

علمی - تخصصی

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

مجید مهدی پور^{*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 به منظور کنترل فرآیند آبیاری مبتنی بر اینترنت اشیا ارائه شده است. در سامانه مورد نظر اطلاعات سنسورها به صورت بی سیم از دستگاه‌های انتهایی (نودها) که به صورت 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 ۲ km و جریان مصرفی بسیار کم مازول فرستنده/گیرنده (۲۰/۲۰۰mA) 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 پیل خورشیدی است. بخش‌های مختلف سامانه از جمله دستگاه انتهایی، عملگر، گذرگاه و سرور به طور 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 اشیا، فناوری لورا، کنترل هوشمند آبیاری

۱- مقدمه

اینترنت اشیا 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 اشیا استفاده خواهد شد. اجزا به صورت توپولوژی ستاره قرار خواهند گرفت و اطلاعات به مرکز کنترل (سرور) هدایت شده و فرآیند پایش داده‌ها و تصمیم‌گیری 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.

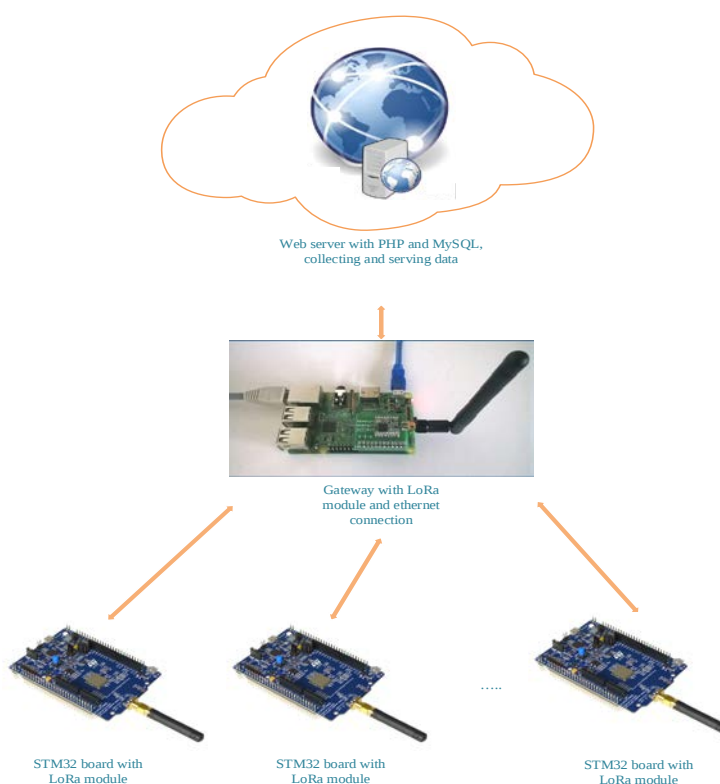
یکی از بهترین روش‌های دسترسی به داده‌های سنسورها، بدون نیاز به سیم‌کشی و مصرف توان و هزینه‌ی زیاد، ارسال اطلاعات با تراشه‌ها و تجهیزات مخابراتی کم‌مصرف و استفاده از پیل خورشیدی و باتری است. برای این منظور از تراشه arm stm32 به عنوان پردازنده‌ی دستگاه انتهایی و تراشه‌های فناوری لورا به عنوان فرستنده‌ی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

در مرجع (Kelly et al., 2013) از اینترنت اشیا برای نظارت منظم بر شرایط محیطی خانه با استفاده از سامانه‌های سنسور ارزان قیمت، استفاده شده است. این مرجع به معماری یک شبکه‌ی یکپارچه و روش‌های اتصال، برای اندازه‌گیری قابل اعتماد پارامترها توسط سنسورها و انتقال داده‌ها با استفاده از اینترنت، پرداخته است. در اینجا از فناوری شبکه‌های حسگر بی سیم و مازول ZigBee استفاده شده است. مرجع (Sanchez et al., 2014) استقرار و آزمایش فناوری اینترنت اشیا را در یک شهر بررسی می‌کند و این پروژه برنامه‌های کاربردی و خدمات شهر هوشمند را نیز پشتیبانی می‌کند. همچنین طراحی اینترنت اشیا در مقیاس بزرگ شرح داده شده است. در (Zhu et al., 2010) یک دروازه‌ی اینترنت اشیا بر مبنای مازول ZigBee و پروتکل GPRS برای کاربردهای معمول اینترنت اشیا معرفی شده و تبادل داده بین شبکه‌ی سنسورهای بی سیم و شبکه‌های ارتباطی موبایل و فرآیند تبدیل پروتکل‌ها شرح داده شده است. در (Robles et al., 2015) بر مبنای جایابی و ارتباط اشیا برای هدف معماری یکپارچه‌ی کنترل فرآیند، به کمک تلفیق فناوری‌های اینترنت اشیا، 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

