Construction Science and Technology
Volume 5, Issue 2

Design and implementation of IoT-based low cost smart irrigation controllers

Majid Mahdi Pour [1*]

[1] Master's degree, Technical Vice President, Information and Communication Technology Holding, Tehran, Iran

RTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 2021 April 25

Accepted: 2021 November 8

[*] Correspondence Email Addres:

majid.mehdipour@gmail.com

Keywords:

Internet Of Things,

Lora Technology,

Smart Irrigation Control

ABSTRACT

This paper presents an IoT-based smart irrigation controller. In the desired system, sensors information wirelessly collected from nodes that are scattered around the environment. It is also possible to view information and apply commands from the Internet. One of the important advantages of this system due to the use of Lora technology is increasing the operating range to more than 2km and very low transceiver module consumption (0.2uA in standby). Another advantages is automatic control ability based on the environmental sensors information and powering nodes with solar panel and battery. Various parts of the system including the nodes, actuator, gateway and server are fully designed and implemented. The performance of the nodes and actuator, sending commands to the actuator, sending sensors information to the gateway, uploading data to server through gateway and system operating range was tested successfully.

Publisher: Imam Hussein University

«مجله علمی علوم و فنون سازندگی»

سال سوم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، صفحه ۳۳ الی ۴۷

علمی- تخصصی

طراحی و ساخت نمونه کنترلرهای آبیاری هوشمند ارزان قیمت مبتنی بر اینترنت اشیاء

مجید مهدی‌پور[۱*]

۱- کارشناسی ارشد معاونت فنی هلدینگ فناوری اطلاعات و ارتباطات

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۷)

چکیده

در این مقاله یک سامانه هوشمند به‌منظور کنترل فرآیند آبیاری مبتنی بر اینترنت اشیاء ارائه شده است. در سامانه مورد نظر اطلاعات سنسورها به‌صورت بی‌سیم از دستگاه‌های انتهایی (نودها) که به‌صورت پراکنده در محیط قرار گرفته‌اند جمع‌آوری می‌شوند. مشاهده‌ی اطلاعات و اعمال فرمان نیز از بستر اینترنت امکان‌پذیر است. یکی از مزایای مهم این سامانه با توجه به استفاده از فناوری لورا، افزایش برد عملیاتی سامانه به بیش از km ۲ و جریان مصرفی بسیار کمِ ماژول فرستنده/گیرنده (۰/۲uA در حالت آماده به کار) است. مزیت دیگر آن امکان کنترل هوشمند سامانه به صورت خودکار بر اساس اطلاعات دریافتی از سنسورهای محیطی و تغذیه دستگاه انتهایی به کمک باتری و پنل خورشیدی است. بخش‌های مختلف سامانه از جمله دستگاه انتهایی، عملگر، گذرگاه و سرور به‌طور کامل طراحی و پیاده‌سازی شده است. عملکرد دستگاه انتهایی، ارسال فرمان به عملگر، ارسال اطلاعات سنسورها به گذرگاه، بارگذاری اطلاعات به وسیله‌ی گذرگاه روی سرور و نمایش آن و برد عملیاتی سامانه با موفقیت مورد آزمایش قرار گرفتند.

واژگان کلیدی: اینترنت اشیاء، فناوری لورا، کنترل هوشمند آبیاری

۱- مقدمه

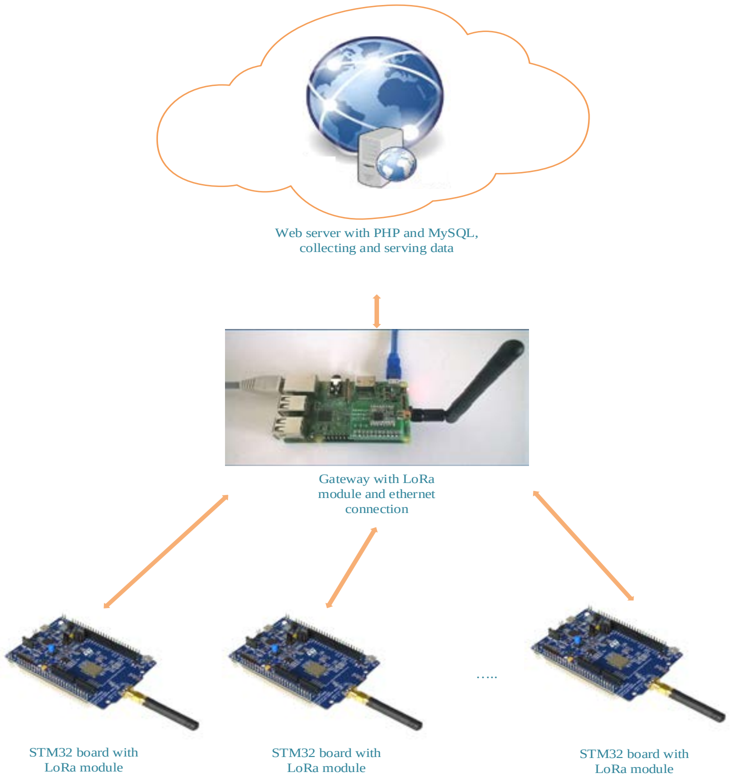
اینترنت اشیاء در واقع یک شبکه محلی یا جهانی از اشیائی است که می‌توانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. در سامانه از فناوری‌ها و روش‌های معرفی شده در اینترنت اشیاء استفاده خواهد شد. اجزا به صورت توپولوژی ستاره قرار خواهند گرفت و اطلاعات به مرکز کنترل(سرور) هدایت شده و فرآیند پایش داده‌ها و تصمیم گیری انجام شده و در نهایت فرمان متناسب با داده‌های دریافتی اعمال می‌شود. سرور باید همواره از طریق اینترنت قابل دسترسی باشد و بتوان در هر ساعت از شبانه‌روز داده‌ها را در پایگاه داده‌ی سرور ذخیره نمود و کاربر با ارسال درخواست به سرور داده‌ها را مشاهده نماید. شکل (۱) ساختار سامانه‌ی آبیاری هوشمند را نشان می‌دهد.

یکی از بهترین روش‌های دسترسی به داده‌های سنسورها، بدون نیاز به سیم‌کشی و مصرف توان و هزینه‌ی زیاد، ارسال اطلاعات با تراشه‌ها و تجهیزات مخابراتی کم‌مصرف و استفاده از پنل خورشیدی و باتری است. برای این منظور از تراشه arm stm32 به عنوان پردازنده‌ی دستگاه انتهایی و تراشه‌های فناوری لورا به عنوان فرستنده‌ی مخابراتی استفاده شده است.

