کاربرد لنز فرنل در شرایط آب و هوایی نامساعد جهت افزایش بازده سیستم‌های فتوولتائیک

طاهره پورسیف[۱]
داریس کلاوند[۲]، روژین نظری[۲]، صدف کوچک خانی[۲]، پریسا ربیعی[۲]
راحیل اکبری[۳]

[۱]دبیر پژوهش موسسه آموزشی حضرت معصومه(س) و فارغ‌التحصیل مهندسی برق کنترل دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، t. pourseif@gmail.com

[۲]پژوهشگر مجتمع آموزشی حضرت معصومه(س)، دپارتمان الکترونیک و رباتیک، تهران، ایران

[۳]فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی برق مخابرات دانشگاه سهند، تبریز، ایران، akbari.rahil@gmail.com

چکیده: سلول‌های خورشیدی جهت تبدیل انرژی نورانی به انرژی الکتریکی در دنیای امروز بسیار کاربرد فراوانی دارند. اما این سیستم‌ها دارای محدودیت‌هایی اعم از روزهای بارانی و ابری هستند که در این زمان‌ها، نور کمتری دریافت کرده و درنتیجه انرژی الکتریکی کمتری تولید می‌گردد. در این پژوهش به معرفی عدسی فرنل به‌عنوان یک جمع‌کننده و متراکم‌کننده منبع نور و رفع این معضل پرداخته شده است. با طراحی این لنزها بر روی سیستم‌های فتوولتائیک، حداکثر انرژی خورشیدی دریافت و تولید انرژی الکتریکی با بالاترین بازده در شرایط آب و هوایی نامساعد صورت می‌گیرد.

کلیدواژه: *انرژی خورشیدی، سلول خورشیدی، سیستم فتوولتائیک، شرایط آب و هوایی نامساعد، لنز فرنل*

۱- مقدمه

تبدیل مستقیم انرژی موجود در نور خورشید به الکتریسیته، بیش از یک قرن پدیده‌ای آزمایشگاهی بود. تحولات مهم در این زمینه از نیمه قرن بیستم آغاز گردید. در ابتدا انگیزه مهم تأمین انرژی سفینه‌های فضایی بود و به‌تدریج انرژی خورشیدی کاربردهای گسترده‌تری یافت [۱].

سلول‌های خورشیدی از اثر فتوولتائیک استفاده می‌کنند که اولین بار در سال ۱۸۳۹ توسط بکرل کشف شد. نخستین ماده جامد که تحت تابش نور، ولتاژی قابل‌توجه و وابسته به نور تولید کرد سلنیوم در سال ۱۸۷۶ بود. سپس این اثر در اکسید مس مشاهده شد و نشان داد برای کاربرد فتوولتائیک، نیم‌رساناها محتمل‌ترین گروه مواد هستند. پیشرفت‌های این فناوری با ساخت اتصال مثبت- منفی سیلیکون به‌صورت نفوذی در سال ۱۹۵۴ آغاز شد. این سلول درواقع پدر سلول-های سیلیکونی امروزی بود و با کارایی درخور توجهی نور را تبدیل به الکتریسیته می‌کرد[۲]. هم‌زمان با توسعه سلول‌های سیلیکونی نخستین سلول با اتصال ناهمگون ساخته شد که نقطه ابتدایی بر تحقیقات بسیار در زمینه سلول‌های خورشیدی لایه نازک بود. پس از دهه ۱۹۸۰ سلول‌های خورشیدی از نظر مواد و طراحی تنوع بسیاری یافتند . نخستین کاربرد عملی سلول‌های خورشیدی در اکتشافات فضایی بود. این اتفاق در سال ۱۹۵۸ رخ داد. تحولات خاورمیانه و تحریم نفتی دهه ۱۹۷۰ به همراه باور به فنا

پذیربودن سوخت‌های فسیلی، محرک اصلی گسترده‌تر شدن کاربرد سلول‌های خورشیدی به‌عنوان یک منبع انرژی عمومی بود[۳].

