University of Qom

Sciences and Techniques
of Information Management

Volume 9, Issue 1, 2023

Research Article

Using OPC UA for IoT-based Indoor Air Quality Monitoring and Control System[1]

Behzad Lak
Assistant Professor, Department of Information and Communication Technology, Amin Police University, Tehran, Iran (**Corresponding author**).
behzad_lak@yahoo.com

Zahra Javadian Fard
Master of Software Engineering, Department of Electrical and Computer Engineering, Al Taha University, Tehran, Iran. zahrajavadianfard@yahoo.com

Abstract

Purpose: The main goal of this study is to design a monitoring and control system for air quality, the level of gases released in the environment, humidity and temperature based on the Internet of Things in industrial environments, which in addition to the cost-effectiveness of the proposed system in terms of energy consumption and cost, Improve the level of security in sending and receiving data. Another goal of this plan is easy access for end users to real-time data in environmental conditions. The general purpose of the proposed system is the ability to detect hazards, increase safety and productivity in industrial environments, and alert users and industrial owners if the data exceeds the limits defined by environmental standards.

Methods: In order to achieve this goal, data protocols compatible with industrial environments and communication protocols with proper performance in data transmission, in the system of sensors based on the Internet of Things in similar ideas, with a focus on air quality monitoring and control, are investigated. As a result of comparing related articles, in order to implement the proposed idea, OPC UA data protocol and 4G LTE communication protocol have been used and the performance of the proposed system has been tested in an industrial warehouse under fire and clean air simulation. The results show that the idea of this research has better efficiency than similar studies in terms of two factors of energy consumption and the security level of sending and receiving data. For this purpose, the software infrastructure of the Internet of Things has been examined with the factor of information protection and increasing the security level in order to visualize environmental data. In the proposed monitoring and control system, from the Internet of Things platform on the cloud server side and Raspberry Pi board for control and measurement, the MQ2 sensor for detecting smoke and the concentration of LPG, alcohol, propane, hydrogen, methane and carbon monoxide gases, the MQ135 sensor is used to measure air quality and detect ammonia and carbon dioxide gases and DHT22 sensor to measure humidity and temperature, as well as a 4G mobile modem to load received environmental data on the client side.

1. **Cite this article:** Lak, B. & Javadian Fard, Z. (2023). Using OPC UA for IoT-based Indoor Air Quality Monitoring and Control System. *Sciences and Techniques of Information Management*, 9(1): 415-438.
DOI: 10.22091/stim.2022.8060.1770
Received: 2022-04-01 ; **Revised:** 2022-05-16 ; **Accepted:** 2022-06-28 ; **Published online:** 2023-03-23
© The Author(s).
Published by: University of Qom.
This is an open access article under the: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

Findings: In investigating the performance of the proposed system under fire simulation of wood, cloth and paper and clean air in an industrial warehouse for fourteen days, in two situations of Raspberry Pi board connected to 4G LTE and Wi-Fi modem, the fire simulation value has been given. Detected in Wi-Fi connection mode was lower than 4G LTE mode and lower than previously predicted, but finally compared to the results of seven days of testing for each connection mode including clean air and fire simulation recorded in Things Board cloud platform. Regardless of the minor differences, they are similar.

Conclusions: The results show that the idea of this research has higher efficiency than similar studies in terms of two factors of energy consumption and the security level of sending and receiving data.

Keywords: Internet of things (IoT), OPC UA, 4G LTE, Air quality monitoring, Monitoring system.

/http://stim.qom.ac.ir

علوم و فنون مدیریت اطلاعات
دوره ۹، شماره ۱، ۱۴۰۲
مقاله پژوهشی

کنترل و نظارت بر کیفیت هوای محیط‌های داخلی مبتنی بر اینترنت اشیاء با استفاده از پروتکل داده OPC UA[1]

بهزاد لک
استادیار، گروه فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشگاه علوم انتظامی امین، تهران، ایران (**نویسنده مسئول**).
behzad_lak@yahoo.com

زهرا جوادیان‌فرد
کارشناسی ارشد مهندسی نرم‌افزار، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه غیرانتفاعی آل طه، تهران، ایران.
zahrajavadianfard@yahoo.com

چکیده

هدف: هدف اصلی این مطالعه طراحی یک سیستم نظارت و کنترل کیفیت هوا، سطح گازهای آزاد شده در محیط، رطوبت و دمای مبتنی بر اینترنت اشیاء در محیط‌های صنعتی است که علاوه بر مقرون به صرفه بودن سیستم پیشنهادی از لحاظ مصرف انرژی و هزینه، سبب بهبود سطح امنیت در ارسال و دریافت داده شود. از دیگر اهداف این پژوهش بررسی دسترسی آسان کاربران عادی به داده‌های بلادرنگ در شرایط محیطی به وسیله ارائه سیستمی با قابلیت تشخیص مخاطرات، افزایش ایمنی و بهره‌وری در محیط‌های صنعتی و اعلام هشدار به کاربران و صاحبان صنایع در صورت خارج شدن داده‌ها از محدوده تعریف شده بر اساس استانداردهای محیطی می‌باشد.

روش: به منظور دستیابی به هدف پژوهش، پروتکل‌های داده سازگار با محیط‌های صنعتی و پروتکل‌های ارتباطی با عملکرد مناسب در انتقال داده، در سیستم حسگرهای مبتنی بر اینترنت اشیاء در ایده‌های مشابه، با محوریت نظارت و کنترل کیفیت هوا مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

با مقایسه مقاله‌های مرتبط، به منظور پیاده‌سازی ایده پیشنهادی از پروتکل داده OPC UA و پروتکل ارتباطی 4G LTE استفاده گردید و عملکرد سیستم پیشنهادی در یک انبار صنعتی با شبیه‌سازی آتش‌سوزی و هوای پاک مورد آزمایش قرار گرفت. همچنین زیرساخت‌های نرم‌افزاری اینترنت اشیاء با فاکتور حفاظت از اطلاعات و افزایش سطح امنیت، به منظور دیداری‌سازی داده‌های محیطی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در سیستم نظارت و کنترل پیشنهادی، از پلتفرم اینترنت اشیاء ThingsBoard در سمت سرویس‌دهنده ابر و برد رزبری پای برای کنترل و سنجش، حسگر MQ2 برای تشخیص دود و غلظت گازهای LPG، الکل، پروپان، هیدروژن، متان و مونو اکسید کربن، حسگر MQ135 برای سنجش کیفیت هوا و تشخیص گازهای آمونیاک و کربن دی اکسید و حسگر DHT22 برای اندازه‌گیری رطوبت و دما و همچنین یک مودم همراه 4G به منظور بارگذاری داده‌های محیطی دریافتی در سمت سرویس گیرنده استفاده شد.

---

۱. **استناد به این مقاله:** لک، بهزاد؛ جوادیان‌فرد، زهرا (۱۴۰۲). کنترل و نظارت بر کیفیت هوای محیط‌های داخلی مبتنی بر اینترنت اشیاء با استفاده از پروتکل داده OPC UA. *علوم و فنون مدیریت اطلاعات*، ۹(۱): ۴۱۵-۴۳۸. **DOI:** 10.22091/stim.2022.8060.1770

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۲ ؛ **تاریخ اصلاح:** ۱۴۰۱/۰۲/۲۶ ؛ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۰۴/۰۷ ؛ **تاریخ انتشار آنلاین:** ۱۴۰۲/۰۱/۰۳

ناشر: دانشگاه قم

© نویسندگان.

یافته‌ها: در بررسی عملکرد سیستم پیشنهادی با شبیه‌سازی آتش‌سوزی چوب، پارچه و کاغذ و هوای پاک در یک انبار صنعتی به مدت چهارده روز، در دو وضعیت اتصال برد رزبری پای به مودم 4G LTE و wi-fi، هنگام شبیه‌سازی آتش‌سوزی مقدار داده‌های تشخیص داده شده در حالت اتصال wi-fi کمتر از حالت 4G LTE و کمتر از مقادیر پیش‌بینی شده بودند. در مقایسه نتایج هفت روز آزمایش برای هر دو حالت اتصال، شامل هوای پاک و شبیه‌سازی آتش‌سوزی، مقادیر ثبت شده در پلتفرم ابری ThingsBoard صرف‌نظر از تفاوت‌های جزئی، مشابه یکدیگر هستند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که ایده این پژوهش از نظر دو فاکتور مصرف انرژی و سطح امنیت ارسال و دریافت داده، بازدهی بهتری را نسبت به مطالعات مشابه دارد.

کلیدواژه‌ها: اینترنت اشیاء، پروتکل داده OPC UA، شبکه سلولی نسل چهارم، کنترل کیفیت هوا، سیستم‌های کنترل و نظارت.

