طراحی سیستم هوشمند مقرون به صرفه برای شناسایی خطا در تابلوهای برق بر مبنای اینترنت اشیاء با رایانه‌های تک‌برد

تیمور تاجداری[1] مُحد فواد بن رحمت[2]

۱- استادیار- گروه برق- دانشکده مهندسی- دانشگاه ولایت- ایرانشهر- ایران

tajdari.t@velayat.ac.ir

۲- استاد- گروه ابزار دقیق- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه تکنولوژی مالزی - جوهور- مالزی

fuaad@fke.utm.my

چکیده: تابلوهای برق صنعتی برای تعمیر و نگهداری نیاز به رسیدگی منظم دارند. در این پروژه با بکارگیری اینترنت اشیاء در یک رایانه تک‌بردی، سیستمی هوشمند برای شناسایی خطا طراحی شده است که باعث تسهیل در نگهداری و کاهش زمان عیب‌یابی در مدار این تابلوها می‌گردد. سامانه الکترونیکی این طرح دارای یک رایانه Raspberry pi است که نقش کنترل‌کننده مرکزی را دارد، و یک مدار الکترونیکی است که ارتباط سنسورها با رایانه را برقرار می‌کند. کدنویسی برنامه پروژه به کمک زبان برنامه‌نویسی پایتون صورت گرفته است. همچنین از پلتفرم دسترسی ابری Dataplicity برای تبادل آنلاین اطلاعات بین Raspberry pi و ابزارهای هوشمند مانند رایانه یا گوشی اندرویدی استفاده شده است. این طرح به تکنسین‌ها اجازه می‌دهد که به طور مداوم وضعیت دمای پنل، ولتاژ منابع تغذیه DC و ابزارهایی مانند انواع رله‌های محافظ را از طریق ابزارهای هوشمند یا رایانه‌ها به صورت آنلاین رصد کنند. عملکرد این سیستم برای کار در شرایط مختلف و خطاهای احتمالی در مدارات تابلوهای برق صنعتی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتیجه کار یک سیستم هوشمند ارزان‌قیمت برای تابلوهای الکتریکی است که اطلاعات ضروری را به سرعت جمع‌آوری، پردازش و ارسال می‌کند که باعث کاهش چشمگیر زمان مورد نیاز برای عیب‌یابی در این تابوها می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تابلوی برق صنعتی، Raspberry pi ، سیستم اینترنت اشیاء، عیب‌یابی هوشمند.

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.52547/jiaeee.19.1.53

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۱۵

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۲۹

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر تیمور تاجداری

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران – ایرانشهر – دانشگاه ولایت – دانشکده مهندسی – گروه برق

۱- مقدمه

در خطوط تولید و ماشین‌آلات بخش صنعتی، تابلوهای برق نقش اصلی در توزیع انرژی الکتریکی و کنترل قسمت‌های مختلف را بر عهده دارند. از تجهیزات و اجزای نصب شده درون این تابلوها می‌توان از کنتاکتورها و انواع رله‌های کنترل، رله‌های حفاظتی، رایانه‌های صنعتی مانند PLCها و تجهیزات شبکه، درایورها و کنترل کننده‌های سرعت و گشتاور موتور، مانیتورها و منابع تغذیه نام برد. مجموعه تجهیزات درون مدارات یک تابلوی برق سیستمی را تشکیل می‌دهد که فرایند کار دستگاه، ایمنی ماشین و ایمنی اپراتور را تضمین می‌کند. خرابی در هر قسمت از این سیستم می‌تواند باعث از کار افتادن کامل یک ماشین صنعتی شود و در نتیجه روند تولید را کُند یا به طور کامل متوقف کند. عیب‌یابی سریع و به موقع مشکلات در تابلوهای برق صنعتی زمان وقفه در تولید را کاهش داده و باعث افزایش راندمان می‌شود.

در این پروژه سیستمی طراحی شده است که فرآیند تشخیص عیب را خودکار کرده و زمان لازم برای عیب‌یابی را به صفر نزدیک می‌کند. با نصب این سیستم در یک تابلوی برق، می‌توان اطلاعات مربوط به سلامت عملکرد تجهیزات برقی نصب شده در مدار تابلوی برق را از طریق تلفن هوشمند یا رایانه متصل به اینترنت به طور مداوم در دسترس تکنسین‌ها قرار داد. به وسیله این اطلاعات، تکنسین‌ها می‌توانند وضعیت کار بخش‌های مورد نظر در تابلو برق را بررسی کرده و در صورت دریافت گزارش خرابی، اقدام لازم برای رفع مشکل را انجام دهند. نتیجه کار این خواهد بود که با کاهش زمان عیب‌یابی و کسب اطلاعات به موقع از وضعیت کار رله‌های الکتریکی و تجهیزات سوئیچینگ، در نهایت بازده ماشین‌آلات افزایش یافته و هزینه‌های تولید در صنعت کاهش می‌یابد. هم‌اکنون، سیستم‌های هوشمند تشخیص خطا برای تجهیزات تابلوهای برق با قیمت بالا در بازار موجود هستند. اما نصب آنها برای تابلوهای ارزان‌قیمت مقرون به صرفه نیست. یکی از اهداف اصلی این پروژه ایجاد سیستم عیب‌یابی هوشمندی است که استفاده از آن در هر نوع تابلوی برقی مقرون به صرفه باشد.