در مرجع (Kelly et al., 2013) از اینترنت اشیاء برای نظارت منظم بر شرایط محیطی خانه با استفاده از سامانه‌های سنجش ارزان‌قیمت، استفاده شده است. این مرجع به معماری یک شبکه-ی یکپارچه و روش‌های اتصال، برای اندازه‌گیریِ قابل اعتمادِ پارامترها توسط سنسورها و انتقال داده‌ها با استفاده از اینترنت، پرداخته است. در اینجا از فناوری شبکه‌های حسگر بی‌سیم و ماژول ZigBee استفاده شده است. مرجع (Sanchez et al., 2014) استقرار و آزمایش فناوری اینترنت اشیاء را در یک شهر بررسی می‌کند و این پروژه برنامه‌های کاربردی و خدمات شهر هوشمند را نیز پشتیبانی می‌کند. هم‌چنین طراحی اینترنت اشیاء در مقیاس بزرگ شرح داده شده است. در (Zhu et al., 2010) یک دروازه‌ی اینترنت اشیاء برمبنای ماژول ZigBee و پروتکل GPRS برای کاربردهای معمول اینترنت اشیاء معرفی شده و تبادل داده بین شبکه‌ی سنسورهای بی‌سیم و شبکه‌های ارتباطی موبایل و فرآیند تبدیل پروتکل‌ها شرح داده شده است. در (Robles et al., 2015) بر مبنای جایابی و ارتباط اشیاء برای هدفِ معماری یکپارچه‌ی کنترل فرآیند، به کمک تلفیق فناوری‌های اینترنت اشیاء، هماهنگی فرآیند عرضه و تقاضا و سامانه‌های تصمیم‌گیری، یک مدل مدیریت هوشمند آب معرفی شده است. در این مرجع یک سناریوی مدیریت آب شرح داده شده اما نحوه‌ی پیاده‌سازی کامل سامانه مدیریت آب و بخش‌های مختلف آن بررسی نشده است. در مرجع (Rajalakshmi and Mahalakshmi, 2016) یک سامانه نظارت

* رایانامه نویسنده مسئول: majid.mehdipour@gmail.com

آبیاری با استفاده از حسگرهای دما و رطوبت طراحی و پیاده‌سازی شده است. داده‌های سنسورها به وب‌سرور ارسال می‌شوند و امکان نظارت از راه دور بر کل سامانه وجود دارد. روش این مرجع تنها مناسب آبیاری خانگی است و برای یک مجموعه‌ی بزرگ مناسب نیست. مرجع (Masaba et al., 2016) نیز تنها به بررسی یک مجموعه کوچک پرداخته است و برای پیاده‌سازی سامانه مدیریتِ آبیاری از ماژول Bluetooth و میکروکنترلر PIC16F887 استفاده کرده است.



شکل (۱). ساختار سامانه‌ی آبیاری هوشمند

با توجه به جدید بودن فناوری اینترنت اشیاء به خصوص در حوزه‌ی مدیریت منابع آب، روش‌هایی که تاکنون در مراجع مختلف ارائه شده‌اند مناسب یک مجموعه‌ی بزرگ نیستند. در تحقیقاتی که تاکنون صورت گرفته به بخش‌هایی از نحوه‌ی استفاده از اینترنت اشیاء به خصوص در مدیریت آب اشاره شده است اما خلاء یک سامانه هوشمندی که بتواند نیازهای یک مجموعه‌ی واقعی را با هزینه‌ی کم تا حد مناسبی پوشش دهد و قابلیت توسعه داشته باشد احساس می‌شود. جنبه‌ی نوینی که در این‌جا مد نظر قرار دارد بررسی جدیدترین فناوری‌ها و ماژول‌ها در زمینه‌ی اینترنت اشیاء و به‌دست‌آوردن یکی از مناسب‌ترین روش‌های ممکن و پیاده‌سازی آن است به گونه‌ای که سامانه کنترل هوشمند معرفی شده قابل توسعه و ارزان باشد.

۲- مطالعات طراحی سامانه

در این بخش به قسمتی از مطالعات مرتبط با نودها(بخش مرتبط با سنسورها و عملگرها) و گذرگاه پرداخته می‌شود. پس از مطالعه بر روی تجهیزات و فناوری‌های روز، تجهیزات و فناوری‌ها مورد استفاده انتخاب خواهند شد و فرآیند اجرای سامانه توسط آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱- انتخاب روش تبادل داده‌ی بی سیم

جدول (۱) روش‌های متفاوت تبادل داده‌ی بی‌سیم را مورد بررسی قرار می دهد. با توجه به وسعت زمین کشاورزی و نیاز به برد بالا، استفاده از فناوری لورا یکی از مناسب‌ترین گزینه ها برای تبادل داده بی‌سیم است. این فناوری تاکنون در بسیاری از کاربردهای اینترنت اشیاء مورد استفاده قرار گرفته و به سرعت در حال گسترش است.

جدول (۱). روش‌های متفاوت تبادل داده در فناوری اینترنت اشیاء

نوع فناوری ارتباط بی‌سیم	استاندارد	فرکانس کاری	برد	متوسط هزینه‌ی هر ماژول	توان مصرفی	نرخ انتقال داده
LoRa	LoRaWAN	۱۳۷-۱۰۲۰MHZ	Up to ۱۵Km	۱۰$	کم	۳۰۰Kbps
Bluetooth	Bluetooth 4.2 core specification	۲,۴GHz	۵۰-۱۵۰m	۱۰$	کم	۱Mbps
Zigbee	ZigBee 3.0 based on IEEE802.15.4	۲,۴GHz	۱۰-۱۰۰m	۲۵$	کم	۲۵۰Kbps
WiFi	Based on 802.11n	۲,۴GHz و ۵GHz	۵۰m	۹$	زیاد	۶۰۰Mbps maximum
Cellular	GSM/GPRS/EDGE (2G), UMTS/HSPA (3G), LTE (4G)	۹۰۰/۱۸۰۰/۱۹۰۰/ ۲۱۰۰MHz	۳۵km max for GSM; ۲۰۰km max for HSPA	۳۰$	زیاد	۳۵-۱۷۰kps (GPRS), -۱۲۰ ۳۸۴kbps (EDGE), ۳۸۴Kbps-۲Mbps (UMTS), ۶۰۰kbps-۱۰Mbps (HSPA), ۳-۱۰Mbps (LTE)
NFC	ISO/IEC 18000-3	۱۳/۵۶MHz	۱۰cm	۱۰$	کم	۱۰۰-۴۲۰Kbps

فرستنده‌های لورا(LoRa[1]) توسط شرکت SEMTECH برای کاربردهای تجاری توسعه داده شده است. لورا مدولاسیون طیف گسترده‌ای است که بر مبنای CSS[2] ساخته شده است که برد بیشتری از سامانه‌های ساخته شده براساس مدولاسیون‌های FSK و OOK فراهم می‌کند. اکنون تراشه‌های فرستنده‌ی SX1276/77/78/79 با فرکانس‌های کاری مختلف موجود می‌باشند که ارتباطات از نوع طیف گسترده[3] لورا با توان مصرفی‌پایین و تداخل[4] کم را فراهم می‌کنند. شبکه لورا در باندهای فرکانسی که نیاز به مجوز ندارند (ISM) کار می‌کند.