استفاده از سلول‌های خورشیدی در بخش‌های مختلف صنعتی، تجاری و الکتریکی دارای مزایایی همچون قابلیت اطمینان بالا، نداشتن هزینه سوخت مصرفی، نداشتن نویز و فرسایش به سبب عدم استفاده از قطعات متحرک، قابلیت اتصال به شبکه بار و امکان توسعه متناسب با افزایش بار، عمر طولانی، حداقل ۲۰ سال و...می‌باشد. اما با توجه به مزایای فوق دارای محدودیت‌هایی است که امکان استفاده در تمام شرایط محیطی را به آن نمی‌دهد. از محدودیت‌های اصلی این سلول‌ها، شب‌ها و نبود نور خورشید است که توانایی ذخیره انرژی نور در تاریکی را ندارد. محدودیت دیگر آن در روزهای ابری و بارانی بازده سلول خورشیدی کاهش یافته و تمام نور تابیده شده را نمی‌توانند ذخیره کنند[۴]. با توجه به محدودیت‌های فوق، برای رفع معضل کاهش بازدهی در روز ابری و بارانی، در این پژوهش از تمرکزکننده نور استفاده شده است. انواع مختلفی تمرکزکننده وجود دارد ولی آنچه در این مقاله مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است، استفاده از لنز فرنل به‌عنوان جمع‌کننده نور و دریافت حداکثری نور خورشید در روزهای ابری و بارانی است. این کار سبب افزایش راندمان سلول‌های خورشیدی در تمام شرایط آب و هوایی می‌شود و از نظر هزینه و اقتصادی، نصب و نگهداری بسیار به‌صرفه می‌باشد.

پیکره‌بندی این مقاله بدین‌صورت می‌باشد که: پس از مقدمه، در بخش دوم در مورد انرژی خورشیدی بحث می‌گردد. در بخش سوم اهمیت سیستم‌های فتوولتائیک بیان می‌شود و در بخش بعد روش‌های افزایش راندمان این سیستم‌ها مورد تحلیل قرار می‌گیرد. لنز فرنل در بخش پنجم معرفی می‌شود و چگونگی عملکرد، شکل کلی، مزایا و درنهایت طراحی آن برای دریافت حداکثر نور خورشید توسط سلول‌های خورشیدی در شرایط آب و هوایی نامساعد به‌طور کامل شرح داده شده است. در بخش آخر به نتیجه‌گیری عملکرد مناسب این لنز جهت بالا بردن بازده سلول خورشیدی در روزهای بارانی و ابری پرداخته شده است.

۲- انرژی خورشیدی

انرژی تشعشعی خروجی از خورشید از برهمکنش گدازان هسته‌ای به دست می‌آید . در هر ثانیه حدود ۶×۱۰^{۱۱} کیلوگرم هیدروژن با کاهش جرم خالص ۴×۱۰^{۳} کیلوگرم به هلیوم تبدیل می‌شود که از طریق رابطه $(E=mc^2)$ به ۴×۱۰^{۲} j انرژی تبدیل می‌شود. این انرژی اصولاً به‌صورت تشعشع الکترومغناطیسی در ناحیه ماوراءبنفش تا مادون‌قرمز (μm) ۰,۲-۳) گسیل می‌شود. شدت تشعشع خورشیدی در فضای آزاد در فاصله متوسط زمین از خورشید به‌صورت ثابت خورشیدی تعریف می‌شود و دارای مقدار $^{w}/_{m^2}$ ۱۳۵۳ است[۲-۳].

میزان انرژی خورشیدی پس از عبور از جو کاهش پیدا کرده و به Kw (در مترمربع) در سطح زمین و دریا می‌رسد یعنی در صورت جذب کامل انرژی خورشیدی در یک مترمربع می‌توان ۱۰ لامپ ۱۰۰ واتی را روشن کرد. ایران از مناطق بسیار مستعد برای بهره‌گیری از این انرژی است، به‌طوری‌که میزان تابش متوسط روزانه آفتاب به معادل Kw ۴ ساعت بر مترمربع می‌رسد و متوسط ساعات آفتاب از ۲۸۰۰ در سال بیشتر است که رقم در شهرهای کویری کشور مانند یزد بیشتر بوده به ۳۲۰۰ ساعت نیز می‌رسد[۵].

ازآنجایی‌که انرژی خورشیدی جزء پیوسته‌ای از زندگی روزمره روی کره زمین است، بشر از طلوع عصر فناوری سعی کرده است که توان این انرژی را برای اهداف مفید مهار نماید. روش‌های فنی گوناگونی به وجود آمده و تکمیل شده است یکی از روش‌های استفاده از انرژی خورشیدی به‌کارگیری سیستم‌های فتوولتایی می‌باشد. سیستم‌های فتوولتایی در اصل برای کاربردهای فضایی ابداع و تکمیل شده بودند. برای تبدیل انرژی نوری به الکتریکی از اثر فتوولتایی انرژی استفاده می‌شود[۱-۳].

