



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی‌تکنیک تهران)  
دانشکده مهندسی برق

پروژه کارشناسی  
گروه کنترل

طراحی و ساخت ساعت مچی هوشمند  
با قابلیت تحلیل حرکات دست و پایش سلامت

نگارش  
سلمان عامی مطلق

استاد راهنما  
دکتر محمداعظم خسروی

۱۴۰۱ مرداد

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی‌تکنیک تهران)

به نام خدا

## تعهدنامه اصالت اثر

تاریخ: مرداد ۱۴۰۱

اینجانب سلمان عامی مطلق متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظرارت و راهنمایی استادی دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکر گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است. در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان‌نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مأخذ بلامانع است.

سلمان عامی مطلق

امضا

# سپاسگزاری

بر خود لازم می‌دانم که از زحمات جناب آقای دکتر محمداعظم خسروی که در مراحل انجام این پروژه به عنوان استاد راهنمای و استاد مشاور در کنار بندۀ بودند و حمایت همه جانبه از من داشتند، تقدیر و تشکر به عمل آورم. امید است که توانسته باشم اندکی از الطافشان را جبران کنم.

از پدر و مادر عزیزم، که بیان تشکر از ایشان، از دامنه‌ی لغات فراگرفته در زندگی ام خارج است، کمال تشکر را دارم و امیدوارم ذره‌ای از زحمات بی‌ منتشران را جبران کرده باشم.

در پایان از استاد گرانقدر مهندس امیرحسن آشنایی، مهندس فرید کاویانی، دکتر علی وزیری، آقای امیرحسین آقاجری و مهندس سعید دیاری بابت راهنمایی‌های بی‌چشمداشت و دلسوزانه‌شان، تقدیر و تشکر می‌نمایم.

سلامان عامی مطلق  
۱۴۰۱ مرداد

## چکیده

امروزه جای تجهیزاتی از قبیل تلفن همراه و ساعت های هوشمند در زندگی مردم این دوره باز شده و استفاده رایجی دارند. لذا بهبود تعاملات انسان و سامانه های هوشمند می تواند برگ برنده ای برای این صنعت باشد. یکی از جنبه های این تعامل، برقراری ارتباط بین ساعت هوشمند، تلفن همراه و پایش حرکات فیزیکی است. در این پروژه ابتدا یک ساعت هوشمند به صورت کامل طراحی شده است. این طراحی شامل سخت افزار، نرم افزار و طراحی مکانیکی است. این دستگاه از بستر بلوتوث برای برقراری ارتباط با تلفن همراه استفاده می کند، دارای حسگر شتاب، حسگر سلامت (پالس اکسی متر)، بازر، موتور ایجاد لرزش، شارژر باتری لیتیومی، کلیدهای لمسی و صفحه نمایش است. به کمک حسگر شتاب و پردازش سیگنال آن، متغیرهای فضایی دست اندازه گیری شده و به کمک پیاده سازی دو فیلتر کالمون، اطلاعات حسگر فیلتر شدن. این تشخیص حرکت برای مواردی مثل شمارش گام و روشن شدن صفحه نمایش در صورت بالا آمدن دست استفاده شده اند. برای پیاده سازی این فیلتر از تکنیک جاگذاری مقدار نهایی ضرایب استفاده شده است که باعث کاهش چشمگیر حجم محاسبات، کاهش حافظه مورد نیاز و افزایش سرعت اجرا است. کار انجام شده پیش رو، نقطه ای پایانی برای این پروژه نیست و می توان ایده های زیادی برای پیشرفت و مسیر آینده ای این پروژه متصور شد. هدایت یک بازوی رباتیک بر اساس حرکت دست به کمک فناوری اینترنت اشیاء مثالی از این ایده ها است.

## واژه های کلیدی:

ساعت هوشمند، فیلتر کالمون، ریز برد ارزش دهنده، تلفن همراه هوشمند، دستگاه پوشیدنی

# فهرست مطالب

۱	مقدمه	۱
۳	۱-۱ زیربخش مقدمه	
۴	۲ سخت افزار و الکترونیک	۲
۵	۱-۲ کلیت شماتیک	
۶	۲-۲ فیبر مدار چاپی	
۷	۳-۲ هسته‌ی پردازشی	
۹	۴-۲ درگاه بلوتوث	
۱۱	۵-۲ حسگر شتاب خطی و سرعت زاویه‌ای	
۱۲	۶-۲ حسگر PPG	
۱۳	۷-۲ صفحه نمایش	
۱۴	۸-۲ درگاه ارتباط سریال	
۱۵	۹-۲ تعذیه و مدیریت توان	
۱۵	۱-۹-۲ باتری	
۱۵	۲-۹-۲ شارژ و مدیریت توان	
۱۸	۱۰-۲ کلیدهای لمسی	
۱۹	۱۱-۲ بازار	
۲۰	۱۲-۲ موتور ایجاد لرزش	
۲۲	۳ مکانیک و طراحی صنعتی	۳
۲۳	۱-۳ بدنی اصلی	
۲۳	۱-۱-۳ نسخه‌های اولیه	
۲۴	۲-۱-۳ نسخه نهایی	
۲۷	۲-۳ دریچه‌ی پشتی	
۲۸	۳-۳ اتصالات	
۲۹	۱-۳-۳ کلیدهای لمسی	
۳۰	۲-۳-۳ صفحه نمایش	
۳۰	۳-۳-۳ پی‌سی‌بی	
۳۱	۴-۳-۳ باتری	
۳۱	۵-۳-۳ PPG حسگر	
۳۲	۶-۳-۳ دریچه‌ی پشتی	
۳۳	۴ نرم افزار	
۳۵	۱-۴ تنظیمات سخت افزاری	

۳۶	.....	۱-۱-۴ کلاک
۳۶	.....	۲-۱-۴ برنامه‌ریزی و اشکال‌زدایی
۳۷	.....	GPIO ۳-۱-۴
۳۸	.....	RTC ۴-۱-۴
۳۸	.....	۵-۱-۴ تایمیرها
۴۲	.....	ADC ۶-۱-۴
۴۳	.....	I2C ۷-۱-۴
۴۳	.....	USART ۸-۱-۴
۴۴	.....	۲-۴ معماری
۴۵	.....	۵ نتایج و جمع‌بندی
۴۷	.....	منابع و مراجع

# فهرست اشکال

صفحه

شکل

۱-۲	شماییک کلی ساعت و نحوه اتصال بخش‌های مختلف به یکدیگر	۵
۲-۲	پی‌سی‌بی طراحی شده در نرم‌افزار Altium Designer	۶
۳-۲	تصاویری از پی‌سی‌بی پروژه	۷
۴-۲	تصاویری از پردازنده STM32F030	۸
۵-۲	شماییک مربوط به بخش ریزپردازنده	۹
۶-۲	تصاویری از ماژول بلوتوث HC-05	۱۰
۷-۲	شماییک مربوط به بخش بلوتوث	۱۰
۸-۲	تصاویر حسگر حرکتی	۱۱
۹-۲	شماییک مربوط به بخش حسگر حرکتی	۱۱
۱۰-۲	تصاویر حسگر PPG	۱۲
۱۱-۲	شماییک مربوط به بخش حسگر PPG	۱۳
۱۲-۲	تصاویر صفحه‌ی نمایش	۱۳
۱۳-۲	شماییک مربوط به بخش نمایشگر	۱۴
۱۴-۲	تصاویر مربوط به درگاه ارتباط سریال	۱۴
۱۵-۲	باتری انتخاب شده برای پروژه	۱۵
۱۶-۲	شماییکی ساده برای توضیح بخش مدیریت توان	۱۶
۱۷-۲	تصاویر بخش تغذیه	۱۷
۱۸-۲	تصاویر بخش کلیدهای لمسی	۱۸
۱۹-۲	شماییک مربوط به بخش کلیدهای لمسی	۱۸
۲۰-۲	تصاویر بازر	۱۹
۲۱-۲	شماییک مربوط به بخش بازر	۲۰
۲۲-۲	تصاویر موتور ایجاد لرزش	۲۰
۲۳-۲	شماییک مربوط به بخش ایجاد لرزش	۲۱
۱-۳	تصاویر بدنی اصلی نسخه‌ی اول	۲۳
۲-۳	تصاویر بدنی اصلی نسخه‌ی دوم	۲۴
۳-۳	تصاویر بدنی اصلی نسخه‌ی سوم	۲۴
۴-۳	تصاویر محل نصب صفحه نمایش در بدن	۲۵
۵-۳	تصاویر محل نصب پی‌سی‌بی در بدن	۲۵
۶-۳	تصویر محل اتصال USB در بدن	۲۶
۷-۳	تصویر شیارهای عبور هوا	۲۶
۸-۳	تصاویر محل نصب بند	۲۷

۹-۳ تصویر چاپ شدهی نسخهی نهایی بدن از جنس رزین و شفاف	۲۷
۱۰-۳ تصویر استوانه‌های اتصال دریچه به بدن	۲۸
۱۱-۳ تصاویر محل نصب حسگر PPG	۲۸
۱۲-۳ تصویر چاپ شدهی نسخهی نهایی دریچه‌ی پشتی از جنس رزین و شفاف	۲۹
۱۳-۳ تصاویر اتصال کلیدهای لمسی به بدن	۲۹
۱۴-۳ تصویر اتصال صفحه نمایش به بدن	۳۰
۱۵-۳ تصویر اتصال پی‌سی‌بی به بدن	۳۰
۱۶-۳ تصاویر اتصال باتری	۳۱
۱۷-۳ تصاویر اتصال حسگر PPG	۳۱
۱۸-۳ تصاویر اتصال دریچه‌ی پشتی	۳۲
۱۹-۳ تصاویر بدنی کامل	۳۲
۱-۴ نحوی تخصیص پایه‌های مختلف ریزپردازنده در نرم‌افزار CubeMX	۳۵
۲-۴ تنظیمات کلاک	۳۶
۳-۴ Debugging	۳۶
۴-۴ تنظیمات GPIO	۳۷
۵-۴ تنظیمات RTC	۳۸
۶-۴ تنظیمات دو تایمر	۳۹
۷-۴ تنظیمات تایمر شش	۳۹
۸-۴ تنظیمات تایمر چهارده	۴۰
۹-۴ تنظیمات تایمر پانزده	۴۰
۱۰-۴ تنظیمات تایمر شانزده	۴۱
۱۱-۴ تنظیمات تایمر هفده	۴۱
۱۲-۴ تنظیمات مبدل آنالوگ به دیجیتال	۴۲
۱۳-۴ تنظیمات I2C	۴۳
۱۴-۴ تنظیمات USART	۴۳

# فصل اول

## مقدمه

## ۱-۱ زیربخش مقدمه

دنتردتشی برتنش ر قرنس رند ردن رتندبقدتلتمشنقلد

## فصل دوم

### سخت افزار و الکترونیک

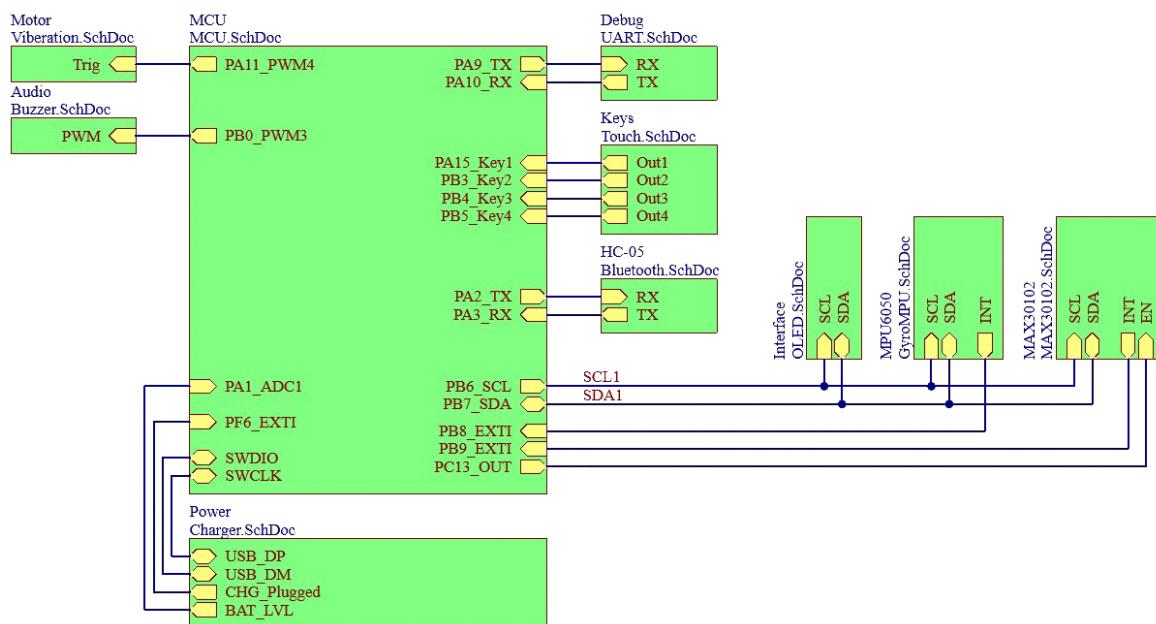
همانطور که گفته شد، این پروژه شامل سه قسمت اصلی سخت افزار، مکانیک و نرم افزار است. در این فصل، به تشریح سخت افزار می پردازیم.

## ۱-۲ کلیت شماتیک

شکل ۱-۲ کلیت شماتیک و بلوک دیاگرام آن را نشان می دهد. هر کدام از زیربخش ها به تفصیل در ادامه بررسی شده اند.

این زیربخش ها شامل موارد ذیل هستند:

- ۷. صفحه نمایش
- ۸. تغذیه و مدیریت توان
- ۹. کلیدهای لمسی
- ۱۰. بازر
- ۱۱. موتور ایجاد لرزش
- ۱. فیبر مدار چاپی
- ۲. هسته پردازشی
- ۳. درگاه بلوتوث
- ۴. درگاه ارتباط سریال
- ۵. حسگر PPG
- ۶. حسگر حرکتی



شکل ۱-۲: شماتیک کلی ساعت و نحوه اتصال بخش های مختلف به یکدیگر

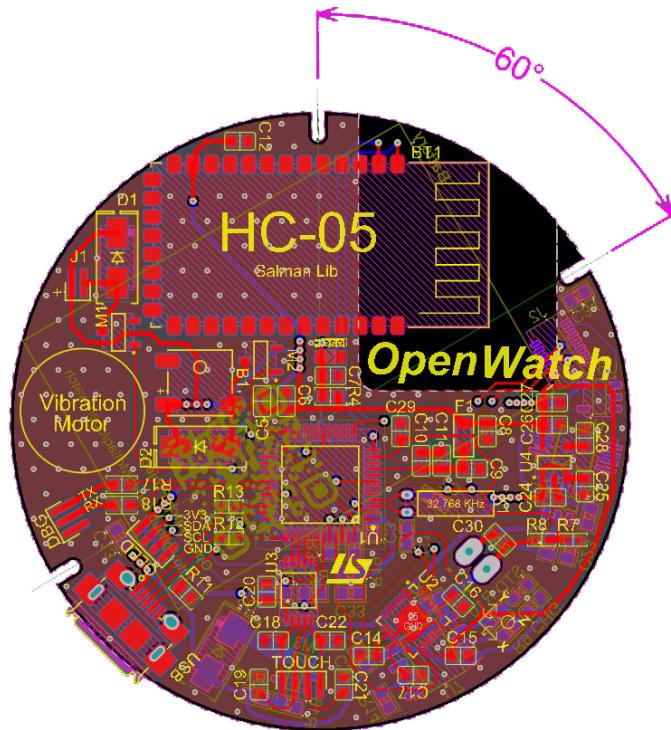
۲-۲ فیبر مدار چاپی

فیبر مدار چاپی یا PCB <sup>۱</sup> صفحه‌ای است معمولاً از جنس فیبر FR-4 که با دو لایه‌ی نازک مس (ممولای به ضخامت ۳۵ میکرون) در طرفيین پوشیده است. طرحی که طراح به کارخانه‌ی چاپ پی‌سی‌بی ارسال می‌کند روی این ورقه‌ها پیاده می‌شود. سپس لایه‌ی محافظ معمولاً سبز رنگ به نام Solder mask روی آن اضافه می‌شود که برای زیبایی بخشی به کار و محافظت از مس در مقابل خوردگی و اکسایش است.

