

دانشگاه دامغان

دانشگاه دامغان

دانشکده فنی و مهندسی

گزارش پروژه کارشناسی  
مهندسی برق

ایستگاه هواشناسی دیجیتال

دانشجویان

مهدی جمشیدی

محمد ابراهیم ابراهیم طوسی

استاد راهنما

دکتر بهزاد بقراطی

# فهرست مطالب

۱	مقدمه	۱
۱	اجزای سیستم	۲
۲	۱.۲ میکروکنترلر	۲
۲	۲.۲ ارتباط بی سیم	۲
۲	۳.۲ سنسورها	۲
۲	۱.۳.۲ فشارسنج	۲
۳	۲.۳.۲ شدت نور	۳
۳	۳.۳.۲ قطب نما	۳
۳	۴.۳.۲ دما و رطوبت هوا	۳
۳	۵.۳.۲ شدت و جهت باد	۳
۶	۳ پروتکل های ارتباطی	۳
۶	۱.۳ پروتکل SPI	۶
۷	۲.۳ پروتکل I <sup>2</sup> C	۷
۸	۳.۳ USB	۸
۹	۴ پیاده سازی سیستم	۹
۱۰	۵ طراحی برد مدار چاپی	۱۰
۱۲	۶ نتایج	۱۲
۱۲	۷ نتیجه گیری	۱۲

## ۱ مقدمه

ایستگاه هواشناسی، مرکزی مجهز به تجهیزات و ابزارهایی برای اندازه گیری های جوی است که به ارائه اطلاعات برای پیش بینی و مطالعه آب و هوا می پردازد. اندازه گیری های انجام شده معمولاً شامل دما، فشار هوا، رطوبت، سرعت باد، جهت باد و مقدار بارش است. مشاهدات دستی حداقل یک بار در روز انجام می شود، در حالی که اندازه گیری های خودکار حداقل یک بار در ساعت انجام می پذیرد.

ایستگاه های هواشناسی معمولی مجهز به ابزارهای زیر هستند [۱]:

- رطوبت سنج برای اندازه گیری رطوبت
- فشارسنج برای اندازه گیری فشار جو
- دماسنج برای اندازه گیری دمای هوا
- پیرانومتر برای اندازه گیری تشعشعات خورشیدی
- باران سنج برای اندازه گیری میزان بارش باران در طی یک دوره زمانی مشخص
- تجهیزاتی نظیر بادسنج، پرچم باد یا جوراب باد برای اندازه گیری سرعت و جهت باد

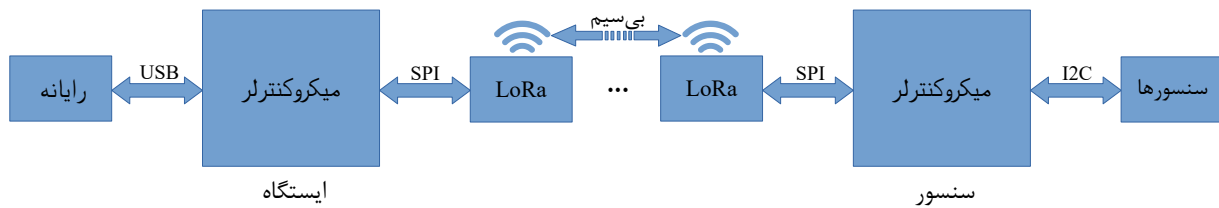
ایستگاه های پیشرفته تر همچنین ممکن است شاخص فرابنفش، رطوبت برگ، رطوبت خاک، دمای خاک، دمای آب در حوضچه ها، دریاچه ها، نهرها یا رودخانه ها و گاهی داده های دیگر را اندازه گیری کنند. به جز دستگاه هایی که نیازمند تماس مستقیم با عناصر مورد اندازه گیری هستند (نظیر بادسنج)، دیگر سنسورها و دستگاه ها باید در محفظه ای به دور از تابش مستقیم خورشید و وزش باد قرار بگیرند.

ایستگاه های هواشناسی سینوپتیک ۲۴ ساعته به صورت خودکار هر سه ساعت به سه ساعت پارامترهای جوی را پس از اندازه گیری و جمع آوری از طریق شبکه های مخابراتی منتقل می کنند. به طور مشابه ایستگاه هایی با نام متار این کار را هر یک ساعت انجام می دهند. وظیفه این ایستگاه ها جمع آوری اطلاعات جوی از محدوده هایی وسیع و مخابره به ایستگاه های اصلی به منظور اطلاع از وضعیت حال و گذشته و پیش بینی شرایط آب و هوایی مناطق در آینده است.

هدف این پروژه پیاده سازی نوعی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک است که با تجهیزات ارزان و کم مصرف دیجیتالی پارامترهای جوی لازم را جمع آوری و به صورت بی سیم به ایستگاهی جهت ثبت و نمایش مخابره می کند. در این پروژه از میکروکنترلرهای ARM سری STM32F10X به عنوان هسته اصلی پردازش در هر دو سمت سنسور و ایستگاه و از ماژول لورا (LoRa) با چیپ SX1278 به منظور برقراری ارتباط بی سیم استفاده می شود.

## ۲ اجزای سیستم

این سیستم به دو دستگاه اصلی تقسیم می شود، یک دستگاه جهت جمع آوری اطلاعات جوی بر روی یک میله در ارتفاع ۱۰ متری سطح زمین قرار می گیرد و اطلاعات جوی نظیر دما، رطوبت، فشار، شدت نور، سرعت و جهت باد را از سنسورهای مربوطه جمع آوری کرده و به صورت بی سیم به دستگاه دیگر، که در ایستگاه اصلی قرار دارد، مخابره می کند؛ سپس اطلاعات دریافت شده در دستگاه دوم جهت ثبت و ذخیره به رایانه منتقل می شود. در اینجا به دستگاه اول که وظیفه جمع آوری اطلاعات جوی را دارد سنسور و دستگاه دوم که وظیفه دریافت اطلاعات مخابره شده و انتقال به رایانه را دارد ایستگاه می گوئیم. بلوک دیاگرام کلی این سیستم و نحوه ارتباط بخش های مختلف با یکدیگر در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱: بلوک دیاگرام اجزای سیستم و نحوه ارتباط اجزای مختلف با یکدیگر.

## ۱.۲ میکروکنترلر

هسته اصلی پردازش در هر دو سمت ایستگاه و سنسور میکروکنترلر STM32f103CBT6 انتخاب شده است که با توجه به موجود بودن در بازار ایران و دارا بودن ۲ عدد  $I^2C$ <sup>۱</sup>، ۲ عدد SPI<sup>۲</sup>، اینترفیس USB<sup>۳</sup> و ۳ عدد تایمر ۱۶ بیتی نیاز به حداقل ۱ عدد  $I^2C$  (در سمت سنسور)، ۱ عدد SPI (در هر دو سمت)، اینترفیس USB (در سمت ایستگاه) و ۱ عدد تایمر (در سمت سنسور) را برآورده می‌کند. همچنین حالت Sleep و واحد RTC موجود در این میکروکنترلرها به کاهش مصرف انرژی در وقفه‌های سه ساعته کمک می‌کند؛ به طوری که استفاده از سیستم باتری و پیل خورشیدی را ممکن می‌سازد.

