

پارامترهای مؤثر بر انرژی تولیدی ریزشکه جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه توزیع برق ایران بارویکرد پایداری

اعلی رضا برزی^{۱*}، غلام رضا هاشم زاده خوراسگانی^۲، کیامرث فتحی هفشجانی^۳، ابوتراب علی رضایی^۴

چکیده

تاریخ دریافت:

۱۳۹۸ / ۱۰ / ۱۰

تاریخ پذیرش:

۱۳۹۸ / ۱۲ / ۶

کلمات کلیدی:

سیستم فتوولتائیک،

انرژی،

الگوریتم فراابتکاری

Matlab.SPSS

توجه به نگرانی‌های روز افزون گرمایش جهانی، بحران زیست‌محیطی و انرژی، تحقیقات و توسعه بین‌المللی را به سیستم‌های انرژی پایدار افزایش داده است. در این پژوهش، روش کاربردی جهت بهینه‌سازی فضای نصب سیستم فتوولتائیک به علت محدودیت فضا در ساختمان شهرهای کشور ارائه شده، بطوری‌که اثر سایه بر روی بازدهی پنل، میزان شدت و زاویه تابش به منظور تولید ماکزیمم انرژی محاسبه شده، که با استفاده از داده‌های سازمان هواشناسی شامل ساعات آفتابی، ابرناکی و رطوبت، شهرهای مراکز ایران طبقه‌بندی و مدل رگرسیون هر طبقه در نرم افزار SPSS شبیه‌سازی شده‌اند. پنج شهر تهران، اهواز، یزد، گرگان و اردبیل انتخاب و شدت تابش متوسط آنها به‌دست آمده است. به منظور تولید انرژی بیشتر سیستم فتوولتائیک و افزایش آزادسازی ظرفیت شبکه توزیع برق، به کمینه کردن فضای محل نصب، زاویه پنل نسبت به سطح افق، کاهش سایه روی هر پنل، از الگوریتم فراابتکاری کلونی زنبور عسل در نرم افزار Matlab استفاده شده و با حالت نرمال آن مقایسه گردیده، همچنین نتایج شبیه‌سازی در حالت بهینه و نرمال، با سیستم نصب شده مشترکین برق در شهر تهران تجزیه و تحلیل شده است. نتایج با داده‌های ثبت شده ماهانه سیستم فتوولتائیک منصوبه در شهر تهران نشان می‌دهد، بهینه‌سازی فضای نصب پنل و کاهش سایه باعث افزایش تولید انرژی، آزادسازی ظرفیت و پایداری شبکه توزیع شده است.

۱. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب (نویسنده مسئول) alirezabarzi961@gmail.com

۲. دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب gh_hashemzadeh@azad.ac.ir

۳. استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب fathi@azad.ac.ir

۴. دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب a_alirezade@azad.ac.ir

۱. مقدمه

صنعت برق به خاطر نقش زیر بنایی و ارتباط زیادی که با کلیه عوامل مؤثر بر رشد اقتصادی دارد، صنعتی پویا و تأثیرگذار است. با توجه به فراگیری گسترده انرژی برق می‌توان آن را به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل بسترساز توسعه اقتصادی کشور محسوب کرده است. یکی از چالش‌های مشترکین در تولید انرژی ریزشکبه‌های سیستم فتوولتائیک عدم فضای بالقوه ساختمان شهرهای کشور، تأثیر سایه بر بازدهی پنل است. مطالعات زیادی در زمینه سیستم‌های فتوولتائیک از دیدگاه تحلیلی، پارامترهای الکتریکی، نحوه کنترل و سنکرون کردن آن به شبکه برق و بعضاً مطالعات موردی بررسی شده، ولی کمتر با نگرش کاربردی و از دیدگاه علوم انسانی و پایه به آن پرداخته شده است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و بررسی قابلیت اطمینان شبکه توزیع برق کشور به دنبال ماکزیمم کردن انرژی تولیدی ریزشکبه‌های جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک با کمینه کردن فضای نصب، کاهش سایه بر روی پنل و افزایش پایداری و آزادسازی ظرفیت شبکه توزیع برق کشور ارائه شده است. کشورهای پیشرفته و در حال توسعه و بخصوص کشورمان توجه فزاینده‌ای به انرژی تجدیدپذیر (فتوولتائیک)، جهت ایجاد تنوع در استفاده از منابع انرژی و کاهش وابستگی به یک حامل انرژی و ملاحظات زیست محیطی برای دستیابی به انرژی پایدار معطوف داشته‌اند [۹]. پیش‌بینی انرژی در بخش خانگی و تجاری با استفاده از بهینه انبوه ذرات [۷] و پویایی انرژی تولیدکننده پراکنده در شبکه برق با استفاده از الگوریتم کمترین مربعات [۱۲]، مدیریت ظهور انرژی‌های غیرمتمرکز و عرضه و تقاضای آن در هلند [۲۲]، همچنین استراتژی مدیریت انرژی در ریزشکبه‌ها جهت تأمین برق وسایل نقلیه الکتریکی [۱۸]، از سویی دیگر چالش‌های فنی و ارتقاء پایداری این سیستم [۲۵]، موجب توسعه و تحقیقات در کلیه کشورها شده است. برنامه‌های عملیاتی روزانه منابع قابل کنترل انرژی تعرفه مسکونی در کشور استرالیا، امارات و رابطه بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی در کشور ویتنام پژوهش‌های دیگری است که بدان پرداخته شده است [۱۷]، [۱۲]، [۲۱]. فن‌آوری اطلاعات و تجهیزات هوشمند به طور فزاینده‌ای در سیستم‌های قدرت نفوذ کرده و باعث فراگیر شدن اطلاعات بازار و عملیاتی شدن انتقال انرژی جهت بهینه‌سازی و بهره‌وری در صنعت برق شده است [۲۰]. مصرف انرژی در امارات متحده عربی طی شش سال گذشته به طور متوسط ۴ درصد رشد کرده و پیش‌بینی

