Iranian Journal of Biosystem Engineering ISNN: 2423-7841
Homepage: http://ijbse.ut.ac.ir

Design and development of a machine olfaction with the capability of remote information transmission for food industry applications

Mahdi Ghasemi- Varnamkhasti[1], Zahra Izadi[2]✉
1.Corresponding Author, Mechanical Engineering of Biosystems Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: ghasemymahdi@gmail.com
2. Mechanical Engineering of Biosystems Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: z.zahraizadi@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Nov. 5, 2024

Revised: Jan. 11, 2024

Accepted: Feb. 2, 2024

Published online: Autumn 2024

Keywords:
Machine olfaction,
Milk,
Gas sensors,
Signal processing

ABSTRACT

Odor fingerprinting technology with machine olfaction is one of the new methods that has attracted the attention of researchers in the field of food quality inspection, and it includes an array of selective sensors connected to a pattern recognition program. Providing the ability to transmit information remotely with a wireless machine olfaction can be of great help in using this system on the Internet of Things (IoT) platform. In this research, the design and development stages of the electronic nose system with the ability to connect wirelessly with the computer have been described. ESP32 board was used for this device. ESP32 is a low-cost and low-power microcontroller board of the SoC chip type. This type of chip is a type of integrated circuit that integrates several components of a computer or electronic system into a single chip. These components typically include the processor, memory, I/O interfaces, and other features such as graphics processing and networking capabilities. In the written program, receiving data from sensors is done with the I2C communication protocol. The voltage of the sensors is calculated and converted to digital values by the ADS1115 analog-to-digital converter. Finally, in order to test the built device, formalin adulteration was used in milk, and the device showed a good performance in transmitting information. The voltage response of the sensors to the change in the odor pattern in the samples was measured for three groups of milk (pure milk and milk samples adulterated with formalin at volume percentages of 0.1 and 1 g/100 cc) and finally the response of the sensor array for all samples was recorded and stored. The sensor (TGS822) showed the highest loading coefficient in separating samples containing formalin, followed by the sensors (MQ135) and (MQ7) which had a significant effect in separating the samples.

Cite this article: Ghasemi-Varnamkhasti, M., Izadi, Z., (2024) Design and development of a machine olfaction with the capability of remote information transmission for food industry applications, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 55 (3), 33-47. https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.384914.665573
© The Author(s).
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.384914.665573

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Checking food quality is an important issue in today's food industry, and various researches have been conducted in this regard. Due to the fact that food products are of general use and have many customers, this importance is doubled. The machine olfaction is one of these tools in checking the quality of food. Many of the devices and methods currently in use are located at a fixed location, meaning that the sample must be specifically transported from the production environment or factory to the laboratory location. Therefore, it is necessary to build a portable device that can transmit information wirelessly to overcome these problems and eliminate the unnecessary costs of testing. These items can help monitor food quality more closely.

Materials and methods

The printed circuit board was designed in Proteus software. In this board, a 5V line was used to feed the sensors' heater and a 3.3V line was used to obtain the signals. In this device, two ADS1115 modules and one sht20 temperature and humidity sensor that use the I2C protocol are used at the same time. For this purpose, each of the two adc modules must have a specific address to communicate with the main board. In the written program, receiving data from sensors is done with the I2C communication protocol. The voltage of the sensors is calculated and converted into digital values by the ADS1115 analog-to-digital converter. These converters send data to the ESP32 board through two SCL and SDA lines, and the central board receives the data and processes it to be sent by Wi-Fi.

Results and discussion

The process of measuring the odor and receiving the signal of the gas sensors was timed in three stages: baseline correction, gas injection of the space above the milk sample into the sensor chamber, and cleaning the sensor chamber. At first, oxygen gas was transferred to the sensor chamber for 125 seconds, and at the end of this time, the output signal of all sensors was considered as the base signal. Linear discriminant analysis was used in order to investigate the differentiation between pure milk and formalin adulterated groups. This method is similar to PCA as a feature reduction method that determines the upper plane with a smaller dimension and on which points with higher dimensions are imaged.

conclusion

For LDA methods, two main components and second order method were used. The LDA method has the ability to distinguish pure milk from adulterated formalin samples with different percentages with an accuracy of 83%. The tests performed on milk samples containing adulterated formalin showed the quality of the system's information transmission and the positive performance of the device. The evaluation of the wireless smell machine device for food products will be further elaborated in future research.

Credit authorship contribution statement

Mahdi Ghasemi-Varnamkhasti: Writing – Supervision, Original draft, Methodology.

Zahra Izadi: Methodology, Experiments design, and Resources.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors. All the data used in this original research are presented throughout the text and in the form of Tables and Figures.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

This research has received the financial supports from the Institute of Standards and Industrial Research of Iran (Chaharmahal and Bakhtiari branch).

Acknowledgments

The authors extend their sincere appreciation to the Institute of Standards and Industrial Research of Iran (Chaharmahal and Bakhtiari branch) and Shahrekord University. Also, the authors thank to Mr. Mohammad Hossein Shams, Daryush Valipour, Amir Hossein Mohammadi, Mohammad Rasoul Amini and Mrs. Mahsa Edris for the cooperation in this project.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

مجله مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۵۵، شماره ۳ شاپا: ۷۸۴۱-۲۴۲۳
Homepage: http://ijbse.ut.ac.ir

طراحی و ساخت ماشین بویایی با قابلیت انتقال اطلاعات از دور برای کاردبردهای صنایع غذایی

مهدی قاسمی ورنامخواستی [۱]، زهرا ایزدی [۲]✉
۱. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران ghasemymahdi@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران z.zahraizadi@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۸/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۴
تاریخ انتشار: پاییز ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:
ماشین بویایی،
ثسیر،
حسگرهای گازی،
پردازش سیگنال

چکیده

فناوری اثرگیری بو با ماشین بویایی از روش¬های جدیدی است که در زمینه بررسی کیفی مواد غذایی بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است و شامل آرایه¬ای از حسگرهای انتخابی متصل به برنامه تشخیص الگو است. ایجاد قابلیت انتقال اطلاعات از راه دور با ماشین بویایی بی سیم می‌تواند در بکارگیری این سامانه بر بستر اینترنت اشیا کمک شایانی نماید. در این تحقیق مراحل طراحی و ساخت سامانه بینی الکترونیک با قابلیت اتصال بیسیم با رایانه تشریح شده است. برای این دستگاه از برد ESP32 استفاده گردید. ESP32 نوعی مدار مجتمع است که چندین جزء از یک کامپیوتر یا سیستم الکترونیکی را در یک تراشه ادغام می‌کند. این اجزا معمولاً شامل پردازنده، حافظه، رابط‌های ورودی/خروجی و سایر ویژگی‌ها مانند پردازش گرافیکی و قابلیت‌های شبکه می‌باشند. در برنامه نوشته شده دریافت داده‌ها از سنسورها با پروتکل ارتباطی I2C انجام می‌گیرد. ولتاژ سنسورها توسط مبدل آنالوگ به دیجیتال ADS1115 محاسبه و به مقادیر دیجیتال تبدیل می‌شوند. در نهایت به منظور آزمون دستگاه ساخته شده، از تقلب فرمالین در شیر استفاده شد که دستگاه عملکرد ۸۳ درصد در انتقال اطلاعات را نشان داد. پاسخ ولتاژی حسگرها به تغییر الگوی بو در نمونه‌ها برای سه گروه شیر (شیر خالص و نمونه‌های شیر با تقلب فرمالین با درصدهای حجمی ۰/۱ و ۱ گرم در ۱۰۰ سی‌سی) اندازه‌گیری شد و نهایتاً پاسخ آرایه حسگری برای همه نمونه‌ها ثبت و ذخیره‌سازی شد. حسگر (TGS822) بیشترین ضریب لودینگ را تفکیک نمونه‌های حاوی فرمالین نشان دارد و در ادامه سنسورهای (MQ135) و (MQ7) تأثیر به‌سزایی در تفکیک نمونه‌ها داشتند.

استناد: قاسمی ورناخواستی؛ مهدی، ایزدی؛ زهرا، (۱۴۰۳) طراحی و ساخت ماشین بویایی با قابلیت انتقال اطلاعات از دور برای کاردبردهای صنایع غذایی، *مجله مهندسی بیوسیستم ایران*، ۵۵ (۳)، ۴۷-۳۳. https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.384914.665573

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.384914.665573

مقدمه

بررسی کیفیت مواد غذایی یک موضوع مهم در صنعت امروز غذا است و پژوهش‌های مختلفی نیز در این رابطه انجام شده است. به دلیل اینکه مواد غذایی دارای کاربرد عمومی هستند و مشتری زیادی دارند، این اهمیت دو چندان می‌شود. امروزه روش‌های مختلفی برای ارزیابی کیفیت مواد غذایی قبل از مصرف وجود دارد که از آن جمله می‌توان به انواع روش‌های فیزیکی–شیمیایی آزمایشگاهی اشاره کرد. این روش‌ها که از جمله روش‌های مخرب می‌باشند معمولاً وقت‌گیر و متعدد بوده و به دلیل نیاز به افراد خبره و مکان ثابت آزمایشگاهی هزینه‌بر نیز هستند و برای کاربردهای نظارتی در محل، مناسب نیستند (Das et al., 2015). آنالیز گازهای فرار متصاعد از مواد غذایی مانند کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا، کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی و طیف‌سنجی رامان ازجمله روش‌های نوین برای کنترل کیفیت مواد غذایی هستند. این ابزارها می‌توانند وجود کم‌ترین مقادیر مواد شیمیایی فرار را در نمونه‌های مواد غذایی شناسایی کنند. اگرچه این روش‌ها بسیار دقیق هستند ولی هزینه‌بر، وقت‌گیر و مخرب می‌باشند و نیاز به کارشناس متخصص دارند (Xu et al., 2025; Tan et al., 2025).

