«مجله علمی علوم و فنون سازندگی»
سال سوم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، صفحه ۲۳ الی ۳۰

طراحی، ساخت و اجرای سیستم عیب یابی پنل های خورشیدی در نیروگاه های خورشیدی از راه دور با سیستم ارتباطی LORA به صورت یکپارچه

علیرضا کرامت زاده[1*]، حسین زمانی[2]

۱- گروه برق پردیس صنعتی شهدای هویزه دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- هلدینگ فناوری اطلاعات و ارتباطات ، موسسه سماوات

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۴، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۹)

چکیده

در این کار یک سیستم برای عیب یابی پنل‌های خورشیدی طراحی و ساخته شده است که قادر است به صورت روزانه عملکرد پنل‌های خورشیدی را در یک نیروگاه خورشیدی رصد کرده و به صورت نمودار و عدد اطلاعات تولیدی پنل‌ها را به کاربر بدهد. همچنین برای راحتی کاربر در خواندن اطلاعات و وضعیت پنل‌ها از نمودارها و رنگ ها استفاده شده است. سیستم طراحی شده شامل یک بخش سخت افزاری و یک بخش نرم افزاری است. در بخش سخت افزاری سیستم از ترمینال پشت پنل اطلاعات جریان و ولتاژ را خوانده و توسط ارتباط LORA به سمت مرکز ارسال می‌کند. در مرکز اطلاعات دریافت شده و ضمن خواندن اطلاعات تابش توسط سنسور شدت تابش سیستم، تمامی اطلاعات به کامپیوتر ارسال می‌گردد. بخش نرم افزار در کامپیوتر که توسط زبان برنامه نویسی پایتون نوشته شده است اطلاعات را از کاربر می‌گیرد و طبق زمان گزارش‌گیری که کاربر آن را تنظیم می‌کند آن اطلاعات را می‌خواند. نرم افزار قابلیت نمایش اطلاعات پنل‌ها به صورت رنگ و نموداری را دارد و اطلاعات روزانه را نیز در پایان هر روز ثبت می‌کند به طوریکه کاربر می‌تواند در هر زمانی به آنها دسترسی داشته باشد.

کلید واژه‌ها : پنل خورشیدی، ارتباط LORA، پایتون، سنسور تابش.

۱. مقدمه

نیروگاه‌های خورشیدی از پاساژها برای تأمین توان مورد نیاز اینورترها و شبکه استفاده می‌کنند [۱]. دراین پروژه این آرایش کنار هم قرار گرفتن پنل‌ها درون نرم افزار سیستم نیز نشان داده شده است تا کاربر بتواند براحتی یک پنل مورد نظر را در نیروگاه پیدا کند.

برای ارسال و دریافت اطلاعات که ارتباط LORA مورد استفاده قرار گرفته است پس از بررسی‌های صورت گرفته برای ارسال و دریافت اطلاعات این استاندارد به صورت node و Gateway مورد استفاده قرار گرفت[۴-۲]. در این حالت node ها بایکدیگر تداخل ندارند و دیتای یکدیگر را نمی‌خوانند. از این رو سیستم با خطای بسیار کمتری کار می‌کند.

سیستم‌های فتوولتائیک همیشه به صورت دائم انرژی تولید نمی‌کنند بنابراین باید برای زمانی که پنل‌های انرژی کافی از خورشید دریافت نمی‌کنند راهی یافت[۵]. در این پروژه از خازن‌های باظرفیت بالا به عنوان باتری تأمین کننده انرژی مدارها استفاده شده است تا در صورت قطعی‌های کوتاه بتوانند انرژی سیستم را تأمین کنند.

این پروژه با هدف پایش و عیب یابی پنل‌های خورشیدی درون یک نیروگاه خورشیدی طراحی شده است. در یک آرایه از پنل‌هایی که با هم به صورت سری و موازی متصل می‌شوند وجود خرابی در هر ماژول می‌تواند باعث کاهش راندمان نیروگاه شده و خرابی جبران ناپذیری را نیز در طول زمان ایجاد کند. هر ماژول بخشی از توان کل آرایه را تأمین می‌کند. در صورت رخداد خرابی از طرفی توان تولیدی ماژول کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد که سیستم پیشنهادی براساس اندازه‌گیری این توان قابلیت تشخیص این عیب را دارد. از طرف دیگر، در صورت رخداد برخی خرابی‌ها

*نویسنده مسئول: keramatzade_alireza@yahoo.com

از جمله مدار باز شدن یک ماژول، اثرات آن متوجه کل آرایه‌ی خورشیدی خواهد بود. در این صورت نیز سیستم پیشنهادی با تشخیص به موقع خطا قادر خواهد بود تا جلوی کاهش توان تولیدی و خسارت مالی ناشی از آن را بگیرد. همچنین به دلیل زیاد بودن تعداد پنل‌ها در یک نیروگاه به کمک ایت سیستم دیگر نیاز به چک کردن یک به یک پنل‌ها نیست و کار بررسی آنها براحتی انجام می‌شود.