۲-۲- انتخاب میکروکنترلر

با توجه به تنوع میکروکنترلرهای موجود ابتدا باید به بررسی انواع میکروکنترلرها پرداخت. جدول (۲) به مقایسه‌ی میکروکنترلرهای موجود می‌پردازد.

[1] Long Range Low Power
[2] Chirp Spread Spectrum
[3] Spread spectrum
[4] Interference

مشاهده می‌شود که میکروکنترلرهای ARM از نظر سرعت، امکانات جانبی، قیمت و مصرف توان از سایر میکروکنترلرها برتر هستند.

۳-۲- انتخاب رایانه کوچک برای بخش گذرگاه

جدول (۳) ویژگی‌های انواع بردهای قابل استفاده را نشان می‌دهد. این بردها جدیدترین بردهای موجود و مناسب برای اینترنت اشیاء اند. با توجه به قیمت و امکانات ارتباطاتی، بهترین بردهای موجود Raspberry Pi 3 model B و Beaglebone Black اند.

بردهای معرفی شده دارای سیستم عامل لینوکس هستند؛ به همین دلیل برای ایجاد ارتباط با سرور در بستر اینترنت مناسب اند. در اینجا از Raspberry pi 3 B+ استفاده خواهد شد. Raspberry در نقش کلاینت[5] با سرور ارتباط برقرار می‌کند. برای ارتباط کلاینت با سرور از رابط برنامه‌نویسی نرم‌افزار[6] استفاده می‌شود.

[5] Client
[6] Application Programming Interface

جدول (۲). مقایسه انواع میکروکنترلرها

	8051	PIC	AVR	ARM
پهنای باس	۸ بیت	۳۲/۱۶/۸ بیت	۳۲/۸ بیت	۶۴/۳۲ بیت
پروتکل های ارتباطی	UART, USART,SPI,I2C	PIC, UART, USART, LIN, CAN, Ethernet, SPI, I2S	UART, USART, SPI, I2C, (درموارد خاص CAN, USB, Ethernet)	UART, USART, LIN, I2C, SPI, CAN, USB, Ethernet, I2S, SAI (serial audio interface), IrDA
سرعت	12Clock/instruction cycle	4Clock/instruction cycle	1clock/ instruction cycle	1 clock/ instruction cycle
حافظه	ROM, SRAM, FLASH	SRAM, FLASH	Flash, SRAM, EEPROM	Flash, SDRAM, EEPROM
معماری	CLSC	RISC	RISC	RISC
مصرف توان	متوسط	کم	کم	کم
خانواده ها	انواع ۸۰۵۱	PIC16,PIC17, PIC18, PIC24, PIC32, dsPIC	Tiny, Atmega, Xmega	ARMv4,5,6,7
سازنده	NXP, Atmel, Silicon Labs, Dallas, Cyprus, Infineon	Microchip Average	Atmel	TI, NXP, ST
قیمت	خیلی کم	متوسط	کم	کم

جدول(۳). انواع رایانه‌های کوچک مناسب بخش گذرگاه

	Arduino YÚN REV 2	**Raspberry Pi 3 model B+**	**Beaglebone Black**	**Intel IoT development kit**
قیمت	۵۹$	۴۹$	۵۳$	۲۴۹$
حافظه رم	۶۴ MB DDR2	۱GB LPDDR2	۵۱۲MB DDR3	۲ GB LPDDR4
GPIO	۳۹ pin	۴۰ pin	۲x ۴۶ pin	۴۰ pin
پردازنده	Atheros AR9331 400 MHz	Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit 1.4GHz	AM335x 1GHz	Intel Celeron dual core at 1.10 GHz
شبکه	Ethernet 802.3 10/100Mbit/s, WiFi 802.11b/g/n 2.4 GHz	2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE, Ethernet	Wi-Fi 802.11b/g/n 2.4GHz and Bluetooth 4.1 LE	2x GbE Realtek RTL8111G Ethernet
ولتاژ ورودی	۵V	۵V	۳,۳V	۵V
حافظه flash	۱۶ MB	MicroSDHC slot	۴GB 8-bit eMMC	۳۲ GB eMMC
USB	۱ USB ۲,۰	۴ USB ۲,۰	۴ USB ۲,۰	۴ USB ۳,۰
سیستم عامل	Linux	Android Windows 10 IoT Linux	Debian Android Ubuntu	Ubuntu

۴-۲- برنامه‌نویسی سمت سرور

فرآیند طراحی وب‌سرویس دارای دو بخش Front-end و Back-end است. برای طراحی بخش Front-end یا رابط کاربری باید از زبان های HTML[1]، CSS[2] و JavaScript استفاده نمود. با این زبان‌های برنامه‌نویسی تنها میتوان یک صفحه ایستا را طراحی نمود. HTML پایه اصلی صفحات وب است و CSS عناصر ظاهری را تعریف میکند. در این سامانه نیاز به یک وب‌سرویس پویا است که امکان تعامل با آن و انتقال اطلاعات دوطرفه با آن وجود داشته باشد که برای این هدف نیاز به زبان‌های برنامه‌نویسی سمت سرور است. در سامانه‌ی طراحی شده از زبان PHP که یکی از پرکاربردترین زبان‌های سمت سرور می‌باشد، استفاده شده است.

[1] HyperText Markup Language
[2] Cascading Style Sheets

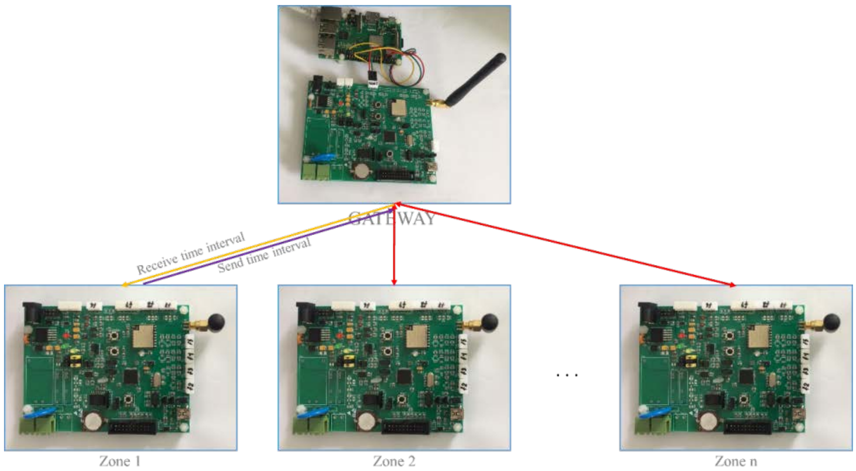
۳- ملاحظات کلی طرح

۳-۱- برنامه‌نویسی رایانه کوچک گذرگاه

در بخش گذرگاه از Raspberry pi 3 B+ که دارای پردازنده‌ی Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit 1.4GHz است، استفاده شده است. این برد دارای سیستم عامل Linux، پورت‌های USB و Ethernet، ۱GB حافظه‌ی رم DDR2 و با ابعادی در حدود یک کارت اعتباری است. شکل (۲) رایانه کوچک گذرگاه را نشان می‌دهد.

