



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 پژوهش به عنوان استاد راهنمای و استاد مشاور در کنار بند بودند و حمایت همه جانبیه 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 و مهندسی سعید دیاری بابت راهنمایی‌های بی‌چشم‌داشت و دلسوزانه‌شان، تقدیر و تشکر می‌نمایم.

سلامان عامی مطلق  
مرداد ۱۴۰۱

## 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	سخت‌افزار و الکترونیک
۱-۱	فیبر مدارچاپی
۲-۱	هسته‌ی پردازشی
۳-۱	درگاه بلوتوث
۴-۱	درگاه ارتباط سریال
۵-۱	حسگر PPG
۶-۱	حسگر شتاب خطی و سرعت زاویه‌ای
۷-۱	صفحه نمایش
۸-۱	تغذیه و مدیریت توان
۱-۸-۱	باتری
۲-۸-۱	شارژ و مدیریت توان
۹-۱	کلیدهای لمسی
۱۰-۱	بازر
۱۱-۱	موتور ایجاد لرزش
منابع و مراجع	۱۷

صفحه	فهرست اشکال	شکل
۳	۱-۱ پی‌سی‌بی طراحی شده در نرم‌افزار Altium Designer	
۴	۲-۱ تصاویری از پی‌سی‌بی پروژه	
۵	۳-۱ تصاویری از پردازنده STM32F030	
۶	۴-۱ شماتیک مربوط به بخش ریزپردازنده	
۷	۵-۱ تصاویری از ماژول بلوتوث HC-05	
۷	۶-۱ شماتیک مربوط به بخش بلوتوث	
۸	۷-۱ تصاویر مربوط به درگاه ارتباط سریال	
۹	۸-۱ تصاویر حسگر حرکتی	
۹	۹-۱ شماتیک مربوط به بخش حسگر حرکتی	
۱۰	۱۰-۱ تصاویر صفحه‌ی نمایش	
۱۰	۱۱-۱ شماتیک مربوط به بخش نمایشگر	
۱۱	۱۲-۱ باتری انتخاب شده برای پروژه	
۱۲	۱۳-۱ شماتیکی ساده برای توضیح بخش مدیریت توان	
۱۳	۱۴-۱ تصاویر بخش تغذیه	
۱۴	۱۵-۱ تصاویر بخش کلیدهای لمسی	
۱۴	۱۶-۱ شماتیک مربوط به بخش کلیدهای لمسی	
۱۵	۱۷-۱ تصاویر بازر	
۱۵	۱۸-۱ شماتیک مربوط به بخش بازر	
۱۶	۱۹-۱ تصاویر موتور ایجاد لرزش	
۱۶	۲۰-۱ شماتیک مربوط به بخش ایجاد لرزش	

## فصل اول

### سختافزار و الکترونیک

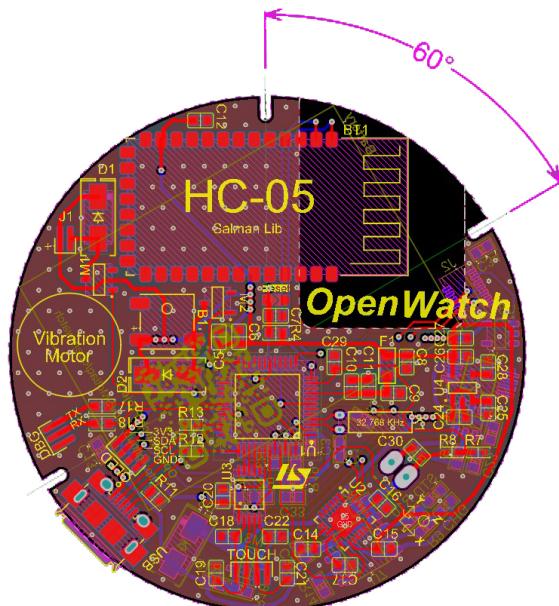
همانطور که گفته شد، این پروژه شامل سه قسمت اصلی سخت‌افزار، مکانیک و نرم‌افزار است. در این فصل، به تشریح سخت‌افزار می‌پردازیم.

## ۱-۱ 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 (معمولًا به ضخامت ۳۵ میکرون) در طرفین پوشیده است. طرحی که طراح به کارخانه‌ی چاپ پی‌سی‌بی ارسال می‌کند روی این ورقه‌ها پیاده می‌شود. سپس لایه‌ی محافظ معمولاً سیز 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.