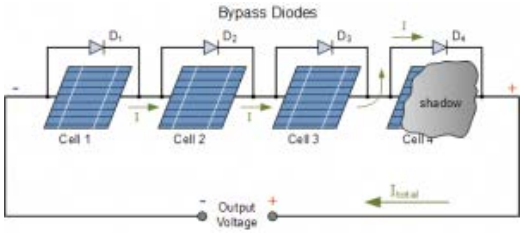
سیستم طراحی شده پایش نیروگاه خورشیدی دارای قابلیت رصد کردن و بررسی توان تولیدی در هر پنل از نیروگاه خورشیدی به همراه میزان تابش می‌باشد. این سیستم به صورت روزانه اطلاعات هر پنل را در هر بازه‌ی زمانی با تنظیمات کاربر به سیستم مرکزی ارسال می‌کند و به این صورت کاربر می‌تواند به طور روزانه از وضعیت پنل‌ها آگاه شود. همچنین با ثبت اطلاعات روزانه می‌توان از وضعیت هر پنل در روزهای پیشین نیز آگاه شد. در این سیستم امکان مشاهده وضعیت ولتاژ، جریان و توان تولیدی پنل‌ها به صورت عددی و نمودار برای مقایسه‌ی بهتر، فراهم شده است.

۲. روش تحقیق

در این پروژه هدف طراحی یک سیستم برای عیب یابی پنل-های خورشیدی از راه دور توسط ارتباط LORA بود. پنل‌های خورشیدی با مشخصه توان که شامل ولتاژ و جریان می‌باشد مورد بررسی قرار می‌گیرند. بنابراین برای بررسی این دو شاخصه می-باید مدارهایی طراحی و ساخته می‌شد تا اینکار انجام شود. در اندازه‌گیری این دوشاخصه الزاماتی از قبیل ابعاد کوچک مدارها و کم مصرف بودنشان باید در نظر گرفته می‌شد. پس از طراحی چنین مدارهایی برای ارسال و دریافت اطلاعات با کاربر نیاز به تعریف استانداردی با سیستم مرکزی بود تا این اطلاعات را به صورت درست ارسال کرده و نمایش دهد. از این رو پروژه در چند بخش انجام شد. در بخش اول مدارهایی برای تست و اندازه‌گیری ولتاژ و جریان پنل‌ها طراحی شد. سپس سعی شد تا اطلاعات دریافت شده توسط این مدارها به یک بخش ارسال شود. همچنین در این بخش استاندارد ارسال و دریافت اطلاعات نهایی شد.

در بخش بعد که به طراحی و ساخت نهایی مدارها می‌پردازد سعی شد ابعاد مدارها بسیار کوچک و کم مصرف طراحی شود تا هم به راحتی در پشت پنل جای گیرند و همچنین با تولید بسیار ناچیز پنل سیستم روشن شود. بنابراین در سیستم نهایی که شروع آن بخش دوم پروژه است به طراحی مدارهای مربوط به هر node و برنامه نویسی میکروکنترلر آن اختصاص یافت. در بخش سوم طراحی و ساخت pcb ها انجام شد. سپس در بخش چهارم قسمت مرکزی (Gateway) سیستم طراحی و ساخته شد و در نهایت در مرحله پنجم و بخش آخر پروژه نرم افزار سیستم طراحی و نوشته شد.

در آغاز پروژه اولین چالش نحوه‌ی اندازه‌گیری جریان و ولتاژ پنل خورشیدی بود. برای اندازه‌گیری ولتاژ و جریان پنل خورشیدی باید نقاط اندازه‌گیری درست انتخاب می‌شدند تا جریان و ولتاژ پنل به دست بیاید. برای این اندازه‌گیری از جریان اتصال بین ترمینال پنل و دیودهای بای‌پس مطابق شکل (۱) استفاده شده است.



شکل (۱). نحوه‌ی اتصال پنل‌های خورشیدی به صورت سری به همراه دیودهای بای‌پس

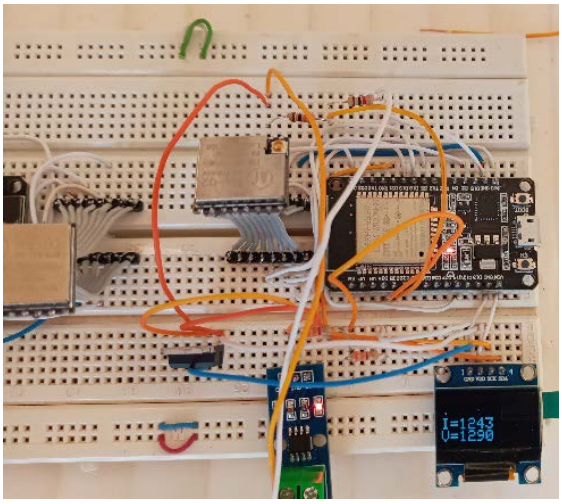
در مرحله بعد شبیه‌سازی در نرم افزار proteus انجام شد و نتایج اندازه‌گیری مشاهده گردید که مورد انتظار بود.