می‌شود که تا سال ۲۰۲۰ تا ۵ درصد افزایش یابد [۱۶]. تأثیر شرایط آب و هوایی در ایالت کالیفرنیا بر شبکه توزیع برق و سیستم فتوولتائیک، پنل‌ها به‌عنوان جمع‌کننده شدت تابش، طراحی و شبیه‌سازی انرژی در شرایط نامناسب محیطی، تحقیقاتی است که توسط محققان ارائه شده است [۱۹]، [۱۴]، [۱۱]. مدل‌سازی دینامیکی واحدهای فتوولتائیک چندگانه متصل به شبکه برای تحلیل تعاملات پویایی پژوهشی است که هدف از آن، توسعه مدل تعمیم‌پویا از چند واحد فتوولتائیک متصل به شبکه همراه با تجزیه و تحلیل متقابل در واحدهای مختلف PV است [۲۴]. در گزارش حساب‌رسان اتحادیه اروپا به تولید انرژی با استفاده از انرژی باد و فتوولتائیک و وابستگی کمتر اتحادیه اروپا به انرژی‌های فسیلی بررسی شده و در گزارش دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر در اتحادیه اروپا، از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ از ۹ به ۱۶/۷ درصد رشد داشته، چشم‌انداز اتحادیه دستیابی آن به ۲۰ درصد تا سال ۲۰۲۰ می‌باشد. همچنین پیش‌بینی برای ۲۰۳۰ رشد ۲۷ درصد در نظر گرفته شده است [۱۵]، [۹]. تغییر انرژی خروجی سیستم فتوولتائیک با شرایط آب و هوایی شامل میزان تابش خورشید و دما و استراتژی جهت کنترل عملکرد شبکه [۲۳]، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی شبکه استاندارد ۳۳ باسه با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و پاسخگویی بار با یک نیروگاه بادی و یک نیروگاه خورشیدی [۲]، همچنین تأمین برق مصرف‌کنندگان با استفاده از پخش بار منابع تولید پراکنده و الگوریتم رقابت استعماری [۵] پژوهش‌های دیگری است که بدان پرداخته شده است.

۲. مبانی نظری

صنعت برق به خاطر نقش زیربنایی و ارتباط زیادی که با کلیه عوامل مؤثر بر رشد اقتصادی دارد، صنعتی پویا و تأثیرگذار است. با توجه به فراگیری گسترده انرژی برق می‌توان آن‌را به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل بسترساز توسعه اقتصادی کشور محسوب کرد. طبق آمار و اطلاعات وزارت نیرو (۱۳۹۴) و برنامه وزیر نیرو برای تصدی وزارت (۱۳۹۶) آمده، در سال ۱۳۹۴ روزانه یک میلیارد کیلووات ساعت مصرف انرژی در کشور تولید شده، که در زمان پیک بار لحظه‌ای افزون بر ۵۰ هزار مگاوات می‌باشد. ماکزیم مصرف برق در تیرماه سال ۹۴ به ۵۰ هزار و ۱۷۸ مگاوات رسیده است، در سال ۹۶ نیز پیک بار شبکه در تیرماه به ۵۵ هزار و ۳۶۶ مگاوات ثبت شده است. این میزان نشانگر رشد پنج درصدی مصرف برق است، که به تنهایی برابر با کل مصرف برق کشوری مثل ارمنستان با ۱۸۰۰ مگاوات مصرف و نزدیک به کشور آذربایجان با مصرفی بالغ بر ۳۸۰۰ مگاوات است. برای جبران

این میزان رشد، سالانه می‌بایست حدود ۴۰۰۰ مگاوات نیروگاه جدید وارد مدار کرد، که خود به تنهایی حدود ۱۵ تا ۲۰ هزار میلیارد تومان هزینه به صنعت برق تحمیل می‌کند. در سایت تحقیقات و فناوری وزارت نیرو (۱۳۹۶) داشتن انرژی مناسب عمده‌ترین عامل اقتصادی جوامع صنعتی پس از نیروی انسانی است چرا که انرژی یک نیاز اساسی برای استمرار توسعه اقتصادی، رفاه اجتماعی، بهبود کیفیت زندگی و امنیت جامعه است. اگر انرژی به نحوی تولید و مصرف شود که توسعه انسانی را در بلندمدت در تمام ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی تأمین کند، مفهوم انرژی پایدار تحقق خواهد یافت، براین اساس می‌توان گفت تأمین انرژی پایدار ضرورت توسعه پایدار است. به همین دلایل، در سال‌های اخیر کشورهای مختلف پیشرفته و در حال توسعه و بخصوص کشورمان توجه فزاینده‌ای به انرژی تجدیدپذیر (فتوولتائیک و غیره)، جهت ایجاد تنوع در استفاده از منابع انرژی و کاهش وابستگی به یک حامل انرژی و ملاحظات زیست محیطی برای دستیابی به انرژی پایدار معطوف داشته‌اند. کاربرد استفاده از طرح‌های فتوولتائیک در ساختار شبکه برق ایران به علت تشویق و اطلاع رسانی نامناسب به متقاضیان، معماری ساختمان‌ها، هزینه اولیه احداث آن و عدم دریافت هزینه واقعی انرژی برق تولیدی از مشترکین توسط شرکت‌های توزیع برق، مورد توجه واقع نشده است. با افزایش رشد مصرف بخصوص افزایش پیک بار شبکه و تحمیل خاموشی‌های با برنامه به مشترکین، در سال‌های اخیر وزارت نیرو انرژی‌های تجدیدپذیر بخصوص انرژی‌های خورشیدی (فتوولتائیک) را در مراکز مصرف توزیع برق در الویت برنامه‌های تحقیق و توسعه خود به منظور پایداری و افزایش قابلیت شبکه قرار داده است. انرژی تولیدی سیستم‌های فتوولتائیک در یک مجموعه توسعه یافته در یک بازه زمانی به فضای نصب، آب و هوا، زاویه تابش خورشید، زاویه نصب پنل نسبت به سطح افق زمین و پارامترهای اقتصادی بستگی دارد. این انرژی به علت دارا بودن بالا و در دسترس بودن، یک راه حل مناسب برای تأمین انرژی و سرمایه‌گذاری اقتصادی در یخس توزیع برق می‌باشد.