بزرگ مناسب نیست. مرجع (Masaba et al., 2016) نیز تنها به بررسی یک مجموعه کوچک پرداخته است و برای پیاده‌سازی سامانه مدیریت آبیاری از ماژول Bluetooth و میکروکنترلر PIC16F887 استفاده کرده است.

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



شکل (۱). ساختار سامانه‌ی آبیاری هوشمند

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 می‌دهد. با توجه به وسعت زمین کشاورزی و نیاز به برد بالا، استفاده از فناوری لورا یکی از مناسب‌ترین گزینه‌ها برای تبادل داده بی‌سیم است. این فناوری تاکنون در بسیاری از کاربردهای اینترنت اشیا مورد استفاده قرار گرفته و به سرعت در حال گسترش است.

با توجه به جدید بودن فناوری اینترنت اشیا 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 اشیا 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 اشیا و به‌دست‌آوردن یکی از مناسب‌ترین روش‌های ممکن و پیاده‌سازی آن است به گونه‌ای که سامانه کنترل هوشمند معرفی شده قابل توسعه و ارزان باشد.

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

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

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

۲-۳- 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 اشیا 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^۵ با سرور ارتباط برقرار می‌کند. برای ارتباط کلاینت با سرور از رابط برنامه‌نویسی نرم‌افزار^۶ استفاده می‌شود.

فرستنده‌های لورا^۱ (LoRa) توسط شرکت SEMTECH برای کاربردهای تجاری توسعه داده شده است. لورا مدولاسیون طیف گسترده‌ای است که بر مبنای CSS^۲ 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^۳ لورا با توان مصرفی پایین و تداخل^۴ 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.

^۱ Long Range Low Power

^۲ Chirp Spread Spectrum

^۳ Spread spectrum

^۴ Interference

^۵ Client

^۶ Application Programming Interface

جدول (۲). مقایسه انواع میکروکنترلرها

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

جدول (۳). انواع رایانه های کوچک مناسب بخش گذرگاه

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

نمود. HTML پایه اصلی صفحات وب است و CSS عناصر ظاهری را تعریف میکنند. 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 زبان های برنامه نویسی سمت سرور است. در سامانه ای طراحی شده از زبان PHP که یکی از پرکاربردترین زبان های سمت سرور می باشد، استفاده شده است.

۴-۲- برنامه نویسی 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 ^۱ HTML، ^۲ CSS و JavaScript استفاده نمود. با این زبان های برنامه نویسی تنها میتوان یک صفحه ایستا را طراحی

^۱ HyperText Markup Language

^۲ Cascading Style Sheets

۱.4GHz است، استفاده شده است. این برد دارای سیستم عامل Linux، پورت‌های USB و Ethernet، ۱GB حافظه رم DDR2 و با ابعادی در حدود یک کارت اعتباری است. شکل (۲) رایانه کوچک گذرگاه را نشان می‌دهد.