تمام قطعات فتوولتایی تشکیل شده از یک پیوند p-n با مساحت بزرگ هستند که ولتاژ فوری تولید شده در این

پیوندگاه پدیدار می‌شود. سلول‌های خورشیدی بلورهایی هستند که از لایه‌های نازک از جنس نیمه‌رسانا ساخته شده‌اند. فوتون‌های موجود در نور خورشید انرژی موردنیاز الکترون‌ها برای جابجایی از یک‌لایه‌ی نیمه‌هادی به لایه دیگر را تأمین می‌کنند و ولت الکترون‌ها یک جریان را به وجود می‌آورند و این اثر، اثر فتوولتایی گفته می‌شود. درنهایت سلول‌های فتوولتایی به هم متصل شده و به‌صورت مدول درآورده می‌شوند. مدول‌هایی که بر روی یک صفحه نصف شده‌اند و زاویه و جهت صحیح برای حداکثر گردآوری فصلی و سالی به آن‌ها داده شده است، پانل فتوولتایی و یا شبکه فتوولتایی نامیده می‌شود. این سلول‌های خورشیدی، جریان مستقیم DC الکتریسیته را فراهم می‌کند که به کمک تبدیل‌کننده‌هایی به هر ولتاژ dc یا ac مطلوب قابل تبدیل می‌باشد و می‌تواند برای شارژ کردن باتری‌هایی که قابلیت شارژ دوباره را دارند مورد استفاده قرار گیرد[۳].

۳- اهمیت سیستم‌های فتوولتائیک

منابع انرژی فتوولتائیک یکی از تکنولوژی‌هایی اصلی جهت تأسیس انرژی در آینده است امروزه کاربرد منبع نو و پاک در حال حاضر افزایش بوده و روند همگانی نمودن آن و بهبود شرایط استفاده از آن مرتب در حال تحقیق می‌باشد. فتوولتائیک تبدیل مستقیم انرژی تابش خورشیدی به انرژی الکتریکی است. جذب نور فوتون‌ها در یک پیوند نیمه‌هادی $p-n$ بدون بایاس در شرایط معین می‌تواند باعث تولید یک جریان الکتریکی شود[۵].

ظرفیت فعلی آرایه‌های PV خورشیدی مورداستفاده در دنیا برحسب پیک وات (ظرفیت ایستگاه خورشیدی در حداکثر توان) در مقایسه با کل توان تولیدی از سایر منابع، خیلی پایین می‌باشد، ولی کاربردهای فراوانی با مزایای عالی جهت این سیستم به وجود آمده است. گسترده‌ای که در آینده، منابع توان pv به‌طور چشمگیری در آن مورداستفاده واقع می‌شوند، خانه‌ای می‌باشد ولی در برخی استفاده‌های کوچک، بهره‌گیری از pv به سمت همگانی شدن می‌رود[۴-۶].

نگرانی از وضعیت شرایط زیست‌محیطی و تمام شدن سوخت-های فسیلی نگاه‌ها را به سمت خورشید معطوف کرده است، تا از این انرژی در مقیاس‌های بزرگ استفاده گردد. سیستم‌های PV به سبب داشتن مزایای زیاد به‌سرعت در حال گسترش هستند و روزبه‌روز نقش مهم‌تری در تکنولوژی تولید توان الکتریکی بازی می‌کنند. نور خورشید یک انرژی تجدیدپذیر بوده و مسائل و مشکلات زیست‌محیطی و محدودیت‌های آشکار و پنهان سایر منابع انرژی را ندارد و لذا جذابیت آن به‌طور چشمگیری روبه افزایش است. فناوری فتوولتائیک تقویت اهمیت منابع نو در جهت دستیابی به منابعی است که سوخت‌های فسیلی فاقد آن هستند. علاوه بر مزایایی که گفته شد، مزایای دیگری مانند، کاهش هزینه‌ها و افزایش اعتمادپذیری، پاکیزگی، پایان‌ناپذیری، عدم سروصدا، عدم وجود قطعات متحرک در سیستم که سبب خوردگی و شکستگی می‌شود، تعمیرات ساده و نگهداری ساده بدون نیاز به روغن یا فیلترهای مختلف، سبب گشته استفاده از این سیستم‌ها در بخش‌های مختلفی همچون، حفاظ‌های الکتریکی در بخش کشاورزی و دامداری، سیستم‌های حافظت از آب جهت ضدعفونی و تصفیه آب آشامیدنی که این سیستم‌ها نور ماوراءبنفش را ذخیره می‌نمایند و با آن باکتری‌های آب را از بین می‌برند، برق‌رسانی روستاها، ارتباطات تلفنی و سیستم‌های کنترلی از فاصله دور، سیستم‌های توانی اضطراری، ذخیره کردن خون‌ها در یخچال و واکسن آبله برای مناطق دور و...روزبه‌روز بیشتر گردد[۵-۷].