۳. روش پژوهش

با نگاه کشورها به انرژی‌های پاک به‌خصوص نصب ریزشبکه‌های جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه توزیع برق، در طول یک سال و نیم پژوهش از متخصصین توزیع صنعت برق ایران، رفتار انرژی سیستم‌های فتوولتائیک منصوبه و تأثیر آب و هوای کشور، سرمایه‌گذاری و فضای محل نصب سیستم پرداخته شده است. به عبارت دیگر افزایش تولید انرژی، به افزایش پایداری شبکه توزیع

برق و بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه توزیع CAIDI, SAIFI, SAIDI کمک می‌کند. در این پژوهش تغییرات آب و هوایی شهرهای ایران با استفاده از اطلاعات داده‌های سازمان هواشناسی شامل ساعات آفتابی، رطوبت، دما، ابرناکی بررسی و طبقه‌بندی شده‌اند. سپس داده‌های پرت پایش و با استفاده از نرم افزار SPSS، مدل رگرسیونی شدت تابش و ساعات آفتابی نمونه هر طبقه به‌دست آمده‌است. متوسط شدت تابش هر شهر و انرژی تولیدی حاصل از سیستم فتوولتائیک با کمینه کردن فضای محل نصب پنل با استفاده از الگوریتم فراابتکاری کلونی زنبورعسل و رعایت قیود مانند فاصله هر پنل از یکدیگر، کمینه کردن اثر سایه در حالت نرمال و بهینه در نرم افزار Matlab شبیه‌سازی و به‌دست آمده است. با توجه به تراکم جمعیت شهرها، بهینه کردن فضای نصب سیستم فتوولتائیک یکی از پارامترهای مهم در افزایش انرژی سیستم و پایداری شبکه توزیع است.

۴. طبقه‌بندی شهرهای مورد مطالعه

داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی مراکز استان‌های ایران براساس متوسط ابرناکی، رطوبت، دما و ساعات آفتابی سالیانه بررسی شده است. نتایج طبقه‌بندی شهرهای مورد مطالعه در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱. طبقه‌بندی مراکز شهرهای مورد مطالعه استان‌های ایران

و بعضی از شهرهای دیگر براساس داده‌های سازمان هواشناسی

ردیف	ناحیه اول	ناحیه دوم	ناحیه سوم	ناحیه چهارم	متوسط ساعات افتابی سالیانه (ساعت)
۱	اصفهان	اهواز	اردبیل	رشت	ناحیه اول: ۳۲۰۰-۳۴۰۰ ناحیه دوم: ۳۰۰۰-۳۲۰۰ ناحیه سوم: ۲۱۰۰-۳۰۰۰ ناحیه چهارم: کمتر از ۲۱۰۰
۲	بیرجند	ایلام	تبریز	ساری	
۳	زاهدان	بندرعباس	ارومیه	گرگان	
۴	شیراز	بوشهر	زنجان	رامسر	
۵	کرمان*	تهران	بجنورد		
۶	یزد	خرم آباد	مشهد		
۷		سمنان	اراک		
۸		شهرکرد	سنندج		
۹		قم	قزوین		
۱۰		یاسوج	کرج		
۱۱		آبادان	کرمانشاه		

مأخذ: نتایج تحقیق

۵. مدل رگرسیونی شدت تابش

از جدول (۱) شهرهای تهران، یزد، اردبیل، گرگان و اهواز انتخاب و با استفاده از داده‌های سازمان هواشناسی و نرم افزار SPSS مدل رگرسیونی شدت تابش براساس ساعات آفتابی طبق جدول (۲) استخراج شده، متغیرهای ابرناکی و دما به علت تأثیرات کم بر شدت تابش صرفنظر شده است. همچنین جهت به‌دست آوردن متوسط شدت تابش هر شهر از روابط ریاضی استفاده شده است [۱۴]. مقدار شدت تابش اندازه‌گیری شده در خارج از جو زمین (H_0) از رابطه (۱) به‌دست می‌آید.

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 G_{SG}}{\pi} (1 + 0/33 \times \cos \frac{3600 \times n}{365}) \times [\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \times \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta] \quad (1)$$

H_0 میانگین تابش کل روزانه در همراه G_{SG} ثابت تشعشعی خارج جو که برابر با 1373 وات بر متر مربع در نظر گرفته شده است. ϕ عرض جغرافیایی، δ زاویه تابش خورشید نسبت به خط استوا بر حسب درجه، ω_s زاویه ساعت خورشیدی بر حسب درجه، n میانگین ماهیانه ساعات آفتابی، N میانگین ماکزیمم ساعات آفتابی است. مقادیر زیرای تابش، ساعت خورشیدی و ماکزیمم ساعات آفتابی از روابط (۲)، (۳) و (۴) به‌دست آمده است.

$$\delta = 23/45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right) \quad (2)$$

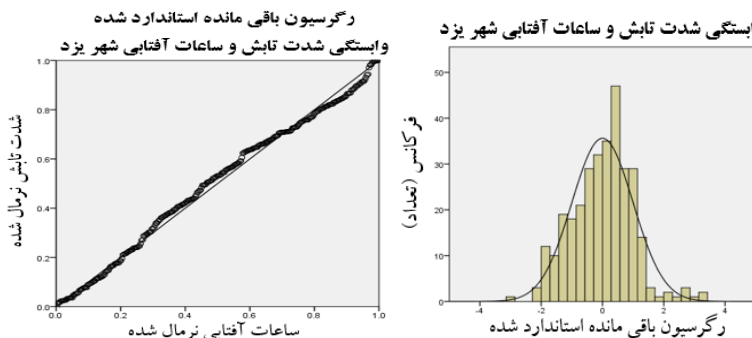
$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (3)$$

$$N = \frac{2}{15} \omega_s \quad (4)$$

جدول ۲. مدل رگرسیونی شدت تابش و ساعات آفتابی پنج شهر ایران استخراج شده است.

مدل رگرسیونی	شهر	ردیف
$\frac{H}{H_0} = 0/203 + 0/535 \frac{n}{N}$	اهواز و تهران	۱
$\frac{H}{H_0} = 0/094 + 0/653 \frac{n}{N}$	یزد	۲
$\frac{H}{H_0} = 0/039 + 0/782 \frac{n}{N}$	گرگان	۳
$\frac{H}{H_0} = -0/069 + 0/985 \frac{n}{N}$	اردبیل	۴

با استفاده از داده‌های هواشناسی، ضرایب همبستگی ارتباط بین شدت تابش و میزان ساعات آفتابی بین ۰/۷۲۲ تا ۰/۸۰۹ در نرم افزار SPSS به دست آمده، بدیهی است هر چه مقدار آن به یک نزدیکتر باشد، نشان دهنده نزدیکی بیشتر مقادیر برآورد شده به مقادیر واقعی است. خطای معیار برآورد شده پنج شهر نشان می‌دهد، مدل رگرسیون به طور معناداری تغییرات متغیر وابسته را پیش‌بینی کرده است. زیرا مقدار sig برابر صفر و کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد. در شکل (۱) نمودار هیستوگرام و رگرسیون مربوط به شهر یزد نشان داده شده است.