سپس برای انتخاب قطعات میکروی xtensa انتخاب شد تا ضمن مصرف بسیار کم برای کاربردهای صنعتی بسیار مناسب - باشد. در پشت پنل خورشیدی دما می‌تواند تا ۷۰ درجه سانتی گراد افزایش پیدا کند از این رو با توجه با اینکه این میکروکنترلر قابلیت کارکرد تا دمای ۱۲۵ درجه سانتی گراد را دارد برای کاربرد ما بسیار عالی است. شکل (۲) تصویر این میکرو کنترلر را نشان می‌دهد.

شکل (۲). تصویر میکروکنترلر مورد استفاده در پروژه

در مرحله بعد برای اندازه‌گیری جریان سنسور اثر هال با شماره ACS712 انتخاب شد تا به صورت ایزوله جریان را اندازه-گیری کند و برای اندازه‌گیری ولتاژ نیز از تقسیم ولتاژ استفاده شد. سپس برای نشان دادن ولتاژ و جریان نمونه از یک OLED

استفاده شد تا این ولتاژ و جریان‌ها را به صورت آزمایشی روی برد بورد نشان دهد. در شکل ۳ تصویری از این مدارهای تست نشان داده شده است.



شکل (۳). سنسور جریان ACS712 متصل به میکروکنترلر و نمایش خروجی روی OLED به صورت خام

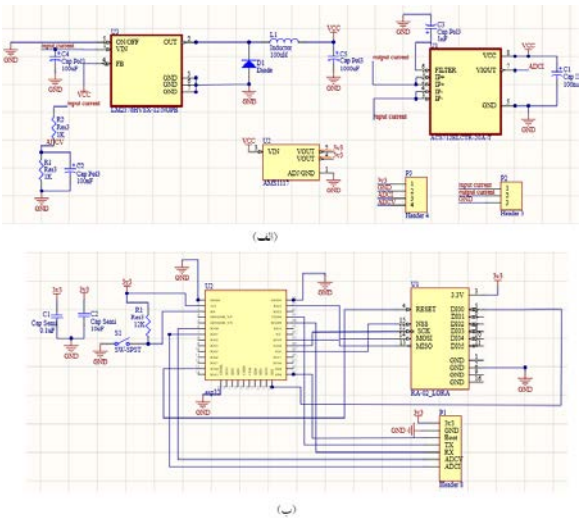
سیکل خواندن برای هر۵ ثانیه تنظیم شد. این زمان برای خواندن اطلاعات کافی است و همچنین هنگامی که سیستم در نیروگاه نصب شود تاخیری که نیاز است تا سیستم اطلاعات خود را ارسال کند بسیار کمتر از این مقدار خواهد بود. این مسئله را باید همواره در استفاده از تاخیرها در مدارها در نظر گرفت تا در ارسال و دریافت اطلاعات مشکل ایجاد نشود. همچنین برای ارتباط از استاندارد LORA استفاده شده است. این ارتباط دارای ویژگی دور برد بودن و مصرف توان پائین است به همین منظور در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته است. برای تنظیم فرکانس کاری این ماژول باید محدوده‌ای که این ماژول در آن قرار می‌گرفت مورد نظر قرار گیرد. برای آسیا فرکانس ۴۳۳ MHz تعریف شده است که ما هم در این فرکانس ماژول را تنظیم شده است.

در این مداراها گیرنده و فرستنده را یکبار به صورت Send & Receive و یکبار به صورت Node & Gateway تعریف شده است. در تعریف به صورت Send & Receive مشکلی که پیش می‌آید امکان اختلال در شبکه به دلیل ارسال و دریافت اطلاعات فرستنده‌ها با هم و همچنین گیرنده‌ها با هم می‌باشد. به این دلیل برنامه را به گونه‌ای تعریف شده است که ارتباط به صورت Node & Gateway باشد. در این حالت با فعال کردن سیگنال I/Q امکان ارتباط Gateway ها با هم و node ها باهم از بین می‌رود. با اینکار تا حد قابل قبولی امکان تداخل از بین می‌رود. لازم به ذکر است پیام‌های ارسال اطلاعات از Gateway به سمت node ها به طور همزمان ارسال می‌گردد.