/http://stim.qom.ac.ir

۱. مقدمه

اینترنت اشیاء صنعتی[1]، ادغام انواع مختلف حس‌گرهای کنترل و کشف، کنترل‌کننده‌ها با قابلیت‌های سنجش و نظارت و ارتباطات سیّار است؛ به طوری که سبب بهبود در کیفیت محصول شده و صنعت سنتی را به مرحله جدیدی از هوشمندی می‌رساند. سیستم‌های اینترنت اشیاء صنعتی با فراهم کردن امکان جمع‌آوری و تحلیل حجم عظیمی از داده، سبب بهبود کلی کارایی در سیستم‌های صنعتی و همچنین کاهش مخارج سرمایه‌ای[2] و هزینه‌های عملیاتی[3] می‌شود (میورندی دی[4] و همکاران، ۲۰۱۲). امنیت از جمله چالش‌های اساسی در اینترنت اشیاء صنعتی است. گسترش حس‌گرها و مؤلفه‌های هوشمند، سبب بروز آسیب‌پذیری‌های امنیتی مرتبط با این تجهیزات و ارسال و دریافت داده‌ها شده است.

زیرساخت‌ها و تجهیزات یک محیط صنعتی در معرض آسیب و خطاهای احتمالی قرار دارند، در نتیجه لازم است عملکرد صحیح آنها کنترل شود تا تاثیر خطاهای احتمالی بر سرویس‌های ارائه شده به کاربران به حداقل رسیده و از قرار گرفتن در موقعیت‌های بحرانی جلوگیری شود. سیستم‌های نظارت، وظیفه کنترل فناوری‌های مورد استفاده یک سازمان (سخت‌افزار، شبکه و ارتباطات، سیستم عامل و برنامه‌های کاربردی) را به منظور تجزیه و تحلیل عملکرد و کارایی آنها و شناسایی و هشدار در مورد خطاهای احتمالی برعهده دارند. این سیستم‌ها از بروز رویدادها و حوادث جلوگیری می‌کنند و در صورت وقوع این حوادث با شناسایی سریع، سبب صرفه‌جویی در زمان و هزینه می‌شوند (پاسومپون پاندیان، ۲۰۲۰). حس‌گرهای مبتنی بر اینترنت اشیاء[5] از جمله راهکارهای مهم در نظارت بر روند تولید و بهبود عملکرد سیستم برای بسیاری از مناطق تحقیقاتی از جمله ساختمان‌های هوشمند و محیط‌های صنعتی می‌باشند (تائبی، ۱۳۹۶).

در محیط‌های صنعتی ابزارهای حیاتی و حساسی وجود دارند که برای عملکرد در محدوده‌های دما و شرایط محیطی مخصوصی طراحی شده‌اند و همچنین اندازه‌گیری و کنترل غلظت گازهای محیطی، از جمله عناصر موثر در سلامت و ایمنی کارکنان واحدهای صنعتی است. از دیگر عوامل

1. Industrial internet of things (IIoT)
2. Capital expenditures
3. Operating Expenses
4. Miorandi
5. IoT-based sensors

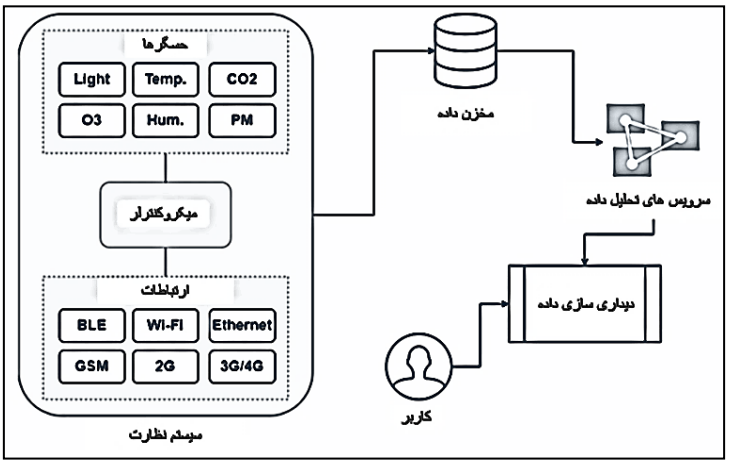
http://stim.qom.ac.ir/

ایجاد مخاطره در انبارها و صنایع مهمی مانند صنایع غذایی، شیمیایی، دارویی و تولیدی، احتمال وقوع آتش‌سوزی است. گرد و غبار قابل احتراق، نقص در شبکه الکتریکی، استعمال دخانیات و مواد شیمیایی از عناصر مهم در شکل‌گیری آتش‌سوزی در محیط‌های صنعتی و تجاری هستند. با توجه به موارد ذکر شده، وجود یک سیستم نظارتی که با بهره‌مندی از حس‌گرهای اینترنت اشیاء قادر به تشخیص مخاطراتی نظیر آتش‌سوزی و تغییر کیفیت هوای محیط بوده و عکس‌العمل سریع و متناسب با موقعیت را نشان دهد، نقش کلیدی در کاهش خسارت‌ها و افزایش ایمنی و بهره‌وری در محیط‌های صنعتی ایفا می‌کند (تیم پاندورا[1] FMS، ۲۰۲۲).

معماری کلی سیستم‌های نظارت بر کیفیت شرایط محیطی مبتنی بر اینترنت اشیاء، به چهار بخش اصلی تقسیم می‌شود: سیستم نظارت، ذخیره داده، سرویس‌های تحلیل داده و سیستم دیداری‌سازی و تجسّم داده‌ها. سیستم نظارت شامل حس‌گرهای مختلف، میکرو کنترلرها[2] و سیستم‌های ارتباطی است. داده‌های جمع‌آوری شده از طریق سیستم نظارت در یک مخزن داده ضبط و ذخیره می‌شوند. داده‌ها به وسیله سرویس‌های تحلیل، تجزیه و تحلیل شده و کاربران نهایی قادر به دریافت لحظه‌ای به‌روزرسانی‌ها به وسیله سیستم دیداری‌سازی خواهند بود. حس‌گرها در این سیستم نظارتی پارامترهایی مانند درجه حرارت، رطوبت، گازهای محیطی، و ذرات معلق را اندازه‌گیری می‌کنند. میکرو کنترلرهای مورد استفاده در این سیستم نظارتی شامل انواع مختلف بردهای آردوینو[3] و رزبری پای[4] هستند. ارتباطات به وسیله فناوری‌های وای فای، بلوتوث[5]، زیگ بی[6]، لورا[7]، اترنت[8]، ارتباطات سلولی[9] و ذخیره‌سازی داده‌ها در سرور ابر[10]، سرور محلی[11]، کارت حافظه جانبی و سرویس‌های ذخیره‌سازی داده اینترنت اشیاء صورت می‌گیرد (محمد سیافرالدین[12] و همکاران، ۲۰۱۸).

1. Pandora FMS team
2. Microcontroller
3. Arduino
4. Raspberry Pi
5. Bluetooth Low Energy (BLE)
6. Zigbee
7. LoRa
8. Ethernet
9. Cellular network
10. Cloud server
11. Local server
12. Syafrudin

http://stim.qom.ac.ir/



شکل ۱- سیستم نظارت مبتنی بر اینترنت اشیاء

در این مطالعه، طراحی یک سیستم نظارت و کنترل کیفیت هوا، سطح گازهای آزاد شده در محیط، رطوبت و دمای مبتنی بر اینترنت اشیاء در محیط‌های داخلی صنعتی با هدف افزایش سطح امنیت تبادل داده و صرفه‌جویی در مصرف انرژی و هزینه، مورد بررسی قرار می‌گیرد. از جمله اهداف این پژوهش یافتن پاسخ مناسب برای سوالات زیر است:

- آیا سیستم نظارت و کنترل پیشنهادی قادر به مرتفع کردن نیازمندی‌های اصلی اینترنت اشیاء نظیر مقیاس‌پذیری، قابلیت اطمینان، پاسخگویی بلادرنگ، تحرک و کیفیت داده می‌باشد؟
- آیا سیستم پیشنهادی قادر به تشخیص مخاطرات بوده و سبب افزایش ایمنی و بهره‌وری در محیط‌های صنعتی می‌شود؟
- کدام یک از پروتکل داده و پروتکل‌های ارتباطی، سبب عملکرد بهتر سیستم در زمان انتقال داده می‌شود؟
- کدام یک از زیرساخت‌های نرم‌افزاری اینترنت اشیاء قابلیت مقیاس‌پذیری، مقاومت در برابر خرابی و تشخیص آن جهت دریافت و نمایش داده‌ها به صورت بلادرنگ به کاربران را دارد؟

برای دستیابی به اهداف پژوهش، پروتکل‌های داده و ارتباطی ایده‌های مشابه و نتایج آنها بررسی شده و پروتکل‌ها متناسب با اهداف تحقیق به منظور پیاده‌سازی ایده، انتخاب می‌شوند. از دیگر اهداف این طرح دسترسی آسان کاربران عادی به داده‌های بلادرنگ در شرایط محیطی است. بدین منظور، سکّوهای نرم‌افزاری اینترنت اشیاء با فاکتور حفاظت از اطلاعات، به منظور دیداری‌سازی داده‌های محیطی نیز مورد بررسی قرار می‌گیرند.

http://stim.qom.ac.ir/

نوآوری این پژوهش استفاده از پروتکل OPC UA[1] به عنوان پروتکل داده با سطح امنیت تبادل داده بالاتر نسبت به سایر پروتکل‌ها و سازگار با محیط‌های صنعتی به همراه شبکه سلولی نسل چهارم به عنوان پروتکل ارتباطی در سیستم حس‌گرهای مبتنی بر اینترنت اشیاء است که سبب بهبود امنیت سیستم پیشنهادی و صرفه‌جوی در مصرف انرژی و هزینه نسبت به ایده‌های مشابه می‌شود.

