



KNO-1202-4803

بررسی سیستم های خورشیدی و نوآوری در افزایش راندمان با پوشش های نانوساختار تغییر پذیر حرارتی

علیرضا عباسی alliareza@yahoo.com

کارشناسی ارشد مهندسی برق سیستم های قدرت ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

چکیده:

در این مقاله، به بررسی جامع سیستم های تولید برق خورشیدی شامل سیستم های متصل به شبکه (On-Grid) ، منفصل از شبکه (Off-Grid) و هیبریدی پرداخته شده است. همچنین اجزای تشکیل دهنده اصلی این سیستم ها از جمله پنل ها، اینورتر، کنترلر شارژ و باتری ها معرفی می شوند. در ادامه، انواع پنل های خورشیدی شامل مونوکریستال، پلی کریستال و پنل های نازک مقایسه شده و ساختار نیمه رسانای n-type و p-type در سلول های خورشیدی و کاربردهای هر کدام مورد بررسی قرار می گیرد.

کلمات کلیدی: سیستم های خورشیدی، فتوولتائیک (PV) ، پنل مونوکریستال، پنل نازک، سلول های n-type و p-type ، افزایش راندمان پنل خورشیدی، پوشش نانوساختار تغییر پذیر حرارتی، سیستم های On-Grid و Off-Grid ، انرژی تجدید پذیر

۱. مقدمه

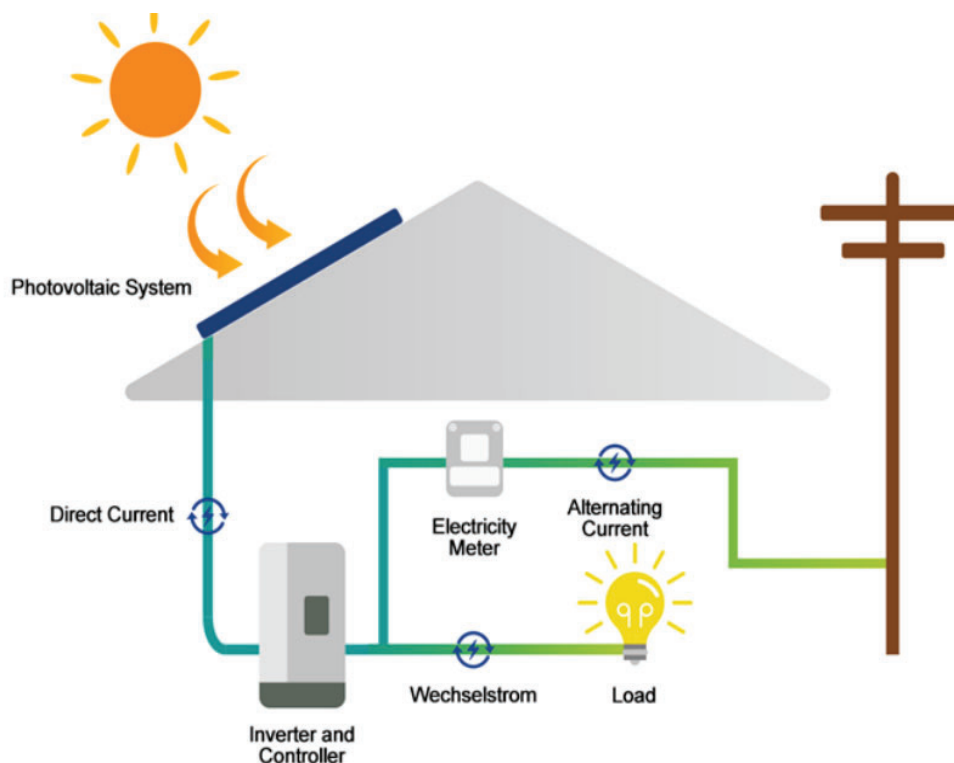
در دهه های اخیر، رشد سریع جمعیت، توسعه شهرنشینی و افزایش مصرف انرژی، چالش های متعددی را در حوزه تأمین انرژی به وجود آورده است. از یک سو منابع انرژی فسیلی در حال کاهش هستند و از سوی دیگر، استفاده بی رویه از این منابع منجر به افزایش آلاینده های زیست محیطی، گرمایش زمین و بحران های زیست محیطی شده است. در این میان، حرکت به سوی استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر به عنوان یک راهکار پایدار، ضروری به نظر می رسد. یکی از مهم ترین و در دسترس ترین منابع انرژی تجدید پذیر، انرژی خورشیدی است. انرژی تابشی خورشید به صورت رایگان، پاک، و نامحدود در سطح زمین در دسترس است و با استفاده از فناوری های فتوولتائیک (PV)، می توان آن را به انرژی الکتریکی قابل استفاده تبدیل کرد. برتری این فناوری در مقایسه با سایر منابع تجدید پذیر، در سادگی نصب، مقیاس پذیری و عمر طولانی آن نهفته است. در این مقاله، پس از معرفی کامل انواع سیستم های خورشیدی و اجزای تشکیل دهنده آن ها، به مقایسه فنی پنل های مختلف و تحلیل ساختارهای n-type و p-type پرداخته می شود. سپس، یک نوآوری پیشنهادی در حوزه پوشش های نانوساختار گرما پاسخ پذیر برای بهینه سازی راندمان پنل ها در شرایط آب و هوایی گرم مطرح می گردد. این نوآوری می تواند به عنوان یک راهکار نوین در کاهش افت عملکرد حرارتی پنل ها و افزایش پایداری سیستم های فتوولتائیک مورد توجه قرار گیرد.