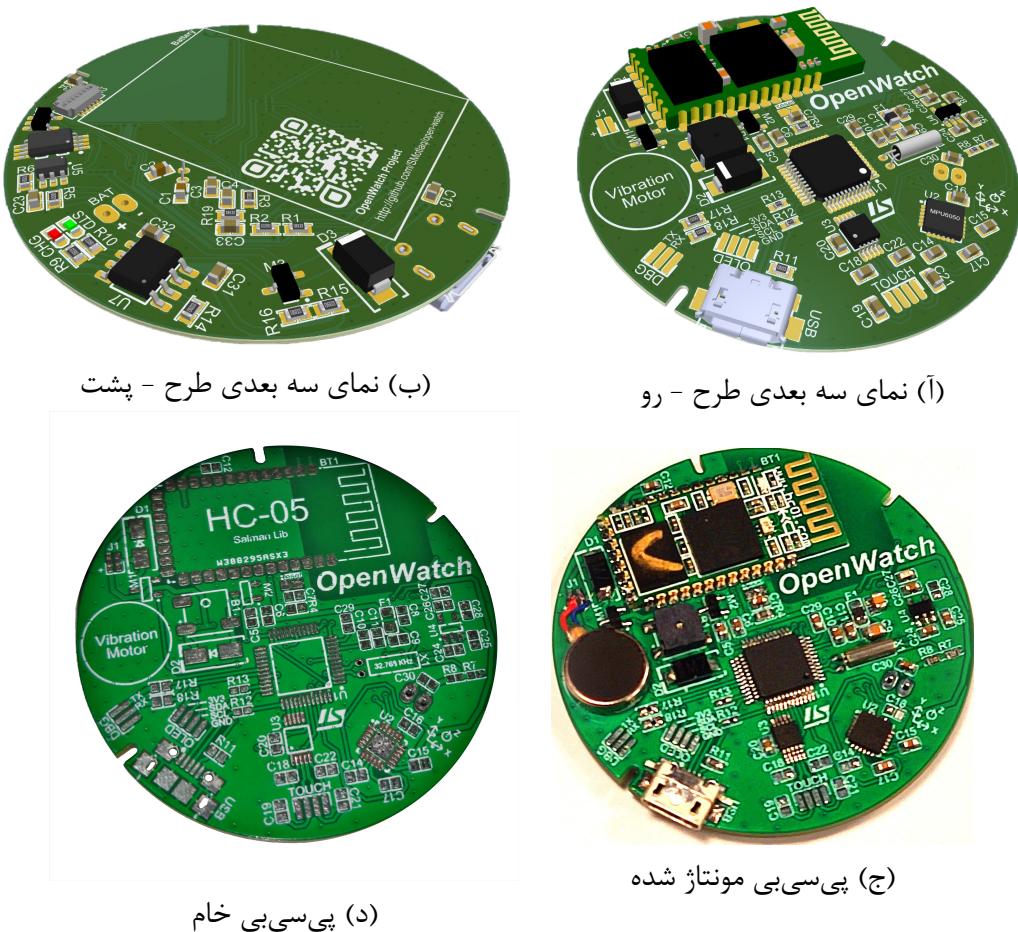
در این پروژه از یک پی‌سی‌بی چهارلایه استفاده شده است. به دلیل فشردگی بالای طرح و قطعات، همچنین برای بهبود کیفیت سیگنال‌ها و کاهش اثر نویز، دو صفحه‌ی زمین در لایه‌های ۲ و ۳ تعییه شده است. این صفحه‌ها با کوتاه کردن مسیر جریان برگشتی باعث بهبود کیفیت سیگنال و کاهش اثر نویز می‌شوند. همچنین تأثیر چشم‌گیری در سهولت مسیر کشی پی‌سی‌بی دارد.

پی‌سی‌بی‌های این پروژه -به رایگان- توسط شرکت PCBWay [۱] چاپ شده است که از بزرگترین و مجهزترین کارخانه‌های چاپ پی‌سی‌بی در کشور چین است.

شکل ۲-۲ تصویر پی سی بی طراحی شده در نرم افزار Altium Designer را نشان می دهد. تصاویر مربوط به پی سی بی در شکل ۳-۲ قابل مشاهده است.



شکل ۲-۲: پی‌سی‌بی طراحی شده در نرم‌افزار Altium Designer



شکل ۳-۲: تصاویری از پی‌سی‌بی پروژه

## ۳-۲ هسته‌ی پردازشی

برای انتخاب پردازنده‌ی مناسب باید موارد ذیل را مدنظر داشت:

### ۱. مقدار حافظه‌ی فلاش<sup>۲</sup>:

برنامه‌ای که برای پردازنده نوشته می‌شود در حافظه‌ی فلاش ذخیره می‌شود. پس این حافظه مشخص می‌کند چه حجمی از برنامه در این پردازنده جا می‌شود.

### ۲. مقدار حافظه‌ی رم<sup>۳</sup>:

این حافظه، یک حافظه‌ی موقت است که متغیرها، اشاره‌گرهای<sup>۴</sup>، نقطه‌ی بازگشت توابع و مقادیر ثبات‌ها<sup>۵</sup> به طور موقت در آن نوشته می‌شود. مقدار رم موردنیاز باید با توجه به حجم متغیرها و پیچیدگی عملیاتی و محاسباتی برنامه تعیین شود.

Flash<sup>۲</sup>

RAM<sup>۳</sup>

Pointers<sup>۴</sup>

Registers<sup>۵</sup>

### ۳. تعداد پایه ها و مدارهای واسط<sup>۵</sup>:

پردازنده های مختلف تنوع زیادی در نوع و تعداد مدارهای واسط ارائه می دهند. با توجه به تعداد سخت افزارهای جانبی، باید تعداد پایه و نوع مدارهای واسط موردنیاز تعیین شود.

### ۴. پکیج:

پکیج های مختلف نمایانگر شکل ظاهری پردازنده است. برخی پکیج ها ابعاد بزرگی دارند و برخی دیگر به قدری کوچک هستند که پایه های پردازنده در زیر تراشه تعییه می شوند تا فضای کمتری اشغال کند. در انتخاب پکیج باید محدودیت فضای پی سی بی را مدنظر قرار داد.

### ۵. موجودی بازار:

یکی از مهمترین چالش های مهندسان الکترونیک در ایران، موجودی بازار است. خیلی از قطعاتی که طراح به آن ها نیاز دارد در بازار ایران پیدا نمی شود یا قیمت بالایی دارد. یا باید به وارد کردن قطعه و تاخیر چند ماهه تن داد یا باید طرح را عوض کرد تا با قطعات موجود در بازار قابل پیاده سازی باشد.

### ۶. قیمت:

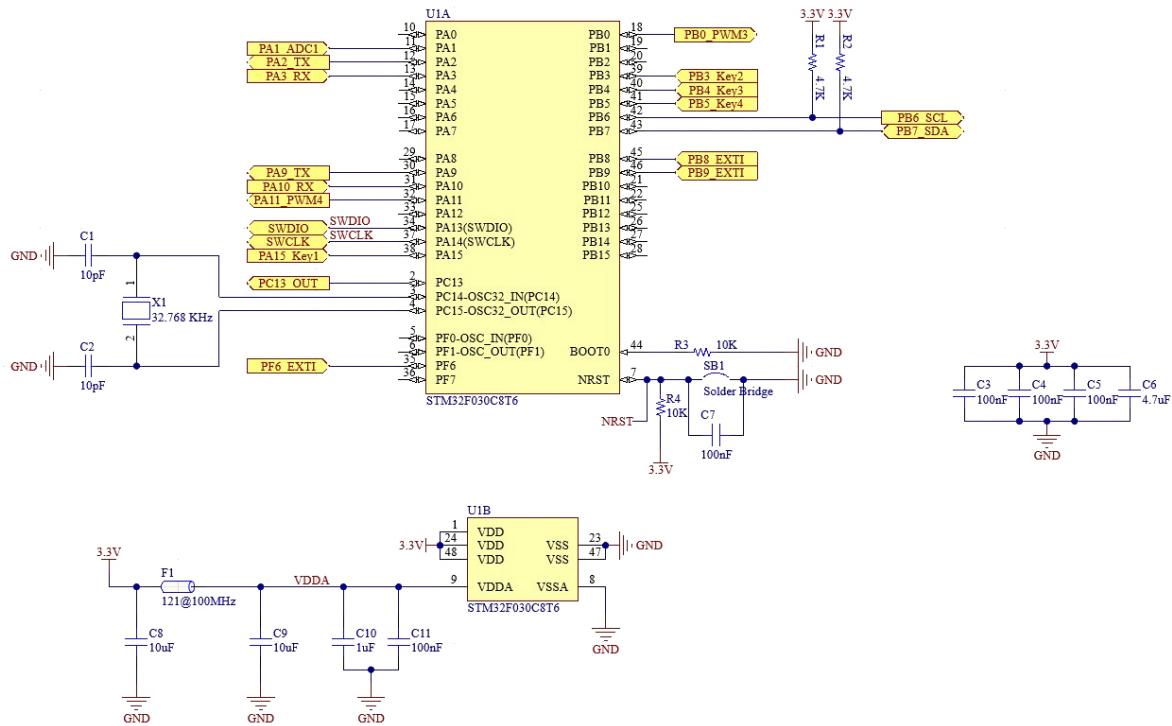
بدیهی است که یکی از قیود طراحی، قیمت تمام شده است. طراح باید در انتخاب پردازنده طوری عمل کند که با کمترین قیمت، بهترین تطابق را با قیود بالا ایجاد کند.

در نهایت با بررسی موارد فوق، پردازنده انتخاب شده در این پروژه STM32F030C8 است. این پردازنده محصول شرکت ST که هسته‌ی ARM Cortex-M0 ۳۲ بیتی دارد. شکل ۴-۲ آ تصویر واقعی این پردازنده و شکل ۴-۲ ب تصویر آن را بر روی پی سی بی ساعت نشان می دهد.



(ب) مونتاژ شده روی برد پروژه

شکل ۴-۲: تصاویری از پردازنده STM32F030



شکل ۲-۵: شماتیک مربوط به بخش ریز پردازنده

شکل ۲-۵ شماتیک مداری بخش پردازنده را نشان می‌دهد. یک کریستال ۳۲۷۶۸ هرتزی وظیفهٔ تنظیم فرکانس بخش RTC<sup>۸</sup> را بر عهده دارد. ساعت سیستم توسط این واحد ذخیره و تنظیم می‌شود. تغذیهٔ بخش ADC<sup>۹</sup> توسط چند خازن و یک فریت بید<sup>۱۰</sup> فیلتر شده است. تغذیهٔ خود پردازنده نیز توسط ۴ خازن (مطابق با دستور کارخانه سازنده) فیلتر شده است.

## ۴-۲ درگاه بلوتوث

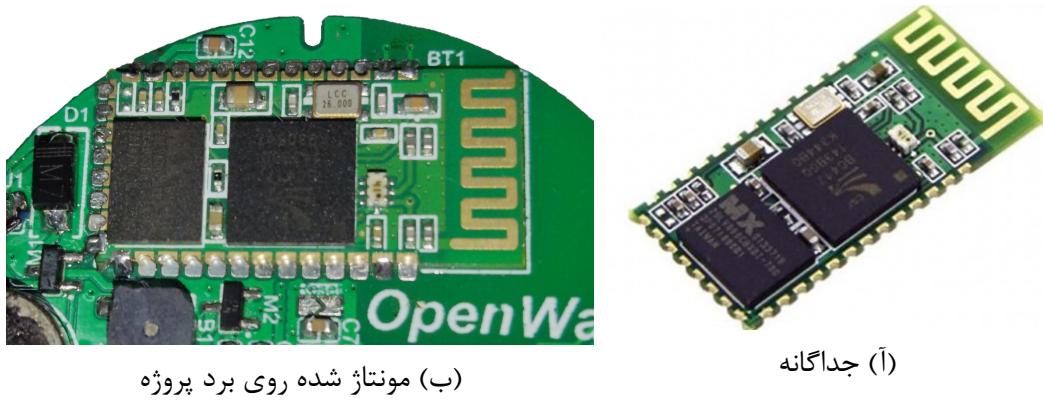
ارتباط ساعت با تلفن همراه از طریق درگاه بلوتوث<sup>۱۱</sup> است. قیود انتخاب بلوتوث هم تا حدی مشابه قیود انتخاب پردازنده (ابتدا بخش ۳-۲) است. با در نظر گرفتن شرایط بازار، قیمت و عملکرد مژول‌های مختلف، نهایتاً مژول HC-05 تصویر این مژول و شکل ۲-۶-۲ عب<sup>۱۲</sup> تصویر آن را بر روی پی‌سی‌بی ساعت نشان می‌دهد.

یکی از نکات مهمی که در طراحی پی‌سی‌بی برای مژول‌های مخابراتی وجود دارد این است که در نزدیکی آنتن این مژول‌ها نباید هادی جریان الکتریکی وجود داشته باشد. در غیر این صورت خاصیت خازنی بین آنتن و این هادی باعث تغییر مشخصه‌های آنتن می‌شود و باعث اختلال در عملکرد آنتن

---

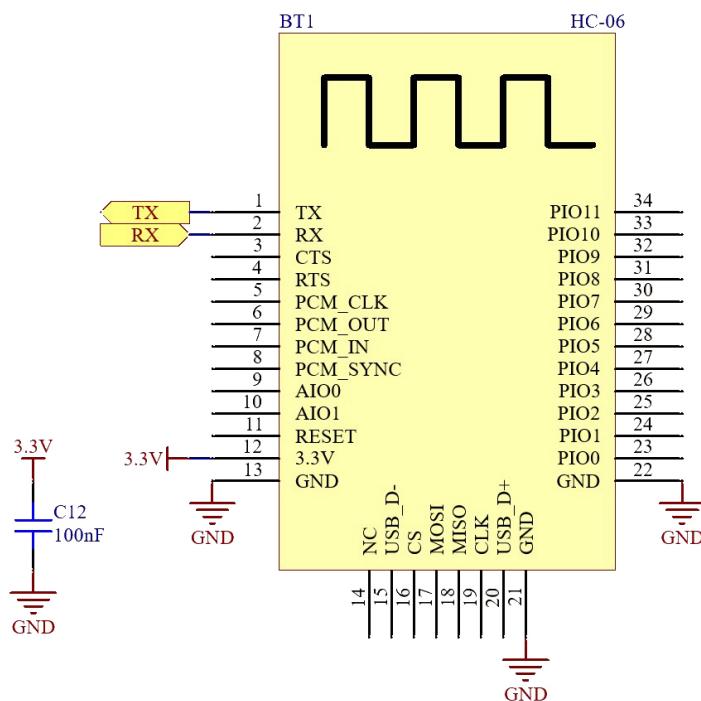
Real Time Clock<sup>۸</sup>  
Analog to Digital Converter<sup>۹</sup>  
Ferrite Bead<sup>۱۰</sup>  
Bluetooth<sup>۱۱</sup>

می گردد. همانطور که در شکل ۲-۲ مشاهده می شود، مس های اطراف آنتن حذف شده اند تا عملکرد بلوتوث دچار مشکل نشود.



شکل ۲-۶: تصاویری از مازول بلوتوث HC-05

شکل ۷-۲ شماتیک مداری بخش بلوتوث را نشان می دهد. پروتکل ارتباطی این مازول با پردازنده پروتکل UART<sup>۱۲</sup> است که با دو پین RX و TX به پردازنده متصل می شود. پریفرال UART2 در پردازنده به ارتباط با بلوتوث اختصاص دارد. تغذیه مازول نیز با یک خازن ۱۰۰ نانوفارادی فیلتر شده است.