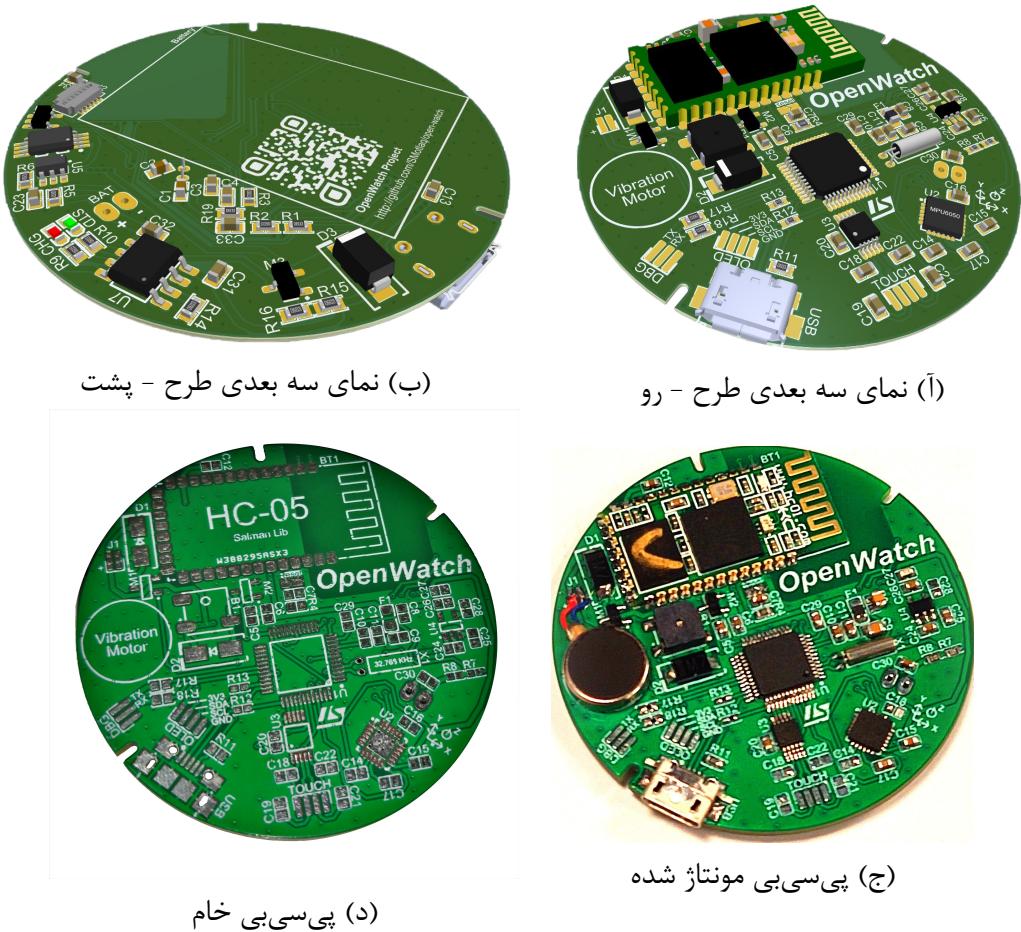
در این پروژه از یک پی‌سی‌بی چهارلایه استفاده شده است. به دلیل فشندگی بالای طرح و قطعات، همچنین برای بهبود کیفیت سیگنال‌ها و کاهش اثر نویز، دو صفحه‌ی زمین در لایه‌های ۲ و ۳ تعبیه شده است. این صفحه‌ها با کوتاه کردن مسیر جریان برگشتی باعث بهبود کیفیت سیگنال و کاهش اثر نویز می‌شوند. همچنین تأثیر چشم‌گیری در سهولت مسیرکشی پی‌سی‌بی دارند. پی‌سی‌بی‌های این پروژه به رایگان- توسط شرکت PCBWay<sup>[۱]</sup> چاپ شده است که از بزرگترین و مجهزترین کارخانه‌های چاپ پی‌سی‌بی در کشور چین است.

شکل ۱-۱ تصویر پی‌سی‌بی طراحی شده در نرم‌افزار Altium Designer را نشان می‌دهد. تصاویر مربوط به پی‌سی‌بی در شکل ۲-۱ قابل مشاهده است.



شکل ۱-۱: پی‌سی‌بی طراحی شده در نرم‌افزار Altium Designer

Printed Circiut Board<sup>۱</sup>



شکل ۲-۱: تصاویری از پی‌سی‌بی پروژه

## ۲-۱ 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 پایه‌ها و مدارهای واسط<sup>۵</sup>:

پردازنده‌های مختلف تنوع زیادی در نوع و تعداد مدارهای واسط ارائه می‌دهند. با توجه به تعداد سخت‌افزارهای جانبی، باید تعداد پایه و نوع مدارهای واسط موردنیاز تعیین شود.

### ۴. پکیج<sup>۶</sup>:

پکیج‌های مختلف نمایانگر شکل ظاهری پردازنده است. برخی پکیج‌ها ابعاد بزرگی دارند و برخی دیگر به قدری کوچک هستند که پایه‌های پردازنده در زیر تراشه تعییه می‌شوند تا فضای کمتری اشغال کند. در انتخاب پکیج باید محدودیت فضای پی‌سی‌بی را مدنظر قرار داد.

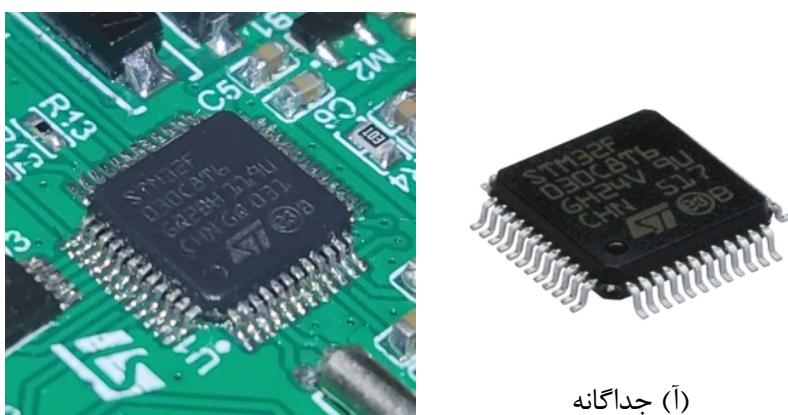
### ۵. موجودی بازار:

یکی از مهمترین چالش‌های مهندسان الکترونیک در ایران، موجودی بازار است. خیلی از قطعاتی که طراح به آن‌ها نیاز دارد در بازار ایران پیدا نمی‌شود 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 پیاده‌سازی 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.