شکل ۱. نمودار رگرسیون و هیستوگرام داده‌های هواشناسی ایستگاه شهر یزد که روی قطر اصلی و تجمع آن در مرکز آماره به صفر، نشان دهنده خطی بودن آن است.

۶. شبیه‌سازی در حالت نرمال

مدل رگرسیونی ارائه شده در جدول (۲)، در نرم افزار Matlab شبیه‌سازی شده و مقادیر شدت تابش هر شهر به دست آمده، با استفاده از روابط (۵) و (۶) انرژی تولیدی در حالت نرمال و مساحت نصب پنل بدون منبع ذخیره‌کننده محاسبه شده است. در این روابط انرژی تولیدی (w) برحسب کیلووات ساعت در سال، توان درخواستی (p) برحسب کیلووات، مساحت (S) برحسب مترمربع، میانگین تابش خورشید (PSH) برحسب کیلووات بر مترمربع و عبارت است از فضاهایی که شدت تابش خورشید به میانگین ۱۰۰۰ وات بر مترمربع می‌رسد. شدت تابش (H) برحسب کیلووات بر مترمربع.

$$W = P \times PSH \times \eta_{sys} \times year \quad (۵)$$

$$W = H \times S \times \eta_{sys} \times year \quad (۶)$$

نتایج شبیه‌سازی در جدول (۳) آورده شده است. انرژی تولیدی حاصل از شدت تابش با استفاده از متوسط ساعات آفتابی، عرض جغرافیایی و زاویه تابش نشان داده شده، در صورت تغییر ساعات آفتابی مقدار شدت تابش و انرژی تولیدی تغییر می‌کند. در روابط متوسط ساعات آفتابی استفاده شده است.

جدول ۳. انرژی تولیدی حاصل از شدت تابش با استفاده از متوسط ساعات آفتابی، عرض جغرافیایی و زاویه تابش

شهر	عرض	متوسط ساعات آفتابی	شدت تابش	انرژی تولیدی
تهران	۳۵	۲۵۱	۴/۲۲	۷۲۴۵
اهواز	۳۱/۲۴	۲۵۸	۴/۴	۷۵۵۱
یزد	۳۲	۲۷۰	۴/۵	۷۷۲۷
گرگان	۳۶/۸	۱۷۷	۳/۳۴	۵۸۶۰
اردبیل	۳۸/۱۵	۲۰۴	۳/۹۸	۶۹۸۴

مأخذ: نتایج تحقیق

۷. شبیه‌سازی در حالت بهینه

در حالت بهینه از مدل ایزوتروپیک جهت به دست آوردن شدت تابش که در رابطه (۷) آورده شده، در حالتی که سایه بر روی پنل قرار ندارد، استفاده می‌شود. در شکل (۲) زاویای تابش خورشید بر سطح پنل نشان داده شده است.

$$H_T = H_B R_B + H_D \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + H_{\rho_g} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (7)$$

H_T : شدت تابش کل بر حسب (کیلووات ساعت بر متر مربع).

R_B : ضریب، که نسبت مقدار تابش روی سطح شیبدار به سطح افق می‌باشد و از رابطه (۸) به دست می‌آید.

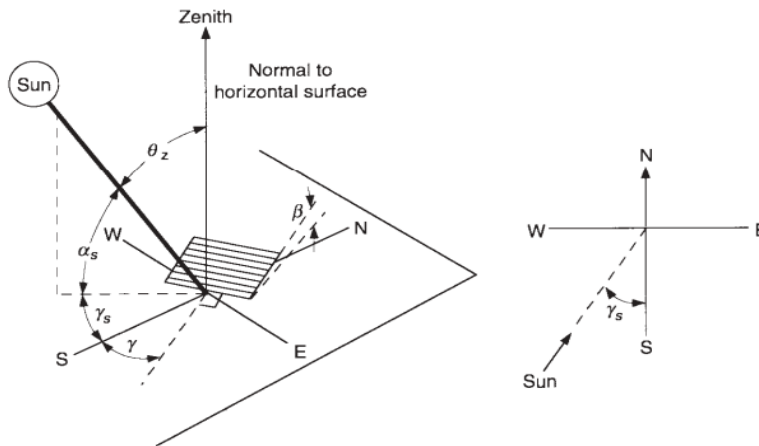
β : زاویه پنل نسبت به سطح افق (درجه).

H_D : شدت تابش پراکنده که وابسته به شرایط جوی ابرناکی دارد (کیلووات ساعت بر متر مربع).

H_B : شدت تابش مستقیم (کیلووات ساعت بر متر مربع).

$$R_B = \frac{\cos \delta \cos(\theta - \beta) \omega'_s + (\pi/180) \omega'_s \sin(\theta - \beta) \sin \delta}{\cos \delta \cos \theta \sin \omega_s + (\pi/180) \omega_s \sin \theta \sin \delta} \quad (8)$$

$$\omega'_s = \left[\frac{\min [\cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta)]}{\cos^{-1}(-\tan(\phi-\beta) \tan\delta)} \right] \quad (۹)$$



شکل ۲. زاویه زینت، شیب، زاویه سطح آزیموت و زاویه آزیموت خورشید
برای سطح شیبدار و همچنین نمای پلان زاویه آزیموت نشان داده شده است (دافی، ۱۹۹۱).