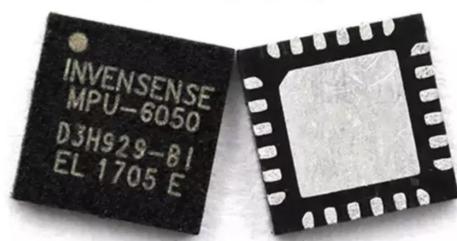
شکل ۷-۲: شماتیک مربوط به بخش بلوتوث

## ۵-۲ حسگر شتاب خطی و سرعت زاویه ای

برای اندازه گیری مشخصه های حرکتی باید سراغ IMU<sup>۱۳</sup> ها رفت. IMU ها وسیله های الکترونیکی هستند که با استفاده ای ترکیبی از شتاب سنج ها، ژیروسکوپ ها و گاهی اوقات مغناطیس سنج ها، مشخصه های حرکتی را اندازه گیری و گزارش می کنند [۲]. در این پروژه از حسگر MPU6050 به این منظور استفاده شده است. این حسگر علی رغم قیمت نسبتاً پایین، دقت و سرعت مناسبی دارد. مشخصات فنی این حسگر در ضمیمه ؟ موجود است. شکل ۸-۲ تصویر این حسگر و شکل ۸-۲ آ تصویر آن را بر روی پی سی بی ساعت نشان می دهد.



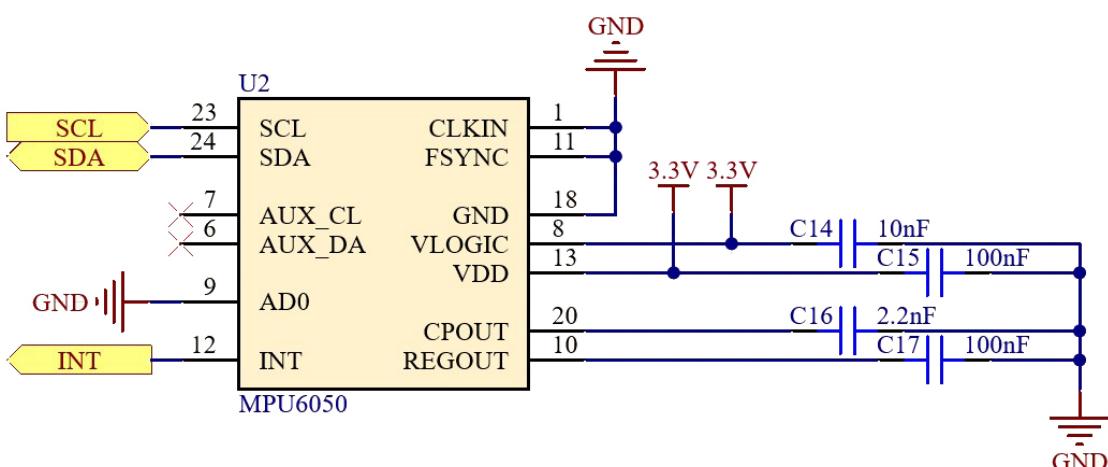
(ب) مونتاژ شده روی برد پروژه



(آ) جدایگانه

شکل ۸-۲: تصاویر حسگر حرکتی

شکل ۹-۲ شماتیک مداری حسگر MPU6050 را نشان می دهد. خازن ها طبق دستور کارخانه به حسگر متصل شده اند. درگاه ارتباطی این حسگر، بس I2C است. به همین دلیل I2C پردازنده به این حسگر متصل است.

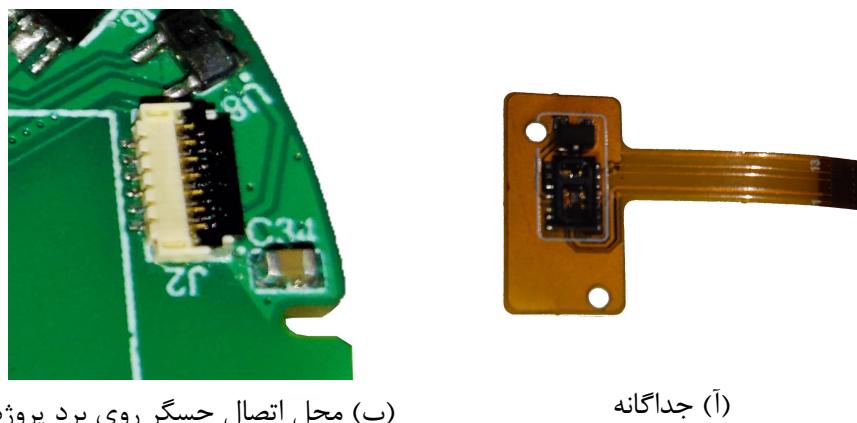


شکل ۹-۲: شماتیک مربوط به بخش حسگر حرکتی

## ۶-۲ حسگر PPG

در ابتدا ساختار کلی حسگرهای PPG<sup>۱۴</sup> را بررسی می‌کنیم. این حسگرها شامل یک یا چند دیود نشرده‌نده‌ی نور<sup>۱۵</sup> هستند که به همراه گیرنده‌ی نوری در یک بسته قرار دارند. وظیفه‌ی این حسگرها این است که نوری را به داخل بفت بدن بفرستند و بازتاب آن را دریافت کنند. با پردازش سیگنال دریافتی می‌توان به اطلاعاتی مانند ضربان قلب و سطح اکسیژن خون دست یافت.

بسته به کاربرد موردنظر، نورهای مختلفی در این سنسورها استقاده می‌شود. حسگر استفاده شده در این پروژه MAX30102 نام دارد. این حسگر دارای دو نور قرمز و مادون قرمز است. ساختار منعطف این حسگر کمک می‌کند تا بتوان به سادگی آن را در بدن نصب کرد. متاسفانه این حسگر در بازار ایران موجود نبود و مجبور به وارد کردن آن از چین شدم. تصویر این حسگر در شکل ۲-۱۰<sup>۱۶</sup> و محل اتصال آن روی پی‌سی‌بی در شکل ۲-۱۰<sup>۱۷</sup> قابل مشاهده است.



شکل ۲-۱۰: تصاویر حسگر PPG

شکل ۲-۱۱<sup>۱۸</sup> شماتیک مداری حسگر MAX30102 را نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود یک آیسی RT9742GGJ5 بر سر راه تغذیه‌ی سنسور قرار دارد. این آیسی یک سوییچ ماسفت<sup>۱۹</sup> است که علاوه بر قطع و وصل تغذیه، مصرف کننده را در مقابل مواردی چون کمبود ولتاژ، اضافه جریان و افزایش دما محافظت می‌کند. از آنجا که نیازی نیست این حسگر دائم روشن باشد و نمونه برداری کند، این سوییچ کمک می‌کند تا بتوان حسگر را روشن یا خاموش کرد. کانکتوری که برای حسگر استفاده شده یک کانکتور FPC<sup>۲۰</sup> پین است که متاسفانه آن هم در بازار ایران موجود نبود و وارد شد. درگاه ارتباطی این حسگر، بس<sup>۲۱</sup> I2C<sup>۲۲</sup> است. به همین دلیل پردازنده به این حسگر متصل است.

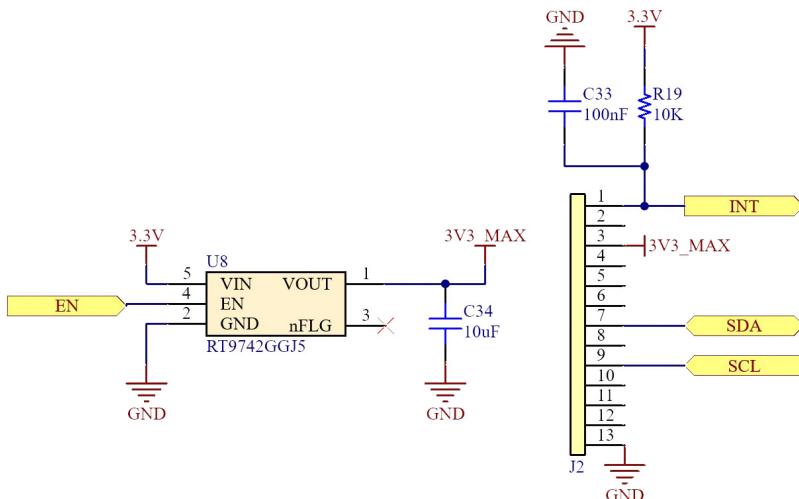
<sup>۱۴</sup> Photoplethysmogram یا تغییر حجم سنجی نوری

<sup>۱۵</sup> Light-emitting diode (LED)

<sup>۱۶</sup> Metal–Oxide–Semiconductor Field-Effect Transistor

<sup>۱۷</sup> Bus

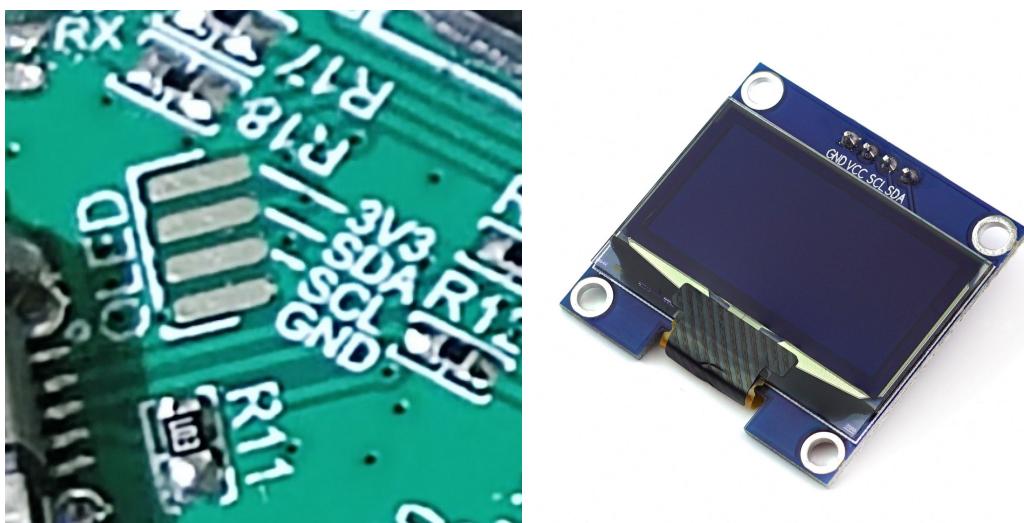
<sup>۱۸</sup> Inter-Integrated Circuit



شکل ۱۱-۲: شماتیک مربوط به بخش حسگر PPG

## ۷-۲ صفحه نمایش

صفحه‌ی نمایش از اصلی‌ترین قسمت‌های یک ساعت هوشمند است. صفحه‌ی نمایش باید مصرف کمی داشته باشد، راهاندازی آن دشوار نباشد و تعداد پایه‌ی زیادی هم نیاز نداشته باشد تا بتوان آن را در ساعت استفاده کرد. از این رو یک صفحه‌ی نمایش<sup>۱۹</sup> OLED ۱۳۰۶ SSD1306 راهاندازی می‌شود. شکل ۱۲-۲ تصویر این نمایشگر و شکل ۱۲-۲ ب تصویر محل اتصال سیم‌های آن را بر روی پی‌سی‌بی ساعت نشان می‌دهد.



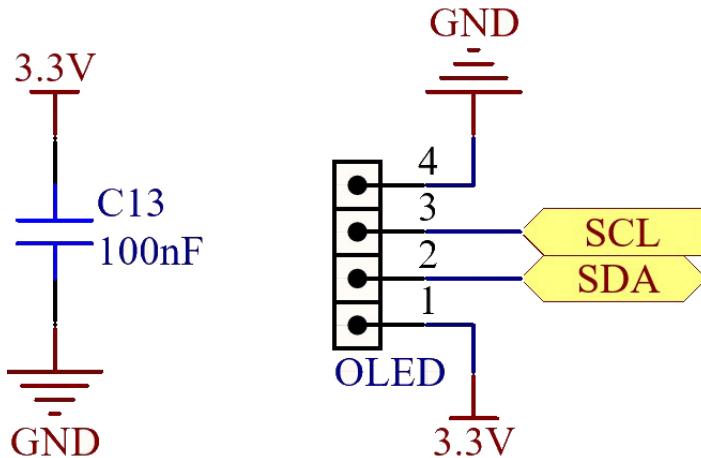
(ب) محل اتصال نمایشگر روی برد پروژه

(آ) جدایگانه

شکل ۱۲-۲: تصاویر صفحه‌ی نمایش

<sup>۱۹</sup> صفحه‌ی نمایش‌های OLED اینگونه هستند که فقط پیکسل‌های موردنیاز روشن می‌شوند و دیگر نیازی نیست که نور پشتی به تمام پیکسل‌ها بتابد تا دیده شوند. این نوع نمایشگرها مصرف کمتر و زیباتری بیشتری دارند.

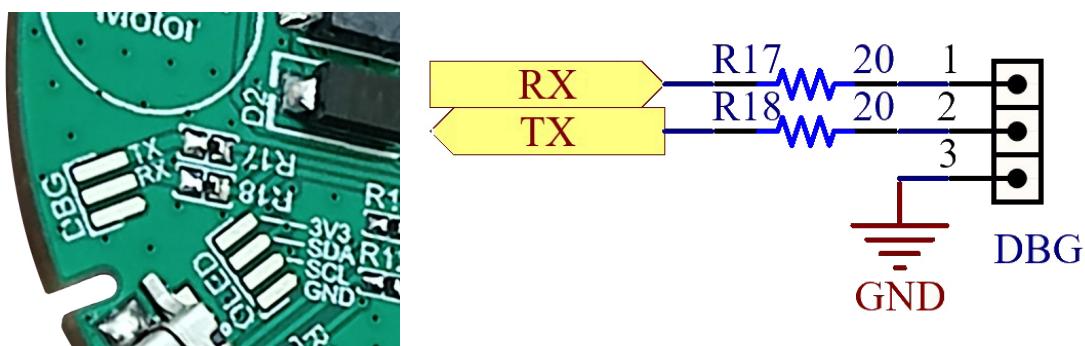
شکل ۲-۱۳: شماتیک مداری بخش نمایشگر را نشان می‌دهد. درگاه ارتباطی این نمایشگر، بس I2C است. به همین دلیل I2C1 پردازنده به این نمایشگر متصل است.



شکل ۲-۱۳: شماتیک مربوط به بخش نمایشگر

## ۸-۲ درگاه ارتباط سریال

پریفرال UART1 در پردازنده با دو پین RX و TX از روی پی‌سی‌بی خارج شده‌اند. کاربرد این دو پین اشکال‌یابی  $^{\circ}2$  و ارتباط سرعت بالا بین ساعت و رایانه است. این بخش کاربردی در عملکرد کلی ساعت ندارد و صرفاً روند توسعه را تسريع می‌کند. شکل ۲-۱۴: شماتیک مداری و شکل ۲-۱۴: تصویر واقعی این دو پین را نشان می‌دهد.



(ب) پین‌های مربوطه

(آ) شماتیک

شکل ۲-۱۴: تصاویر مربوط به درگاه ارتباط سریال

## ۹-۲ تغذیه و مدیریت توان

بخش تغذیه و مدیریت توان این ساعت هوشمند از دو قسمت تشکیل شده است. بخش تغذیه که شامل باتری است و بخش شارژ که وظیفه‌ی شارژ باتری و تغذیه‌ی مدار را در صورت اتصال شارژر بر عهده دارد.

### ۱-۹-۲ باتری

برای انتخاب باتری قیودی چون ظرفیت، ولتاژ، ابعاد و قیمت مطرح است. باتری‌ای برای این پروژه مناسب است که در حداقل ابعاد، حداقل ظرفیت را داشته باشد، در بازار موجود باشد، قیمت مناسبی داشته باشد و یک سلول باشد (ولتاژ ۳.۷ ولت). با این تفاسیر باتری‌ای که در شکل ۱۵-۲ مشاهده می‌شود برای این پروژه انتخاب شد. یک باتری لیتیوم-یون یک سلولی که ولتاژ نامی آن ۳.۷ ولت است با ظرفیت ۴۰۰ میلی‌آمپرساعت.



