

دانشگاه تهران

پردیس دانشکده های فنی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

## عنوان

سامانه اتوماسیون پایش و سنجش نیروگاه های خورشیدی با ساختار غیرمتمرکز

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی

در رشته مهندسی برق گرایش مخابرات

نام و نام خانوادگی

امیرحسین ناظری

شماره دانشجویی

۸۱۰۱۹۶۵۷۴

استاد راهنما:

دکتر معین عابدینی

تیر ماه ۱۴۰۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## تعهدنامه اصالت اثر

باسمه تعالی

اینجانب امیرحسین ناظری تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل تلاش اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی دانشگاه تهران می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو :

امیرحسین ناظری

امضای دانشجو :



تقدیم<sup>۱</sup> به:

تمام تلاشگران عرصه ی علم و دانش

---

<sup>1</sup> Dedication

## تشکر و قدردانی<sup>۱</sup>:

سپاس خدایی را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. خداوند ار شکر گزارم که مرا یاری رساند تا بتوانم این مقطع تحصیلی را به پایان رسانده و گامی هر چند کوچک در راستای اعتلای علم و صنعت بردارم.

از خانواده‌ی عزیز و دوستان که در تمام لحظات زندگی، همواره یآوری دلسوز و فداکار و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده‌اند، بسیار سپاس گزارم.

از استاد گرامی جناب آقای دکتر عابدینی نیز بسیار سپاس گزارم چرا که بدون راهنمایی‌های ایشان تامین این پایان نامه بسیار مشکل بود.

---

<sup>1</sup> Acknowledgements

## چکیده<sup>۱</sup>

انرژی های نو اصلی ترین پاسخ به نیاز روزافزون دنیا به انرژی در آینده نزدیک می باشد که نیروگاه های خورشیدی رکنی کارآمد در این چرخه محسوب می شوند. در سال های اخیر مهندسان برق به دنبال راه هایی برای نظارت بر خط بر عملکرد نیروگاه های خورشیدی و پایش خطا های آن بوده اند تا علاوه بر صرفه جویی اقتصادی در هزینه های پایش و جلوگیری از افت بازدهی پنل های خورشیدی، آسیب های احتمالی را به حداقل برسانند. در نیروگاه های خورشیدی توان بالا (Large-scale) از تعداد زیادی اینورتر dc به ac جهت تبدیل و توزیع توان ورودی استفاده می گردد که در نهایت این توانها جمع شده و به شبکه سراسری برق منتقل می شود. پایش برخط اینورترهای متعدد در نیروگاه های غیر متمرکز جهت اطمینان از صحت عملکرد از اهمیت بالایی برخوردار است که در این راستا تشخیص خطاهای احتمالی با استفاده از روش های نوین هوش مصنوعی و طراحی یک سامانه پایش با رابط گرافیکی مناسب و منطبق با نیاز نیروگاه های کشور ، تاثیر بسزایی در بهبود نظارت و افزایش بازدهی نیروگاه های مذکور دارد.

در سامانه پایش هوشمند نیروگاه خورشیدی ، داده های دریافتی از سنجشگرهای اجزاء نیروگاه ، که از طریق ماژول های تبادل داده ارسال می گردد در یک رابط گرافیکی ، جهت نظارت دقیق ، ایمن و مطمئن و با بکارگیری از تلفیق روش های نوین هوش مصنوعی به منظور تشخیص خطاهای احتمالی در اختیار کاربر قرار می گیرد.

**کلمات کلیدی :** سامانه پایش نیروگاه خورشیدی، سامانه تشخیص هوشمند خطا ، هوش

**مصنوعی، شبکه عصبی، انرژی هوشمند**

---

<sup>1</sup> Abstract

## فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه و بیان مسئله .....	۱
۱-۱ مقدمه .....	۲
۱-۱-۱ تاریخچه ای از موضوع تحقیق .....	۳
۱-۱-۲ شرح مسئله تحقیق .....	۳
۱-۱-۳ تعریف موضوع تحقیق .....	۴
۱-۱-۴ اهداف و آرمان های کلی تحقیق .....	۵
۱-۱-۵ روش انجام تحقیق .....	۵
۱-۱-۶ ساختار پایان نامه .....	۵
فصل ۲: سامانه ی تبادل داده اجزای نیروگاه خورشیدی .....	۶
۲-۱ مفاهیم سامانه ی تبادل داده .....	۷
۲-۱-۱ سنجشگر داده .....	۷
۲-۱-۱-۱ تعریف .....	۷
۲-۱-۱-۲ اقسام سنجشگر داده .....	۷
۲-۱-۱-۳ داده های اندازه گیری شده .....	۸
۲-۱-۲ ماژول های تبادل داده .....	۹
۲-۱-۲-۱ تعریف .....	۹
۲-۱-۲-۲ اقسام ماژول های تبادل داده .....	۹
۲-۱-۳ پروتکل های ارتباطی .....	۱۰

۱۰	..... پروتکل های ارتباطی سنجشگر
۱۱	..... پروتکل های ارتباطی مازول های ارسال داده
۱۱	..... میکروکنترلر
۱۱	..... تعریف
۱۲	..... اقسام میکروکنترلر
۱۳	..... فرآیند دریافت داده از سنجشگر
۱۳	..... سنجشگر مورد استفاده
۱۴	..... پروتکل دریافت داده
۱۵	..... میکروکنترلر مورد استفاده
۱۵	..... مبدل پروتکل RS485 و UART
۱۷	..... فرآیند ارسال داده
۱۷	..... سخت افزار ارسال کننده داده
۱۸	..... شبکه ی ارسال داده
۲۱	..... پیاده سازی سامانه تبادل داده اجزای نیروگاه خورشیدی
۲۱	..... شمای فنی مدار سامانه تبادل داده
۲۳	..... فصل ۳: سامانه ی پایش هوشمند نیروگاه خورشیدی
۲۴	..... ۱-۳ مفاهیم سامانه پایش هوشمند نیروگاه خورشیدی
۲۴	..... ۱-۱-۳ رابط کاربری گرافیکی (GUI)
۲۴	..... ۱-۱-۱-۳ تعریف



۲۴	..... ۲-۱-۱-۳ انواع روش های پیاده سازی رابط کاربری گرافیکی
۲۵	..... ۲-۱-۳ شبکه های عصبی
۲۵	..... ۱-۲-۱-۳ تعریف
۲۶	..... ۲-۲-۱-۳ انواع شبکه های عصبی
۲۶	..... ۳-۱-۳ الگوریتم جنگل ایزوله در یادگیری ماشین
۲۶	..... ۱-۳-۱-۳ تعریف
۲۷	..... ۴-۱-۳ مدل آماری گوسی
۲۷	..... ۵-۱-۳ احراز هویت
۲۷	..... ۱-۵-۱-۳ تعریف
۲۸	..... ۲-۵-۱-۳ انواع روش های احراز هویت
۲۸	..... ۲-۳ سامانه پایش نیروگاه خورشیدی
۲۸	..... ۱-۲-۳ رابط کاربری گرافیکی سامانه
۲۹	..... ۲-۲-۳ اجزا و قابلیت های رابط کاربری گرافیکی
۲۹	..... ۱-۲-۲-۳ بخش ورود و احراز هویت
۳۰	..... ۲-۲-۲-۳ بخش تنظیمات اولیه و تعریف اجزای نیروگاه
۳۱	..... ۳-۲-۲-۳ بخش پروگرم کردن سخت افزار ارتباطی سامانه
۳۲	..... ۴-۲-۲-۳ صفحه ی اصلی سامانه
۳۷	..... ۵-۲-۲-۳ بخش نمایش نمودار داده ها
۳۸	..... ۶-۲-۲-۳ جدول جامع داده های اجزای نیروگاه

۳-۳	هوشمند سازی تشخیص خطا سامانه پایش نیروگاه خورشیدی	۳۹
۱-۳-۳	خطاهای احتمالی نیروگاه خورشیدی	۳۹
۲-۳-۳	پیاده سازی مدل های تشخیص خطا (Anomaly Detection)	۳۹
۱-۲-۳-۳	پیاده سازی شبکه عصبی	۳۹
۲-۲-۳-۳	پیاده سازی جنگل ایزوله (Isolation Forest)	۴۲
۳-۲-۳-۳	پیاده سازی مدل آماری گوسی	۴۳
۴-۲-۳-۳	پیاده سازی مدل تلفیقی به روش Boosting	۴۴
۳-۳-۳	فرآیند اعلان خطا	۴۴
۱-۳-۳-۳	پنجره اعلان خطا	۴۴
۲-۳-۳-۳	تنظیمات اعلان خطا	۴۵
فصل ۴:	نتیجه گیری و پیشنهادها	۴۶
۱-۴	نتیجه گیری	۴۷
۲-۴	نوآوری / دستاوردها	۴۸
۳-۴	محدودیتها	۴۹
۴-۴	پیشنهادها	۴۹
فصل ۵:	مراجع	۵۱
مراجع		۵۲

## فهرست شکل ها

- شکل (۱) - سنجشگر دیجیتال شرکت الکترونیک افزار آزما مدل JAM300 ..... ۱۲
- شکل (۲) - سیگنال های A و B در ارتباط RS485 ..... ۱۴
- شکل (۳) - نحوه ی سیم بندی و اتصالات پروتکل RS485 ..... ۱۴
- شکل (۴) - هدر برد STM32 F104C8T6 ..... ۱۵
- شکل (۵) - مبدل TTL به RS485 با تراشه MAX485 ..... ۱۶
- شکل (۶) - مازول ZigBee S2C ..... ۱۸
- شکل (۷) - انواع آرایش شبکه ی بی سیم مبتنی بر ZigBee ..... ۲۰
- شکل (۸) - شمای فنی مدار سامانه تبادل داده ..... ۲۱
- شکل (۹) - شماتیک برد مدار چاپی (PCB) طراحی شده ی سامانه تبادل داده ..... ۲۲
- شکل (۱۰) - فرم کلی شبکه ی عصبی ..... ۲۵
- شکل (۱۱) - نمودار توزیع احتمال نرمال (گوسی) ..... ۲۷
- شکل (۱۲) - صفحه ی ورود و احراز هویت سامانه ..... ۲۹
- شکل (۱۳) - صفحه ی تنظیمات اولیه و تعریف اجزای نیروگاه ..... ۳۰
- شکل (۱۴) - صفحه ی بخش پروگرم کردن مازول ارتباطی سامانه ..... ۳۱
- شکل (۱۵) - صفحه ی اصلی سامانه ..... ۳۲
- شکل (۱۶) - نمونه ای داده های ذخیره شده توسط پنل ذخیره سازی سامانه ..... ۳۳
- شکل (۱۷) - نمایشگر داده های برآیند نیروگاه ..... ۳۴
- شکل (۱۸) - نمایشگر شمای اجزای نیروگاه به همراه داده های مربوطه ..... ۳۴

- شکل (۱۹) - صفحه ی جامع و مختص به هر یک اجزای نیروگاه ..... ۳۵
- شکل (۲۰) - نمایشگر خطاهای احتمالی اجزای نیروگاه ..... ۳۶
- شکل (۲۱) - صفحه ی نمایش نمودار داده های هر یک از اجزای نیروگاه ..... ۳۷
- شکل (۲۲) - جدول جامع داده های اجزای نیروگاه ..... ۳۸
- شکل (۲۳) - دیاگرام نحوه ی عملکرد Autoencoder ..... ۴۰
- شکل (۲۴) - نقشه ی شبکه ی عصبی Autoencoder پیاده سازی شده در سامانه ..... ۴۰
- شکل (۲۵) - نحوه ی عملکرد الگوریتم Isolation Forest ..... ۴۲
- شکل (۲۶) - نمودار توزیع احتمال نرمال گوسی و نحوه ی تشخیص داده های ناهنجار ..... ۴۳
- شکل (۲۷) - صفحه ی تنظیمات اعلان خطا ..... ۴۵

## فهرست جدول‌ها

- جدول (۱) - سطوح منطقی در سیگنالینگ A و B در پروتکل RS485 ..... ۱۴
- جدول (۲) - مشخصات مبدل TTL به RS485 با تراشه MAX485 ..... ۱۶
- جدول (۳) - مشخصات ماژول ZigBee S2C ..... ۱۸

# فصل ۱:

## مقدمه و بیان مساله

---

## مقدمه

امروزه با افزایش نیاز به انرژی از جمله انرژی الکتریکی، نیاز به روش های جدید و استفاده از انرژی های نو و تجدید پذیر بسیار احساس می شود. بکارگیری منابع انرژی های نو می تواند علاوه بر پاسخگویی به این نیاز موجب جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه ای و آلاینده، کاهش مصرف آب و در نهایت امنیت پایدار شود. انرژی نورانی یا خورشیدی به عنوان در دسترس ترین منبع، می تواند نقشی کلیدی در تامین برق شبکه ایفا کند. نیروگاه های خورشیدی توان بالا از تعداد بسیار زیادی مبدل برق مستقیم به متناوب جهت تبدیل و توزیع توان ورودی استفاده می کنند. نظارت مداوم و تشخیص خطا در این نیروگاه های همواره یکی از چالش های اصلی مهندسين بوده است.

این نیروگاه ها امکان رخداد خطا های زیادی وجود دارد، از جمله ی آن ها می توان به اتصال کوتاه، قطع شدن مدار، آلودگی پنل های خورشیدی و کاهش بازده اشاره کرد. نظارت مداوم و برخط برای شناسایی به موقع این گونه خطا ها می تواند از ضرر های وارده به نیروگاه به میزان قابل توجهی جلوگیری کند. پایش همزمان و برخط همه ی اجزای این نیروگاه عملاً با روش سنتی و بدون استفاده از تکنولوژی های نو غیر ممکن است. اما امروزه با پیشرفت هایی که در زمینه ی مخابرات و هوش مصنوعی صورت گرفته، ابزار های گوناگونی می توان برای پیاده سازی یک سیستم هوشمند جهت مانیتورینگ نیروگاه های خورشیدی بکار گرفت. در این پایان نامه سیستمی بی سیم مبتنی بر هوش مصنوعی و شبکه های عصبی به صورت عملی پیاده سازی شده است که قابلیت پایش هوشمند و برخط تمامی اجزای یک نیروگاه خورشیدی یا هر نیروگاه دیگری را داراست. این سیستم بستری امن با قابلیت اطمینان بالا برای کارفرمایان نیروگاه ها فراهم می کند که می توانند در لحظه از تمامی پارامتر های اجزای نیروگاه از جمله مبدل های DC به AC متصل به هر پنل خورشیدی آگاه و همچنین از خطاهایی که در اجزای مختلف رخ داده است مطلع شوند. این سیستم از دو بخش واسط های فرستنده ی بیسیم و نرم افزار مانیتورینگ تشکیل شده است. در بخش واسط های فرستنده از شبکه ی امن بیسیم Zigbee و میکروکنترلر های ARM استفاده شده است که بلافاصله بعد از دریافت داده های میتر های متصل به اجزا، این داده های در بستر شبکه ی Zigbee به اتاق کنترل ارسال می کند. همچنین در سمت گیرنده نرم افزار بر پایه ی زبان برنامه نویسی پایتون جهت پایش هوشمند و نمایش داده ها در صورت های مختلف (نمودار، جدول، فایل و...) پیاده سازی شده است. همچنین این نرم افزار مبتنی بر اتوماسیون با استفاده از الگوریتم های نوین در هوش مصنوعی و شبکه های عصبی در لحظه عملکرد اجزای نیروگاه را ارزیابی و خطاهای احتمالی را به کاربر گزارش میدهد.

## ۱-۱-۱ تاریخچه‌ای از موضوع تحقیق

اولین سیستم کنترل و جمع‌آوری داده (SCADA) در سال ۱۹۲۰ میلادی مورد استفاده قرار گرفت. این سیستم که در اتاق کنترل نیروگاه‌های قرار داشت قادر بود پست‌های برق ولتاژ بالایی که در کنار نیروگاه‌ها بودند را پایش و کنترل کند. با استفاده از این سیستم نیاز به نظارت میدانی ۲۴ ساعته ی مستدیان پست از بین رفت و کارکنان نیروگاه می‌توانسته ست حتی با فاصله ای نسبتاً زیاد، از صحت عملکرد پست برق اطمینان حاصل کنند. این سیستم‌ها از دو مورد کنترلی تشکیل شده اند، که یکی در پست برق و دیگری در نیروگاه قرار داشت. در سال ۱۹۳۰ تاسیسات برق شروع به یکپارچه شدن کردند تا بتوانند هزینه ی تولید برق را کاهش دهند. در نتیجه نیاز به کنترل و پایش ژنراتور‌ها بسیار بیش از پیش احساس می‌شد لذا کامپیوترهای آنالوگی جهت کنترل خروجی ژنراتور شامل جریان برق خط متصل و فرکانس آن، ابداع شدند. این کامپیوترها طی ۲۰ سال پیشرفت کردند و قادر بودند با تشخیص زمان‌های فعال کردن ژنراتور‌ها و برنامه ریزی آنها، در کاهش هزینه ی تولید برق موثر واقع شوند. به این مکانیسم‌ها پایش اقتصادی (Economic Dispatch)، کنترل اتوماتیک تولید (AGC) گفته می‌شود.