در شکل (۴) مدارهای طراحی شده مربوط به nodeها شامل دو قسمت برد power و برد پردازش و ارتباط نشان داده شده است. ابتدا به مدار برد power پرداخته شده است. با توجه به ولتاژ پنل‌های خورشیدی معمول که در محدوده‌ی تا ۴۰ ولت می‌باشند برای تغذیه‌ی مدارها نیاز به یک تغذیه‌ی سوئیچینگ می‌باشد تا مدارهای مورد نیاز را با تغذیه‌ی ۵ ولت و ۳/۳ ولت تغذیه کند. برای این کار از رگولاتور ۲۵۷۶ استفاده شد که تا این رنج ولتاژ را به ۵ ولت تبدیل می‌کند. همچنین با توجه به دیود استفاده شده (us1m) این منبع تغذیه تا ۱ آمپر جریان می‌دهد. سنسور جریان ACS712 به صورت نشان داده شده در شکل (۴) به سیستم وصل شده است. ورودی این سنسور به صورت ورودی و خروجی در مسیر جریان قرار گرفته است که باید در بین اتصال ترمینال پنل خورشیدی و دیودهای بای پس پشت پنل نصب شود. این سنسور در دو نوع ۵ و ۲۰ آمپر موجود است. برای افزایش دقت در پنل‌هایی که جریان کمتر از ۵ آمپر دارند از نوع ۵ آمپر و برای جریان‌های بالاتر از نوع ۲۰ آمپر آن استفاده می‌شود. همچنین چون این سنسور در مسیر جریان قرار می‌گیرد یک انشعاب از آن برای تغذیه‌ی مثبت به سمت رگولاتور می‌رود. سر دیگر ترمینال پشت پنل که در واقع سر منفی آن می‌باشد به بخش زمین برد وصل می‌شود. بنابراین در یک طرف برد power یک pin Header با سه اتصال قرار دارد که دوتا برای ورودی و خروجی جریان هستند و دیگری اتصال زمین سیستم می‌باشد. برای تغذیه میکرو کنترلر و ماژول Ra-02 نیاز به ولتاژ ۳/۳ ولت می‌باشد به این منظور همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است از یک عدد رگولاتور خطی AMS1117 استفاده شده است تا این خروجی را تأمین کند. به این ترتیب در طرف دیگر برد که به عنوان خروجی در نظر گرفته شده است یک pin Header چهارتایی در نظر گرفته شده است که دو اتصال از آن برای خروجی تغذیه برد پردازنده در نظر گرفته شده‌اند و دو اتصال دیگر آن خروجی‌های استاندارد سنسورهای ولتاژ و جریان می‌باشند. با توجه به ورود جریان پنل به این برد و انجام عملیات اندازه‌گیری جریان و ولتاژ روی آن (power) خروجی‌های این دو سنسور استاندارد شده و توسط دو اتصال دیگر pin Header به سمت برد پردازنده می‌روند. ولتاژ در این بردها با تقسیم ۱ به ۶ به سمت برد پردازنده می‌رود و همچنین یک عدد خازن ۱۰۰nf با مقاومت اندازه‌گیر ولتاژ موازی شده تا نویز adc میگرو را کاهش دهد. سلف استفاده شده روی این برد برای رگولاتور ۲۵۷۶ جریان‌های تا ۱ آمپر را از خود براحتی عبور می‌دهد.

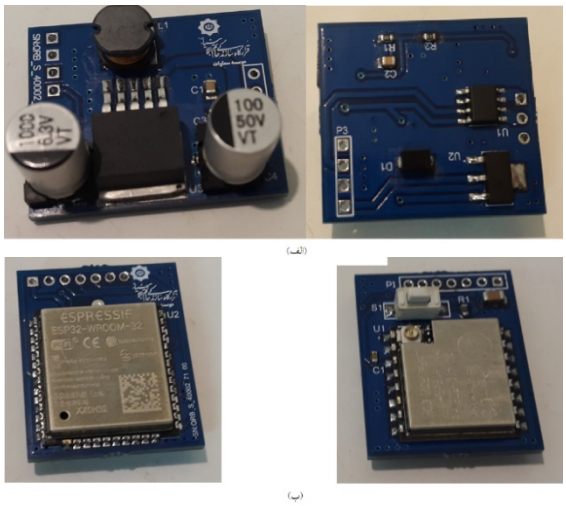
همان‌طور که دیده می‌شود برای تمام تغذیه‌ها از خازن‌های چند میکرو استفاده شده است تا ضمن انتقال اطلاعات کمترین

نویز به سیستم وارد شود. در مدار پردازنده سیستم مدارهای ریست برای میکروکنترلر طراحی و اجرا شده تا ضمن عملکرد خوب سیستم اگر نیاز به برنامه‌ریزی یا شروع دوباره برنامه بود سیستم ریست گردد.