## ۲.۲ ارتباط بی‌سیم

به طور کلی در این سیستم مصرف پایین انرژی به دلیل استفاده از سیستم باتری و پیل خورشیدی بسیار اهمیت دارد. استفاده از شبکه تلفن همراه<sup>۴</sup> به عنوان راه حلی ابتدایی برای ارتباط بی‌سیم، علاوه بر نداشتن صرفه اقتصادی مصرف انرژی زیادی را به سیستم تحمیل می‌کند. همچنین تضمینی برای وجود پوشش شبکه تلفن همراه در مناطقی که قرار است داده‌های جوی از آن جمع‌آوری شود وجود ندارد. از این رو بهترین رویکرد استفاده از گیرنده و فرستنده‌های رادیویی در باندهای فرکانسی بدون نیاز به مجوز (ISM) است. از میان گزینه‌های موجود مازول‌های لورا<sup>۵</sup> به لطف مدولاسیون CSS<sup>۶</sup> که از آن بهره‌مندی برای مصرف توان پایین، ناحیه پوشش وسیع و نفوذپذیری مناسبی هستند که کاملاً با نیازهای ما سازگار است. مازول LoRa Ra-02 با تراشه SX1278 دارای رنج فرکانسی ۴۱۰ تا ۵۲۵ مگاهرتز، و توان انتقالی ماکسیموم ۱۸dBm است و از مدولاسیون‌های LoRa، FSK<sup>۷</sup> و OOK<sup>۸</sup> پشتیبانی می‌کند. برای ارتباط بی‌سیم در این سیستم از این مازول استفاده شده است.

## ۳.۲ سنسورها

به منظور استخراج داده‌های جوی نظیر دمای هوا، رطوبت، فشار، شدت نور و... از سنسورهای دیجیتال استفاده می‌شود. این سنسورها علاوه بر کم مصرف بودن دارای دقت بالا و تاخیر پایینی در اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر هستند. با دارا بودن این ویژگی‌ها این سنسورها کاملاً با سیستم تغذیه باتری و سلول خورشیدی سازگار هستند.

## ۱.۳.۲ فشارسنج

تغییرات فشار جوی یکی از عناصر مهم در پیش‌بینی وضعیت آب و هوا است. فشارسنج‌های جیوه‌ای از اواخر قرن ۱۶ جهت پیش‌بینی وضعیت آب و هوا مورد استفاده قرار می‌گرفت. به طور کلی تغییر فشار هوا رو به بالا نشان‌دهنده آسمان آفتابی، گرم و

<sup>۱</sup>Inter-Integrated Circuit

<sup>۲</sup>Serial Peripheral Interface

<sup>۳</sup>Universal Serial Bus

<sup>۴</sup>The Global System for Mobile Communications (GSM)

<sup>۵</sup>LoRa (Long Range)

<sup>۶</sup>Chirp Spread Spectrum

<sup>۷</sup>Frequency Shift Keying

<sup>۸</sup>On Off Keying

صاف و تغییر فشار هوا رو به پایین نشان دهنده بارش باران، طوفان و آسمانی مملو از ابرهای باران‌زا است. علاوه بر این فشار هوا یکی از عوامل موثر در سنجش سرعت باد نیز به شمار می‌آید.

سنسور استفاده شده برای این منظور ماژول سنسور BMP180 است که با مصرف جریان تنها در حد چند میکرو آمپر دقتی معادل  $0.3$  هکتوپاسکال دارد و در فشار هوا در بازه  $300$  تا  $1100$  هکتوپاسکال را اندازه‌گیری می‌نماید. نحوه ارتباط با این ماژول از طریق رابط  $I^2C$  است.

### ۲.۳.۲ شدت نور

شدت نور خورشید یکی از پارامترهای اصلی سنجش وضعیت آب و هوا است. از این سنسور جهت تشخیص ابری یا آفتابی بودن هوا می‌توان استفاده کرد. همچنین به دلیل اهمیت سلامت پوست، معمولاً در کنار این سنسور از سنسور سنجش شدت UV به منظور اطلاع رسانی از شدت UV نیز استفاده می‌شود.

جهت سنجش شدت نور از ماژول سنسور MAX44009 استفاده شده است که با  $0.65$  میکرو آمپر مصرف جریان در هنگام کارکرد شدت نور در بازه  $0.45$  تا  $188$  لوکس تا هزار لوکس را اندازه‌گیری می‌کند. همچنین اینترفیس ارتباطی این ماژول رابط سریالی  $I^2C$  می‌باشد.

### ۳.۳.۲ قطب‌نما

از آنجایی که این دستگاه در سمت سنسور معمولاً در ارتفاع  $10$  متری زمین روی یک میله نصب می‌شود، قرار دادن دستگاه در جهت جغرافیایی خاص، به جهت سنجش جهت باد، ممکن است دشوار باشد (یا حتی خیلی دقیق نباشد). با وجود سنسور قطب‌نما در این دستگاه (برخلاف برخی دستگاه‌های مشابه) دیگر نیازی به نصب دستگاه در جهت جغرافیایی خاص نخواهد بود. سنسور استفاده شده برای این منظور سنسور QMC5883L است. که با ماکسیموم  $100$  میکرو آمپر جریان مصرفی می‌توان به دقت یک تا دو درجه در جهت یابی رسید. همچنین طریقه ارتباط این سنسور با میکروکنترلر از طریق رابط  $I^2C$  است.

### ۴.۳.۲ دما و رطوبت هوا

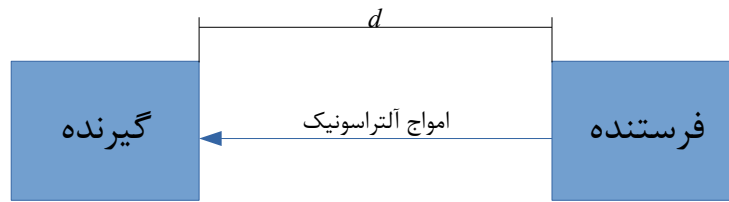
در کنار وضعیت آسمان (ابری، آفتابی، بارانی و...) بودن معمولاً به طور مستقیم پارامتر دمای هوا نیز در اطلاع رسانی وضعیت و پیش بینی آب و هوا نقش ایفا می‌کند. در کنار این موارد رطوبت هوا نیز، علاوه بر نقشی که در پیش بینی دارد، معمولاً به طور مستقیم به سمع و نظر مخاطبین می‌رسد. علاوه بر این رطوبت نسبی هوا در کنار دمای هوا نقش مهمی در رسیدن به آسایش حرارتی در بدن انسان (و موجودات) دارد. به طوری کلی در دمای هوای بالاتر به رطوبت نسبی کمتری نسبت به دمای هوای پایین تر برای رسیدن به سطح آسایش حرارتی نیاز است [۲].

ماژول سنسور AHT10 دما و رطوبت نسبی هوا را با دقت  $0.1$  درجه سلسیوس و  $0.24$  درصد با تنها  $3.3$  میکرو وات مصرف توان اندازه‌گیری می‌کند. همچنین این ماژول در رطوبت  $0$  تا  $100$  درصد و دمای  $40$  تا  $100$  درجه‌ی سلسیوس قابل استفاده است. خروجی این ماژول نیز سیگنال دیجیتال ارتباطی  $I^2C$  است.