در اواخر دهه ۱۹۶۰، کامپیوترها و نرم‌افزارهای دیجیتالی برای جایگزینی سیستم‌های EMS آنالوگ تولید شدند و همچنین برنامه‌های نرم‌افزاری جهت تجزیه و تحلیل آفلاین با قابلیت تحلیل مدل‌های سیستم انتقال ساخته شده‌اند. تأمین کنندگان و سازندگان کامپیوتر، سیستم عامل رایانه را برای مطابقت با طراحی آنها تغییر داده و هر مجموعه نرم‌افزار کاربردی برای هر مشتری منحصر به فرد بود. این روند تا دهه ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ ادامه داشت تا اینکه سیستم عامل‌های استاندارد که از برنامه‌های کاربردی برخط پشتیبانی می‌کردند، توسعه یافتند.

## ۱-۱-۲ شرح مسئله تحقیق

در حال حاضر در تمام کشورها سیستم‌های پایش سراسری جهت کنترل تاسیسات برق از جمله پست‌ها، نیروگاه‌ها و خطوط انتقال استفاده می‌شود. همچنین با پیشرفت‌های ایجاد شده در زمینه نظارت الکترونیک و توسعه ی نیروگاه‌های خورشیدی، بدلیل اهمیت این امر در کاهش هزینه‌های تولید برق و جلوگیری از آسیب‌های احتمالی به نیروگاه‌ها، سامانه‌هایی برای پایش و کنترل بر خط نیروگاه‌های



خورشیدی نیز تنها در دیگر کشور ها طراحی و پیاده سازی شده است.

از آنجا که نیروگاه های خورشیدی از اجزای بسیار زیادی از جمله، اینورتر ها، سنجشگر های شبکه و... تشکیل شده است، نظارت و پایش آنها به روش های سنتی برای مثال بازدید میدانی از هر پنل خورشیدی، عملا امکان پذیر نیست و در صورت تاخیر در تشخیص مشکل و رفع آن امکان وقوع خسارات جبران ناپذیری را به اجزاء نیروگاه فراهم می کند لذا در نیروگاه های مورد اشاره ، نیاز به یک سیستم منسجم و هوشمند با قابلیت پایش و تشخیص خطا به صورت برخط، ضروری به نظر می رسد.

در پژوهش حاضر، با طراحی و پیاده سازی سیستم مبتنی بر ارسال بیسیم داده های اجزای یک نیروگاه خورشیدی و سپس سنجش این داده ها توسط الگوریتم های نوین هوش مصنوعی و نمایش اطلاعات در یک رابط کاربری گرافیکی، نسبت به پایش داده ها به صورت برخط اقدام شده است. لازم به توضیح است که در یک نیروگاه خورشیدی به جهت پراکندگی و گستردگی موقعیت اجزا و محدودیت در اتصال به شبکه اینترنت، به کار گیری یک سامانه ی جامع پایش برخط اطلاعات، مستلزم استفاده از ارتباط بی سیم امن و کم هزینه می باشد که در این راستا، تجهیزات متناسب با این امر بکارگیری شده است. از سوی دیگر به منظور افزایش بازدهی تولید برق در نیروگاه های خورشیدی و تاثیر عوامل محیطی و نقص فنی برخی تجهیزات در فرآیند تولید انرژی وجود یک سامانه ی پایش و تشخیص خطای هوشمند ضرورت دارد. در این سامانه از سه الگوریتم مختلف به صورت موازی (روش Boosting) در جهت تشخیص دقیق، سریع و موثر خطا و مشکلات احتمالی اجزای یک نیروگاه خورشیدی استفاده شده است

### ۱-۳-۱ تعریف موضوع تحقیق

پژوهش حاضر به طراحی و پیاده سازی عملی سامانه هایی تبادل داده و پایش هوشمند داده اجزای یک نیروگاه خورشیدی می پردازد که از طریق یک رابط کاربری گرافیکی، اطلاعات مورد نیاز را در اختیار متصدیان مربوط قرار می دهد.

## ۱-۱-۴ اهداف و آرمان‌های کلی تحقیق

هدف از این پژوهش طراحی سیستمی جامع شامل بخش‌های ارسال کننده داده از سنجشگرهای نیروگاه‌های خورشیدی و پایش برخط و تشخیص هوشمند خطاهای احتمالی در جهت ارتقای بازدهی و کاهش نظارت‌های میدانی و بالتبع افزایش نظارت موثر، بر پایه الگوریتم‌های نوین هوش مصنوعی می‌باشد

## ۱-۱-۵ روش انجام تحقیق

در این پژوهش ابتدا با بررسی انواع ماژول‌های بی سیم و پروتکل‌های مرتبط با آنها در جهت ایجاد شبکه‌ای امن، کم هزینه، پایدار و کارآمد اقدام گردید و سپس با مطالعه‌ی الگوریتم‌های نوین هوش مصنوعی و شبکه‌های عصبی مجموعه‌ای از الگوریتم‌ها برای شناسایی خطاهای ممکن نیروگاه به صورت موازی و به شیوه‌ی Boosting و همچنین به منظور سهولت در پایش موثر اطلاعات از ابزار قدرتمند طراحی رابط کاربری گرافیکی QT استفاده شد.

## ۱-۱-۶ ساختار پایان نامه

پژوهش حاضر متشکل از چهار فصل، که فصل اول (مقدمه و بیان مسئله)، فصل دوم (سامانه تبادل داده اجزای نیروگاه خورشیدی)، فصل سوم (سامانه پایش هوشمند نیروگاه خورشیدی) و فصل چهارم (نتیجه‌گیری و پیشنهادات) می‌باشد.

فصل ۲:

سامانه ی تبادل داده اجزای نیروگاه

خورشیدی

---

## ۱-۲ مفاهیم سامانه ی تبادل داده

سامانه تبادل داده اطلاعات اجزای نیروگاه را از سنجشگر استخراج با استفاده از پروتکل های ارتباطی مشخص و توسط ماژول های تبادل داده پس از پردازش توسط میکروکنترلر جهت سنجش و پایش به اتاق کنترل ارسال می کند. در این بخش به بررسی مفاهیم سنجشگر داده، ماژول های تبادل داده و پروتکل های ارتباطی و سپس میکروکنترلر می پردازیم.

### ۱-۱-۲ سنجشگر داده

سنجشگر به عنوان منبع اصلی داده ها از اجزای اصلی نیروگاه خورشیدی محسوب می شود که وظیفه ی سنجش داده های ولتاژ، جریان و توان پنل های خورشیدی را بر عهده دارد. ذیل به بررسی تعریف، اقسام و داده های مورد سنجش می پردازیم.

#### ۱-۱-۲-۱ تعریف

سنجشگر الکتریکی یا سنجشگر انرژی، وسیله ای است که میزان توان الکتریکی، ولتاژ، جریان مصرف یا تولید شده را توسط یک ساختمان و تجهیزات با انرژی الکتریکی از جمله اینورترها، پنل های خورشیدی، ترانسفورماتور ها را اندازه گیری می کند. سنجشگر الکتریکی دارای اقسامی می باشد که به شرح ذیل به توضیح آن ها می پردازیم.

### ۱-۱-۲-۲ اقسام سنجشگر داده

سنجشگر های الکتریکی به طور کلی به گروه سه فاز و تک فاز دسته بندی می شوند. همچنین از لحاظ تکنولوژی ساخت و عملکرد به ۴ دسته به شرح ذیل تقسیم می شوند:

#### ♦ سنجشگر های القایی الکترومکانیکی:

از مشهور و قدیمی ترین نوع سنجشگر می باشند. این نوع شامل یک دیسک آلومینیومی چرخان است که روی دوک بین دو آهن ربا نصب شده است. سرعت چرخش دیسک متناسب با توان مصرف یا تولید شده است و این توان با استفاده از مکانیزم شمارنده و چرخنده دنده ای سنجیده می شود.

#### ♦ سنجشگر های الکترونیکی آنالوگ:

در سنجشگرهای آنالوگ ، مقادیر ولتاژ و جریان هر فاز به ترتیب توسط ترانسفورماتور تقسیم ولتاژ و جریان بدست می آیند. سپس مبدل آنالوگ به دیجیتال این مقادیر آنالوگ را به نمونه های دیجیتالی تبدیل می کند و سپس توسط مبدل فرکانس به سیگنال های فرکانس مربوطه تبدیل می شوند. این پالس های فرکانسی سپس شمارنده ای را کنترل می کنند و میزان مصرف برق بدست می آید.

#### ♦ سنجشگر های الکترونیکی دیجیتال:

در این نوع از سنجشگر ها پردازنده سیگنال دیجیتال یا ریزپردازنده هایی با کارایی بالا استفاده می شود. مبدل ولتاژ و جریان مشابه با سنجشگرهای آنالوگ به یک ADC با وضوح بالا متصل می شوند و سیگنال های آنالوگ را به نمونه های دیجیتالی تبدیل می کند، سپس این نمونه برای محاسبه

#### ♦ سنجشگر های هوشمند:

این نوع از سنجشگر ها از یک فناوری پیشرفته اندازه گیری استفاده می کنند و قابلیت تحلیل داده ها و باز خورد را به کاربر دارند. همچنین کاربران می توانند از راه دور این ادوات را کنترل و قرائت کنند.

### ۲-۱-۱-۳ داده های اندازه گیری شده

داده های خروجی از سنجشگر ها با توجه به اقسام مختلف این ادوات متفاوت می باشند. بر این اساس سنجشگر های القایی الکترومکانیکی تنها قادر اندازه گیری انرژی تولید یا مصرف شده می باشند. در مقابل سنجشگر های الکترونیکی و هوشمند تک یا سه فاز قادر به اندازه گیری ولتاژ، جریان، توان حقیقی و توان موهومی مربوط به هر فاز و همچنین تاریخ و زمان می باشند.

پس از دریافت داده های از سنجشگر، این داده ها از طریق مازول های تبادل داده به اتاق کنترل ارسال می شوند.

## ۲-۱-۲ مازول های تبادل داده

به منظور ارسال داده های اندازه گیری شده توسط سنجشگر به اتاق کنترل از مازول های تبادل داده استفاده گردیده که به شرح زیر به تعریف و اقسام آن می پردازیم.

### ۲-۱-۲-۱ تعریف

این مازول ها ارتباطی بی سیم بین دو یا چند نقطه را بدون استفاده از هادی الکتریکی، به منظور انتقال داده فراهم می سازند. رایج ترین فناوری مازول های تبادل داده ی بی سیم، استفاده از امواج رادیویی می باشد.

### ۲-۱-۲-۲ اقسام مازول های تبادل داده

مازول های بیسیم تبادل داده با توجه به عملکرد، فرکانس کاری، میزان بعد پوشش دهی به شرح ذیل تقسیم بندی می شوند:

#### ♦ مازول های بلوتوث:

بلوتوث یک مازول ارتباطی بی سیم است که ما اغلب در طول روز از طریق تلفن های همراه از آن استفاده می کنیم. این مازول های برای تبادل داده در فواصل کوتاه استفاده می شوند و بدین منظور از امواج UHF در باند فرکانسی ۲.۴ تا ۲.۴۸۵ گیگاهرتز به کارگیری می شود.

#### ♦ مازول های Wi-Fi:

امروزه این فناوری که توسط استاندارد IEEE802.11 معرفی شد، جز پر استفاده ترین واسط برای ارتباطات بی سیم می باشد. این تکنولوژی کلیه ی سیگنال های یک شبکه ی کابلی را به سیگنال های رادیویی با فرکانس ۲.۴ گیگاهرتز تبدیل می کند و کاربران و دستگاه های مختلف می توانند از طریق مازول های وای فای به یک شبکه ی بی سیم متصل شوند.

#### ♦ مازول های ZigBee:

فناوری ارتباط بی سیم ZigBee یک شبکه ی محلی بسیار کم مصرف و مبتنی بر استاندارد IEEE802.15.4 می باشد. توسعه و فناوری ZigBee بدلیل استفاده از شبکه ای امن و در عین حال

ساده، با ضریب اطمینان بالا، تاخیر اندک و شعاع پوشش دهی مناسب، بسیار در اتوماسیون صنعتی مورد قبول واقع شده است.

#### ♦ ماژول های ارتباط رادیویی دیجیتال معمول:

ماژول های رادیویی دیجیتال با استفاده از فناوری پردازش سیگنال های دیجیتال، مدولاسیون های دیجیتال (ASK, FSK) و نرم افزار های مرتبط با نقاط اتصال بی سیم، به عنوان یکی از رابط بی سیم که برای فواصل طولانی استفاده می شود، در نظر گرفته می شود. سرعت انتقال این ماژول ها پایین و در حدود ۱۹ کیلوبیت بر ثانیه می باشد.

### ۳-۱-۲ پروتکل های ارتباطی

به منظور تبادل اطلاعات بین اجزای سامانه شامل سنجشگر، میکروکنترلر و اتاق کنترل، با توجه به استاندارد های ارتباطی هر یک از اجزای فوق از پروتکل های سازگار با اجزا استفاده شده است که به شرح آتی به بررسی انواع پروتکل های ارتباطی می پردازیم.

#### ۱-۳-۱-۲ پروتکل های ارتباطی سنجشگر

سنجشگر های الکترونیکی دیجیتال جهت برقراری ارتباط با دستگاه های خارجی از پروتکل های استاندارد استفاده می کنند، که متداول ترین آنها به شرح زیر می باشند:

#### ♦ DLMS/COSEM (استاندارد IEC 62056):

مجموعه ای از استاندارد های بین المللی است جهت تبادل داده با سنجشگر های الکتریکی خانگی و صنعتی می باشد. در این استاندارد، داده ها از جمله ولتاژ، جریان، توان حقیقی، توان موهومی، زمان و تاریخ، ضریب توان و... هر کدام درون حافظه همراه برچسب مشخصی ذخیره می شود و جهت تبادل، داده ها همگی به همراه برچسب هایشان به گیرنده توسط واسطه هایی مانند RS232, RS485 ارسال می شوند.

#### ♦ Modbus:

Modbus یک پروتکل ارتباطی برای انتقال اطلاعات بین دستگاه های الکترونیکی از جمله سنجشگر های انرژی از طریق خطوط سریال یا از طریق واسطه اترنت است و معمولاً در اتوماسیون

صنعتی و کارخانه مورد استفاده قرار می گیرد. نسخه ی اصلی این پروتکل به صورت Master/Slave عمل می کند بدین صورت که یک دستگاه خارجی می تواند برای خواندن دیتای چندین سنجشگر مبتنی بر Modbus مورد استفاده قرار گیرد.

## ۲-۱-۳-۲ پروتکل های ارتباطی مازول های ارسال داده

### ♦ استاندارد Zigbee (IEEE 802.15.4):

Zigbee یک فناوری بی سیم است که به عنوان یک استاندارد جهانی متن باز برای رفع نیاز شبکه های اینترنت اشیا بی سیم به کم هزینه و کم مصرف بودن، تنظیم شده است. استاندارد Zigbee یا IEEE 802.15.4 مبتنی بر شبکه ی مش با شعاع ۱۰۰ متر در باندهای آزاد از جمله ۲.۴ گیگاهرتز، ۹۰۰ و ۸۶۸ مگا هرتز کار می کند.

### ♦ استاندارد Wi-Fi (IEEE 802.11):

وای فای که بر اساس مجموعه استاندارد های IEEE 802.11 مطرح شد، امروزه یکی محبوب ترین و سریعترین ابزار ها برای ایجاد شبکه های محلی با شعاع حداکثر ۹۰ متر مورد استفاده قرار می گیرد. Wi-Fi معمولاً از باندهای رادیویی 2.4 گیگا هرتز UHF و ۵ گیگا هرتز SHF استفاده می کند.

## ۲-۱-۴ میکروکنترلر

با توجه به پروتکل های ارتباطی سنجشگر و مازول تبادل داده، میکروکنترلر یکی از بخش های کلیدی در برقراری ارتباط بین سنجشگر و مازول ارسال داده می باشد که در ادامه ابتدا به تعریف و سپس به بررسی اقسام آن می پردازیم.

### ۲-۱-۴-۱ تعریف

میکروکنترلر یا ریز کنترلر یک تراشه IC است که برای کنترل دستگاههای دیگر برنامه ریزی شده است. از این تراشه در درون وسایل و دستگاه های الکترونیکی مختلف مانند سنجشگر های دیجیتال، تلفن همراه، خودرو و ... استفاده می شود. میکروکنترلر دارای واحد های RAM، ROM، ALU و پورت های ورودی یا خروجی می باشند.