شکل (۲). رایانه کوچک گذرگاه

به منظور بالا بردن سرعت عملکرد، کدهای Raspberry pi به زبان c++ نوشته شده‌اند. کتابخانه‌ی curl برای اتصال به اینترنت و کتابخانه‌ی json برای ترجمه‌ی داده‌های دریافتی از سرور در فرمت json و تبدیل این داده‌ها به آرایه استفاده شده‌اند. شکل (۳) نحوه‌ی قرار گیری گذرگاه و دستگاه‌های انتهایی را نشان می‌دهد.



شکل (۳). نحوه قرارگیری گذرگاه و دستگاه‌های انتهایی

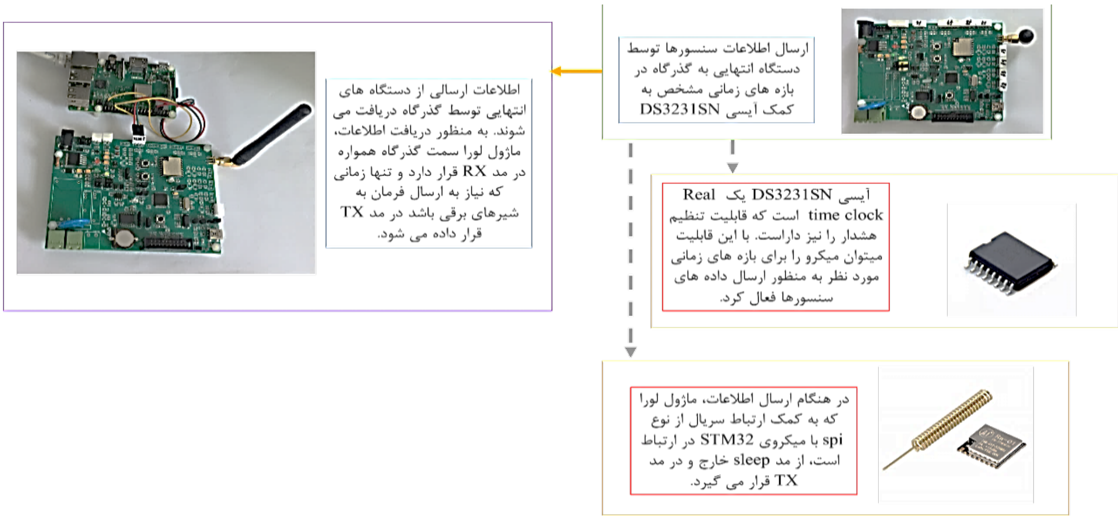
۳-۲- برنامه نویسی برد متصل به Raspberry در گذرگاه

این برد به کمک ارتباط سریال با Raspberry pi در ارتباط است. به دلیل این‌که Rapberry دارای سیستم عامل سطح بالاست امکان اتصال مستقیم ماژول لورا به آن وجود ندارد بنابراین داده‌ها توسط برد کمکی و به وسیله‌ی ماژول لورا دریافت شده و این داده‌ها به صورت تجمیع شده به Raspberry به‌صورت سریال ارسال می‌شود.

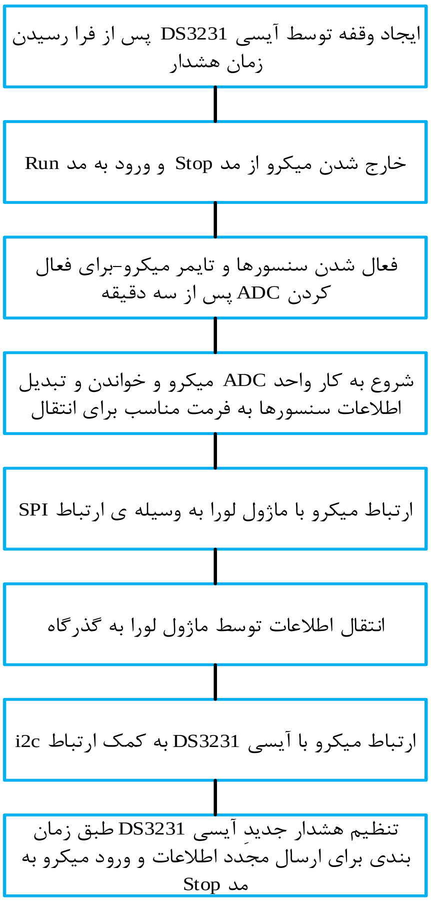
۳-۳- برنامه‌نویسی و روش عملکرد دستگاه انتهایی(نود)

در بخش نود میکروی STM32 به کمک ارتباط spi با ماژول لورا ارتباط برقرار می‌کند. ماژول لورا با فرکانس کاری ۴۳۳ مگاهرتز اطلاعات را به ماژول لورایی که در گذرگاه قرار دارد می‌فرستد. ارسال اطلاعات سنسورها در بازه‌های زمانی مورد نیاز صورت می‌گیرد. شکل (۴) نحوه عملکرد کلی دستگاه انتهایی را نشان می‌دهد.

برنامه دستگاه انتهایی به زبان c++ نوشــته شــده اســت. ایــن برنامه شامل فعال‌سازی ارتباط spi وi2c به ترتیب برای ارتباط بـا ماژول لورا و تراشه DS3231SN است. فرکانس کــاری میکرو ۱۶ مگاهرتز تعیین شده است. فرکانس میکرو به گونه‌ای تعیین شــده است که توان مصرفی بالا نبوده و ســرعت مناســب در ارتبــاط بـا بخش‌های جانبی فراهم شود. فرکانس واحــد ADC بـا توجـه بـه عدم نیاز به سرعت بالای این واحد ۵۰۰KHz تعیین شــده اســت. شکل (۵) نحوه عملکرد کلی برنامه‌ی نوشته شده بـرای میکـروی STM32 را نشان می‌دهد.