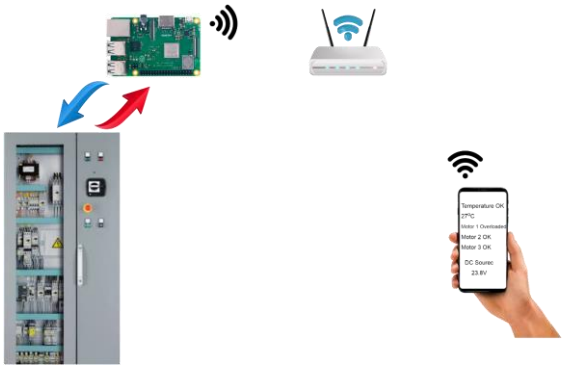
۲- پیشینه پژوهش

قدیمی‌ترین روش عیب‌یابی و جمع‌آوری داده‌های تابلوی برق استفاده از مولتی‌متر است که به صورت دستی انجام می‌شود. در تابلوهای دارای PLC ، کامپیوتر عملکرد دستگاه را زیر نظر دارد و می تواند بر اساس اطلاعات دریافت شده از حسگرهای نصب شده در داخل دستگاه، هشدارهایی را بر روی صفحه نمایش خود نشان دهد. PLCها معمولاً عملکرد ماشین را کنترل می‌کنند، و نه مدار و تجهیزات داخل تابلوی برق را که خود جزئی از آن است. به عنوان مثال صحت عملکرد رله‌های مختلف نصب شده درون تابلو توسط PLC کنترل نمی‌شود. در این مورد، تکنسین‌ها باید بر اساس تجزیه و تحلیل پیام‌های نشان داده شده توسط PLC و اندازه‌گیری‌های دستی، مدار را عیب‌یابی کنند. این نوع عیب‌یابی هم زمان‌بر است و هم باید با حضور تکنیسین در محل انجام شود. بنابراین در نهایت، سرعت عیب‌یابی به مهارت، تجربه و دانش فنی تکنسین تعمیرات بستگی خواهد داشت. هر کارخانه تولیدی چندین تابلوی برق دارد که نیاز به مراقبت و بررسی مداوم دارند. طراحی سیستم اینترنت اشیاء برای یک کارخانه می‌تواند باعث بهبود عملکرد و سرعت عیب‌یابی مدارات در تابلوهای برق شود [۲,۱]

در این پروژه، یک رایانه تک‌برد به نام Raspberry pi وظیفه جمع آوری داده‌ها از رله‌ها و حسگرها، پردازش داده‌ها و ارسال نتایج را به رایانه هوشمند متعلق به کاربر را انجام می‌دهد [۳, ۴]. استفاده از رایانه‌های تک‌برد مانند Raspberry pi برای خودکارسازی فرایندها به دلیل هزینه کم، اندازه کوچک و طیف گسترده‌ای از امکانات بسیار گسترش یافته است [۵]. اختراعاتی که در ادامه ذکر می‌شوند مثال‌هایی از استفاده از رایانه Raspberry pi برای خودکارسازی فرایندها هستند. در سال ۲۰۱۵، کریستوفر چمبرز از رایانه تک‌برد برای اختراع دستگاه اعلان تصادف استفاده کرد. در این سیستم، رایانه که می‌تواند یک Raspberry pi باشد، داده‌های تصادف را از سنسورهای نصب شده در خودرو را دریافت می‌کند و پس از تجزیه و تحلیل آنها، می‌تواند نتایج را در اختیار افراد مرتبط با مالکیت خودرو قرار دهد. این اختراع می تواند به خانواده‌ها ، شرکت‌های بیمه و فوریت‌های پزشکی کمک کند تا در اسرع وقت از حادثه مطلع شوند و بتوانند کمک‌های حیاتی را به سرنشینان ارائه دهند [۶]. در سال ۲۰۱۶، فنگ ژیا و همکارانش از رایانه Raspberry pi برای طراحی سیستم نظارت و کنترل حوضچه‌های ماهی استفاده کردند. در این سیستم داده‌های مورد نیاز از جمله سختی آب، دمای آب، سطح اکسیژن و دمای هوا توسط سنسورها به رایانه ارسال می‌شوند و رایانه Raspberry pi پس از پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها، نتایج را از طریق اینترنت به کاربر ارسال می‌کند. پس از دریافت داده‌ها، کاربر می‌تواند تجهیزات الکتریکی حوضچه را از طریق تلفن همراه خود با استفاده از Raspberry pi فعال یا غیرفعال کند [۷]. در سال ۲۰۱۶، لی هیونجی و همکارانش یک سیستم کنترل هوشمند خودرو با استفاده از پردازنده FPGA و رایانه Raspberry pi اختراع کردند. در آن سیستم، داده‌های وضعیت پیرامون خودرو توسط سنسورهای اولتراسونیک، مادون قرمز و دوربین، جمع‌آوری و پردازش می‌شود. این سیستم کنترل هوشمند خودرو می‌تواند برای جلوگیری از تصادفات به راننده کمک کند [۸]. آشوتوش ساکسنا و همکاران در سال ۲۰۱۸ یک سیستم خانه هوشمند با Raspberry pi طراحی کردند. در این سیستم، داده‌های مورد نیاز توسط سنسورها به Raspberry Pi ارسال می‌شود و سپس Raspberry pi با استفاده از تنظیمات درون نرم‌افزار که توسط توسط کاربر انجام شده است، می‌تواند لوازم خانگی منزل را کنترل کند [۹]. همچنین الکساکیس و همکاران در سال ۲۰۱۹، نسخه جدیدی از سیستم اتوماسیون خانگی با استفاده از اینترنت اشیاء طراحی کردند که می‌تواند دستورات صوتی را نیز تشخیص دهد و آن را اجرا کند [۱۱,۱۰].