### ۵.۳.۲ شدت و جهت باد

روش‌های مختلفی برای سنجش شدت باد وجود دارد، عمدتاً در این کاربرد دو روش سنجش مکانیکی و آلتراسونیک (Ultrasonic) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سنجش شدت و جهت باد در روش مکانیکی از دو ابزار به صورت مستقل (در برخی موارد این دو ابزار در قالب یک دستگاه در کنار هم قرار می‌گیرند)، یک ابزار برای سنجش شدت و ابزاری دیگر برای تعیین جهت، مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر دو دستگاه دارای قطعات متحرک اند و یکی با داشتن پره‌هایی شبیه به دم هلی کوپتر با ورزش باد در جهت وزش قرار می‌گیرد و دیگری دارای پره‌هایی است که با وزش باد پره‌ها همانند پره‌های توربین به حدت در می‌آید که با توجه به سرعت چرخش پره‌ها سرعت باد قابل اندازه‌گیری است. در اندازه‌گیری‌های این دستگاه‌ها محدودیت‌هایی وجود دارد و اغلب این نوع ابزارها در وزش باد ملایم عملکرد صحیحی از خود نشان نمی‌دهند. همچنین در اندازه‌گیری زاویه وزش ممکن اند محدود به زوایای خاصی باشند.

در روش اندازه‌گیری شدت و جهت باد با آلتراسونیک اندازه‌گیری‌ها می‌تواند در قالب تنها یک دستگاه، بدون قطعات متحرک و با دقتی بالاتر انجام پذیرد. در این روش ۲ فرستنده و گیرنده آلتراسونیک همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است روبروی یکدیگر در فاصله مشخص  $d$  قرار داده می‌شوند.



شکل ۲: نحوه قرار گیری فرستنده و گیرنده آلتراسونیک.

فرستنده امواج صوتی با فرکانس ۴۰ کیلو هرتز تولید می‌کند. فاصله زمانی بین ارسال امواج صوتی از فرستنده و دریافت این امواج در گیرنده اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به رابطه ۱ سرعت  $v$  با داشتن  $d$  فاصله و زمان تاخیر بین ارسال موج صوتی در فرستنده و دریافت آن در گیرنده  $t$  قابل اندازه‌گیری است.

$$v = \frac{d}{t} \quad (۱)$$

سرعت  $v$  بدست آمده از این رابطه مطابق رابطه ۲ متشکل از سرعت صوت  $v_s$  و سرعت باد  $v_{wx}$  است [۳].

$$v = v_s + v_{wx} \quad (۲)$$

در صورتی که وزش باد در جهت موافق حرکت امواج صوتی باشد زمان تاخیر در دریافت امواج نسبت به حالی که باد نوزد کمتر شده و در نتیجه سرعت  $v$  نسبت به حالتی که باد نوزد افزایش می‌یابد (یعنی علامت  $v_{wx}$  مثبت بوده و  $v = v_s + v_{wx}$ ). در صورتی که وزش باد در خلاف جهت حرکت امواج صوتی باشد زمان تاخیر در دریافت امواج نسبت به حالتی که باد نوزد بیشتر شده و در نتیجه سرعت  $v$  کاهش می‌یابد (یعنی علامت  $v_{wx}$  منفی بوده و  $v = v_s - v_{wx}$ ). با داشتن سرعت صوت  $v_s$ ، فاصله  $d$  و محاسبه زمان  $t$  می‌توان با توجه به معادلات ۱ و ۲ سرعت باد  $v_{wx}$  و جهت باد (علامت سرعت  $v_{wx}$ ) روی یک محور مطابق رابطه ۳ بدست آورد.

$$v_{wx} = \frac{d}{t} - v_s \quad (۳)$$

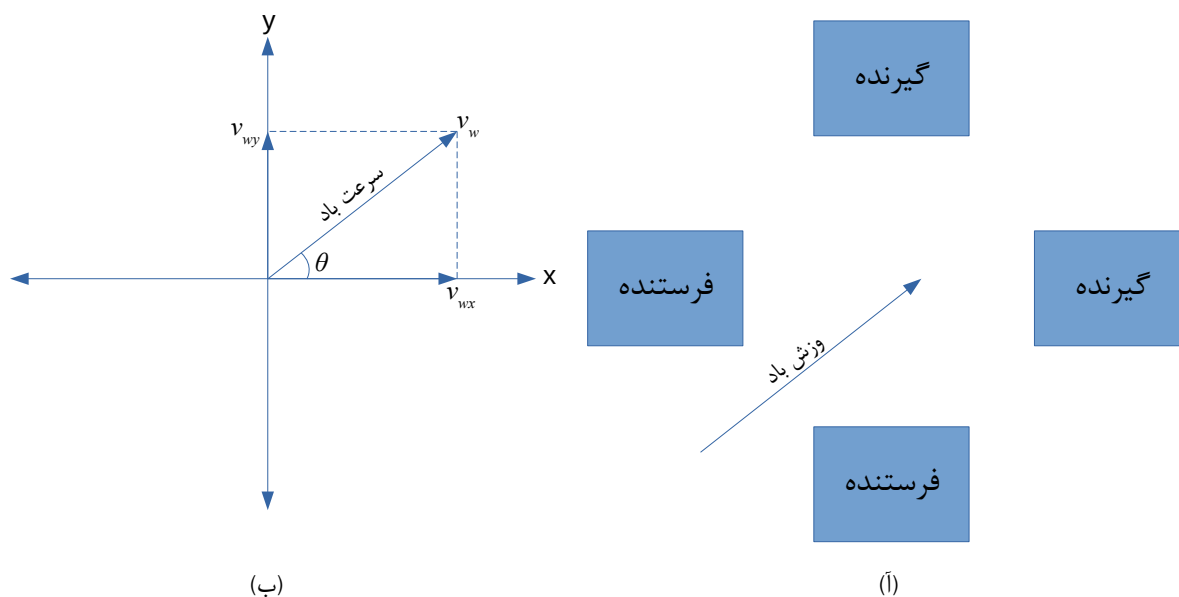
به منظور سنجش شدت و جهت باد در دو بعد می‌توان دو فرستنده و گیرنده دیگر برروی محوری عمود بر محور متصل کننده فرستنده و گیرنده فعلی قرار داد و با محاسبه دو بردار سرعت، بردار سرعت برآیند را بدست آورد. اگر نحوه قرار گیری فرستنده و گیرنده‌ها مطابق شکل ۳ باشد در این صورت صفحه مختصات متناظر با آن مطابق شکل ۳ خواهد بود. اندازه  $v_w$  و زاویه  $\theta$  بردار سرعت باد از طریق روابط ۴ بدست می‌آیند.

$$v_w = \sqrt{v_{wx}^2 + v_{wy}^2} \quad (۴)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{v_{wy}}{v_{wx}} \right)$$

سرعت صوت  $v_s$  به عنوان تابعی از دما، فشار و کسر مولی رطوبت و کربن دی اکسید، با استفاده از رابطه ۵ قابل محاسبه است [۴]. ثوابت  $a_1$  تا  $a_{15}$  در جدول ۱ آمده اند.

$$v_s(\tau, p, x_w, x_c) = a_0 + a_1\tau + a_2\tau^2 + (a_3 + a_4\tau + a_5\tau^2)x_w + (a_6 + a_7\tau + a_8\tau^2)p + (a_9 + a_{10}\tau + a_{11}\tau^2)x_c + a_{12}x_w^2 + a_{13}p^2 + a_{14}x_c^2 + a_{15}x_wpx_c \quad (۵)$$



شکل ۳: نحوه قرار گیری فرستنده و گیرنده آلتراسونیک دو محوره و نمودار متناظر با آن‌ها.