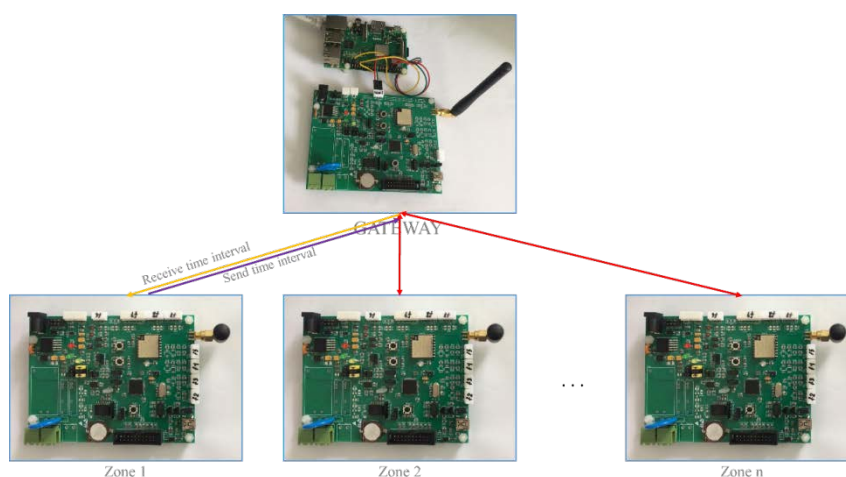


شکل (۲). رایانه کوچک گذرگاه

فرمت json و تبدیل این داده‌ها به آرایه استفاده شده‌اند. شکل (۳) نحوه قرارگیری گذرگاه و دستگاه‌های انتهایی را نشان می‌دهد.

۳- ملاحظات کلی طرح
۳-۱- برنامه‌نویسی رایانه کوچک گذرگاه
 در بخش گذرگاه از Raspberry pi 3 B+ که دارای پردازنده Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit ی

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



شکل (۳). نحوه قرارگیری گذرگاه و دستگاه‌های انتهایی

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.

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

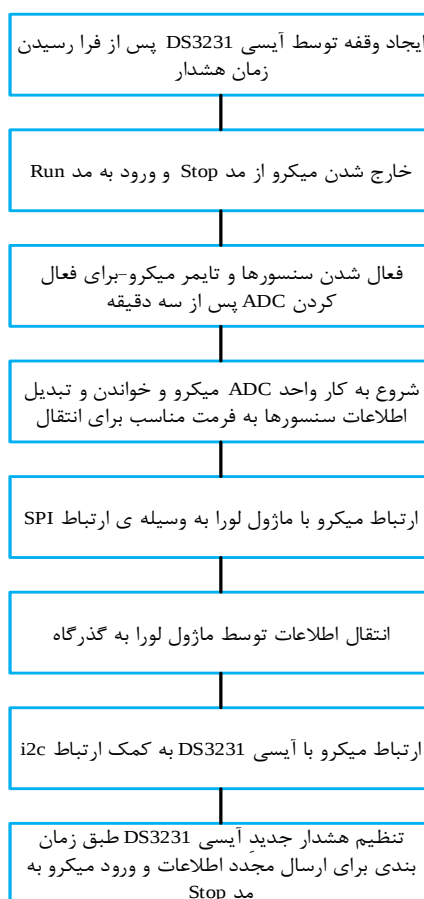
این برد به کمک ارتباط سریال با Raspberry pi در ارتباط است. به دلیل این که Raspberry دارای سیستم عامل سطح بالاست امکان اتصال مستقیم ماژول لورا به آن وجود ندارد بنابراین داده‌ها توسط برد کمکی و به وسیله‌ی ماژول لورا دریافت شده و این داده‌ها به صورت تجمیع شده به Raspberry به صورت سریال ارسال می‌شود.

بخش‌های جانبی فراهم شود. فرکانس واحد ADC با توجه به عدم نیاز به سرعت بالای این واحد ۵۰۰ KHz تعیین شده است. شکل (۵) نحوه عملکرد کلی برنامه‌ی نوشته شده برای میکروی STM32 را نشان می‌دهد.

برنامه دستگاه انتهایی به زبان ++C نوشته شده است. این برنامه شامل فعال‌سازی ارتباط spi و i2c به ترتیب برای ارتباط با ماژول لورا و تراشه DS3231SN است. فرکانس کاری میکرو ۱۶ مگاهرتز تعیین شده است. فرکانس میکرو به گونه‌ای تعیین شده است که توان مصرفی بالا نبوده و سرعت مناسب در ارتباط با