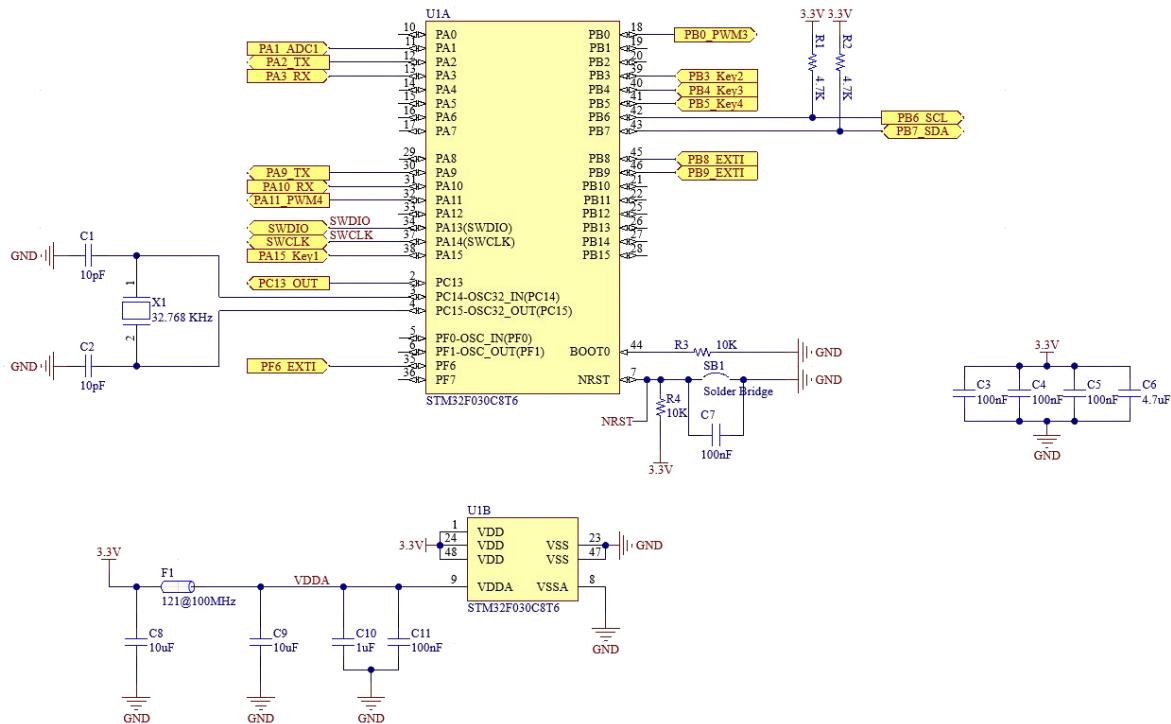
در نهایت با بررسی موارد فوق، پردازنده‌ی انتخاب شده در این پروژه STM32F030C8 است. این پردازنده محصول شرکت ST که هسته‌ی ARM Cortex-M0 ۳۲ بیتی دارد. شکل ۱-۳-۱ تصویر واقعی این پردازنده و شکل ۱-۳-۲ تصویر آن را بر روی پی‌سی‌بی ساعت نشان می‌دهد.



(ب) مونتاژ شده روی برد پروژه

(آ) جداگانه

شکل ۱-۳: تصاویری از پردازنده STM32F030



شکل ۱-۴: شماتیک مربوط به بخش ریزپردازنده

شکل ۱-۴ 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 فریت‌بید<sup>۱۰</sup> فیلتر شده است. تغذیهٔ خود پردازنده نیز توسط ۴ خازن (مطابق با دستور کارخانه سازنده) فیلتر شده است.

### ۳-۱ درگاه بلوتوث

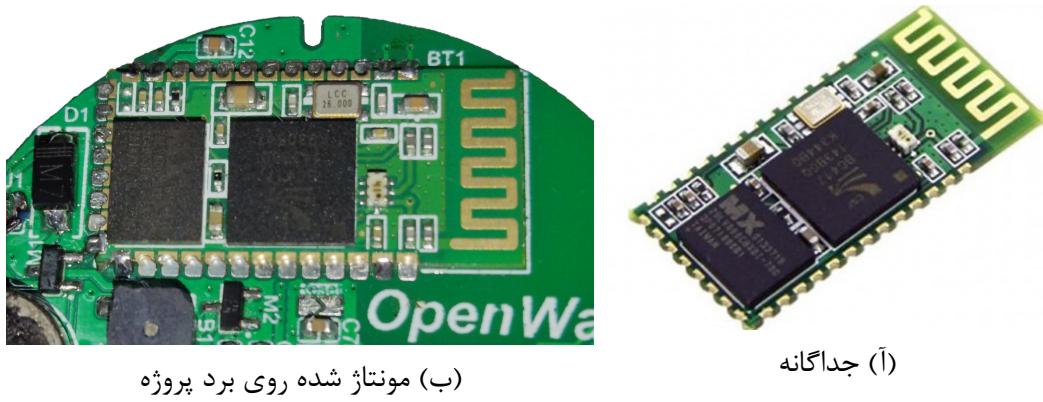
ارتباط ساعت با تلفن‌همراه از طریق درگاه بلوتوث<sup>۱۱</sup> است. قیود انتخاب بلوتوث هم تا حدی مشابه قیود انتخاب پردازنده (ابتدا بخش ۲-۱) است. با در نظر گرفتن شرایط بازار، قیمت و عملکرد مژوپهای مختلف، نهایتاً مژوال HC-05 برای این پروژه انتخاب شد. شکل ۱-۵ آ تصویر این مژوال و شکل ۱-۵ ب تصویر آن را بر روی پی‌سی‌بی ساعت نشان می‌دهد.

یکی از نکات مهمی که در طراحی پی‌سی‌بی برای مژوال‌های مخابراتی وجود دارد این است که در نزدیکی آنتن این مژوال‌ها 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

---

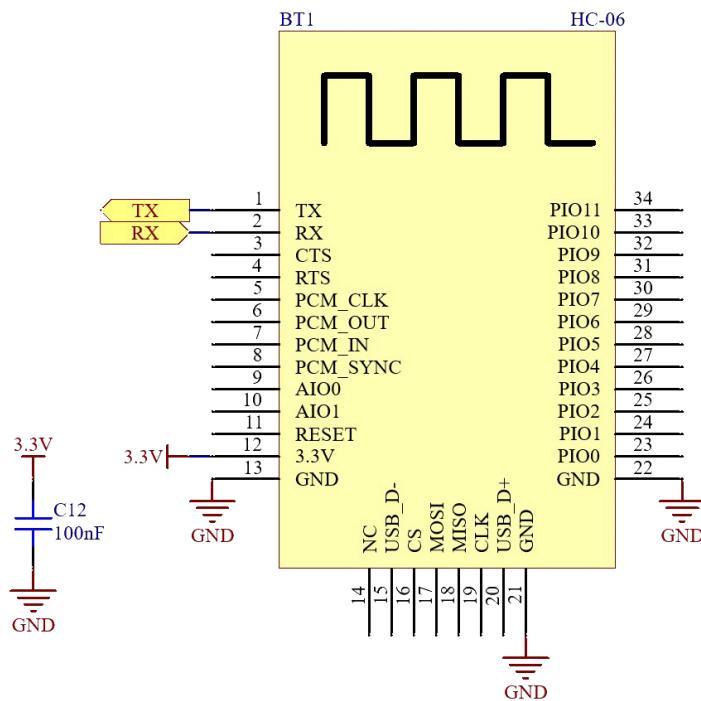
Real Time Clock<sup>۸</sup>  
Analog to Digital Converter<sup>۹</sup>  
Ferrite Bead<sup>۱۰</sup>  
Bluetooth<sup>۱۱</sup>

می‌گردد. همانطور که در شکل ۱-۱ مشاهده می‌شود، مس‌های اطراف آنتن حذف شده‌اند تا عملکرد بلوتوث دچار مشکل نشود.