با توجه به مزایای نام‌برده، اما سیستم فتوولتائیک دارای محدودیت‌هایی نظیر زیر می‌باشد که امکان استفاده از آن را در تمام شرایط محیطی سخت می‌کند و میزان بازدهی ان را کاهش می‌دهد.

۱- بالا بودن هزینه و قیمت اولیه تجهیزات مورداستفاده در مقایسه با سایر انرژی‌های معمول (۳۷٪ هزینه کل سیستم را آرایه خورشیدی، ۳۰٪ هزینه را باتری ذخیره‌سازی و سایر تجهیزات و سیستم کنترل مابقی هزینه را تشکیل می‌دهند[۳].

۲- پایین بودن راندمان در ساختارهای فعلی، به دلیل اینکه تمامی نور تابیده شده بر سطح پیوند جذب نگردیده و نیز سلول دارای تلفات اهمی است. ضمناً باید توجه داشت که آرایه‌های خورشیدی به‌ندرت در نقطه حداکثر توان خودکار می‌کنند.
۳- کاهش بازدهی در تأمین برق در شرایط آب و هوایی ابری و بارانی

لذا اگر به طریقی بتوان راندمان این سیستم‌ها را بالا برد، می‌توان در هزینه آن‌ها صرفه‌جویی نمود. یعنی به‌جای داشتن یک آرایه بزرگ، آرایه کوچک با همان توان خروجی را داشته باشیم. بنابراین مسئله راندمان در سلول‌های خورشیدی بسیار حائز اهمیت است. زیرا راندمان بالاتر به مفهوم کاهش ابعاد سلول‌های خورشیدی و به‌تناسب آن کاهش وزن سلول‌ها و نیز وزن سایر زیرسیستم‌های مربوط نظیر سیستم کنترل وضعیت آرایه و ساختارهای جانبی خواهد بود[۶].

بر این اساس اگر بتوان به طریقی تلفات نورانی و اهمی سلول‌های خورشیدی را کاهش داد و همچنین بر اساس سختی pv سلول حداکثر توان را به بار تحویل دهیم، استفاده بهینه‌ای از آرایه خواهیم داشت.

۴- روش‌های افزایش راندمان سیستم‌های فتوولتائیک

برای افزایش راندمان سیستم‌های خورشیدی از روش‌های متعدد (مکانیکی- الکتریکی) استفاده می‌شود که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از[۴-۷]:

- **بهبود فرآیند ساخت آرایه خورشیدی** : تاکنون تحقیقات و تلاش‌های فراوانی در جهت بهبود مواد نیمه‌رسانای بکار رفته در آرایه خورشیدی و ساخت این سلول‌ها انجام شده است.
- **کنترل سطح مؤثر تابش** : این کار با استفاده از کنترل‌کننده‌های جستجوگر انجام می‌شود.
- **افزایش تراکم نوری** : نور خورشید را می‌توان با استفاده از آینه‌ها و عدسی‌ها کانونی نمود. تراکم نوری با جانشین کردن یک سطح متراکم‌کننده به‌جای مساحت بزرگ سلول، رهیافت جالب و قابل انعطافی جهت افزایش راندمان ارائه می‌دهد.
- **استفاده از پوشش ضد بازتاب مناسب**
- **ساخت سلول‌ها با سطوح برجسته**
- **تغییر آرایش سلول‌های خورشیدی به‌صورت سری و موازی** : این کار تقریبی از حداکثر توان انتقالی را می‌دهد.
- **تغییر تعداد باطری‌ها**: این کار نیاز به مدارات سخت-افزاری زیاد و پیچیده‌ای دارد.
- **انتخاب بهینه نقطه کار سیستم خورشیدی با استفاده از دنبال‌کننده‌ها** : این وسایل، ساختارهای الکترونیکی هستند که توان خروجی آرایه را کنترل می‌کنند و لذا با این روش نقطه کار سیستم نزدیک نقطه کار بهینه سلول‌های خورشیدی انتخاب می‌شود.

