسمت اگر مطلبی را کاملاً متوجه نشدید، می‌توانید به پروژه‌های عملی که شامل چند پروژه متنوع و کاربردی می‌باشد رجوع کنید.

هم‌چنین سعی شده تا دستورات مربوط به دسترسی بیش‌تر رجیسترها بیان شود. بنابراین نگران استفاده از رجیسترها نباشید. این دستورات بسیار به شما کمک خواهند کرد.

به این نکته ایمان بیاورید که اگر زکات علم را (که نشر آن است) بدهید، به علم خودتان نیز افزوده می‌شود.

نگارنده این کتاب مشتاقانه پذیرای تجربیات و پیشنهادات شما می‌باشد.

پل ارتباطی : m_khoshbaten@yahoo.com

لازم به ذکر است که مثال‌های کتاب با استفاده از بورد آموزشی سایت ECA آزمایش و به نتیجه رسیده است. علاقه مندان می‌توانند جهت فراگیری هر چه بهتر مطالب ذکر شده و دریافت پاسخ سوالات خود، با مراجعه به فروم‌های سایت www.eca.ir ، سوالات خود را مطرح و نکات مبهم را برطرف نمایند.

المان‌های قراردادی

Symbol	Comment
R	Read Only
W	Write Only
R/W	Read/Write
Default Value	مقداری که پس از ریست شدن تراشه، در رجیستر قرار می‌گیرد.
MHz	Mega Hertz
MIPS	Mega Instruction Per Second
RISC	Reduced Instruction Set Computer

فهرست مطالب

۴۰	حذف ماکروی تعریف شده	۴-۱-۴
۴۰	اعداد، متغیرها و اشاره گرها	۲-۴
۴۱	انواع متغیرها در Keil	۱-۲-۴
۴۲	متغیرهای عمومی و محلی	۲-۲-۴
۴۵	اشاره گرها (Pointers)	۳-۲-۴
۴۷	فراخوانی با ارجاع	۴-۲-۴
۴۷	تعریف ثوابت	۵-۲-۴
۴۸	عملگرها	۳-۴
۴۸	عملگرهای یگانی	۱-۲-۴
۴۸	عملگرهای حسابی	۲-۳-۴
۴۹	عملگرهای مقایسه‌ای	۳-۳-۴
۴۹	عملگرهای بیتی	۴-۳-۴
۴۹	عملگرهای منطقی	۵-۳-۴
۵۰	عملگرهای انتسابی یا ترکیبی	۶-۳-۴
۵۰	عملگر ؟	۷-۳-۴
۵۰	عملگر sizeof	۸-۳-۴
۵۱	دستورهای کنترلی و شرطی	۴-۴
۵۱	دستور if-else	۱-۴-۴
۵۲	حلقه شرطی while()	۲-۴-۴
۵۳	حلقه شرطی do-while()	۳-۴-۴
۵۳	حلقه for()	۴-۴-۴
۵۴	دستور goto	۵-۴-۴
۵۴	دستور break	۶-۴-۴
۵۴	دستور switch()	۷-۴-۴
۵۵	دستور continue	۸-۴-۴
۵۶	ایجاد تأخیر در برنامه	۵-۴
۵۷	زیر برنامه (تابع)	۶-۴
۵۸	ایجاد کتابخانه	۷-۴
۵۸	دستورات پیش پردازنده‌ی شرطی	۸-۴
۶۰	توابع ریاضی	۹-۴
۶۱	تابع acos	۱-۹-۴
۶۱	تابع asin	۲-۹-۴
۶۱	تابع atan	۳-۹-۴
۶۱	تابع atan2	۴-۹-۴
۶۱	تابع cos	۵-۹-۴
۶۲	تابع sin	۶-۹-۴
۶۲	تابع tan	۷-۹-۴
۶۲	تابع cosh	۸-۹-۴
۶۲	تابع sinh	۹-۹-۴
۶۲	تابع exp	۱۱-۹-۴