جدول ۱: ضرایب محاسبه سرعت صوت (فرمول ۵)

ضرایب	
331.5024	$a_0$
0.603055	$a_1$
-0.000528	$a_2$
51.471935	$a_3$
0.1495874	$a_4$
-0.000782	$a_5$
$-1.82 \times 10^{-7}$	$a_6$
$3.73 \times 10^{-8}$	$a_7$
$-2.93 \times 10^{-10}$	$a_8$
-85.20931	$a_9$
-0.228525	$a_{10}$
$5.91 \times 10^{-5}$	$a_{11}$
-2.835149	$a_{12}$
$-2.15 \times 10^{-13}$	$a_{13}$
29.179762	$a_{14}$
0.000486	$a_{15}$

که  $T$  دمای هوا (برحسب درجه سلسیوس)،  $p$  فشار هوا (بر حسب پاسکال)،  $x_w$  کسر مولی بخار آب در هوا و  $x_c$  کسر مولی کربن دی‌اکسید در هوا است.  $x_c$  را ثابت و برابر  $400 \times 10^{-6}$  در نظر می‌گیریم. کسر مولی بخار آب در هوا  $x_w$  از رابطه ۶ بدست می‌آید [۵].

$$x_w = \frac{h f p_{sv}}{100 p} \quad (6)$$

که  $h$  درصد رطوبت هوا،  $p_{sv}$  فشار اشباع بخار آب در هوا و  $f$  ضریب تقویت است و از طریق روابط ۷ و ۸ محاسبه می‌شوند

[۶].

$$f = 1.00062 + 3.14 \times 10^{-8}p + 5.6 \times 10^{-7}\tau^2 \quad (۷)$$

$$p_{sv} = \exp \left( 1.2811805 \times 10^{-5}T^2 - 1.9509874 \times 10^{-2}T + 34.04926034 - 6.3536311 \times 10^3/T \right) \quad (۸)$$

که در این روابط  $T$  دمای محیط بر حسب کلوین است، یعنی:

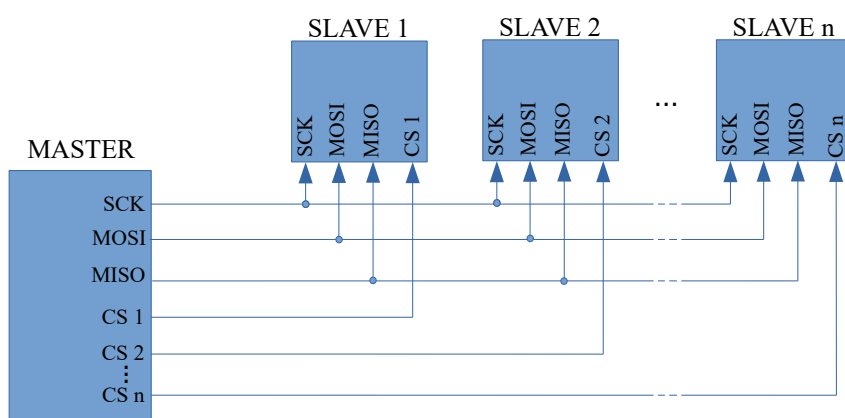
$$T = \tau + 273.15 \quad (۹)$$

### ۳ پروتکل‌های ارتباطی

قطعات الکترونیک نیز همانند انسان‌ها برای ارتباط با یکدیگر باید از یک زبان واحد قابل فهم برای هر دو طرف استفاده کنند که به این زبان‌ها پروتکل‌های ارتباطی گفته می‌شود. در این پروژه نیز همانند اکثر پروژه‌های الکترونیکی از تعدادی از این پروتکل‌ها برای برقراری ارتباط بین قطعات الکترونیکی مختلف (سنسورها، فرستنده-گیرنده‌های رادیویی و میکروکنترلر) استفاده شده است. در زیر اطلاعات کلی هر یک از پروتکل‌های ارتباطی استفاده شده در این پروژه آمده است.

#### ۱.۳ پروتکل SPI

این پروتکل یک رابط ارتباط سریالی سنکرون (همزمان) چهار سیمه است که برای ارتباط بین تنها یک master و چندین slave می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. خطوط ارتباطی بین master و slave شامل خط سیگنال کلاک ( $^1$ SCLK)، خط ارسال داده از master به slave ( $^2$ MOSI)، خط ارسال داده از slave به master ( $^3$ MISO) و خط انتخاب slave ( $^4$ SS یا  $^5$ CS). در حالت Full Duplex به ازای هر slave معمولاً نیاز به یک پین انتخاب‌گر (CS یا SS) مجزا در سمت master خواهد بود.



شکل ۴: نحوه اتصال slave‌ها به master در حالت Full Duplex

سیگنال کلاک همواره توسط master تولید می‌شود و به ازای هر سیگنال کلاک یک بیت داده منتقل می‌شود. از این رو ارسال داده از slave به master به طور تصادفی و در هر لحظه ممکن نیست و تنها slave می‌تواند در لحظاتی که master

<sup>1</sup>Serial Clock

<sup>2</sup>Master Out Slave In

<sup>3</sup>Master In Slave Out

<sup>4</sup>Slave Select

<sup>5</sup>Chip Select

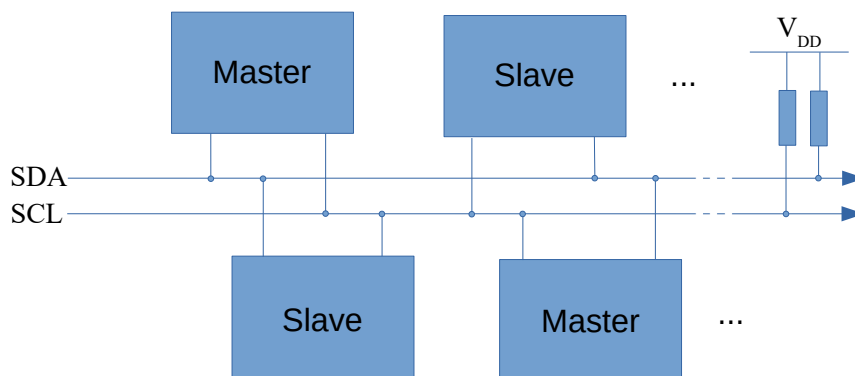


درخواست می‌کند و سیگنال کلاک اضافی را تولید می‌کند داده را بر روی خط MISO ارسال کند. البته به دلیل وجود خطوط مجزای ارسال و دریافت داده ارسال و دریافت همزمان داده نیز ممکن است. همچنین در این پروتکل slaveها به تنهایی نمیتوانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند.

به جهت ارسال داده، master از طریق قراردادن خط SS (یا CS) در حالت low انتخاب می‌کند که با کدام slave می‌خواهد ارتباط برقرار کند و همین وضعیت این خط را تا پایان فرآیند ارسال و دریافت داده در همین وضعیت (low) نگه میدارد. در همین حین سیگنال کلاک را روی خط SCLK متناسب با طول داده ارسالی قرار می‌دهد (ماکسیموم فرکانس کلاک بستگی به ماکسیموم مقدار قابل شناسایی توسط slave دارد) و داده ارسالی را نیز متناسب با کلاک روی خط MOSI قرار می‌دهد (قرار دادن داده روی لبه بالارونده یا پایین رونده و همچنین ارسال از بیت MSB یا LSB بستگی به slave دارد)؛ اگر قرار باشد slave دیتایی در پاسخ به دیتای دریافتی ارسال کند (این امر باید از قبل مشخص باشد چرا که همان‌طور که گفته شد مسئول تولید کلاک فقط master است) باید master کلاک‌ها اضافی متناسب با دیتای مورد انتظار برای دریافت را روی خط SCLK تولید کند و دیتای مربوطه را از روی خط MISO بخواند.