۲. پیشینه پژوهش

در این بخش مطالعات مرتبط با حوزه پژوهش حاضر با محوریت سیستم‌های نظارت و کنترل و برد رزبری پای، از جهت نوع پروتکل داده و نوع پروتکل ارتباطی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در پژوهش‌های مسعود (۲۰۱۹)، شیته و آگراوال[2] (۲۰۱۶)، کومار و جاسوجا (۲۰۱۷)، ساینی[3] و همکاران (۲۰۲۰)، کیزا و همکاران (۲۰۱۹)، شیائوکه یانگ[4] و همکاران (۲۰۱۷)، فدوی لاشهاب و همکاران (۲۰۱۸) و کودالی و والداس (۲۰۱۸) از پروتکل داده MQTT[5] و پروتکل ارتباطی Wi-Fi استفاده شده است. همچنین در پژوهش‌های کومار و جاسوجا (۲۰۱۷)، ساینی و همکاران (۲۰۲۰)، کیزا و همکاران (۲۰۱۹)، یانگ و همکاران (۲۰۱۷)، لاشهاب و همکاران (۲۰۱۸)، پیاده‌سازی ایده با استفاده از دو برد رزبری پای و آردینو صورت گرفته است. برد رزبری به عنوان واحد اصلی به منظور کنترل عملکرد کل سیستم و برد آردینو وظیفه اکتساب و پیش‌پردازش داده‌ها را دارد (مسعود، ۲۰۱۹) و با استفاده از ابزار اسکن OBD[6] و بستر نرم‌افزاری Node-RED به طراحی سیستم نظارت بر وضعیت وسیله نقلیه مبتنی بر اینترنت اشیاء می‌پردازد.

در پژوهش شیته و آگراوال[7] (۲۰۱۶) یک سیستم فشرده، کم مصرف و مقرون به‌صرفه برای نظارت از راه دور بر داده‌های محیط شهری، با استفاده از سرویس ابری Adafruit ارائه شده است. همچنین در پژوهش‌های ساینی و همکاران (۲۰۲۰)، کیزا و همکاران (۲۰۱۹)، یانگ و همکاران (۲۰۱۷)، لاشهاب و همکاران (۲۰۱۸)، کودالی و والداس (۲۰۱۸) مربوط به سیستم نظارت و

http://stim.qom.ac.ir/

1. Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA)
2. Rohini Shete & Sushma Agrawal
3. Jagriti Saini
4. Xiaoke Yang
5. MQ Telemetry Transport
6. On-board diagnostics
7. Rohini Shete & Sushma Agrawal

کنترل کیفیت هوای داخلی هستند.

ساینی و همکاران (۲۰۲۰) نیز در پژوهشی به یک سیستم نظارت بلادرنگ بر دی اکسید کربن و PM10[1] با استفاده از سرویس وب آمازون اینترنت اشیاء پرداختند که وضعیت هوا را با یک فن خروجی کنترل کرده و به وسیله کنترل‌های فازی می‌تواند مدت زمان کار فن را با توجه به غلظت آلاینده‌ها، به صورت خودکار، تنظیم کند.

پژوهش کیزا و همکاران (۲۰۱۹) نیز به بررسی یک بستر توزیع شده اینترنت اشیاء با اتخاذ رویکرد داده‌محور پرداخته و با بهره‌گیری از Arduino Studio IDM و زبان برنامه‌نویسی جاوا، یک برنامه کاربردی همراه اطلاع‌رسانی ارائه می‌کند.

پژوهش یانگ و همکاران (۲۰۱۷)، یک زیرساخت باز از سیستم نظارت و کنترل کیفیت هوای داخلی با تمرکز بر روی تنظیم غلظت ذرات معلق محیط و دستگاه تهویه هوا ارائه کرده که در آن برنامه جمع‌آوری داده‌های حس‌گر بر روی یک سرور TCP[2] تشکیل شده و داده‌های ورودی را تفسیر و منتشر می‌کند.

در پژوهش لاشهاب و همکاران (۲۰۱۸) یک سیستم نظارت و کنترل زمینه‌محور سیستم تهویه ساختمان‌های با معماری سه لایه به منظور کنترل، ذخیره و تحلیل بلادرنگ داده از حس‌گرهای مختلف با استفاده از ابزارهای فناوری اینترنت اشیاء kaa Apache Storm و MamgoDB، ارائه شده است.

پژوهش کودالی و والداس (۲۰۱۸) یک پیاده‌سازی شبکه اعلام خطر آتش‌سوزی مبتنی بر اینترنت اشیاء ارائه کرده که در آن یک شبکه از NodeMCU ها با حس‌گرهای مقرون به‌صرفه دود و دما در نقاط راهبردی محل مورد نظر قرار می‌گیرند، داده‌های محیطی به برد رزبری پای منتقل شده و براساس پردازش داده‌های دریافتی، ایمیل هشدار برای کاربران مربوطه ارسال می‌شود.

در پژوهش‌های سان[3] و همکاران (۲۰۱۹)، و کروتینچی[4] و همکاران (۲۰۱۸) نیز از پروتکل داده MQTT و پروتکل ارتباطی Modbus استفاده شده است.

در مقاله چانگ گینگ سانگ و همکاران (۲۰۱۹)، با استفاده از پروتکل پیام‌رسان MQTT و فرمت داده Json، داده‌های پروتکل Modbus از طریق دستگاه‌های مبتنی بر سریال RS485 به صورت

1. Particulate Matter (PM10)
2. Transmission Control Protocol (TCP)
3. Changqing Sun
4. Corotinschi

http://stim.qom.ac.ir/

ایمن به سرویس‌های ابری میزبان عمومی و خصوصی انتقال می‌یابد که می‌تواند در هر زمان و مکان در یک مرورگر وب معمولی و یا از طریق تلفن هوشمند، به صورت بلادرنگ، نمایش داده شود.

در پژوهش کروتینچی و همکاران (۲۰۱۸) ارائه یک مدل کاربردی از درگاه اینترنت اشیاء مورد بررسی قرار گرفته است که هدف آن گسترش اتصال شبکه‌های دستگاه‌های Modbus به اینترنت اشیاء با انجام پردازش محلی داده است. این پیاده‌سازی بر مبنای مؤلفه اسکن داده گذرگاه با استفاده از دستورات از پیش‌پردازش شده برای اقدامات خواندن و نوشتن، انجام می‌شود که سبب کاهش مصرف پهنای باند و ترافیک شبکه خواهد شد.

در پژوهش‌های راملینگام و همکاران[1] (۲۰۱۹)، رحمان و همکاران (۲۰۱۹)، نجاری قزاآنی و قبائی آرانی، ۱۳۹۷) و از پروتکل داده MQTT و به ترتیب از پروتکل‌های ارتباطی اترنت، اتصال 3G[2] و GPS[3] استفاده شده است.