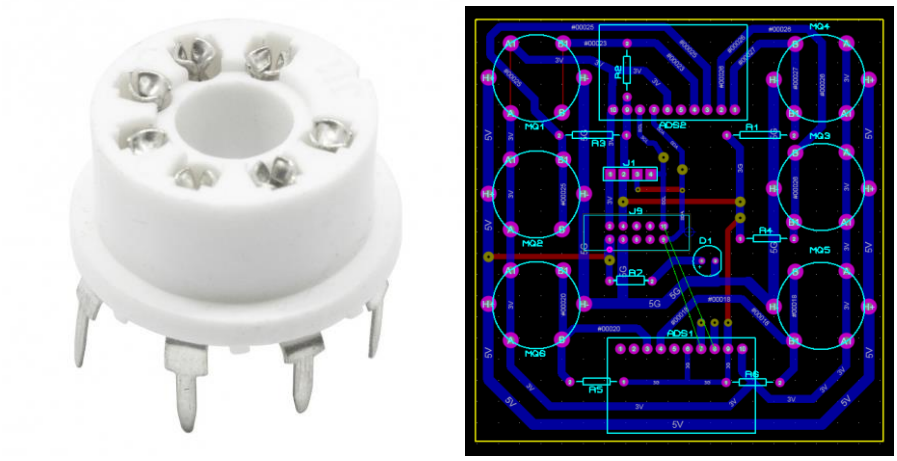
در دهه‌ی اخیر استفاده از حسگرهایی که بتواند کیفیت مواد غذایی را تعیین کند به عنوان یکی از زمینه‌های تحقیقاتی جذاب برای محققین بوده و سیستم ماشین بویایی در واقع یکی از این ابزارها است. سیستم ماشین بویایی متشکل از مجموعه‌ای از حسگرهای غیر ویژه است که به‌نوعی کار سیستم بویایی انسان را شبیه‌سازی و بوهای پیچیده را شناسایی می‌نماید (Loutfi et al., 2015, Wilson & Baietto, 2009). این سامانه در بسیاری از منابع تحت عنوان بینی الکترونیک شناخته می‌شود، ولی به دلیل ماهیت پیچیده سیستم بویایی انسان بعضی محققین کاربرد واژه بینی الکترونیک را در مورد این سیستم‌ها نامناسب دانسته‌اند. با این وجود هم‌چنان عبارت بینی الکترونیک متداول‌ترین نام برای این دستگاه‌ها است (Ghasemi-Varnamkhasti, et al., 2009).

بسیاری از دستگاه‌ها و روش‌هایی که اکنون استفاده می‌شود در یک مکان ثابت مستقر هستند، یعنی نمونه باید مشخصاً از محیط تولید یا کارخانه به محل آزمایشگاه منتقل گردد. لذا ساخت دستگاهی قابل حمل و نقل که بتواند اطلاعات را به صورت وایرلس (بی‌سیم) منتقل کند برای غلبه بر این مشکلات و حذف هزینه‌های زاید آزمایش، ضرورت دارد. این موارد می‌تواند به نظارت دقیق‌تر بر کیفیت مواد غذایی کمک کند. در این تحقیق مراحل طراحی و ساخت سامانه ماشین بویایی با انتقال اطلاعات به صورت وایرلس تشریح می شود. یکی از ضرورت‌ها و نوآوری‌های تحقیق حاضر، توجه به مقوله ایجاد زیرساخت برای فناوری های مبتنی بر اینترنت اشیاء می باشد. اینترنت اشیا (IoT)نقش مهمی در نظارت بر کیفیت تولید ایفا می‌کند (Dadhaneeya et al., 2023). با استفاده از حسگرها و دستگاه‌های متصل، شرکت‌ها می‌توانند به‌صورت بلادرنگ اطلاعات مربوط به فرآیندهای تولید را جمع‌آوری و تحلیل کنند (Kumar et al., 2022). اینترنت اشیا (IoT) به شبکه‌ای از دستگاه‌ها و حسگرها اطلاق می‌شود که به‌صورت بی‌سیم به یکدیگر متصل شده و داده‌ها را جمع‌آوری و تبادل می‌کنند. حسگرها معمولاً از پروتکل‌های بی‌سیم مانند Wi-Fi ، بلوتوث، Zigbee یا LoRaWAN برای ارسال داده‌ها به سایر دستگاه‌ها یا سرورها استفاده می‌کنند. این اتصال بی‌سیم به آن‌ها اجازه می‌دهد تا بدون نیاز به کابل و در مکان‌های دور از هم داده‌ها را منتقل کنند. به طور کلی، اینترنت اشیا با حسگرهای بی‌سیم امکان جمع‌آوری، انتقال و پردازش داده‌ها را فراهم می‌کند که منجر به افزایش کارایی و بهبود کیفیت تولید در صنعت غذا می شود.

مواد و روش ها

برد مدار چاپی سنسورها

برد مدار چاپی در نرم افزار پروتئوس (Proteus, Labcenter Electronics Co., UK) طراحی گردید. در این برد یک خط ۵ ولت برای تغذیه گرمکن سنسورها و یک خط ۳/۳ ولت برای به‌دست آوردن سیگنال‌ها در نظر گرفته شد. شش عدد سنسور با استفاده از سوکت های شش پایه مخصوص سنسورهای گازی بر روی برد نصب گردید که این امکان فراهم گردد تا در صورت نیاز، سنسورها به راحتی تعویض شوند. ماژول‌های مبدل آنالوگ به دیجیتال در دو طرف برد قرار گرفته که به ماژول اول چهار عدد سنسور و پایه addr (به آدرس حافظه یا موقعیت داده‌ها در برنامه‌نویسی و میکروکنترلرها اشاره دارد) آن به پایانه مثبت تغذیه متصل و ماژول دیگر دو سنسور و پایه addr به زمین مدار متصل گردید. داده‌ها در هر دو ماژول با یک زوج سیم به برد اصلی منتقل شدند. شکل ۱ محیط PCB (بخشی از نرم‌افزارهای طراحی مدار است که برای طراحی و مسیریابی برد مدار چاپی استفاده می‌شود) برد در نرم‌افزار پروتئوس و سوکت های سنسور گازی استفاده شده در دستگاه نمایش داده شده است.



ب الف

شکل ۱- (الف) طرح PCB برد مدار چاپی و (ب) سوکت سنسورهای گازی

پروتکل I2C[1]

پروتکل I2C، پروتکلی است که برای ارتباط چندین مدار مجتمع (چیپ) دیجیتال–دستگاه تابع (slave) با یک یا چند چیپ دستگاه کنترل کننده یا اصلی (master) طراحی شده است. پروتکل ارتباطی I2C از یک سلسله مراتب master/slave پیروی می‌کند که در آن master به عنوان دستگاهی تعریف می‌شود که کلاک یا ساعت بأس را راه اندازی می‌کند، به slave ها آدرس می‌دهد و داده‌ها را از داخل و خارج از ثبات‌ها می‌نویسد یا می‌خواند. slave ها دستگاه‌هایی هستند که فقط در صورت درخواست دستگاه master، از طریق آدرس منحصر به فرد خود پاسخ می‌دهند. از مزایای این این پروتکل ارتباطی امکان اتصال تعداد زیاد سنسور یا دستگاه slave به یک یا چند دستگاه master با استفاده از فقط دو خط ارتباطی هست. این پروتکل یکی از متداول‌ترین روش ارتباط در الکترونیک است که تعداد زیادی از ماژول‌ها، سنسورها و قطعات الکترونیکی از آن استفاده می‌کنند.