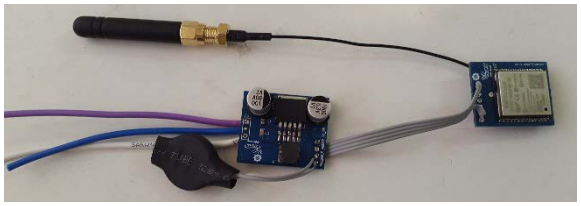
شکل (۴). شماتیک برد های الف) POWER و ب) CPU در نرم افزار آلتیوم

در این برد به منظور تأمین تغذیه سیستم دو عدد از ترمینال‌های روی برد برای تأمین تغذیه ۳/۳ ولت در نظر گرفته شده‌اند و همچنین برای اتصال سنسورهای جریان و ولتاژ دوترمینال در نظر گرفته شده است. این دو ترمینال (جریان و ولتاژ) به صورت استاندارد وارد این برد می‌شوند بنابراین مستقیما به پایه‌ی میکرو وصل شده‌اند. همچنین به منظور برنامه نویسی مجدد روی میکرو سه عدد ترمینال دیگر برای ارسال و دریافت دیتا و همچنین یک پایه‌ی Boot در نظر گرفته شده است. بنابراین در روی این برد مجموعاً ۷ عدد اتصال در نظر گرفته شده است. شکل (۵) بردهای ساخته شده برای هر node را نشان می‌دهد.



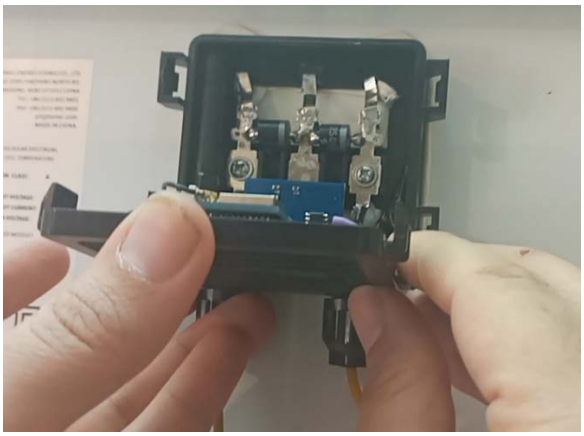
شکل (۵). بردهای pcb مربوط به الف) power و ب) پردازنده‌ی node

شکل (۶) تصویر نهایی یک node نمونه را نشان می‌دهد که شامل دو عدد برد power و یک خازن برای تثبیت ولتاژ و یک عدد آنتن برای ارتباط LORA می‌باشد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود ابعاد بردها بسیار کوچک می‌باشد به طوریکه براحتی پشت پنل خورشیدی جای می‌گیرد.



شکل (۶). تصویر یک node کامل لحیم شده

شکل (۷) تصویر یک node را درون جعبه پشت پنل خورشیدی نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود پس از قرار دادن بردهای مربوط به node پشت پنل درب آن براحتی بسته می‌شود و نیاز به اتصالات دیگری نیست.



شکل (۷). قرار گرفتن node در جعبه پشت پنل خورشیدی

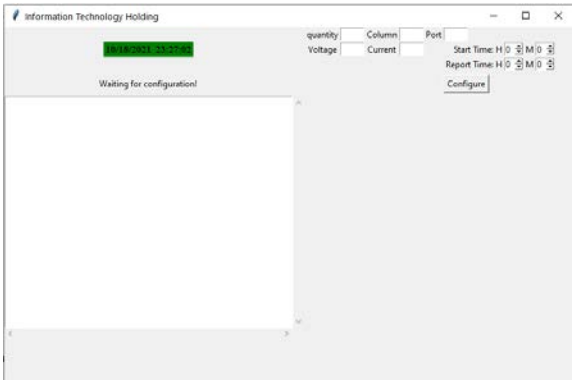
در این سیستم Gateway نقش ارتباط بین nodeها و کامپیوتر را بر عهده دارد. Gateway از یک سو با شروع به کار nodeها اطلاعات زمان شروع به شمارش را از هر node می‌گیرد و به کامپیوتر به صورت آنلاین می‌دهد. همچنین اطلاعات تابش را مستقیماً خود Gateway از سنسور تابش می‌گیرد و ذخیره می‌نماید تا در پایان روز برای کامپیوتر ارسال کند. میکروی استفاده شده در Gateway نیز xtensa بوده که شبیه به

میکروی استفاده شده در هر node می‌باشد. این میکرو توسط ارتباط سریال و از طریق درگاه USB به کامپیوتر وصل می‌شود. برای ارتباط با nodeها نیز Gateway مجهز به یک ماژول Ra-02 شده است که در فرکانس ۴۳۳MHz تنظیم شده و آنتن آن روی جعبه‌ی سیستم نصب گردیده است. شکل (۸) تصویر Gateway را نشان می‌دهد که در آن محل‌های اتصال سنسور و نصب کابل میکرو USB تعبیه شده است.