۷-۱. تأثیر اثر سایه بر شدت تابش

همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، تأثیر سایه در پنل‌های شیبدار به زاویه پنل با سطح افق و زاویه تابش خورشید وابسته است. این درحالتی است که تعداد آرایش پنل‌ها از یک ردیف بیشتر باشد. سایه پنل بر روی پنل پشت آن قرار می‌گیرد. در این صورت شدت تابش برای ردیف‌های دیگر از رابطه (۷) تبعیت نمی‌کند و می‌بایست تأثیر مقدار سایه در نظر گرفته شود. در رابطه (۱۰) مقدار شدت تابش پس از تأثیر اثر سایه آورده شده است [۱۴].

$$H'_T = (1 - l_s \times h_s) H_B R_B + H_d F_d \quad (۱۰)$$

$$F_d = \cos^2 \frac{\beta}{2} - \frac{1}{2} \left[d^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} - d \sin \beta \quad (۱۱)$$

$$l_s = l - (D + A \cos \beta) \frac{\sin \beta |\sin \gamma_s| \tan \alpha}{\cos \beta + \frac{A \sin \beta \cos \gamma_s}{\tan \alpha}} \quad (۱۲)$$

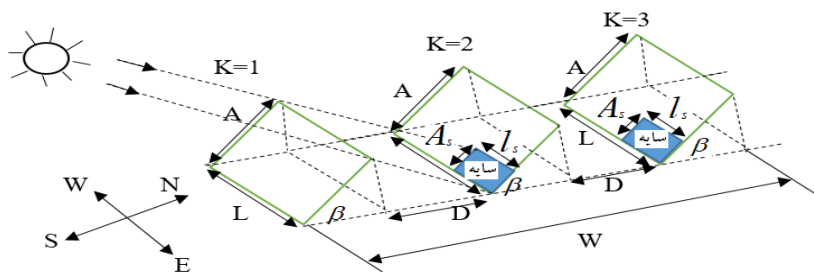
$$A_s = A \left(1 - \frac{D + A \cos \beta}{A \cos \beta + \frac{A \sin \beta \cos \gamma_s}{\tan \alpha}} \right) \quad (13)$$

$$s_shade = l_s \times A_s \quad (14)$$

F_d : ضریب اصلاح برای تابش پراکنده روی پنل که سایه روی آن وجود دارد، A_s عرض سایه روی پنل، l_s طول سایه روی پنل، D فاصله دو پنل، A عرض پنل.

با حاصل جمع شدت تابش روابط (۷) و (۱۰)، شدت تابش کل سیستم فتوولتائیک به دست آمده است.

$$H_T'' = H_T' + H_T \quad (15)$$



شکل ۳. تأثیر اثر سایه بر پنل‌های ردیف (K-۱)

مأخذ: نتایج تحقیق. براساس بازدید از سیستم‌های فتوولتائیک نصب شده در شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ

۲-۷. پایداری شبکه توزیع برق

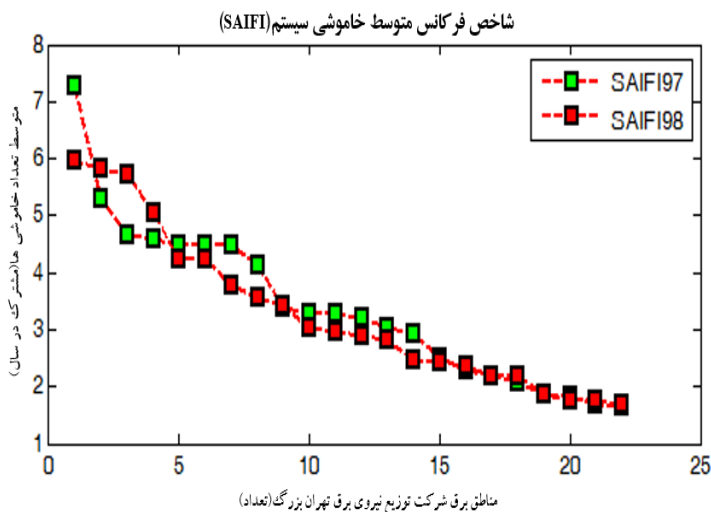
ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه محل نصب ریزشکه‌های جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک می‌تواند موجب تصمیم‌گیری در کاهش و یا افزایش توسعه سیستم شود. در اکثر شرکت‌های توزیع برای هر منطقه برق این قابلیت قابل اندازه‌گیری می‌باشد که شاخص‌ها در روابط (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) نشان داده شده است [۶]. λ_i نرخ خرابی نقطه بار i ام، N_i تعداد مشترکین متصل به نقطه بار i ام، n تعداد کل نقاط بار سیستم و U_i مدت زمان قطعی نقطه بار i ام می‌باشد. SAIFI شاخص متوسط دفعات قطع سیستم تأمین کننده برق مشترکین برحسب سال، SAIDI شاخص زمان قطع سیستم برحسب ساعت در سال و CAIDI زمان متوسط خاموشی برق مشترکین برحسب ساعت می‌باشد.

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \times N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (۱۶)$$

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \times N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (۱۷)$$

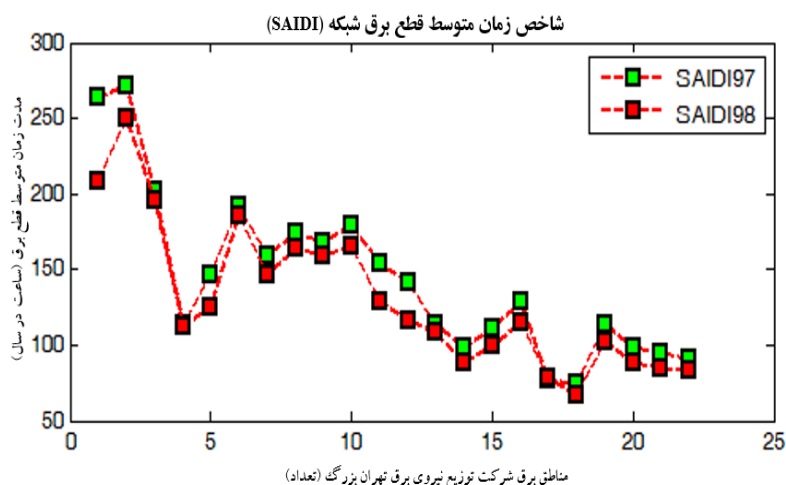
$$CAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \times N_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i \times N_i} \quad (۱۸)$$

شکل‌های (۴)، (۵) و (۶) نمودارهای شاخص‌های SAIFI، SAIDI و CAIDI مربوط به مناطق ۲۲ گانه برق شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ در سال ۹۷ و نه ماهه سال ۹۸ در نرم افزار Matlab شبیه‌سازی شده، نشان داده شده است.