شکل ۱۵-۲: باتری انتخاب شده برای پروژه

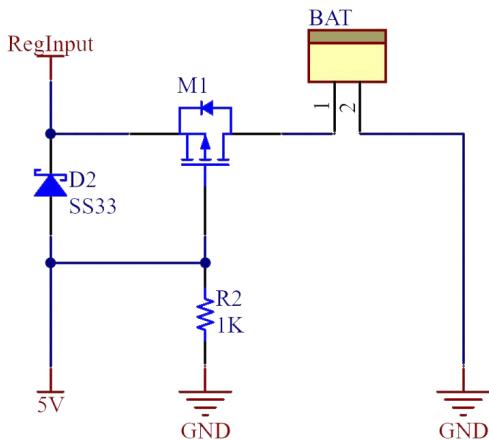
### ۲-۹-۲ شارژ و مدیریت توان

برای شارژ باتری از یک آیسی شارژ به نام TP4056 استفاده شده است که می‌تواند باتری‌های لیتیومی را شارژ کند. در کنار آن یک آیسی کنترلر به نام DW01 قرار دارد که ولتاژ باتری را پایش می‌کند. باتری‌های یک سلولی ولتاژ نامی ۳.۷ ولت دارند. اما در حالت شارژ کامل حدود ۴.۲ و در حالت خالی حدود ۳ ولت هستند. این کنترلر وظیفه دارد در صورت تجاوز ولتاژ باتری از این محدوده، آن را به کمک دو

ماضت از مدار خارج کند. اینگونه با تری هیچگاه دچار اضافه ولتاژ<sup>۲۱</sup> یا کمبود ولتاژ<sup>۲۲</sup> نمی‌شود و آسیبی نمی‌بیند. این مدارات در شکل ۱۷-۲ قابل مشاهده‌اند.

تغذیه‌ی مدارهای ساعت از یک رگولاتور ۳.۰۳ ولت تأمین می‌شود. بحث مدیریت توان به این مسئله می‌پردازد که ورودی این رگولاتور از کدام مسیر تغذیه شود. هنگامی که با تری شارژ دارد و شارژر متصل نیست، باید ورودی با تری مستقیماً به رگولاتور وارد شود. هنگامی که شارژر متصل می‌شود، باید ورودی برق شارژر مستقیماً به رگولاتور برود و با تری از مدار خارج شود که از طریق برق ورودی شارژ شود. این تغییر مسیر و جابجایی توسط یک ماضت AO3401 صورت می‌گیرد.

این ماضت یک ماضت P-Channel است. در صورتی هدایت می‌کند که شرط  $V_{GS} < V_{th} = -0.9$  برقرار باشد. حال به شکل ۱۶-۲ توجه کنید. در صورتی که برق ورودی (۵ ولت) متصل باشد، ولتاژ ۵ ولت می‌شود. از طرفی ورودی رگولاتور از طریق دیود D2 که شاتکی است و  $0.2$  ولت افت دارد، متصل شده است. در این صورت  $V_{GS} = 0.2$  ولت است و باعث می‌شود که ماضت قطع شود. در این حالت ولتاژ سورس حدود ۴.۸ است. از آنجا که ولتاژ با تری نهایتاً ۴.۳ ولت است لذا دیود داخلی ماضت نیز هدایت نمی‌کند و همه چیز درست است. حال اگر تغذیه‌ی خارجی قطع شود، گیت ماضت به دلیل وجود مقاومت Pull-Down صفر می‌شود. اکنون کافی است تا ولتاژ سورس اندکی مثبت شود (حدود ۰.۹ ولت) تا ماضت هدایت کند. این ولتاژ از طریق دیود داخلی ماضت از سمت با تری ایجاد می‌شود. حالا ماضت روشن است و ورودی رگولاتور از طریق با تری تغذیه می‌شود.



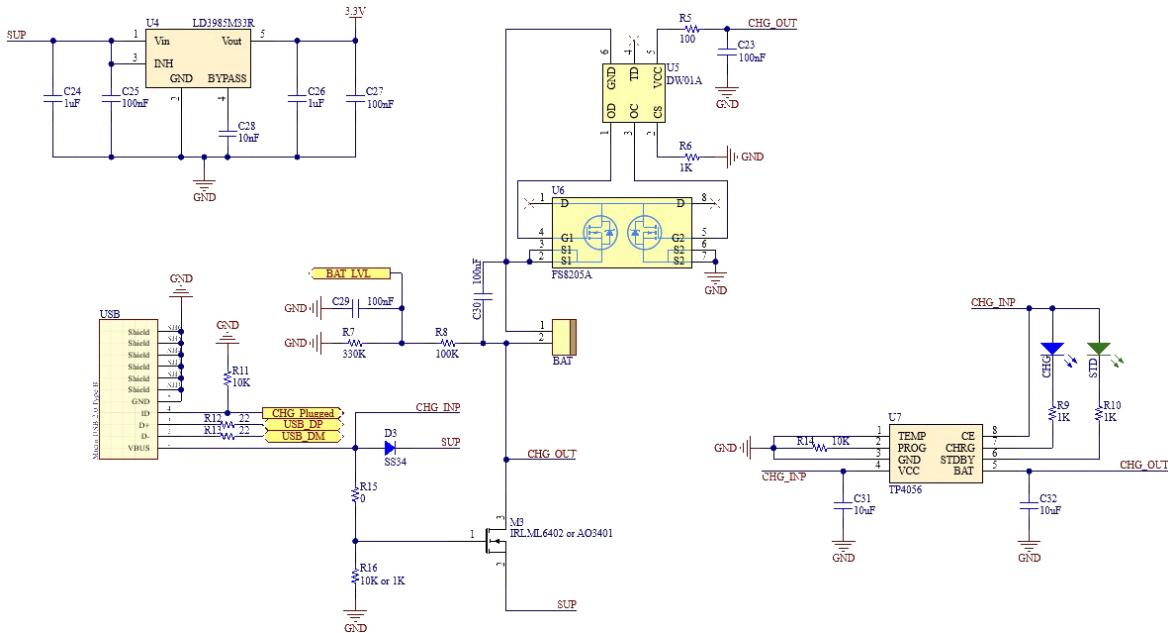
شکل ۱۶-۲: شماتیکی ساده برای توضیح بخش مدیریت توان

به طور خلاصه می‌توان حالات کاری مدار را اینگونه توضیح داد:

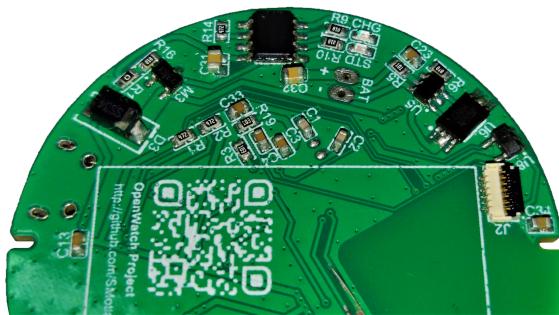
۱. شارژر متصل است: ماضت خاموش است، با تری از مدار خارج شده و به شارژر متصل است
۲. شارژر متصل نیست: ماضت روشن است، با تری در مدار است و به شارژر متصل نیست

Over voltage<sup>۲۱</sup>

Under voltage<sup>۲۲</sup>



(ا) شماتیک مدار شارژ و مدیریت توان



(ب) مونتاژ شده روی برد پروژه به همراه جای باتری

شکل ۱۷-۲: تصاویر بخش تغذیه

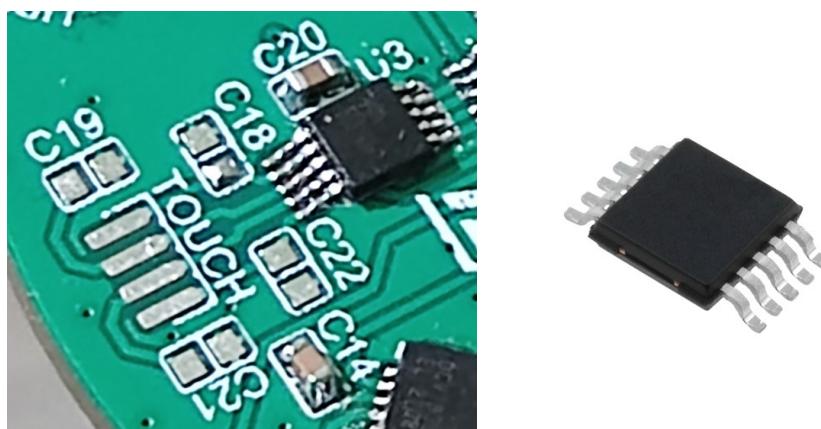
دو عدد LED به رنگ‌های قرمز و آبی به آیسی شارژ متصلند که در صورت وصل شدن ساعت به شارژر روشن می‌شوند. قرمز برای هنگامی است که باتری در حال شارژ است، آبی برای هنگامی که باتری به طور کامل شارژ شده است.

برای قرائت مقدار شارژ باتری، از یک تقسیم مقاومتی با نسبت سه چهارم (به صورت دقیق  $0.76^{\circ}$ ) استفاده شده است که ولتاژ حداکثر ۴.۳ ولتی باتری را به ۳.۳ ولت می‌رساند که توسط مبدل آنالوگ به دیجیتال <sup>۲۳</sup> قابل خواندن است.

<sup>۲۳</sup> ADC (Analog to Digital Converter)

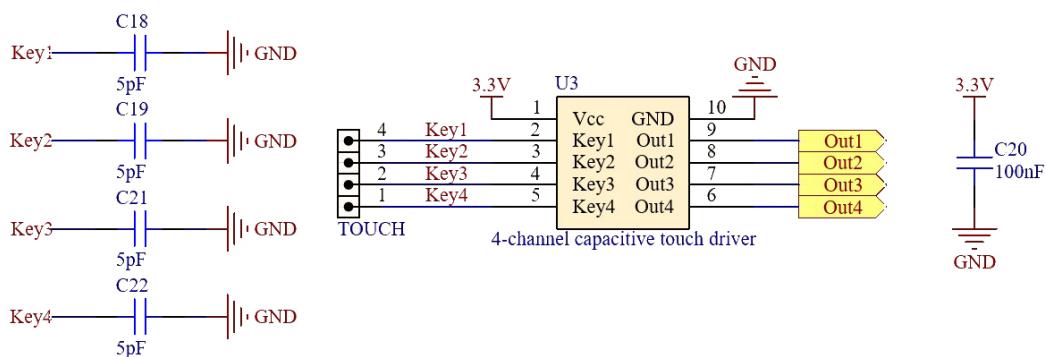
## ۱۰-۲ کلیدهای لمسی

بر روی بدنی ساعت و زیر صفحه ای اصلی، چهار سیم پیج تعییه شده است که باید بتوان با لمس آنها، با ساعت تعامل کرد و به آن ورودی داد. برای راه اندازی این کلیدها از یک آیسی به نام BS814A-1 استفاده شده است. این آیسی ساخت شرکت Holtek است و یکی از بهترین گزینه ها برای راه اندازی کلید لمسی است. شکل ۱۸-۲ تصویر این آیسی و شکل ۱۸-۳ تصویر آن را بر روی پی سی بی ساعت نشان می دهد.



شکل ۱۸-۲: تصاویر بخش کلیدهای لمسی

شکل ۱۹-۲ شماتیک مداری بخش کلیدهای لمسی را نشان می دهد. این آیسی ده پایه است. دو پایه برای تغذیه دارد، ۴ پایه برای اتصال به کلیدها و ۴ پایه برای اتصال به پردازنده. برای تنظیم حساسیت کلیدها می توان از خازن هایی موازی کلیدها بهره برد. در اینجا خازنی روی برد قرار نگرفته است زیرا نیازی به کاهش حساسیت نبود.

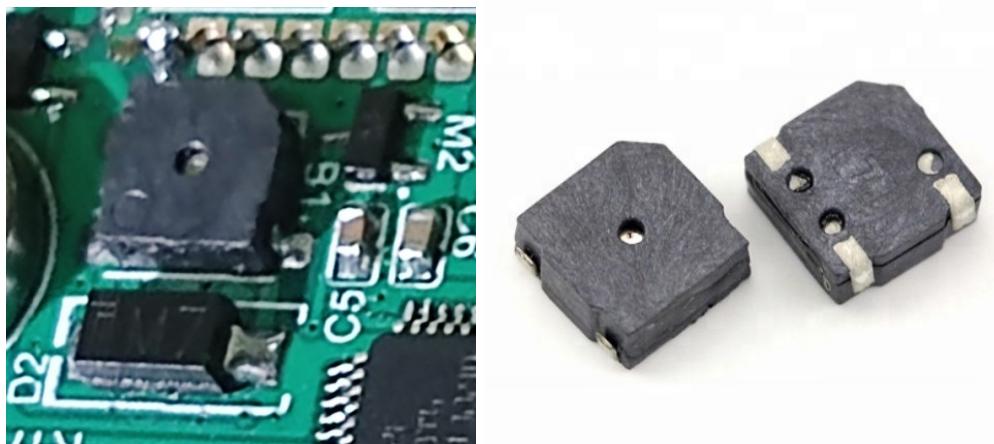


شکل ۱۹-۲: شماتیک مربوط به بخش کلیدهای لمسی

## ۱۱-۲ بازr

برای ایجاد صدا و هشدارهای صوتی در ساعت، از یک بازr غیرفعال<sup>۲۴</sup> استفاده شده است. بازرهای پسیو، بازرهایی هستند که نوسان ساز<sup>۲۵</sup> داخلی ندارند و تنها با خاصیت پیزو الکتریک<sup>۲۶</sup> کار می‌کنند. بدین صورت که اگر ولتاژ به آن اعمال شود، صفحه‌ی آن جابجا می‌شود و با قطع ولتاژ به مکان اولیه باز می‌گردد.

حال اگر این قطع و وصل ولتاژ با فرکانس مشخصی صورت گیرد، بازr نیز صدایی با همان فرکانس تولید می‌کند. بدیهی است که هارمونیک‌های بالاتر نیز در این صدا وجود دارد زیرا موج ورودی به بازr مربعی است؛ اما فرکانس غالب همان فرکانس اصلی موج مربعی خواهد بود. شکل ۲۰-۲ آ تصویر بازr و شکل ۲۰-۲ ب تصویر آن را بر روی پی‌سی‌بی ساعت نشان می‌دهد.



(ب) مونتاژ شده روی برد پروژه

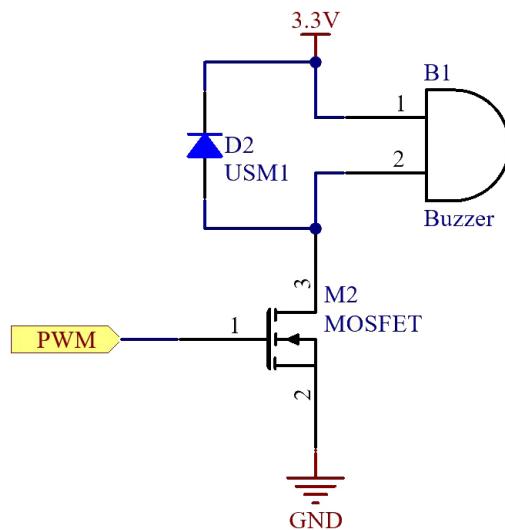
(آ) جداگانه

شکل ۲۰-۲: تصاویر بازr

شکل ۲۱-۲ شماتیک مداری بازr را نشان می‌دهد. برای راه اندازی بازr و تولید صدا، از یک سوییج ماسفت برای قطع و وصل ولتاژ استفاده شده است. دیودی که با بازr موازی شده از ورود جریان برگشتی آن به ماسفت هنگام قطع و وصل ولتاژ جلوگیری می‌کند. برای کنترل فرکانس صدا می‌توان از اعمال موج PWM<sup>۲۷</sup> به بازr بهره برد. لذا پایه‌ی فرمان این مدار به خروجی PWM تایмер ۳ در پردازنده متصل شده است.

---

Passive<sup>۲۴</sup>  
Oscillator<sup>۲۵</sup>  
Piezoelectric<sup>۲۶</sup>  
Pulse Width Modulation<sup>۲۷</sup>



شکل ۲۱-۲: شماتیک مربوط به بخش باز

## ۱۲-۲ موتور ایجاد لرزش

برای ایجاد لرزش <sup>۲۸</sup> در ساعت، مشابه تلفن های همراه، از یک موتور مخصوص استفاده شده است. موتورهای ایجاد لرزش معمولاً یک موتور DC ساده هستند که یک بار نامتقارن به آنها متصل است. از آنجا که مرکز جرم این بار خارج از شفت موتور است، چرخش آن باعث ایجاد گشتاوری دورانی شود که لرزش را ایجاد می کند. شکل ۲-۲۶آ تصویر این موتور و شکل ۲-۶ب تصویر آن را بر روی پی سی بی ساعت نشان می دهد.