در این دستگاه همزمان از دو ماژول ADS1115 و یک سنسور دما رطوبت sht20 که از پروتکل I2C استفاده می‌کنند استفاده می‌شود. برای این منظور هر یک از دو ماژول adc باید برای ارتباط با برد اصلی یک آدرس مشخص داشته باشند. به صورت پیش فرض برای دیوایس‌ها و یا سنسورهای متفاوت آدرس‌های مشخصی استفاده می‌شود، ولی برای استفاده از یک ماژول باید این آدرس‌ها متفاوت شود تا برد دریافت کننده توان ارسال و دریافت اطلاعات را داشته باشد. در ماژول ADS1115 با استفاده از پایه addr می‌توان برای هر یک از ماژول‌ها آدرس مشخصی ایجاد نمود و این امکان وجود دارد تا چهار عدد از این ماژول‌ها را با استفاده از یک پروتکل به برد متصل نمود. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود با تغییر اتصال این پایه می‌توان چهار آدرس برای ماژول تعیین کرد. در این دستگاه از اتصال این پایه با زمین و مثبت تغذیه دو آدرس متمایز ایجاد شده و شش سیگنال آنالوگ که از سنسورها دریافت شده را به دیجیتال تبدیل و اطلاعات سیگنال‌ها را ارسال می نماید.

توسعه برد ESP32

برای این دستگاه از برد ESP32 استفاده گردید. ESP32، یک برد کم‌هزینه و کم‌مصرف روی میکروکنترلر از نوع تراشه‌ای SoC[2] است این نوع از تراشه‌ها، نوعی مدار مجتمع است که چندین جزء از یک کامپیوتر یا سیستم الکترونیکی را در یک تراشه ادغام می‌کند. این اجزا معمولاً شامل پردازنده، حافظه، رابط‌های ورودی/خروجی و سایر ویژگی‌ها مانند پردازش گرافیکی و قابلیت‌های شبکه می‌باشند.

این برد قابلیت‌های Wi-Fi و بلوتوث را ادغام می‌کند که توسط شرکت Espressif Systems (کشور چین) توسعه یافته و جانشین میکروکنترلر ESP8266 است. ESP32 مبتنی بر یک پردازنده‌ی دو هسته‌ای ۳۲ بیتی Xtensa LX6 است که می‌تواند تا ۲۴۰ مگاهرتز کلاک داشته باشد. همچنین دارای حداکثر ۵۲۰ کیلوبایت SRAM و ۴ مگابایت حافظه فلش برای ذخیره کد و اطلاعات است. علاوه بر این، طیف وسیعی از تجهیزات جانبی مانند SPI، I2C، UART، PWM، ADC، DAC و غیره را شامل می‌شود. یکی از مزایای کلیدی ESP32 قابلیت وای فای داخلی و بلوتوث آن است که به آن اجازه می‌دهد به راحتی به دستگاه‌های دیگر و اینترنت متصل شود. از انواع

1 Inter-Integrated Circuit
2 System on Chip

پروتکل‌های بی سیم برای Wi-Fi b/g/n802.11 پشتیبانی می‌کند.

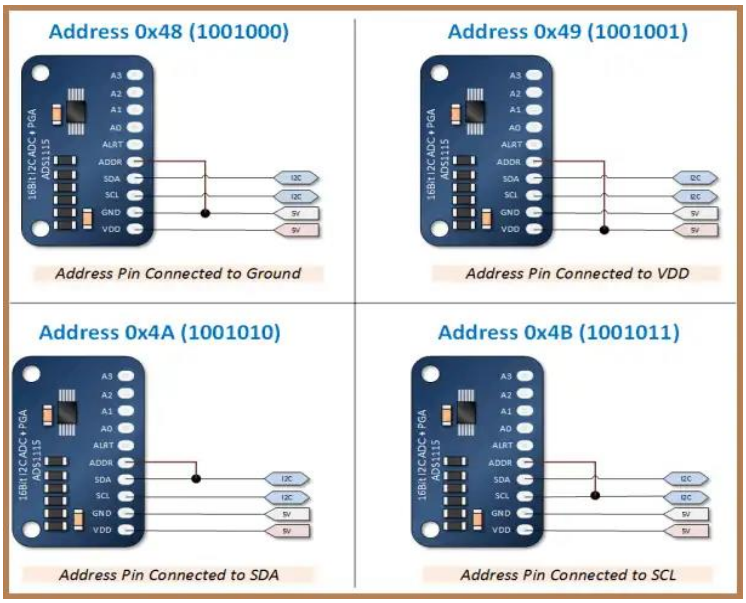
برای تراشه ی ESP32 بردهای توسعه متفاوت و مدل‌های گوناگون تولید شده است که می‌توان از معروف‌ترین آن‌ها به موارد زیر اشاره کرد.

۱- ESP32-WROOM32: این ماژول شامل اتصال Wi-Fi و بلوتوث است اندازه کوچک دارد و به دلیل مصرف انرژی پایین آن محبوب است.

۲- ESP32-DevKitC: این برد توسعه مبتنی بر ماژول ESP32-WROOM32 است که شامل یک مبدل USB به سریال، یک کانکتور Micro-USB و یک دکمه تنظیم مجدد (Reset) است.

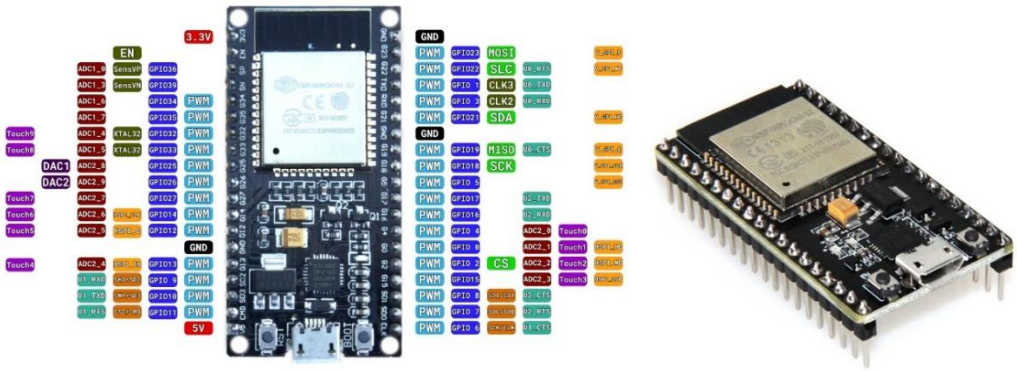
۳- ESP32-PICO-KIT: این برد توسعه، مبتنی بر ماژول ESP32-WROVER است که امکان اتصال یک صفحه نمایش TFT، یک اسلات کارت SD و یک کدک صوتی است.

۴- ESP32-LyraT: این برد توسعه که برای برنامه‌های صوتی طراحی شده است و شامل یک کدک صوتی داخلی، یک میکروفون و یک بلندگو است.



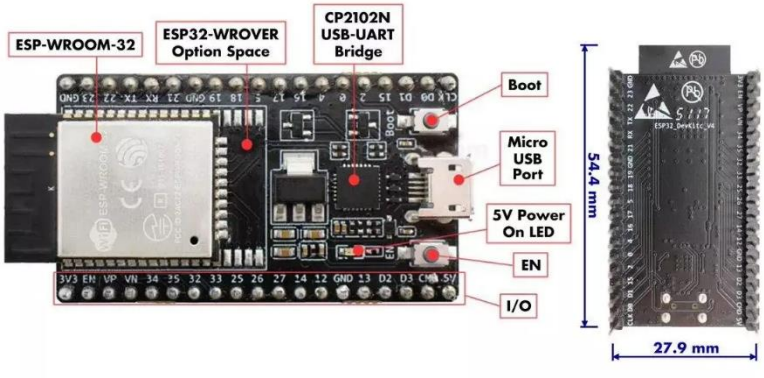
شکل ۲-۰ تعیین آدرس ماژول ADS1115

مدل‌های زیادی از این برد توسعه برای کاربردهای گوناگون طراحی گردیده که در این دستگاه از برد توسعه ESP32-WROOM32 استفاده گردید. این برد در دو نوع ۳۰ پایه و ۳۸ در بازار موجود می‌باشد. با توجه به یکسان بودن میکروکنترلر در هر دو نوع ذکر شده تفاوت زیادی بین این دو نمی‌باشد. در شکل ۳ برد ESP32-WROOM32 که دارای ۳۸ پایه است با نشان دادن نوع و کاربرد هر پایه نمایش داده شده است.



شکل ۳- برد ESP32 مورد استفاده در سامانه ماشین بویایی بی سیم

تراشه اصلی ESP32-D0WD، مبدل USB به سریال داخلی CP2102، ولتاژ تغذیه ۵ ولت، متوسط جریان مصرفی ۸۰ میلی‌آمپر، نرخ انتقال داده ۱۵۰ مگابیت بر ثانیه، محدوده فرکانس کاری ۸۰ الی ۲۴۰ مگاهرتز، حافظه فلش ۴ مگابایت، محدوده دمای کاری ۴۰- الی ۸۵ درجه سلسیوس، پشتیبانی از پروتکل‌های ارتباطی SD card, UART, SPI, SDIO, I2C, PWM, I2S, IR, pulse counter, GPIO, capacitive touch sensor, ADC, DAC، دارای وای فای و بلوتوث و دارای پورت microUSB می‌باشد. در شکل ۴ ابعاد و قرار گیری قطعات سخت‌افزاری بر روی این برد، نشان داده شده است.