همچنین پژوهش راملینگام و همکاران (۲۰۱۹) پیرامون پیاده‌سازی یک سیستم کنترل و نظارت مبتنی بر اینترنت اشیاء با قابلیت نمایش به‌روزرسانی‌های زنده از سطح گازهای آزاد شده در طی فرآیند صنعتی، دما و رطوبت می‌باشد که از طریق برنامه کاربردی سرور سیار بومی BLYNK مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پژوهش رحمان و همکاران (۲۰۱۹) نیز مرتبط با به طراحی و پیاده‌سازی یک بستر مبتنی بر اینترنت اشیاء برای توسعه شهری با استفاده از سنجش محیطی به عنوان یک برنامه کاربردی رانندگی است. این پژوهش با ارائه دو راهبرد سازگار برای سنجش و جمع‌آوری داده‌ها در سطح زیرساخت و اطلاعات با قابلیت اجرا بر روی بسترهای ساخته شده بر روی Docker و Kubernetes، باعث کاهش حجم داده متناسب با برنامه‌های مبتنی بر ارسال داده با شبکه سلولی 3G شده و به طور کلی برای زیرساخت‌های اینترنت اشیاء با اتصالات محدود داده مناسب و قابل اجرا می‌باشد. در این پژوهش از برد آردینو به عنوان رابط حس‌گرها و مبدل آنالوگ به دیجیتال استفاده شده است.

در پژوهش نجاری قزاآنی و قبائی آرانی (۱۳۹۷) نیز یک سیستم مدیریت ناوگان حمل و نقل با استفاده از بستر نرم‌افزاری WSO2 IoT server پیاده‌سازی شده است که علاوه بر نظارت بر وضعیت

1. S. Ramalingam
2. The third generation of wireless mobile
3. Global Positioning System (GPS)

http://stim.qom.ac.ir/

خودروها به صورت بلادرنگ، هشدارهای مختلفی از قبیل هشدار سرعت، هشدار سکون و هشدار ورود و خروج از محدوده جغرافیایی را برای خودروهای ناوگان، تعریف می‌کند.

در پژوهش اسکات و الیان[1] (۲۰۱۹) از پروتکل داده COAP[2] و پروتکل ارتباطی Wi-Fi استفاده شده است. در این معماری اینترنت اشیاء، نقاط پایانی با دریافت تایید از حس‌گرهای دما و رطوبت، و با استفاده از CoAP، آخرین داده‌های قالب‌بندی شده با Json، در طی فواصل زمانی منظم، به نقطه پایانی ابر در Things Board ارسال می‌کنند.

در پژوهش لکیچ[3] و همکاران (۲۰۱۸) نیز از پروتکل WebSocket و شبکه LAN به منظور به پیاده‌سازی یک برنامه کاربردی اینترنت اشیاء برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نظر، ذخیره، پردازش و تحلیل آنها استفاده شده است. اجرای ایده پیشنهادی به وسیله حس‌گرهای دما و رطوبت و سکّوی نرم‌افزاری IBM Bluemix IoT صورت می‌گیرد.

زکریا و همکاران (۲۰۱۸) نیز در پژوهشی با استفاده از پروتکل‌های HTTP[4] و Wi-Fi، به ارائه یک دستگاه سنجش کیفیت هوای بی‌سیم مبتنی بر اینترنت اشیاء، به منظور نظارت هوشمند بر آلودگی با بهره‌گیری از حس‌گرهای کیفیت هوا، دما و رطوبت و داده HTTP و سکّوی نرم‌افزاری ThingSpeak پرداخته است.

در مطالعات مرتبط با حوزه پژوهش حاضر در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰، تعداد ۱۳ مقاله از پروتکل داده MQTT استفاده کرده‌اند و تأمین امنیت بر روی پروتکل MQTT در قالب راهکار اختصاصی پیاده‌سازی می‌شود که سبب پیچیدگی مدیریت و کاهش مقیاس‌پذیری شده و عملیاتی نمودن طرح را دشوار می‌سازد.

سایر پروتکل‌های به‌کار گرفته شده در مقالات، نظیر پروتکل CoAP، سازگاری لازم با محیط‌های صنعتی را ندارند. در نتیجه لازم است از پروتکل داده‌ای استفاده شود که علاوه بر سازگاری با محیط‌های صنعتی، سبب بهبود سطح امنیت تبادل داده در سیستم پیشنهادی شود. همچنین با توجه به این نکته که تجهیزات ارتباطی ایده براساس نوع پروتکل ارتباطی تهیه می‌شوند، مصرف انرژی،

http://stim.qom.ac.ir/

1. Thomas Lee Scott & Amna Eleyan
2. Constrained Application Protocol (CoAP)
3. Milica Lekić
4. Hypertext Transfer Protocol (HTTP)

هزینه و تناسب عملکرد پروتکل ارتباطی با پروتکل داده، از جمله فاکتورهای مهم در انتخاب پروتکل ارتباطی هستند.

همچنین در پژوهشی گوتسیس و همکاران (۲۰۱۳) مکانیزم انتقال داده سه پروتکل ارتباطی MQTT، CoAP و OPC UA را به منظور ارزیابی زمان انتقال و تحلیل پتانسیل‌های بهینه‌سازی در شبکه‌های سلولی، مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که پروتکل OPC UA علی‌رغم بیشترین سربار در مقایسه با دو پروتکل دیگر، بهترین نتایج را در اندازه‌گیری زمان انتقال داده براساس استانداردهای شبکه سلولی (LTE[1], UMTS[2], EDGE[3]) دارد. جدول شماره (۱) و جدول شماره (۲) شکاف‌های پژوهش‌های مورد بررسی براساس فاکتورهای پروتکل ارتباطی و پروتکل داده را نشان می‌دهند.

جدول ۱- شکاف پژوهش‌های مورد بررسی براساس فاکتور پروتکل داده

پروتکل داده	شکاف پژوهش‌های مورد بررسی براساس فاکتور پروتکل داده
MQTT	پیچیدگی مدیریت سطح امنیت انتقال اطلاعات و مقیاس‌پذیری
COAP	سطح امنیت انتقال اطلاعات
WebSocket	لزوم بهبود عملکرد پروتکل داده برای محیط‌های صنعتی
HTTP	سرعت انتقال اطلاعات

جدول ۲- شکاف پژوهش‌های مورد بررسی براساس فاکتور پروتکل ارتباطی

پروتکل ارتباطی	شکاف پژوهش‌های مورد بررسی براساس فاکتور پروتکل ارتباطی
Wi-Fi	مصرف انرژی و هزینه عملیاتی
Modbus	سرعت شبکه ارتباطی در انتقال داده
Ethernet	مصرف انرژی و هزینه عملیاتی
3G	سرعت شبکه ارتباطی در انتقال داده
GPS	فاکتورهای امنیت و قابلیت اطمینان شبکه ارتباطی
LAN	مصرف انرژی و هزینه عملیاتی

1. Long-term evolution (LTE)
2. Niversal Mobile Telecommunications System (UMTS)
3. Enhanced Data rates for GSM Evolution

http://stim.qom.ac.ir/

۳. روش پیشنهادی

۳-۱. مدل سیستم پیشنهادی و اجزای آن

سیستم نظارت و کنترل پیشنهادی پژوهش حاضر از چهار بخش اصلی تشکیل شده است: حس‌گرها، برد رزبری پای، پروتکل انتقال داده و زیرساخت نرم‌افزاری ابر که از پلتفرم اینترنت اشیاء ThingsBoard در سمت سرویس‌دهنده[1] ابر و از برد رزبری پای، مودم همراه 4G، حس‌گر اندازه‌گیری رطوبت و دما و حس‌گرهای اندازه‌گیری غلظت گازها در سمت سرویس گیرنده[2] استفاده می‌شود. داده‌های محیطی توسط حس‌گرها جمع‌آوری و به برد رزبری پای منتقل می‌شوند.

برد رزبری پای یک کامپیوتر مقرون به صرفه و اقتصادی در ابعاد یک کارت اعتباری است که به وسیله صفحه نمایش، صفحه کلید و موس مورد استفاده قرار گرفته و در پژوهش حاضر از طریق سیستم‌عامل رزبین و زبان برنامه‌نویسی پایتون راه‌اندازی می‌شود. برد رزبری پای، به عنوان سخت‌افزار اصلی برای کنترل و سنجش در پروژه اینترنت اشیاء، مسئول دریافت، اصلاح و بازیابی داده در فرمت مناسب برای انتقال از طریق پروتکل داده OPC UA است و ارتباط با زیرساخت نرم‌افزاری ابر نیز از طریق OPC UA صورت می‌گیرد.

OPC UA یک مجموعه استاندارد نرم‌افزاری جهت انتقال و ارسال متغیرهای فرآیند در سیستم‌های صنعتی و اسکادا[3] با هدف افزایش کارایی و استاندارد نمودن ارتباط میان منابع داده (دستگاه‌هایی که متغیرهای فرآیند را اندازه‌گیری و جمع‌آوری می‌کنند) و مصرف‌کنندگان داده (مراکز نمایش و کنترل فرآیند) می‌باشد (مکاری‌زاده و غفارزاده، ۱۳۸۳).