## ۲-۱-۴-۲ اقسام میکروکنترلر

میکروکنترلرها انواع گوناگونی دارند که پرکاربردترین آن ها به شرح زیر می باشند:

### ♦ میکروکنترلر های ARM:

پردازنده هایی که در میکروکنترلرهای ARM استفاده می شوند ، پردازنده های ۳۲ و ۶۴ بیتی با معماری کم دستور Risk می باشد، این پردازنده ها برای کاربردهای قابل حمل (Portable) بهینه سازی شده اند به صورتی که مصرف توان آن ها بسیار کم است به عنوان نمونه می توان گوشی های موبایل را نام برد که در آنها از این هسته پردازشی استفاده می شود. معروفترین هسته این نوع میکروکنترلر ها پردازنده ARM7 می باشد که یکی از رایج ترین هسته های پردازشی با قابلیت Pipeline موجود می باشد.

### ♦ میکروکنترلر های AVR:

این ریزکنترل گرهای هشت بیتی توسط شرکت Atmel ساخته شده به خاطر دارا بودن قابلیت برنامه نویسی توسط کامپایلر زبان های برنامه نویسی سطح بالا، مورد توجه قرار گرفته اند. این ریزکنترل گرها از معماری RISC و ۳۲ رجیستر همه منظوره برخوردارند. همچنین در آن ها از حافظه های کم مصرف و دائمی Flash و EEPROM استفاده می شود.

## ۲-۲ فرآیند دریافت داده از سنجشگر

در فرآیند دریافت داده از سنجشگر، داده های شامل زمان، ولتاژ، جریان، توان حقیقی و توان موهومی به صورت برخط بر اساس پروتکل های مشخص توسط مبدل به میکروکنترلر ارسال می گردد که ذیلاً به شرح هر یک از اجزای فوق می پردازیم.

### ۲-۲-۱ سنجشگر مورد استفاده

در این پژوهش جهت پیاده سازی سامانه ی تبادل داده از سنجشگر تک فاز JAM 200 و سه فاز JAM 300 شرکت الکترونیک افزارآزما استفاده شده است که هر دو مانند تمامی سنجشگر های الکتریکی کشور بر پایه استاندارد IEC 62056 می باشند و از دو پورت نوری و پورت RJ11 الکتریکی با پروتکل RS485 جهت انتقال اطلاعات پشتیبانی می کنند. از جمله امکانات و قابلیت های این سنجشگر می توان به استفاده از آخرین تکنولوژی برای اندازه گیری و استفاده از سیستمهای DSP با قدرت نمونه برداری بسیار دقیق و بالا، نمودار مصرف بار و صورت حساب به صورت مجزا، استفاده از ساعت دقیق، اندازه گیری تمامی پارامترهای الکتریکی مانند توان اکتیو/ راکتیو در هر ۴ ناحیه/ ولتاژ/ جریان/ ضریب توان برای هر فاز، توان اکتیو/ راکتیو ورودی و خروجی، زاویه فاز بین ولتاژ و جریان برای هر فاز، پارامترهای کیفیت توان، ثبت رویدادهای پایین بودن سطح ولتاژ، بالا بودن سطح ولتاژ، اشاره کرد.



شکل (۱) - سنجشگر دیجیتال شرکت الکترونیک افزارآزما مدل JAM300

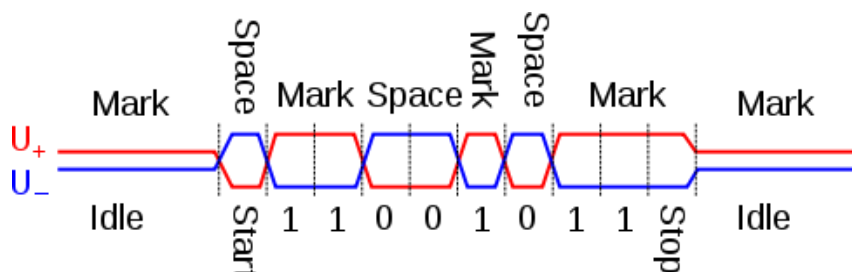
## ۲-۲-۲ پروتکل دریافت داده

همانطور که ذکر شد این سنجشگر ها از استاندارد IEC 62056 در کنار پروتکل ارتباطی RS485 برای انتقال داده ها به برد گیرنده استفاده می کنند. پروتکل ارتباطی RS485 که با استاندارد EIA/TIA تعریف شده است، برای ارتباط سریال بین دو یا چندین دستگاه از طریق یک زوج سیم با سرعتی حداکثر ۳۰ مگابیت بر ثانیه استفاده می شود. در پروتکل RS485 از آنجا که فرستنده و گیرنده از نوع تفاضلی هستند، از تفاضل ولتاژ روی دو خط انتقال برای تبادل استفاده می شود، به همین دلیل میتوان از آن برای مسافت های طولانی نیز استفاده کرد چرا که اثر نویز در فرستنده و گیرنده خنثی می شود.

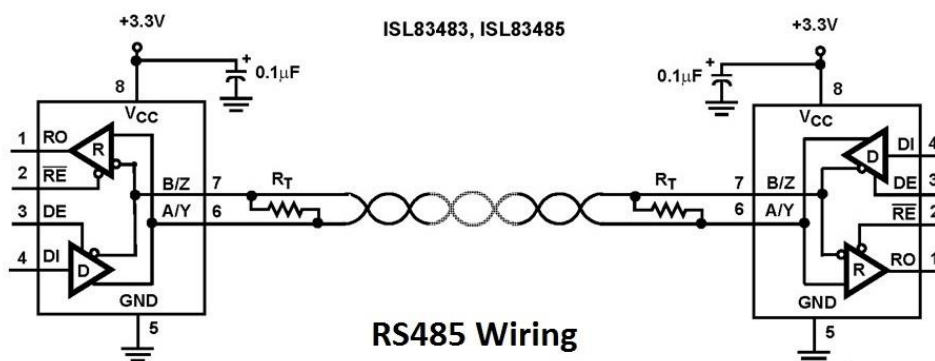
زوج سیم RS485 با نام های A و B به صورت سریال و با سطوح منطقی زیر دیتا ارسال می کند.

جدول (۱) - سطوح منطقی در سیگنالینگ A و B در پروتکل RS485

سیگنال	سطح منطقی ۱ (Mark)	سطح منطقی ۰ (Space)
A	سطح منطقی ۰	سطح منطقی ۱
B	سطح منطقی ۱	سطح منطقی ۰



شکل (۲) - سیگنال های A و B در ارتباط RS485



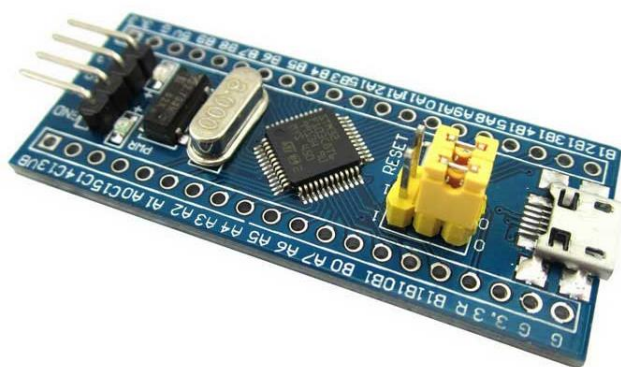
شکل (۳) - نحوه ی سیم بندی و اتصالات پروتکل RS485

از آنجا که میکروکنترلر ها از پروتکل RS485 پشتیبانی نمی کنند، لذا در این پروژه جهت خواندن داده ها از سنجشگر از مبدل پروتکل RS485 و UART استفاده شد.

### ۳-۲-۲ میکروکنترلر مورد استفاده

در برد سامانه تبادل داده اجزای نیروگاه خورشیدی از میکروکنترلر ARM سری STM32 بر پایه پردازنده Cortex M3 بدلیل دقت و سرعت بسیار زیادی که دارد برای خواندن و ارسال داده از سنجشگر به ماژول ZigBee آن استفاده شد.

مشخصات هدر برد STM32 F103C8T6 به شرح زیر می باشند:

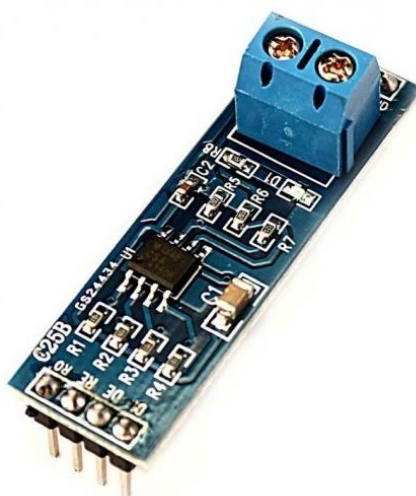


شکل ۴ - هدر برد STM32 F104C8T6

حافظه Flash با ظرفیت ۶۴ کیلوبایت و حافظه Sram با ظرفیت ۲۰ کیلوبایت  
حداکثر فرکانس کاری ۷۲ مگاهرتز  
کریستال نوسان ساز ۴ تا ۱۶ مگاهرتز  
نوسان ساز ۸ مگاهرتز داخلی  
۴ تایمر داخلی  
۳۷ عدد IO (ورودی و خروجی)  
۱۰ کانال ADC ۱۲ بیتی  
پشتیبانی از رابط های USB, CAN, SPI, I2C, USART

### ۴-۲-۲ مبدل پروتکل RS485 و UART

این مبدل دو طرفه ی UART به RS485 با تراشه MAX485 قادر است یک میکروکنترلر را به یک تجهیز الکتریکی RS485 متصل کند تا فرآیند تبادل داده بین این دو صورت گیرد.



شکل (۵) - مبدل TTL به RS485 با تراشه MAX485

این مبدل به صورت half-duplex عمل می کند، بدین معنی که در هر مقطع از زمان تنها یک دستگاه می تواند روی خط داده ارسال یا دریافت کند. همانطور که در شکل فوق مشاهده می کنید این مبدل از پایه ها زیر تشکیل شده است. که برای تنظیم کردن در مود ارسال داده، پایه های RE و DE را به سطح منطقی ۱ (۵ ولت) و برای تغییر مود به دریافت آن دو را به سطح منطقی ۰ (۰ ولت) می رسانیم.

جدول (۲) - مشخصات مبدل TTL به RS485 با تراشه MAX485

نام پایه	عملکرد
Vcc	تغذیه ی ۵+ ولت
A	پایه ی RS485
B	پایه ی RS485
GND	ولتاژ مرجع صفر ولت
RO	پایه ی RX در UART
RE	فعال کننده مود دریافت (Active Low)
DE	فعال کننده مود ارسال (Active High)
DI	پایه ی TX در UART

## ۲-۳ فرآیند ارسال داده

پس از پردازش داده ها توسط میکروکنترلر، جهت ارسال داده به اتاق کنترل، شبکه ی بیسیم منجمدی متشکل از سخت افزار های تبادل داده با پروتکل مشخص طراحی گردیده است که به شرح زیر به بررسی هر یک از بخش های اشاره شده می پردازیم.

### ۲-۳-۱ سخت افزار ارسال کننده داده

Zigbee یک تکنولوژی بر مبنای استاندارد IEEE 802.15.4 است که برای دسته ای از پروتکل های ارتباطی سطح بالا طراحی شده و به کمک رادیو های دیجیتال کوچک و کم مصرف از آن برای ساخت شبکه های شخصی و محلی بی سیم برای مصارفی چون اتوماسیون صنعتی و خانگی، جمع آوری داده های دستگاه های مختلف و سایر نیاز های با پهنای باند استفاده می شود.

اگرچه شعاع دید این ماژول ها حداکثر به ۱۰۰۰ متر می رسد اما از آنجا ماژول های ZigBee از شبکه ای بیسیم با توپولوژی Mesh استفاده می کنند لذا می توانند با گذراندن داده ها از دستگاه های واسطه آن ها را در فواصل طولانی نیز منتقل کنند. شبکه های ZigBee با کلید های رمزنگاری متقارن ۱۲۸ بیتی ایمن شده اند و نرخ انتقال داده تعریف شده ای برابر ۲۵۰ کیلوبیت در ثانیه دارند که برای انتقال داده ها به صورت متناوب از یک سنسور یا دستگاه ورودی بسیار مناسب هستند.

در این پژوهش از ماژول مخابراتی Zigbee S2C تحت استاندارد IEEE 802.15.4 و باند فرکانسی آزاد ۲.۴ گیگاهرتز استفاده شده است. همچنین این ماژول از پروتکل های UART و SPI برای دریافت داده از میکروکنترلر جهت ارسال آن در شبکه ی بیسیم پشتیبانی می کند، که به منظور سادگی و سرعت بالای انتقال، از پروتکل UART استفاده شد.



شکل (۶) - ماژول ZigBee S2C

جدول (۳) - مشخصات ماژول ZigBee S2C

سرعت انتقال داده	بی سیم: 250kbps	1Mbps :UART
مسافت کاری	فضای بسته: ۱۰۰ متر	فضای باز: ۱۰۰۰ متر
توان ارسالی	۳.۱ میلی وات	
مود های عملیاتی	API و AT	
فرکانس کاری	۲.۴ گیگاهرتز	
مدولاسیون	direct sequence spread spectrum (DSSS)	

## ۲-۳-۲ شبکه ارسال داده

ZigBee شامل مجموعه ای از مشخصات مبتنی بر IEEE 802.15.4 برای شبکه های کم مصرف و بی سیم محلی و شخصی (WPAN) می باشد، که قابلیت پشتیبانی از چندین توپولوژی برای ارتباط نقطه به نقطه و چند نقطه به یک نقطه را دارد. ماژول های ZigBee می توانند به یک یا چندین ماژول دیگر متصل شوند و داده ارسال یا دریافت کنند. همچنین قادر هستند، پیام را از یک دستگاه به دستگاه دیگر بازارسال کنند. نتیجتاً در مواقعی که نیاز به شعاع پوشش دهی بیشتری است، می توان زنجیره ای از ماژول ها را به

یک گیرنده مرکزی متصل کرد تا ماژول هایی که فواصل دورتر قرار دارند بتوانند با جابجایی داده بین سایر ماژول ها، به گیرنده ی مرکزی متصل شوند.

ماژول ها تشکیل دهنده یک شبکه استاندارد ZigBee به ۳ دسته تقسیم می شوند:

◆ هماهنگ کننده (Coordinator):

هماهنگ کننده، در یک شبکه مسئول آغاز شبکه و انتخاب کانال های ارتباطی، مشخص کردن شناسه ی شبکه (PAN ID) و تنظیمات امنیتی می باشد که حضور آن در هر شبکه ی ZigBee نیاز است.

◆ مسیر یاب (Router):

یک مسیر یاب منابع مورد نیاز برای اجرای الگوریتم های مسیر یابی و ارسال و دریافت پیام ها از، یا به دستگاهی را دارد. همچنین قادر به ساخت و نگهداری اتصالات به گره های فرزند یا ریشه می باشد. این دستگاه ها نیز باید با کارکرد کامل باشند

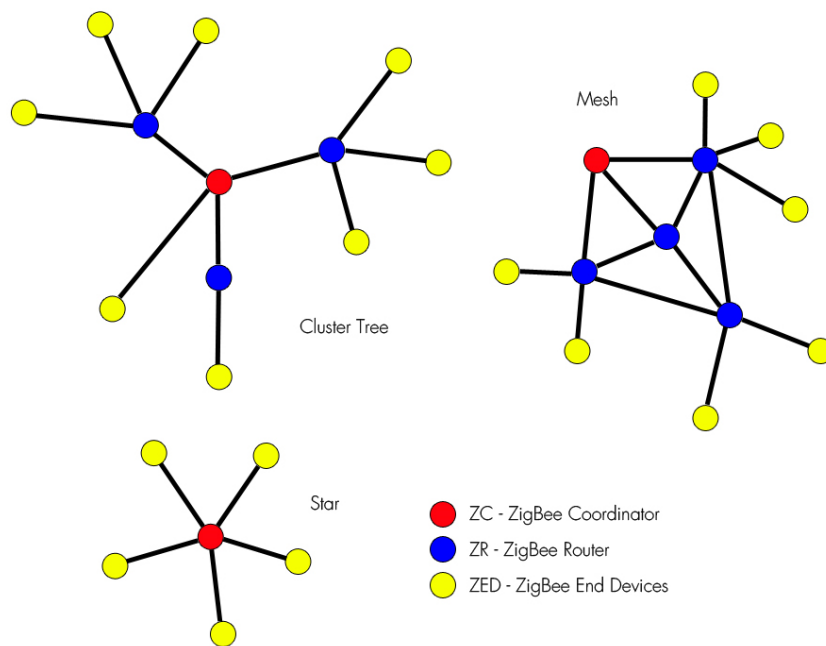
◆ دستگاه انتهایی (End Device):

دستگاه های انتهایی تنها یک برنامه و عملکرد را انجام می دهد. آن ها فقط می توانند با گره اصلی خود (هماهنگ کننده یا روتر) تبادل داده انجام دهند و نمی تواند با سایر ماژول های شبکه (غیر از گره اصلی خود) به صورت مستقیم ارتباط یک به یک برقرار کنند. این ویژگی باعث وجود امکان sleep و کاهش مصرف باتری می شود.