۵- لنز فرنل

لنزهای فرنل یک نوع از لنزهایی هستند که توسط فیزیکدان فرانسوی آگوستین جین فرنل[۲] برای فانوس دریایی گسترش یافته است . طراحی این اجازه را به ساختمان لنزهایی با روزنه‌ی بزرگ و طول کانونی کوتاه بدون حجم ظرفیت موادی که نیازمند لنزهای با طراحی متداول هستند می‌دهد .در مقایسه با لنزهای متداول حجیم، لنزهای فرنل نازک‌تر، بزرگتر و صاف‌تر و نورهای مورب بیشتری را از یک منبع نوری دریافت می‌کند ، بنابراین اجازه می‌دهد فانوس دریایی از فاصله‌ی بیشتری دیده شود [۸].

لنزهای فرنل می‌توانند برای بزرگ کردن، تمرکز و مراحل تصویرسازی لایه‌های مسطح قالب‌گیری شوند. لنزهای فرنل

[۲] Augustin-Jean Fresnel

صنعتی و تجاری به شکل‌های مربع، مستطیل و دایره درمیایند اما آن‌ها می‌توانند با کاربردهای علمی و تولیدی شما به هر شکلی دربیایند. برخلاف لنزهای شیشه‌ای سنتی، لنزهای فرنل معمولاً از نظر قیمتی به‌صرفه‌تر و ساخته‌شده از مواد پلاستیکی سبک تا زمانی که هنوز تصویرسازی باکیفیت پیشنهاد می‌شوند هستند [۹].

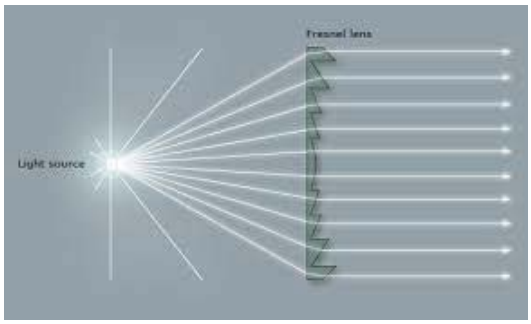
در کنار ذره‌بین‌ها استفاده و کاربردهای معمول به‌کاربرده شده‌ی لنزهای فرنل برای مخارج کلی و پروژکتورهای تلویزیون، اقلامLED مثل صفحه‌نمایش‌های بزرگ و کاربردهای لامپ‌هایی که در استفاده از نشر و منقبض کننده-ی سیستم‌ها برای جمع‌آوری نور و پروژه‌های انرژی خورشیدی شرکت می‌کنند. لنزهای فرنل می‌توانند در حرکت ردیاب، دوربین‌ها و زنگ هشدار سارق یافت شوند. به‌علاوه، لنزهای صنعتی فرنل برای چراغ دستی‌های اتوماتیک، سیستم‌های نوری فرود برای سفینه، چراغ نورافکن‌ها و برج فانوس دریایی به کار برده می‌شود شکل۱ نمایی از این لنز را نمایش داده است[۱۰].



شکل۱: لنز فرنل پلاستیکی

۵-۱ چگونگی عملکرد لنز فرنل

در ادامه نحوه تمرکز نور در لنز فرنل نشان داده شده است.