ThingsBoard یک بستر متن‌باز اینترنت اشیاء به منظور جمع‌آوری، پردازش و دیداری‌سازی داده‌ها و مدیریت دستگاه‌ها بوده و اتصال دستگاه از طریق پروتکل‌های استاندارد صنعتی اینترنت اشیاء مانند MQTT و OPC UA امکان‌پذیر است.

ویژگی‌هایی نظیر مقیاس‌پذیری، تحمل خطا و کارایی سبب حفاظت از اطلاعات در این سکوی نرم‌افزاری می‌شود. همچنین این پلتفرم به منظور افزایش سطح امنیت اطلاعات، در زمان اتصال دستگاه یک توکن دسترسی یکتا را به طور خودکار تولید کرده که اتصال دستگاه و ارسال اطلاعات

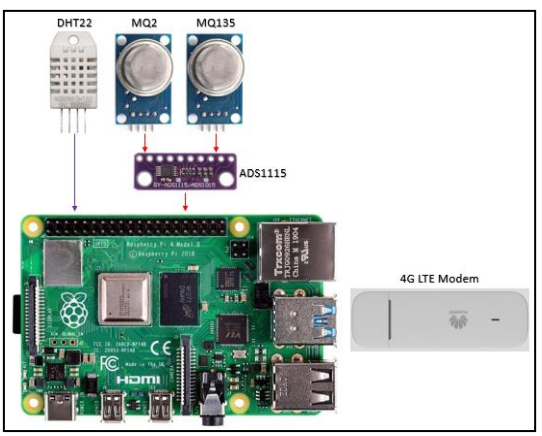
1. Server-side
2. Client-side
3. SCADA

http://stim.qom.ac.ir/

تنها به واسطه این نشان دسترسی و یا سایر اعتبارنامه‌های تعریف شده توسط ThingsBoard امکان‌پذیر است.

در این سیستم، حس‌گر MQ2 برای تشخیص دود و غلظت گازهای LPG[1]، الکل، پروپان، هیدروژن، متان و مونواکسید کربن، حس‌گر MQ135 برای سنجش کیفیت هوا و تشخیص گازهای آمونیاک و کربن دی اکسید و حس‌گر DHT22 برای اندازه‌گیری رطوبت و دما و همچنین یک مودم همراه 4G به منظور بارگذاری داده‌های محیطی دریافتی در ابر، به‌کار گرفته می‌شوند. داده‌های دریافتی توسط حس‌گرهای کیفیت هوا به صورت آنالوگ بوده و لازم است پیش از انتقال به برد رزبری پای، به مقدار دیجیتال تبدیل شوند. این امر به وسیله مبدل آنالوگ به دیجیتال ADS1115 انجام می‌گیرد. با توجه به وجود تراشه مبدل آنالوگ به دیجیتال در حس‌گر DHT22، خروجی این حس‌گر به صورت دیجیتال بوده و نیازی به تبدیل نوع داده نخواهد بود. مودم همراه به وسیله درگاه USB و حس‌گرها به واسطه پین‌های GPIO[2] به برد رزبری پای متصل می‌شود.

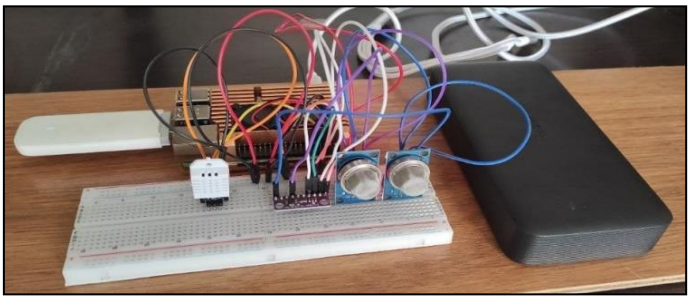
داده‌های ضبط شده توسط حس‌گرها به وسیله برد رزبری پای و با پروتکل داده OPC UA و پروتکل ارتباطی سلولی نسل چهارم به سرویس‌دهنده ابر، ارسال می‌شود. اطلاعات دریافتی در سمت سرویس‌دهنده پردازش شده و به صورت بلادرنگ به کاربر نمایش داده می‌شوند.



شکل ۲- نحوه اتصال حس‌گرها و مودم 4G به برد رزبری پای

1. Liquefied petroleum gas
2. General-purpose input/output (GPIO)

http://stim.qom.ac.ir/



شکل ۳- ساختار سیستم پیشنهادی کنترل و نظارت مبتنی بر اینترنت اشیاء با استفاده از برد رزبری پای

۳-۲. پیاده‌سازی نرم‌افزاری

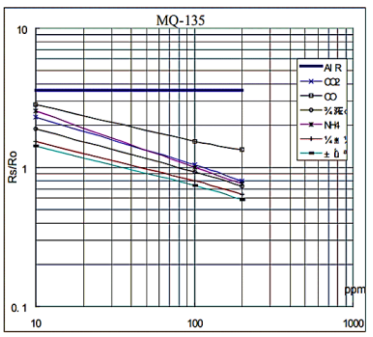
پس از نصب سیستم عامل لینوکسی رزبین[1] و انجام پیکربندی بر روی برد رزبری پای، به منظور استفاده از پروتکل OPC UA در این پروژه، لازم است آن را تحت بسته‌ای به نام OPCUA، با استفاده از pip نصب کرد و همچنین خواندن مقادیر دما و رطوبت توسط حس‌گر DHT22، پس از دانلود و نصب کتابخانه Adafruit DHT در محیط رزبری پای امکان‌پذیر است. برای خواندن داده از دو حس‌گر MQ2 و MQ135 از ADS1115، به عنوان مبدل آنالوگ به دیجیتال استفاده شده و این مبدل مقادیر دیجیتال را از طریق پروتکل ارتباطی I2C به برد رزبری پای ارسال می‌کند. برای کنترل و استفاده از ADS1115 پس از انجام پیکربندی‌های لازم در برد رزبری، کتابخانه‌های RPI.GPIO adafruit-blinka و adafruit-circuitpython-ads1x15 به وسیله دستور pip نصب می‌شوند (تاکه فوجی، ۲۰۲۱).

حس‌گرهای سری MQ به منظور اندازه‌گیری غلظت گازهای موجود در محیط مورد استفاده قرار می‌گیرند و دارای یک مقاومت داخلی هستند که مقدار آن با توجه به غلظت گاز تغییر می‌کند. اگر غلظت گاز زیاد باشد، مقاومت کاهش و اگر غلظت کم باشد، مقاومت افزایش می‌یابد. همچنین حس‌گر باید به نوعی تنظیم شود تا بتواند غلظت گازهای مورد نظر را برحسب PPM[2] تشخیص دهد. با استفاده از مشخصات و اطلاعات حس‌گر MQ135 در دیتاشیت[3] می‌توان غلظت گاز را با استفاده از تغییرات مقاومت محاسبه کرد. نمودار (۱) غلظت گاز را با توجه به نسبت مقاومت حس‌گر

1. Raspbian (Raspberry Pi OS)
2. Parts per million
3. Datasheet

http://stim.qom.ac.ir/

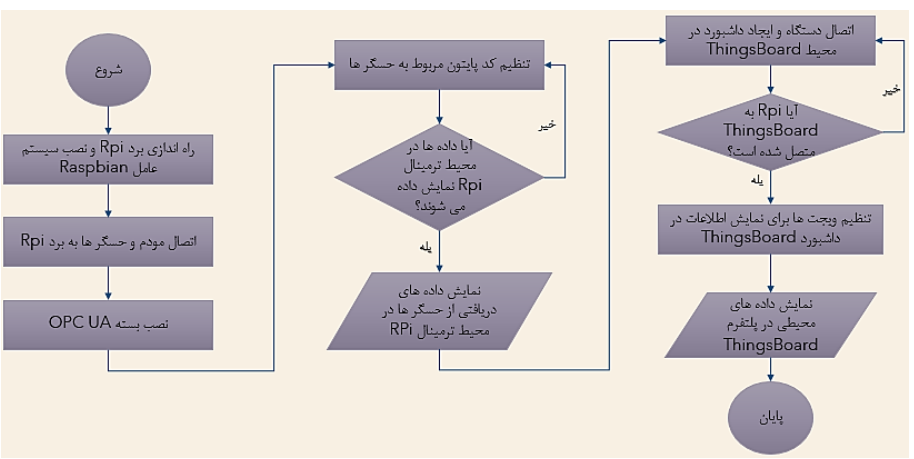
(RS/R0) در واحد بخش در میلیون (PPM) نشان می‌دهد. RS مقاومت حس‌گر است که بسته به غلظت گاز تغییر می‌کند و R0 مقاومت حس‌گر در غلظت مشخص بدون حضور گازهای دیگر یا در هوای تازه است. فرمول یافتن RS با استفاده از قانون اهمّ بدست می‌آید.