با استفاده از ماژول های ZigBee، شبکه های متنوعی با توپولوژی های مختلف می توان ایجاد کرد، که در این پژوهش از توپولوژی Mesh یا نظیر به نظیر که متداول ترین شبکه است استفاده گردید.



### ZigBee Topologies

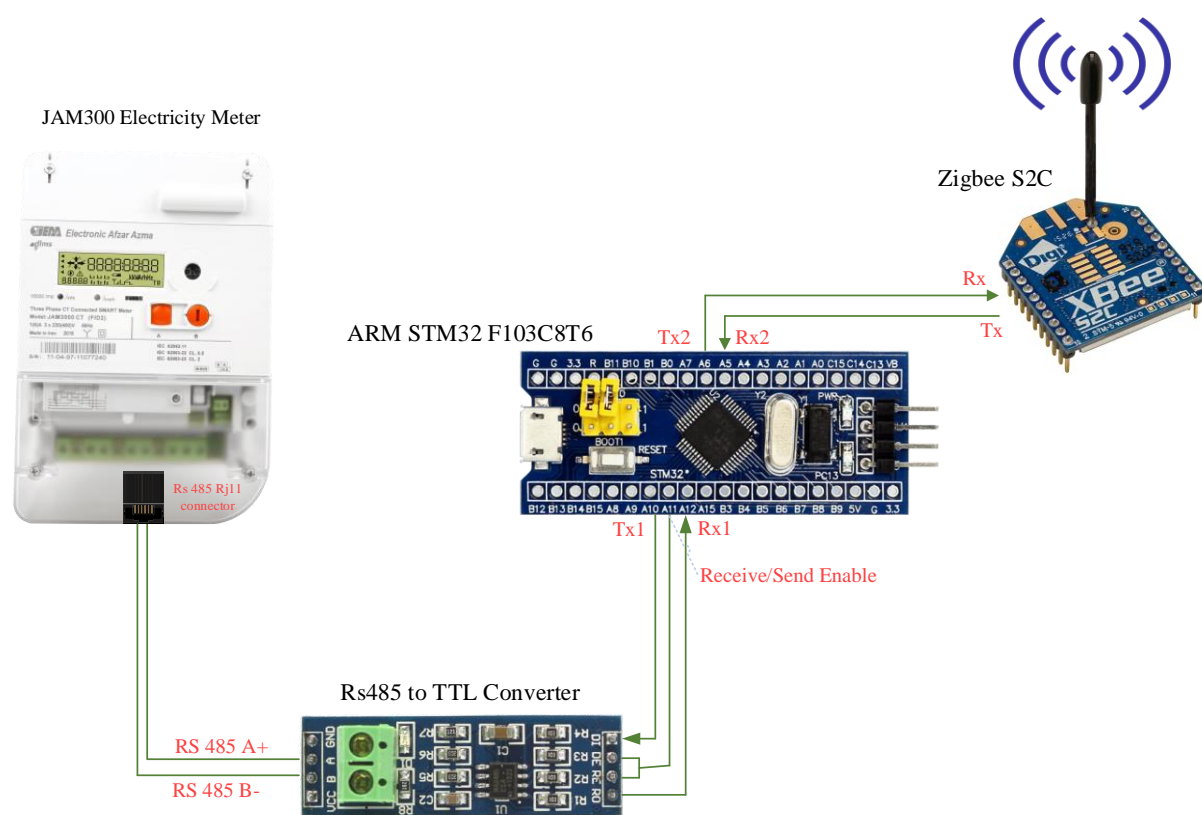


شکل (۷) - انواع آرایش شبکه ی بی سیم مبتنی بر ZigBee

## ۴-۲ پیاده سازی سامانه تبادل داده اجزای نیروگاه خورشیدی

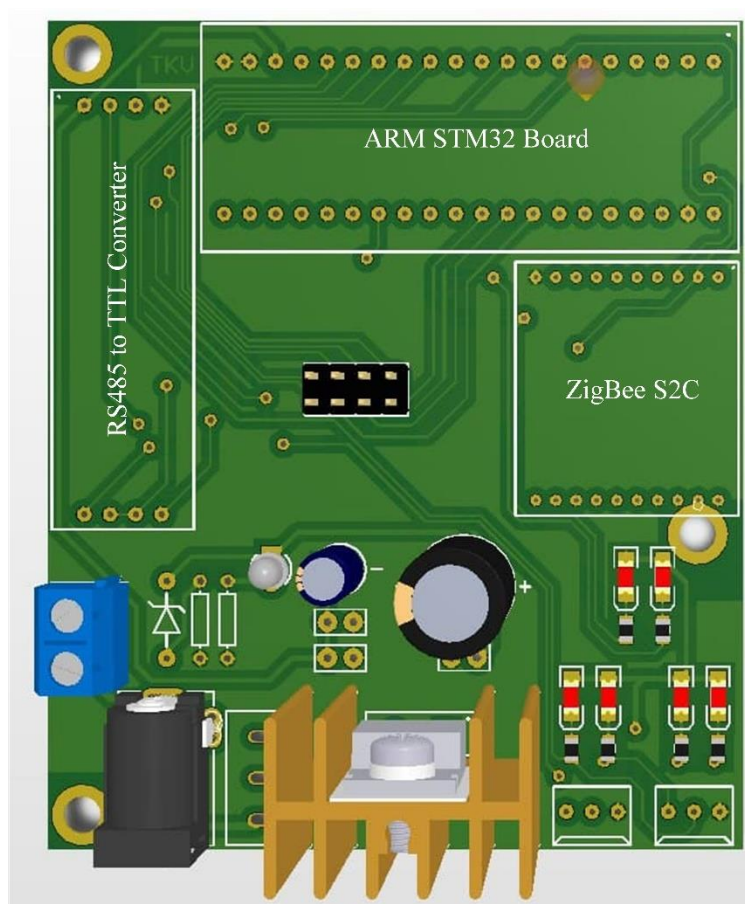
پس از بررسی الزامات و اجزاء سامانه ی تبادل داده جهت دستیابی به اطلاعات مورد سنجش سامانه ی مذکور با توجه به اصول فنی به شرح زیر پیاده سازی شده است.

### ۴-۲-۱ شمای فنی مدار سامانه تبادل داده



شکل (۸) - شمای فنی مدار سامانه تبادل داده

همانطور که در شمای فوق مشاهده می شود، ابتدا میکروکنترلر با برقراری ارتباط با سنجشگر بر پایه ی استاندارد IEC 62056 از طریق مبدل (UART) TTL به RS485، دستور ارسال داده ها را به سنجشگر ارسال می کند، سپس سنجشگر مجموعه ی داده ها را از طریق مبدل به میکروکنترلر ارسال می کند. میکروکنترلر پس از پردازش داده ها آن ها از طریق پروتکل ارتباطی UART به ماژول Zigbee جهت ارسال به شبکه ی بی سیم و ماژول گیرنده (هماهنگ کننده یا coordinator)، منتقل می کند.



شکل (۹) - شماتیک مورد مدار چاپی (PCB) طراحی شده ی سامانه تبادل داده

## فصل ۳:

### سامانه پایش هوشمند نیروگاه خورشیدی

---

### ۱-۳ مفاهیم سامانه پایش هوشمند نیروگاه خورشیدی

سامانه ی پایش هوشمند نیروگاه خورشیدی که مهمترین قسمت نظارتی و کنترل نیروگاه می باشد، با استفاده از یک رابط کاربری گرافیکی و بهره جستن از الگوریتم های هوش مصنوعی شامل شبکه های عصبی، جنگل ایزوله و مدل گوسی، پس از احراز هویت کاربران مجاز و ورود به سامانه، خطاهای احتمالی را تشخیص و به کاربر اعلام می کند که ذیلاً به هر یک از مفاهیم مذکور اشاره شده است.

#### ۱-۱-۳ رابط کاربری گرافیکی (GUI)

##### ۱-۱-۳-۱ تعریف

به منظور برقراری تعامل میان کاربر با ماشین (کامپیوتر)، از نوعی رابط گرافیکی به نام رابط کاربری گرافیکی یا Graphical User Interface استفاده می شود. این رابط کاربری، شامل نمایه های گرافیکی مثل دکمه ها، آیکن ها و تعاملات قابل انجام با کمک این آیکن ها است. در واقع به جای نوشتن متن یا کدهای فرمان، از رابط کاربری گرافیکی استفاده می شود. یکی از نمونه های بسیار متداول استفاده از GUI، در سیستم عامل های میکروسافت مانند نسخه های مختلف ویندوز است.

#### ۲-۱-۱-۳ انواع روش های پیاده سازی رابط کاربری گرافیکی

پیاده سازی رابط کاربری گرافیکی در کامپیوتر روش ها و ابزار های بسیار زیادی دارد، به طوری که تقریباً از تمام زبان های برنامه نویسی سطح بالا مانند، C، C++، Python، C#، Java و...، جهت ساخت رابط کاربری گرافیکی استفاده می شود. امروزه بدلیل امکانات بی نظیری که زبان برنامه نویسی پایتون در اختیار کاربران قرار می دهد، استفاده از این زبان برای پیاده سازی رابط های گرافیکی بسیار مرسوم است.

دو ابزار قدرتمند برای پیاده سازی رابط کاربری گرافیکی در محیط پایتون به شرح زیر می باشند:

♦ ابزار QT و کتابخانه ی PyQt5:

یکی از محبوب ترین ابزار ها برای ایجاد رابط های کاربری گرافیکی و همچنین برنامه های کراس پلتفرم است که در سیستم عامل های مختلف نرم افزاری و سخت افزاری مانند Linux،

Windows, MacOS, Android یا سیستم های نهفته و مبتنی بر هسته اجرا می شوند. ابزار Qt با نرم افزار Qt Designer که جهت طراحی ظاهری GUI استفاده می شود، همراه است. با به کارگیری توأم کتابخانه ی PyQt در زبان برنامه نویسی پایتون و نرم افزار Qt Designer می توان یک رابط گرافیکی با هر عملکردی پیاده سازی کرد.

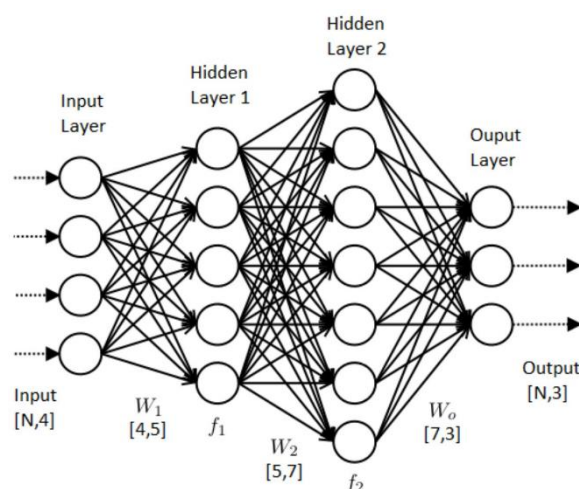
#### ♦ کتابخانه ی Tkinter:

Tkinter یک کتابخانه متن باز و استاندارد طراحی GUI برای پایتون می باشد. Tkinter یک رابط شی گرا قدرتمند را به مجموعه ابزارهای پایتون اضافه می کن لذا. ترکیب پایتون و Tkinter راهی آسان و سریع برای ایجاد برنامه های GUI می باشد. برخلاف QT، این کتابخانه برای طراحی ظاهری رابط گرافیکی نرم افزاری ارائه نمی دهد که این امر باعث محدودیت آن در کاربرد ها و رابط های گرافیکی پیچیده شده است.

### ۳-۱-۲ شبکه های عصبی

#### ۳-۱-۲-۱ تعریف

شبکه عصبی مجموعه ای از الگوریتم ها است که تلاش می کند روابط اساسی را در مجموعه داده ها از طریق فرایندی که از عملکرد مغز انسان تقلید می کند، تشخیص دهد. از این لحاظ، شبکه های عصبی به سیستم های نورون های مغز با ماهیت آلی یا مصنوعی شبیه هستند. شبکه های عصبی می توانند با تغییر ورودی سازگار شوند و شبکه بدون نیاز به طراحی مجدد معیارهای خروجی، بهترین نتیجه ممکن را تولید می کند.



شکل (۱۰) - فرم کلی شبکه ی عصبی

### ۳-۲-۱-۲ انواع شبکه های عصبی

شبکه های عصبی انواع مختلفی دارند از جمله، پرسپترون چندلایه، شبکه های عصبی شعاعی، ماشین های بردار پشتیبان، نگاشت های خودسازمان ده، یادگیرنده رقمی ساز بردار و...، که به اختصار دو مدل از آن ها تشریح می شوند.

#### ♦ پرسپترون چندلایه یا MLP:

یکی از پایه ای ترین مدل های عصبی موجود، مدل پرسپترون چند لایه یا Multi-Layer Perceptron (به اختصار MLP) است که عملکرد انتقالی مغز انسان را شبیه سازی می کند. در این نوع شبکه عصبی، بیشتر رفتار شبکه ای مغز انسان و انتشار سیگنال در آن مد نظر بوده. هر یک از سلول های عصبی مغز انسان، موسوم به نورون، پس از دریافت ورودی (از یک سلول عصبی یا غیر عصبی دیگر)، پردازشی روی آن انجام می دهند و نتیجه را به یک سلول دیگر (عصبی یا غیر عصبی) انتقال می دهند. این رفتار تا حصول نتیجه ای مشخص ادامه دارد، که احتمالاً در نهایت منجر به یک تصمیم، پردازش، تفکر و یا حرکت خواهد شد.

#### ♦ ماشین های بردار پشتیبان یا SVM:

در شبکه های عصبی MLP، غالباً توجه بر بهبود ساختار شبکه عصبی است، به نحوی که خطای تخمین و میزان اشتباه های شبکه عصبی کمینه شود. اما در نوع خاصی از شبکه عصبی، موسوم به ماشین بردار پشتیبان یا Support Vector Machine (به اختصار SVM)، صرفاً بر روی کاهش ریسک عملیاتی مربوط به عدم عملکرد صحیح، تمرکز می شود. ساختار یک شبکه SVM، اشتراکات زیادی با شبکه عصبی MLP دارد و تفاوت اصلی آن عملاً در شیوه یادگیری است.

### ۳-۱-۳ الگوریتم جنگل ایزوله در یادگیری ماشین

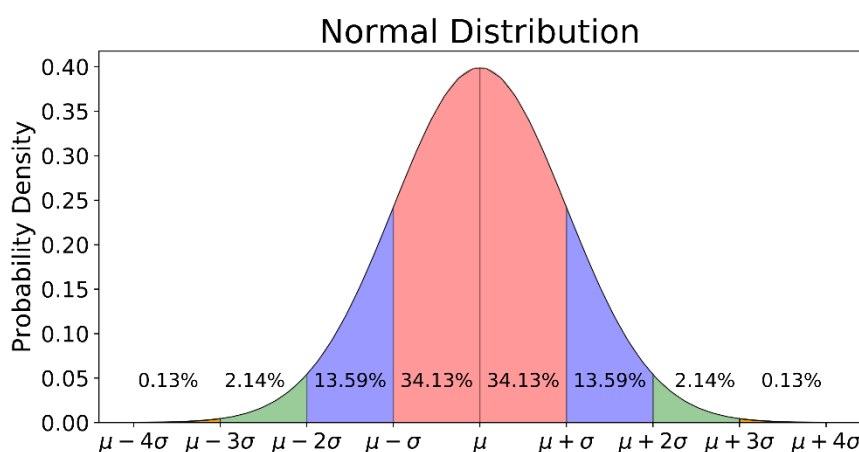
#### ۳-۱-۳-۱ تعریف

الگوریتم جنگل ایزوله یا جنگل جداسازی، یک الگوریتم یادگیری بدون نظارت یا Unsupervised Learning برای تشخیص ناهنجاری یا Anomaly می باشد که برای جداسازی نقاط دور یا Outlier به کار می رود. براساس الگوریتم جنگل ایزوله، تشخیص موارد غیر عادی و ناهنجار در مجموعه داده انجام شده که البته آسان تر از پیدا یا جداسازی داده ها یا نقاط نرمال یا هنجار است. به منظور جداسازی یک نقطه، الگوریتم به

صورت بازگشتی با انتخاب تصادفی یک ویژگی، تقسیم‌بندی‌هایی را روی نمونه داده‌ها ایجاد می‌کند و سپس بطور تصادفی یک مقدار آستانه برای جداسازی و تفکیک مقادیر به صورت هنجار یا ناهنجار، بین حداقل و حداکثر مقادیر مجاز برای آن صفت یا ویژگی، تعیین می‌کند.