شکل (۸). بخش مرکزی (Gateway) و اتصالات آن

برای سنسور تابش درون جعبه یک عدد پتانسیومتر تعبیه شده تا به صورت سری با سنسور تابش قرار گیرد و برای نواحی مختلف سنسور تابش را کالیبره کند. سنسور تابش توسط یک سیم به طول ۱۰ متر به Gateway وصل می‌شود تا بتوان سنسور را در محل تابش خورشید قرار داد و اطلاعات آن را به همراه اطلاعات پنل‌های خورشیدی ثبت کرد. دو چراغ برای نشان دادن اتصال power و دیگری status برای نشان دادن وضعیت سیستم روی این جعبه قرار داده شده است. چراغ power هنگام اتصال درست به کامپیوتر روشن می‌شود و چراغ status هنگام شروع به خواندن توان پنل‌های خورشیدی روشن شده و تا پایان گزارش گیری روشن می‌ماند.

نرم افزار سیستم به صورت گرافیکی با زبان برنامه نویسی پایتون نوشته شده است. در نوشتن این نرم افزار چالش پیش رو، تنظیمات کاربر و نمایش پنل‌ها و مشخصاتشان به بهترین صورت و با جزئیات مورد نیاز کاربر بود. این نرم افزار به گونه‌ای نوشته شده است که کاربر را به طور مستقیم با Gateway و به طور غیر مستقیم با node ها ارتباط دهد. هدف سیستم امکان پایش پنل-های خورشیدی توسط کاربر می‌باشد. بنابراین در این نرم افزار یک پنل جلوی کاربر قرار داده می‌شود تا با وارد کردن تنظیمات مربوط به نیروگاه خورشیدی و اطلاعات مورد نیاز زمان روشنایی و تولید نیروگاه بتواند نیروگاه خورشیدی را به طور کامل و با جزئیات هر پنل پایش کند. با اجرای نرم افزار پنجره نرم افزار سیستم مانند شکل (۹) باز می‌شود. همان‌طور که در این شکل نشان داده می‌شود در بالای پنجره سمت چپ در یک کادر سبز رنگ زمان جاری و تاریخ سیستم نوشته شده است. زیر آن پیام "waiting for configuration!" نوشته شده است که به معنی انتظار سیستم برای پیکربندی جدید مطابق با نیروگاه خورشیدی می‌باشد. برای پیکر بندی سیستم باید منوهای سمت راست پنجره اصلی برنامه پر شوند. در قسمت "quantity" تعداد کل پنل‌های نیروگاه نوشته می‌شود. در قسمت بعدی که "Column" می‌باشد تعداد پنل‌های قرار گرفته در هر سطر (پاساژ) نوشته می‌شود تا نمایش پنل‌ها در برنامه مطابق با قرار گرفتن آنها در نیروگاه خورشیدی باشد. در بخش بعدی که "Port" نام دارد شماره پورت کامپیوتر که به Gateway وصل است تعیین می-گردد. بخش بعد "Voltage" و پس از آن "Current" مربوط به ولتاژ نامی و جریان نامی پنل‌های نیروگاه است.



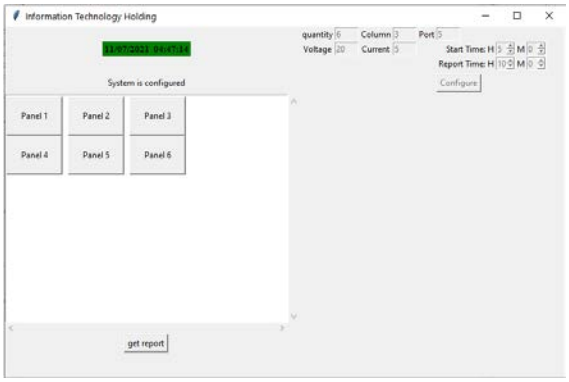
شکل (۹). اولین نمای پنجره‌ی باز شده پس از اجرای نرم افزار سیستم

بخش بعد به نام "Start Time"مربوط به تنظیم زمان شروع خواندن سنسور تابش توسط Gateway می‌باشد. این زمان بر حسب ساعت و دقیقه توسط کاربر تنظیم می‌شود و پس از آن Gateway شروع به خواندن سنسور تابش می‌کند و منتظر روشن شدن nodeها می‌ماند. هر node با رسیدن نور به آن و روشن شدن یک پیام به Gateway می‌دهد. بخش آخر که باید توسط کاربر تنظیم شود "Report Time" است که زمان اتمام خواندن تابش توسط Gateway بوده و پس از آن Gateway اطلاعات تمام پنل‌ها یا node ها را می‌خواند. سپس باید کاربر بر روی کلید "Configure" کلیک کند.