۳- روش کار

به منظور خودکارسازی فرآیند عیب‌یابی و اطلاع از وضعیت کارکرد تجهیزات و مدارات داخل تابلو، ابتدا باید تجهیزات و پارامترهای هدف را انتخاب کرد. این تجهیزات می‌توانند شامل رله‌های محافظ مانند رله‌های حرارتی موتور الکتریکی، رله‌های کنترل فاز و رله محافظ جان باشند. پارامترهای مورد نظارت می‌توانند شامل دمای داخل پنل و نوسانات ولتاژ منبع تغذیه DC انتخاب، میزان رطوبت، تشخیص دود و اندازه‌گیری میزان دود را نیز باشند. در این طرح رایج‌ترین موارد تعمیرات مدارات تابلوی برق و پارامترهای مهم در آن برای نشان دادن قابلیت‌های سیستم انتخاب شده‌اند. این سیستم به رایانه‌ای نیاز دارد تا اطلاعات مربوط به تجهیزات و پارامترهای انتخاب شده را جمع‌آوری کند، سپس داده‌های بدست آمده را پردازش و تجزیه و تحلیل کند و نتیجه‌گیری نهایی را برای کاربر تولید و ارسال کند. یکی از گزینه‌ها می‌تواند رایانه‌های تک‌برد موجود در بازار باشد. رایانه‌های تک‌برد کوچک و ارزان هستند و به راحتی درون تابلوی برق قابل نصب هستند. با برنامه‌نویسی مناسب، رایانه می‌تواند از طریق اینترنت ارتباط خود با کاربر را برقرار کند. کاربر می‌تواند از طریق پلتفرم‌های ابری اینترنت اشیاء به اطلاعات رایانه در سیستم دسترسی داشته باشد یا عملکرد رایانه را زیر نظر داشته باشد. درشکل زیر بلوک دیاگرام کلی تابلو برق هوشمند نشان داده شده است.



شکل(۱): بلوک دیاگرم سیستم هوشمند عیب‌یابی تابلوی برق

۳-۱- سیستم کنترل

Raspberry Pi یک رایانه کوچک تک‌برد لینوکسی است که در ابتدا با هدف آموزش علوم کامپیوتر اختراع شد [۱۲]. اندازه کوچک و قیمت مناسب، آن را به ابزاری ایده‌آل برای علاقمندان به ساخت پروژه‌های الکترونیکی، که در آنها به پردازنده‌هایی قویتر و امکاناتی بیشتر نسبت به میکروکنترلرهای رایج مورد نیاز است، تبدیل کرد [۱۳]. Raspberry pi دارای ساختار قوی و با دوام است، که حتی آن را برای استفاده در محیط‌های صنعتی نیز مناسب کرده است [۱۵,۱۴].

برای این پروژه Raspberry pi3 مدل B انتخاب شد که مدار و شرح آن در شکل ۲ نشان داده شده است، این مدل مقرون به صرفه و دارای تمام ویژگی‌های مورد نیاز برای استفاده در این پروژه است. این مدل مجهز به پردازنده ۶۴ بیتی Broadcom BCM2837 ARMv7 Broadcom با سرعت ۱,۲ گیگاهرتز، ۱ گیگابایت RAM، اتصال Wi-Fi BCM43143 و ورودی/خروجی ۴۰ پین مجهز شده است [۱۶]. با این مشخصات، می‌توان از Raspberry pi3 مدل B به عنوان یک کنترل‌کننده سریع، با کارایی خوب و با قابلیت نصب شبکه که مورد نیاز برای یک سیستم اینترنت اشیاء است، استفاده کرد.

۳-۲- انتخاب قطعات و پارامترهای هدف

قطعات الکتریکی و پارامترهای منتخب که در این پروژه توسط سامانه هوشمند رصد می‌شوند شامل رله‌های اضافه بار حرارتی، رله کنترل سه‌فاز، کلید محافظ جان (RCD)، دمای داخل تابلو و سطح ولتاژ تغذیه DC است.

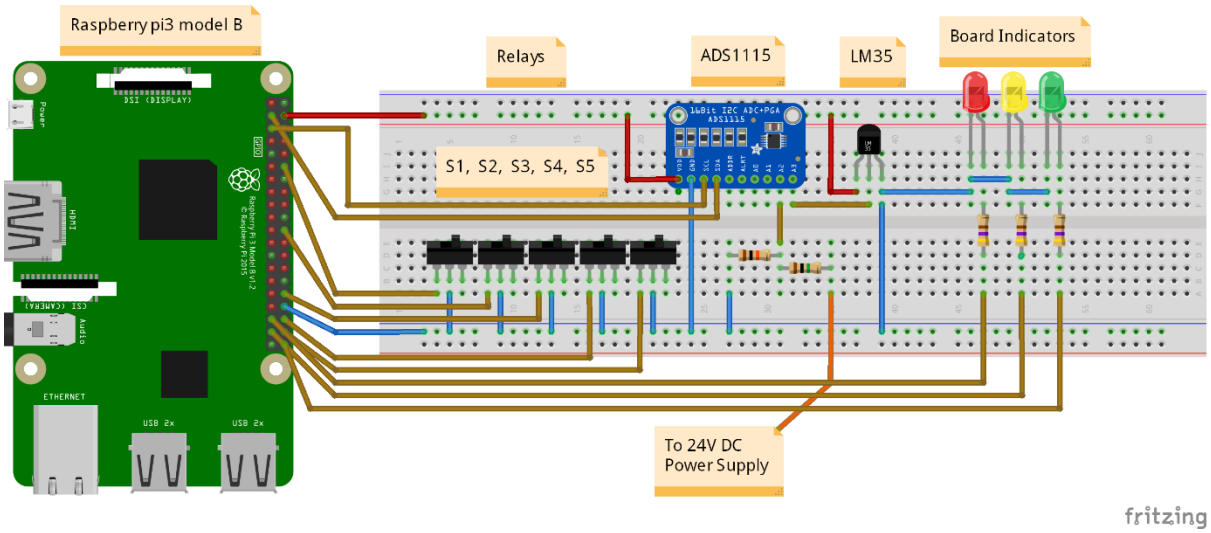
رله اضافه بار حرارتی یک سیستم الکترومکانیکی در خود دارد از موتورهای الکتریکی در برابر اضافه بار، یا جریان‌کشی بیش از محدوده تعیین شده، محافظت می‌کند.