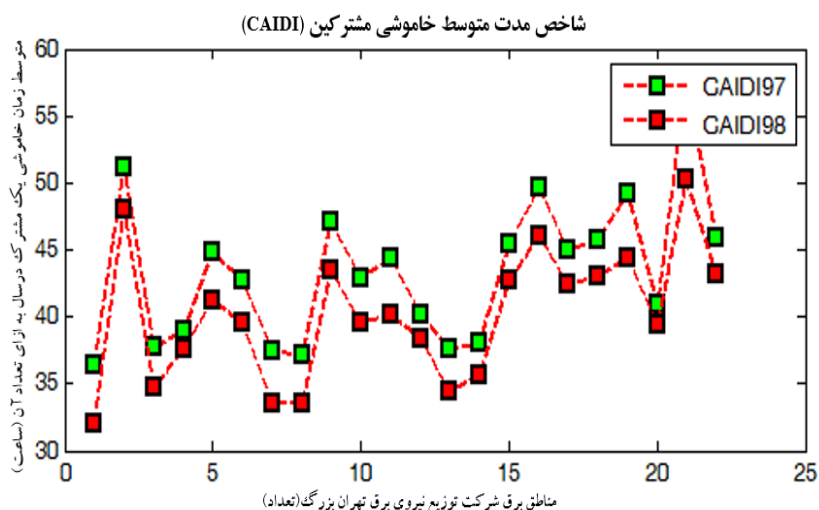


شکل ۴. نمودار شاخص متوسط تعداد خاموشی شبکه توزیع برق مناطق برق بیست و دوگانه تهران بزرگ در سال ۹۷ و نه ماهه سال ۹۸ نشان داده شده است.

مأخذ: نتایج تحقیق. براساس بررسی داده‌های شرکت توزیع برق تهران بزرگ



شکل ۵. نمودار شاخص زمان خاموشی شبکه توزیع برق مناطق برق بیست و دوگانه تهران بزرگ در سال ۹۷ و نه ماهه سال ۹۸ نشان داده شده است.
مأخذ: نتایج تحقیق. براساس بررسی داده‌های شرکت توزیع برق تهران بزرگ



شکل ۶. نمودار شاخص مجموع متوسط زمان به تعداد خاموشی شبکه توزیع برق مناطق برق بیست و دوگانه تهران بزرگ در سال ۹۷ و نه ماهه سال ۹۸ نشان داده شده است.
مأخذ: نتایج تحقیق. براساس بررسی داده‌های شرکت توزیع برق تهران بزرگ

همان‌طور که در نمودار شکل (۳)، (۴) و (۵) نشان داده شده، مشترکین متقاضی نصب سیستم فتوولتائیک بر اساس شاخص قابلیت اطمینان محل و حساسیت میزان قطع برق، میزان کیلووات انرژی و ذخیره کننده آن را محاسبه و هزینه سرمایه‌گذاری را برآورد می‌کنند.

۳-۷. الگوریتم فراابتنکاری کلونی زنبور عسل

در الگوریتم ABC^۱، در جمعیت اولیه، نیمی از جمعیت زنبورها زنبور کارگر و نیمی دیگر زنبور جستجوگر تقسیم می‌شوند. برای هر منبع غذایی، فقط یک زنبور عسل کارگر وجود دارد. مقداردهی اولیه به منابع غذایی که به صورت تصادفی از رابطه (۱۹) به دست می‌آید.

$$X_{ij} = X_j^{min} + rand(0.1)(X_j^{max} - X_j^{min}) \quad (19)$$

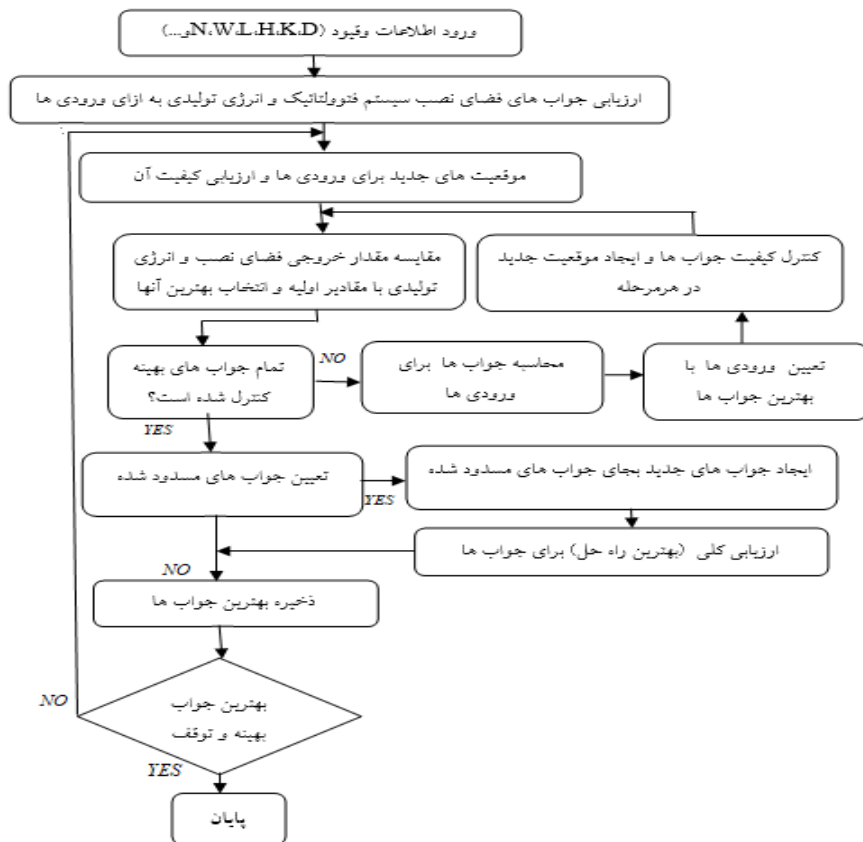
زنبورهای کارگر به سمت منابع غذایی حرکت می‌کنند. منابع غذایی همان موقعیت زنبورها در فضای بهینه‌سازی است. هر زنبور کارگر، به طور تصادفی یک همسایه انتخاب می‌کند و از طریق رابطه (۲۰)، به سمت آن حرکت می‌کند. همچنین ارزیابی کیفیت آن از رابطه (۲۱) و (۲۲) اصلاح و حرکت انجام شود.

$$V_{ij} = X_{ij} + \varphi_{ij}(X_{ij} - X_{kj}) \quad (20)$$

$$P_i = \frac{fitness_i}{\sum_{m=1}^N fitness_{im}} \quad (21)$$

$$fitness_i = \begin{cases} \frac{1}{1 + fit_i} & fit_i \geq 0 \\ 1 + abc(fit_i) & fit_i \leq 0 \end{cases} \quad (22)$$

زنبرهای پیشاهنگ ناحیه‌هایی که از نظر شهید نامطلوب شناسایی شدند، ترک و به تصادف ناحیه‌های دیگری را انتخاب می‌کنند. در صورتی که یک منبع غذایی بهتر پس از رسیدن شاخص محاکمه به حد تعیین شده یافت نشود، منبع غذایی جدیدی توسط زنبرهای پیشاهنگ به صورت تصادفی با استفاده از رابطه (۱۹) مقداره‌ی می‌شود [۲۶].