۲. انواع سیستم‌های خورشیدی

۲,۱ سیستم On-Grid (متصل به شبکه)

در این نوع سیستم، برق تولیدی توسط پنل‌های خورشیدی به شبکه برق سراسری تزریق می‌شود. ویژگی‌های آن عبارتند از:

- عدم نیاز به باتری
- هزینه پایین‌تر تجهیزات
- فروش برق مازاد به شبکه
- وابستگی به شبکه در شب یا زمان ابری



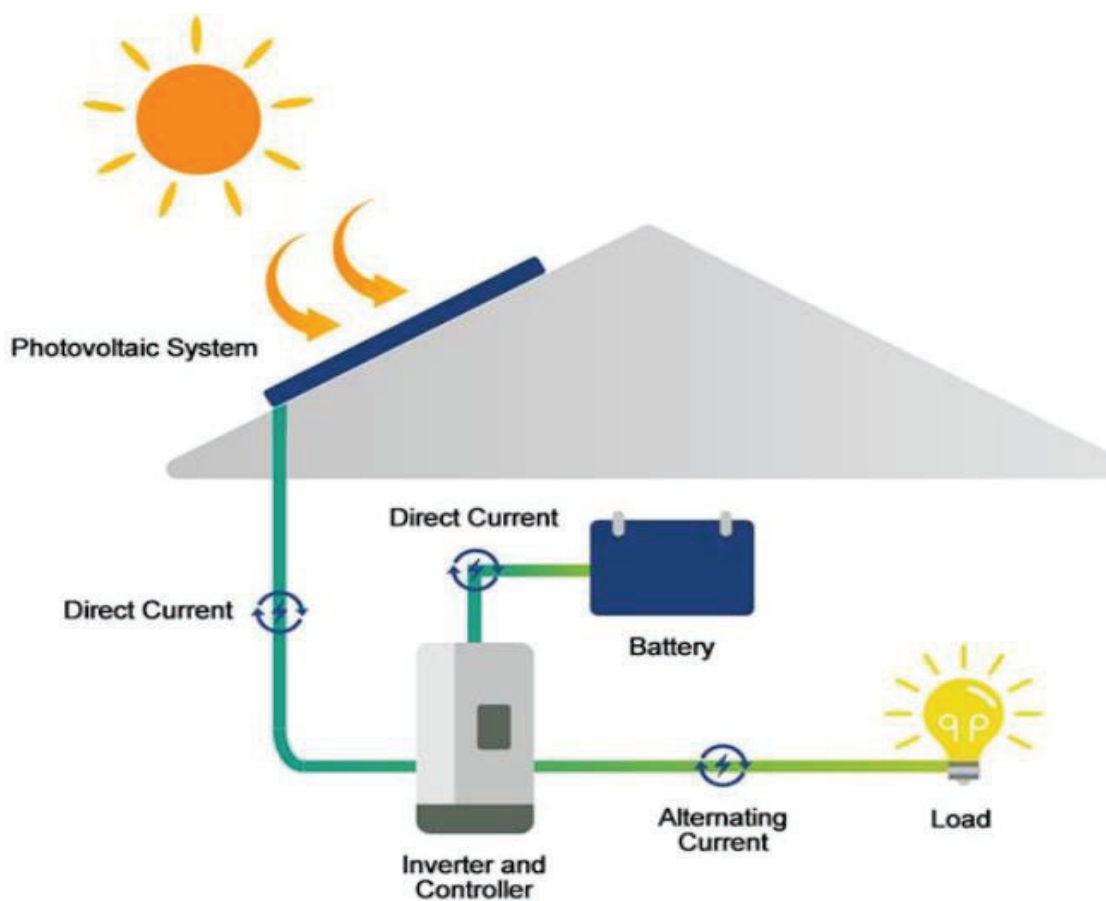
شکل ۱: سیستم On-Grid



۲,۲ سیستم Off-Grid (منفصل از شبکه)