رله کنترل سه‌فاز، که به عنوان رله‌های حفاظتی نیز شناخته می‌شوند، از موتورها و تجهیزات الکتریکی سه فاز در برابر قطعی و یا نوسان ولتاژ، به وجود آمده در هر کدام از فازها محافظت می‌کنند. این رله هنگامی که خطاهای ولتاژ مانند افت فاز، وارونگی فاز، عدم تعادل فاز، ولتاژ پایین و ولتاژ بیش از حد رخ دهد، مدار را قطع می‌کند.

رله RCD یک سیستم حفاظتی الکتریکی است که در صورت برق گرفتگی یا اتصال کوتاه به زمین، مدار را قطع می‌کند. مدار RCD به طور منظم تفاوت بین جریان ورودی و جریان برگشتی در مدار را بررسی می‌کند. تفاوت معنادار بین این دو جریان به معنی نشت جریان اصلی به زمین است و باعث می شود RCD مدار را قطع کند.

منبع تغذیه DC در تابلوهای الکتریکی برای تأمین ولتاژ مورد نیاز دستگاه‌ها و ابزارهای مربوط به اتوماسیون صنعتی مانند سنسورها، PLCها و رله‌های DC استفاده می‌شود. اغلب سیستم‌های اتوماتیک از منبع ۲۴ ولت DC استفاده می‌کنند. اگر در ولتاژ منبع تغذیه انحرافی از مقدار تنظیم شده رخ دهد، ممکن در عملکرد سیستم‌های کنترل اتوماتیک اختلال ایجاد شود.

مدارات تابلوهای برق اتوماسیون صنعتی محل قرارگیری ابزارهای الکترونیکی مهم وگران‌قیمتی مانند PLCها ، منابع تغذیه DC، کنترل کننده‌های موتور، تجهیزات شبکه و مانیتورها است که نسبت به گرما و رطوبت در محیط‌های صنعتی بسیار حساس هستند. در این گونه از تابلوها معمولاً از تهویه مطبوع هوا برای محافظت از این تجهیزات در برابر گرما و رطوبت استفاده می‌شود. با توجه به اهمیت موضوع دو پارامتر تغییرات دمای داخل تابلو و تغییرات سطح ولتاژ منابع DC جزو پارامترهای مورد نظارت برای سیستم در نظر گرفته شده‌اند.



شکل (۲): طرح مدار، قطعات و اتصالات آن برای تست بر روی برد بورد

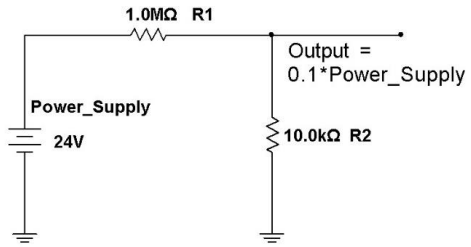
۳-۳- مبدل سیگنال‌های آنالوگ به دیجیتال

خروجی در رله‌ها سوئیچ‌هایی با وضعیت‌های NO (وضعیت غیرفعال باز) و NC (وضعیت غیرفعال بسته) هستند که با عمل کردن رله تغییر وضعیت می‌دهند و سیگنال‌هایی از نوع دیجیتال هستند. می‌توان با اتصال مستقیم خروجی‌های رله به پین‌های GPIO (درگاه ورودی/خروجی Raspberry Pi) برای انتقال اطلاعات مربوط به وضعیت این خروجی‌ها به سیستم کنترل استفاده کرد. اما سیگنال‌هایی مانند تغییرات دما و نوسان سطح توان DC داده‌های از نوع آنالوگ هستند. برای انتقال این اطلاعات به سیستم کنترل باید از مبدل آنالوگ به دیجیتال استفاده شود. مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال با تنوع در رزولوشن، سرعت، تعداد کانال و نوع پروتکل‌های ارتباطی در بازار یافت می‌شوند.

ماژول مبدل Adafruit ADS1115 با وضوح ۱۶ بیت، رابط I2C و داشتن ۴ کانال برای این پروژه انتخاب شده است. این ماژول قابلیت تنظیم سرعت نمونه‌برداری و تنظیم بهره خروجی را برای کاربر فراهم می‌کند که مجموع این ویژگی‌ها آن را به عنوان یکی از بهترین گزینه‌ها برای انتخاب مبدل ADC تبدیل کرده است [۱۷]. تصویری از این ماژول در مدار شکل ۲ نشان داده شده است.

سنسور مورد استفاده برای برای اندازه‌گیری دمای داخل تابوی برق LM35 است. مزیت این سنسور سادگی آن و همچنین تولید خروجی خطی با تغییرات دما است. این سنسور ۳ پین دارد که از ۲ پین برای تغذیه سنسور و از پین سوم به عنوان خروجی استفاده می‌شود. این سنسور به ازای هر درجه سانتیگراد تغییرات دما ۱۰ میلی‌ولت تغییر در ولتاژ خروجی خود نشان می‌دهد.