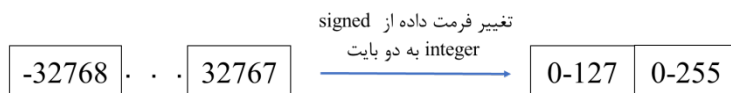
شکل (۴). نحوه عملکرد کلی دستگاه انتهایی



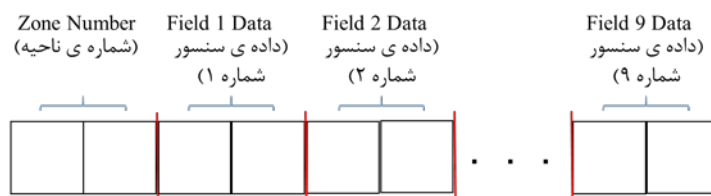
شکل (۵). نحوه عملکرد کلی برنامه‌ی نوشته شده برای میکروی STM32

شکل (۶) به صورت شکل (۷) به کمک مازول لورا انتقال داده می‌شوند. شکل‌های (۸) و (۹) نحوه عملکرد بخش‌های مرتبط با Alarm1 و Alarm2 از برنامه میکروکنترلر را نشان می‌دهند.

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



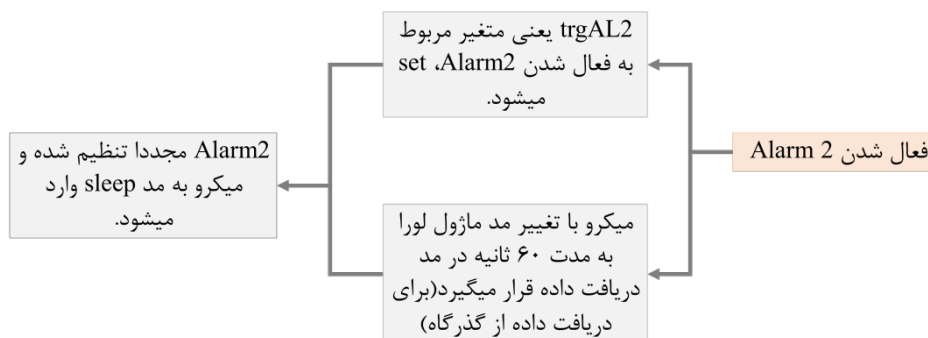
شکل (۶) تغییر فرمت داده از حالت signed integer به فرمت Byte



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



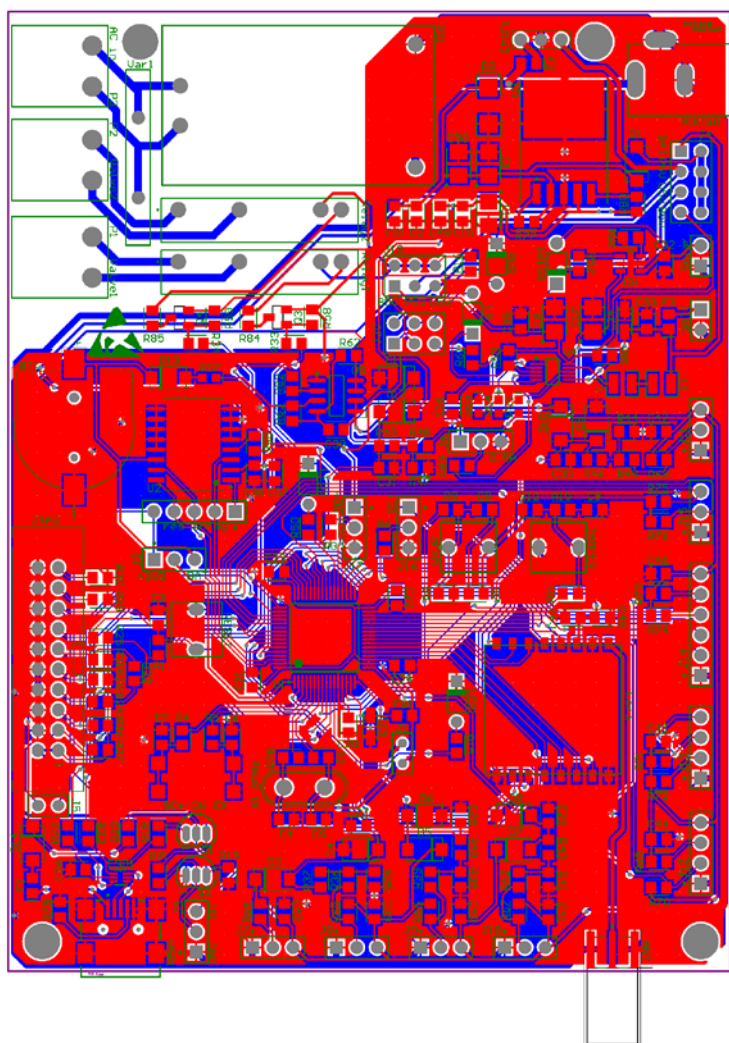
شکل (۸). نحوه عملکرد بخش مرتبط با Alarm1 برنامه میکروکنترلر