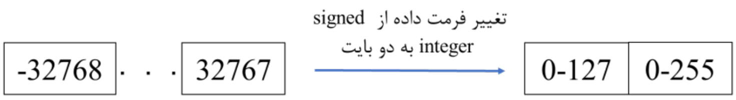


شکل (۴). نحوه عملکرد کلی دستگاه انتهایی

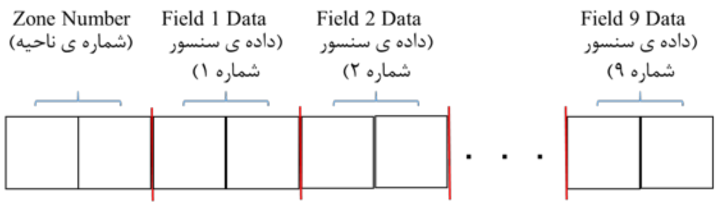


شکل (۵). نحوه عملکرد کلی برنامه‌ی نوشته شده برای میکروی STM32

با توجه به اینکه دستگاه انتهایی قابلیت اتصال ۹ سنسور را داراست تعداد کل داده‌های ارسالی توسط دستگاه انتهایی به همراه شماره‌ی ناحیه این دستگاه، برابر با ۱۰ است. داده‌ها پس از تغییر فرمت از حالت signed integer به فرمت Byte (مطابق شکل (۶) به‌صورت شکل (۷)) به کمک ماژول لورا انتقال داده می‌شوند. شکل‌های (۸) و (۹) نحوه‌ی عملکرد بخش‌های مرتبط با Alarm1 و Alarm2 از برنامه میکروکنترلر را نشان می‌دهند.

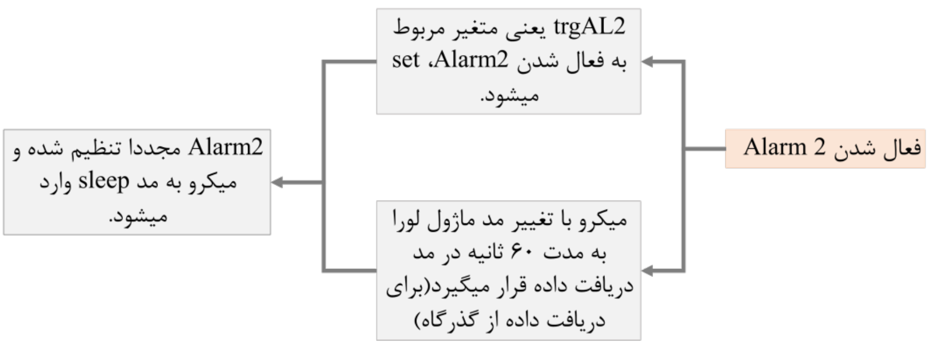


شکل (۶) تغییر فرمت داده از حالت signed integer به فرمت Byte



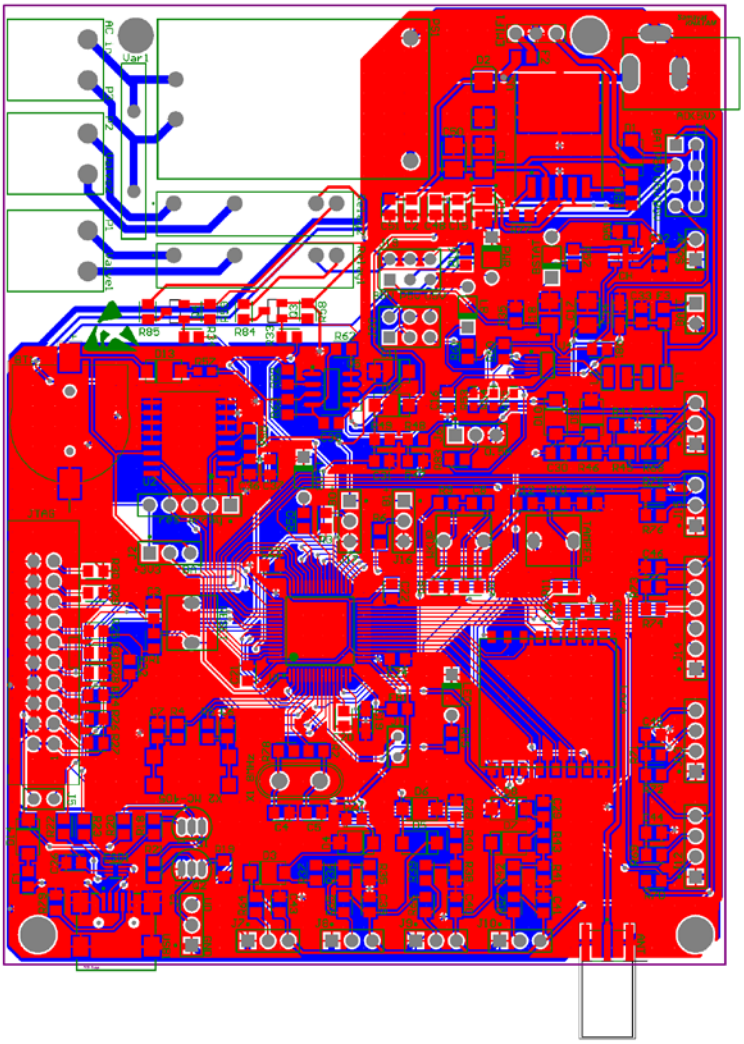
شکل (۷). فرمت داده‌ها برای ارسال به کمک ماژول لورا

شکل (۸). نحوه عملکرد بخش مرتبط با Alarm1 برنامه میکروکنترلر



شکل (۹). نحوه عملکرد بخش مرتبط با Alarm2 برنامه میکروکنترلر

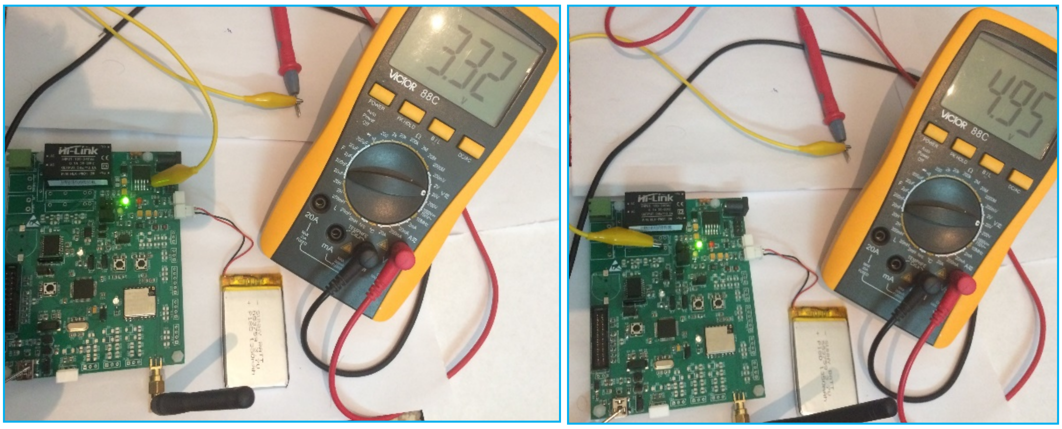
طراحی برد دستگاه در محیط نـرم‌افـزار Altium designer انجام شده و پس از چاپ برد و مونتاژ قطعات، برد مورد نظر مورد آزمایش قرار گرفته است. در این برد از قطعات smd استفاده شده است تا ابعاد برد و هزینه‌ی قطعات مصرفی کاهش یابد. ایـن بـرد امکان تغذیه از طریق برق شهر، آداپتور، بـاتری و ورودی USB را داراست. باتری سکه‌ای توان مورد نیـاز تراشـه‌ی سـاعت را بـرای حفظ تاریخ و ساعت تامین مـی‌کنـد. فیوزهـای برگشـت‌پـذیر در ورودی برق USB، باتری و آداپتور قرار داده شده‌اند و هـم‌چنـین دیودهای حفاظت اضافه ولتاژ نیز در این ورودی‌ها به کار رفته‌اند. در طراحی برد چاپی حداقل قطر سـیم ۰/۲ mm و حـداقل قطـر سـوراخِ Via ۰/۳ mm در نظـر گرفتـه شـده اسـت. بـرد دو لایـه متـالیزه بـا صـفحه زمـین در هـر دو لایـه طراحـی شـده اسـت. شکل (۱۰) بـرد چـاپی دسـتگاه انتهـایی در نـرم‌افـزار Altium را نشان می‌دهد.