شکل ۱-۵: تصاویری از مازول بلوتوث HC-05

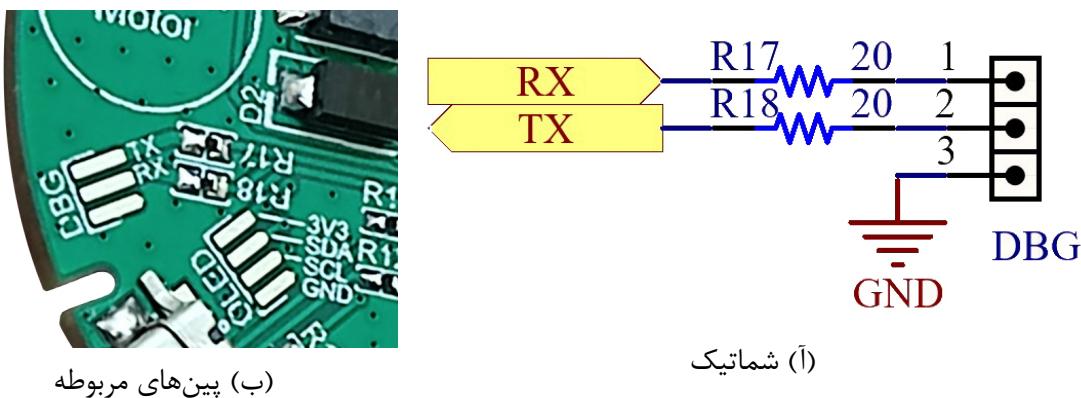
شکل ۱-۶<sup>۱۲</sup> شماتیک مداری بخش بلوتوث را نشان می‌دهد. پروتکل ارتباطی این مازول با پردازنده پروتکل UART<sup>۱۲</sup> است که با دو پین RX و TX به پردازنده متصل می‌شود. پریفرال UART2 در پردازنده به ارتباط با بلوتوث اختصاص دارد. تغذیه‌ی مازول نیز با یک خازن ۱۰۰ نانوفارادی فیلتر شده است.



شکل ۱-۶: شماتیک مربوط به بخش بلوتوث

## ۴-۱ درگاه ارتباط سریال

پریفراں UART1 در پردازنده با دو پین RX و TX از روی پی‌سی‌بی خارج شده‌اند. کاربرد این دو پین اشکال‌یابی<sup>۱۳</sup> 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 ۱-۷-۱ شماتیک مداری و شکل ۱-۷-۲ تصویر واقعی این دو پین را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۷: تصاویر مربوط به درگاه ارتباط سریال

## ۵-۱ حسگر PPG

در ابتدا ساختار کلی حسگرهای PPG را بررسی می‌کنیم.

## ۶-۱ حسگر شتاب خطی و سرعت زاویه‌ای

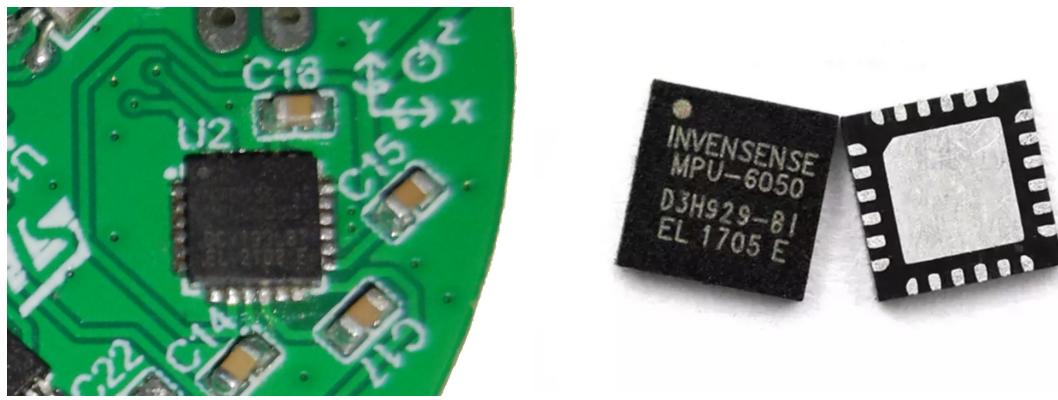
برای اندازه‌گیری مشخصه‌های حرکتی باید سراغ IMU<sup>۱۵</sup>ها رفت. IMU‌ها وسیله‌های الکترونیکی هستند که با استفاده‌ی ترکیبی از شتاب‌سنج‌ها، ژیروسکوپ‌ها و گاهی اوقات مغناطیس‌سنج‌ها، مشخصه‌های حرکتی را اندازه‌گیری و گزارش می‌کنند [۲]. در این پروژه از حسگر MPU6050 به این منظور استفاده شده است. این حسگر علی‌رغم قیمت نسبتاً پایین، دقت و سرعت مناسبی دارد. مشخصات فنی این حسگر در ضمیمه ؟ موجود است. شکل ۱-۸-۱ تصویر این حسگر و شکل ۱-۸-۲ تصویر آن را بر روی پی‌سی‌بی ساعت نشان می‌دهد.