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

ورودی برق USB، باتری و آداپتور قرار داده شده‌اند و همچنین دیودهای حفاظت اضافه ولتاژ نیز در این ورودی‌ها به کار رفته‌اند. در طراحی برد چاپی حداقل قطر سیم 0.2 mm و حداقل قطر سوراخ 0.3 mm Via در نظر گرفته شده است. برد دو لایه متالیزه با صفحه زمین در هر دو لایه طراحی شده است. شکل (۱۰) برد چاپی دستگاه انتهایی در نرم‌افزار Altium را نشان می‌دهد.

طراحی برد دستگاه در محیط نرم‌افزار 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. این برد امکان تغذیه از طریق برق شهر، آداپتور، باتری و ورودی USB را داراست. باتری سکه‌ای توان مورد نیاز تراشه‌ی ساعت را برای حفظ تاریخ و ساعت تامین می‌کند. فیوزهای برگشت‌پذیر در

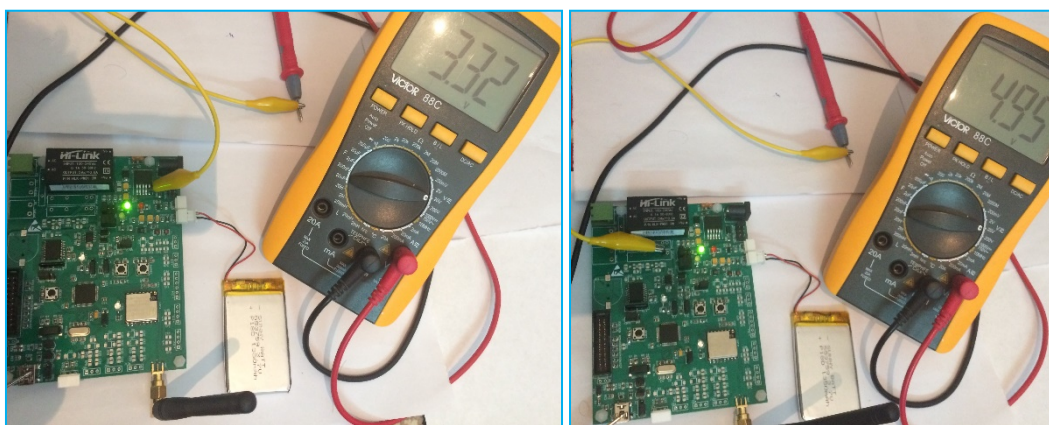


شکل (۱۰). برد چاپی دستگاه انتهایی در نرم‌افزار Altium

هشدار تراشه DS3231 و فرآیند تغییر مد کاری میکرو از مد sleep به مد run و برعکس و ارسال داده توسط مازول لورا با موفقیت بررسی و تست شد. حداکثر برد عملیاتی دستگاه انتهایی در محیط شهری با توجه به محل آزمایش که در شکل (۱۲) (الف) نشان داده شده است، بیش از ۲۰۰۰ متر برآورد شد.

۴- آزمایش مدار دستگاه انتهایی

شکل (۱۱) آزمایش بخش تغذیه مدار دستگاه انتهایی را نشان می‌دهد، که شکل‌های الف، ب و ج به ترتیب نشان‌دهنده‌ی ولتاژ خروجی تراشه‌های LT1764، MAX1676 و اتصال سلول خورشیدی به ورودی تراشه‌ی MCP73831 اند. فرآیند تنظیم



(ب)

(الف)