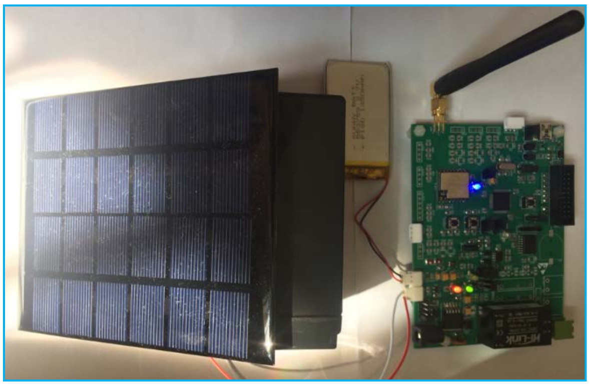
شکل (۱۰). برد چاپی دستگاه انتهایی در نرم‌افزارAltium

۴-آزمایش مدار دستگاه انتهایی

شکل (۱۱) آزمایش بخش تغذیه مدار دسـتگاه انتهـایی را نشـان می‌دهد، که شکل‌های الف، ب و ج به ترتیب نشان‌دهنده‌ی ولتـاژ خروجـی تراشـه‌هـای LT1764، MAX1676 و اتصـال سـلول خورشیدی به ورودی تراشـه‌ی MCP73831 انـد. فرآینـد تنظـیم هشدار تراشه DS3231 و فرآیند تغییـر مـد کـاریِ میکـرو از مـد sleep به مد run و برعکس و ارسـال داده توسـط مـاژول لـورا بـا موفقیت بررسی و تست شد. حداکثر بردِ عملیاتی دستگاه انتهایی در محیط شهری با توجه بـه محـل آزمـایش کـه در شـکل (۱۲) (الف) نشان داده شده است، بیش از ۲۰۰۰ متر برآورد شد.

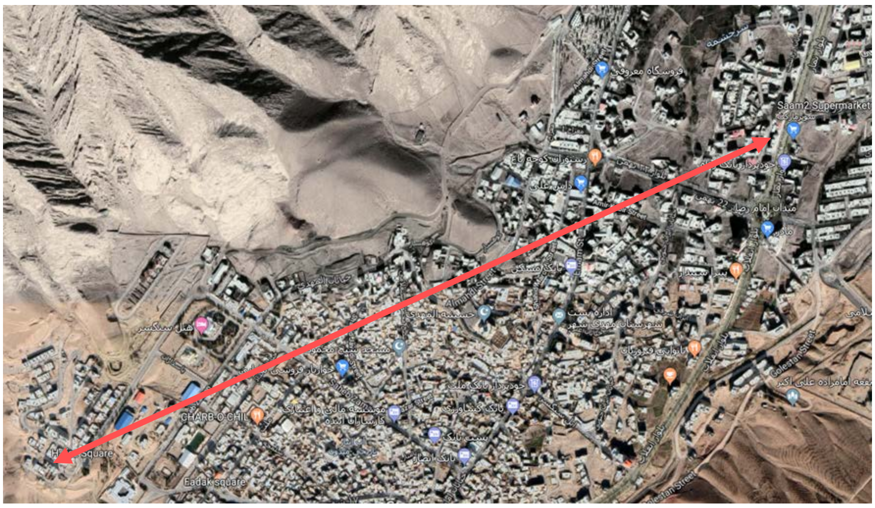


(ب) (الف)



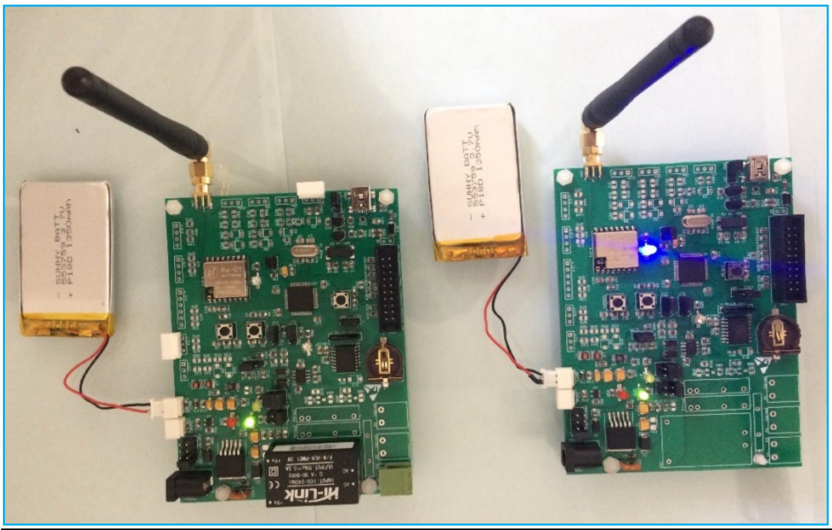
(ج)

شکل (۱۱). (الف) و (ب) و (ج) تست قسمت تغذیه مدار دستگاه انتهایی (الف) تست تراشه LT1764A (ب) تست تراشه max1676 (ج)تست تراشه MCP73831



(الف)

ادامه شکل (۱۲). (الف) و (ب) تست حداکثر بردِ عملیاتی دستگاه انتهایی



(ب)

شکل (۱۲). (الف) و (ب) تست حداکثر بردِ عملیاتی دستگاه انتهایی

۵- آزمایش عملکرد سامانه

شکل‌های (۱۳)، (۱۴) و (۱۵) بخش‌های مختلف وب‌سرویس را نشان می‌دهند. کاربر admin توانایی ایجاد صفحه و حذف و پنهان کردن صفحات ایجاد شده را از داخل خود وب‌سرویس دارا است اما سایر کاربران این امکان را نخواهند داشت. در صفحه کاربری اطلاعات سنسورها قابل مشاهده است. امکان ارسال فرمان به عملگرها و تغییر متغیرهای کنترل نیز از صفحه پارامترهای کنترل امکان‌پذیر است. به وسیله این وب‌سرویس اطلاعات سنسورها از هر کجای جهان قابل دسترسی است.