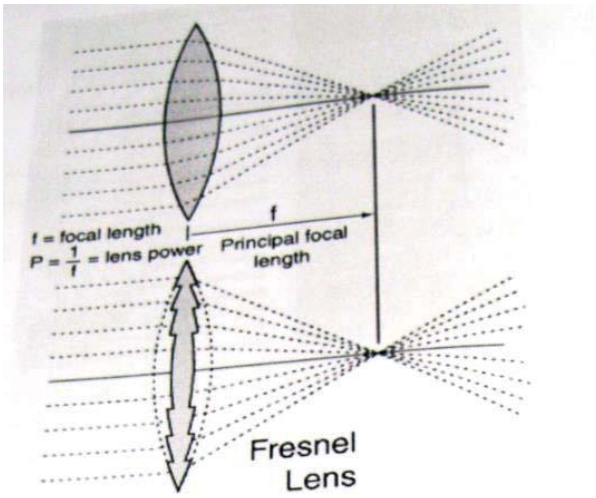
شکل۲: چگونگی تمرکز نور یک لنز فرنل

با توجه به شکل فوق، لنزهای فرنل مقدار زیادی از مواد موردنیاز در مقایسه با لنزهای کروی متداول توسط تقسیم لنزها به مجموعه‌ای از بخش‌های هم‌محور حلقه‌ایی که با نام"Fresnel zones"شناخته شده است را کاهش می‌دهد. در تئوری نواحی زیادی مثل این به‌طور نامحدود وجود دارد. در اولین تغییرات لنزها، هر منطقه عملاً منشور جدا هستند[۱۰-۱۱]. اگرچه لنزهای فرنل ممکن است مثل تکه-ایی از شیشه نمایان شوند، آزمایش دقیق‌تر زیاد بودن تکه‌های کوچک‌تر را آشکار می‌کند .ذره‌ی تکی لنزهای فرنل بعدها تولید شده، برای استفاده نورافکن ماشین، ترمز، توقف خودرو، تغییر سیگنال لنزها و غیره بوده است. در هر یک از این مناطق، ضخامت کلی لنزها کاهش می‌یابد ، تقسیم‌بندی مؤثر سطح پیوسته لنزها به مجموعه‌ای از همان انحنا ،به همراه ناپیوستگی گام‌به‌گام بین آن‌ها لنزهای فرنل می‌تواند با عنوان نظم منشورهای چیده شده در یک شکل مدور به همراه منشورها در کناره‌ها و تقریباً مرکز صاف محدب در نظر گرفته شود[۱۲].

طراحی لنزهای فرنل اجازه می‌دهد که یک کاهش اساسی در ضخامت (و همچنین در حجم و مقدار مواد)، در هزینه‌ی کاهش یافته کیفیت تصویربرداری لنزها صورت بگیرد،که چرا دقت کاربردهای تصویر مثل عکس‌برداری هنوز از لنزهای بزرگ متداول (غیر فرنلی) استفاده می‌کنند. لنزهای فرنل معمولاً از شیشه یا پلاستیک ساخته شده‌اند که در بسیاری موارد آن‌ها بسیار نازک و صاف، تقریباً منعطف به همراه ضخامت ۱به ۵ میلی‌متر هستند[۱۲].

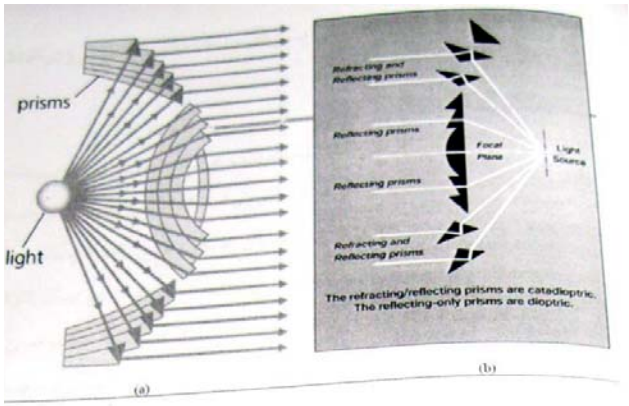
۵-۲ شکل کلی لنزهای فرنل

لنز فرنل مانند لنز معمولی است که بر روی آن حلقه‌های نازکی بریده شده است، که اگر پله‌های به وجود آمده روی آن باریک باشند سطح هر پله به‌صورت مخروطی درمی‌آید، نه کروی. این لنز به‌طور مشهود مجموعه‌ای از منشورهای زیادی است که در شکل ۳ نشان داده شده است[۱۳].



شکل۳: نمای کلی لنز فرنل

شکل۴ نیز نشان می‌دهد که لنز فرنل چگونه کار می‌کند که باریکه‌های نور را در یک نقطه متمرکز می‌کند و یک باریکه متمرکز با شدت و نور بالا به وجود می‌آورد. منشور نور را شکست داده و منعکس می‌کنند[۱۴].



شکل۴: نمایش چگونگی کارکرد لنز فرنل

در مقایسه با لنزهای معمولی که ٪۸۳ از نور عبوری خود را تلف می‌کنند، لنزهای فرنل فقط ٪۱۷، نور عبوری خود را تلف می‌کنند که بسیار قابل توجه است.