## ۲.۳ پروتکل I<sup>2</sup>C

پروتکل I<sup>2</sup>C رابط سریالی سنکرون چند master چند slave دو سیمه است. این پروتکل برخلاف SPI از سیستم‌ها دارای چند master نیز پشتیبانی می‌کند (البته masterها قادر به برقراری ارتباط با یکدیگر نیستند و از خطوط باس به طور همزمان نمی‌توانند استفاده کنند). در این پروتکل برای ارتباط از تنها دو خط سیگنال کلاک (SCL<sup>۱</sup>) و سیگنال دیتا (SDA<sup>۲</sup>) استفاده می‌شود. در این پروتکل نیز سیگنال کلاک توسط master کنترل می‌شود. اعلام شروع ارسال داده با بالا نگه داشتن خط SCL و پایین کشیدن خط SDA انجام می‌شود. اگر دو master به طور همزمان قصد تبادل داده با slaveها را داشته باشند هر کدام که زود تر SDA را پایین بکشید اجازه استفاده از خط را دارد و master دیگر باید تا پایان تبادلات master اول صبر کند.



شکل ۵: نحوه اتصال در پروتکل I<sup>2</sup>C

برای انتقال داده پس از اعلام شروع ارسال توسط master، ۷ بیت آدرس slave که قرار است با آن ارتباط برقرار شود ارسال می‌شود و پس از آن یک بیت read/write ارسال می‌شود تا slave از قصد master برای خواندن (سطح منطقی ۱) یا نوشتن (سطح منطقی ۰) مطلع شود (آدرس ۱۰ بیتی نیز وجود دارد که نحوه ارسال آن کمی متفاوت است ولی فرآیندهای دیگر در دریافت و ارسال داده یکسان است). در تمام طول ارسال و دریافت داده سیگنال کلاک نیز به طور منظم روی خط SCL تولید می‌شود. بعد از ارسال آدرس توسط master، slaveها آدرس ارسالی را با آدرس خود مقایسه کرده و در صورتی که با آن مطابقت داشت بیت تصدیق (ACK) را با پایین کشیدن SDA تا قبل از کلاک نهم ارسال می‌کند. اگر بیت تصدیق در این زمان ارسال نشود و SDA در سطح high بماند ارسال داده متوقف می‌شود چرا که عدم دریافت بیت تصدیق نشان دهنده عدم وجود slave مورد نظر روی خط و یا عدم توانایی slave در رمزگشایی داده ارسالی است.

پس از ارسال آدرس و دریافت تصدیق از سمت slave با توجه به بیت read/write ارسالی، داده توسط slave (در حالت خواندن) و یا master (در حالت نوشتن) روی خط SDA قرار داده می‌شود. بعد از ارسال هر ۸ بیت داده نیز لازم است بیت

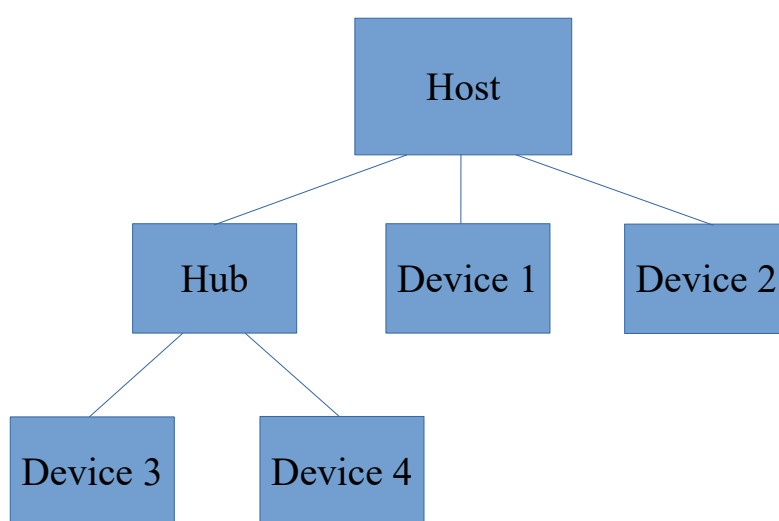
<sup>۱</sup>Serial Clock Line

<sup>۲</sup>Serial Data Line

تصدیق دریافت داده‌ها (ACK) از طرف دریافت کننده داده‌ها ارسال شود. بعد از ارسال یا دریافت تمام داده‌ها باید وضعیت توقف اعلام شود تا دیگر masterها بتوانند پس از آن از خط استفاده کنند. اعلام وضعیت توقف با یک تغییر وضعیت SDA از سطح منطقی ۰ به ۱ و پس از آن یک تغییر وضعیت از سطح منطقی ۰ به ۱ روی خط SCL انجام می‌شود.

### ۳.۳ USB

پروتکل یواس‌بی (USB) یک پروتکل ارتباطی سریال آسنکرون<sup>۱</sup> (ناهمزمان) دو سیمه است که ارتباطی بین چندین دستگاه جانبی یا دیوایس (Device) و دستگاه اصلی یا هاست (Host) را فراهم می‌کند. یواس‌بی توسط یک گروه متشکل از شرکت‌های فعال در زمینه رایانه و الکترونیک ایجاد شد که هدف ساخت پروتکل سریال همه منظوره برای اتصال لوازم جانبی به رایانه را داشتند. به دلیل همه منظوره بودن یواس‌بی استفاده از این پروتکل دارای جزئیات بسیار زیادی است و بر خلاف دو پروتکل قبلی راه اندازی این پروتکل ممکن است زمان بر باشد. در این پروژه از این پروتکل برای ارتباط دستگاه سمت ایستگاه با رایانه و همچنین تامین تغذیه آن استفاده می‌شود.



شکل ۶: نحوه اتصال در پروتکل USB

به طور کلی ارتباط با دیوایس با هاست نیازمند دارا بودن دیوایس کلاس (Device Class) مشخص و شناخته شده برای هاست است. پیاده سازی دیوایس کلاس‌های اختصاصی به خاطر پیچیدگی‌هایی که این پروتکل دارد امری بسیار زمان‌بر خواهد بود به همین دلیل معمولاً استفاده از دیوایس کلاس و لایبرری‌های متناظر با آن برای ساخت دستگاه‌های جدید مناسب ترین روش ممکن است (این کار همچنین امر دریافت گواهی‌های سخت افزاری و نرم‌افزاری یواس‌بی را نیز تسهیل می‌کند). در این پروتکل ۴ نوع انتقال داده وجود دارد. انتقال Control که تنظیمات و مشخصات دستگاه و دستورات را منتقل می‌کند. انتقال Isochronous که برای انتقال داده‌هایی که زمان بندی در آنها اهمیت دارد نظیر صدای میکروفون و تصویر وب کم مورد استفاده قرار می‌گیرد. انتقال Bulk که برای ارسال داده‌های حجیم تر به صورت یکجا مورد استفاده قرار می‌گیرد مانند انتقال تصویر برای پرینت و یا اسکن و یا انتقال داده‌های ذخیره شده روی یک فلش مموری. انتقال Interrupt که داده‌هایی با حجم بسیار کم و اهمیت زیاد را جابجا می‌کند که معمولاً توسط موس، کیبورد و جواستیک (Joystick) و عموماً در کلاس HID<sup>۲</sup> استفاده می‌شود.