نمودار ۱ - مشخصات و اطلاعات حس‌گر MQ135

شکل (۴) مراحل پیاده‌سازی سیستم نظارت و کنترل پیشنهادی پژوهش حاضر را در قالب یک روند نما نشان می‌دهد. پس از راه‌اندازی برد رزبری پای، اتصال مودم 4G LTE و نصب کتابخانه‌های ذکر شده برای هریک از حس‌گرها و پروتکل داده، کد پایتون پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی در سه بخش سرویس‌دهنده، سرویس گیرنده و پلتفرم ابر ThingsBoard تنظیم شده و با اجرای آنها در ترمینال به ترتیب سرویس‌دهنده، سرویس گیرنده و پلتفرم ابر ThingsBoard، داده‌های خوانده شده توسط حس‌گرها به وسیله برد رزبری پای و تحت پروتکل OPC UA به پلتفرم ابر ThingsBoard ارسال می‌شوند.

http://stim.qom.ac.ir/



شکل ٤- روند نمای مراحل پیاده‌سازی سیستم پیشنهادی

۴. شبیه‌سازی و ارزیابی

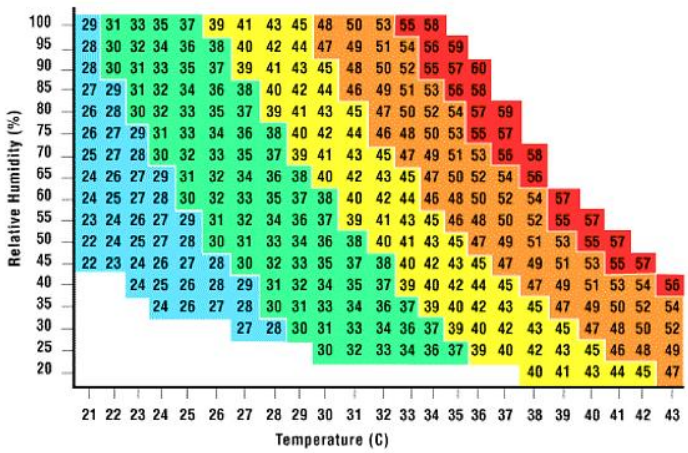
از جمله اهداف این تحقیق بهبود چالش امنیت ارسال و دریافت داده در اینترنت اشیاء صنعتی است. پروتکل داده مورد استفاده در سیستم پیشنهادی این تحقیق، پروتکل OPC UA، از جمله پروتکل‌های مناسب امنیت در اینترنت اشیاء صنعتی است که مستقل از نوع دستگاه و نوع منابع داده، سازگاری میان سخت‌افزارها و نرم‌افزارها را بیش از پیش فراهم می‌سازد. همچنین پروتکل ارتباطی این طرح، فناوری ارتباطی شبکه سلولی 4G می‌باشد که برای محیط‌هایی با عدم دسترسی فراگیر و رایگان به Wi-Fi و ساختار اتصال شبکه اینترنت، مناسب بوده و سبب انعطاف‌پذیری بیشتر کاربران در استفاده از سیستم نهایی در محیط‌های صنعتی خواهد شد. پروتکل OPC UA نتایج مناسبی را در اندازه‌گیری زمان انتقال داده براساس استانداردهای شبکه سلولی (LTE, UMTS, EDGE) به همراه دارد.

سیستم نظارت و کنترل کیفیت هوای محیط پیشنهادی به مدت چهارده روز در انبار صنعتی نگهداری کفش و ابزاری به طول ۵ متر و عرض دو متر که به صورت پلکانی و ارتفاع آن از ۱/۸۰ متر تا ۳/۳ متر متغیر بوده، در ارتفاع ۲/۵ متری از سطح زمین قرار گرفته است. بازه زمانی هفت روز اول به منظور بررسی پایش کیفیت هوا با اتصال برد رزبری پای به مودم 4G LTE و در بازه زمانی هفت روز دوم با اتصال برد رزبری پای به Wi-Fi می‌باشد. سپس این سیستم، در هر دو بازه زمانی، تحت سوختن چوب، کاغذ و پارچه به طور جداگانه مورد آزمایش قرار گرفته است. هدف از طراحی این آزمایش، بررسی دقت اندازه‌گیری گازها، دما، رطوبت، تشخیص دود و فاکتور کیفیت هوا در حالت‌های هوای پاک و احتراق و بررسی میزان مصرف انرژی و برق در دو حالت اتصال برد رزبری پای به مودم 4G LTE و Wi-Fi است.

هدف پایش کیفیت هوا توسط سیستم کنترل مبتنی بر اینترنت اشیاء پیشنهادی، دستیابی به کیفیت هوای داخلی مناسب، تشخیص و کنترل سطح گازها با توجه به محیط و تشخیص دود و احتراق است. به منظور دستیابی به این هدف، سطوح گازهای کربن دی اکسید، کربن مونوکسید، دما و رطوبت مورد بررسی قرار می‌گیرند. غلظت معمول گاز کربن دی اکسید در فضاهای داخلی با تهویه مناسب هوا مقدار 400-1000 PPM و حداکثر مقدار گاز کربن مونوکسید برای هشت ساعت کاری در روز 35 PPM است و در صورت افزایش غلظت این گازها، کیفیت هوا در شرایط نامناسب قرار می‌گیرد. علاوه بر این موارد، شاخص کیفیت هوا که توسط حس‌گر MQ135 اندازه‌گیری می‌شود، شاخص مناسبی برای بررسی کیفیت هوای داخلی بوده که محدوده 0.5-1.0 PPM، مقدار مناسبی در محیط‌های داخلی محسوب می‌شود. Humidex، یک شاخص رطوبت و دما است که با در نظر

http://stim.qom.ac.ir/

گرفتن تاثیر گرما و رطوبت، وضعیت هوا را توصیف می‌کند و نمودار شماره (۲) نشان‌دهنده مقادیر این شاخص است. در صورتی که درصد رطوبت و درجه سانتیگراد دما در بازه عددی ۳۰ تا ۳۹ نگاشت شود، سبب اختلال و ناراحتی می‌شود، در بازه عددی ۴۰-۴۵ این اختلال افزایش یافته و در سطح بالای ۴۵ در وضعیت خطرناک قرار می‌گیرد.



نمودار ۲- نمودار شاخص رطوبت و دما Humidex

جدول (۳) مقایسه کیفیت هوا در شرایط هوای پاک در انبار صنعتی مدنظر، جدول (۴) مقایسه کیفیت هوا (حداکثر مقدار داده ثبت شده توسط حس‌گرها) در انبار صنعتی مدنظر را در زمان سوختن چوب، پارچه و کاغذ و جدول (۵) میانگین داده‌های قابل تشخیص توسط حس‌گرها را در مدت چهارده روز (مجموع هوای پاک و شبیه‌سازی احتراق) در دو حالت 4G LTE و Wi-Fi نشان می‌دهد:

جدول ۳- حجم داده مصرفی در مقایسه کیفیت هوا در حالت هوای پاک در انبار صنعتی در دو حالت اتصال به مودم 4G LTE و Wi-Fi

	4G LTE	Wi-Fi
Alcohol	0.01	0.01
CH4	0.01	0.01
CO	0.01	0.01
H2	0.02	0.01
LPG	0.02	0.01
Propane	0.02	0.01
Smoke	0.05	0.04
Temperature	35.69	35.97

http://stim.qom.ac.ir/

	4G LTE	Wi-Fi
Humidity	27.32	24.41
Air Quality	0.52	0.45
Ammonia	277.38	366.07
CO2	459.05	587.58

جدول ٤- حجم داده مصرفی در مقایسه کیفیت هوا در حالت سوختن چوب، پارچه و کاغذ در انبار صنعتی