در این پروژه منبع ولتاژ DC تحت نظارت سیستم در مدار تابلوی برق ۲۴ ولت در نظر گرفته شده است. Raspberry Pi فقط می‌تواند داده‌های آنالوگ را در محدوده ۰ تا ۵ ولت بخواند. بنابراین، از یک مدار تغییر دامنه ساده برای متناسب‌سازی ولتاژ خروجی منبع تغذیه DC با محدوده قابل قبول برای ورودی Raspberry Pi استفاده شده است. این مدار در شکل ۳ نشان داده شده است. در صورت لزوم، می‌توان از سنسورهای رطوبت‌سنج همانند HCZ-H8 و یا سنسورهای تشخیص دود مثل MQ135 به طراحی پروژه اضافه کرد. نحوه نصب این دو سنسور مشابه نحوه نصب سنسورهای دما خواهد بود.

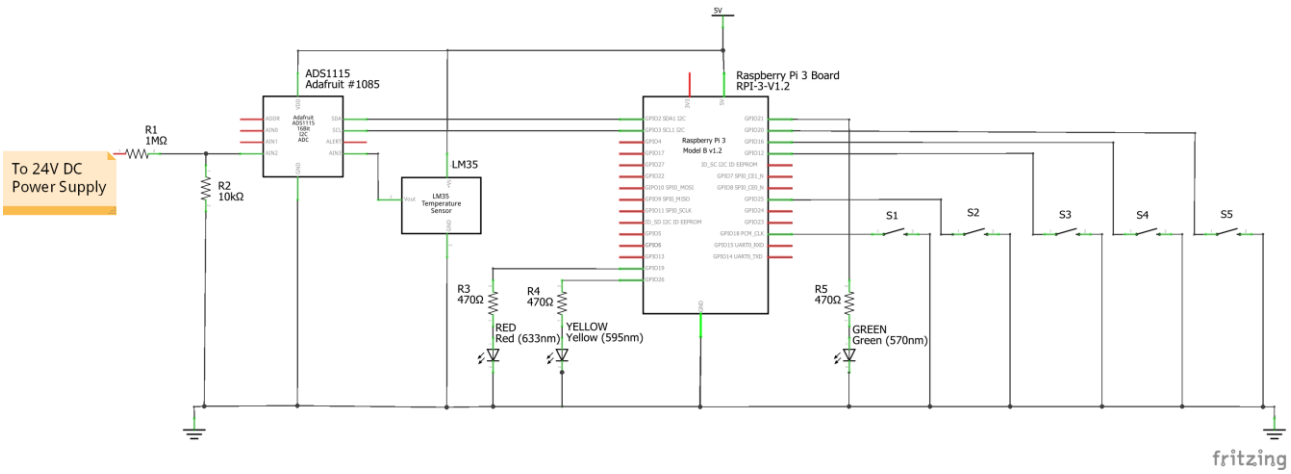


شکل (۳): مدار کاهنده از نوع مدار تقسیم ولتاژ

۴-۳- ملاحظات طراحی مدار

از درگاه‌های مهم در Raspberry pi یک پورت ۴۰ پین به نام GPIO است که به کاربر امکان می‌دهد این رایانه را به ابزارهای دیگر به عنوان ورودی و یا خروجی متصل کند. دو پین در این درگاه برای برقرای ارتباطات با پروتکل I2C است. شکل ۴ نحوه اتصالات Raspberry pi در مدار این پروژه را نشان می‌دهد.

این مدار از Raspberry pi3 B به عنوان کنترل‌کننده در سیستم استفاده می‌کند. شماتیک Raspberry Pi در این شکل فقط اتصالات تغذیه و اتصالات درگاه GPIO را نشان می‌دهد. پایه های ۱۹ ، ۲۶ و ۲۱ به ترتیب از طریق مقاومت‌های ۴۷۰ اهم به LEDهای قرمز، زرد و سبز متصل می‌شوند. LEDها به عنوان نمایشگرهای محلی استفاده شده‌اند. و وظیفه ماژول Adafruit ADS1115 انتقال داده‌های آنالوگ به کنترلر است. پین‌های SCL و SDA در کنترل‌کننده به پایانه‌هایی با همین نام در مبدل ADS1115 متصل هستند.



شکل(۴): شماتیک مداری سیستم که نحوه اتصالات قطعات و ماژول‌ها را در مدار نشان می‌دهد

پین‌های تغذیه در هر ماژول به ۵ ولت و زمین متصل شده‌اند. برای انتقال داده‌های مربوط به تغییرات ولتاژ منبع DC به کنترلر، سطح ولتاژ منبع با استفاده از یک مدار تغییر سطح با نسبت ۱۰ به ۱ کاهش داده شده است. در این طرح فرض بر این بوده که مدار تابلوی برق دارای منبع تغذیه 24V DC است. سطح این ولتاژ پس از کاهش با نسب ذکر شده، به کانال ورودی ۲ در مبدل ADC متصل شده است. از سنسور LM35 برای اندازه گیری دمای درون تابلوی برق استفاده شده است. پین خروجی LM35 به کانال ورودی ۳ در مبدل آنالوگ به دیجیتال متصل شده است.

سایر ابزارهای مورد رصد در سیستم، شامل رله‌های اضافه بار حرارتی برای سه موتور، رله کنترل‌فاز و رله محافظ جان است. سوئیچ‌های NO برای هر رله در مدار با برچسب‌های S1، S2، S3، S4 و S5 نشان داده شده‌اند که به ترتیب به پین‌های ورودی ۱۸، ۲۵، ۱۲، ۱۶، و ۲۰ کنترل‌کننده متصل شده‌اند و انتهای دیگر هر سوئیچ نیز به زمین متصل است.