۳. نتایج و بحث

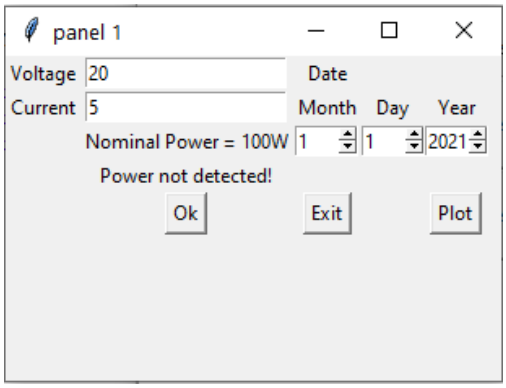
برای آزمایش سیستم ابتدا باید یک node در پشت پنل

خورشیدی قرار داده شود. سپس همان‌طور که در شکل (۱۰) دیده می‌شود در نرم افزار سیستم پس از قرار دادن تنظیمات با کلیک کردن بر روی دکمه "Configure" تمام گزینه‌های تنظیم شده غیر فعال می‌شوند و سیستم شروع به کار می‌کند. پنجره‌ی نرم افزار سیستم برای مثلاً یک نیروگاه با شش پنل خورشیدی در دو ردیف سه تایی به صورت شکل ۲۴ می‌باشد. در این شکل زمان‌ها نیز تنظیم شده‌اند. همان‌طور که دیده می‌شود پس از کلیک بر ر.ی دکمه‌ی "Configure" پیام سیستم نیز به صورت "system is configured" تغییر می‌کند.



شکل (۱۰). پنجره‌ی نرم افزار سیستم بلافاصله پس از پیکربندی

حال با کلیک بر روی هر پنل یک پنجره به صورت شکل (۱۱) باز می‌شود. در این پنجره دو بخش "Voltage" و "Current" وجود دارد که به صورت پیش فرض برابر با دو بخش "Voltage" و "Current" در پنجره اصلی نرم افزار می‌باشند. اگر پنل مورد نظر ولتاژ و جریان متفاوتی با مقادیر پیش فرض داشت در این قسمت می‌توان آن را تغییر داد. در زیر این دو بخش در این پنجره مقدار توان نامی به صورت "Nominal Power" نوشته شده است. در زیر آن توان خوانده شده از پنل در پایان گزارش گیری نوشته می‌شود که همان‌طور که دیده می‌شود چون هنوز کار گزارش گیری از پنل‌ها انجام نشده پیام "Power not detected!" نمایش داده شده است.



شکل (۱۱). پنجره‌ی مربوط به یک پنل نمونه پس از پیکربندی سیستم

با رسیدن زمان جاری به زمان "Report Time" توقف خواندن تابش و گرفتن گزارش از پنل‌ها توسط Gateway آغاز می‌شود و پیام "getting data from node N" (N شماره یک node است)روی پنجره اصلی برنامه ظاهر می‌شود. همان‌طور که در شکل (۱۲) نشان داده شده است نرم افزار مشغول خواندن اطلاعات از node 6 می‌باشد و این یعنی تمام nodeها با شماره کمتر خوانده شده‌اند.

شکل (۱۲). پیام وضعیت سیستم هنگام خواندن یک node

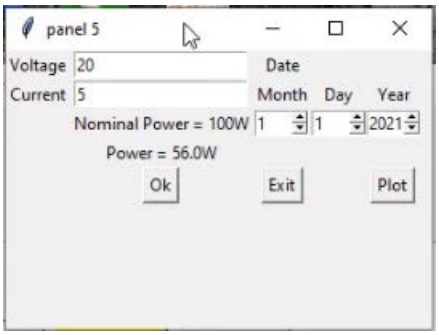
در این مرحله Gateway برای گرفتن گزارش از هر پنل ۴ بار تلاش می‌کند تا آن را پیدا کند و وضعیت برنامه نشان می‌دهد که Gateway مشغول خواندن کدام node یا پنل می‌باشد. پس از آنکه نرم افزار توسط Gateway تمام node ها را خواند با نشان دادن وضعیت "Stop reading and send data" مطابق با شکل (۱۳) به خواندن پایان می‌دهد.

اگر به هر دلیلی در وسط ارسال اطلاعات خللی وارد شود نیز Gateway به گونه‌ای برنامه‌نویسی شده که دوباره برای گرفتن اطلاعات تلاش کند. همچنین اگر کاربر بخواهد هر زمانی به صورت دستی گزارش گیری را انجام دهد با زدن دکمه "get

"report" در پائین پنجره اصلی نرم افزار می‌تواند این کار را انجام دهد. با گرفتن اطلاعات پنل‌ها هر پنل به یکی از رنگ‌های سبز، زرد و یا قرمز در روی پنجره اصلی نرم افزار تبدیل می‌شود. وقتی توان تولیدی پنل بالای ۶۶ درصد توان نامی آن باشد رنگ پنل به رنگ سبز ، اگر بین ۳۳ تا ۶۶ درصد باشد به رنگ زرد و اگر زیر ۳۳ درصد باشد به رنگ قرمز در می‌آید. همچنین اگر جریان پنل بالای ۵۰ درصد جریان نامی باشد ولی ولتاژ آن زیر ۳۳ درصد ولتاژ نامی باشد چون خطر آسیب دیدن پنل وجود دارد ضمن قرمز شدن پنل روی آن پیام "Hot Spot!" نشان داده می‌شود. این مورد در شکل (۱۳) نشان داده شده است.