### ۳-۱-۴ مدل آماری گاوسی

توزیع گاوسی، که به آن توزیع نرمال نیز گفته می‌شود، توزیع احتمالی است که حول میانگین متقارن است و وقوع داده‌های نزدیک به میانگین احتمال بیشتری از داده‌های دور از میانگین دارند. نمودار توزیع احتمال (PDF) نرمال به صورت منحنی زنگوله می‌باشد.



شکل (۱۱) - نمودار توزیع احتمال نرمال (گاوسی)

رابطه ی چگالی احتمال توزیع گاوسی یا نرمال:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

### ۳-۱-۵ احراز هویت

#### ۳-۱-۵-۱ تعریف

احراز هویت فرآیند شناسایی هویت کاربر می‌باشد و درواقع این مکانیزم بررسی کردن درخواست ورودی با مجموعه ای از اعتبارنامه هاست و همواره در ابتدای برنامه اجرا می‌شود. هویت ارائه شده با اطلاعات



موجود در پایگاه داده سامانه مقایسه می شود و پس از احراز و تایید آن، درخواست کاربر مورد بررسی قرار می گیرد.

### ۳-۱-۵-۲ انواع روش های احراز هویت

روش های احراز هویت با توجه به تعداد و تنوع فاکتور های مورد استفاده به دسته های احراز هویت تک عاملی، دو عاملی، چند عاملی و تک ورودی تقسیم می شوند. که به اختصار دو مورد از آن ها به شرح زیر می باشند:

#### ♦ احراز هویت تک عاملی (Single-Factor):

احراز هویت تک عاملی عنوان رایج ترین نوع می باشد. در این روش جهت دستیابی کامل به سیستم فقط به یک فاکتور نیاز که می تواند یک نام کاربری و رمز عبور، شماره پین یا یک کد ساده باشد.

#### ♦ احراز هویت دو عاملی (Single-Factor):

با اضافه شدن عامل دوم جهت تأیید، احراز هویت دو عاملی امنیت فرآیند را تقویت می کند. در این روش، کاربران شناسنامه اصلی تأیید اعتبار خود را وارد می کنند (مانند نام کاربری و گذرواژه) و سپس باید یک قسمت ثانویه ای از اطلاعات شناسایی خود (مانند رمز یکبار مصرف OTP) را وارد کنند.

## ۳-۲ سامانه پایش نیروگاه خورشیدی

پس از اشاره به مفاهیم سامانه پایش به بررسی هر بخش به همراه تصاویر نرم افزار پیاده سازی شده می پردازیم.

### ۳-۲-۱ رابط کاربری گرافیکی سامانه

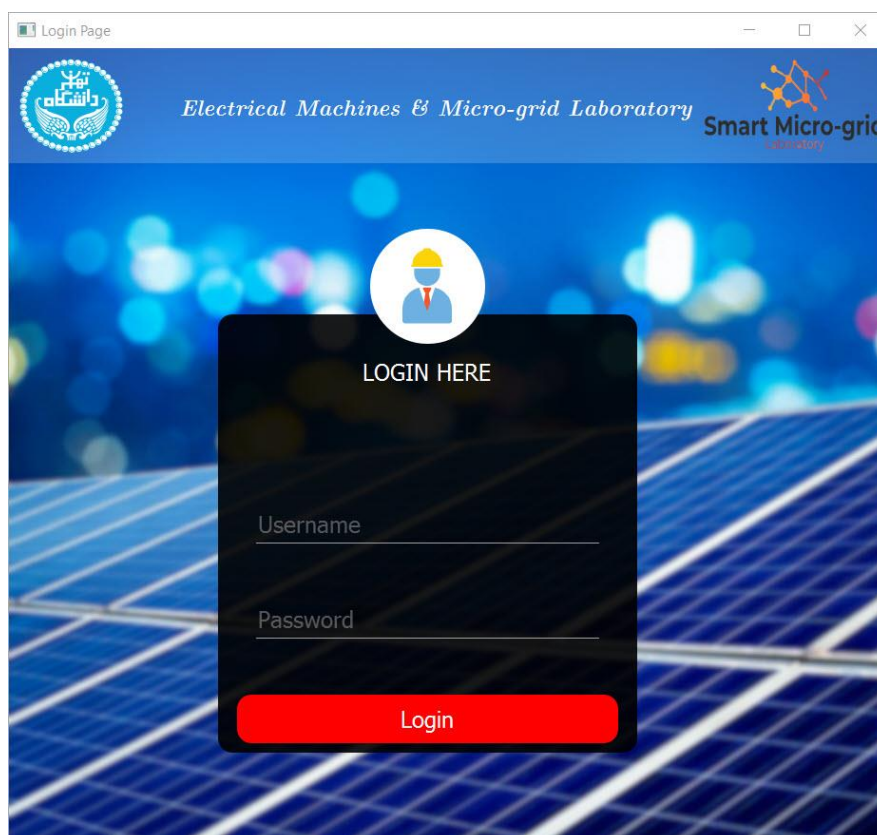
در این پروژه بدلیل پیچیدگی عملکرد های مختلف سامانه، از ابزار QT و نرم افزار QT Designer جهت طراحی ظاهری و پیاده سازی رابط کاربری گرافیکی، استفاده شده است. ابتدا شکل ظاهری هر صفحه از نرم افزار سامانه ابتدا در نرم افزار QT Designer طراحی شده و سپس با استفاده از کتابخانه ی PyQt5 در زبان

برنامه نویسی پایتون، عملکرد ها و وظایف هر بخش تعریف و پیاده سازی شده است. این کتابخانه شامل کلاس هایی است که رابط کاربر گرافیکی و همچنین مدیریت XML، شبکه های کامپیوتری، هسته های پردازش موازی، پایگاه داده های QL، مدیریت مدیا های صوتی و تصویری، وب و سایر فناوری های موجود در Qt را پوشش می دهند. PyQt5 بیش از یک هزار کلاس از Qt را در مجموعه ای از ماژول های Python پیاده سازی می کند که همه آنها در یک پلتفرم سطح بالا فراهم شده است.

### ۲-۲-۳ اجزا و قابلیت های رابط کاربری گرافیکی

#### ۱-۲-۲-۳ بخش ورود و احراز هویت

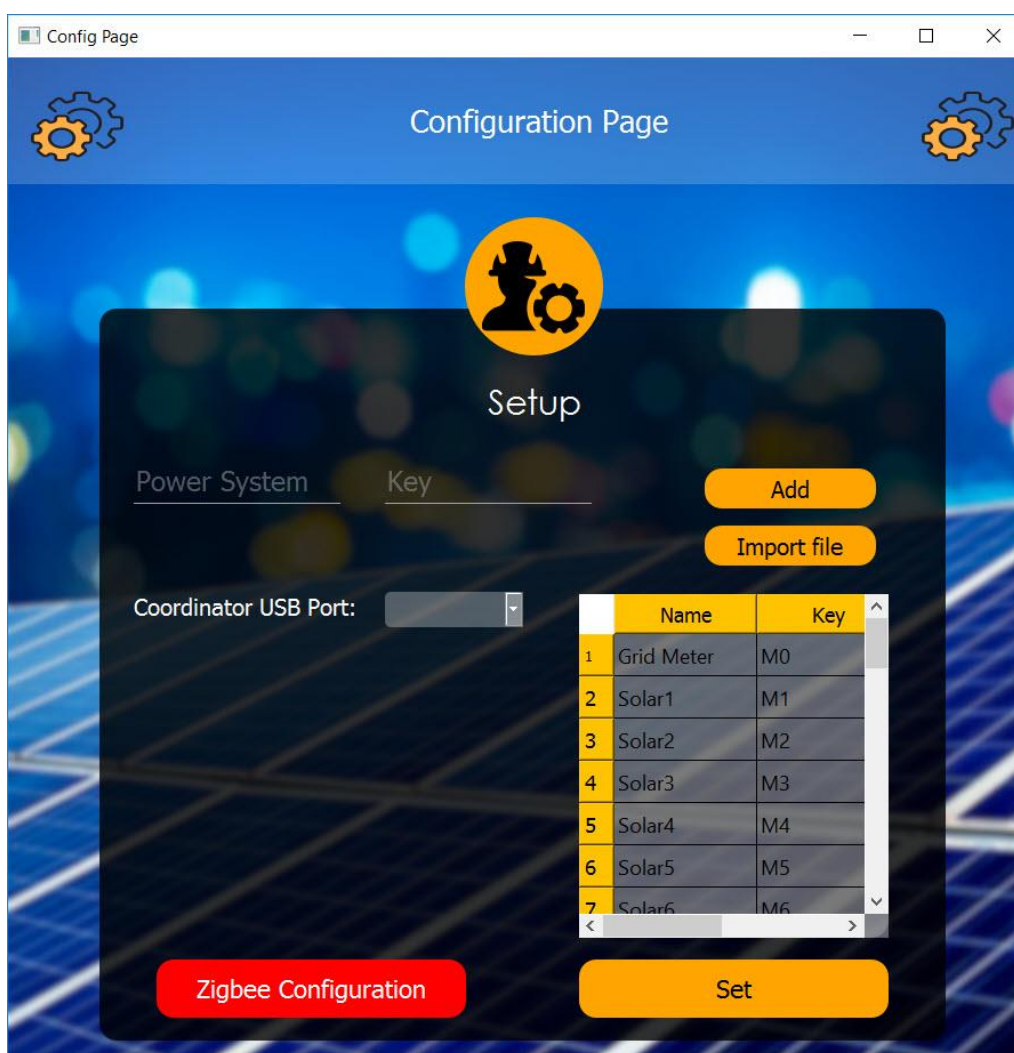
در این بخش کاربر با استفاده از نام کاربری و رمز عبور خود را وارد و پس از یک فرآیند تک عاملی کاربر می تواند وارد سامانه شود. در این بخش سامانه اطلاعات وارد شده را با استفاده از الگوریتم SHA- Hash 256 با تکرار یک میلیون مرتبه با حساب های از پیش تعیین شده بررسی می کند و در صورت یکسان بودن آن ها، اعتبار نامه ای جهت انتقال به صفحات بعدی صادر می کند و در غیر اینصورت کاربر با پیغام خطا مواجه می شود.



شکل (۱۲) - صفحه ی ورود و احراز هویت سامانه

### ۲-۲-۲-۳ بخش تنظیمات اولیه و تعریف اجزای نیروگاه

در این بخش کاربر می تواند تمام اجزای نیروگاه را به نرم افزار معرفی کند. نام و کلید شناسایی هر جز می تواند از دو طریق، وارد کردن تک به تک یا باز کردن فایل Excel حاوی این اطلاعات، توسط نرم افزار دریافت شود. همچنین کاربر می بایست پورت USB که ZigBee اتاق کنترل (هماهنگ کننده یا Coordinator) به آن متصل است را از لیست موجود انتخاب کند.



شکل (۱۳) - صفحه ی تنظیمات اولیه و تعریف اجزای نیروگاه

### ۳-۲-۳ بخش پروگرم کردن سخت افزار ارتباطی سامانه

همانطور که در بخش ۲-۳-۲ اشاره شد، ماژول های ZigBee در یک شبکه ی بیسیم می توانند سه نقش هماهنگ کننده (Coordinator)، مسیریاب (Router) و دستگاه انتهایی (End-Device) ایفای نقش کنند. در این بخش از سامانه این امکان فراهم شده است که کاربر پس از متصل کردن ZigBee به کامپیوتر از طریق پورت USB و انتخاب نقش آن، ماژول را به راحتی پروگرم و در شبکه ی خود استفاده کند.

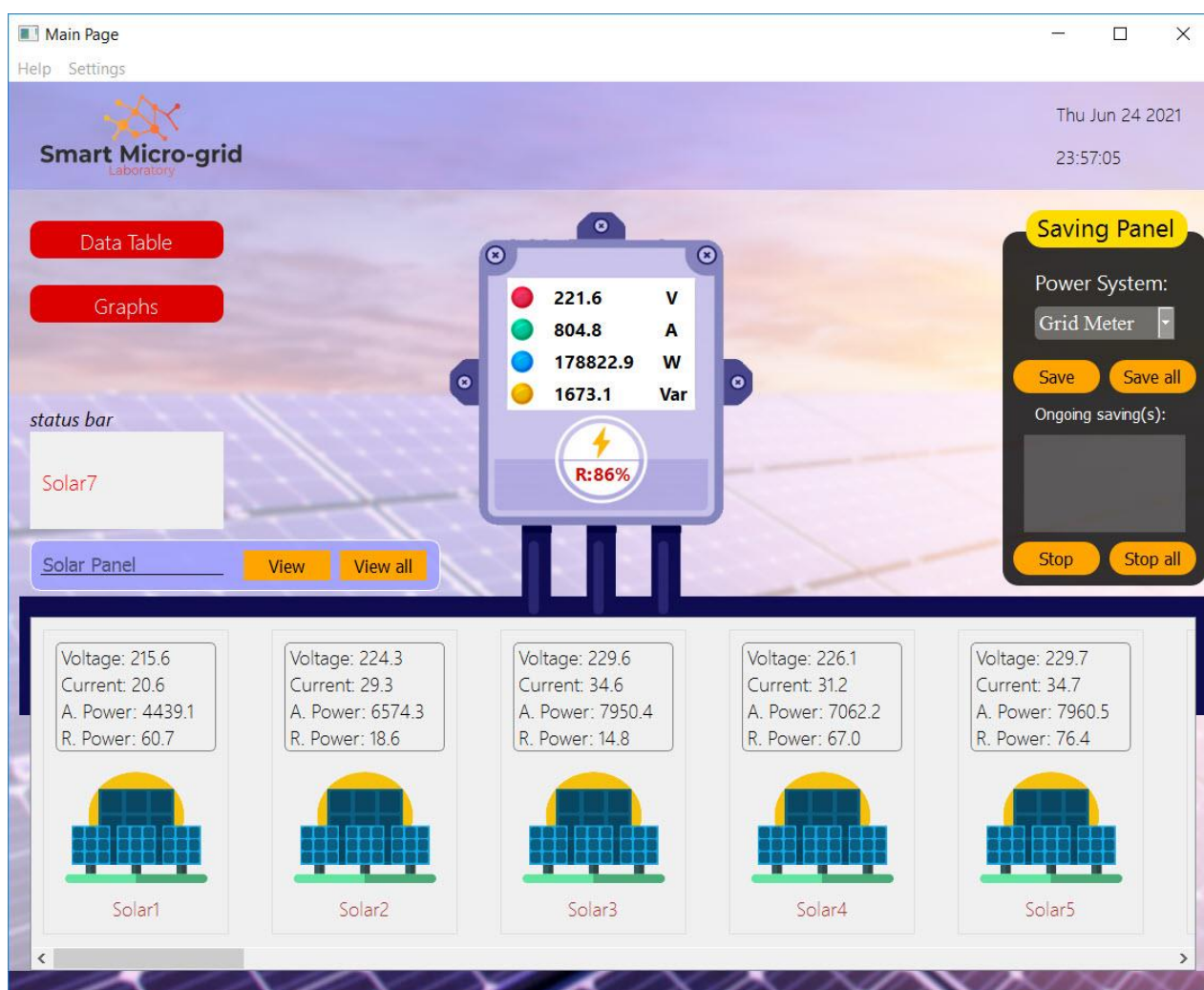


شکل (۱۴) - صفحه ی بخش پروگرم کردن ماژول ارتباطی سامانه

## ۳-۲-۴ صفحه ی اصلی سامانه

تمام بخش ها و قابلیت های سامانه ی هوشمند زیر مجموعه ی صفحه ی اصلی نرم افزار می باشند و از این طریق قابل دسترسی هستند. در این صفحه دو گزینه ی مجزا جهت گشودن صفحه های بخش نمایش نمودار و جدول جامع داده ها تعبیه شده است. همچنین در پایین این صفحه تمام اجزای نیروگاه خورشیدی به همراه داده هایشان نمایش داده شده است که از طریق پنل جستجو بالای آن می توان با استفاده از نام هر یک از اجزا آن را جست و جو کرد و صفحه ی کامل مختص به آن را گشود و نیز می توان با استفاده از گزینه ی view all تمام اجزا و داده هایشان را در صفحه ای مجزا مشاهده کرد.

در مرکز صفحه، اطلاعات مربوط به سنجشگر اصلی نیروگاه (سنجشگری که برآیند همه مجموعه را اندازه گیری می کند) قابل مشاهده است. در سمت راست این صفحه نیز پنل ذخیره سازی داده ها قرار داده شده است.