۳-۵- ملاحظات طراحی سیستم کنترل

برای بررسی عملکرد سیستم، ابزارها و پارامترهای منتخب در مجموع شامل سه رله محافظ اضافه‌بار حرارتی برای موتورها، یک رله کنترل فاز، یک کلید محافظ جان، تغییرات دما و ولتاژ تغذیه DC درون تابلوی برق هستند که توسط سیستم کنترل نظارت می‌شوند. از زبان برنامه نویسی پایتون برای کدنویسی کنترلر استفاده شده است. پایتون یک زبان سطح بالا و خوانا است که برای آن کتابخانه‌های زیادی جهت کار با Raspberry Pi فراهم شده است که این مزایا آن را به اولین انتخاب برای کدنویسی Raspberry Pi تبدیل کرده است. کتابخانه‌های لازم از جمله کتابخانه‌های مورد نیاز برای مبدل ADS1115 به برنامه اضافه شده‌اند. کدهای پایتون و توضیحات مربوط به هر خط از کدنویسی این پروژه در ضمیمه این مقاله آورده شده‌اند.

همان طور که در توضیحات خطوط برنامه در ضمیمه آمده است، پین‌های ورودی کنترلر برای رله‌ها در حالت بالا کشنده (Pull-Up) تعریف شده‌اند. بنابراین، برای این که کنترلر عمل کردن رله‌ها را تشخیص دهد، پین‌های ورودی مربوطه در درگاه GPIO از طریق کنتاکت‌های NO رله به زمین متصل شده‌اند. در این حالت، با عمل کردن هر کدام از رله‌های منتخب، سیستم کنترل آن را تشخیص می‌دهد و پیام مربوط به خطای موجود را به کاربر ارسال می‌کند.

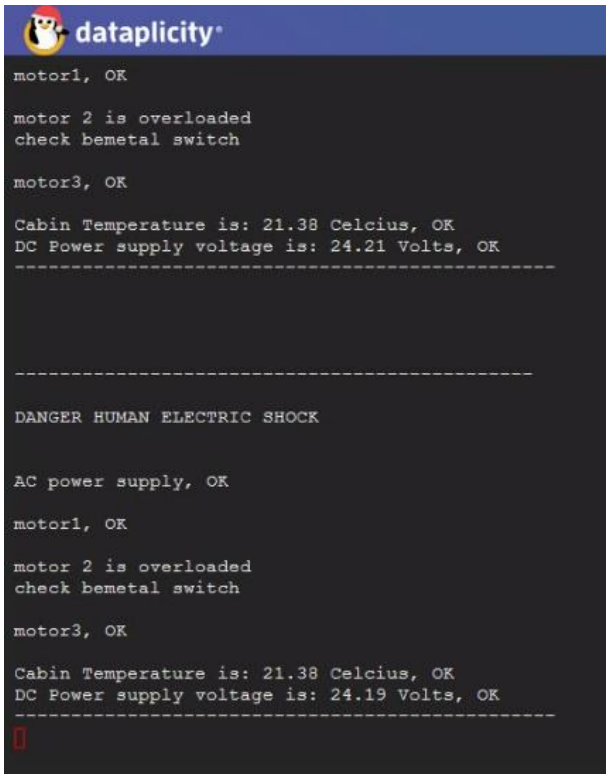
اطلاعات دمای داخل پنل به طور پیوسته توسط سنسور اندازه‌گیری و به سیستم کنترل ارسال می‌شود سپس داده‌های دما به همراه هشدارها و پیام‌های لازم دیگر برای کاربر ارسال می‌شوند. ارسال اطلاعات مربوط به نوسانات ولتاژ منبع تغذیه ۲۴ ولت DC به طور مشابهی صورت می‌گیرد. سه LED رنگی نیز به عنوان نمایشگر محلی روی برد کنترل نصب شده است. چراغ قرمز نشان می‌دهد که یک یا چند رله محافظ فعال است. هنگامی که دما افزایش داشته باشد یا ولتاژ منبع تغذیه DC از نقطه تعیین شده خارج شود، LED زرد روشن می‌شود، در غیر این صورت روشن بودن LED سبز نشان دهنده وضعیت نرمال خواهد بود.

۴- طراحی سیستم اینترنت اشیاء و نتایج سیستم

مهندسان می‌توانند از اینترنت اشیاء برای دسترسی آسان و نظارت بر Raspberry Pi و عملکرد استفاده کنند [۱۸]. پلتفرم ابری اینترنت اشیاء مورد استفاده در این پروژه Dataplicity نام دارد [۱۹]. Dataplicity می‌تواند ارتباط مورد نیاز بین Raspberry pi و هر کامپیوتر متصل به اینترنت را فراهم کند. استفاده از این پلتفرم رایگان است و راه‌اندازی و استفاده از آن بر روی ابزارهای اندرویدی و رایانه‌های مبتنی بر ویندوز بسیار آسان و سرراست است. کاربر می‌تواند از راه دور از طریق Commander Cloud در این پلتفرم به خط فرمان Raspberry Pi دسترسی کامل داشته باشد. Dataplicity به کاربران امکان کنترل کامل بر تمام ویژگی های Raspberry Pi را فراهم می‌کند. تکنسین‌هایی که از تلفن‌های هوشمند یا رایانه‌های شخصی در این پروژه بهره می‌برند، می‌توانند به داده‌ها و یا هشدارهای مربوط به مدارات تابلوی برق که توسط Raspberry Pi تهیه و ارسال

مـی‌شـوند دسترسـی داشـته باشـند. شـکل ۵ تصـویری از محـیط Dataplicity Cloud Commander نشان می‌دهد. این تصویر نمونـه گزارش تهیه شده توسط سیستم کنترل است کـه در آن اطلاعـاتی، از وضعیت ابزارها و پارامترهای منتخب مدار تابلوی برق، به کاربر ارسـال شده است.