شکل ۱-۹-۱ شماتیک مداری حسگر MPU6050 را نشان می‌دهد. خازن‌ها طبق دستور کارخانه به

Debug<sup>۱۳</sup>

Photoplethysmogram<sup>۱۴</sup> یا تغییر حجم‌سنجی نوری

Inertial Measurement Unit<sup>۱۵</sup>

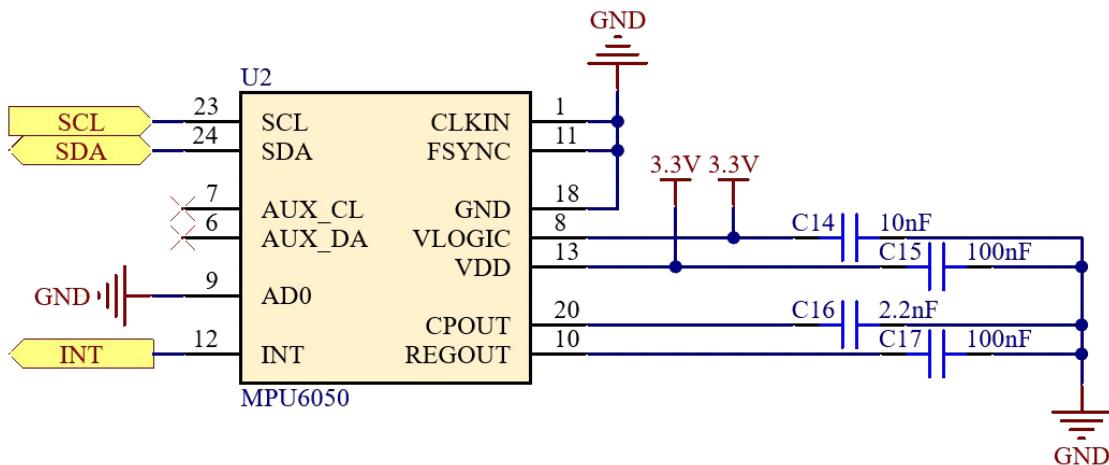


(ب) مونتاژ شده روی برد پروژه

(آ) جدایانه

شکل ۱-۸: تصاویر حسگر حرکتی

حسگر متصل شده‌اند. درگاه ارتباطی این حسگر، بس<sup>۱۶</sup> I2C است. به همین دلیل I2C پردازنده به این حسگر متصل است.



شکل ۱-۹: شماتیک مربوط به بخش حسگر حرکتی

## ۷-۱ صفحه نمایش

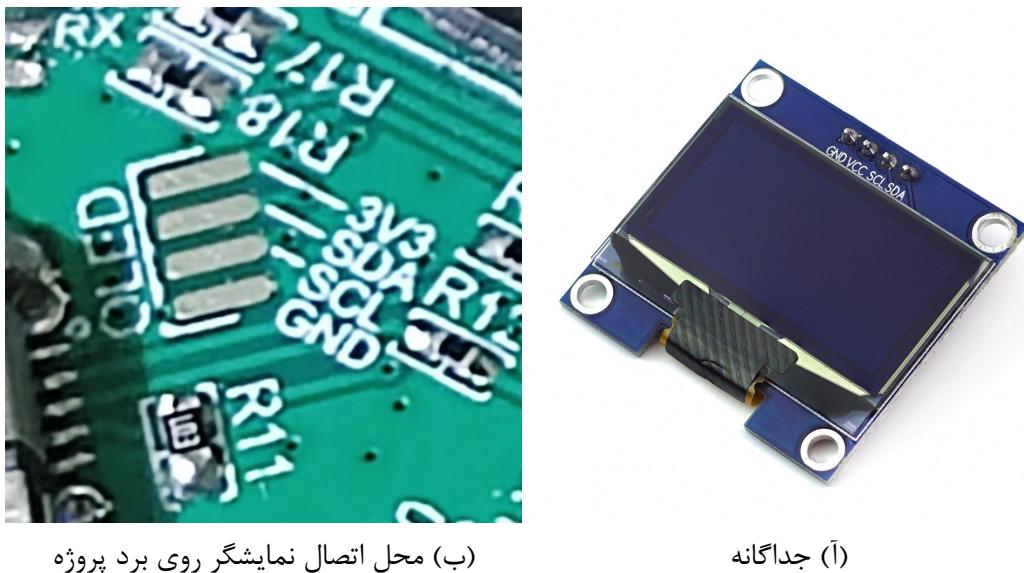
صفحه‌ی نمایش از اصلی‌ترین قسمت‌های یک ساعت هوشمند است. صفحه‌ی نمایش باید مصرف کمی داشته باشد، راهاندازی آن دشوار نباشد و تعداد پایه‌ی زیادی هم نیاز نداشته باشد تا بتوان آن را در ساعت استفاده کرد. از این رو یک صفحه‌ی نمایش OLED ۱.۳ اینچی با ابعاد ۶۴ × ۱۲۸ پیکسل

---

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 OLED ۱.۳ اینچی با ابعاد ۶۴ × ۱۲۸ پیکسل

صفحه‌ی نمایش 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.

انتخاب شد که به کمک درایور SSD1306 راهاندازی می‌شود. شکل ۱۰-۱ تصویر این نمایشگر و شکل ۱۰-۱ب تصویر محل اتصال سیم‌های آن را بر روی پی‌سی‌بی ساعت نشان می‌دهد.

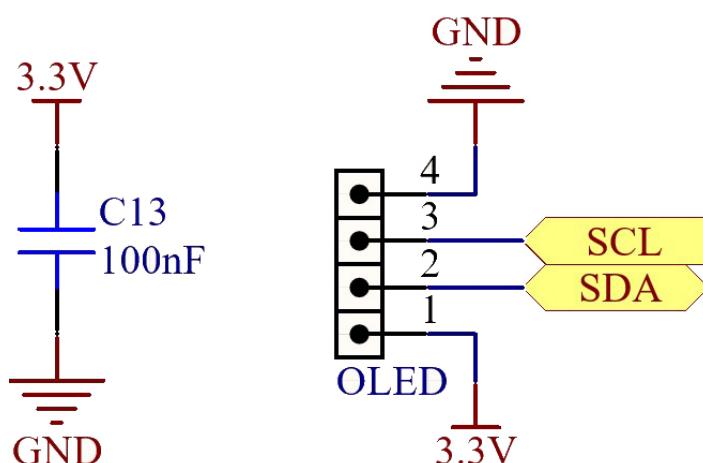


(ب) محل اتصال نمایشگر روی برد پروژه

(آ) جداسازی

شکل ۱۰-۱: تصاویر صفحه‌ی نمایش

شکل ۱۱-۱ شماتیک مداری بخش نمایشگر را نشان می‌دهد. درگاه ارتباطی این نمایشگر، باس I2C است. به همین دلیل I2C1 پردازنده به این حسگر متصل است.