این سیستم‌ها مستقل از شبکه برق عمل می‌کنند و مناسب برای مکان‌هایی هستند که دسترسی به شبکه برق وجود ندارد. ویژگی‌ها:

- نیاز به باتری برای ذخیره‌سازی انرژی
- استقلال کامل از شبکه
- هزینه بیشتر به دلیل نیاز به ذخیره‌ساز

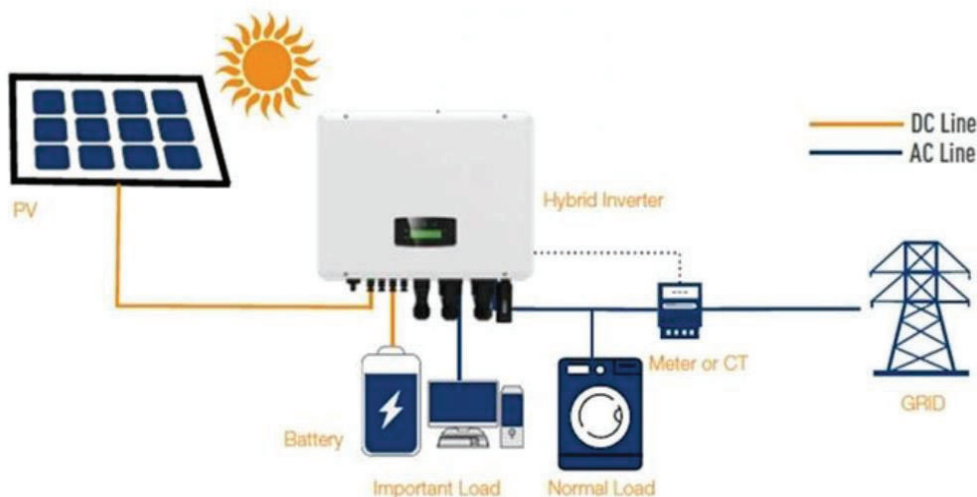


شکل ۲: سیستم Off-Grid

۲,۳ سیستم هیبریدی (Hybrid)

ترکیبی از دو سیستم بالا است. در این نوع سیستم، هم از شبکه استفاده می‌شود و هم از باتری برای ذخیره‌سازی انرژی. ویژگی‌ها:

- پایداری بالا
- مناسب برای مناطق با قطعی مکرر برق
- قابلیت فروش و ذخیره هم‌زمان



شکل ۳: سیستم Hybrid

۳. اجزای اصلی سیستم خورشیدی

هر سیستم خورشیدی متشکل از اجزای زیر است:

- پنل خورشیدی: تبدیل تابش خورشید به جریان الکتریکی DC
- اینورتر: تبدیل جریان DC به AC برای مصرف‌کننده
- کنترلر شارژ: محافظت از باتری‌ها و کنترل ولتاژ شارژ
- باتری: ذخیره انرژی تولیدشده برای استفاده در شب یا هوای ابری
- سازه نگهدارنده: نصب پنل با زاویه و استحکام مناسب
- تابلو برق و سیستم حفاظتی: برای ایمنی و مدیریت توان

۴. انواع پنل‌های خورشیدی:

۴,۱ مونوکریستال (Monocrystalline) :

- راندمان: ۱۸ تا ۲۲ درصد

- ظاهر: مشکی و یکنواخت

- مزایا: عملکرد بهتر در نور کم و دمای بالا

- معایب: قیمت بالا



شکل ۴: پنل‌های خورشیدی

۴,۲ پلی کریستال (Polycrystalline) :

- راندمان: ۱۵ تا ۱۷ درصد

- ظاهر: آبی‌رنگ با بافت بلوری

- مزایا: قیمت مناسب

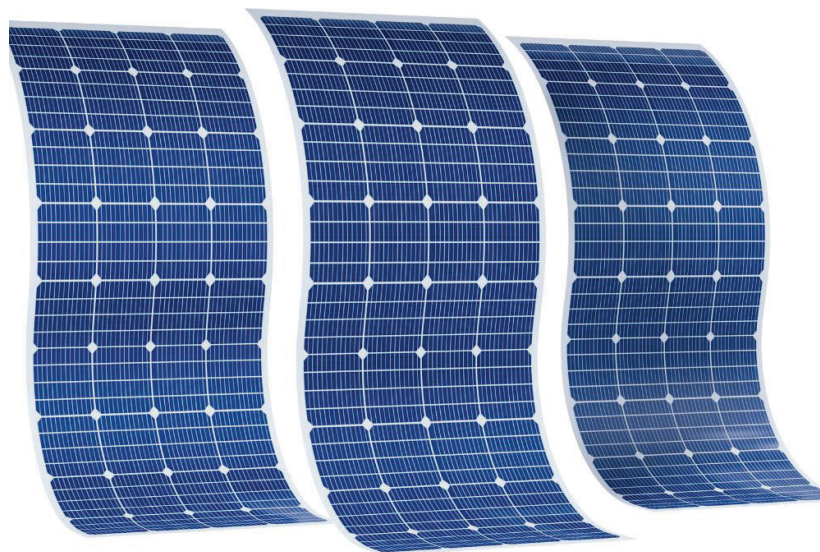
- معایب: عملکرد ضعیف‌تر در نور کم



شکل ۵: Polycrystalline

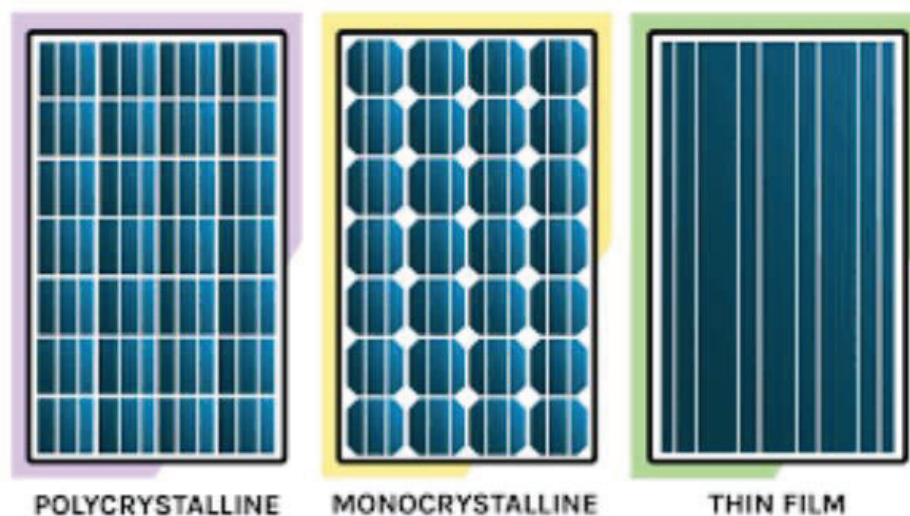
۴,۳ پنل‌های نازک (Thin-film) :

- راندمان: ۱۰ تا ۱۳ درصد
- مزایا: سبک و قابل انعطاف
- معایب: راندمان پایین و طول عمر کمتر



شکل ۶: پنل خورشیدی لایه نازک

انواع پنل ها در یک نگاه:

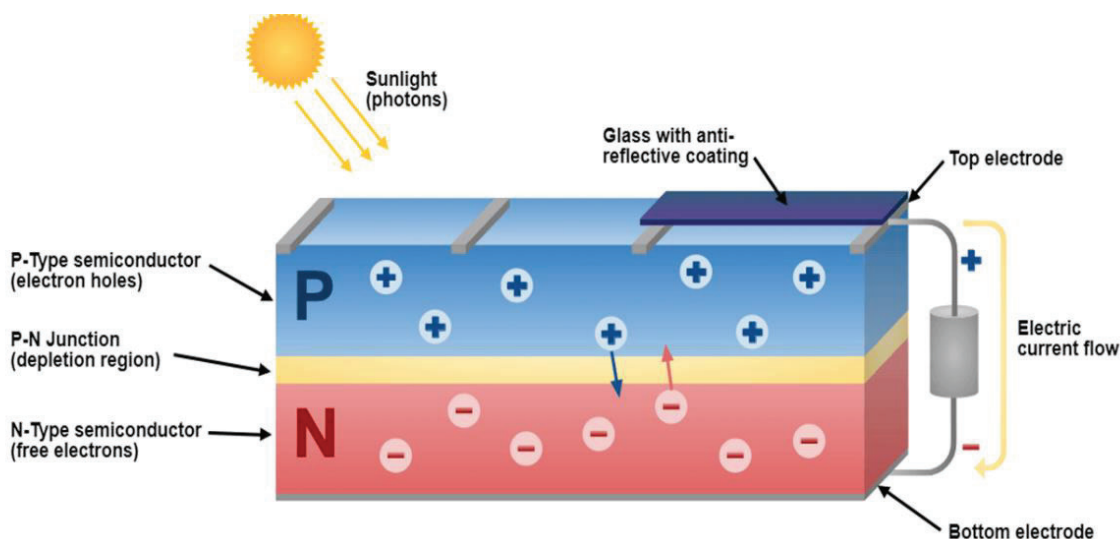


شکل ۷: انواع پنل

۵. ساختار n-type و p-type در سلول های خورشیدی
۵,۱ سلول های p-type:



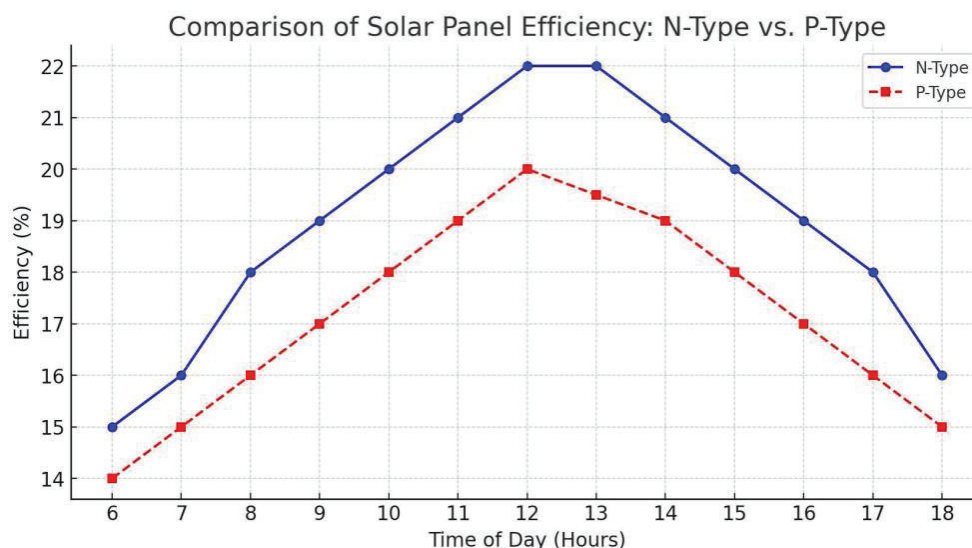
- بیشترین کاربرد تجاری
- سیلیکون با آلاینده بور (مثبت)
- حساس به تابش شدید و LID
- راندمان نسبتاً پایین تر ولی ارزان تر
- ۵,۲ سلول‌های n-type :
- سیلیکون با آلاینده فسفر (منفی)
- مقاوم در برابر LID و دمای بالا
- راندمان بالاتر
- طول عمر بیشتر، ولی قیمت بالاتر



شکل ۸: ساختار p-type و n-type

۵,۳ کاربرد:

- n-type: مناسب برای پروژه‌های صنعتی، مناطق گرم و تابش بالا
- p-type: مناسب برای پروژه‌های خانگی، اقتصادی و مناطق خنک‌تر



مقایسه پنل‌های n-type و p-type

روش‌های افزایش راندمان پنل‌های خورشیدی برای بهبود عملکرد سیستم‌های فتوولتائیک، راهکارهای زیر توصیه می‌شود:

۱. استفاده از پنل‌های n-type به دلیل مقاومت در برابر LID
۲. استفاده از فناوری‌های جدید مانند PERC, HIT یا TOPCon
۳. نصب ردیاب خورشیدی (Solar Tracker) برای دنبال کردن خورشید
۴. نگهداری و تمیزکاری منظم پنل‌ها
۵. استفاده از پوشش‌های ضد بازتاب و نانویی
۵. تهویه و خنک‌سازی مناسب برای کاهش دمای پنل
۶. نصب در زاویه بهینه مطابق موقعیت جغرافیایی
۷. مقدمه استفاده از اینورترهای با راندمان بالا

۶. تکنولوژی PERC در پنل‌های خورشیدی

تکنولوژی PERC (Passivated Emitter and Rear Cell): تا پیش از آن در یک سلول خورشیدی قدیمی، نور خورشید پس از برخورد به سلول خورشیدی، باعث آزاد شدن یک الکترون و تبدیل انرژی می‌شد، اما در این فرآیند، تعدادی از فوتون‌های برخوردکننده، توانایی آزاد کردن الکترون را نداشتند و بعد از عبور از کنار الکترون و برخورد با لایه پشتی سلول، باعث ایجاد حرارت در سلول خورشیدی می‌شدند. یک لایه اضافی در پشت سلول که به بازتاب نور بیشتر و جذب بهتر آن کمک می‌کند و راندمان پنل‌های مونو و پلی را افزایش می‌دهد. امروزه اکثر پنل‌های باکیفیت از این تکنولوژی بهره می‌برند.