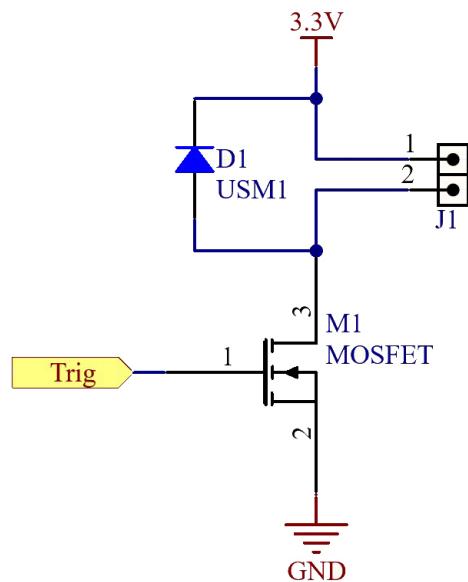


(ب) مونتاژ شده روی برد پروژه (آ) جدگانه

شکل ۲-۲: تصاویر موتور ایجاد لرزش

شکل ۲۳-۲ شماتیک مداری بخش ایجاد لرزش را نشان می دهد. این موتور برای کار به  $90^{\circ}$  میلی آمپر جریان الکتریکی احتیاج دارد. طبیعتاً پردازنده نمی تواند این جریان را تأمین کند. لذا از یک کلید ماسفت برای قطع و وصل موتور استفاده شده است. دیودی که با موتور موازی شده از ورود جریان برگشتی موتور به ماسفت هنگام خاموش شدن موتور جلوگیری می کند. برای کنترل سرعت موتور می توان از اعمال موج

PWM به موتور بھرہ بردا. لذا پایه‌ی فرمان این مدار به خروجی PWM تایمر ۱ در پردازنده متصل شده است.



شکل ۲۳-۲: شماتیک مربوط به بخش ایجاد لرزش

## فصل سوم

### مکانیک و طراحی صنعتی

این فصل به تشریح بدنی ساعت و قسمت‌های مکانیکی آن می‌پردازد. قسمت‌های مکانیکی شامل بدنی اصلی، دریچه‌ی پشتی و نحوه‌ی سرهم شدن قطعات دیگر است.

### ۱-۳ بدنی اصلی

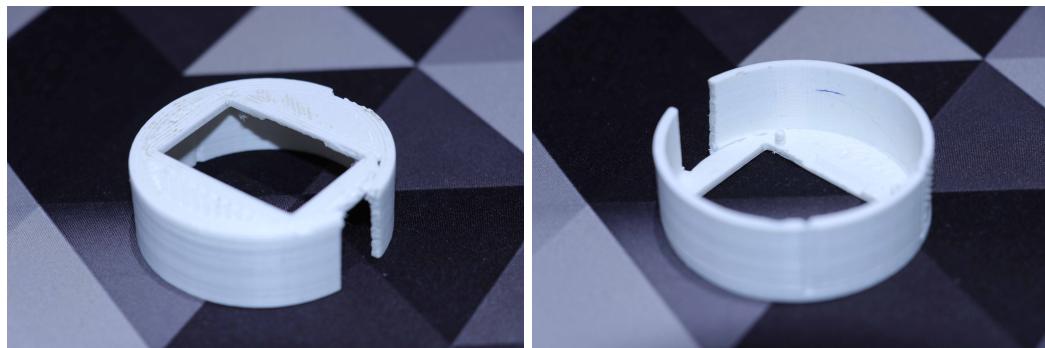
بدنی اصلی به قسمتی اطلاق می‌شود که از بیرون دیده می‌شود و بزرگترین قطعه است. طراحی این قطعه از صفر در نرم‌افزار Solid Works انجام شده است که مطرح‌ترین نرم‌افزار در زمینه‌ی مکانیک و طراحی صنعتی است. برای ساخت بدنی و بخش‌های مکانیکی نیز از فناوری چاپ سه بعدی بهره بردم. بدنی اصلی باید:

۱. محلی برای نصب صفحه نمایش داشته باشد.
۲. بتواند پی‌سی‌بی را درون خود جا دهد و مانع چرخش و جابجایی آن شود.
۳. محلی برای اتصال کابل USB داشته باشد.
۴. محلی برای جریان هوا داشته باشد. زیرا مدار شارژ باعث افزایش دما می‌شود.
۵. محلی برای اتصال بند داشته باشد.
۶. زیبایی بصری داشته باشد
۷. بیش از حد بزرگ نباشد.

برای حصول موارد فوق، چندین نمونه بدنی مختلف طراحی و چاپ شد تا در هر نسخه، بهبودی نسبت به نسخه‌ی قبلی حاصل شود تا هر چه بهتر شروط فوق ارضا شوند.

### ۱-۳ نسخه‌های اولیه

در ابتدا یک نمونه‌ی اولیه برای تست کلی بدنی و جانمایی پی‌سی‌بی و صفحه نمایش طراحی و ساخته شد. تصویر این نمونه‌ی اولیه را می‌توان در شکل ؟ مشاهده کرد.

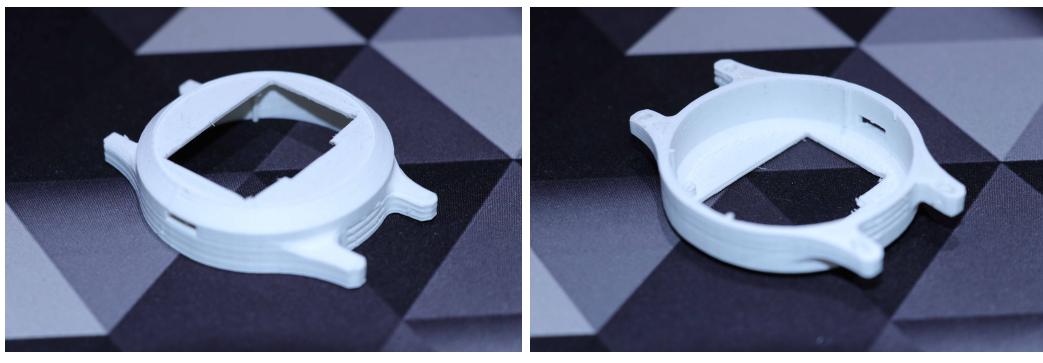


(ب) نمای روی رو

(آ) نمای پشت

شکل ۱-۳: تصاویر بدنی اصلی نسخه‌ی اول

سپس بعد از نهایی شدن طرح کلی، جزئیات طرح تکمیل شد و نسخه‌ی دوم بدن به چاپ رسید. تصویر این نسخه در شکل ؟ دیده می‌شود.

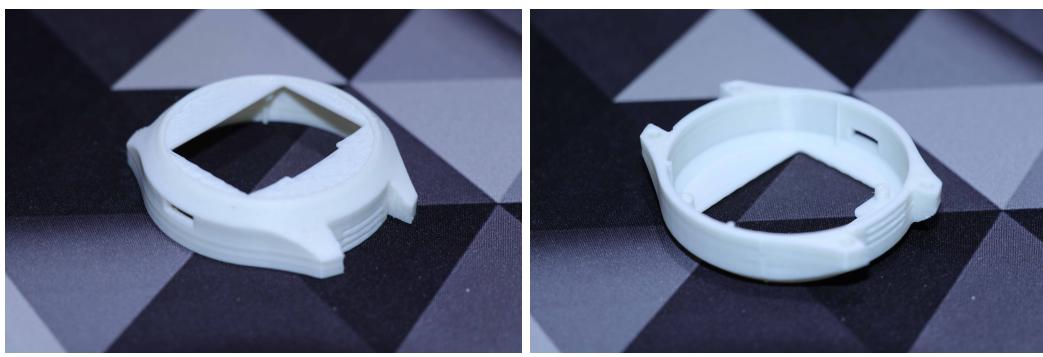


(ب) نمای رو برو

(آ) نمای پشت

شکل ۳-۲: تصاویر بدنی اصلی نسخه‌ی دوم

این نسخه ایراداتی داشت، از جمله اینکه قسمت مربوط به محل اتصال بند بیش از حد بزرگ بود از زیبایی بصری می‌کاهید. بعد از برطرف نمودن ایرادات این نسخه، نسخه‌ی سوم به چاپ رسید که شکل ؟ آن را نشان می‌دهد.



(ب) نمای رو برو

(آ) نمای پشت

شکل ۳-۳: تصاویر بدنی اصلی نسخه‌ی سوم

این نسخه تقریبا تمام شرایط فوق را ارضا می‌کرد. جانمایی حسگر PPG تنها موردی بود که باید انجام میشد. بعد از افروden این قسمت، نسخه‌ی چهارم و نهایی آماده شد.

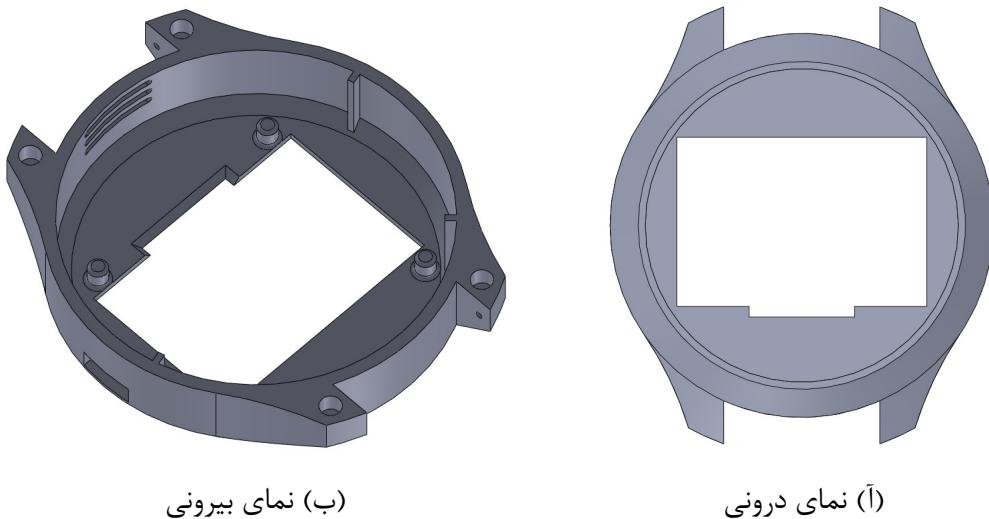
### ۲-۱-۳ نسخه نهایی

شروط بحث شده در بالا را برای نسخه‌ی نهایی بررسی می‌کنیم.

#### ۱. محل نصب صفحه نمایش:

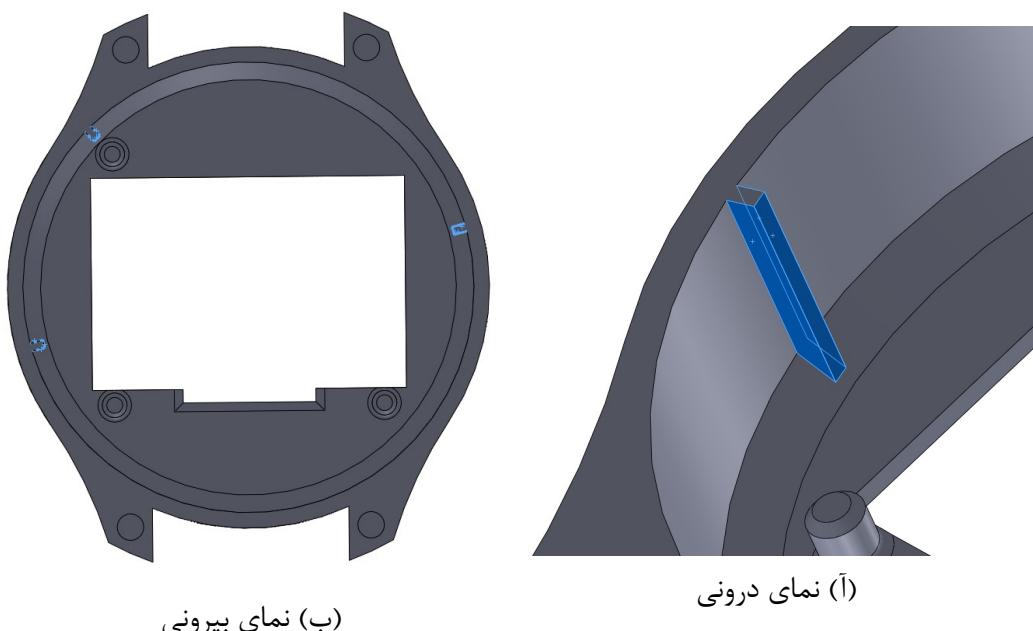
از سمت بیرون یک مستطیل خالی شده است که تا صفحه نمایش در آن قرار گیرد. از داخل هم سه استوانه منطبق بر سه سوراخ صفحه نمایش وجود دارد تا آن را در جای خود نگه دارد. اگر به

تصویر صفحه نمایش (شکل ۱۲-۲) دقیق کنید، پایین آن زائداتی برای اتصال سیم‌های فلت به صفحه نمایش قرار دارد. این زائدات به شکل یک برش مستطیلی کوچک از صفحه فوکانی بدنه جدا شده است. شکل ۳-۴ این قسمت‌ها را به خوبی نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴: تصاویر محل نصب صفحه نمایش در بدنه

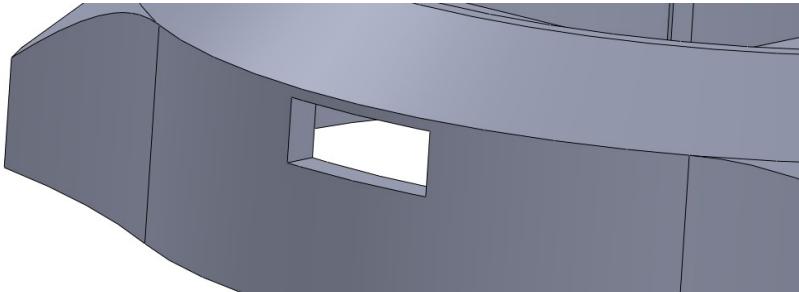
۲. جانمایی پی‌سی‌بی و جلوگیری از چرخش آن:  
بر روی پی‌سی‌بی سه شیار کوچک وجود دارد. متناظر با آن روی بدنه نیز سه زائده با همان ابعاد تعبیه شده است. این سه زائدات مانع چرخش پی‌سی‌بی در جای خود می‌شوند. تصویر این نگهدارنده‌ها در شکل ۵-۳ قابل مشاهده است.



شکل ۳-۵: تصاویر محل نصب پی‌سی‌بی در بدنه

۳. محل اتصال کابل USB:

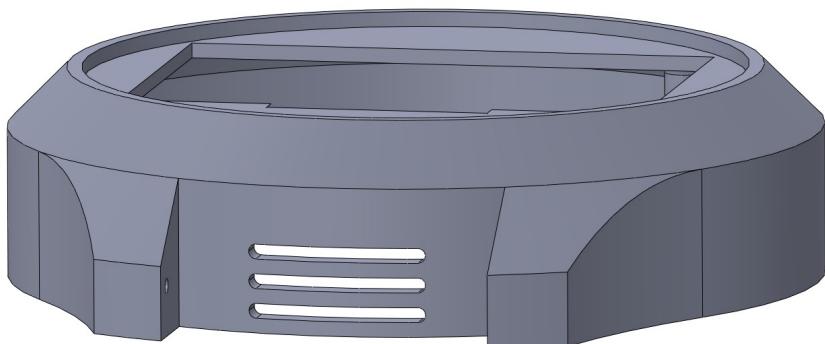
بر سطح جانبی بدنه یک سوراخ مستطیل شکل به ابعاد کانکتور micro USB تعبیه شده است.  
شکل ۶-۳ محل آن روی بدنه را نمایش می‌دهد.