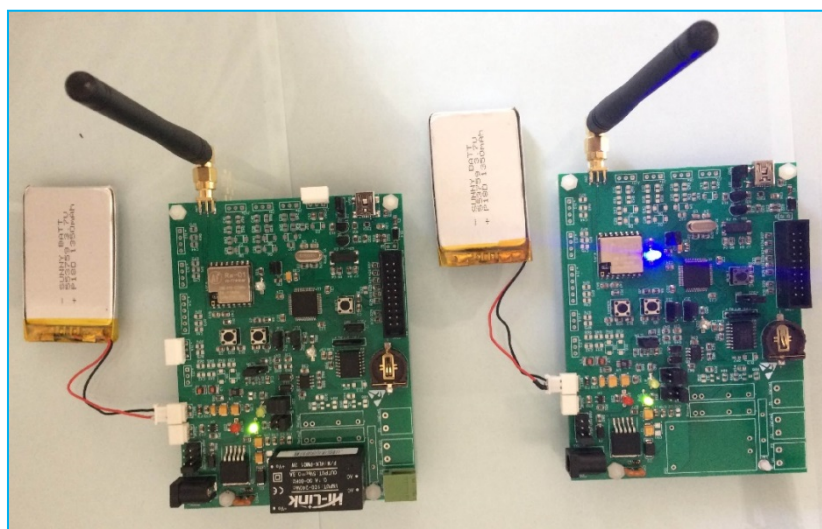
(ج)

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 برد عملیاتی دستگاه انتهایی



(ب)

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

اطلاعات سنسورها قابل مشاهده است. امکان ارسال فرمان به عملگرها و تغییر متغیرهای کنترل نیز از صفحه پارامترهای کنترل امکان پذیر است. به وسیله این وب سرویس اطلاعات سنسورها از هر کجای جهان قابل دسترسی است.

۵- آزمایش عملکرد سامانه

شکل های (۱۳)، (۱۴) و (۱۵) بخش های مختلف وب سرویس را نشان می دهند. کاربر admin توانایی ایجاد صفحه و حذف و پنهان کردن صفحات ایجاد شده را از داخل خود وب سرویس دارا است اما سایر کاربران این امکان را نخواهند داشت. در صفحه کاربری



شکل (۱۳). صفحه اصلی وب سرویس



شکل (۱۴). صفحه اصلی وب سرویس پس از ورود

در این صفحه متغیرهای کنترل قابل مشاهده و تغییر اند:

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

شماره	نام زمینه عملکرد سنسور	ضریب تبدیل	واحد
1	Battery_Voltage	0.00137	Volt
6	Soil_Moisture	0.01	Percent
2	Soil_Temp	0.01	C

☐ خودکار بودن فرآیند آبیاری: فاصله زمانی ارسال به گذرگاه: تعداد دستگاه های انتهایی:

(الف)

فعال شدن شیر برقی: ☐

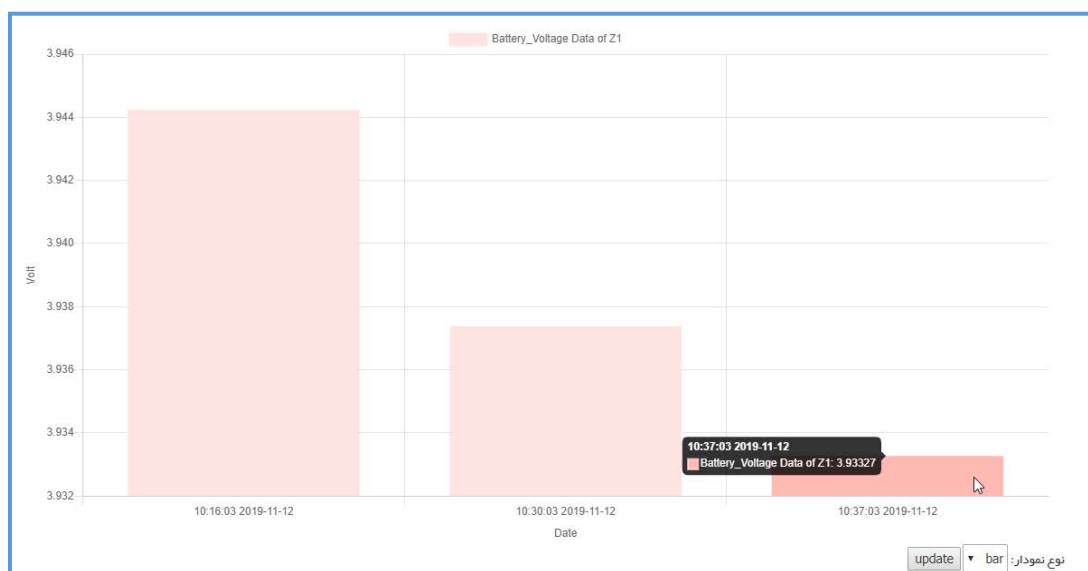
نام زمینه عملکرد سنسور (field name):
 شماره (field number):
 ضریب تبدیل (field coefficient):
 واحد (unit):