شکل (۱۵) - صفحه ی اصلی سامانه



## ◆ پنل ذخیره سازی داده

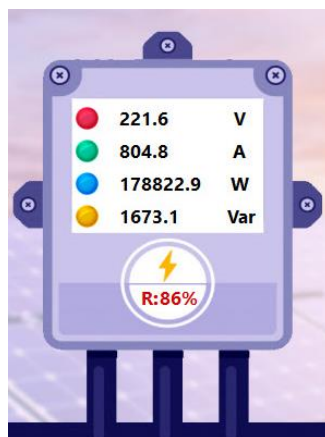
در این پنل این امکان برای کاربر فراهم شده است که با انتخاب هر تعداد از اجزای نیروگاه، فرآیند ذخیره سازی داده های آن را شروع/متوقف کند. داده های هر جز در فایل های Excel مجزا با برچسب های زمانی قابل دسترسی خواهد بود.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	date & time	voltage phase1	voltage phase2	voltage phase3	current phase1	current phase2	current phase3	active power phase1	active power phase2	active power phase3	reactive power phase1	reactive power phase2	reactive power phase3
1	2020-10-06 7:32	225.623	227.3065	227.013	852.407	908.394	901.041	191028.3783	205264.5907	203458.2477	1506.74	1678.33	1689.42
2	2020-10-06 7:34	222.206	223.7865	223.8775	818.519	865.412	864.851	181913.3817	193729.7129	193621.9283	1664.92	1661.31	1717.87
3	2020-10-06 7:37	222.7825	224.166	224.4925	813.968	853.919	859.187	181165.4552	191303.2112	192623.1583	1717.5	1842.83	1689.82
4	2020-10-06 7:39	221.5695	223.11	223.2505	804.842	824.632	825.385	178822.9141	183815.7865	183957.1058	1673.11	1906.78	1946.31
5	2020-10-06 7:42	221.605	221.99	221.19	826.292	834.096	821.025	184656.7061	186535.1384	183283.6407	1496.48	1570.54	1540.28
6	2020-10-06 7:44	223.71	223.26	223.42	837.726	835.209	833.302	187277.0372	186666.1858	186216.7375	1794.38	1869.69	1274.93
7	2020-10-06 7:47	225.82	227.608	227.2295	873.539	931.832	923.871	195956.8965	210794.19	208736.1887	1905.27	1303.79	1689.57
8	2020-10-06 7:49	222.206	223.7865	223.8775	817.664	865.539	865.2	181730.6979	193717.5199	193626.1754	1655.2	1431.04	1671.97
9	2020-10-06 7:52	222.7915	224.265	224.508	833.055	875.098	879.678	185637.2659	196187.099	197332.1918	1387.66	1774.2	1646.64
10	2020-10-06 7:54	221.757	223.11	223.355	832.524	847.812	850.767	185848.1054	189688.8923	190516.8918	1616.66	1801.28	1806.86
11	2020-10-06 7:57	222.19	222.18	222.09	824.842	830.849	818.249	184074.1252	185563.3689	182478.8812	1732.75	1542.81	1850.17
12	2020-10-06 7:59	222.47	222.165	222.72	827.538	827.393	828.558	184729.8334	184697.5388	184901.1234	1882.71	1601.93	1713.72
13	2020-10-06 8:02	225.82	227.608	227.2295	874.207	931.792	924.644	196074.9823	210802.3147	208877.8547	1942.36	1889.9	1668.78
14	2020-10-06 8:04	222.206	223.7865	223.8775	818.211	865.988	864.367	181902.7242	193810.3658	193468.5255	1691.42	1601.89	1770.55
15	2020-10-06 8:07	222.7915	224.265	224.508	832.946	874.522	879.647	185569.6912	196061.5509	197355.8742	1680.02	1561.19	1661.51
16	2020-10-06 8:09	221.6465	223.068	223.255	807.935	818.705	823.349	179646.5009	182322.5715	183509.5592	1695.71	1801.57	1435.24
17	2020-10-06 8:12	220.485	220.435	220.105	782.447	780.44	782.135	173446.5054	172936.4418	173435.2418	1765.68	1726.79	1488.45
18	2020-10-06 8:14	222.36	222.26	222.655	822.391	822.364	824.586	183479.5385	183449.5243	183912.4835	1640.01	1925.89	1726.02
19	2020-10-06 8:17	225.82	227.608	227.2295	874.135	932.199	923.777	196035.6438	210870.4243	208758.2425	1665.8	1559.86	1482.79
20	2020-10-06 8:19	222.206	223.7865	223.8775	817.458	865.269	864.785	181744.7253	193731.3795	193557.8014	2025.81	1493.2	1645.97
21	2020-10-06 8:22	222.7915	224.265	224.508	832.552	873.727	879.609	185570.7162	195911.1004	197369.065	1518.3	1530.15	1255.51
22	2020-10-06 8:24	222.13	223.436	223.7015	835.13	847.217	853.257	186513.7878	189574.6763	190984.0727	1552.2	1702.62	1552.95
23	2020-10-06 8:27	221.785	221.475	221.775	811.914	808.515	812.1	180875.804	180027.223	180988.2449	1715.75	1611.36	1478.1
24	2020-10-06 8:29	222.575	222.315	222.875	823.313	820.711	820.396	183763.2606	183114.3776	182992.0257	1557.51	1565.59	1696.13
25	2020-10-06 8:32	225.82	227.608	227.2295	873.986	931.651	923.54	196034.8518	210791.8704	208649.6316	1869.35	1593.67	1820.77
26	2020-10-06 8:34	222.206	223.7865	223.8775	817.898	866.003	864.72	181808.5773	193863.3356	193553.8872	1611.37	1834.97	1663.41
27	2020-10-06 8:37	222.7915	224.265	224.508	832.335	874.594	879.632	185492.1574	196129.8411	197315.027	1626.6	1667.42	1876.64
28	2020-10-06 8:39	221.6465	223.095	223.284	814.028	829.447	830.968	181285.8714	185134.2023	185474.2999	1462.8	1550.64	1556.53

شکل (۱۶) – نمونه ای داده های ذخیره شده توسط پنل ذخیره سازی سامانه

### ◆ نمایشگر داده های کلی نیروگاه

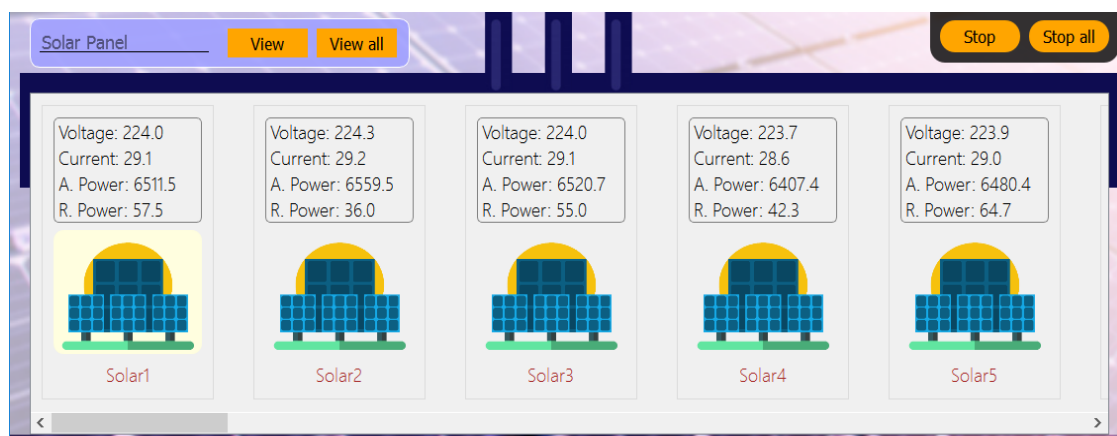
در این بخش از صفحه ی اصلی سامانه، داده های سنشگر اصلی نیروگاه که شامل ولتاژ، جریان، توان حقیقی، توان موهومی و بازدهی کل نیروگاه می باشد، به صورت لحظه ای نمایش داده می شود.



شکل (۱۷) - نمایشگر داده های برآیند نیروگاه

### ◆ نمایشگر داده های اجزای نیروگاه

در این نمایشگر، اطلاعات تمامی اجزای نیروگاه شامل نام، ولتاژ، جریان، توان حقیقی و توان موهومی به تفکیک هر کدام از اجزا نمایش داده می شود. همچنین جهت پایش بهتر و سریعتر هر یک از اجزا، قابلیت انتخاب هر کدام از آن ها از دو طریق کلیک مستقیم روی هر جز و پنل جست و جو، برای گشودن صفحه ی مختص هر یک از اجزای نیروگاه فراهم شده است و اطلاعات دقیق و جامع تر شامل داده ها و نمودار های آن ها به صورت برخط در اختیار کاربر قرار می گیرد.



شکل (۱۸) - نمایشگر شمای اجزای نیروگاه به همراه داده های مربوطه

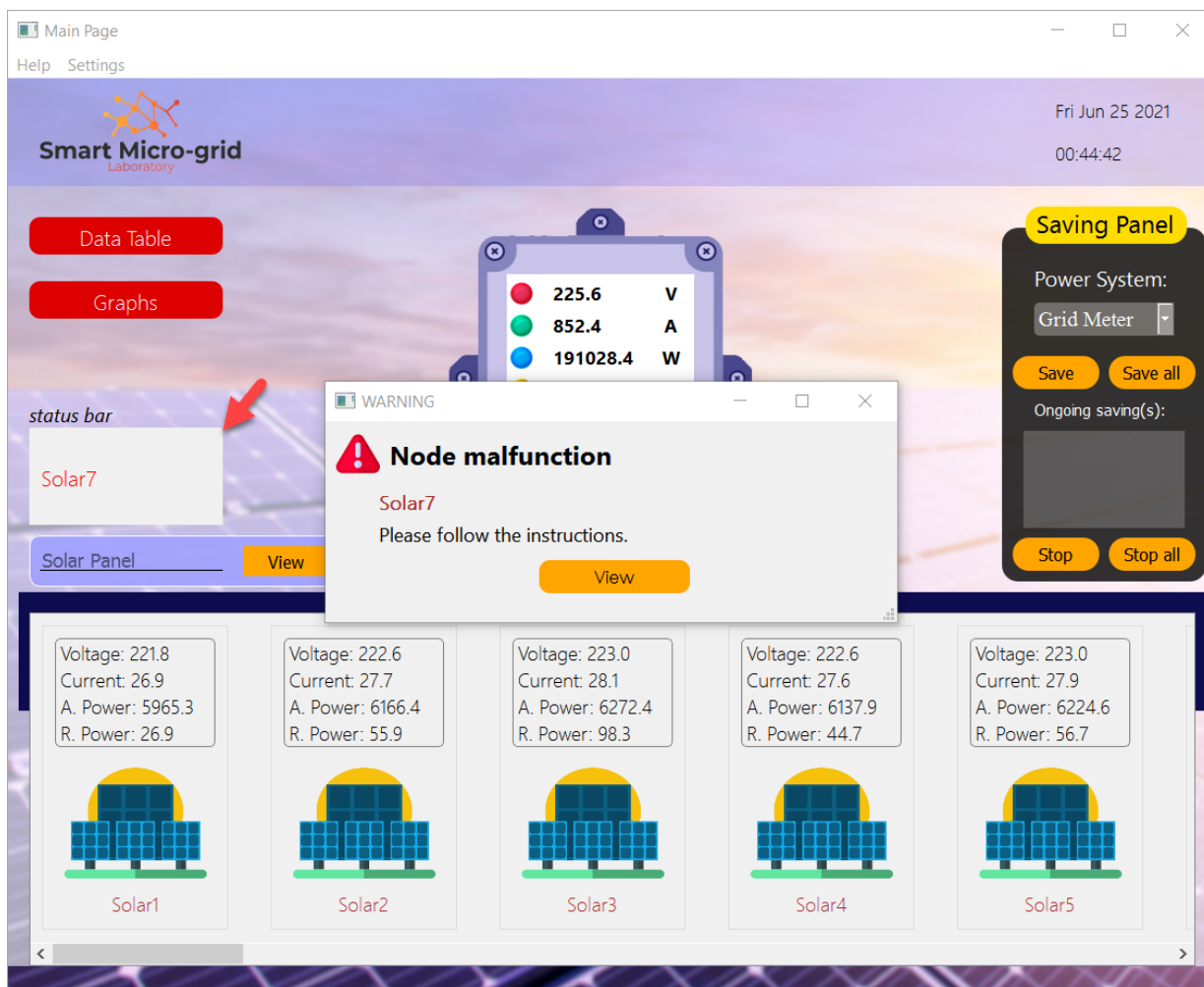


شکل (۱۹) - صفحه ی جامع و مختص به هر یک اجزای نیروگاه



## ◆ نمایشگر خطاهای احتمالی نیروگاه

پس از تشخیص خطا به صورت لحظه ای با استفاده از سه الگوریتم هوش مصنوعی، تا رفع عامل خطا، اعلان مربوط به هر یک از اجزا در کادر موجود در صفحه ی اصلی سامانه (status bar) ایجاد و باقی خواهند ماند.



شکل (۲۰) - نمایشگر خطاهای احتمالی اجزای نیروگاه

### ۳-۲-۵ بخش نمایش نمودار داده ها

در این بخش کاربر می تواند با انتخاب اجزا و پارامتر مربوطه، چهار نمودار مختلف شامل ولتاژ، جریان، توان حقیقی و توان موهومی را به صورت لحظه ای، برخط و بر حسب زمان برای هر جزء مشاهده نماید.



شکل (۲۱) - صفحه ی نمایش نمودار داده های هر یک از اجزای نیروگاه

### ۳-۲-۶ جدول جامع داده های اجزای نیروگاه

جدول جامع داده های تمام اجزای نیروگاه یکی از مهمترین بخش های سامانه ی پایش محسوب می شود که به کاربر امکان مقایسه و بررسی کلی داده های اجزای نیروگاه را می دهد.

Table Page

	Device	Speed	Voltage(p1)	Current(p1)	P (p1)	Q (p1)	Voltage(p2)	Current(p2)	P (p2)	Q (p2)	Voltage(p3)	Current(p3)	P (p3)	Q (p3)
	Grid Meter	0	222.274999...	826.950000...	184615.473...	1882.37999...	222.385	828.014999...	184956.901...	1602.43999...	222.435	823.088999...	183695.626...	1462.47999...
2	Solar1	0	229.06	34.042	7797.46052...	64.07	228.56	33.59	7684.33040...	15.91	228.16	33.257	7595.01711...	62.89
3	Solar2	0	229.5	34.475	7904.31250...	55.66	229.6	34.532	7929.74719...	15.32	230.1	35.0659999...	8065.88659...	22.69
4	Solar3	0	217.12	22.2040000...	4817.63248...	88.79	218.12	23.0870000...	5041.63644	54.47	216.72	21.717	4710.40824	85.21
5	Solar4	0	221.75	26.802	5944.3435	84.37	221.05	26.1480000...	5787.31540...	92.0	222.05	26.9980000...	5991.30590...	65.25
6	Solar5	0	222.44	27.3589999...	6080.43596	73.21	223.44	28.4339999...	6349.19295...	35.07	222.64	27.5479999...	6126.98671...	11.24
7	Solar6	0	226.96	31.9570000...	7252.36072...	27.07	226.56	31.594	7158.13664	94.27	226.96	31.9040000...	7250.43184...	99.46
8	Solar7	0	229.16	34.114	7825.16424	41.67	228.859999...	33.9559999...	7765.97015...	22.36	229.26	34.2329999...	7845.35757...	76.58
9	Solar8	0	229.62	34.587	7951.16694...	84.22	229.420000...	34.3930000...	7884.34206...	83.22	229.82	34.8609999...	8007.15501...	86.27
10	Solar9	0	215.31	20.335	4372.92885	46.82	215.01	20.0329999...	4304.89532...	93.44	214.71	19.6520000...	4214.78092...	62.3
11	Solar10	0	228.76	33.7529999...	7729.33627...	39.27	229.359999...	34.3069999...	7867.55351...	84.34	228.26	33.1869999...	7583.26461...	53.44
12	Solar11	0	228.08	33.0920000...	7555.32336...	29.99	227.78	32.8790000...	7487.67862...	96.08	227.880000...	32.9240000...	7502.92112...	27.72
13	Solar12	0	227.28	32.226	7327.62528	91.17	227.08	32.0260000...	7277.56408...	98.97	228.18	33.2500000...	7583.08500...	49.11
14	Solar13	0	218.29	23.3749999...	5094.52874...	98.49	217.39	22.3349999...	4864.50564...	71.76	217.989999...	23.0259999...	5010.13773...	57.26
15	Solar14	0	215.75	20.8070000...	4481.71025...	13.47	216.05	21.1360000...	4576.43280...	93.4	216.55	21.6070000...	4669.89585...	53.7

شکل (۲۲) - جدول جامع داده های اجزای نیروگاه

### ۳-۳ هوشمند سازی تشخیص خطا سامانه پایش نیروگاه خورشیدی

به منظور رسیدن به بیشترین بازدهی در نیروگاه خورشیدی، وجود یک سامانه هوشمند تشخیص خطا ضروری به نظر می رسد تا با استفاده از الگوریتم های تشخیص خطا در کوتاه ترین زمان ممکن خطای احتمالی نیروگاه برطرف گردد که ذیلاً به بررسی موضوعات فوق می پردازیم.