همان طور که گفته شد در این پروتکل لازم است دستگاه هاست از تمامی جزئیات کارکرد و مشخصات دستگاه دیوایس مطلع شود. مشخصات کلی دستگاه مثل ورژن یواس‌بی مورد استفاده، شناسه و نام سازنده، شناسه و نام دستگاه و مشخصات کلاس دستگاه در بخشی با عنوان Device Descriptor با فرمتی خاص و مشخص به اطلاع رایانه می‌رسد. بخش دیگری با عنوان Configuration Descriptors بیان کننده نحوه تغذیه و ماکسیموم توان مورد نیاز دستگاه متصل به یواس‌بی است. بخش

<sup>۱</sup> Asynchronous

<sup>۲</sup> Human interface device

Interface Descriptors نیز بیان کننده ویژگی‌های کلاس دستگاه است و شامل چندین Endpoint Descriptors می‌شود که برای انجام آن ویژگی‌ها مورد نیاز اند. برای هر اندپوینت (Endpoint) در سمت دیوایس از نظر سخت افزاری معمولاً یک رجیستر یا مموری تعریف می‌شود که دیتا با توجه به مشخصات هر اندپوینت از آن خوانده می‌شود یا در آن نوشته می‌شود هر اندپوینت فقط مسئول یکی از اعمال خوانده شدن یا نوشته شدن است و برای هر دو عمل خواندن و نوشتن به دو اندپوینت نیاز است. ماکسیموم میتوان ۱۶ اندپوینت تعریف کرد، اندپوینت ۰ رزرو و برای مشخصات کنترلی استفاده می‌شود دیگر اندپوینت‌ها را می‌توان با مشخصات مورد نیاز تعریف کرد. به طور مثال در این پروژه از کلاس CDC<sup>۱</sup> استفاده شده است (که کلاس مورد استفاده در کارت‌های شبکه و مودم‌ها نیز هست). برای تبادل داده با رایانه در این کلاس از ارسال نوع بالک (Bulk) استفاده می‌شود. پس اینترفیسی از نوع سی‌دی‌سی (CDC) با اندپوینتی با دیتاتایپ بالک به عنوان ورودی و اندپوینتی دیگر با دیتاتایپ بالک به عنوان خروجی باید داشته باشد. آدرس اندپوینت ورودی 0x01 و اندپوینت خروجی 0x81 تنظیم شده اند. همچنین چون قصد استفاده از یواس‌بی در حالت فول اسپید (Full Speed) را داریم ماکسیموم ساینز بسته ارسالی نیز ۶۴ × ۱ بایت ذکر شده است.

## ۴ پیاده سازی سیستم

عملکرد کلی سیستم جمع آوری داده‌ها در سمت سنسور، ارسال اطلاعات از طریق لورا به سمت ایستگاه و نمایش اطلاعات دریافت شده در سمت ایستگاه بر روی رایانه است. به طور کلی این سیستم به دو بخش سنسور و ایستگاه تقسیم می‌شود که بخش ایستگاه خود به دو بخش دستگاه گیرنده و برنامه دسکتاپ (Desktop) قابل تقسیم است. در سمت سنسور اجرای فرآیندها به طریق زیر است:

- بعد از روشن شدن دستگاه و فعالسازی بخش‌های مورد نیاز (peripherals)، میکروکنترلر از طریق I<sup>2</sup>C با سنسور BMP180 ارتباط برقرار می‌کند و ضرایب کالیبراسیون را از سنسور BMP180 می‌خواند این ضرایب برای محاسبه دما و فشار مورد استفاده قرار می‌گیرند [۷].
- میکروکنترلر با برقراری ارتباط از طریق I<sup>2</sup>C با سنسور MAX44009 مقدار رجیستر تنظیمات این سنسور را 0x00 تنظیم می‌کند. در این حالت سنسور در پایین ترین سطح مصرف توان خود قرار می‌گیرد و هر ۸۰۰ میلی‌ثانیه یکبار میزان شدت نور را اندازه گیری می‌کند [۸].
- با برقراری ارتباطی از طریق I<sup>2</sup>C با سنسور HMC5883L و تنظیم رجیستر تنظیمات سنسور در حالت آماده به کار و ریت نمونه برداری ۵۰ هرتز قرار می‌گیرد [۹].
- رجیسترهای تنظیمات ماژول LoRa با برقراری ارتباط از طریق SPI تنظیم شده و در حالت آماده به کار قرار می‌گیرد. فرکانس این ماژول روی ۴۳۳ مگاهرتز، توان آن روی ۲۰ dBm، ضریب بخش آن روی ۱۰ و پهنای باند آن روی ۳۱/۲ کیلوهرتز تنظیم می‌گردد (به منظور دریافت اطلاعات ارسالی در سمت ایستگاه نیز دقیقاً همین تنظیمات فرکانس، پهنای باند و ضریب پخش باید تنظیم شوند) [۱۰].
- برنامه وارد حلقه اصلی کار خود شده و دما و فشار را با استفاده از سنسور BMP180 اندازه‌گیری می‌کند.
- پس از اندازه‌گیری شدت نور با استفاده از سنسور MAX44009 [۸] و اندازه‌گیری رطوبت هوا به وسیله سنسور AHT10 [۱۱]، جهت جغرافیایی توسط سنسور QMC5883L [۹] بدست می‌آید.
- سرعت باد روی دو محور x و y با استفاده از سنسور HCSR05 و با توجه به رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود. سپس زاویه و شدت باد با توجه به سرعت باد روی هر دو محور با توجه به رابطه ۴ بدست می‌آید.
- اطلاعات جمع آوری و محاسبه شده از طریق ماژول لورا برای گیرنده سمت ایستگاه ارسال می‌شود.
- میکروکنترلر و سنسورها در حالت خواب (Sleep) قرار داده می‌شوند و پس از سه ساعت با رخ دادن آلارم میکروکنترلر از خواب بیدار شده و فرآیند دریافت و ارسال داده‌ها را تکرار می‌کند.