شکل ۶-۳: تصویر محل اتصال USB در بدنه

۴. محل عبور هوا:

در نزدیکی قطعات مدار شارژ سه شیار برای عبور هوا وجود دارد تا قطعات داخلی به علت بالا رفتن دما آسیب نبینند. این شیارها در شکل ۷-۳ قابل مشاهده‌اند.



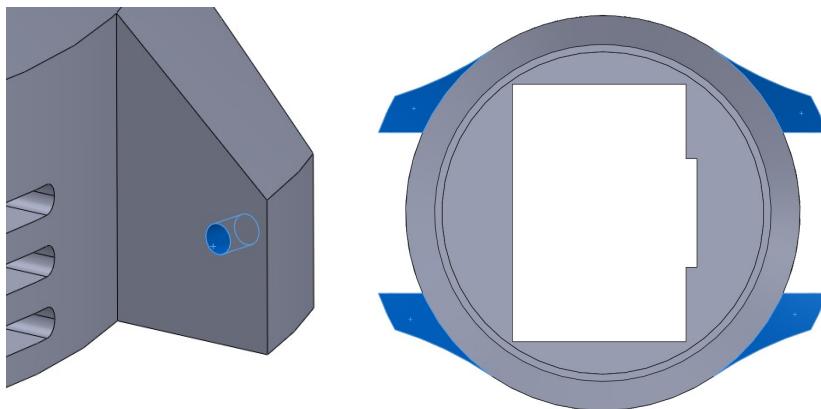
شکل ۷-۳: تصویر شیارهای عبور هوا

۵. محل اتصال بند:

بندهای موردنظر برای این ساعت مربوط به ساعت هوشمند Haylou است. این بندها از جنس پلاستیک هستند. برای اتصال بند به بدنه‌ی اصلی چهار بازوی کوچک به بدنه اضافه شده است. داخل آن‌ها سوراخ‌هایی کوچکی موجود است که پین بند در آن‌ها قرار گیرد. تصویر این بازوها و محل نصب پین را شکل ۸-۳ مشاهده می‌کنید.

۶. زیبایی بصری: جای تردید نیست که این طرح زیبا است :)

۷. ابعاد دقیق طرح در بخش‌های بعدی تشریخ خواهد شد؛ اما در مورد تناسب ابعاد، قطر دایره‌ی این ساعت حدود ۵ سانتی‌متر است که در مقایسه با ساعت‌های موجود در بازار، مقدار بزرگی نیست و معقول است.



شکل ۳-۸: تصاویر محل نصب بند

در نهایت تصویر بدنی اصلی در شکل ۹-۲ دیده می‌شود. چاپ این نسخه توسط شرکت PCBWay [۱] به رایگان انجام شده است. جنس بدن از رزین است که باعث می‌شود شفاف باشد و داخل آن دیده شود.

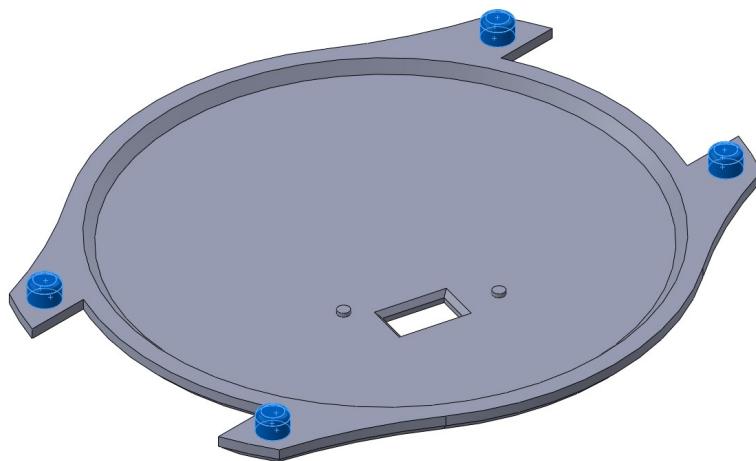


شکل ۳-۹: تصویر چاپ شده نسخهٔ نهایی بدن از جنس رزین و شفاف

## ۲-۳ دریچه‌ی پشتی

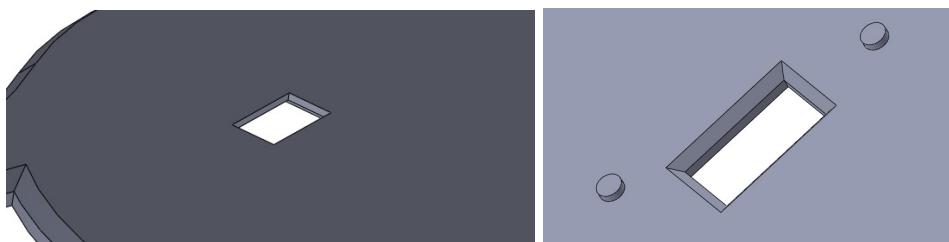
دربیچه‌ی پشتی وظیفه دارد تا بر پشت بدنی اصلی نصب شود و قطعات و تجهیزات داخل ساعت را محافظت کند. از طرفی محل نصب حسگر PPG نیز هست. این دو وظیفه را شرح می‌دهیم.

۱. اتصال به بدنی اصلی: برای اتصال به بدنی اصلی، چهار استوانه‌ی کوچک بر روی دریچه طراحی شده است. این استوانه‌ها منطبق بر سوراخ‌های روی بدن است. این سوراخ‌ها در شکل ۵-۳ به خوبی دیده می‌شوند. بدین شکل دریچه به بدن متصل می‌شود. تصویر دریچه در شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۰: تصویر استوانه‌های اتصال دریچه به بدنه

۲. اتصال حسگر PPG: حسگر باید جایی نصب شود که با پوست تماس مستقیم داشته باشد. لذا بر روی دریچه سوراخ مستطیل شکلی ایجاد شده است تا محل نصب حسگر باشد. دو زائدی کوچک نیز در نزدیکی آن قرار دارد تا منطبق بر سوراخ‌های روی حسگر باشد. این سوراخ‌ها در شکل ۲-۱۵ قابل مشاهده اند. شکل ۱۱-۳ محل نصب حسگر را نشان می‌دهد.



(ب) نمای بیرونی

(آ) نمای درونی

شکل ۱۱-۳: تصاویر محل نصب حسگر PPG

در نهایت تصویر دریچه‌ی پشتی در شکل ۱۲-۳ دیده می‌شود. چاپ این نسخه نیز توسط شرکت PCBWay [۱] به رایگان انجام شده است. جنس بدنه از رزین است که باعث می‌شود شفاف باشد و داخل آن دیده شود.

### ۳-۳ اتصالات

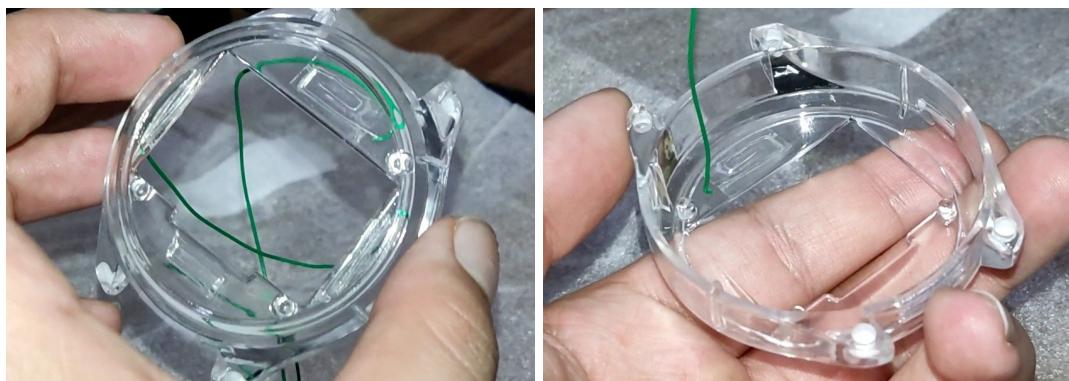
تمامی اتصالات مکانیکی در این بخش توضیح داده می‌شود.



شکل ۱۲-۳: تصویر چاپ شده‌ی نسخه‌ی نهایی دریچه‌ی پشتی از جنس رزین و شفاف

### ۱-۳-۳ کلیدهای لمسی

باید چهار قطعه سیم به شکل حلقوی سیم پیچی شده و از داخل به بدنه‌ی اصلی چسبانده شود. بدین منظور از سیم‌های وایر رپ<sup>۱</sup> استفاده شده است. همانطور که در شکل ۱۳-۳ دیده می‌شود این سیم‌ها به کمک چسب نواری به بدنه‌ی اصلی متصل شده‌اند. کلیدهای لمسی به کمک خاصیت خازنی کار می‌کنند. سر دیگر سیم‌ها به محل اتصال کلیدهای لمسی در شکل ۱۸-۲ ب لحیم می‌شوند. با توجه به این که می‌توان لایه‌ی نازک فوقانی را به صورت یک دی‌الکتریک برای خازن در نظر گرفت، می‌توان گفت با اینکه کلیدها پشت صفحه نصب شده‌اند اما باز هم به درستی کار خواهند کرد.



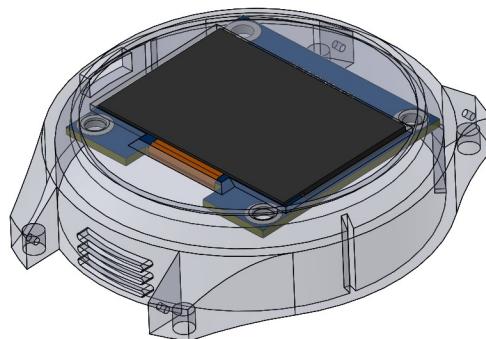
(آ) یک کلید نصب شده بر پشت سطح فوقانی (ب) چهار کلید نصب شده در چهار سمت بدنه

شکل ۱۳-۳: تصاویر اتصال کلیدهای لمسی به بدنه

Wire wrap<sup>۱</sup>

### ۲-۳-۳ صفحه نمایش

همانطور که بالاتر بحث شد، صفحه نمایش با قرار گیری در سه استوانه‌ی موجود در بدنه سر جای خود محکم می‌شود. شکل ۱۴-۳ گویای این موضوع است.

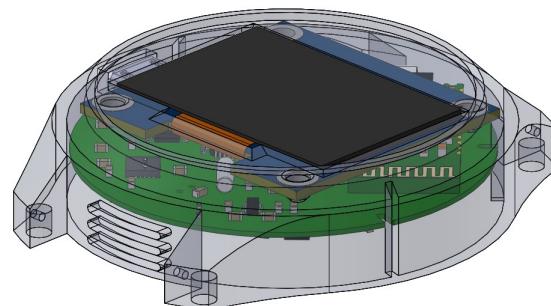


شکل ۱۴-۳: تصویر اتصال صفحه نمایش به بدنه

### ۳-۳-۳ پی‌سی‌بی

همانطور که بالاتر بحث شد، پی‌سی‌بی با قرار گیری روی سه زائدی موجود در بدنه سر جای خود محکم می‌شود. شکل ۱۵-۳ گویای این موضوع است.

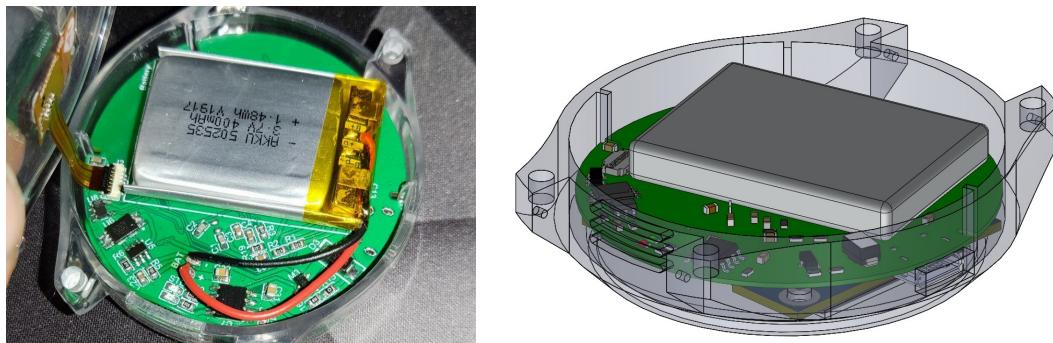
علت آن که برای اتصال صفحه نمایش یک استوانه از چهار استوانه حذف شده است آن است که استوانه‌ی حذف شده دقیقاً بالای موتور ایجاد لرزش قرار داشت و در صورت وجود، به آن گیر می‌کرد و مانع جا گیری صحیح پی‌سی‌بی می‌شد.  
برای جلوگیری از اتصال ناخواسته و اتصال کوتاه بین صفحه نمایش و پی‌سی‌بی، یک ورق نازک فوم بین این دو قرار گرفته است.



شکل ۱۵-۳: تصویر اتصال پی‌سی‌بی به بدنه

### ۴-۳-۳ باتری

باتری ساعت به کمک نوار چسب به پی‌سی‌بی می‌چسبد و در جای خود محکم می‌شود. سیم‌های آن به محل خود لحیم شده و اتصال برقرار می‌شود. شکل ۱۶-۳ این اتصال را نشان می‌دهد.

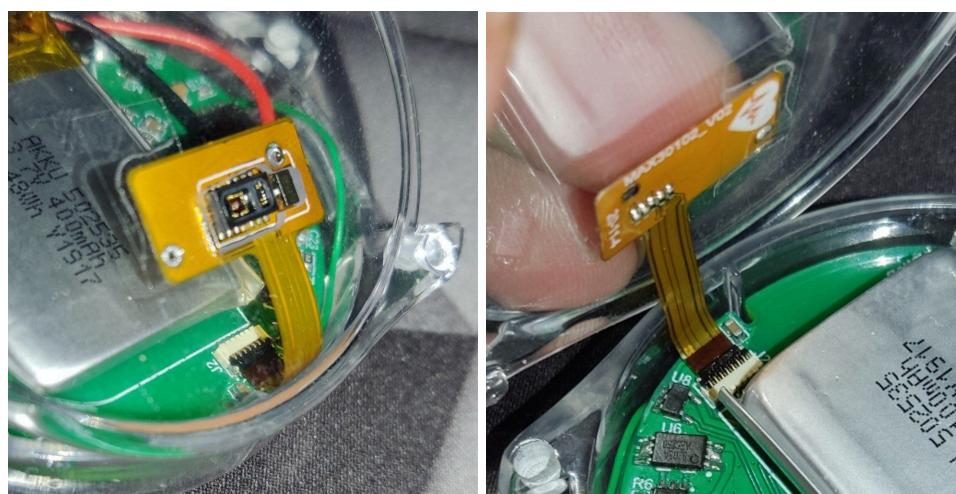


(آ) تصویر اتصال باتری در سالیدورکز  
(ب) تصویر واقعی باتری و اتصال آن

شکل ۱۶-۳: تصاویر اتصال باتری

### ۵-۳-۳ PPG حسگر

این حسگر روی دریچه‌ی پشتی نصب می‌شود. همانطور که در شکل ۱۷-۳ مشاهده می‌شود این حسگر به دریچه متصل است و سمت دیگر آن در جای مخصوص خود به پی‌سی‌بی اتصال دارد. سوراخ مستطیل شکل روی دریچه و ضخامت مناسب آن باعث می‌شود سطح حسگر مماس سطح بیرونی دریچه باشد. اینگونه نه بیرون زدگی دارد تا آسیب ببیند و نه سطح آن از پوست فاصله می‌گیرد.



(آ) نمای درونی  
(ب) نمای بیرونی

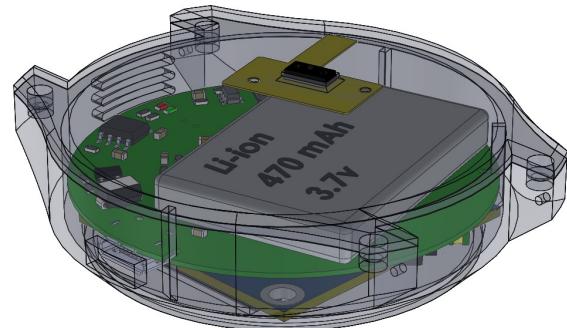
شکل ۱۷-۳: تصاویر اتصال حسگر PPG

### ۶-۳-۳ دریچه‌ی پشتی

دریچه‌ی پشتی مطابق با شکل ۱۸-۳ به کمک چهار استوانه‌ی موجود روی آن به بدنی اصلی متصل می‌شود.