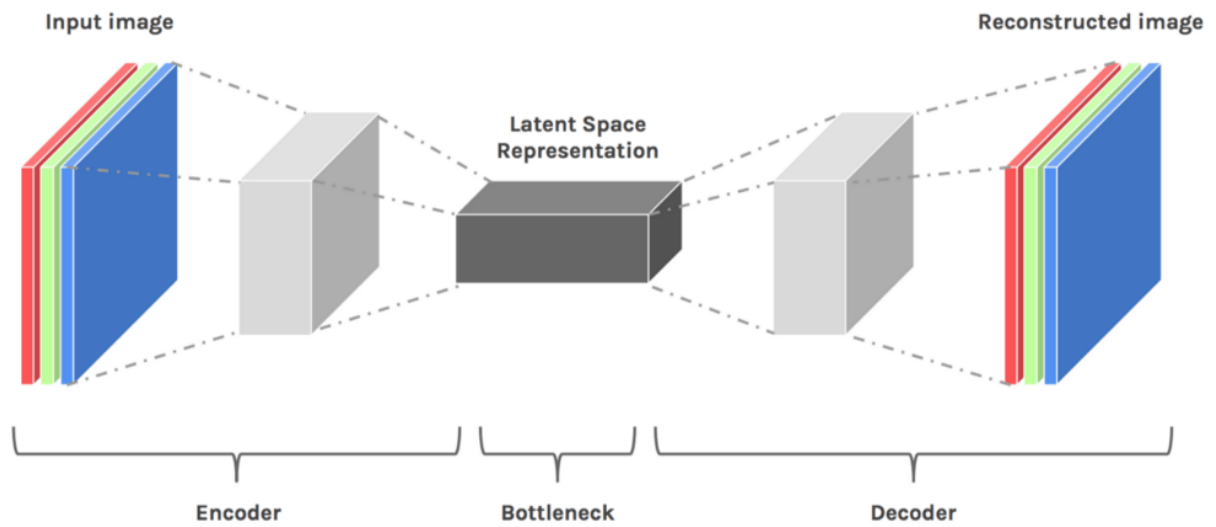
#### ۱-۳-۳ خطا های احتمالی نیروگاه خورشیدی

در پنل های خورشیدی، اینورتر ها و کابل های متصل به آن ها امکان رخ دادن خطاهای مختلفی از جمله، اتصال کوتاه، قطع شدن، افت بازده، آلودگی سطح پنل ها و آسیب های فیزیکی، وجود دارد. نمود این خطا ها در داده های هر یک از اجزا با استفاده از الگوریتم های هوش مصنوعی و شبکه های عصبی قابل بررسی و تشخیص می باشد. برای مثال با رخداد اتصال کوتاه، جریان بسیار زیاده می شود یا هنگام افت بازده و آلودگی سطح پنل های خورشیدی، توان آن جزء کاهش می یابد.

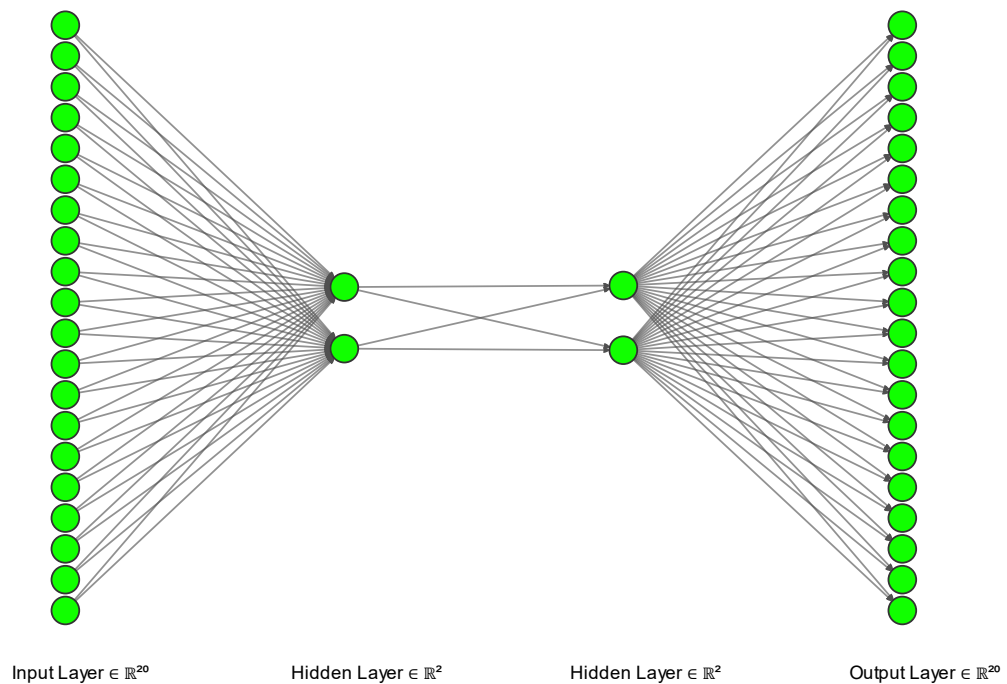
#### ۲-۳-۳ پیاده سازی مدل های تشخیص خطا (Anomaly Detection)

##### ۱-۲-۳-۳ پیاده سازی شبکه عصبی

در این سامانه از یکی از بهینه ترین مدل های شبکه ی عصبی، Auto Encoder استفاده شده است. Autoencoder یک شبکه عصبی مصنوعی unsupervised می باشد که به طور موثر داده ها را فشرده و رمزگذاری می کند و سپس یاد می گیرد که چگونه داده ها را از نمایش کدگذاری شده کاهش یافته به نمایشی که تا حد ممکن به ورودی اصلی نزدیک است بازسازی کند. در واقع این روش، ابعاد داده را با یادگیری نحوه نادیده گرفتن نویز در داده ها کاهش می دهد.



شکل (۲۳) - دیاگرام نحوه ی عملکرد Autoencoder ها



شکل (۲۴) - نقشه ی شبکه ی عصبی Autoencoder پیاده سازی شده در سامانه

Autoencoder ها از چهار بخش اصلی تشکیل شده اند:

الف) Encoder: در این بلوک/لایه مدل یاد می گیرد که چگونه ابعاد ورودی را کاهش داده و داده های ورودی را در یک نمایش رمزگذاری شده فشرده کند.

ب) Bottleneck: لایه ای است که شامل نمایش فشرده داده های ورودی می باشد که کمترین بعد ممکن از داده های ورودی را داراست

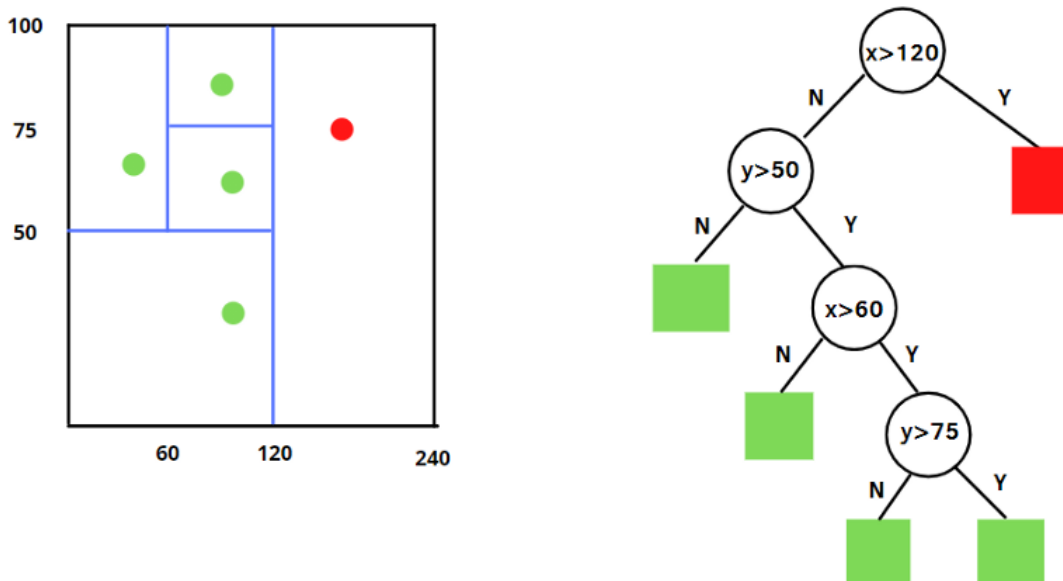
ج) Decoder: در این بلوک/لایه مدل یاد می گیرد که چگونه داده ها را از نمایش رمزگذاری و فشرده شده بازسازی کند تا آنجا که ممکن است به ورودی اصلی نزدیک باشد.

د) Reconstruction Loss: سنجش میزان صحت عملکرد Decoder و نزدیک بودن خروجی به ورودی اصلی، در این بخش انجام می شود. سپس مدل با استفاده از روش back propagation سعی می کند Reconstruction Loss را کمینه کند.

مزیت اصلی استفاده از این Autoencoder، عملکرد مطلوب آن در برابر داده هایی با ویژگی های وابسته (correlated) می باشد. و از آنجا داده های سنجشگر ولتاژ، جریان توان وابستگی مستقیم دارند، لذا Autoencoder جزو معدود مدل هایی است که عملکرد بسیار خوبی در تشخیص خطا (Anomaly Detection) دارد.

### ۲-۲-۳-۳ پیاده سازی جنگل ایزوله Isolation forest

Isolation forest یک الگوریتم unsupervised و nonparameteric می باشد که بر پایه درخت بنا شده است و در واقع، از مجموعه ای از درختان ایزوله برای یک مجموعه داده مشخص تشکیل شده است. مبنای این الگوریتم جداسازی است زیرا ناهنجاری ها (Anamolies) را از سایر مشاهدات جدا می کند. این روش جداسازی با تقسیم تصادفی مناطق تصمیم گیری به مناطق کوچکتر، تمام نقاط داده را از هم جدا می کند. نحوه ی عملکرد آن بدین صورت است که ابتدا به صورت تصادفی دو ویژگی از داده را انتخاب می کند و سپس نقاط داده ها را توسط مرزی تصادفی بین کمینه و بیشینه ی ویژگی های انتخاب شده، تفکیک می کند و این روند تقسیم کردن، به صورت بازگشتی تا جدا سازی تمام داده ها ادامه پیدا می کند. سپس این الگوریتم با مشاهده میانگین طول مسیر های کوتاه در درختان ایزوله، ناهنجاری ها را می یابد.



شکل (۲۵) - نحوه ی عملکرد الگوریتم Isolation Forest

### ۳-۲-۳-۳ پیاده سازی مدل آماری گوسی

در این مدل، فرض می شود داده های اجزای نیروگاه دارای نویزی با توزیع احتمال نرمال با واریانس و میانگین مشخص می باشند. لذا به تفکیک ولتاژ، جریان و توان تمامی پنل های خورشیدی، داده هایی که فاصله ی آنها از میانگین بیشتر از نصف انحراف از معیار باشد به عنوان ناهنجار مشخص می شود.

Voltage:  $\bar{V}$

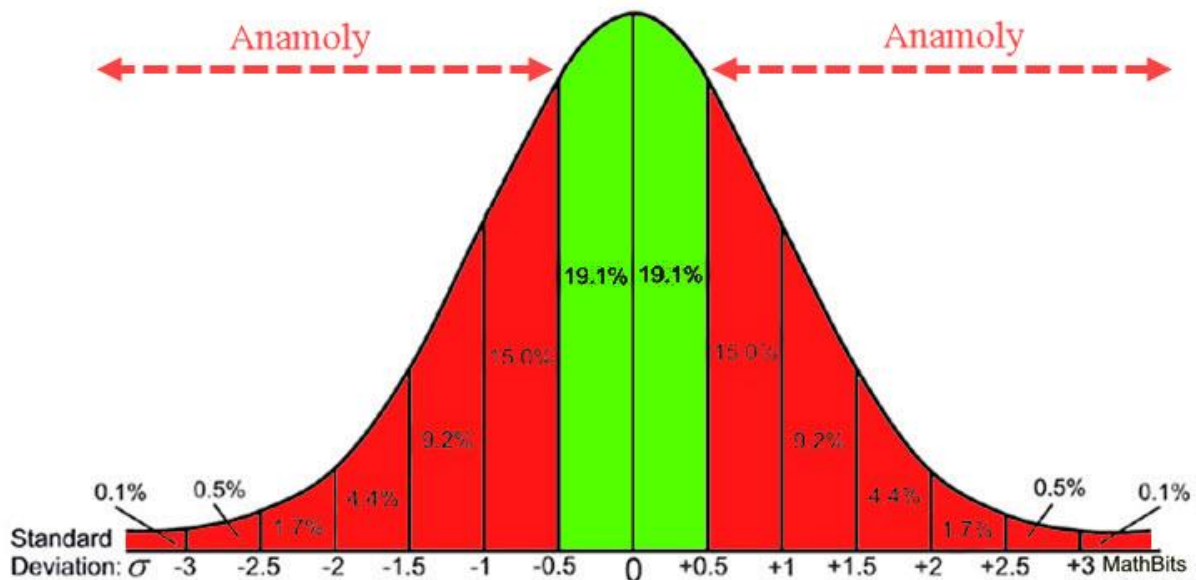
Current:  $\bar{I}$

Power:  $\bar{P}$

$$\frac{(V_i - \mu_v)^2}{\sigma_v^2} \geq R^2 : i^{th} \text{ node is outlier}, \quad R = \frac{1}{2}, \quad \begin{cases} \mu_v: \text{mean of all node voltages} \\ \sigma_v: \text{std. of all node voltages} \end{cases}$$

$$\frac{(I_i - \mu_I)^2}{\sigma_I^2} \geq R^2 : i^{th} \text{ node is outlier}, \quad R = \frac{1}{2}, \quad \begin{cases} \mu_I: \text{mean of all node Currents} \\ \sigma_I: \text{std. of all node Currents} \end{cases}$$

$$\frac{(P_i - \mu_P)^2}{\sigma_P^2} \geq R^2 : i^{th} \text{ node is outlier}, \quad R = \frac{1}{2}, \quad \begin{cases} \mu_P: \text{mean of all node Powers} \\ \sigma_P: \text{std. of all node Powers} \end{cases}$$



شکل (۲۶) - نمودار توزیع احتمال نرمال گوسی و نحوه ی تشخیص داده های ناهنجار



### ۴-۲-۳-۳ پیاده سازی مدل تلفیقی به روش Boosting

به طور معمول در کاربرد های یادگیری ماشین، تنها از یک الگوریتم و روش مانند، رگرسیون لاجیستیک، درخت تصمیم گیری، SVM و یا شبکه های عصبی استفاده می شود و تصمیم گیری نهایی تنها توسط یکی از آن ها صورت می گیرد مبنای روش Boosting بر استفاده از تعداد بیشتری از مدل های یادگیری برای افزایش عملکرد هر یک از آنها در مقایسه با به کاربردن هریک به صورت جداگانه می باشد. این روش را می توان به عنوان تکنیکی توصیف کرد که با استفاده ی گروهی از مدل های یادگیری، مدلی قوی تر، مطمئن تر و جامع ایجاد می کند.

در این سامانه به صورت توأم و به روش Boosting با وزن های برابر از سه مدل فوق الذکر، شبکه ی عصبی (Autoencode)، جنگل ایزوله (Isolation Forest)، مدل آماری گوسی استفاده شده است و نتیجه خروجی روش Boosting اکثریت توافق نظر روی داده های ناهنجار تشخیص داده شده توسط سه الگوریتم فوق می باشد.