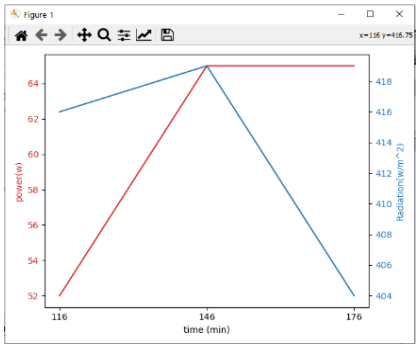
شکل (۱۳). نمایش پنل با توان تولیدی کم و خطر Hot Spot

پس از گزارش‌گیری LED مربوط به status روی Gateway خاموش می‌شود و همچنین رنگ پنل‌هایی که اطلاعاتشان نرسیده روی پنجره اصلی نرم افزار به حالت قبل باقی می‌ماند. در این مرحله مطابق با شکل (۱۴) کاربر می‌تواند با کلیک بر روی هر پنل در پنجره اصلی نرم افزار میانگین توان تولید شده توسط پنل مربوطه را ببیند.



شکل (۱۴). نمایش میانگین توان تولید شده پنل شماره ۵

همچنین کاربر می‌تواند با تنظیم تاریخ در منوی هر پنل گزارش مربوط به هر روز را که می‌خواهد به صورت نمودار مشاهده کند. لازم به ذکر است برای هر روز نرم افزار در کامپیوتر یک فایل csv درست می‌کند که نام فایل تاریخ روز مورد نظر است تا کاربر راحت تر بتواند آن را پیدا کند. در شکل (۱۵) یک منحنی نمونه برای پنل شماره ۵ به همراه تابش در آن زمان نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود منحنی تابش به رنگ آبی با واحد W/M^2 که در سمت راست نمودار مدرج شده است و نمودار توان تولیدی با واحد W در سمت چپ نمودار با رنگ قرمز نمایش داده شده است.



شکل (۱۵). نمودار توان تولیدی پنل نمونه به همراه میزان تابش

۴. نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده دیده می‌شود که سیستم با اندازه‌گیری دقیق ولتاژ و جریان هر پنل خورشیدی می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی از وضعیت پنل را به اطلاع کاربر برساند تا کاربر بتواند در موقع مناسب نسبت به وضعیت پنل رسیدگی کند. همچنین در این سیستم به دلیل استفاده از ارتباط LORA مصرف توان سیستم بسیار پائین است بنابراین توان بسیار کمی از توان تولیدی پنل صرف این سیستم می‌شود. همچنین در این سیستم امکان مشاهده وضعیت هر پنل به صورت نموداری و با رنگ‌ها فراهم شده است که به کاربر این امکان را می‌دهد تا بسیار سریع‌تر از وضعیت پنل‌ها آگاه شود. کوچکی بردهای مربوط به node ها از مزایای دیگر این سیستم است که بدون نیاز به جعبه در جعبه‌ی پشت هر پنل قرار می‌گیرند که این باعث راحتی نصب و هزینه کمتر خواهد شد.

۵. مراجع

[1] W. Swiegers and J. H. R. Enslin, "An integrated maximum power point tracker for photovoltaic panels," IEEE International Symposium on Industrial Electronics. Proceedings. ISIE'98 (Cat. No.98TH8357), Pretoria, South Africa, 1998, pp. 40-44 vol.1, doi: 10.1109/ISIE.1998.707746.

[2] P. Kumari, H. P. Gupta and T. Dutta, "A Bayesian Game Based Approach for Associating the Nodes to the Gateway in LoRa Network," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, doi: 10.1109/TITS.2020.3046302.

[3] Muhammad Omer Farooq,Multi-hop communication protocol for LoRa with software-defined networking extension,

Internet of Things, Volume 14,2021, 100379, ISSN 2542-6605, https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100379.

[4] Djidi, N.E.H.; Gautier, M.; Courtay, A.; Berder, O.; Magno, M. How Can Wake-up Radio Reduce LoRa Downlink Latency for Energy Harvesting Sensor Nodes? *Sensors* 2021, *21*, 733. https://doi.org/10.3390/s21030733

[5] J. I. Ahn, D. Kim, R. Ha and H. Cha, "State-of-Charge Estimation of Supercapacitors in Transiently-powered Sensor Nodes," Integrated Circuits and Systems, doi: 10.1109/TCAD.2021.3059561.