شکل ۴- ابعاد و قسمت‌های سخت افزاری برد ESP32 در سامانه ماشین بویایی بی سیم

برای راه اندازی برد ESP32 به دو صورت می‌توان اقدام کرد. روش اول استفاده از کابل USB است. این کابل با توجه به ورژن آن می‌تواند ۵ ولت با جریان ۵۰۰ تا ۹۰۰ میلی آمپر را تأمین کند برای این منظور با استفاده از کابل USB Micro و اتصال آن به یک منبع تغذیه یا کامپیوتر، برد را راه اندازی کرد. از مزایای این روش امکان استفاده از پورت سریال و مشاهده و انتقال داده به برد می‌باشد. در صورت استفاده از این روش وجود کامپیوتر یا منبع تغذیه الزامی است. در روش دیگر از Pin تغذیه استفاده می‌شود. به این منظور از دو ولتاژ ۵ ولت و ۳/۳ ولت می‌توان استفاده نمود. با توجه به این که در خود برد یک رگولاتور ۳/۳ ولت LDO تعبیه گردیده، استفاده از ۵ ولت آسان‌تر از ۳/۳ ولت می‌باشد به این دلیل که برای ولتاژ ۳/۳ ولت باید ولتاژ قبل از ورود به صورت دقیق باشد ولی برای ۵ ولت نیاز به این امر نمی‌باشد.

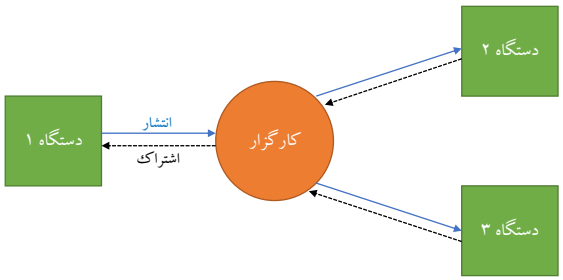
در این سامانه برای گرم کردن حسگرها از گرمکن استفاده شد. این گرم‌کن‌ها متناسب با نوع سنسورها معمولاً توان ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی وات را دارا می‌باشند. در این دستگاه همزمان از ۶ سنسور گازی استفاده گردید و گرم کن سنسورها به صورت موازی در مدار قرار گرفتند. به این منظور و برای محاسبه توان مجموع سنسورها ولتاژ ۵ ولت مستقیم به گرمکن‌ها داده شد، و میزان جریان مجموع گرمکن‌ها با استفاده از آمپرمتر محاسبه گردید. این مقدار جریان ۸۰۰ میلی آمپر به‌دست آمد. لذا مقدار توان مصرفی در گرم کن سنسورها برابر ۴ وات محاسبه گردید.

شبکه و اتصالات بیسیم

در این دستگاه و برای ارتباط با کامپیوتر از پروتکل MQTT[1] استفاده گردید. این پروتکل یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین پروتکل‌های بی‌سیم می‌باشد که بر روی پروتکل TCP/IP[2] و به صورت ماشین به ماشین (M2M) کار می‌کند. این پروتکل معماری بر اساس انتشار (Publish) و اشتراک (Subscribe) دارد که در شکل ۵ نمایش داده شده است.

. الگوی انتشار/ اشتراک جایگزینی برای معماری سنتی کلاینت–سرور فراهم می‌کند. در مدل کلاینت–سرور، کلاینت مستقیماً با یک نقطه پایانی ارتباط برقرار می‌کند. در این مدل، کلاینت ارسال کننده پیام (ناشر – publisher) را از کلاینت یا کلاینت‌هایی که پیام‌ها را دریافت می‌کنند (مشترکین – subscribers) جدا می‌کند. ناشران و مشترکین هرگز مستقیماً با یکدیگر تماس نمی‌گیرند. در واقع، آن‌ها حتی از وجود دیگری آگاه نیستند. ارتباط بین آنها توسط یک جزء سوم (کارگزار–broker) انجام می‌شود. وظیفه کارگزار فیلتر کردن تمام پیام‌های دریافتی و توزیع صحیح آنها برای مشترکین است.

1 Message Queuing Telemetry Transport
2 Transmission Control Protocol/Internet Protocol



شکل ۵- پروتکل ارتباط MQTT سامانه ماشین بویایی

این پروتکل، تنظیماتی تحت عنوان QoS دارد که با تنظیمات مربوطه می‌توان سرعت انتقال داده‌ها را با تغییر سطح امنیت آن‌ها، تغییر داد. این تنظیمات شامل سه سطح QoS0، QoS1 و QoS2 می‌باشد. در QoS0 که ساده‌ترین حالت است ناشر که دیتا را به کارگزار ارسال می‌کند هیچ نیاز به دریافت تأیید ندارد و فقط همین که ناشر بتواند تأیید مربوط به اتصال شبکه را دریافت کند فرض بر ارسال داده است. این روش ساده بوده و سرعت ارسال داده‌ها در آن بالا است. در QoS1 ناشر مطمئن می‌شود که حداقل یک بار پیام توسط کارگزار دریافت می‌شود و در صورت عدم دریافت پیام تأیید از کارگزار، داده را مجدداً ارسال می‌کند. QoS2 مطمئن‌ترین و امن‌ترین حالت ارسال پیام و البته کندترین حالت در MQTT است. در این حالت پیام دقیقاً یک بار تحویل کارگزار می‌شود و این سطح تضمین می‌کند که یک پیام به طور دقیق به مشترک ارسال می‌شود.

Mosquitto در پروتکل MQTT یک کارگزار پیام به صورت متن‌باز است که پروتکل‌های MQTT را پیاده سازی می‌کند. با پشتیبانی خوب و سهولت در نصب، به یکی از محبوب‌ترین کارگزارهای MQTT تبدیل شده است. برای این دستگاه این سرور در سمت کامپیوتر نصب شده و با تنظیم رمز برای سرور، امنیت آن افزایش می‌یابد. در سیستم طراحی شده، کارگزار و دستگاه دریافت‌کننده داده‌های نمونه برداری شده و ارسال‌کننده داده‌های کنترلی، یک رایانه شخصی است و دستگاه ارسال‌کننده داده‌های نمونه‌برداری شده و دریافت‌کننده داده‌های کنترلی، دستگاه بینی الکترونیک می‌باشد.

پروتکل MQTT بر روی پروتکل TCP/IP کار می‌کند. TCP/IP تشکیل شده از دو پروتکل اصلی IP و TCP است. چه در دنیای مجازی و چه در دنیای حقیقی برای برقراری هرگونه ارتباط، باید آدرس (مجازی یا حقیقی) مبدأ و مقصد روشن و واضح باشد. پروتکل IP مجموعه قوانینی است که آدرس مبدأ و مقصد با استفاده از آن تعیین می‌شود. نسخه ۴ که مختصراً IPv4 نامیده می‌شود، یک رشته ۳۲ بیتی از اعداد است که با نقطه از یکدیگر جدا شده‌اند. بازه آدرس IPv4 از ۰،۰،۰،۰ تا ۲۵۵،۲۵۵،۲۵۵،۲۵۵ است.

تمامی داده‌هایی که از طریق اتصال شبکه در حال رفت و برگشت هستند، باید به تکه‌هایی با اندازه تعیین شده تقسیم شوند که به این تکه‌ها اصطلاحاً packets گفته می‌شود. وظیفه تکه‌تکه کردن یک فایل در زمان ارسال و درنهایت مونتاژ کردن آن در مقصد را پروتکل TCP بر عهده دارد. TCP امکان انتقال داده‌ها بین برنامه‌ها و دستگاه‌های موجود در شبکه را فراهم می‌کند.

روش اتصال بینی الکترونیک و رایانه به دو صورت انجام می‌پذیرد. در صورت وجود شبکه محلی و اتصال دستگاه بینی الکترونیک و رایانه بر روی یک شبکه با تعریف IP سرور MQTT که توسط Mosquitto بر روی رایانه تنظیم شده است می‌توان داده‌ها را ارسال و دریافت کرد. برای این منظور به یک دستگاه روتر نیاز است. یک روتر دستگاهی است که بسته‌های داده‌ای دستگاه‌های موجود در شبکه را به مقصد مناسب می‌رساند. روتر یک آدرس آی پی (IP) به هر کدام از دستگاه‌های شبکه می‌دهد تا در هنگام دریافت و ارسال داده‌ها، آدرس مقصد یا مبدأ خود را بداند.

در صورت عدم وجود شبکه محلی باید یک شبکه محلی ایجاد کرد برای این منظور رایانه که کارت شبکه Wi-Fi داشته باشد را به یک روتر تبدیل کرده و با این روش یک شبکه محلی ایجاد می‌کنیم. برای این منظور هم می‌توان از نرم‌افزارهای آماده استفاده نمود و هم می‌توان از قابلیت‌های خود ویندوز استفاده کرد. برای این منظور در Command prompt دستورات مربوط به ایجاد شبکه محلی و تبدیل رایانه به یک روتر را باید اجرا کرد. پس از انجام صحیح دستورات بالا یک شبکه بی‌سیم با نام و رمز عبور مشخص ایجاد می‌شود و بینی الکترونیک می‌تواند به این شبکه متصل و داده‌های خود را ارسال نماید.