<sup>۱</sup>Communications Device Class

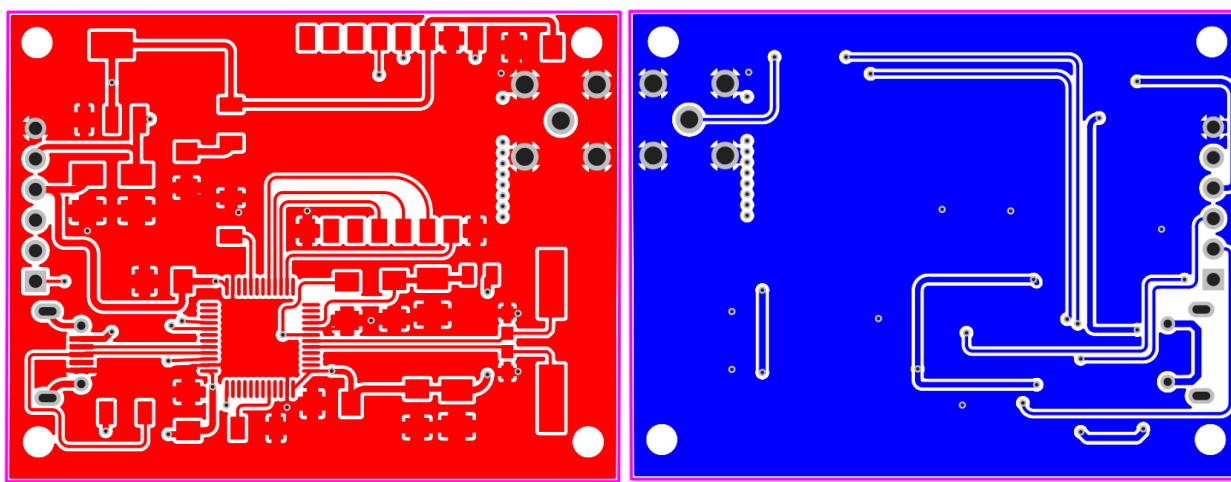
- پس از هر بار درخواستن از خواب توسط آلارم، آلارم بعدی برای سه ساعت بعد تنظیم می‌شود.
  - در سمت ایستگاه نیز فرآیند زیر اجرا می‌شود:
  - با اتصال دستگاه از طریق کابل یواس‌بی به رایانه میکروکنترلر پس از فعال سازی بخش‌های مورد نیاز، از طریق SPI با ماژول لورا ارتباط برقرار کرده و رجیسترهای تنظیمات را با اطلاعات مشابه با سمت سنسور پر می‌کند و ماژول لورا را در حالت دریافت اطلاعات بدون توقف قرار می‌دهد [۱۰].
  - میکرو به حلقه اصلی کار خود وارد شده و پس از چک کردن وجود دیتای دریافتی در ماژول لورا در صورت عدم وجود دیتا به حالت خواب رفته و تا زمان دریافت دیتا در همان حالت باقی می‌ماند.
  - با دریافت دیتا توسط ماژول لورا وقفه‌ای خارجی رخ داده و میکرو را از حالت خواب بیدار می‌کند.
  - میکرو کنترلر با برقراری ارتباط از طریق SPI با ماژول لورا دیتای دریافت شده را خوانده و پس از بررسی یکسان بودن شناسه دریافت کننده با شناسه خود آن را از طریق USB به رایانه ارسال می‌کند.
  - در صورت عدم وجود دیتاهای دیگر، میکرو کنترلر به حالت خواب رفته و تا رخ دادن وقفه بعدی، که نشان دهنده دریافت اطلاعات توسط ماژول لورا است، در همان حال باقی می‌ماند.
- برنامه دسکتاپ که با زبان Python نوشته شده است، متشکل از سه بخش Home، Charts و Log می‌باشد. در بخش Home اطلاعات آخرین دیتای دریافت شده به نمایش در می‌آید. در بخش Charts نمودارهای دیتاهای دریافتی در بازه قابل تعیین توسط کاربر به نمایش در می‌آید. تمام رخ دادهایی که در ارتباط با دستگاه رخ می‌دهد نظیر دریافت دیتا یا متصل شدن به دستگاه در تب Log با ذکر زمان لیست می‌شوند. نحوه عملکرد برنامه دسکتاپ به شرح زیر است:
- با اجرای برنامه ترد (Thread) اصلی وظیفه ترسیم رابط گرافیکی برنامه (GUI)، که با PyQt5 پیاده سازی شده است، را بر عهده می‌گیرد.
  - در همین حین ترد دیگر به کمک کتابخانه libusb مسئول بررسی وضعیت اتصال دستگاه به رایانه و دریافت اطلاعات ارسالی از دستگاه می‌شود.
  - در صورت تغییر وضعیت اتصال و یا دریافت اطلاعات، مشخصات آن در تب Log ثبت می‌شود و برای کاربر قابل مشاهده خواهد بود.
  - هنگام دریافت اطلاعات جدید از طریق یواس‌بی علاوه بر نمایش در تب اصلی برنامه، بروزرسانی تب Charts با اطلاعات جدید و ثبت رخ داد در تب Log، مشخصات کامل آن در دیتابیس SQLite در کنار فایل اجرایی برنامه نیز ذخیره می‌شود.
  - در تب Charts با انتخاب بازه زمانی، نمودارها با توجه به اطلاعات ثبت شده آن بازه زمانی در دیتابیس بروز می‌شوند.

## ۵ طراحی برد مدار چاپی

بردمدار چاپی (PCB<sup>۱</sup>) بردی است که با کانکتور و ترک‌هایی که روی آن قرار دارد قطعات را به طور الکتریکی به یکدیگر متصل می‌کند. برد مدار چاپی به طور کلی متشکل از هسته‌ای محکم معمولاً از جنس فیبرشیشه FR4 و لایه‌های مسی نازک که در یک یا دو طرف آن قرار دارند می‌شود. ترک‌ها و پدها روی لایه‌های مسی و پس از حل کردن مس سایر بخش‌ها در اسید به وجود می‌آیند. برای محافظت از تماس ناخواسته ترک‌های مسی با قطعات و ذرات رسانا و همچنین جدا نمودن محل‌های لحیم کاری از سایر بخش‌ها از برروی لایه مسی لایه‌ی سولدر ماسک (Solder mask) قرار می‌گیرد که معمولاً به رنگ سبز است.