(ب) تصویر واقعی دریچه و اتصال آن



(آ) تصویر اتصال دریچه در سالیدورکز

شکل ۳: تصاویر اتصال دریچه‌ی پشتی

در نهایت بدنی و مکانیک ساعت تکمیل شد و ظاهر نهایی ساعت به شکل ۱۹-۳ در آمد.



(ب) نمای زیر



(آ) نمای رو

شکل ۱۹-۳: تصاویر بدنی کامل

## فصل چهارم

### نرم افزار

در این فصل به جزئیات نرم افزار پرداخته می شود. منظور از نرم افزار، کدهایی است که نوشته شده‌اند تا توسط پردازنده‌ی روی ساعت اجرا شوند. در اصطلاح فنی به این بخش سفت‌افزار<sup>۱</sup> نیز می‌گویند. بین سفت‌افزار (برنامه‌ای که روی ریزپردازنده‌ها اجرا می‌شود) و نرم افزارهایی که برای سیستم‌های سطح بالا مانند رایانه نوشته می‌شود، تفاوت‌های بسیاری وجود دارد. برای مثال به چند نمونه از این تفاوت‌ها اشاره می‌کنیم:

#### ۱. عدم وجود سیستم عامل:

برنامه‌هایی که به زبان‌های مختلفی مانند C یا Python برای رایانه‌ها نوشته می‌شوند، توسط سیستم عامل اجرا می‌شوند. سیستم عامل وظیفه دارد تا برنامه‌های متنوعی که روی سیستم وجود دارد را زمان‌بندی کند، با مدیریت صحیح حافظه آن‌ها را اجرا کند و ارتباط با سخت‌افزار را نیز برعهده بگیرد. اما در حالتی که برای یک ریزپردازنده برنامه می‌نویسیم، دیگر سیستم عاملی وجود ندارد. بلکه تمام برنامه خط به خط و مستقیماً توسط ریزپردازنده اجرا می‌شود.

#### ۲. ارتباط مستقیم با سخت‌افزار:

در سیستم‌های سطح بالا که به سیستم عامل مجهzenد، ارتباط با سخت‌افزار نیز برعهده‌ی سیستم عامل است. در صورتی که نیاز باشد با دستگاه‌های ورودی/خروجی ارتباطی برقرار شود، از طریق توابع سیستمی موجود در سیستم عامل این ارتباط ایجاد می‌شود. اما هنگام نوشتن برنامه برای ریزپردازنده، باید لایه‌ی ارتباط با سخت‌افزار را نیز نوشت. زیرا سیستم عاملی وجود ندارد و تک تک ارتباطات سخت‌افزاری باید توسط برنامه نویس راهاندازی شود.

#### ۳. مدیریت حافظه:

هنگامی که در برنامه‌ای به زیان C می‌خواهیم از حافظه استفاده کنیم، باید با دستور malloc و نظایر آن، به سیستم عامل درخواست دهیم تا آدرس مناسبی را به برنامه‌ی ما اختصاص دهد. همچنین در صورتی که بخواهیم در آدرسی که به برنامه‌ی ما تعلق ندارد مقداری را بنویسیم یا از آن بخوانیم، سیستم عامل مانع می‌شود و با خطای عدم دسترسی مواجه می‌شویم. اما در موردی که با ریزپردازنده‌ها سر و کار داشته باشیم دیگر نیازی به درخواست و اختصاص حافظه نیست. چرا که سیستم عاملی وجود ندارد و تمام حافظه در اختیار برنامه‌ی ما است. در این حالت مدیریت حافظه امری بسیار حساس است. زیرا چیزی وجود ندارد تا مانع دسترسی‌های اشتباه شود و ممکن است با خطا در مدیریت حافظه، عملکرد برنامه دچار اختلالات جدی شود.

#### ۴. محدودیت منابع:

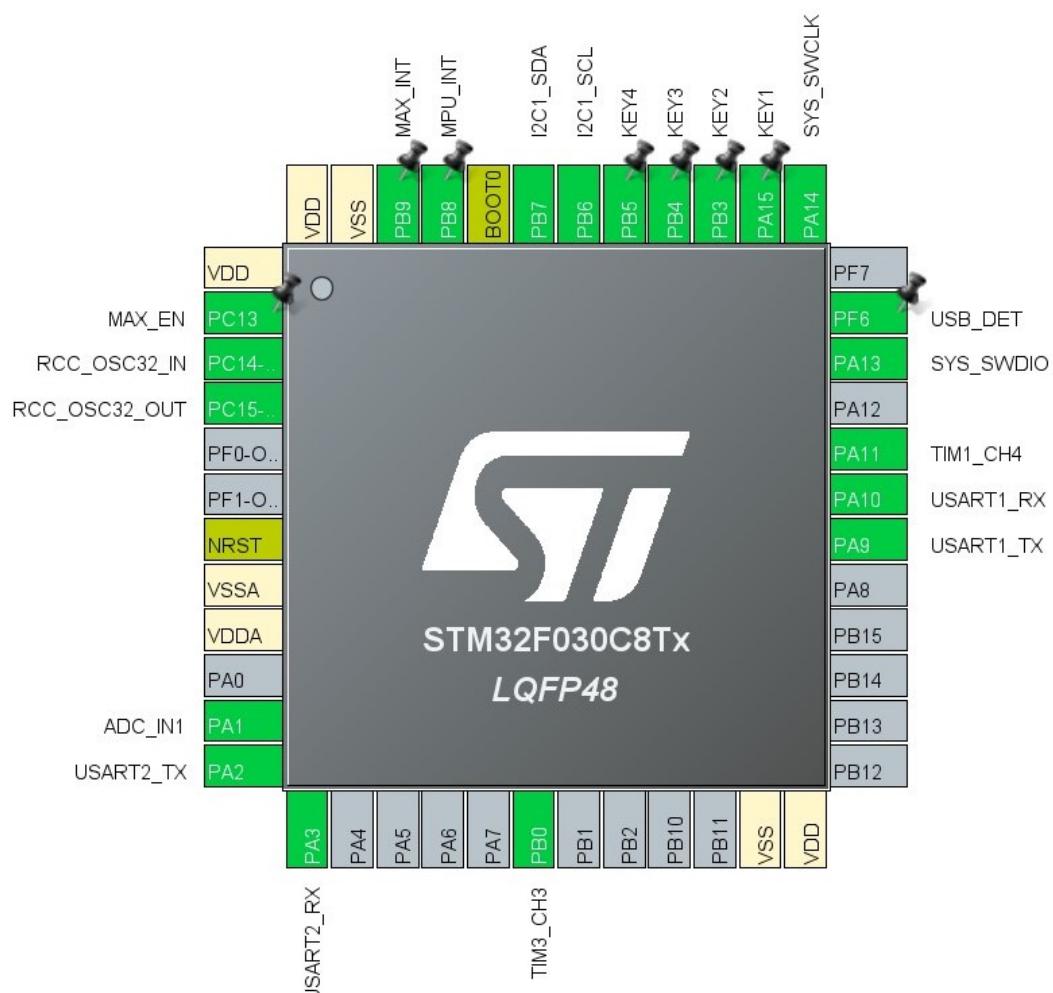
پردازنده‌ی رایانه‌ها معمولاً پردازنده‌های قوی‌ای هستند و سرعت بالایی دارند. همچنین جحافظه‌های موجود نیز بسیار زیاد هستند. حال آنکه در پردازنده‌ها این منابع بسیار بسیار محدود هستند. همانطور که در ضمیمه‌ی ؟ قابل مشاهده است، مقدار حافظه‌ی فلش ریزپردازنده‌ی ما فقط ۶۴ کیلوبایت است. به این معنی که حجم برنامه بعد از کامپایل نباید از این مقدار تجاوز کند. این

Firmware<sup>۱</sup>

محدودیت هرگز در نرم افزارهای رایج وجود ندارد. این اتفاق باعث می شود تا برنامه نویسی برای ریز پردازنده ها دشوار تر شود و نیاز به دانش بیشتری داشته باشد تا بتوان با بهینه سازی های مختلف و الگوریتم های بهتر، حجم برنامه را کاهش داد. در ادامه یکی از این بهینه سازی ها در رابطه با پیاده سازی فیلتر کالمن توضیح داده خواهد شد.

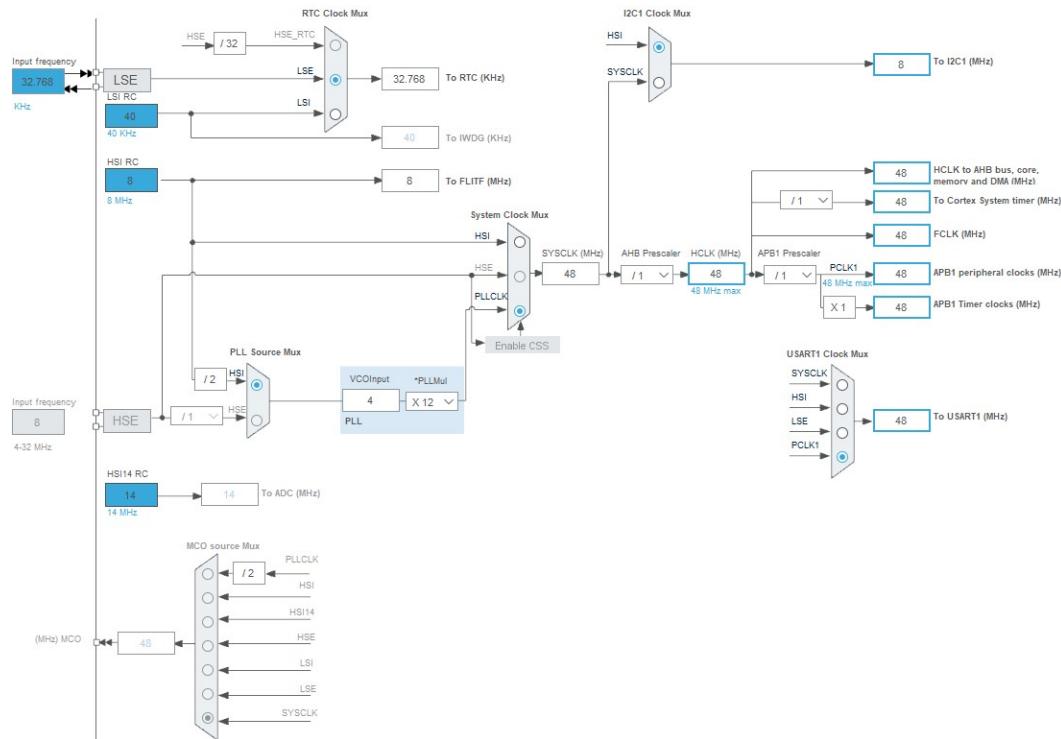
## ۱-۴ تنظیمات سخت افزاری

همانطور که بالاتر اشاره شد، ارتباط با سخت افزار باید توسط برنامه رسیدگی شود. برای این هدف از نرم افزار CubeMX استفاده شد. شکل ۱-۴ نحوه ا اختصاص پایه ها را نشان می دهد. هر کدام از بخش ها به تفصیل در ادامه بررسی می شود.



## ۱-۱-۴ کلاک

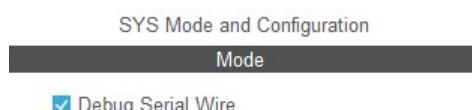
تنظیمات کلاک به صورت شکل ۲-۴ است. نوسان ساز اصلی روی ۸ مگاهرتز داخلی تنظیم شده است و برای ایجاد کلاک بخش ساعت و تاریخ، از یک کریستال خارجی با فرکانس ۳۲.۷۶۸ کلیوهرتز استفاده شده است. کلاک بخش های مختلف نیز در همین تصویر قابل مشاهده است.



شکل ۲-۴: تنظیمات کلاک

## ۲-۱-۴ برنامه ریزی و اشکال زدایی

برای بحث برنامه ریزی<sup>۲</sup> و اشکال زدایی<sup>۳</sup> از پروتکل Serial Wire استفاده شده است که در شکل ۳-۴ تنظیم آن دیده می شود.



شکل ۳-۴: تنظیمات Debugging

<sup>۲</sup> انتقال برنامه‌ی نوشته شده به ریزپردازنده یا به اصطلاح Programming Debugging<sup>۳</sup>

## GPIO ۳-۱-۴

GPIO ها پایه هایی هستند که به عنوان ورودی / خروجی دیجیتال مورد استفاده قرار می گیرند. در این پروژه از GPIO های متعددی استفاده شده است که در شکل ۴-۴ فهرست آنها قابل مشاهده است. در ادامه هر مورد توضیح داده می شود.

Pin Name	Signal on Pin	GPIO output level	GPIO mode	GPIO Pull-up/Pull-down	Maximum output speed	Fast Mode	User Label
PA15	n/a	n/a	External Interrupt Mode with Rising edge trigger detection	No pull-up and no pull-down	n/a	n/a	KEY1
PB3	n/a	n/a	External Interrupt Mode with Rising edge trigger detection	No pull-up and no pull-down	n/a	n/a	KEY2
PB4	n/a	n/a	External Interrupt Mode with Rising edge trigger detection	No pull-up and no pull-down	n/a	n/a	KEY3
PB5	n/a	n/a	External Interrupt Mode with Rising edge trigger detection	No pull-up and no pull-down	n/a	n/a	KEY4
PB8	n/a	n/a	External Interrupt Mode with Rising edge trigger detection	No pull-up and no pull-down	n/a	n/a	MPU_INT
PB9	n/a	n/a	External Interrupt Mode with Falling edge trigger detection	No pull-up and no pull-down	n/a	n/a	MAX_INT
PC13	n/a	Low	Output Push Pull	No pull-up and no pull-down	Low	n/a	MAX_EN

شکل ۴-۴: تنظیمات GPIO

## وقفه های خارجی

وقفه های خارجی <sup>۴</sup> پایه هایی هستند که در صورت وقوع رویداد خاصی، کار عادی پردازنده را متوقف می کنند و یک تابع به خصوص را به اجرا در می آورند. بعد از اجرای روتین وقفه، پردازنده به کار قبلی خود ادامه می دهد.

رویدادهای مورد استفاده در این پروژه دو مورد است: ۱ - لبهی پایین رونده <sup>۵</sup> ۲ - لبهی بالا رونده <sup>۶</sup> همانطور که در شکل ۴-۴ مشهود است، پایه های ۳، ۴، ۵ و ۸ از پورت B و پایهی ۱۵ از پورت A برای لبهی بالارونده تنظیم شده اند. پایهی ۹ از پورت B نیز به لبهی پایین رونده حساس است. اینکه کدام پایه توسط کدام بخش تحریک می شود در ستون User label شکل ۴-۴ دیده می شود. برچسب های KEY مربوطه به کلیدهای لمسی روی بدنه هستند. در صورت لمس شدن هر کلید، تابع مخصوص آن اجرا می شود. برچسب MPU مربوط به حسگر حرکتی است. این پایه وقتی فعال می شود که داده های جدید حسگر آماده شده باشد. برچسب MAX نیز به همین شکل عمل می کند. هرگاه دادهی حسگر PPG آمادهی قرائت باشد، این وقفه فعال می شود.

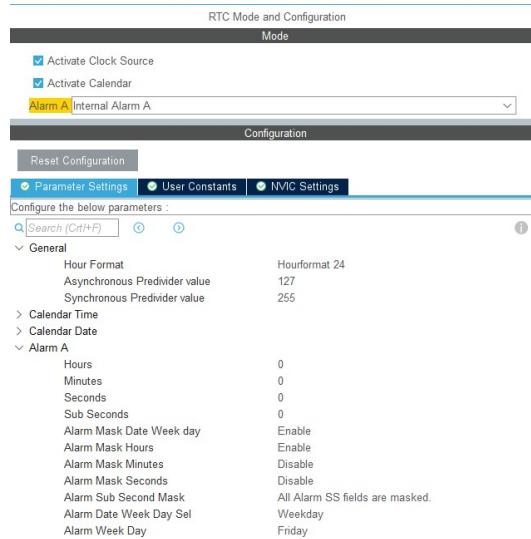
## خروجی دیجیتال

پایهی ۱۳ از پورت C به صورت خروجی دیجیتال تعریف شده است. این خروجی به پایهی فعال ساز سوییج ماسفتی متصل است که حسگر PPG را روشن می کند (شکل ۱۱-۲). برای روشن یا خاموش کردن این حسگر، کافی است این پایه را صفر یا یک کرد.

