

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	۲
۲	۲.۲ ارتباط بی سیم	۲
۲	۳.۲ سنسورها	۳
۲	۱.۳.۲ سنسور BMP180	۲
۲	۲.۳.۲ سنسور MAX44009	۲
۲	۳.۳.۲ سنسور QMC5883L	۲
۲	۴.۳.۲ سنسور AHT10	۲
۲	۵.۳.۲ سنجش شدت و جهت باد	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

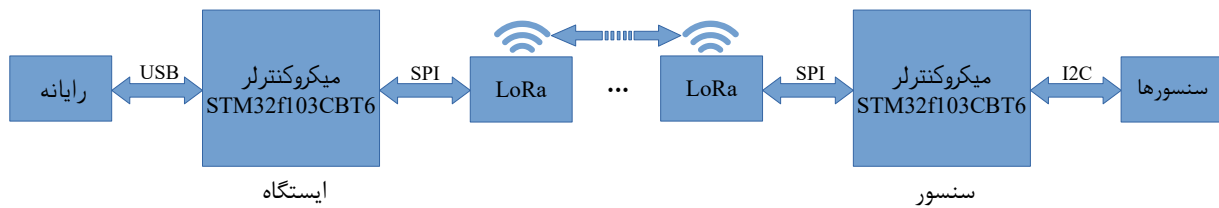
ایستگاه های پیشرفته تر همچنین ممکن است شاخص فرابنفش، رطوبت برگ، رطوبت خاک، دمای خاک، دمای آب در حوضچه ها، دریاچه ها، نهرها یا رودخانه ها و گاهی داده های دیگر را اندازه گیری کنند. به جز دستگاه هایی که نیازمند تماس مستقیم با عناصر مورد اندازه گیری هستند (نظیر بادسنج)، دیگر سنسورها و دستگاه ها باید در محفظه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

## ۲.۲ ارتباط بی سیم

### ۳.۲ سنسورها

۱.۳.۲ سنسور BMP180

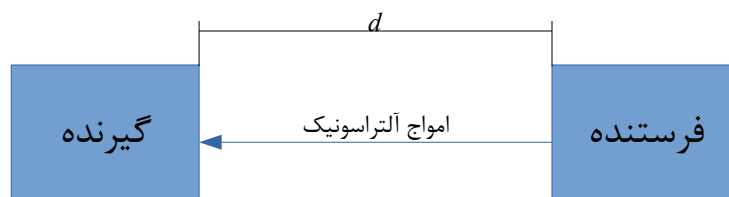
۲.۳.۲ سنسور MAX44009

۳.۳.۲ سنسور QMC5883L

۴.۳.۲ سنسور AHT10

### ۵.۳.۲ سنجش شدت و جهت باد

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 وزرش 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 اندازه گیری 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 می کند. فاصله زمانی بین ارسال امواج صوتی از فرستنده و دریافت این امواج در گیرنده اندازه گیری می شود. 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 اندازه گیری است.

$$v = \frac{d}{t} \quad (۱)$$

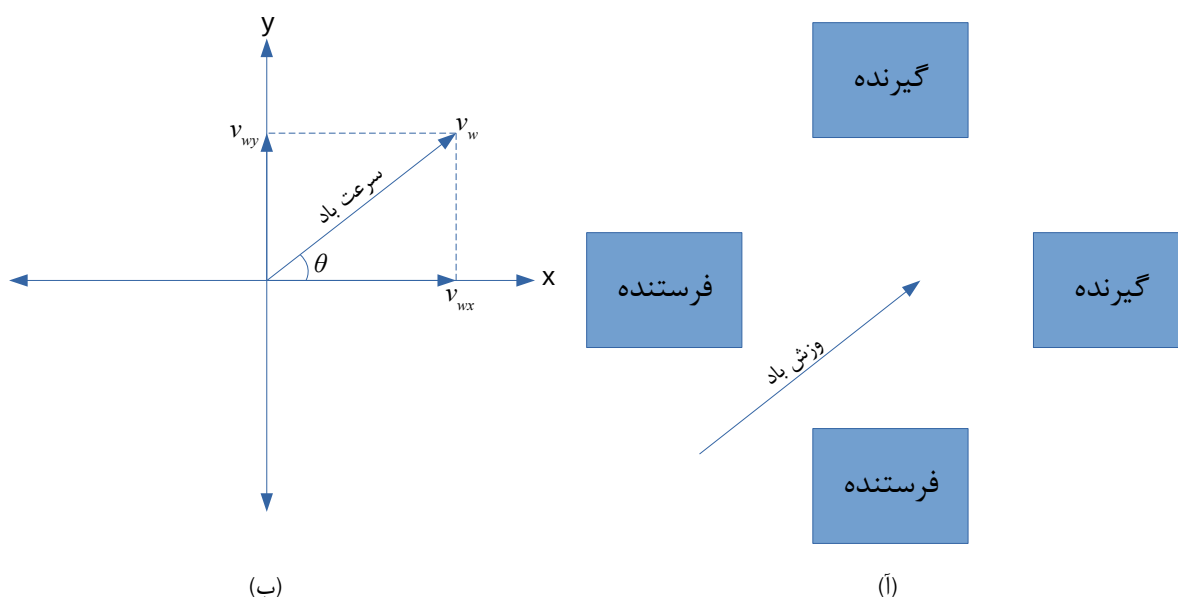
سرعت  $v$  بدست آمده از این رابطه مطابق رابطه ۲ متشکل از سرعت صوت  $v_s$  و سرعت باد  $v_{wx}$  است [۳].

$$v = v_s + v_{wx} \quad (۲)$$

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 می یابد (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 می یابد (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 می توان 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 آن ها.

اگر نحوه قرار گیری فرستنده و گیرنده ها 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 می آیند.

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

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{v_{wy}}{v_{wx}} \right) \quad (۴)$$

جدول ۱: ضرایب محاسبه سرعت صوت (فرمول ۵)

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

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

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

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 [۵].

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

که  $h$  درصد رطوب هوا،  $p_{sv}$  فشار اشباع بخار آب در هوا و  $f$  ضریب تقویت است و از طریق روابط ۷ و ۸ محاسبه می شوند [۶].

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

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

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

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

- [1] Wikipedia, “Weather station,” 2020. [Online; accessed August 13, 2020].
- [2] Mammadtri, “wind meter,” 2018. [Online; accessed August 10, 2020].
- [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.