شکل ۱۱-۱: شماتیک مربوط به بخش نمایشگر

## ۸-۱ 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.

## ۱-۸-۱ 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 ۱۲-۱ 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 ۱۲-۱: باتری انتخاب شده برای پروژه

## ۲-۸-۱ 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 ماسفت از مدار خارج کند. اینگونه باتری هیچگاه دچار اضافه ولتاژ<sup>۱۹</sup> یا کمبود ولتاژ<sup>۲۰</sup> نمی‌شود و آسیبی

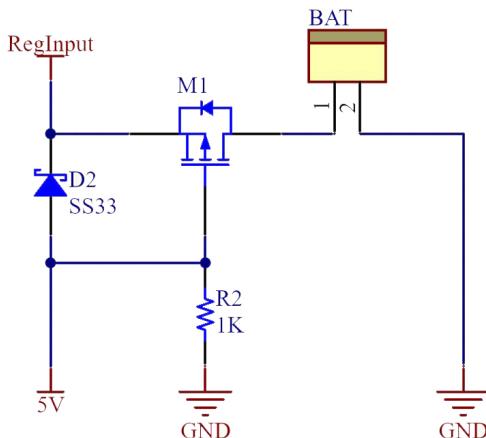
Over voltage<sup>۱۹</sup>

Under voltage<sup>۲۰</sup>

نمی‌بیند. این مدارات در شکل ۱۴-۱ قابل مشاهده‌اند.

تغذیه‌ی مدارهای ساعت از یک رگولاتور ۳.۳ ولت تأمین می‌شود. بحث مدیریت توان به این مسئله می‌پردازد که ورودی این رگولاتور از کدام مسیر تغذیه شود. هنگامی که باتری شارژ دارد و شارژر متصل نیست، باید ورودی باتری مستقیماً به رگولاتور وارد شود. هنگامی که شارژر متصل می‌شود، باید ورودی برق شارژر مستقیماً به رگولاتور برود و باتری از مدار خارج شود که از طریق برق ورودی شارژ شود. این تغییر مسیر و جابجایی توسط یک ماسفت AO3401 صورت می‌گیرد.

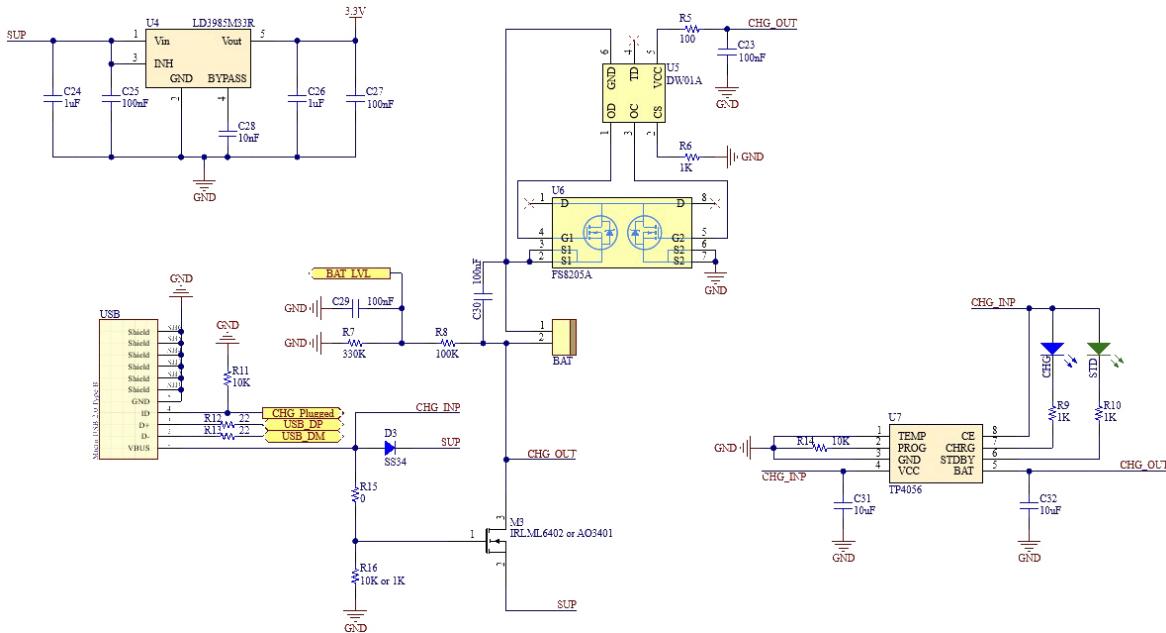
این ماسفت یک ماسفت P-Channel است. در صورتی هدایت می‌کند که شرط  $V_{GS} < V_{th} = -0.9$  برقرار باشد. حال به شکل ۱۳-۱ توجه کنید. در صورتی که برق ورودی (۵ ولت) متصل باشد، ولتاژ ۵ ولت می‌شود. از طرفی ورودی رگولاتور از طریق دیود D2 که شاتکی است و  $0.2$  ولت افت دارد، متصل شده است. در این صورت  $V_{GS} = 0.2$  ولت است و باعث می‌شود که ماسفت قطع شود. در این حالت ولتاژ سورس حدود ۰.۴ است. از آنجا که ولتاژ باتری نهایتاً ۰.۳ ولت است لذا دیود داخلی ماسفت نیز هدایت نمی‌کند و همه چیز درست است. حال اگر تغذیه‌ی خارجی قطع شود، گیت ماسفت به دلیل وجود مقاومت Pull-Down صفر می‌شود. اکنون کافی است تا ولتاژ سورس اندکی مثبت شود (حدود ۰.۹ ولت) تا ماسفت هدایت کند. این ولتاژ از طریق دیود داخلی ماسفت از سمت باتری ایجاد می‌شود. حالا ماسفت روشن است و ورودی رگولاتور از طریق باتری تغذیه می‌شود.