	– 4G LTE سوختن چوب	– Wi-Fi سوختن چوب	– 4G LTE سوختن پارچه	– Wi-Fi سوختن پارچه	– 4G LTE سوختن کاغذ	– Wi-Fi سوختن کاغذ
Alcohol	۸,۳۹	۲,۹۶	۰,۲۸	۰,۰۷۱	۰,۸۶	۰,۵۷
CH4	۱۰,۱۷	۳,۵۹	۰,۳۵	۰,۱۸	۱,۰۴	۰,۶۶
CO	۳۴,۲۸	۱۰,۷۳	۰,۷۹	۰,۴۰	۲,۷۱	۱,۶۲
H2	۳۵,۰۶	۱۰,۹۸	۰,۸۱	۰,۴۱	۲,۷۷	۱,۶۵
LPG	۴,۵۲	۱,۹۶	۰,۳۰	۰,۱۴	۰,۷۲	۰,۵۱
Propane	۴,۹۶	۲,۱۳	۰,۳۲	۰,۱۹	۰,۷۸	۰,۵۳
Smoke	۲۰,۱۴	۸,۳۳	۱,۱۵	۰,۶۸	۲,۹۲	۱,۹۶
Temperature	۴۷,۱	۵۱,۴	۴۰,۸	۳۸,۷	۳۹,۶۸	۶۰,۱
Humidity	۲۷	۲۶,۹	۲۳,۲	۳۰	۳۶,۳۵	۲۱,۶
Air Quality	۱,۶۷	۱,۷۰	۱,۴۰	۱,۲۲	۱,۷۱	۲,۲۴
Ammonia	۱۲۶۸۵,۶۳	۹۲۴,۰۶	۱۰۹۷,۴۲	۱۴۱۹,۶۵	۷۶۴۰,۷۰	۶۲۸۳,۱۶
CO2	۲۳۳۲۷,۰۲	۱۵۲۷,۶۲	۱۸۲۶,۹۳	۲۳۸۸,۲۱	۱۳۷۶۳,۶۰	۱۱۲۲۸,۶۰

جدول ٥- حجم داده مصرفی در مقایسه کیفیت هوا در انبار صنعتی در دو حالت اتصال به مودم 4G LTE و Wi-Fi

	4G LTE	Wi-Fi
Alcohol	۰,۰۴	۰,۰۵
CH4	۰,۰۵	۰,۰۳
CO	۰,۱۲	۰,۰۸
H2	۰,۱	۰,۱
LPG	۰,۰۳	۰,۰۲
Propane	۰,۰۳	۰,۰۳
Smoke	۰,۰۷	۰,۰۵
Temperature	۳۶,۳۳	۳۴,۷۳
Humidity	۲۸,۷۲	۲۸,۹۱
Air Quality	۰,۵۱	۰,۴۶
Ammonia	2439.01	۳۴۲۹,۷۶
CO2	4340.31	۶۰۰۵,۲۱

/http://stim.qom.ac.ir

حجم داده مصرفی برای ارسال اطلاعات به پلتفرم ابر ThingsBoard برای هفت روز، ۸۲ مگابایت است. مصرف انرژی برد رزبری پای در زمان اتصال به مودم 4G LTE برای یک روز ۴۰۰۰۰ میلی آمپر و در هفت روز ۲۸۰۰۰۰ میلی آمپر می‌باشد. مصرف انرژی برد رزبری پای در زمان اتصال به Wi-Fi (با صرف‌نظر از مصرف انرژی مودم) در یک روز ۳۰۰۰۰ میلی آمپر و برای مدت هفت روز ۲۱۰۰۰۰ میلی آمپر است.

تشخیص گاز رویکرد پیشنهادی در هر دو حالت اتصال به مودم 4G LTE و اتصال بهWi-Fi، در هوای پاک مشابه یکدیگر است، اما در حالت‌های مختلف سوختن، داده‌های ارسال شده تحت اتصال برد رزبری پای به Wi-Fi کمتر از مقدار پیش‌بینی شده می‌باشد. در مقایسه هفت روز (شامل هوای پاک و سوختن چوب، پارچه و کاغذ) داده‌های کیفیت هوا در دو حالت اتصال به مودم 4G LTE و اتصال به Wi-Fi، مشابه یکدیگر است و علی‌رغم یکسان بودن شرایط سوختن، تفاوت میان داده‌ها می‌تواند به علت متفاوت بودن شرایط محیطی در زمان آزمایش هوای پاک در هر یک از دو حالت باشد.

در هر یک از حالت‌های سوختن چوب، پارچه و کاغذ، کیفیت هوا در وضعیت ناسالم و بسیار ناسالم، سطح کربن دی اکسید در سطح هوای ناسالم و خطرناک و در مواردی مانند سوختن کاغذ در وضعیت ممنوعیت حضور در محیط کار و سطح کربن مونوکسید در حداکثر مقدار ممکن برای کار در طولانی مدت قرار دارند. سطوح سایر گازهای قابل تشخیص توسط حس‌گرها با توجه به نوع ماده در حال احتراق متفاوت بوده و نسبت به حالت هوای پاک، افزایش قابل توجهی داشته‌اند. درجه حرارت و رطوبت (فاکتور Humidex) در حالت سوختن چوب و کاغذ در وضعیت بحرانی و خطرناک و در حالت سوختن پارچه در وضعیت ایجاد اختلال و ناراحتی قرار می‌گیرند.

http://stim.qom.ac.ir/

۵. نتیجه‌گیری

هدف اصلی پژوهش حاضر ارائه یک سیستم نظارت و کنترل سطح گازهای آزاد شده در محیط، رطوبت و دما مبتنی بر اینترنت اشیاء در محیط‌های صنعتی است که علاوه بر افزایش امنیت ارسال و دریافت داده‌ها، دسترسی آسان کاربران عادی به اطلاعات مربوط به شرایط محیطی را فراهم می‌کند. این سیستم شامل برد رزبری پای، مودم 4G LTE، حس‌گرهای MQ135، MQ2 و DHT22 می‌باشد. داده‌های دریافتی از محیط تحت پروتکل داده OPC UA و پروتکل ارتباطی 4G به پلتفرم ابر ThingsBoard ارسال شده و از طریق این پلتفرم اینترنت اشیاء در اختیار کاربران قرار می‌گیرند. به

منظور بررسی عملکرد سیستم پیشنهادی با استفاده از پروتکل OPC UA و شبکه سلولی نسل چهارم و مقایسه آن با استفاده از اتصال Wi-Fi، این سیستم نظارت مبتنی بر اینترنت اشیاء در محیط انبار صنعتی و تحت حالت‌های هوای پاک و شبیه‌سازی آتش سوزی چوب، پارچه و کاغذ به مدت چهارده روز در هر دو وضعیت اتصال برد رزبری پای به مودم 4G LTE و Wi-Fi مورد آزمایش قرار گرفت. داده‌های حاصل از این آزمایش‌ها نشان‌دهنده تشخیص مشابه هوای پاک در هر دو حالت 4G LTE و Wi-Fi است. در هنگام شبیه‌سازی آتش‌سوزی، مقدار داده‌های تشخیص داده شده در حالت اتصال Wi-Fi کمتر از حالت 4G LTE و کمتر از مقادیر پیش‌بینی شده بودند، اما در نهایت در مقایسه نتایج هفت روز آزمایش برای حالت‌های 4G LTE و Wi-Fi که شامل مجموعه‌ای از هوای پاک و شبیه‌ساز آتش‌سوزی هستند، مقادیر ثبت شده در پلتفرم ابر ThingsBoard صرف‌نظر از تفاوت‌های جزئی، مشابه یکدیگر هستند.

با توجه به نتایج حاصل از آزمایش می‌توان گفت که برتری پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی با استفاده از مودم 4G LTE مقرون به صرفه بودن از لحاظ هزینه و مصرف انرژی است. شبکه‌های سلولی موبایل اینترنت اشیاء با توانایی ارسال مقدار بسیار ناچیز داده، پروتکل ارتباطی مناسبی برای پروژه‌های اینترنت اشیاء مبتنی بر حس‌گرها هستند. همچنین پیاده‌سازی ایده پیشنهادی با محوریت پروتکل داده OPC UA، سبب افزایش امنیت در ارسال و دریافت داده‌ها می‌شود. جدول (۶) مربوط به مقایسه رویکرد پیشنهادی این پژوهش با سایر تحقیقات مورد بررسی است. راه‌حل‌های امنیتی مبتنی بر یادگیری ماشین، با تمرکز بر تحلیل الگوهای رفتاری و شناسایی فعالیت‌ها به جای کنترل دسترسی و رمزنگاری، از جمله راهکارهای مناسب در بهبود امنیت اینترنت اشیاء صنعتی محسوب می‌شوند.