شکل (۱۳). صفحه اصلی وب‌سرویس

شکل (۱۴). صفحه اصلی وب‌سرویس پس از ورود

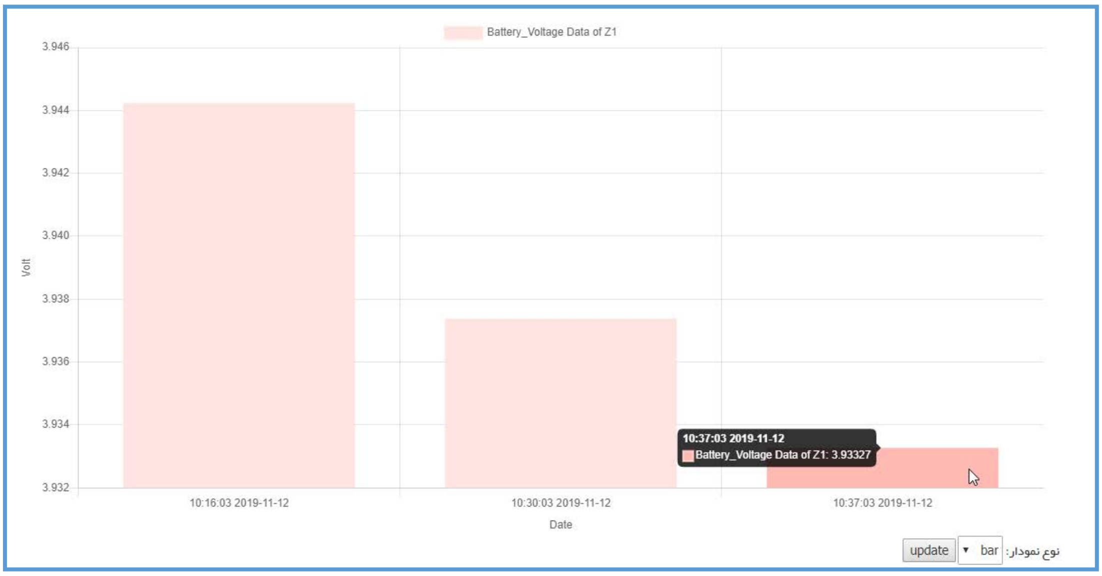
(الف)

(ب)

شکل (۱۵). (الف) و (ب) صفحه‌ی متغیرهای کنترل

پایگاه داده‌ی مورد استفاده MySQLi است که تمامی اطلاعات کاربران و داده‌های سنسورها در این پایگاه داده ذخیره می‌شود. اطلاعات سنسورها پس از انتقالِ آن توسط گذرگاه به وب‌سرویس، در این پایگاه‌داده ذخیره شده و در صفحه کاربری نمایش داده می‌شوند.

در اینجا طبق زمان‌بندی، ارسال داده از دستگاه انتهایی به گذرگاه صورت می‌گیرد. گذرگاه نیز اطلاعات سنسورها را به سرور ارسال می‌نماید. مطابق شکل (۱۶) مشاهده می‌شود که به عنوان نمونه اطلاعات ولتاژ باتریِ دستگاه انتهاییِ ناحیه ۱ در بازه‌ی زمانی مورد نظر به درستی انتقال داده شده است.



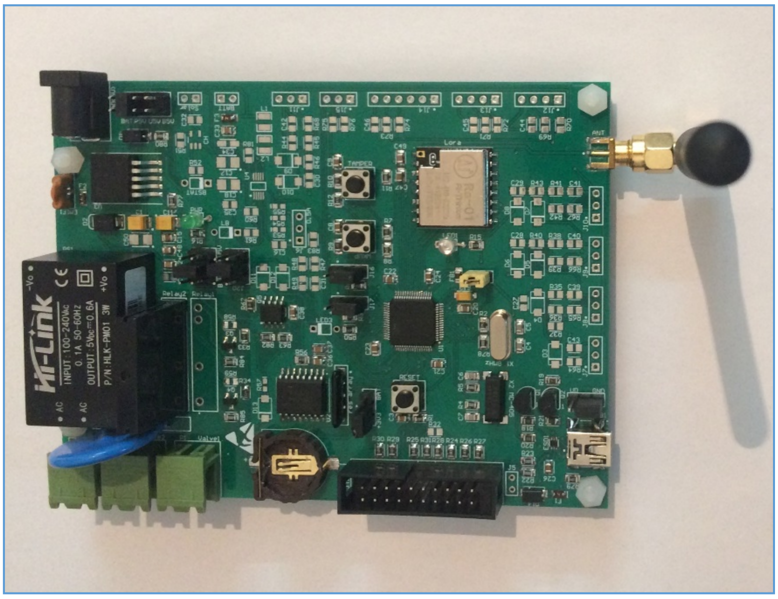
شکل (۱۶). ولتاژ باتری دستگاه انتهایی ناحیه ۱

در صفحه‌ی متغیرهای کنترل برنامه به گونه‌ای نوشته شده است که وقتی کنترل خودکار فرآیند فعال باشد امکـان تغییـر در وضعیت عملگر توسط کاربر وجود نداشته باشـد. هنگـامی کـه در سرور وضعیت عملگر تغییر کند قسمت وضعیت به رنـگ نـارنجی تغییر می‌یابد و در صورتی که پاسخ از عملگر دریافت شود قسمت وضعیت به رنگ سـبز تغییـر مـی‌یابد(شـکل‌هـای (۱۷) و (۱۸)). شکل (۱۹) نیز برد متصل به عملگر را نشان می‌دهد.

شکل (۱۷). قسمت وضعیت شیر برقی هنگامی که توسط کاربر فرمان فعال داده شده است.

#	نام	وضعیت
1	شیر برقی	فعال
2	کنترل خودکار فرآیند	غیر فعال
3	تعداد دستگاه های انتهایی	1 دستگاه
4	فاصله ی زمانی ارسال اطلاعات از دستگاه انتهایی به گذرگاه	1 ساعت
5	فاصله ی زمانی فعال بودن دستگاه انتهایی برای دریافت اطلاعات از گذرگاه	5 ساعت

شکل (۱۸). قسمت وضعیت شیر برقی پس از دریافت پاسخ از سمت عملگر



شکل (۱۹). برد متصل به عملگر

۶- محاسبه‌ی هزینه‌ی سامانه کنترل آبیاری

جدول (۴) لیست قیمت کلیه قطعات به کار رفته به دلار را نشان می‌دهد. قیمت هر بخش از سامانه با توجه به قطعه به کار رفته و تعداد آن به دست می‌آید. با توجه به جدول، هزینه‌ی تمام شده بخش گذرگاه 61$، بخش متصل به عملگر 22.1$ و بخش دستگاه انتهایی با پنل خورشیدی و باتری 30.71$ برآورد می‌شود. با توجه به نیاز منطقه مورد نظر ممکن است تعداد یک یا چند دستگاه انتهایی مورد استفاده قرار گیرد.