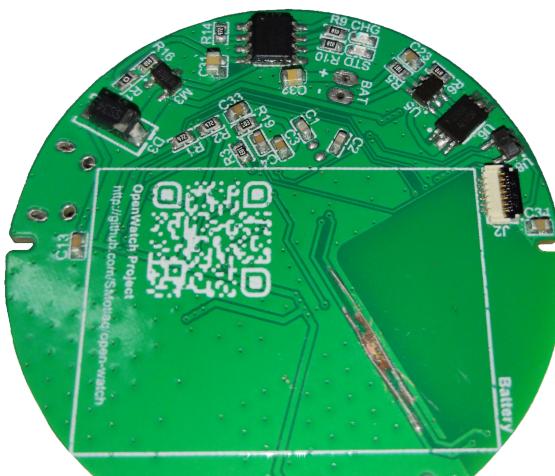
شکل ۱۳-۱: شماتیکی ساده برای توضیح بخش مدیریت توان

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

۱. شارژر متصل است: ماسفت خاموش است، باتری از مدار خارج شده و به شارژر متصل است
۲. شارژر متصل نیست: ماسفت روشن است، باتری در مدار است و به شارژر متصل نیست



(ا) شماتیک مدار شارژ و مدیریت توان



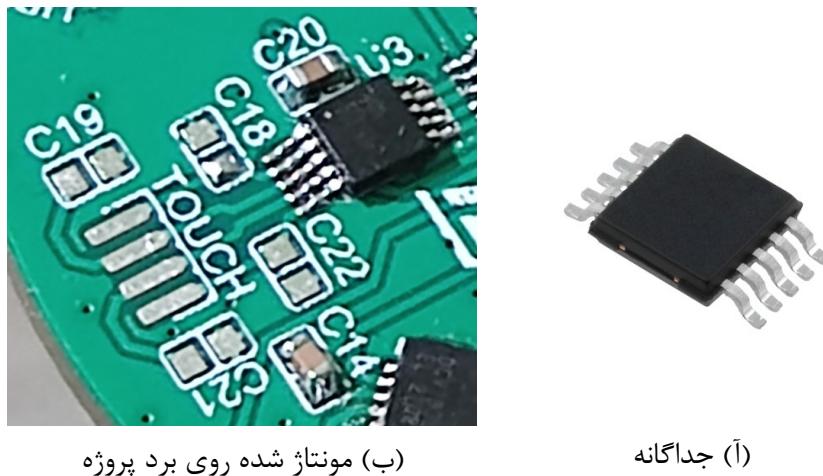
(ب) مونتاژ شده روی برد پروژه به همراه جای باتری

شکل ۱۴-۱: تصاویر بخش تغذیه

## ۹-۱ کلیدهای لمسی

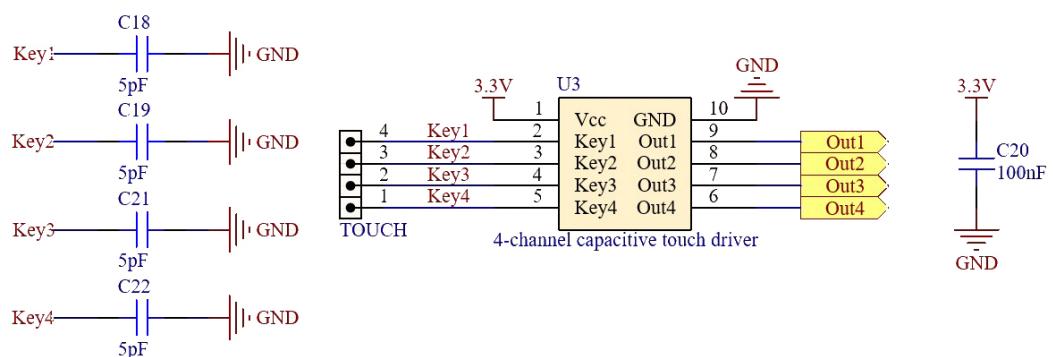
بر روی بدنه‌ی ساعت و زیر صفحه‌ی اصلی، چهار سیم‌پیچ تعبیه شده است که باید بتوان با لمس آن‌ها، با ساعت تعامل کرد و به آن ورودی داد. برای راهاندازی این کلیدها از یک آیسی به نام BS14A-1 استفاده شده است. این آیسی ساخت شرکت Holtek است و یکی از بهترین گزینه‌ها برای راهاندازی کلید لمسی است. شکل ۱۵-۱ تصویر این موتور و شکل ۱۵-۱ب تصویر آن را بر روی پی‌سی‌بی ساعت نشان می‌دهد.

شکل ۱۶-۱ شماتیک مداری بخش کلیدهای لمسی را نشان می‌دهد. 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



شکل ۱۵-۱: تصاویر بخش کلیدهای لمسی

کلیدها می‌توان از خازن‌هایی موازی کلیدها بهره برد. در اینجا خازنی روی برد قرار نگرفته است زیرا نیازی به کاهش حساسیت نبود.