گزارش نمونه در شکل ۵ نشان می‌دهد که دما، منبع تغذیه DC، دو عدد از رله‌های حرارتی و رله کنترل سه‌فاز همگی در شرایط عـادی کار قرار دارند. همچنین، این گزارش یک شوک توسط رله محافظ جان و یک رویداد اضافه‌بار توسط رله حرارتـی موتـور شـماره ۲ را گـزارش کرده است. نمونه گزارشاتی که برای امنیت جان اپراتورها و سلامت کار ماشین‌آلات بسیار حیاتی هستند.



شکل(۵): صفحه گزارش Dataplicity Cloud Commander

۵- نتیجه‌گیری

هدف این پروژه ارائه یک سیستم نظارتی بود که به کاربران اجازه می‌دهد که وضعیت تجهیزات و پارامترهای منتخب در مـدار تابلوهـای برق را رصد کنند. بنیاد و اساس این پروژه بر استفاده از رایانه کوچـک و تک‌بردی Raspberry Pi، به عنوان سیستم کنترل، بنا نهـاده شـده است. کدنویسی پروژه به زبان پایتون انجام شده است. بررسی و تست موردی پروژه شامل سه رله اضافه‌بار حرارتی، رله کنترل سه‌فـاز، کلیـد محافظ جان، تغییرات دمای درون تابلو و منبع تغذیه DC بوده اسـت. بررسی موردی پروژه نشان می دهد که Raspberry Pi مـی‌توانـد بـه طور منظم وضعیت ابزارهـا و پارامترهـای هـدف در تـابلوی بـرق را از طریق درگاه ورودی/خروجی رصد کرده و داده‌هـا و هشـدارهای مـورد نیاز را از طریق ارسال پیام به کاربر گـزارش دهـد. اجـرای ایـن پـروژه نشان داد که چگونه استفاده از اینترنت اشیاء در صنعت می‌تواند بـرای عیب‌یابی سریع و دقیق مدارات تابلوی‌های برق به تکنیسین‌هـا کمـک کند. طبق آزمایشات، کاربران می‌توانند با استفاده از تلفن‌های هوشمند یا رایانه‌های شخصی به طور کامل از امکانات سیستم بهره‌مند شوند. به عنوان پیشنهاد برای مطالعات بعدی، می توان استفاد از سیسـتم را بـر روی شبکه کامل تابلوهای برق یک کارخانه مورد بررسی قرار داد.

ضمایم

برنامه پایتون زیر برای اجرای یک پروژه موردی در ایـن سیسـتم طراحی شده و مورد استفاده قرار گرفته است. توضیحات لازم برای هـر خط از برنامه نیز فراهم شده است.

```
# Call ADS11xx, GPIO, and Time
Libraries
from RPi.GPIO import*
from time import*
from  Adafruit_ADS1x15 import*
# Determine the working mode
setmode(BCM)
# Determine Label and gain of
converter functions.
adc = ADS1115()
gain = 1
# Define pins 18, 25, 12, 16, and 20
as inputs as pull-up.
setup([18, 25, 12, 16, 20], IN,
PUD_UP)
# Set pins 19, 21 and 26 as outputs
setup([19, 21, 26], OUT)
# Function Definition: Report engine
No. 1 performance.
def motover1():
      if bim1 == LOW:
         print'\nMotor No.1 is
Overloaded\n'
      else:
         print'Motor No.1 is Working
Normally'
# Function Definition: Report Engine
No. 2 performance.
def motover2():
      if bim2 == LOW:
         print'\nMotor No.2 is
Overloaded\n'
      else:
         print'Motor No.2 is Working
Normally'
# Function Definition: Report Engine
No. 3 performance.
def motover3():
      if bim3 == LOW:
         print'\nMotor No.3 is
Overloaded\n'
      else:
          print'Motor No.3 is Working
Normally'
```

```
# Function Definition: Report the
three-phase power supply voltage
status.
def phasech():
      if phc == LOW:
         print'\nA Problem in AC Power
Line\n'
      else:
         print'\nAC power supply, OK'
# Function Definition: Report the case
of electric shock.
def humanpr():
      if hp == LOW:
         print'\nDANGER HUMAN ELECTRIC
SHOCK\n'
# Function definition: Light up the
red LED when each relay is activated.
def redled():
      if (bim1==LOW or bim2==LOW or
          bim3==LOW or phc==LOW or
          hp==LOW):
           output(19, HIGH)
       else:
           output(19, LOW)
# Function definition: Report
temperature and DC voltage status
# and light up the yellow or green
LEDs according to the set threshold.
def anadata():
      if (temperature >= 33 and
(supply < 23 or supply > 25) ):
           output(26, HIGH)
           output(21, LOW)
           print'\nAlarm Alarm'
           print'Cabin Temperature is
                HIGH, it is: %4.2f
                Celcius' %temperature
           print'DC Power supply
                voltage is unbalanced,
                it is: %4.2f Volts\n\n'
                %supply
      elif (temperature <= 33 and
(supply < 23 or supply > 25)):
           output(26, HIGH)
           output(21, LOW)
           print'\nAlarm'
           print'Cabin Temperature is
                OK, it is: %4.2f
                Celcius' %temperature
           print'DC Power supply
                voltage is unbalanced,
                it is: %4.2f Volts\n\n'
                %supply
      elif (temperature >= 33 and (23
<= supply <=25)):
           output(26, HIGH)
           output(21, LOW)
           print'\nAlarm'
           print'Cabin Temperature is
                HIGH, it is: %4.2f
                Celcius' %temperature
           print'DC Power supply
                voltage is OK, it is:
                %4.2f Volts' %supply
      else:
           output(26, LOW)
           output(21, HIGH)
           print'\nCabin Temperature
                is: %4.2f Celcius, OK'
                %temperature
           print'DC Power supply
                voltage is: %4.2f
                Volts, OK' %supply
# Main loop
while True:
# Label each input pin.
     bim1, bim2, bim3, phc, hp =
          input(18),input(25),input(12)
          ,input(16),input(20)
#  Read the temperature value from
          analog to digital converter.
      temp = adc.read_adc(3, gain)
      temperature =temp/float(100)
# Read the DC voltage value from
analog to digital converter.
      supp = adc.read_adc(2, gain)
      supply =supp/float(100)
# Run the functions.
      print'\n\n\n\n------------------
----------------------'
      humanpr()
      phasech()
      motover1()
      motover2()
      motover3()
      redled()
      anadata()
      print'--------------------------
----------------------'
      sleep(3)
# The End.
cleanup()
```