۵-۳ مزایای لنزهای فرنل

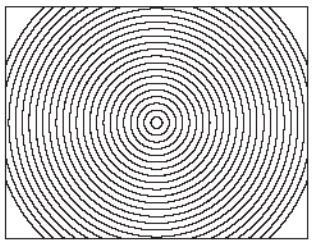
این لنزها دارای مزایای زیادی هستند که در زیر به تعدادی از آن‌ها اشاره شده است[۱۳-۱۵]:

۱- لنزهای فرنل می‌توانند به علت ضخامت کمتر از ۴mm در اندازه‌های بسیار بزرگ و وزن بسیار کم طراحی و ساخته شوند درنتیجه قیمت آن‌ها ارزان‌تر از عدسی‌های سنتی خواهد بود.
۲- لنزهای فرنل به علت طول کانونی کوتاه می‌توانند نقطه‌ای کوچک‌تر بر روی صفحه‌نمایش بیاندازند.
۳- لنزهای فرنل به علت وزن کم و قطر زیادی که دارند نور بیشتری از منبع می‌گیرند.

با توجه به همین مزایا، این لنزها کاربردهای بسیاری دارند که در این پژوهش به‌عنوان متراکم‌کننده نور در شرایط آب و هوایی نامساعد برای تولید انرژی الکتریکی توسط سیستم‌های فتوولتائیک استفاده شده است.

۵-۴ طراحی لنز فرنل خطی برای یک منبع نیروی الکتریکی خورشیدی

لنز فرنل یک صفحه نازک می‌باشد که یک طرف آن مسطح بوده و طرف دیگر آن شیارهای طولی ریز دارد. این لنز معمولاً از صفحات پلاستیکی آکریلیک ساخته می‌شود. سیستم لنز فرنل به علت فواید ذاتی خود به انواع دیگر برتری دارد اما عمده‌ترین مزیت آن این است که نور را متمرکز می‌کند. لنزهای صاف توسط برش شیارهای مدور هم‌مرکز به شیشه یا صفحه پلاستیکی ساخته شده‌اند . شکل۵ لنزهای صاف با برش شیاری را نمایش داده است[۱۴].



شکل۵: لنزهای صاف تولید شده توسط برش شیارهای مدور هم‌مرکز

با توجه به شکل۶، این‌گونه لنزها، با نصب آن‌ها بر روی سلول-های خورشیدی، حداکثر انرژی خورشیدی وارد به سلول را دریافت نموده و در روزهای بارانی و ابری بسیار مناسب بوده و عملکرد مناسبی نسبت به زمانی که از این لنزها استفاده نمی‌شود، دارد. شکل زیر نحوه استفاده از این لنزها را بر روی سلول‌های خورشیدی نشان می‌دهد[۱۳].



شکل۶: نصب لنز فرنل بر روی سلول خورشیدی

۶- نتیجه‌گیری

سیستم‌های PV به‌طور عمده در مناطق آفتاب خیز و در کاربردهای مقیاس کوچک و دور از شبکه قدرت و جهت تغذیه بارهای ایزوله در مکان‌های دور مورد استفاده واقع می‌شوند. با توجه به مزایای زیاد این سیستم‌ها نظیر طول عمر بالا، افزایش بازدهی، قابلیت نصب در همه مکان‌ها و تعمیر و نگهداری آسان، کاهش سروصدا، پاکیزگی و پایدار بودن، دارای محدودیت‌هایی نظیر کاهش بازدهی تولید برق در شرایط آب و هوایی ابری و بارانی می‌باشد. در این مقاله برای افزایش بازدهی در شرایط نامساعد، از لنز فرنل به‌عنوان جمع-کننده نور خورشید به‌عنوان حداکثر دریافتی و تولید نیروی الکتریکی استفاده شده است. لنزهای فرنل می‌توانند برای بزرگ کردن ،تمرکز و مراحل تصویرسازی لایه‌های مسطح قالب‌گیری شوند. لنزهای فرنل صنعتی و تجاری به شکل‌های مربع، مستطیل و دایره درمی‌آیند اما آن‌ها می‌توانند با کاربردهای علمی و تولیدی شما به هر شکلی دربیایند. برخلاف لنزهای شیشه‌ای سنتی، لنزهای فرنل معمولاً از نظر قیمتی به‌صرفه‌تر و ساخته شده از مواد پلاستیکی سبک هستند که با قرار گرفتن بر روی سلول خورشیدی، عملیات تمرکز نور خورشید را در همه شرایط اب و هوایی اعم از ابری، بارانی و... انجام می‌دهد.