در صورت عدم وجود کارت شبکه در رایانه مورد استفاده می‌توان از دانگل‌های وای‌فای استفاده نمود. این دانگل‌ها به پورت USB متصل شده و کارت شبکه بر روی رایانه ایجاد می‌کند. بر روی برخی از کارت‌های شبکه لپتاپ‌ها امکان ایجاد روتر وجود ندارد که برای

این‌گونه از رایانه‌ها نیز باید از این دانگل‌ها استفاده نمود. این دانگل‌ها با ابعاد کوچک و قیمت بسیار ارزان، قابلیت استفاده بر روی رایانه‌های شخصی و لپتاپ‌ها را دارند.

شایان ذکر است استفاده از ارتباط بیسیم برای افزایش دقت نمی باشد بلکه هدف استفاده از بیسیم افزایش سرعت انتقال داده و امکان پرتابل کردن دستگاه است.

دریافت و ارسال داده

در برنامه نوشته شده دریافت داده‌ها از سنسورها با پروتکل ارتباطی I2C انجام می‌گیرد. ولتاژ سنسورها توسط مبدل آنالوگ به دیجیتال ADS1115 محاسبه و به مقادیر دیجیتال تبدیل می‌شوند این مبدل‌ها از طریق دو خط SCL و SDA داده‌ها را به برد ESP32 ارسال می‌کنند و برد مرکزی داده‌ها را دریافت کرده و آن‌ها را برای ارسال توسط Wi-Fi پردازش می‌کند. با توجه به بالا بودن تعداد داده‌ها در واحد زمان برای حذف نویزهای بوجود آمده در سیگنال‌ها ابتدا یک فیلتر پایین گذر بر روی داده‌ها اعمال می‌گردد به این صورت که در یک ثانیه ۵۰ مقدار داده از سیگنال‌های دیجیتال اندازه گیری شده برای هر سنسور با یک‌دیگر جمع شده و بر تعداد تقسیم می‌شوند.

داده‌های جمع‌آوری‌شده، در قالب یک فایل جیسون (JSON) ذخیره و ارسال می‌گردند. جیسون یک قالب استاندارد است که امکان تبادل داده‌ها در وب را با استفاده از جفت‌های (خصوصیت–کلید) ممکن ساخته است. به همین منظور در این قاب هر سنسور به عنوان خصوصیت و مقادیر اندازه‌گیری‌شده به عنوان کلید قرار می‌گیرند. در این قالب هر خط با یک خصوصیت آغاز می‌شود و با علامت دو نقطه (:) ادامه می‌یابد، سپس مقدار خصوصیت ذکر می‌شود. فرم ارسال داده‌ها در فرمت جیسون به صورت زیر می‌باشد.

{ S1":value,"S2":value,"S3":value,"S4":value,"S5":value,"S6":value"}

در این فرمت ارسال، S1 شماره سنسور اول و به همین منوال تا S6 که شماره سنسور ششم می‌باشد. برای هر یک از سنسورها مقدار Value از سیگنال‌ها به صورت جداگانه محاسبه و ارسال می‌گردد.

کنترل پایه‌های ورودی و خروجی

در این برنامه پایه‌های ۱۳، ۲۷ و ۲۸ به عنوان پایه‌های خروجی تنظیم می‌گردند. پایه ۱۳ برای خاموش و روشن کردن منبع تغذیه گرم‌کن سنسورها است این پایه باید در زمان شروع داده برداری روشن شود و در زمان پایان داده برداری خاموش گردد. پایه‌های ۲۷ و ۲۸ در برد ESP32 برای کنترل شیر برقی و پمپ نمونه استفاده می‌شوند پایه ۲۷ برای شیر برقی و پایه ۲۸ برای پمپ نمونه برنامه‌نویسی می‌گردد. طرز کار به این صورت است که در زمان شروع داده‌برداری پایه ۲۷ روشن شده و به مدت زمان تنظیمی که از طرف رایانه ارسال می‌شود، روشن می‌ماند. سپس این پایه خاموش می‌شود و پایه ۲۸ روشن می‌گردد که مدت زمان روشن بودن در این پایه نیز مانند پایه قبل تنظیم می‌گردد. در انتهای داده‌برداری بسته به زمان تنظیمی این پایه خاموش و پایه ۲۷ مجدداً روشن می‌گردد. در این سامانه فقط میزان زمان روشن یا خاموش بودن پایه‌ها از طرف رایانه ارسال می‌شود و برد ESP32 این زمان را محاسبه می‌کند. برای این امر از دستور millis() استفاده می‌کنیم. این دستور با توجه به فرکانس کاری و از زمان روشن شدن برد شروع به شمارش میلی‌ثانیه می‌کند و با توجه به ۳۲ بیت بودن مقدار بعد از گذشت حدود ۵۰ روز مجدداً سرریز (Overflow) کرده و مجدداً صفر می‌گردد. با استفاده از این تابع، می‌توان مدت زمان که باید سپری شود تا یک دستور مجدداً اجرا شود را برنامه‌نویسی کرد.

کتابخانه‌های پایتون

نامپای (NumPy) یک کتابخانه پایتون است که برای کار با داده‌های آرایه‌ای ارائه شده است. کتابخانه نامپای یکی از مهم‌ترین کتابخانه‌های پایتون برای کار در حوزه علوم داده است. این کتابخانه امکان کار با آرایه‌ها و ماتریس‌های بزرگ و چند بعدی را فراهم می‌کند. بعلاوه، این کتابخانه تعداد زیادی از توابع ریاضی مانند جبر خطی پایه، شبیه سازی تصادفی، تبدیل فوریه، عملیات مثلثاتی و عملیات آماری را در خود دارد که می‌توان از آن‌ها برای کار بر روی آرایه‌ها استفاده کرد. این کتابخانه برای ذخیره داده‌ها از حافظه خیلی کمتری استفاده می‌کند.

کتابخانه pandas کتابخانه‌ای منبع باز، بسیار بزرگ و محبوب برای زبان پایتون است. این کتابخانه بر روی کتابخانه نامپای توسعه یافته است این کتابخانه ابزارهایی برای تجزیه و تحلیل داده‌ها را با کارایی بالا ارائه می‌دهد. ساختارهای داده‌ای مانند DataFrame و Series و Panel را ارائه می‌دهد که امکان مدیریت کارآمد و دستکاری مجموعه داده‌های بزرگ را فراهم می‌کند. پانداز عملکردهای زیادی را برای پاکسازی، تبدیل، ادغام و شکل دهی داده‌ها و همچنین تجزیه و تحلیل آماری و تجسم داده‌ها ارائه می‌کنند. به این دلیل به طور

1 JavaScript Object Notation

گسترده‌ای در علم داده، یادگیری ماشین و امور مالی برای تجزیه و تحلیل، تمیز کردن و آماده سازی داده‌ها استفاده می‌شود.

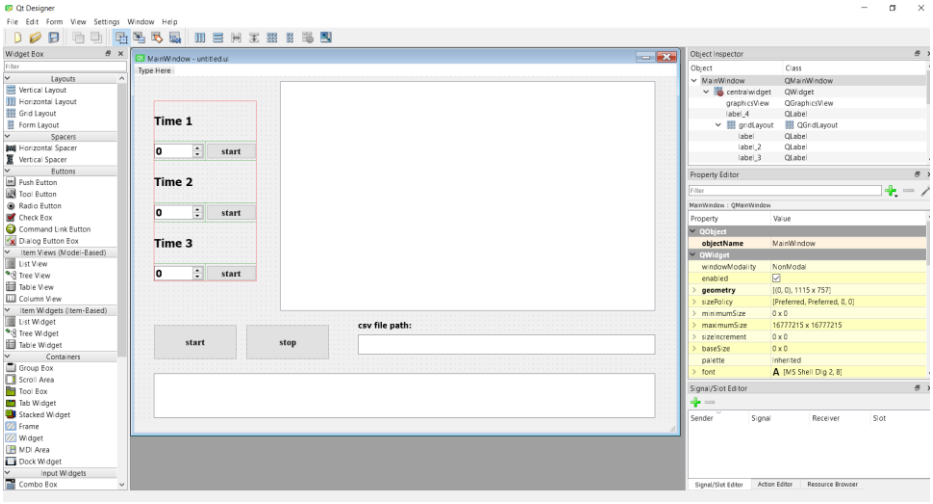
کتابخانه Matplotlib یک کتابخانه برای رسم نمودار است که در در زبان برنامه‌نویسی پایتون مورد استفاده قرار می‌گیرد. رابط برنامه‌نویسی این کتابخانه به صورت شی‌گرا طراحی شده‌است. در گذشته اکثر مهندسان از نرم‌افزار متلب برای انجام کارهای تحقیقاتی استفاده می‌کردند. این نرم‌افزار بسیار قدرتمند و حرفه‌ای طراحی شده بود و تقریباً تمامی نیازهای یک محقق را پوشش می‌داد. یکی از ویژگی‌های نرم‌افزار متلب، دستورهایی بود که برای مصورسازی داده‌ها استفاده می‌شد. استفاده از این دستورها بسیار ساده بود و یک محقق تقریباً هر نموداری را می‌توانست با متلب بکشد؛ اما با قابلیت‌های پایتون و استفاده از این زبان برنامه نویسی در بیشتر کارهای مهندسی و مراجعه روزافزون مهندسان به این زبان و با توجه به نیاز رسم نمودار و مصور سازی داده با استفاده از این کتابخانه قابلیت‌های متلب در رسم نمودار به کتابخانه پایتون منتقل شد. Matplotlib به گونه‌ای طراحی شده که به اندازه متلب (و حتی بیش از آن) کاربردی باشد و علاوه بر این، از مزیت کار با پایتون، متن‌باز و رایگان بودن نیز بهره می‌برد.