شکل ۱۶-۱: شماتیک مربوط به بخش کلیدهای لمسی

## ۱۰-۱ بازر

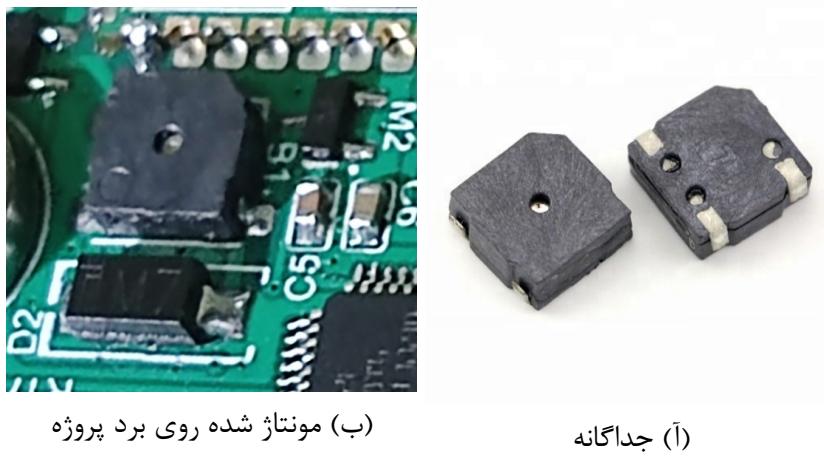
برای ایجاد صدا و هشدارهای صوتی در ساعت، از یک بازر غیرفعال<sup>۲۱</sup> استفاده شده است. بازرهای پسیو، بازرهایی هستند که نوسان‌ساز<sup>۲۲</sup> داخلی ندارند و تنها با خاصیت پیزوالکتریک<sup>۲۳</sup> کار می‌کنند. بدین صورت که اگر ولتاژ به آن اعمال شود، صفحه‌ی آن جابجا می‌شود و با قطع وصل ولتاژ به مکان اولیه باز می‌گردد. حال اگر این قطع وصل ولتاژ با فرکانس مشخصی صورت گیرد، بازر نیز صدایی با همان فرکانس تولید می‌کند. بدیهی است که هارمونیک‌های بالاتر نیز در این صدا وجود دارد زیرا موج ورودی

Passive<sup>۲۱</sup>

Oscillator<sup>۲۲</sup>

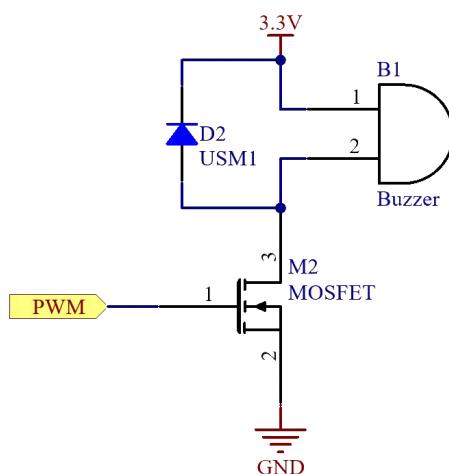
Piezoelectric<sup>۲۳</sup>

به بازر مربعی است؛ اما فرکانس غالب همان فرکانس اصلی موج مربعی خواهد بود. شکل ۱۷-۱ تصویر بازر و شکل ۱۷-۱ب تصویر آن را بر روی پی‌سی‌بی ساعت نشان می‌دهد.



شکل ۱۷-۱: تصاویر بازر

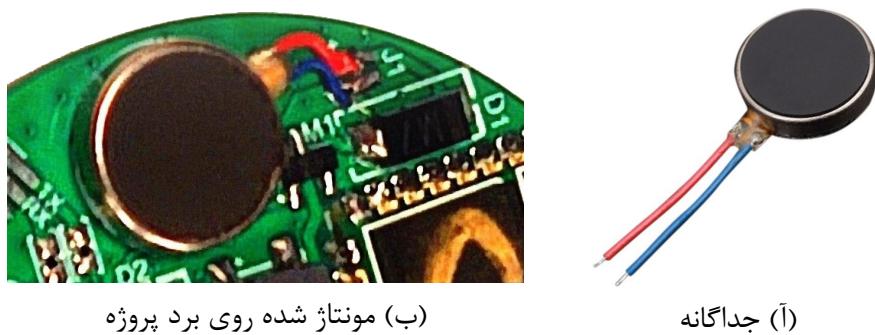
شکل ۱۸-۱ شماتیک مداری بازر را نشان می‌دهد. برای راهاندازی بازر و تولید صدا، از یک سوییچ ماسفت برای قطع و وصل ولتاژ استفاده شده است. دیودی که با بازر موازی شده از ورود جریان برگشتی آن به ماسفت هنگام قطع و وصل ولتاژ جلوگیری می‌کند. برای کنترل فرکانس صدا می‌توان از اعمال موج PWM به بازر بھر برد. لذا پایه‌ی فرمان این مدار به خروجی PWM تایмер ۳ در پردازندۀ متصل شده است.



شکل ۱۸-۱: شماتیک مربوط به بخش بازر

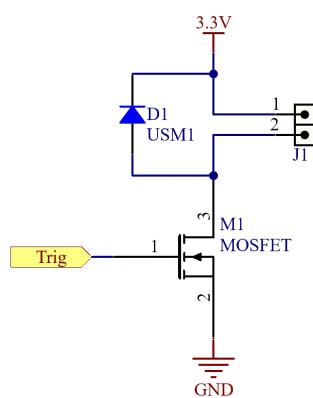
## ۱۱-۱ موتور ایجاد لرزش

برای ایجاد لرزش<sup>۲۴</sup> در ساعت، مشابه تلفن‌های 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 دوار می‌شود که لرزش را ایجاد می‌کند. شکل ۱-۱۵آ تصویر این موتور و شکل ۱-۱۵ب تصویر آن را بر روی پی‌سی‌بی ساعت نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۵: تصاویر موتور ایجاد لرزش

شکل ۱-۲۰-۱ شماتیک مداری بخش ایجاد لرزش را نشان می‌دهد. این موتور برای کار به ۹۰ میلی‌آمپر جریان الکتریکی احتیاج دارد. طبیعتاً پردازنده نمی‌تواند این جریان را تأمین کند. لذا از یک کلید ماسفت<sup>۲۵</sup> 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 می‌کند. برای کنترل سرعت موتور می‌توان از اعمال موج PWM<sup>۲۶</sup> به موتور بهره برد. لذا پایه‌ی فرمان این مدار به خروجی PWM تایمر ۱ در پردازنده متصل شده است.



شکل ۱-۲۰-۱: شماتیک مربوط به بخش ایجاد لرزش

---

Vibration<sup>۲۴</sup>  
Metal–Oxide–Semiconductor Field-Effect Transistor<sup>۲۵</sup>  
Pulse Width Modulation<sup>۲۶</sup>

## 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).