شکل ۷. فلوچارت کمینه کردن فضای نصب سیستم فتوولتائیک و ماکزیمم انرژی تولیدی را براساس الگوریتم بهینه‌سازی کلونی زنبرعسل نشان داده شده است. مأخذ: نتایج تحقیق. استفاده از پژوهش ین قاو زها و همکاران، ۲۰۲۰

۴-۷. کمینه کردن تابع هدف

با بازدید میدانی از پروژه‌های نصب سیستم فتوولتائیک در سطح شهر تهران، کاهش فضای نصب سیستم با بیشترین تولید انرژی اهمیت زیادی دارد و تعمیم آن به دیگر شهرهای ایران باعث افزایش

بهبود بهره‌وری، افزایش آزادسازی ظرفیت شبکه، کاهش خاموشی برق مشترکین و پایداری شبکه خواهد شد.

بهینه‌سازی فضای نصب سیستم فتوولتائیک برای محل‌هایی که زمین قیمت بالایی دارد و یا فضای پشت بام محدود است بهینه کردن مساحت فضای نصب با هدف بیشترین انرژی مهم می‌باشد. قیودی که جهت بهینه کردن مساحت فضای نصب بعنوان هدف مسئله تأثیرگذار است، در رابطه (۲۴) آمده است. جهت بهینه کردن آن از الگوریتم فراابتکاری کلونی زنبور عسل استفاده شده است.

۷-۴-۱. تابع هدف

ماکزیمم انرژی با افزایش شدت تابش ردیف k و ردیف‌های $(k-1)$ در کمینه کردن عرض فضای نصب، طول پنل و فاصله بین پنل‌ها حاصل شده است. محاسبه شدت تابش از روابط (۷)، (۱۰) و (۱۵) به‌دست آمده، که ماکزیمم کردن انرژی با استفاده از قیود رابطه (۲۳) و رابطه (۲۴) می‌باشد.

$$H_T'' = A \times l \times [H_B + H_d + (k-1)(H_B^{sh} + H_d^{sh})] \quad (23)$$

در رابطه (۲۳):

H_T'' : شدت تابش کل سیستم

H_b : تابش پرتوهای سالانه در واحد سطح بدون سایه برای k ردیف

H_d : تابش پراکنده سالانه در واحد سطح بدون سایه برای k ردیف

H_b^{sh} : متوسط تابش پرتو سالانه در واحد سطح با سایه روی پنل $(k-1)$ ردیف

H_d^{sh} : متوسط تابش پراکنده سالانه در واحد سطح با سایه روی پنل $(k-1)$ ردیف

پس تابع هدف عبارت است از: کمینه کردن طول و عرض فضای نصب پنل‌های سیستم فتوولتائیک برای به‌دست آوردن حداکثر انرژی:

MINIMIZE $l \times W$

۷-۴-۲. قیود تابع هدف

یکی از مواردی که باعث افزایش مساحت فضای نصب پنل می‌شود، وجود اثر سایه و نگهداری آن می‌باشد. در این پژوهش فاصله دو پنل (D) به‌عنوان یک محدودیت نامساوی ظاهر شده، که به‌منظور حداقل سایه و نگهداری بدنال حداقل فاصله می‌باشیم.

عرض پنل (A) با زاویه ای (β) که پنل نسبت به سطح افق می سازد، E انرژی تولیدی که از کمترین انرژی درخواستی بیشتر و وابسته به قیود دیگر است، S مساحت فضای نصب پنل که از فضای ماکزیمم آن کمتر است. ξ_1 ، ξ_2 به منظور قراردادن نسبت طول و عرض فضای نصب در بازه تعیین شده می باشد $k \geq 2$ و $k \in \mathbb{Z}$.

$$\left\{ \begin{array}{l} (k-1) \times D + k \times A \times \cos\beta \leq w \\ 0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ \\ A \leq A_{max} \\ E \leq E_{min} \\ S(l \times w) \times S_{max} \leq (l_{max} \times w_{max}) \\ \xi_1 \leq \frac{w}{l} \leq \xi_2 \\ D \geq D_{min} \end{array} \right. \quad (24)$$

۷-۳. متوسط مصرف انرژی ماهانه

مصرف متوسط سرانه مشترکین برق با تعرفه های مختلف براساس داده های موجود انرژی مشترکین برق خانگی، تجاری، عمومی، صنعتی و کشاورزی در چهار محدوده جنوب شرق، جنوب غرب، شمال غرب و شمال شرق شرکت توزیع برق تهران بزرگ بررسی و در جدول (۴) نشان داده شده است. وضعیت فرهنگ مصرف، تکنولوژی، درآمد و دمای محل، به علت مهاجرت فرهنگ ها از شهرهای دیگر کشورمان به این نواحی شهری را می توان مشابه تقریبی مصرف و درآمد در شهرها دانست. با توجه به مصرف سرانه انرژی برق و فضای محدود نصب سیستم در داخل شهرها، جدول (۴) نشان می دهد با استفاده از ریز شبکه های سیستم فتوولتائیک و کمینه کردن فضای نصب در بخش خانگی، تجاری و عمومی می توان ظرفیت شبکه توزیع را افزایش داد. همچنین در بخش کشاورزی و صنعتی با توجه به فضای موجود و کمینه کردن آن، می توان انرژی تولیدی سیستم فتوولتائیک را جایگزین بخشی از انرژی شبکه توزیع کرد.

جدول ۴. مقدار متوسط سرانه مصرف سالانه انرژی برق با تعرفه‌های مختلف در چهار ناحیه شهر تهران

متوسط انرژی سرانه مصرفی سالانه برحسب مگاوات ساعت					
محدوده شهر تهران	خانگی	تجاری	عمومی	کشاورزی	صنعتی
جنوب شرق	۲/۳	۳/۶	۸	۴۱/۷	۲۱/۶۳
جنوب غرب	۲/۲	۵	۶/۳	۲۷	۱۶۰/۴۵
شمال شرق	۲/۴	۸/۶	۱۴/۷	۵۴/۹	۱۴۶/۷
شمال غرب	۲/۶	۱۰	۱۹/۱	۹۰/۸	۳۶۲/۹

مأخذ: نتایج تحقیق، براساس بررسی داده‌های شرکت توزیع برق تهران بزرگ.