با توجه به پروتکل ارسال داده‌ها که بر اساس MQTT هستند، از کتابخانه Paho-mqtt استفاده گردید. کتابخانه Paho-mqtt یک نسخه بسیار کاربرپسند از پروتکل را برای استفاده در پایتون ارائه می‌کند که درخواست‌های MQTT را می‌توان به طور مستقیم با پایتون بدون هرگونه تنظیمات و راه‌اندازی‌های اضافه‌ای انجام داد. برای داده‌های ارسالی که فایل جیسون هستند نیز از کتابخانه JSON استفاده شد.

رابط گرافیکی

برای طراحی رابط گرافیکی از Qt Designer استفاده گردید. Qt Designer یک ابزار طراحی با رابط گرافیکی (GUI) می‌باشد و برای ایجاد و طراحی رابط کاربری برنامه‌هایی است که با استفاده از چارچوب Qt ساخته شده‌اند. کیوت یا Qt مجموعه‌ای از کتابخانه‌ها و هدرهای نوشته شده به زبان C++ است که به برنامه‌نویسان امکان توسعه آسان نرم‌افزارهای کاربردی را می‌دهد. از Qt برای توسعه نرم‌افزارهای کاربردی که می‌توان آن‌ها را بر روی پلتفرم‌های مختلف سخت افزاری و نرم افزاری، بدون تغییر یا با تغییرات خیلی کم در کد اصلی، اجرا کرد، استفاده می‌شود. Qt برای توسعه برنامه‌های کاربردی چند پلتفرمی و رابط‌های کاربری گرافیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

همانطور که ذکر گردید Qt به زبان C++ نوشته شده است به این منظور برای استفاده از Qt در برنامه نویسی پایتون از PyQt استفاده می‌گردد. حقیقت PyQt کتابخانه‌ای است که به ما امکان می‌دهد از چارچوب Qt GUI Python استفاده کنیم. به زبانی دیگر می‌توان گفت که PyQt ترکیبی از کتابخانهی Qt و پایتون است. برای استفادهی ساده‌تر از این کتابخانه‌ها، نرم افزار Qt Designer می‌تواند به صورت گرافیکی و به راحتی عناصر گرافیکی مورد استفاده در برنامه ی ما را مانند دکمه‌ها، منوها، پنجره‌ها و دیالوگ‌ها با استفاده از موس و کشیدن و رها کردن (Drag & Drop) ایجاد و چیدمان کند. این نرم‌افزار یک رابط بصری برای طراحی و نمونه‌سازی برنامه‌ها فراهم می‌کند که می‌تواند با زبان‌های برنامه‌نویسی مختلف مانند C++، Python و جاوا استفاده شود. در شکل ۶، محیط برنامه Qt Designer و طراحی برنامه استفاده شده توسط ما نمایش داده شده است. پس از طراحی با این نرم‌افزار، فایل با پسوند ui ذخیره می‌گردد که این فایل توسط PyQt و تبدیل به کدهای پایتون می‌گردد.

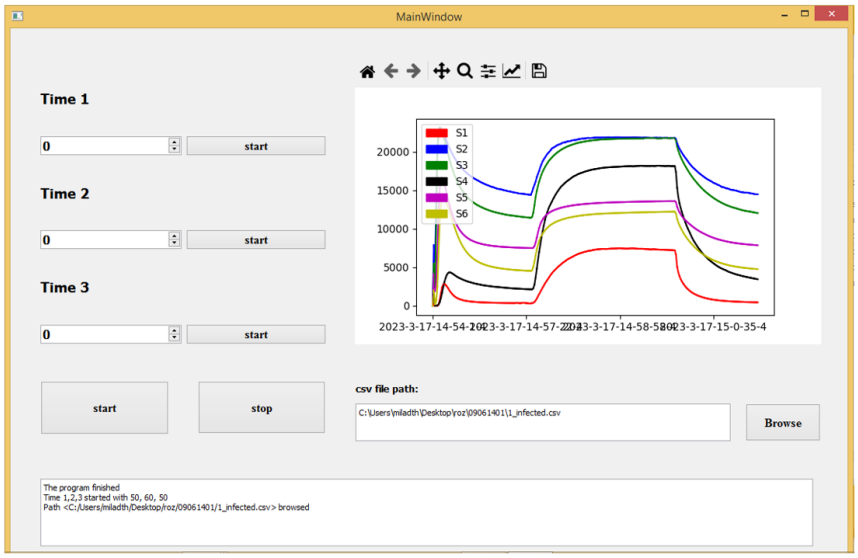


شکل ۶- محیط طراحی برنامه Qt Designer برای سامانه ماشین بویایی

1 Graphical User Interface

برنامه نویسی پایتون

بعد از وارد کردن (Import) کتابخانه‌های توضیح‌داده‌شده در قسمت قبل و کد گرافیکی نوشته شده با نرم‌افزار Qt Designer در محیط برنامه‌نویسی، کدهای هر یک از عناصر محیط گرافیکی نوشته می‌شود. در شکل ۷ محیط گرافیکی نرم‌افزار نشان داده شده است. در سمت چپ، سه زمان با برچسب Time وجود دارد. در این قسمت زمان برای سه مرحله بینی الکترونیک به ترتیب وارد می‌گردد. این اعداد بر حسب ثانیه هستند. در مقابل مقادیر هر یک از زمان‌ها یک دکمه با برچسب Start آورده شده که برنامه نویسی برای این دکمه‌ها به این صورت است که درصورت نیاز به هر یک از مراحل به صورت جداگانه با زمان مشخص شده بتواند فقط همان مرحله اجرا شود.



شکل ۷- محیط برنامه نوشته شده

در سمت راست برنامه در قسمت بالا، یک فایل گرافیکی برای رسم نمودارها به صورت لحظه‌ای برنامه‌نویسی گردید. در قسمت پایین نمودارها، با انتخاب مسیر و نام فایل csv که از داده‌ها ایجاد می‌شود مکان ذخیره انتخاب می‌گردد. کلیدهای Start و Stop برای اجرا و توقف کامل داده برداری، برنامه نویسی شده‌اند.

برنامه در صورت اتصال به سرور MQTT اجرا می‌گردد و در غیر این صورت باید سرور بررسی گردد. این برنامه به گونه‌ای نوشته شده که بعد از انتخاب زمان‌های مناسب و انتخاب مسیر ذخیره فایل داده‌ها، با فشردن کلید Start یک فایل جیسون حاوی مقدارهای زمان و وضعیت Start به برد ESP32 از طریق بی‌سیم ارسال می‌گردد. در برد، این فایل خوانده شده و شروع به داده برداری و ارسال داده‌ها به کامپیوتر می‌کند. داده‌های دریافتی در زمان دریافت، هم در فایل csv افزوده شده و هم به صورت گرافیکی در نمودار رسم می‌گردد. در صورت فشردن کلید Stop، مقدارهای زمان برای سه مرحله بینی الکترونیک صفر و وضعیت Stop در قالب فایل جیسون ارسال می‌گردد. در برد ESP32 با خواندن این پیام، داده‌برداری متوقف می‌گردد.

