

دانشگاه دامغان

دانشگاه دامغان  
دانشکده فنی و مهندسی

گزارش پروژه کارشناسی  
مهندسی برق

ایستگاه هواشناسی دیجیتال

—

مهدی جمشیدی  
محمد ابراهیم طوسی

استاد راهنما  
دکتر بهزاد بقراطی

## فهرست مطالب

۱	مقدمه	۱
۱	اجزای سیستم	۲
۲	۱.۲ میکروکنترلر	۱.۲
۲	۲.۲ ارتباط بی سیم	۲.۲
۲	۳.۲ سنسورها	۳.۲
۲	۱.۳.۲ سنسور BMP180	۱.۳.۲
۲	۲.۳.۲ سنسور MAX44009	۲.۳.۲
۲	۳.۳.۲ قطب نما	۳.۳.۲
۳	۴.۳.۲ سنسور AHT10	۴.۳.۲
۳	۵.۳.۲ سنجش شدت و جهت باد	۵.۳.۲

## 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

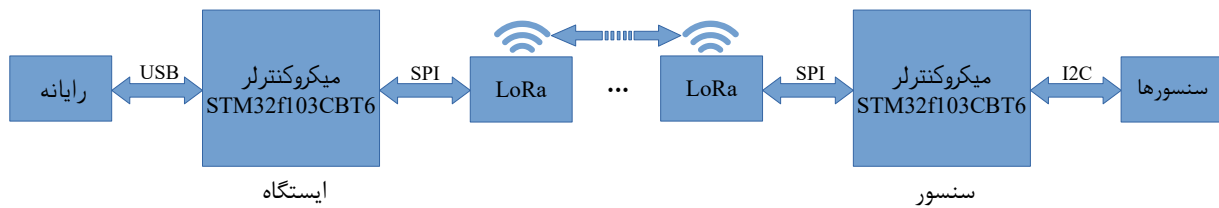
ایستگاه های پیشرفته تر همچنین ممکن است شاخص فرابنفش، رطوبت برگ، رطوبت خاک، دمای خاک، دمای آب در حوضچه ها، دریاچه ها، نهرها یا رودخانه ها و گاهی داده های دیگر را اندازه گیری کنند. به جز دستگاه هایی که نیازمند تماس مستقیم با عناصر مورد اندازه گیری هستند (نظیر بادسنج)، دیگر سنسورها و دستگاه ها باید در محفظه 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 مازول لورا (LoRa) با چیپ SX1278 به منظور برقراری ارتباط بی سیم استفاده می شود.

## 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 I2C، ۲ عدد SPI، اینترفیس USB و ۳ عدد تایمر ۱۶ بیتی نیاز به حداقل ۱ عدد I2C (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 پنل خورشیدی را ممکن می‌سازد.

## ۲.۲ ارتباط بی‌سیم

به طور کلی در این سیستم مصرف پایین انرژی به دلیل استفاده از سیستم باتری و پنل خورشیدی بسیار اهمیت دارد. استفاده از شبکه تلفن همراه<sup>۱</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 ماژول‌های لورا<sup>۲</sup> به لطف مدولاسیون CSS<sup>۳</sup> که از آن بهره‌مندی برای مصرف توان پایین، ناحیه پوشش وسیع و نفوذپذیری مناسبی هستند که کاملاً با نیازهای ما سازگار است. ماژول LoRa Ra-02 با تراشه Sx1278 دارای رنج فرکانسی ۴۱۰ تا ۵۲۵ مگاهرتز، و توان انتقالی ماکسیموم ۱۸ dBm است و از مدولاسیون‌های LoRa، FSK و OOK پشتیبانی می‌کند. برای ارتباط بی‌سیم در این سیستم از این ماژول استفاده شده است.

## ۳.۲ سنسورها

### ۱.۳.۲ سنسور BMP180

### ۲.۳.۲ سنسور MAX44009

### ۳.۳.۲ قطب‌نما

از آنجایی که این دستگاه در سمت سنسور معمولاً در ارتفاع ۱۰ 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 ۱۰۰ 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 I2C است.

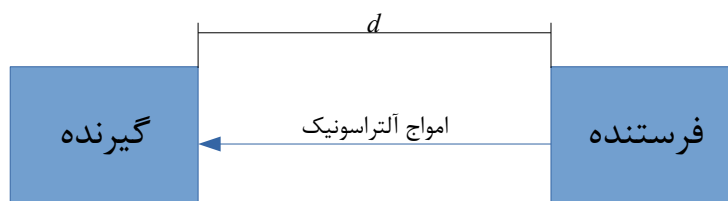
<sup>1</sup>The Global System for Mobile Communications (GSM)

<sup>2</sup>LoRa

<sup>3</sup>Chirp Spread Spectrum

روش‌های مختلفی برای سنجش شدت باد استفاده می‌شود که عمدتاً در این کاربرد دو روش سنجش مکانیکی و آلتراسونیک مورد 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 وزش باد در جهت وزش قرار می‌گیرد و دیگری دارای پره‌هایی است که با وزش باد پره‌ها همانند پره‌های توربین به حدکت 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  $d$  با داشتن فاصله  $d$  و زمان تاخیر بین ارسال موج صوتی در فرستنده و دریافت آن در گیرنده  $t$  قابل اندازه‌گیری است.