مراجع

[۱] G. Mylonas, D. Amaxilatis, L. Pocero, I. Markelis, J. Hofstaetter, and P. Koulouris, "Using an Educational IoT Lab Kit and Gamification for Energy Awareness in European Schools," presented at the Proceedings of the Conference on Creativity and Making in Education, Trondheim, Norway, 2018 .

[۲] X. Vilajosana, P. Tuset, T. Watteyne, and K. Pister, "OpenMote: Open-Source Prototyping Platform for the Industrial IoT," in Ad Hoc Networks, Cham, 2015, pp. 211-222: Springer International Publishing.

[۳] A. Nguyen-Duc, K. Khalid, S. Shahid Bajwa, and T. Lønnestad, "Minimum Viable Products for Internet of Things Applications: Common Pitfalls and Practices," Future Internet, **vol. 11**, no. 2, p. 50, 2019.

[۴] A. Gholamrezaee, H. Farrokhi, and J. Zeraatkar Moghaddam, "Fairness Resource Allocation for MIMO OFDM-based Multicast System using GA/PSO," (in eng),

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers, Research **vol. 17**, no. 1, pp. 69-77, 2020.

[۵] M. Capra, R. Peloso, G. Masera, M. Ruo Roch, and M. Martina, "Edge Computing: A Survey On the Hardware Requirements in the Internet of Things World," Future Internet, **vol. 11**, no. 4, p. 100, 2019.

[۶] C. Chambers, "Vehicle impact sensor and notification system " USA Patent US9852555B2, 2015. Available: https://patents.google.com/patent/US9852555B2.

[۷] F. zhé, y. c. chàng, wúgāng, dèngfùquán, and péngkǎijié, "Intensive culture pond remote monitering system based on raspberry group " China Patent CN206258717U, 2016. Available: https://patents.google.com/patent/CN206258717U/en.

[۸] L. Hyunji, Baegang-u, and Munmingu, "Smart vehicle control system using field programmable gate array and raspberry pi " South Korea Patent KR20180067372A, 2016. Available: https://patents.google.com/patent/KR20180067372A/en.

[۹] A. Saxena, L. Kroc, Y. Zhou, and D. Deng, "Multi-modal interactive home-automation system " USA Patent US20180343139A1, 2018. Available: https://patents.google.com/patent/US20180343139A1.

[۱۰] G. Alexakis, S. Panagiotakis, A. Fragkakis, E. Markakis, and K. Vassilakis, "Control of Smart Home Operations Using Natural Language Processing, Voice Recognition and IoT Technologies in a Multi-Tier Architecture," Designs, **vol. 3**, no. 3, p. 32, 2019.

[۱۱] H. Radmanesh, R. Sharifi, and S. H. Fathi, "A BAT Optimization Algorithm for Sizing and Siting of Optimal Distributed Generation in Distribution Networks," (in eng), Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers, Research **vol. 17**, no. 4, pp. 11-15, 2020.

[۱۲] R. M. Reck and R. S .Sreenivas, "Developing an Affordable Laboratory Kit for Undergraduate Controls Education," no. 46186, p. V001T02A004, 2014.

[۱۳] J. C. Adams, R. A. Brown, J. Kawash, S. J. Matthews, and E. Shoop, "Leveraging the Raspberry Pi for CS Education," presented at the Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education, Baltimore, Maryland, USA, 2018 .

[۱۴] C. P. Kruger and G. P. Hancke, "Benchmarking Internet of things devices," in 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2014, pp. 611-616.

[۱۵] Z. Mahdavipour, "Image De-Noising and Micro Crack Detection of Solar Cells," (in eng), Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers, Research **vol. 14**, no. 4, pp. 55-61, 2018.

[۱۶] P. Mattsson, D. Zachariah, and P. Stoica, "Identification of cascade water tanks using a PWARX model," Mechanical Systems and Signal Processing, **vol. 106**, pp. 40-48, 2018/06/01/ 2018.

[۱۷] L. Dogariu, S. Ciochina', and C. Paleologu, "On the Properties of the System Mismatch Covariance Matrix in the LMS Adaptive Algorithm," in 2018 International Conference on Communications (COMM), 2018, pp. 39-44.

[۱۸] P.-H. Chen and N. Cross, "IoT in Radiology: Using Raspberry Pi to Automatically Log Telephone Calls in the Reading Room," Journal of Digital Imaging, journal article **vol. 31**, no. 3, pp. 371-378, June 01 2018.

[۱۹] L.-M. Dogariu, S. Ciochină, J. Benesty, and C. Paleologu, "System Identification Based on Tensor Decompositions: A Trilinear Approach," Symmetry, **vol** .,۱۱no. 4, p. 556, 2019.