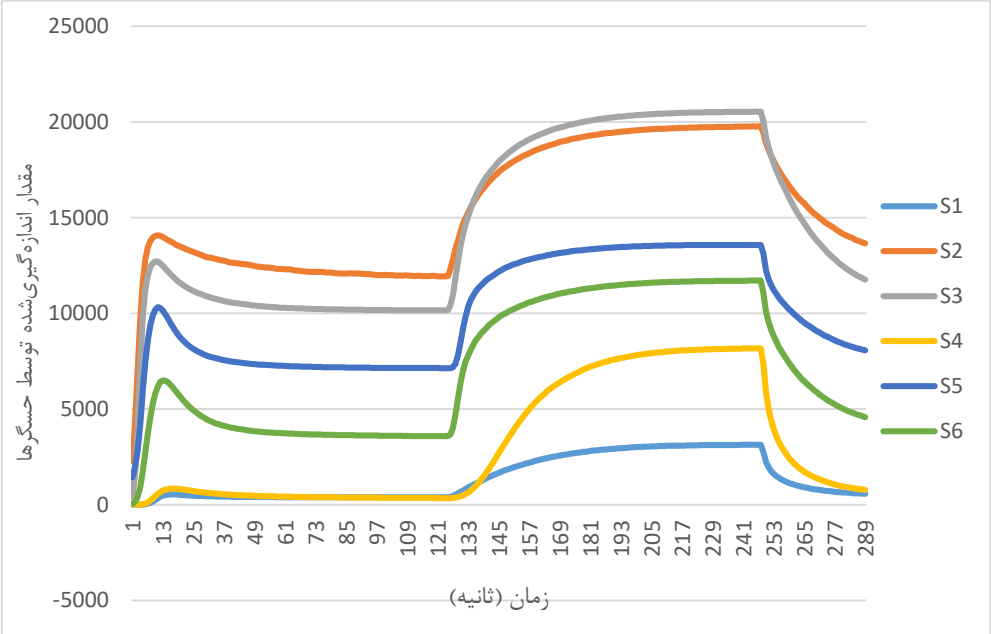
نتایج و بحث

تصویری از سامانه ساخته شده در شکل ۸ دیده می شود. سامانه‌ی بینی الکترونیک برای داده برداری سه مرحله را طی می‌کند. در مرحله اول که تزیق گاز خنثی است، سنسورها پاک شده و به حالت پایدار می‌رسند. در این زمان پاسخ سیگنال سنسورها به صورت یک خط مشاهده که به این خط، خط مبنا گفته می‌شود. در مرحله بعدی که مرحله‌ی تزریق نمونه‌هاست، سنسورها واکنش نشان داده و مقدار سیگنال تا نقطه پایان تزریق گاز نمونه افزایش پیدا می‌کند. نقطه پایان تزریق گاز با توجه به نوع نمونه و زمان رسیدن به حالت پایدار محاسبه می‌گردد. در مرحله بعدی مجدداً جهت پاکسازی سنسورها، گاز خنثی تزریق شده و تا لحظه رسیدن به خط مبنا این مرحله ادامه پیدا می‌کند. محور اصلی این تحقیق بر پایه طراحی و ساخت سامانه بی سیم ماشین بویایی است. به منظور انجام ارزیابی سامانه در انتقال اطلاعات، از یک نمونه شیرخام با اعمال قابلیت تقلب فرمالین در آن استفاده شد. فرمالین از تقلب های شایع در صنایع لبنی است که برای سلامت جامعه مخاطره آمیز است (توحیدی و همکاران، ۱۳۹۵).

شکل ۸- سامانه ماشین بویایی بی سیم با قابلیت انتقال اطلاعات از راه دور

تحلیل پاسخ پایدار سیگنال‌ها

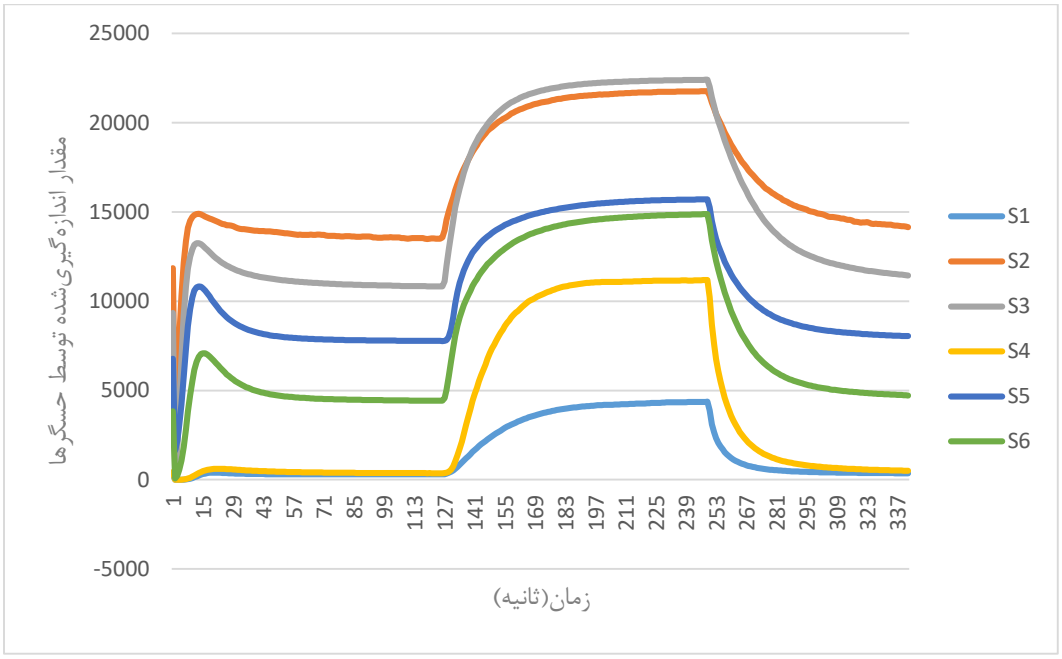
فرآیند اندازه‌گیری بو و دریافت سیگنال حسگرهای گازی در سه مرحله تصحیح خط مبنا، تزریق گاز فضای بالای نمونه شیر به محفظه حسگرها و پاک کردن محفظه حسگری زمان‌بندی شد (شکل ۹). در ابتدا گاز اکسیژن به مدت ۱۲۵ ثانیه به محفظه حسگرها انتقال داده شد و در انتهای این زمان، سیگنال خروجی تمامی حسگرها به‌عنوان سیگنال مبنا در نظر گرفته شد. سپس گاز فضای بالای نمونه‌ها به مدت ۱۲۵ ثانیه به محفظه حسگری تزریق شد و در انتها به مدت ۱۰۰ ثانیه، گاز اکسیژن به محفظه حسگرها انتقال داده شد تا پاک‌سازی محفظه انجام گیرد.



شکل ۹- نمودار مقادیر حسگرها در یک نمونه‌برداری. حسگرهای S1، S2، S3، S4، S5 و S6 به ترتیب حسگرهای گازی Figaro 813، MQ7، MQ135، TGS822، MQ4 و MQ2.می‌باشند

در ادامه، تحلیل‌های انجام‌شده برای نمونه‌های مختلف با استفاده از روش‌های تحلیل حالت پایدار مانند روش کسری انجام می‌گیرد. در این تحلیل‌ها، مقادیر مبنا و پایدار حسگرها پس از تزریق گاز فضای بالای نمونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج پاسخ ولتاژی حسگرها به تغییر الگوی بو در نمونه‌ها برای سه گروه شیر (شیر خالص و نمونه‌های شیر با تقلب فرمالین با درصدهای حجمی ۰/۱ و ۱ گرم در ۱۰۰ سی‌سی) اندازه‌گیری شد و نهایتاً پاسخ آرایه حسگری برای همه نمونه‌ها ثبت و ذخیره‌سازی شد و پس از طی مراحل تصحیح خط مبنا و استخراج ویژگی با استفاده از روش کسری تحلیل شدند. نتایج این تحلیل‌ها در ادامه ارائه شده است. یک نمونه از پاسخ حسگرها

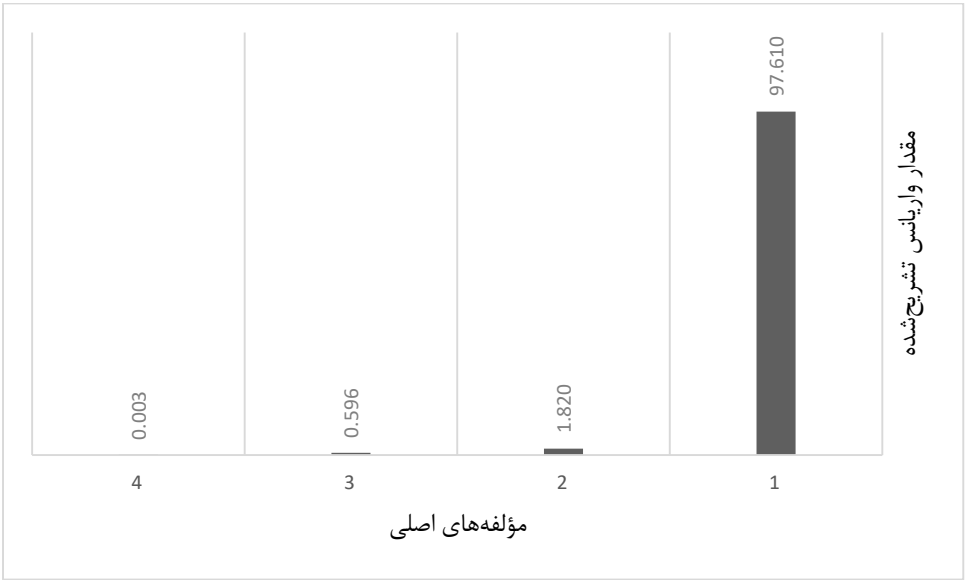
در این آزمایش در شکل ۱۰ ارائه شده است.