External interrupts<sup>۴</sup>Falling Edge<sup>۵</sup>Rising Edge<sup>۶</sup>

## RTC ۴-۱-۴

واحد RTC برای نگهداری و کار با ساعت و تاریخ است. تنظیمات این بخش در شکل ۵-۴ دیده می‌شود. در این بخش می‌توان یک آنالوگ هم فعال کرد که در ساعت و روز مشخصی یک وقفه را فعال کند. در اینجا آنالوگ هم فعال شده است.



شکل ۴-۵: تنظیمات RTC

## ۴-۱-۵ تایمروز

این ریزپردازنده هفت تایمر دارد که در این پروژه هر هفت تایمر استفاده شده‌اند. در ادامه کاربرد و تنظیمات هر تایمر شرح داده می‌شود.

## TIM1

تایمر شماره‌ی یک مطابق با تنظیمات شکل ۱۶-۴ راهاندازی شده است تا بتواند PWM موردنیاز برای کنترل دور موتور ایجاد لرزش را تولید کند. البته مقدار رجیستر ARR در برنامه به صورت پویا تغییر می‌کند.

## TIM3

تایمر شماره‌ی یک مطابق با تنظیمات شکل ۴-۶ ب راهاندازی شده است تا بتواند PWM موردنیاز برای تنظیم فرکانس صدای بازر را تولید کند. البته مقدار رجیستر ARR در برنامه به صورت پویا تغییر می‌کند.

**TIM3 Mode and Configuration**

**Mode**

Slave Mode: Disable  
Trigger Source: Disable  
 Internal Clock  
Channel1: Disable  
Channel2: Disable  
Channel3: PWM Generation CH3  
Channel4: Disable  
Combined Channels: Disable

**Configuration**

Reset Configuration

NVIC Settings    DMA Settings    GPIO Settings  
 Parameter Settings (Selected)    User Constants

Configure the below parameters :

Search (Ctrl+F)

Counter Settings

- Prescaler (PSC - 16 bits value) 48-1
- Counter Mode Up
- Counter Period (AutoReload ... 1000-1
- Internal Clock Division (CKD) No Division
- auto-reload preload Disable

Trigger Output (TRGO) Parameters

PWM Generation Channel 3

Mode	Pulse (16 bits value)	Output compare preload	Fast Mode	CH Polarity
PWM mode 1	500	Enable	Disable	High

**TIM1 Mode and Configuration**

**Mode**

Slave Mode: Disable  
Trigger Source: Disable  
Clock Source: Internal Clock  
Channel1: Disable  
Channel2: Disable  
Channel3: Disable  
Channel4: PWM Generation CH4  
Combined Channels: Disable

**Configuration**

Reset Configuration

NVIC Settings    DMA Settings    GPIO Settings  
 Parameter Settings (Selected)    User Constants

Configure the below parameters :

Search (Ctrl+F)

Counter Settings

- Prescaler (PSC - 16 bits value) 48-1
- Counter Mode Up
- Counter Period (AutoReload Register - 16 bits value ) 1000-1
- Internal Clock Division (CKD) No Division
- Repetition Counter (RCR - 8 bits value) 0
- auto-reload preload Disable

Trigger Output (TRGO) Parameters

Break And Dead Time management - BRK Configuration

Break And Dead Time management - Output Configuration

PWM Generation Channel 4

Mode	Pulse (16 bits value)	Output compare preload	Fast Mode	CH Polarity	CH Idle State
PWM mode 1	300	Enable	Disable	High	Reset

(ب) تنظیمات تایمر سه

(آ) تنظیمات تایمر یک

شکل ۴-۶: تنظیمات دو تایمر

TIM6

تایمر شماره‌ی شش مطابق شکل ۴-۷ تنظیم شده است تا هر یک میلی ثانیه یک وقفه را فعال کند. این وقفه توابع مربوط به فیلتر کالمن را اجرا می‌کند. در واقع می‌توان گفت دوره تناوب نمونه‌گیری و پردازش سیستم کالمن یک میلی ثانیه است.

**TIM6 Mode and Configuration**

**Mode**

Activated  
 One Pulse Mode

**Configuration**

Reset Configuration

User Constants    NVIC Settings    DMA Settings  
 Parameter Settings (Selected)

Configure the below parameters :

Search (Ctrl+F)

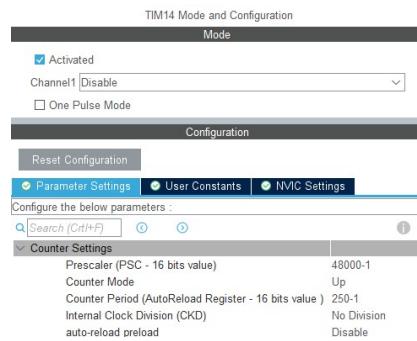
Counter Settings

- Prescaler (PSC - 16 bits value) 48-1
- Counter Mode Up
- Counter Period (AutoReload Register - 16 bits value ) 1000-1
- auto-reload preload Disable

شکل ۴-۷: تنظیمات تایمر شش

## TIM14

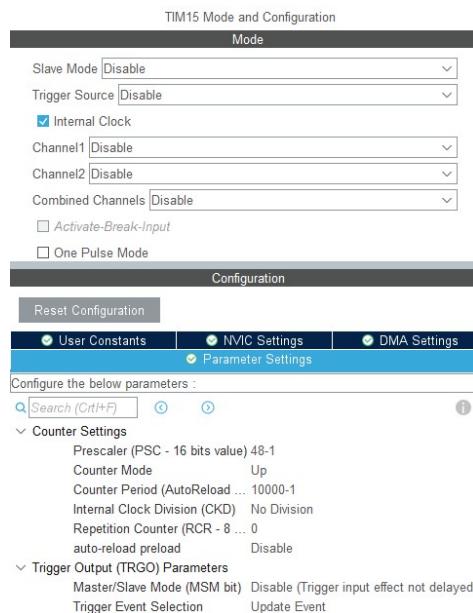
تایمر شماره‌ی چهارده مطابق شکل ۸-۴ تنظیم شده است تا هر  $25^\circ$  میلی ثانیه یک وقفه را فعال کند. این وقفه مربوط به توابع سیستمی است. در این توابع مواردی از قبیل تازه‌سازی صفحه نمایش و تنظیم برخی متغیرها انجام می‌شود.



شکل ۸-۴: تنظیمات تایمر چهارده

## TIM15

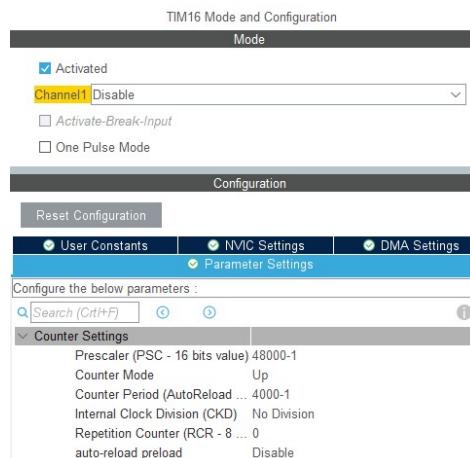
تایمر شماره‌ی پانزده مطابق شکل ۹-۴ تنظیم شده است تا هر  $10^\circ$  میلی ثانیه به واحد ADC فرمان تبدیل دهد. به این معنی که واحد آنالوگ به دیجیتال فقط در صورتی یک نمونه‌برداری را شروع می‌کند که تایمر شماره ۱۵ به آن فرمان دهد. اینگونه یک نمونه‌برداری دقیق زمانی ایجاد می‌شود.



شکل ۹-۴: تنظیمات تایمر پانزده

## TIM16

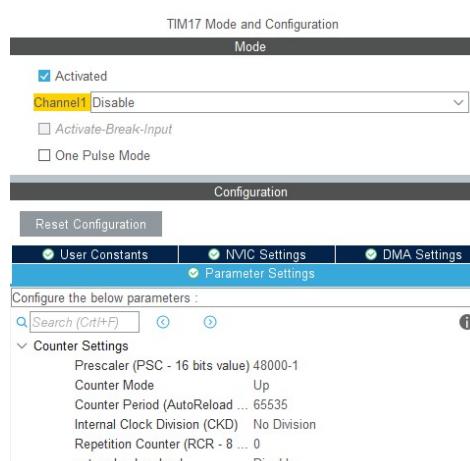
تایمر شماره‌ی شانزده مطابق شکل ۱۰-۴ تنظیم شده است تا هر ۴ ثانیه یک وقفه را فعال کند. این وقفه برای خاموش کردن صفحه نمایش است. هرگاه کاربر به مدت ۴ ثانیه با ساعت تعامل نداشته باشد این وقفه صفحه را خاموش می‌کند.



شکل ۱۰-۴: تنظیمات تایمر شانزده

## TIM17

تایمر شماره‌ی هفده مطابق شکل ۱۱-۴ تنظیم شده است. این تایمر وقفه ندارد و به صورت یک زمان‌سنج به کار می‌رود. از این تایмер برای ساخت تابع تأخیر استفاده شده است. حداکثر تأخیر قابل تولید توسط این تایمر، دو به توان ۱۶ یعنی ۶۵۵۳۶ میلی ثانیه است.

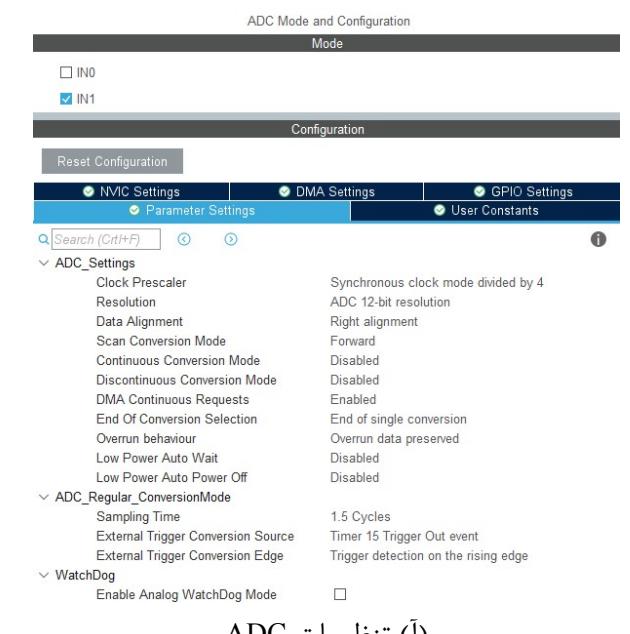


شکل ۱۱-۴: تنظیمات تایمر هفده

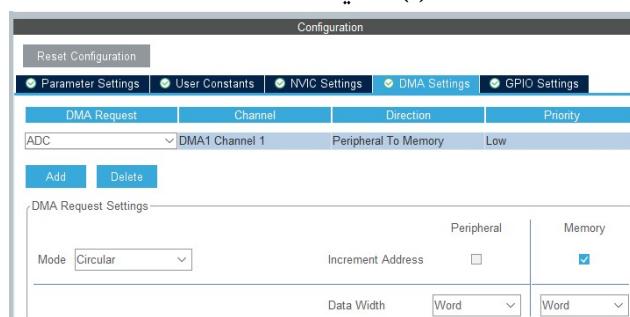
## ADC ۶-۱-۴

مبدل آنالوگ به دیجیتال در این پردازنده ۱۲ بیتی است. یعنی ولتاژ ورودی را از بازه‌ی ° تا ۳.۳ ولت به بازه‌ی ° تا ۴۰۹۵ نگاشت می‌کند. اینگونه می‌توان با یک ضرب و تقسیم ساده مقدار ولتاژ ورودی را خواند. شکل ۱۲-۴ تنظیمات این واحد را نشان می‌دهد. همانطور که گفته شد، این واحد به کمک تایمر ۱۵ فعال می‌شود و با هر فرمان آن یک نمونه برمی‌دارد. برای ذخیره‌ی این نمونه‌ها، ADC را با DMA<sup>۱</sup> کوپل می‌کنیم. اینگونه هر بار که ADC یک نمونه را تبدیل کرد، به طور مستقیم و بدون دخالت پردازنده آن را در یک آرایه ذخیره می‌کند. بعد از اینکه آرایه پر شد نیز با فعال کردن یک وقفه به ما خبر می‌دهد تا عملیات پردازشی روی آن انجام گیرد.

این ساختار که ADC با تایمر فعال شود و با DMA کار کند، حرفه‌ای ترین ساختار راهاندازی این واحد است. تنظیمات DMA در شکل ۱۲-۴ ب دیده می‌شود.



(آ) تنظیمات ADC

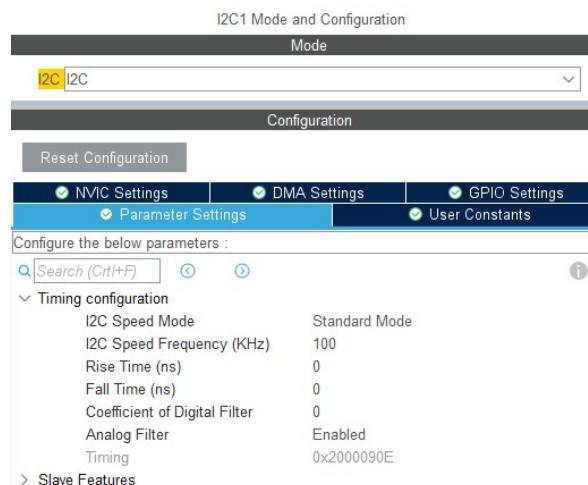


(ب) تنظیمات DMA

شکل ۱۲-۴: تنظیمات مبدل آنالوگ به دیجیتال

## I2C ۷-۱-۴

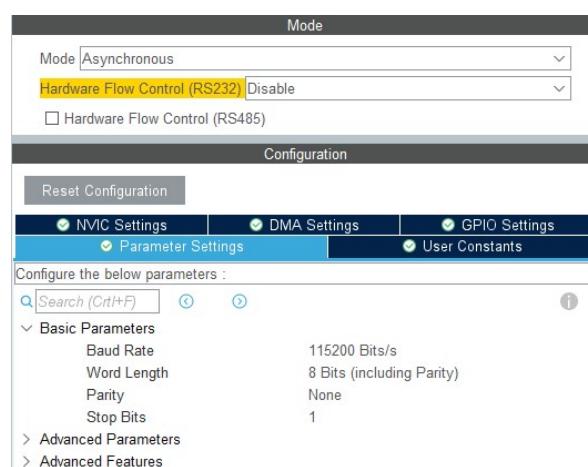
واحد I2C مطابق شکل ۱۳-۴ تنظیم شده است. این واحد یک واحد ارتباطی تحت پروتکل I2C است.



شکل ۱۳-۴: تنظیمات I2C

## USART ۸-۱-۴

واحد USART1 و USART2 مطابق شکل ۱۴-۴ تنظیم شده و تنظیمات مشابهی دارند. با این تفاوت که یک واحد DMA نیز وصل است تا داده‌ی دریافتی بلوتوث را مستقیماً در حافظه ذخیره کند و در صورت تکمیل شدن پیام، وقفه‌ی مربوطه را فعال کند تا داده‌ی دریافتی پردازش شود.



شکل ۱۴-۴: تنظیمات USART

## ۲-۴ معماری

آره خلاصه

## فصل پنجم

### نتایج و جمع‌بندی

نتیجه

## مراجع و منابع

- [1] PCBWay. Pcbway website. <https://www.pcbway.com/>.
- [2] Wikipedia contributors. Inertial measurement unit — Wikipedia, the free encyclopedia.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Inertial\\_measurement\\_unit](https://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_measurement_unit).