$$v = \frac{d}{t} \quad (۱)$$

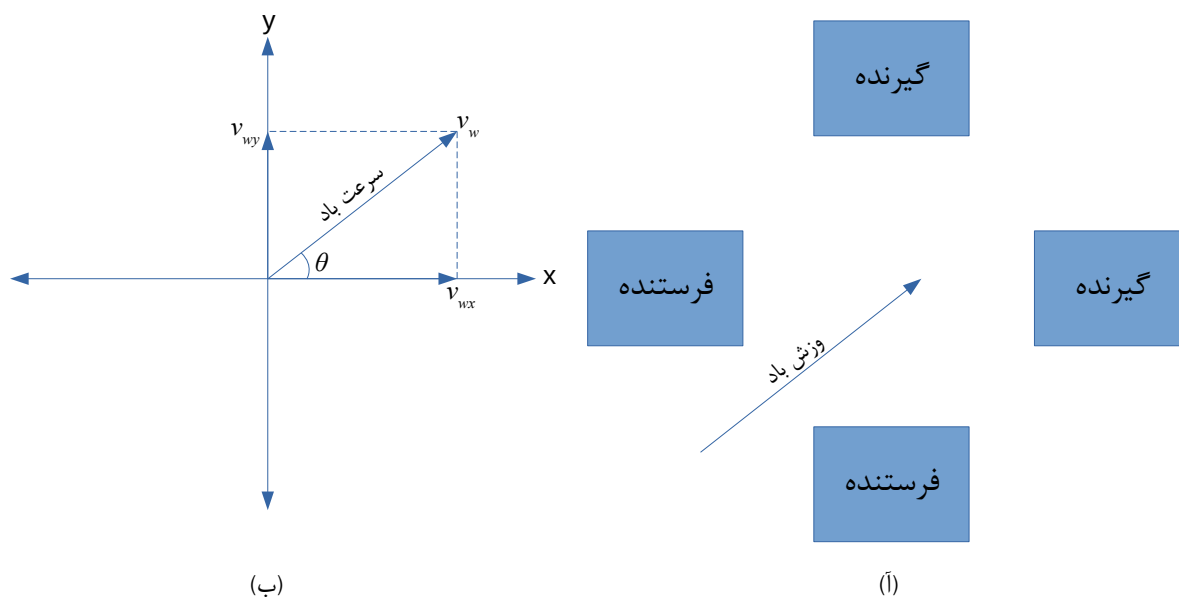
سرعت  $v$  بدست آمده از این رابطه مطابق رابطه ۲ متشکل از سرعت صوت  $v_s$  و سرعت باد  $v_{wx}$  است [۲].

$$v = v_s + v_{wx} \quad (۲)$$

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.



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	$a_{15}$

اگر نحوه قرار گیری فرستنده و گیرنده‌ها مطابق شکل ۳ باشد در این صورت صفحه مختصات متناظر با آن مطابق شکل ۳ ب خواهد بود. اندازه  $v_w$  و زاویه  $\theta$  بردار سرعت باد از طریق روابط ۴ بدست می‌آیند.

$$v_w = \sqrt{v_{wx}^2 + v_{wy}^2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{v_{wy}}{v_{wx}} \right) \quad (4)$$

سرعت صوت  $v_s$  به عنوان تابعی از دما، فشار و کسر مولی رطوب و کربن دی اکسید، با استفاده از رابطه ۵ قابل محاسبه است

[۳]. ثوابت  $a_1$  تا  $a_{15}$  در جدول ۱ آمده اند.

$$\begin{aligned} v_s(\tau, p, x_w, x_c) = & a_0 + a_1\tau + a_2\tau^2 + (a_3 + a_4\tau + a_5\tau^2)x_w \\ & + (a_6 + a_7\tau + a_8\tau^2)p + (a_9 + a_{10}\tau + a_{11}\tau^2)x_c \\ & + a_{12}x_w^2 + a_{13}p^2 + a_{14}x_c^2 + a_{15}x_wpx_c \end{aligned} \quad (5)$$

که  $\tau$  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 دی اکسید در هوا است.  $x_c$  را ثابت و برابر  $400 \times 10^{-6}$  در نظر می گیریم. کسر مولی بخار آب در هوا  $x_w$  از رابطه ۶ بدست می آید [۴].

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

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 می شوند [۵].

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

$$\begin{aligned} p_{sv} = \exp & (1.2811805 \times 10^{-5}T^2 - 1.9509874 \times 10^{-2}T \\ & + 34.04926034 - 6.3536311 \times 10^3/T) \end{aligned} \quad (8)$$

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

$$T = \tau + 273.15 \quad (9)$$

## مراجع

- [1] Wikipedia, "Weather station," 2020. [Online; accessed August 13, 2020].
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] K. Rasmussen, "Calculation methods for the physical properties of air used in the calibration of microphones," 1997.
- [5] R. S. Davis, "Equation for the determination of the density of moist air (1981/91)," *Metrologia*, vol.29, no.1, pp.67–70, 1992.