۷- قدردانی

در این مقاله، از مدیریت محترم مجموعه آموزشی حضرت معصومه(س) سرکار خانم لیلا مظلومی به جهت همکاری و در اختیار گذاشتن شرایط پژوهش و دانشگاه فنی دکتر شریعتی تشکر و قدردانی می‌شود.

۸- منابع

[1] Hirschl, Ch, M. Biebl–Rydlo, M. DeBiasio, W. Mühleisen, L. Neumaier, W. Scherf, G. Oreski et al. "Determining the degree of crosslinking of ethylene vinyl acetate photovoltaic module encapsulants—A comparative study." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 116 (2013): 203-218.

[2] Louwen, Atse, Wilfried Van Sark, Ruud Schropp, and André Faaij. "A cost roadmap for silicon heterojunction solar cells." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 147 (2016): 295-314.

[3] Latunussa, Cynthia EL, Fulvio Ardente, Gian Andrea Blengini, and Lucia Mancini. "Life Cycle Assessment of an innovative recycling process for crystalline silicon photovoltaic panels." *Solar*

energy materials and solar cells 156 (2016): 101-111.

[4] Ma, Zhiwei, Huashan Bao, and Anthony Paul Roskilly. "Study on solidification process of sodium acetate trihydrate for seasonal solar thermal energy storage." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 172 (2017): 99-107.

[5] Grant, N. E., T. C. Kho, K. C. Fong, E. Franklin, K. R. McIntosh, M. Stocks, Y. Wan et al. "Anodic oxidations: Excellent process durability and surface passivation for high efficiency silicon solar cells." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 203 (2019): 110155.

[6] Besharat, Fariba, Ali A. Dehghan, and Ahmad R. Faghih. "Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21 (2013): 798-821.

[7] El-Sayed, M. M., AA Abou El-Ela, and Ragab A. El-Sehiemy. "Effect of photovoltaic system on power quality in electrical distribution networks." In *2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, pp. 1005-1012. IEEE, 2016.

[8] Huang, Hulin, Yuehong Su, Yibing Gao, and Saffa Riffat. "Design analysis of a Fresnel lens concentrating PV cell." *International Journal of Low-Carbon Technologies* 6, no. 3 (2011): 165-170.

[9] Jing, Lei, Hua Liu, Yao Wang, Wenbin Xu, Hongxin Zhang, and Zhenwu Lu. "Design and optimization of Fresnel lens for high concentration photovoltaic system." *International Journal of Photoenergy* 2014 (2014).

[10] Qandil, Hassan, Shuping Wang, and Weihuan Zhao. "Application-based design of the Fresnel lens solar concentrator." *Renewables: Wind, Water, and Solar* 6, no. 1 (2019): 3.

[11] Zimmermann, Florian, Berit Schmitz, Lasse Klingbeil, and Heiner Kuhlmann. "GPS multipath analysis using Fresnel zones." *Sensors* 19, no. 1 (2019): 25.

[12] Kim, Jinseob, Hyuntai Kim, Gun-Yeal Lee, Juhwan Kim, Byoungho Lee, and Yoonchan Jeong. "Numerical and experimental study on multi-focal metallic Fresnel zone plates designed by the phase selection rule via virtual point sources." *Applied Sciences* 8, no. 3 (2018): 449.

[۱۳] رجایی, معراج و میترا مقنی، "افزایش راندمان سلول‌های خورشیدی با استفاده از متمرکز کننده‌های خورشیدی"، *چهارمین همایش ملی مهندسی اپتیک و لیزر ایران*، اصفهان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۹۴.

[۱۴] شفیعی، محمد و مهدوی مزده، محمد، "مقایسه بهره و بهبود عملکرد فتوولتائیک متمرکز"، چهارمین کنفرانس ملی ایده‌های نو در مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان، ۱۳۹۴

[۱۵] خوش‌سیما، حبیب و جواد زاده، مهرزاد،" مطالعه تجربی عدسی فرنل مبتنی برثبت الگو با فاصله کانونی کوک پذیر در بلور مایع آلائیده با رنگینه آزو"، بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۹۵.