شکل ۱۰- نمونه پاسخ حسگرهای سامانه در آزمایش نمونه فرمالین در شیر

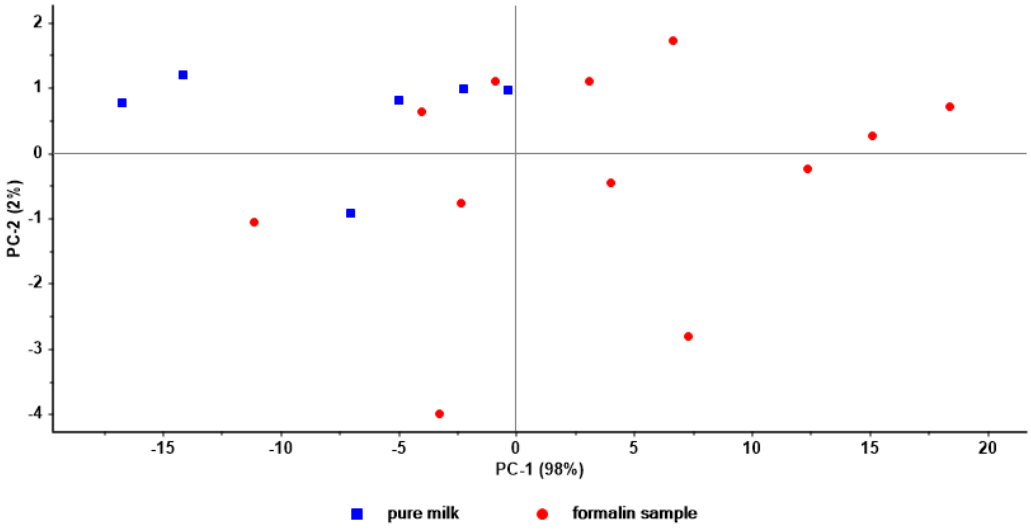
روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی

از روش PCA برای توصیف اختلاف بویایی نمونه‌های شیر سالم و نمونه‌های مربوط به سطوح مختلف تقلب در شیر خام استفاده شد. ماتریس داده‌ها بر مبنای اطلاعات به‌دست‌آمده از الگوی پاسخ حسگرها پیاده‌سازی شده و سپس به فضای مؤلفه‌های اصلی یا PC ها انتقال داده شدند. مقدار واریانس تشریح شده به‌وسیله هر یک از مؤلفه‌های اصلی در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱- میزان تأثیر هر یک از مؤلفه‌های اصلی در تشریح واریانس داده‌ها

با توجه به شکل ۱۰ مشخص است که دو مؤلفه اصلی یعنی PC-1 و PC-2 می‌توانند درمجموع ٪ ۹۹/۴۳ واریانس کل داده‌ها را تشریح کنند؛ بنابراین می‌توان در این تحلیل فقط از دو مؤلفه اصلی اول برای تفسیر نتایج استفاده نمود. شکل ۱۲ نمودارهای امتیاز برای دو مؤلفه اصلی PC-1 و PC-2 با مقادیر واریانس ٪۹۷/۶۱ و ٪ ۱/۸۲ را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشخص است نمونه‌های خالص شیر و نمونه‌های تقلب، قابل تمایز از یکدیگر نیستند و باید از روش‌های غیرخطی برای تمایز این نمونه‌ها استفاده کرد.



شکل ۱۲- نمودار امتیاز نمونه شیر خالص و نمونه‌های تقلب فرمالی

روش تحلیل تشخیص خطی

به‌منظور بررسی تفکیک‌پذیری بین گروه‌های خالص شیر و تقلب فرمالین از روش تحلیل تشخیص خطی استفاده شد. این روش همانند PCA به‌عنوان یک روش کاهش ویژگی است که تعیین‌کننده صفحه فوقانی با بعد کوچک‌تر می‌باشد و روی آن نقاط از بعد بیشتر تصویر می‌شوند. درحالی‌که PCA مسیری را در نظر می‌گیرد که ساختار بیشینه در داده حفظ شود، LDA جهتی را برمی‌گزیند که بیشینه تمایز میان کلاس‌های موردنظر حاصل شود (قاسمی ورنامخواستی، ۱۳۹۰).

در این روش تحلیل از دو مؤلفه اصلی و روش درجه دوم استفاده شد. همانطور که در ماتریس آشفتگی این طبقه‌بندی در جدول ۱ مشاهده می‌شود روش LDA توانایی تشخیص شیر خالص از نمونه تقلب فرمالین با درصدهای مختلف را با دقت ۸۳٪ دارد.

جدول ۱- ماتریس آشفتگی حاصل از طبقه‌بند LDA تقلب فرمالین

پیش‌بینی/ مشاهده	N0	N1
N0	۵	۲
N1	۱	۱۰
عملکرد طبقه‌بندی:٪ ۸۳/۳		

N0: شیر سالم، N1: شیر تقلبی حاوی ۰/۱ یا ۱ درصد فرمالین

نتیجه گیری

ساخت دستگاهی قابل حمل و نقل که بتواند اطلاعات را به صورت وایرلس (بی‌سیم) منتقل کند برای غلبه بر این مشکلات و حذف هزینه‌های زاید آزمایش، ضرورت دارد. این موارد می‌تواند به نظارت دقیق‌تر بر کیفیت مواد غذایی کمک کند. در این پژوهش برای ارتباط با کامپیوتر از پروتکل MQTT استفاده گردید. این پروتکل یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین پروتکل‌های بی‌سیم می‌باشد که بر روی پروتکل TCP/IP و به صورت ماشین به ماشین (M2M) کار می‌کند. آزمون های انجام شده بر روی نمونه های شیر حاوی تقلب فرمالین کیفیت انتقال اطلاعات سامانه و عملکرد مثبت دستگاه ساخته شده را نشان داد. ارزیابی دستگاه ماشین بویایی بی سیم برای محصولات غذایی بیشتر در تحقیقات آینده تشریح می شود.

منابع

قاسمی ورنامخواستی، مهدی. (۱۳۹۰). طراحی، توسعه و پیاده‌سازی سیستم ماشین بویایی و زبان بیوالکتریک بر پایه حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) به‌منظور آشکارسازی تغییر کیفیت ماء الشعیر در ترکیب با روش‌های آنالیز تشخیص الگو. رساله دکتری مکانیک ماشین‌های

کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، ایران.

توحیدی، مجتبی؛ قاسمی ورنامخواستی، مهدی؛ محتسبی، سیدسعید؛ بنیادیان، مجتبی.(۱۳۹۵)). ساخت و توسعه یک سامانه ی ماشین بویایی در ترکیب با روش های شناسایی الگو برای تشخیص تقلب فرمالین در شیر خام. *مجله مهندسی بیوسیستم ایران*، ۴۷، ۷۶۱-۷۷۰.

REFERENCES

Dadhaneeya, H., Nema, P., and Arora, V., (2023). Internet of Things in food processing and its potential in Industry 4.0 era: A review, Trends in Food Science & Technology, 139, 104109.

Das, S., Sivaramakrishna, M., Biswas, K., & Goswami, B. (2015). A low cost instrumentation system to analyze different types of milk adulteration. ISA transactions, 56, 268-275.

Kumar, S., Raut, R., Agrawal., N., Cheikhrouhou, N., Sharma, M., Daim, T., (2022). Integrated blockchain and internet of things in the food supply chain: Adoption barriers. Technovation, 118, 102589.

Loutfi, A., Coradeschi, S., Mani, G. K., Shankar, P., & Rayappan, J. B. B. (2015). Electronic noses for food quality: A review. Journal of Food Engineering, 144, 103-111.

Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohtasebi, S. S., Siadat, M., & Balasubramanian, S. (2009). Meat quality assessment by electronic nose (machine olfaction technology). Sensors, 9(8), 6058-6083.

Ghasemi Varnamkhasti M. (2011). Design, development and implementation of a bioelectric olfactory machine and tongue system based on metal oxide semiconductor (MOS) sensors for detecting changes in beer quality in combination with pattern recognition analysis methods. PhD thesis in Agricultural Machinery Mechanics. Faculty of Agriculture. University of Tehran. Iran. (In Persian)

Tan, Y., Chen, Y., Zhao, Y., Liu, M., Wang, Z., Du, L., Wu, C., Xu, X. (2025). Recent advances in signal processing algorithms for electronic noses. Talanta, 283, 127140.

Tohidi, M. Ghasemi, Varnamkhasti, M. Mohtasbi, S.S. Bondayian, M. 2016. Construction and development of an olfactory machine system combined with pattern recognition methods for detecting formalin adulteration in raw milk. Iranian Journal of Biosystems Engineering, 47, 761-770. (In persian).

Wilson, A. D., & Baietto, M. (2009). Applications and advances in electronic-nose technologies. sensors, 9(7), 5099-5148.

Xu, Q., Sum Y., Cai, J. (2025). Detection of citrus Huanglongbing at different stages of infection using a homemade electronic nose system. Computers and Electronics in Agriculture, 229, 109845.