از جمله پیشنهادات این تحقیق برای پژوهش‌های آینده، بررسی امکان استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین به منظور حفظ امنیت قابلیت اطمینان و دقت داده‌های اینترنت اشیاء صنعتی در سیستم‌های کنترل و نظارت کیفیت هوا است. هدف از اجرای این طرح در آینده، توسعه مدل تشخیص آلودگی هوا با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون، الگوریتم‌های یادگیری ماشین، حس‌گرهای مبتنی بر اینترنت اشیاء و یک بستر ابر اینترنت اشیاء، ThingsBoard است. این بستر ابری به عنوان واسط داده‌های دریافتی از محیط، میان مؤلفه‌های سخت‌افزاری و الگوریتم‌های طبقه‌بندی یادگیری ماشین برای تشخیص گازهای محیطی عمل می‌کند. خروجی این ایده مقایسه الگوریتم‌های یادگیری ماشین به منظور کشف الگوریتم مناسب برای پیش‌بینی شاخص کیفیت هوا است.

http://stim.qom.ac.ir/

جدول ٦- مقایسه رویکرد پیشنهادی پژوهش حاضر با سایر تحقیقات مرتبط مورد بررسی

پروتکل داده	پروتکل ارتباطی	مزیت رویکرد پیشنهادی پژوهش نسبت به سایر تحقیقات مورد بررسی
MQTT	Wi-Fi	مقرون به صرفه از نظر اقتصادی و مصرف انرژی، سطح بالاتری از امنیت در پروتکل داده.
MQTT	**Modbus**	سرعت بالاتر شبکه ارتباطی در انتقال داده، سطح بالاتری از امنیت در پروتکل داده.
MQTT	Ethernet	مقرون به صرفه از نظر اقتصادی و مصرف انرژی، سطح بالاتری از امنیت در پروتکل داده.
MQTT	3G	سرعت بالاتر شبکه ارتباطی در انتقال داده، سطح بالاتری از امنیت در پروتکل داده.
MQTT	GPS	عملکرد بهتر شبکه ارتباطی از لحاظ امنیت و قابلیت اطمینان، سطح بالاتری از امنیت در پروتکل داده.
COAP	Wi-Fi	مقرون به صرفه از نظر اقتصادی و مصرف انرژی، سطح بالاتری از امنیت در پروتکل داده.
WebSocket	**LAN**	مقرون به صرفه از نظر اقتصادی و مصرف انرژی، عملکرد بهتر پروتکل داده.
HTTP	Wi-Fi	مقرون به صرفه از نظر اقتصادی و مصرف انرژی، سرعت بیشتر در انتقال اطلاعات.

http://stim.qom.ac.ir/

منـــابـــع

تائبی، ح.ر. (۱۳۹۶). پرونده ویژه اینترنت اشیاء صنعتی. شبکه، ۱۹(۱۹۴): ۱۵۰-۱۵۱.

مکاری‌زاده، ش.، غفارزاده، ف. (۱۳۸۳). *کاربرد OPC در اسکادا*. در: کنفرانس بین‌المللی برق، سازمان‌ها و مراکز دولتی و عمومی.

نجاری قزاآنی، ع.ر.، قبائی آرانی، م. (۱۳۹۷). *طراحی و پیاده‌سازی سیستم مدیریت ناوگان حمل و نقل با استفاده از پلتفرم اینترنت اشیاء WSO2*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. موسسه آموزش عالی عالمه فیض کاشانی، دانشکده فنی و مهندسی.

References

BinMasoud, A. & Cheng, Q. (2019). *Design of an IoT-based Vehicle State Monitoring System Using Raspberry Pi*. 2019 International Conference on Electrical Engineering Research & Amp; Practice (ICEERP). **DOI:** https://doi.org/10.1109/iceerp49088.2019.8956975

Chiesa, G., Cesari, S., Garcia, M., Issa, M. & Li, S. (2019). Multisensor IoT Platform for Optimising IAQ Levels in Buildings through a Smart Ventilation System. *Sustainability*, 11(20): 5777. **DOI**: https://doi.org/10.3390/su11205777

Corotinschi, G. & Gaitan, V.G. (2018). *Enabling IoT connectivity for Modbus networks by using IoT edge gateways*. In: 2018 International Conference on Development and Application Systems (DAS). **DOI**: https://doi.org/10.1109/daas.2018.8396092

Gotsis, A., Lioumpas, A.S. & Alexiou, A. (2013). Analytical modelling and performance evaluation of realistic time-controlled M2M scheduling over LTE cellular networks. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 24(4): 378–388. **DOI:** https://doi.org/10.1002/ett.2629

Kodali, R.K. & Valdas, A. (2018). *MQTT Implementation of IoT based Fire Alarm Network*. 2018 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things (IC3IoT). **DOI:** https://doi.org/10.1109/ic3iot.2018.8668158

Kumar, S. & Jasuja, A. (2017). *Air quality monitoring system based on IoT using Raspberry Pi*. In: 2017 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA). **DOI**: https://doi.org/10.1109/ccaa.2017.8230005

Lachhab, F., Bakhouya, M., Ouladsine, R. & Essaaidi, M. (2018). Context-driven monitoring and control of buildings ventilation systems using big data and Internet of Things–based technologies. *Journal of Systems and Control Engineering*, 233(3): 276–288. **DOI:** https://doi.org/10.1177/0959651818791406

Lekic, M. & Gardasevic, G. (2018). *IoT sensor integration to Node-RED platform*. 2018 17th International Symposium Infoteh-Jahorina (Infoteh). **DOI**: https://doi.org/10.1109/infoteh.2018.8345544

Makarizadeh, Sh. & Ghafarzadeh, F. (2013). *Application of OPC in SCADA*. In: International electricity conference. Government and public organizations and centers. [in persian]

Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F. & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7): 1497–1516. **DOI:** https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.02.016

/http://stim.qom.ac.ir

Najari Ghazaani, A.R. & Qobaei Arani, M. (2017). *Design and implementation of the transport fleet management system using the WSO2 Internet of Things platform.* Master's thesis. Alame Faiz Kashan Institute of Higher Education, Technical and Engineering Faculty. [in persian]

Pasumponpandian (2020). Analysis of Data Stream Processing at Edge Layer for Internet of Things. *Journal of ISMAC*. **DOI:** https://doi.org/10.36548/jismac.2020.1.003

Rahman, M., Rahman, A., Hong, H.J., Pan, L.W., Sarwar Uddin, M.Y., Venkatasubramanian, N. & Hsu, C.H. (2019). An adaptive IoT platform on budgeted 3G data plans. *Journal of Systems Architecture*, 97: 65–76. **DOI:** https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2018.11.002

Ramalingam, S., Baskaran, K. & Kalaiarasan, D. (2019). *IoT Enabled Smart Industrial Pollution Monitoring and Control System Using Raspberry Pi with BLYNK Server*. In: 2019 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES). **DOI**: https://doi.org/10.1109/icces45898.2019.9002430.

Saini, J., Dutta, M. & Marques, G. (2020). Indoor Air Quality Monitoring Systems Based on Internet of Things: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14): 4942. **DOI**: https://doi.org/10.3390/ijerph17144942

Scott, T.L. & Eleyan, A. (2019). *CoAP based IoT data transfer from a Raspberry Pi to Cloud*. 2019 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC). **DOI**: https://doi.org/10.1109/isncc.2019.8909150

Shete, R. & Agrawal, S. (2016). *IoT based urban climate monitoring using Raspberry Pi*. In: 2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP). **DOI**: https://doi.org/10.1109/iccsp.2016.7754526

Sun, C., Guo, K., Xu, Z., Ma, J. & Hu, D. (2019). *Design and Development of Modbus/MQTT Gateway for Industrial IoT Cloud Applications Using Raspberry Pi*. In: 2019 Chinese Automation Congress (CAC). **DOI**: https://doi.org/10.1109/cac48633.2019.8997492

Syafrudin, M., Alfian, G., Fitriyani, N. & Rhee, J. (2018). Performance Analysis of IoT-Based Sensor, Big Data Processing, and Machine Learning Model for Real-Time Monitoring System in Automotive Manufacturing. *Sensors*, 18(9): 2946. **DOI**: https://doi.org/10.3390/s18092946

Taibi, H.R. (2016). Special file on Internet of Industrial Things. Network Monthly, 19(194): 150-151. [in persian]

Takefuji, Y. (2021). Python Programming in PyPI for Translational Medicine. *International Journal of Translational Medicine*, 1(3): 323–331. **DOI:** https://doi.org/10.3390/ijtm1030019

Team, P.F. (2022). Importance of having a good monitoring system. *Pandora FMS Monitoring Blog*. URL= https://pandorafms.com/blog/why-you-need-a-monitoring-system/

Yang, X., Yang, L. & Zhang, J. (2017). *A WiFi-enabled indoor air quality monitoring and control system: The design and control experiments*. 2017 13th IEEE International Conference on Control & Amp; Automation (ICCA). **DOI:** https://doi.org/10.1109/icca.2017.8003185

Zakaria, N.A., Zainal, Z., Harum, N., Chen, L., Saleh, N. & Azni, F. (2018). Wireless Internet of Things-Based Air Quality Device for Smart Pollution Monitoring. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(11). **DOI:** https://doi.org/10.14569/ijacsa.2018.091110

/http://stim.qom.ac.ir