پنل‌های بایفیشیال (Bifacial): این پنل‌ها قادرند علاوه بر نور مستقیم از جلو، نوری که به پشت پنل بازتاب می‌شود (مثلاً از سطح زمین یا برف) را نیز جذب و به برق تبدیل کنند. این ویژگی می‌تواند بسته به شرایط نصب (ارتفاع، فاصله از زمین، نوع سطح زمین) تا ۱۰-۲۰٪ تولید انرژی را افزایش دهد و در نیروگاه‌های بزرگ به صرفه است.

پیشنهاد نوآورانه:

استفاده از پوشش نانوساختار تغییرپذیر حرارتی برای بهینه‌سازی عملکرد پنل‌های خورشیدی یکی از چالش‌های مهم در عملکرد پنل‌های خورشیدی، کاهش راندمان در دماهای بالا است. پنل‌ها با افزایش دما، بازدهی کمتری دارند. برای رفع این مشکل، یک نوآوری پیشنهادی در این مقاله استفاده از پوشش نانوساختار تغییرپذیر حرارتی (Thermochromic Nanocoating) است.

ویژگی‌های این نوآوری:

- پوششی نانویی که در دمای معمولی شفاف است اما در دماهای بالا تیره‌تر شده و تابش مادون قرمز را بازتاب می‌دهد.
- جلوگیری از داغ شدن بیش از حد سطح پنل در ساعات ظهر و تابستان. • افزایش طول عمر سلول و کاهش استهلاک حرارتی.
- ترکیب این پوشش با مواد آنتی‌استاتیک و ضدبازتاب (Dust-repellent & Anti-reflective) می‌تواند عملکرد و نگهداری سیستم را همزمان بهبود دهد.
- مزایا: • افزایش راندمان در تابستان تا حدود ۵-۷٪
- کاهش هزینه نگهداری به دلیل کاهش داغ‌شدگی و تجمع گرد و غبار
- امکان استفاده در اقلیم‌های گرم و مرطوب یا بیابانی

نتیجه‌گیری نهایی

در این مقاله، جنبه‌های مختلف فنی، ساختاری و طراحی سیستم‌های خورشیدی بررسی شد. افزودن روش‌های نوین مانند پوشش‌های نانوساختار گرما-پاسخ‌پذیر به عنوان یک نوآوری عملی، می‌تواند راهکاری مؤثر برای بهینه‌سازی سیستم‌های خورشیدی در آینده باشد. ترکیب این رویکرد با فناوری پنل‌های n-type و طراحی هوشمند، افق جدیدی برای افزایش راندمان و پایداری انرژی در مقیاس‌های خانگی و صنعتی فراهم می‌کند.



- [1] Green, M. A. Solar Cells: Operating Principles, Technology, and System Applications. Prentice-Hall, 1982.
- [2] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. Photovoltaics Report, 2024.
- [3] National Renewable Energy Laboratory (NREL). Best Research-Cell Efficiency Chart and PV System Basics.
- [4] JA Solar. Datasheet – JAM60S20-390/MR (Mono PERC Module), 2024.
- [5] Longi Solar. Datasheet – Hi-MO N-Type Monofacial Module, 2024.
- [6] Trina Solar. Vertex S+ Datasheet – Dual Glass N-Type Module, 2024.
- [7] یوسفی، ج. و محمودی، د. (1394). امکان‌سنجی استفاده از سیستم‌های هیبریدی خورشیدی - باتری در مناطق با قطعی مکرر برق. فصلنامه پژوهش‌های انرژی ایران، ۴(۲)، ۶۵-۷۸.
- [8] شریفی، ک. و محمدی، ح. (1397). کاربرد فناوری PERC و پنل‌های دوطرفه (Bifacial) در افزایش راندمان نیروگاه‌های خورشیدی. همایش ملی انرژی‌های نو و پاک، دانشگاه تهران.
- [9] حسینی، ر. و قربانی، س. (1396). مقایسه اقتصادی سیستم‌های On-Grid و Off-Grid در مناطق روستایی ایران. مجله مهندسی برق و قدرت ایران، ۱۱(۱)، ۷۷-۹۰.