۵	مقدمه
۶	نحوه مطالعه کتاب
۷	المان‌های قراردادی

فصل ۱ آشنایی با پردازنده‌های ARM

۱۱	۱-۱ نسل‌های مختلف پردازنده ARM
۱۳	۲-۱ معماری ARM
۱۴	۱-۲-۱ رجیسترهای خاص
۱۴	۲-۲-۱ بیت‌های رجیستر APSR
۱۵	۳-۲-۱ بیت‌های رجیستر EPSR
۱۵	۴-۲-۱ رجیستر PRIMASK
۱۵	۵-۲-۱ رجیستر FAULTMASK
۱۵	۶-۲-۱ رجیستر BASEPRI
۱۵	۷-۲-۱ بیت‌های رجیستر IPSR
۱۶	۸-۲-۱ رجیستر CONTROL
۱۷	۳-۱ خصوصیات میکروکنترلرهای LPC1763/64/65/66/67/68/69

فصل ۲ محیط برنامه‌نویسی Keil uVision

۲۲	۱-۲ نحوه ایجاد یک پروژه
۲۳	۲-۲ برای مطالعه
۲۶	۳-۲ معرفی محیط شبیه‌سازی
۲۹	۴-۲ مشاهده مقدار رجیسترهای تراشه و متغیرها
۳۰	۵-۲ نحوه استفاده از نرم‌افزار H-Convortor

فصل ۳ ساخت پروگرامر

۳۱	۱-۳ انواع پروگرامر ARM
۳۳	۲-۳ دیباگر (Debugger) و پروگرامر wiggler
۳۶	۳-۳ پروگرامر j-link

فصل ۴ دستورات و توابع محیط برنامه‌نویسی Keil

۳۷	۱-۴ بدنه یک برنامه در محیط Keil
۳۸	۱-۱-۴ توضیحات (comments)
۳۹	۲-۱-۴ دستورات #include
۴۰	۳-۱-۴ تعریف ماکرو با استفاده از #define

فصل ۷ آشنایی با امکانات جانبی تراشه‌های LPC-۱۲۷

۱۲۷	۱-۷ پورت‌های ورودی/خروجی (GPIO)
۱۳۴	۲-۷ رجیسترهای وقفه GPIO
۱۴۲	۳-۷ مبدل آنالوگ به دیجیتال (ADC)
۱۴۲	۱-۳-۷ مراحل پیکربندی ADC
۱۴۳	۲-۳-۸ رجیسترهای بلوک ADC
۱۵۰	۴-۷ مبدل دیجیتال به آنالوگ (DAC)
۱۵۰	۱-۴-۸ مراحل پیکربندی DAC
۱۵۰	۲-۴-۷ رجیسترهای بلوک DAC
۱۵۳	۵-۷ بلوک ارتباط سریال (UART)
۱۵۳	۱-۵-۷ مراحل پیکربندی UART
۱۵۴	۲-۵-۷ رجیسترهای بلوک UART
۱۶۴	۶-۷ تایمرها
۱۶۵	۱-۶-۷ مراحل پیکربندی تایمرها
۱۶۶	۲-۶-۷ رجیسترهای بلوک Timer
۱۷۴	۷-۷ تایمر WATCHDOG
۱۷۴	۱-۷-۷ رجیسترهای بلوک WATCHDOG
۱۷۷	۸-۷ بلوک PWM
۱۷۸	۱-۸-۷ مراحل پیکربندی PWM
۱۸۰	۲-۸-۷ رجیسترهای بلوک PWM
۱۸۷	۹-۷ بلوک RTC
۱۸۹	۱-۹-۷ رجیسترهای بلوک RTC
۱۹۵	۱۰-۷ بلوک SPI
۱۹۵	۱-۱۰-۷ مراحل پیکربندی بلوک SPI
۱۹۶	۲-۱۰-۷ رجیسترهای بلوک SPI
۱۹۹	۱۱-۷ ارتباط سریال I ² C
۲۰۱	۱-۱۱-۷ رجیسترهای بلوک I ² C
۲۰۳	۲-۱۱-۷ انتقال دیتا از Master به Slave
۲۰۳	۳-۱۱-۷ ارسال در حالت Master
۲۰۴	۴-۱۱-۷ دریافت در حالت Master
۲۱۳	۱۲-۷ ورودی‌های وقفه خارجی
۲۱۳	۱-۱۲-۷ رجیسترهای وقفه خارجی
۲۱۶	۱۳-۷ DMA
۲۲۱	۱۴-۷ تایمر تولید وقفه تکرار شونده (RIT)
۲۲۴	۱۵-۷ بلوک CAN
۲۲۵	۱۶-۷ بلوک‌های دیگر