(ب)

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

در اینجا طبق زمان بندی، ارسال داده از دستگاه انتهایی به گذرگاه صورت می گیرد. گذرگاه نیز اطلاعات سنسورها را به سرور ارسال می نماید. مطابق شکل (۱۶) مشاهده می شود که به عنوان نمونه اطلاعات ولتاژ باتری دستگاه انتهایی ناحیه ۱ در بازه‌ی زمانی مورد نظر به درستی انتقال داده شده است.

پایگاه داده‌ی مورد استفاده MySQLi است که تمامی اطلاعات کاربران و داده‌های سنسورها در این پایگاه داده ذخیره می شود. اطلاعات سنسورها پس از انتقال آن توسط گذرگاه به وب سرور، در این پایگاه داده ذخیره شده و در صفحه کاربری نمایش داده می شوند.



شکل (۱۶). ولتاژ باتری دستگاه انتهایی ناحیه ۱

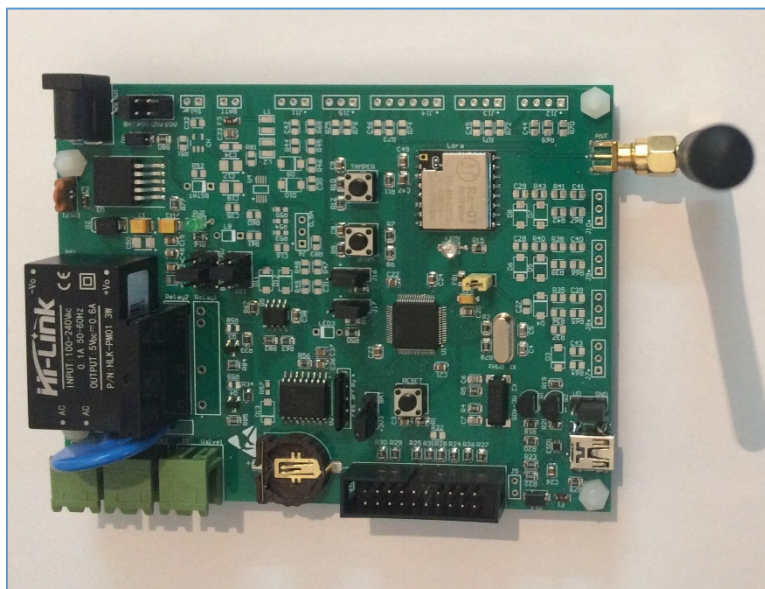
تغییر می‌یابد و در صورتی که پاسخ از عملگر دریافت شود قسمت وضعیت به رنگ سبز تغییر می‌یابد (شکل‌های (۱۷) و (۱۸)). شکل (۱۹) نیز برد متصل به عملگر را نشان می‌دهد.

در صفحه‌ی متغیرهای کنترل برنامه به گونه‌ای نوشته شده است که وقتی کنترل خودکار فرآیند فعال باشد امکان تغییر در وضعیت عملگر توسط کاربر وجود نداشته باشد. هنگامی که در سرور وضعیت عملگر تغییر کند قسمت وضعیت به رنگ نارنجی

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

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



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 شه میرزاد 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 اشیا 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 داده‌ها 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 قابلیت‌های 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.

- [5] SANCHEZ, L., MUÑOZ, L., GALACHE, J. A., SOTRES, P., SANTANA, J. R., GUTIERREZ, V., RAMDHANY, R., GLUHAK, A., KRICO, 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: Bridging wireless sensor networks into internet of things. *Embedded and Ubiquitous Computing (EUC)*, 2010 IEEE/IFIP 8th International Conference on, 2010. Ieee, 347-352.
- [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)*, 2016. 16th 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.