جدول (۴). لیست قیمت قطعات به کار رفته در سامانه

قیمت	توضیحات	قیمت	توضیحات
0.15$	Coin Cell Holder	39.95$	Raspberry pi 3 B+
0.025$	3mm LED	0.024$	pcb per cm
0.066$	10uH 2520 indutor	4.3$	Lora ra-01
0.85$	G3MB202P	1.45$	STM32F103RET6
0.185$	10UF 25V Tantal	0.65$	DS3231
0.133$	22UF 10V Tantal	0.075$	Power Jack
0.3$	100UF 10V Tantal	0.163$	SMA Connector
0.185$	47UF 10V Tantal	0.093$	MCP73831
0.15$	4.7UF 16V Tantal	0.146$	IRF7317
0.0094$	100nF ceramic	0.1$	BC847
0.0094$	22nF ceramic	0.01$	SS9013
0.0094$	20PF ceramic	3$	HLK-PM01
0.0094$	10PF ceramic	3.1$	LT1764AEQ
0.052$	1uF ceramic	0.43$	MAX1676
0.052$	4.7uF ceramic	0.33$	ZOV-20D391K
0.0059$	0805 Resistor	0.1$	8MHZ Crystal
0.04$	Resistor array	1.045$	ECS-61-32-7S Crystal
0.0124$	2 pin connector	0.085$	SMBJ5A
0.0185$	3 pin connector	0.02$	SM5822
0.0246$	4 pin connector	0.015$	SS14
0.037$	6 pin connector	0.004$	D4148
0.6625$	433MHZ Antenna	0.073$	USBLC6
3.58$	6V 2A solar cell	1.1$	DSS6NC52A102
3.33$	1350mAh Li-Po BATT	0.045$	EBMS201209 Ferrite

شکل (۲۰). تست و بهره‌برداری سامانه در محیط واقعی

۷- محل تست و ساخت سامانه

سامانه در محل هلدینگ فناوری اطلاعات سماوات ساخته شده و در یک زمین کشاورزی در استان سمنان شهر شهمیرزاد به‌طور کامل مورد آزمایش و بهره‌برداری قرار گرفته و فیلم‌ها و مستندات آن تهیه شده است. در آزمایش پایش و ثبت اطلاعات سنسورها در وب‌سرویس، ارسال فرمان به صورت اتوماتیک بر اساس میزان رطوبت زمین، دمای محیط و سایر شرایط آب و هوایی، ارسال فرمان به صورت دستی و قطع و وصل شیر برقی توسط نود عملگر به طور کامل تست شده است.

۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک سامانه آبیاری هوشمند ارزان قیمت مبتنی بر اینترنت اشیاء و با برد بیش از ۲ km ارائه شد. بیشتر سامانه‌های آبیاری هوشمندی که اکنون در کشور موجود است متمرکز بوده و قابلیت اتصال به دستگاه‌های پراکنده در زمین را ندارند (مانند OVIO، محصولات شرکت فناوران صنعت رباتیک و خانه هوشمند آسانه). هم‌چنین سیستم‌های مشابه موجود دارای یک گذرگاه مبتنی بر سیستم عامل نیستند و امکان دسترسی محلی به اطلاعات از طریق گذرگاه، تعیین تعداد نودها و فرآیند خودکار آبیاری بر اساس شرایط فصلی و محیطی را ندارند. در سامانه ساخته شده اطلاعات سنسورها در وب‌سرویس قابل مشاهده است و امکان اتصال بیش از ۶۰ دستگاه انتهایی به گذرگاه وجود دارد. ارسال فرمان از طریق اینترنت صورت می‌گیرد و دریافت فرمان از ناحیه‌ی عملگر بررسی می‌شود. دستگاه انتهایی بسیار کم مصرف است و امکان تغذیه از طریق باتری و پنل خورشیدی را دارد. سامانه طراحی شده کم هزینه و دارای بردی متراکم از قطعات smd برای کاهش فضای مصرفی و کاهش قیمت تمام شده است. نرخ ارسال داده مبتنی بر پروتکل لایه فیزیکی Lora ۲۷ kb/s است. احتمال خطای بیت در فاصله ۲ km برابر با ۰/۰۰۰۱ است و تبادل داده ها بین گذرگاه و نود به صورت کدگذاری شده با شروع و پایان مشخص است که احتمال دریافت داده‌ی اشتباه را به میزان زیادی کاهش می‌دهد. سامانه به گونه‌ایست که نودهای غیر فعال شناسایی شده و در وب‌سرویس قابل مشاهده اند. همچنین گذرگاه دارای سیستم عامل لینوکس است که امکان توسعه سامانه، افزودن قابلیت های جدید و عملکرد محلی بدون نیاز به وب‌سرویس و امکان ایجاد وب‌سرویس بر روی گذرگاه را فراهم می‌کند. وب‌سرویس نیز به گونه‌ای طراحی شده که امکان خودکار بودن فرآیند آبیاری بر اساس زمان بندی ساعتی، روزانه و فصلی و هم‌چنین بر اساس شرایط محیطی با قابلیت تنظیم پارامترها فراهم است. این سامانه به طور کامل طراحی و ساخته شده و در محیط واقعی مورد آزمایش قرار گرفته است.

۹- منابع

[1] KELLY, S. D. T., SURYADEVARA, N. K. & MUKHOPADHYAY, S. C. 2013. Towards the implementation of IoT for environmental condition monitoring in homes. *IEEE Sensors Journal*, 13, 3846-3853.

[2] MASABA, K., NTAKIRUTIMANA, A & .USTUN, T. S. 2016. Design and implementation of a smart irrigation system for improved water-energy efficiency.

[3] RAJALAKSHMI, P. & MAHALAKSHMI, S. D. IoT based crop-field monitoring and irrigation automation. Intelligent Systems and Control (ISCO), 20۱۰ ۱۶th International Conference on, 2016. IEEE, 1-6.

[4] ROBLES, T., ALCARRIA, R., DE ANDRÉS, D. M., NAVARRO, M., CALERO, R., IGLESIAS, S. & LÓPEZ, M. 2015. An IoT based reference architecture for smart water management processes. *JoWUA*, 6**,** 4-23.

[5] SANCHEZ, L ,.MUÑOZ, L., GALACHE, J. A., SOTRES, P., SANTANA, J. R., GUTIERREZ, V., RAMDHANY, R., GLUHAK, A., KRCO, S. & THEODORIDIS, E. 2014. SmartSantander: IoT experimentation over a smart city testbed. *Computer Networks*, 61**,** 217-238.

[6] ZHU, Q., WANG, R., CHEN, Q ,.LIU, Y. & QIN, W. Iot gateway: Bridgingwireless sensor networks into internet of things. Embedded and Ubiquitous Computing (EUC), 2010 IEEE/IFIP 8th International Conference on, 2010. Ieee, 347-352.