فصل ۸ پروژه‌های عملی

۲۲۹	۱-۸ کنترل LED توسط یک کلید
۲۳۰	۲-۸ اسکن کی‌پد با استفاده از وقفه خارجی
۲۳۲	۳-۸ نمایش دما روی LCD با سنسور دمای LM35
۲۳۴	۴-۸ کنترل موتور DC توسط بلوک PWM و آی سی L298
۲۳۷	۵-۸ کنترل موتور پله‌ای
۲۳۹	۶-۸ مولد موج دندان اره‌ای و مثلثی توسط بلوک DAC

۶۲	۱۲-۹-۴ تابع log
۶۳	۱۳-۹-۴ تابع pow
۶۳	۱۴-۹-۴ تابع sqrt
۶۳	۱۰-۴ حفاظت از برنامه (قفل کردن برنامه)
۶۴	۱۱-۴ چند نکته برنامه نویسی

فصل ۵ کنترل توان و کلاک در تراشه‌های LPC-۶۵۰۰۰

۶۵	۱-۵ معماری میکروکنترلرهای LPC
۶۵	۱-۱-۵ بایس‌های داخلی تراشه
۶۵	۲-۱-۵ Bus Matrix
۶۷	۳-۱-۵ نقشه‌های حافظه
۷۱	۲-۵ عملکرد تراشه پس از Reset
۷۲	۱-۲-۵ تعیین منبع ریست
۷۲	۳-۵ تعیین کلاک سیستم و رجیسترهای CLKSRSEL
۷۲	و SCS
۷۴	۱-۳-۵ بلوک PLL0
۷۷	۲-۳-۵ تنظیم کلاک CPU و ادوات جانبی
۸۱	۳-۳-۵ مراحل تنظیم PLL0
۸۵	۴-۳-۵ بلوک PLL1
۸۶	۴-۵ کنترل توان (Power Control)
۸۸	۱-۴-۵ ویژگی Sleep On Exit
۹۱	۲-۴-۵ WIC
۹۲	۵-۵ ریست نرم‌افزاری یا کنترل Self-Reset
۹۶	۶-۵ انتقال کلاک داخلی روی پایه‌ی خروجی
۹۷	۷-۵ واحد حفاظت حافظه
۹۷	۸-۵ پیکربندی جادویی در keil

فصل ۶ کنترل‌کننده وقفه‌ی برداری تودرتو

۹۹	۱-۶ برای مطالعه
۱۰۰	۲-۶ ورودی‌های وقفه و نحوه به تعویق افتادن وقفه‌ها
۱۰۴	۳-۶ جدول‌های بردار (Vector Tables)
۱۰۴	۴-۶ رجیسترهای مورد نیاز در تنظیم وقفه
۱۰۴	۱-۴-۶ رجیسترهای ICER, ISER
۱۰۸	۲-۴-۶ رجیسترهای ICPR, ISPR
۱۱۰	۳-۴-۶ رجیستر IABR
۱۱۱	۴-۴-۶ رجیسترهای تعیین سطح اولویت IPR
۱۱۴	۵-۴-۶ رجیستر تریگر نرم‌افزاری وقفه: STIR
۱۱۵	۵-۶ روش تنظیم یک وقفه
۱۱۶	۶-۶ روال سرویس وقفه ISR
۱۱۷	۷-۶ تغییر جدول بردار وقفه
۱۱۸	۸-۶ وقفه‌های نرم‌افزاری
۱۲۱	۹-۶ برای مطالعه
۱۲۱	۱۰-۶ مثال کامل از راه‌اندازی وقفه تایمر شماره دو
۱۲۲	۱۱-۶ دسترسی به رجیسترها توسط آدرس
۱۲۴	۱۲-۶ توابع درونی
۱۲۵	۱۳-۶ CMSIS
۱۲۶	۱-۱۳-۶ مزایای CMSIS