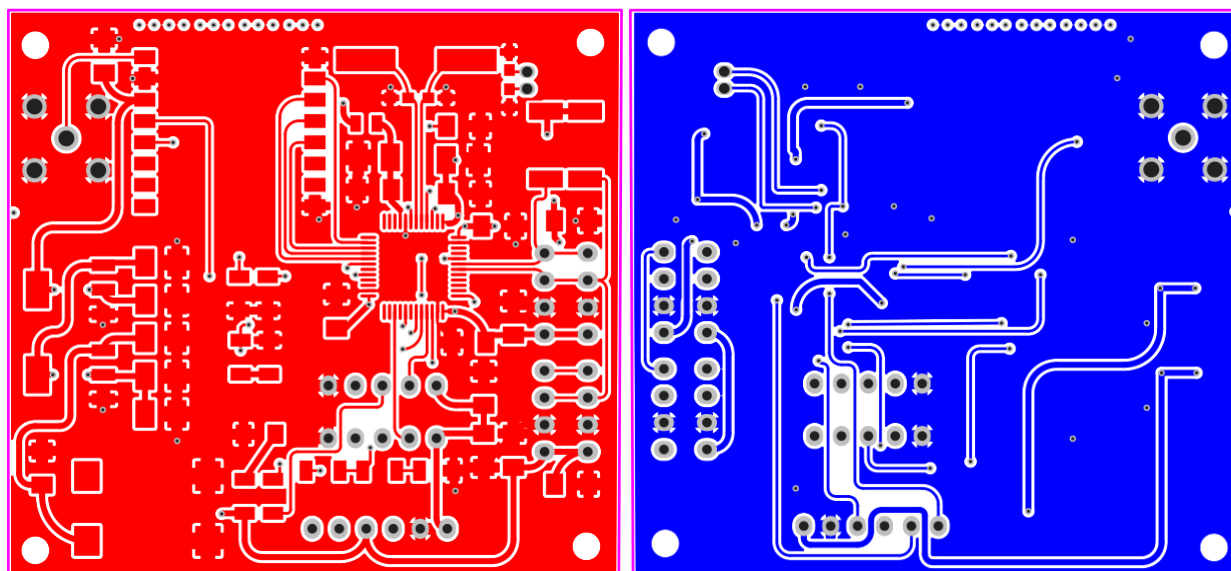
<sup>۱</sup>Printed Circuit Board

یکی از موارد مهم در مرحله طراحی برد مدارچاپی توجه به تاثیرات نویز در مدار و تلاش به کاهش اثرات آن است. نویزها می‌تواند به دو صورت الکتریکی (در اثر خاصیت خازنی بین دو هادی) و مغناطیسی (در اثر خاصیت سلفی هادی) به وجود بیایند. منابع اصلی نویز سیگنال‌های پرودیک با فرکان بالا نظیر زوج سیم‌های تفاضلی (D+ و D- موجود در USB) یا سیگنال‌های ساعت (Clock) هستند. با عبور جریان از یک هادی میدان مغناطیسی در اطراف آن به وجود می‌آید و در صورت وجود هادی‌ای دیگر در نزدیکی آن میدان تولید شده روی آن تاثیر گذاشته و باعث ایجاد جریان در هادی دوم می‌شود. همچنین وجود اختلاف پتانسیل بین دو هادی مجاور سبب ایجاد میدان الکتریکی می‌شود و تغییرات پتانسیل یک هادی روی دیگری همانند یک خازن اثر می‌گذارد. کاهش طول هادی‌ها یکی از عوامل موثر در کاهش این نوع نویزها است. استفاده از خازن‌های کوپلاژ برای میکروکنترلر [۱۲]، فیلترهای RC و LC و استفاده از Polygon (یا Pour) و انواع شیلد و محافظ‌های زمین شده، از روش‌ها کاهش انواع نویز هستند که در طراحی برد مدار چاپی باید به آن‌ها توجه کرد. بردهای این پروژه نیز مطابق با این نکات طراحی شده‌اند. تصویر برد مدارچاپی طراحی شده این پروژه در شکل آمده است.



(ب) روی برد سمت ایستگاه

(آ) پشت برد سمت ایستگاه



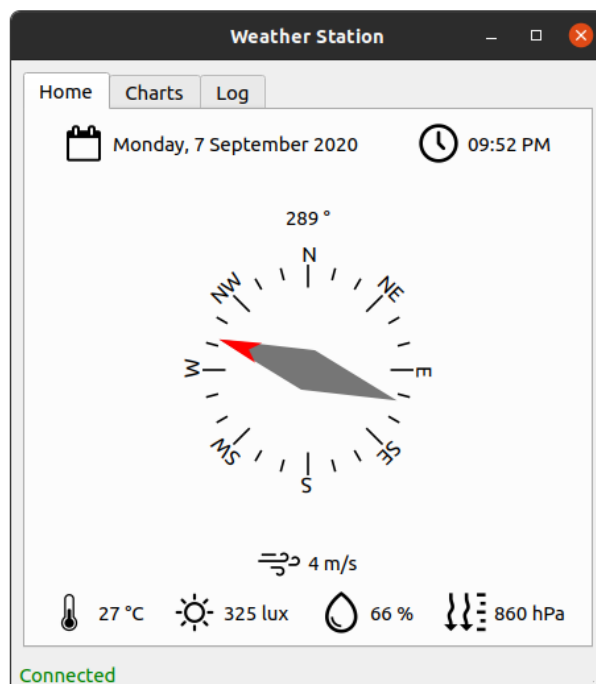
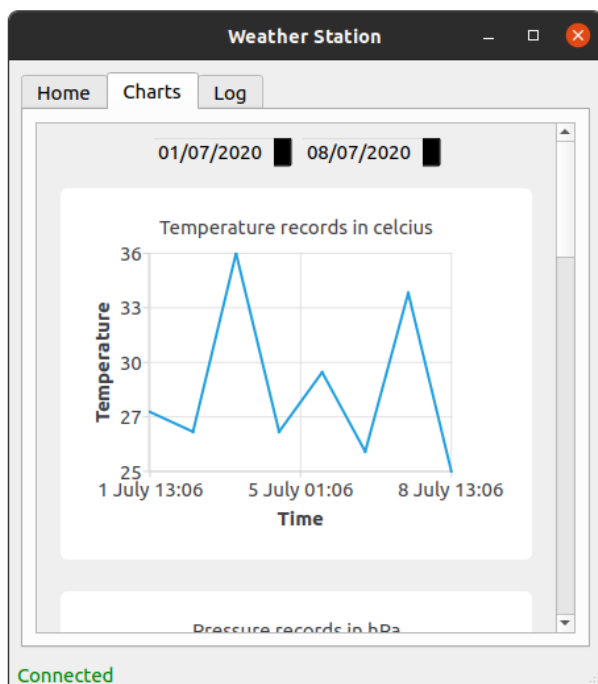
(د) روی برد سمت سنسور

(ج) پشت برد سمت سنسور

شکل ۷: تصاویر برد مدارچاپی طراحی شده برای هر دو سمت ایستگاه و سنسور.

## ۶ نتایج

خروجی اطلاعات جمع آوری و مخابره شده توسط دستگاه بر روی رایانه و به کمک برنامه ساخته شده برای این کار در سمت ایستگاه قابل مشاهده خواهد بود. جهت انجام بررسی های جزئی و ابتدایی به جهت پیش بینی وضعیت آب و هوایی بر روی دیتاهای دریافتی، میتوان از نمودار دیتاهای دریافتی که در تب Charts برنامه قابل مشاهده است استفاده نمود. همچنین مشخصات و جزئیات آخرین دیتای دریافت شده نیز در تب Home این نرم افزار قابل مشاهده است. تصاویری از محیط برنامه در شکل ۸ آمده است.



(ب) نمایش نمودارهای اطلاعات دریافت شده در تب Charts.

(آ) نمایش آخرین دیتاهای دریافتی برنامه در تب Home.

شکل ۸: تصاویر محیط برنامه دسکتاپ.

## ۷ نتیجه گیری

## مراجع

- [1] Wikipedia, "Weather station," 2020. [Online; accessed August 13, 2020].
- [2] S. Schiavon, T. Hoyt, and A. Piccioli, "Web application for thermal comfort visualization and calculation according to ASHRAE standard 55," *Building Simulation*, vol.7, pp.321–334, Dec. 2013.
- [3] P. Chandran, R. Bhakthavatchalu, and P. P. Kumar, "Time of flight measurement system for an ultrasonic anemometer," in *2016 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*, pp.734–737, 2016.
- [4] O. Cramer, "The variation of the specific heat ratio and the speed of sound in air with temperature, pressure, humidity, and co2 concentration," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol.93, no.5, pp.2510–2516, 1993.

- [5] K. Rasmussen, "Calculation methods for the physical properties of air used in the calibration of microphones," 1997.
- [6] R. S. Davis, "Equation for the determination of the density of moist air (1981/91)," *Metrologia*, vol.29, no.1, pp.67–70, 1992.
- [7] B. Sensortec, "Digital pressure sensor," *May 7th*, 2015.
- [8] M. Integrated, "Max44009 industry's lowest-power ambient light sensor with adc," *19-5719; Rev 0; 1/11*.
- [9] Honeywell, "3-axis digital compass ic hmc5883l," *Form 900405 Rev E*, 2013.
- [10] SEMTEH, "Sx1276/77/78/79 - 137 mhz to 1020 mhz low power long range transceiver," *Rev. 4*, 2015.
- [11] ASAIR, "Aht10 technical manual," *V1.1*, 2018.
- [12] STMicroelectronics, "An2586 application note," *Doc ID 13675 Rev 7*, 2011.