### ۳-۳-۳-۳ فرآیند اعلان خطا

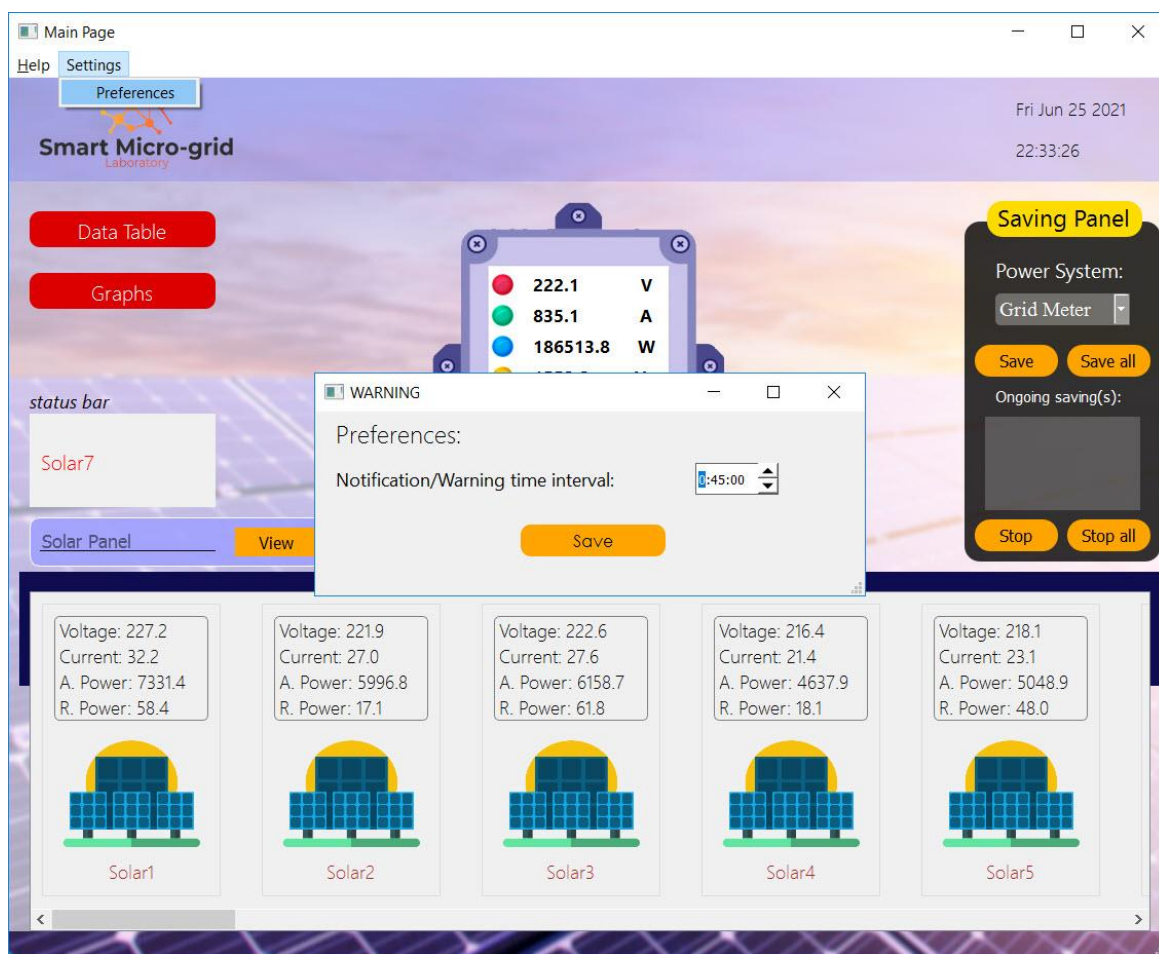
پس از تشخیص خطا بر اساس الگوریتم Boosting با استفاده از سه مدل فوق الذکر، در صفحه ی اصلی برنامه و در پنجره ی اعلان خطا نمایش داده شده که امکان انجام تنظیمات اعلان در سامانه وجود دارد. در ادامه به بررسی هر دو موضوع می پردازیم.

### ۱-۳-۳-۳ پنجره اعلان خطا

با وقوع خطا و تشخیص لحظه ای آن توسط الگوریتم Boosting و مدل های اشاره شده، پنجره ای به صورت pop-up در صفحه ای اصلی برنامه ظاهر خواهد شد که کاربر قادر خواهد بود با کلیک بر روی گزینه ی view صفحه مختص به آن جزء را مشاهده نماید و با جزییات بیشتری از عملکرد آن مطلع شود. همچنین در بخش status bar در صفحه ی اصلی، تا برطرف شدن آن خطا نام جزء مربوطه باقی خواهد ماند.

## ۳-۳-۲ تنظیمات اعلان خطا

از آنجا که سامانه ی پایش هوشمند به صورت لحظه ای به تشخیص خطا و اعلان آن می پردازد، کاربر می تواند با استفاده از این امکان، فواصل زمانی میان اعلان های مربوط یک خطای هر یک از اجزا تعیین نماید. این امر نظارت دقیق تر و حل سریعتر عامل می گردد. مقدار این زمان به صورت پیش فرض ۴۵ دقیقه می باشد که توسط کاربر از طریق منوی Preferences قابل تغییر می باشد.



شکل (۲۷) - صفحه ی تنظیمات اعلان خطا

## فصل ۴:

### نتیجه گیری و پیشنهادها

---

## ۴-۱ نتیجه گیری

در پژوهش حاضر نتایجی به شرح ذیل متصور می باشد:

۱- در سامانه ی تبادل داده ی اجزای نیروگاه خورشیدی، داده ها که شامل زمان، ولتاژ، جریان، توان حقیقی و توان موهومی می باشند با پروتکل RS485 و استاندارد IEC 62056 از سنجشگر های سری JAM شرکت الکترونیک افزار آژما، بدلیل تفاوت پروتکل های ارتباطی سنجشگر و سخت افزار ارسال داده، از طریق مبدل RS485 به TTL(UART) به میکروکنترلر ARM STM32 جهت پردازش ارسال می گردد.

۲- داده های پردازش شده در سامانه ی تبادل داده اجزای نیروگاه بوسیله ی ماژول ZigBee S2C با نقش دستگاه انتهایی (End-Device) تحت فرکانس ۲.۴ گیگاهرتز و نرخ ۲۵۰ کیلوبیت بر ثانیه از طریق شبکه ی بی سیم با آرایش Mesh به ماژول گیرنده هماهنگ کننده (Coordinator) به منظور پایش، ارسال می گردد. استفاده از ماژول های فوق به جهت امنیت، سرعت و ضریب اطمینان بالا و هزینه ی پایین صورت پذیرفته که در راستای همین اهداف با بکارگیری شبکه ی Mesh از حیث قابلیت گسترش بدون محدودیت و اطمینان بالا در تبادل داده ها با لحاظ اقتضاعات نیروگاه های خورشیدی استفاده شده است.

۳- یکی از اهداف اساسی سامانه ی پایش هوشمند نیروگاه خورشیدی، نظارت دقیق، برخط، مطمئن، امن و آسان توسط کاربران می باشد. در این پژوهش یک رابط کاربری گرافیکی بر مبنای ابزار سطح بالا QT و زبان برنامه نویسی پایتون طراحی گردیده که دارای قابلیت های: پنل احراز هویت تک عاملی بر اساس الگوریتم Hash SHA256 با ضریب امنیت بالا، تعریف اولیه ی اجرای نیروگاه به سامانه، پروگرام خودکار سخت افزار های ارتباطی، نمایش داده ها استخراج شده و نمودار های آن ها به تفکیک هر یک از اجزاء، ذخیره سازی داد ها در قالب فایل Excel، نمایش جدول جامع داده های اجزاء، جست جو اجزای نیروگاه و ورود به بخش اطلاعات هر جزء و در انتها نمایش برخط خطا های احتمالی ایجاد شده، می باشد.

۴- با توجه به هزینه ی تجهیزات به کار گرفته شده در نیروگاه های خورشیدی و لزوم رسیدن به توان و بازده حداکثری و نیز دستیابی به پایداری تولید انرژی، حفظ تجهیزات از آسیب های احتمالی و تأمین صرفه ی اقتصادی، تشخیص خطاهای موجود از اهمیت بسزایی برخوردار است. بر همین اساس با پیاده سازی مدل های تشخیص خطا و استفاده تلفیق سه الگوریتم هوش مصنوعی شامل شبکه های عصبی

(Autoencoder)، جنگل ایزوله (Isolation Forest) و مدل آماری گوسی، به روش Boositing، کلیه ی خطاهای احتمالی نیروگاه به صورت لحظه ای در جهت رفع سریع آن؛ شناسایی، نمایش و اعلان می گردد.

## ۴-۲ نوآوری و دستاوردها

در این پژوهش نوآوری ها و دستاوردهایی به شرح ذیل مورد نظر می باشد:

- ۱- سامانه ی حاضر به عنوان اولین سامانه بومی پایش و تشخیص هوشمند خطای اجزای نیروگاه خورشیدی در کشور طراحی و پیاده سازی شده که با توجه به توسعه ی این نیروگاه ها در سطح کشور، یکی از نیاز اصلی صنایع انرژی تلقی می گردد
- ۲- با توجه به بکارگیری تجهیزات کم هزینه و موجود در بازار، بر اساس اقتضاعات حاکم بر کشور و عدم شمول شرایط تحریم و نیز گسترش صنعت برق و انرژی های نو و نیز نیاز فعلی کشور در این زمینه، تولید انبوه این سامانه با سهولت همراه خواهد بود.
- ۳- لزوم تامین امنیت بالا در صنایع زیرساختی من جمله صنعت برق یکی از اهداف اصلی سامانه های پایش و کنترل تامین کنندگان انرژی می باشد که در این پژوهش با استفاده از الگوریتم های منحصر به فرد هم در تبادل داد های موجود و هم در دسترسی به سامانه ی پایش، این مهم محقق گردید.
- ۴- اطمینان بالا در تشخیص آنی و موثر خطا در جهت رسیدن به حداکثر بازدهی در نیروگاه های خورشیدی از طریق بکارگیری تلفیقی از الگوریتم های هوش مصنوعی تامین شده است.
- ۵- به منظور انجام نظارت دقیق، موثر و همه جانبه بر هر یک از اجزای سامانه ی پایش، سامانه ی مذکور به صورت Multitasking و با عملکرد های موازی به کاربر امکان این نوع نظارت را اعطاء نموده است.
- ۶- انتخاب مناسب سخت افزار تبادل داده و منطبق بر شرایط نیروگاه های خورشیدی کشور و همچنین بکارگیری کارآمد ترین میکروکنترلر موجود در بازار، امکان برقراری ارتباطی مطمئن، دقیق و سریع فراهم گردیده است.

## ۳-۴ محدودیتها

در جهت انجام پژوهش حاضر محدودیت هایی به شرح زیر متصور می باشد:

- ۱- اساسی ترین محدودیت پیش رو در جهت انجام پژوهش حاصل، دسترسی به پروتکل های ارتباطی سنجشگر داده بود که با توجه به قواعد و مقررات موجود از جمله اسرار تجاری شرکت تولید کننده این سنجشگر ها، محسوب می شد.
- ۲- عدم دسترسی موثر به کارشناسان و دستور العمل های طراحی شرکت تولید کننده سنجشگر ها، مانعی دیگر در پیشرفت پژوهش حاضر محسوب می گردد.
- ۳- به عنوان محدودیتی دیگر در جهت آزمایش و پیاده سازی پروژه حاضر در ابعاد حقیقی می توان به عدم اعتماد متولیان امر و مسئولان مربوط، به طرح های پروژه های دانشگاهی و داخلی، اشاره کرد.
- ۴- فقدان منابع مالی کافی در جهت تامین اولیه ی تجهیزات مورد نیاز یکی دیگر از محدودیت پژوهش فوق می باشد.
- ۵- کمبود منابع علمی و پژوهشی در خصوص پیاده سازی چنین سامانه ای به جهت انحصار تجاری در کشور های صاحب فناوری از مهمترین محدودیت های پیش رو پژوهش تلقی می گردید.

## ۴-۴ پیشنهادها

در این مقاله پیشنهاد هایی در جهت رفع مشکلات و موانع و توسعه طرح به شرح آتی مطرح می گردد:

- ۱- لزوم تعامل بین شرکت های تولید کننده تجهیزات مبنایی من جمله سنجشگر ها، با دانشگاه ها و پژوهشگران با نظارت اساتید راهنما و در آزمایشگاه های تجهیز شده با امکانات کافی ضروری به نظر می رسد.
- ۲- مسئولان متولی در امر صنعت برق با لحاظ و تخصیص امکانات لازم و پیش بینی آزمایشگاه های تخصصی و با مشورت اساتید دانشگاه در جهت تست و آزمایش پروژه های مرتبط، تمهیدات و تسهیلات لازم را برای پژوهشگران فراهم نمایند.
- ۳- به منظور تامین مالی و نیز سهولت در فرآیند تحقیق و توسعه ی پروژه های مرتبط با صنعت برق بالاخص انرژی های نو، از طریق جذب حامی محدودیت های موجود در این حوزه برطرف گردد.

۴- جهت گسترش امکانات و قابلیت های پروژه های پیاده سازی شده و انطباق آن ها با تجهیزات موجود در کشور از ظرفیت متخصصان بالاخص استفاده کنندگان از تجهیزات نظارت و پایش در کشور و اخذ ارشادات لازم در جهت طراحی، تحقیق و توسعه بهره جست.

## فصل ٥:

### مراجع

---



## مراجع

## مراجع لاتین

## الف) کتب

- [۱] M. Ramamoorthy, *Automation and Instrumentation for Power Plants*, 1<sup>st</sup> ed. Pergamon, 1989.
- [۲] K. Esfandiari, F. Abdollahi, H. A. Talebi, *Neural Network-Based Adaptive Control of Uncertain Nonlinear Systems*, 1<sup>st</sup> ed. Springer, 2021.
- [۳] V. R. Konasani, S. Kadre, *Machine Learning and Deep Learning Using Python and TensorFlow*, 1<sup>st</sup> ed. McGraw-Hill Education, 2021.
- [۴] T. Letcher, V. M. Fthenakis, *A Comprehensive Guide to Solar Energy Systems*, 1<sup>st</sup> ed. Academic Press, 2018.
- [۵] G. Gharehpetian, M. Mousavi, *Distributed Generation Systems*, 1<sup>st</sup> ed. Butterworth-Heinemann, 2017
- [۶] S. Farahani, *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*, 1<sup>st</sup> ed. Newnes, 2008

## ب) مقالات علمی

- [۷] A. Parizad, S. Mohamadian, M. E. Iranian, and J. M. Guerrero, "Power system real-time emulation: a practical virtual instrumentation to complete electric power system modeling," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, no. 2, pp. 889-900, 2019.
- [۸] M. Abedini, T. Vahabzadeh, S. Ahmadi, M. Karimi, H. Manoochehri, A. Nazeri, M. Karami, M. Arani, F. Aminifar, M. Sanaye-Pasand, "Smart Microgrid Educational Laboratory: An Integrated-Electric and Communications Infrastructures Platform." *Scientia Iranica*, 2020.
- [۹] A. Akhbari, and M. Rahimi, "Performance and stability analysis of grid connected single phase inverters used in solar photovoltaic systems," *Scientia Iranica. Transactions D: Computer Science & Engineering, Electrical*, vol. 26, no. 3, pp. 1637-1651, 2019.
- [۱۰] X. Lu, W. Wang, and J. Ma, "An empirical study of communication infrastructures towards the smart grid: design, implementation, and evaluation," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 4, no. 1, pp. 170-183, 2013.

- 
- [١١] T. de Almeida Oliveira, and E. P. Godoy, "ZigBee wireless dynamic sensor networks: feasibility analysis and implementation guide," in IEEE Sensors Journal, vol. 16, no. 11, pp. 4614-4621, 2016.
  - [١٢] S. F. Zarei, and M. Parniani, "A comprehensive digital protection scheme for low-voltage microgrids with inverter-based and conventional distributed generations," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 32, no. 1, pp. 441-452, 2017.
  - [١٣] S. Akte, I. Nayeem, "Automated Solar Panel With Web Monitoring," American Journal of Engineering Research (AJER), Volume-7, Issue-2, pp-35-44.
  - [١٤] N. Javaid, A. Sharif, A. Mahmood, S. Ahmed, U. Qasim and Z. A. Khan, "Monitoring and Controlling Power Using Zigbee Communications," 2020 Seventh International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications, 2020, pp. 608-613, 107.
  - [١٥] Electricity metering – Data exchange for meter reading, tariff and load control – Part 21: Direct local data exchange, IEC 62056, 2006
  - [١٦] Digi Inc., "XBee®/XBee-PRO S2C Zigbee® User Guide," Jan 2020. Available: <https://bit.ly/3gUOaGb>

**Abstract:**

Renwable energy is the main answer to the world's growing need for energy in the near future, and solar power plants are an efficient pillar in this cycle. In the recent years, electrical engineers have sought ways to monitor the performance and errors of solar power plants online in order to minimize potential damage in addition to saving on monitoring costs and preventing declining solar panel efficiency. Large-scale solar power plants use a large number of dc to ac inverters to convert and distribute input power, which is eventually aggregated and transferred to the national grid. Online and Real-Time monitoring of all inverters in decentralized power plants is very vital to ensure the correct operation, in this regard, detecting possible faults using modern artificial intelligence methods and designing a monitoring system with a suitable graphical interface and in accordance with the needs of power plants has a significant impact on improving monitoring and increasing the efficiency of these power plants.

In the solar power plant intelligent monitoring system, the data are received from the power plant component sensors, which is sent through data exchange modules, for accurate, safe and secure monitoring and using a graphical interface and a combination of state-of-art artificial intelligence methods to detect possible faults are provided to the user.

**Keywords:** Solar Power Plant Monitoring System, Intelligent Fault Detection System, Artificial Intelligence, Neural Network, Smart Energy



University of Tehran



College of Engineering

School of Electrical and Computer Engineering

## **Automation System for Monitoring and Measuring Decentralized Solar Power Plant**

A thesis submitted to the Undergraduate Studies Office

In partial fulfillment of the requirements for

The degree of Bachelor of Science in

Electrical Engineering

**By:**

**Amirhossein Nazeri**

**Supervisor:**

**Dr. Moein Abedini**