۸. نتایج طراحی بهینه

داده‌های اولیه طبق جداول (۵) و (۶) در طول پژوهش در حالت شبیه‌سازی نرمال و بهینه آورده شده‌است.

جدول ۵. اطلاعات ورودی اولیه جمعیت شبیه‌سازی در حالت بهینه و ضرایب

(بدون بعد $a_1 = ۰/۴۵$ & $a_2 = ۰/۸$)

β (درجه)	$W_{\max}$ (متر)	$l_{\max}$ (متر)	$E_{\min}$ (مگاوات ساعت)	$A_{\max}$ (متر)	$D_{\min}$ (متر)
$۰ \leq \beta \leq ۹۰$	۱۰	۲۰	۴	۱	۱

مأخذ: داده‌های اولیه و استخراج اطلاعات نصب سیستم فتوولتائیک در شرکت توزیع برق تهران بزرگ و جدول (۴)

جدول ۶. مشخصات پنل و اینورتر مورد استفاده در شبیه‌سازی حالت نرمال و بهینه

پنل صنعت فیروزه (ایرانی)			اینورتر (5 کیلووات)		
نوع سلول	$P_{\max}$ (وات)	مدل	ابعاد (ملمتر)	سازنده	مدل
مونو کریستال	۳۴۰	SSF-M72	۱۹۵۶-۹۹۲-۴۰	چین	omniksol

مأخذ: نتایج تحقیق

۸-۱. شبیه‌سازی بهینه

با استفاده از روابط (۷)، (۱۰) و (۱۵) شدت تابش پنج شهر ایران که مطابق جدول (۱) در چهار ناحیه طبقه‌بندی شده با عرض جغرافیایی مشخص و با دیدگاه بهینه‌سازی فضای محل نصب سیستم فتوولتائیک و حداکثر انرژی با رویکرد استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل، در نرم افزار Matlab شبیه‌سازی شده است. نتایج جدول (۷) نشان می‌دهد.

۱. متغیرهای عرض جغرافیایی، شدت تابش، زاویه پنل نسبت به سطح افق، کنترل فاصله هر پنل در کمینه کردن فضای نصب سیستم فتوولتائیک و افزایش تولید انرژی دارای اهمیت می‌باشند.

۲. با توجه به ثابت بودن فضای نصب سیستم در پنج شهر، مناطقی که شدت تابش بالاتری دارند، انرژی بیشتری تولید می‌کنند.

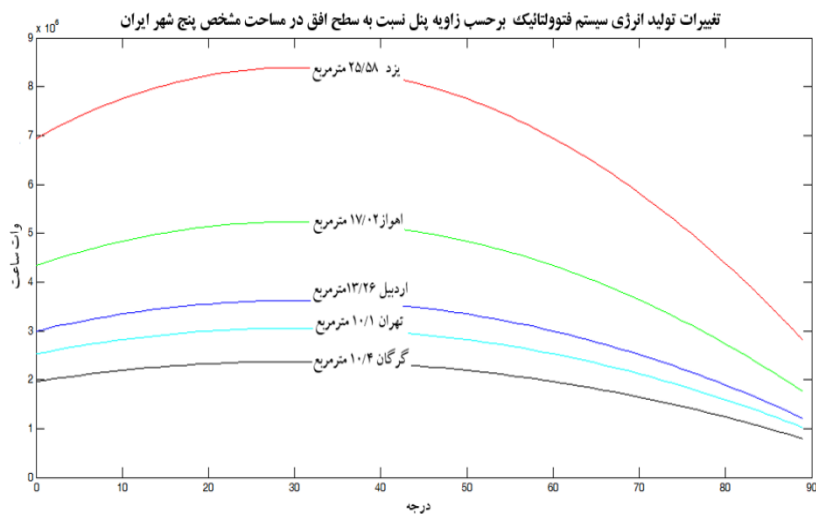
۳. کنترل فاصله دو پنل و کاهش اثر سایه، در افزایش تولید انرژی سیستم مؤثر است.

۴. شکل (۸) تغییرات بهینه انرژی در تغییرات زاویه پنل نسبت به سطح افق برای شهرهای مختلف در فاصله پنل‌ها نسبت به یکدیگر نشان داده شده است. در صورتی که مساحت فضای نصب پنل ۵ شهر ثابت باشد. انرژی تولیدی هر شهر طبق جدول (۷) می‌باشد.

جدول ۷. نتایج کمینه کردن فضای نصب سیستم و حداکثر انرژی تولیدی در پنج شهر ایران

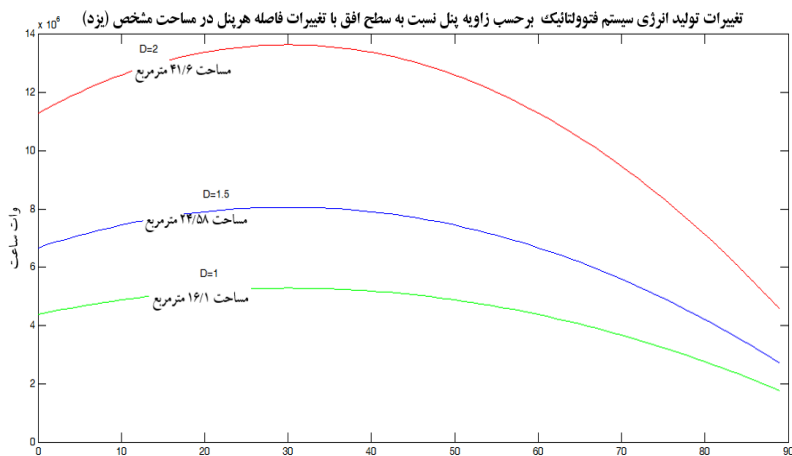
شهر	ϕ (درجه)	H (کیلووات ساعت بر مترمربع)	k	β (درجه)	D (متر)	E (کیلووات ساعت)	S (مترمربع)
تهران	۳۵	۴/۶۵	۳	۳۰/۳۴	۱/۰۶	۸۴۹۰	۲۷/۷
اهواز	۳۱	۴/۴	۳	۲۸/۱۳	۱/۰۵	۸۰۳۰	۲۷/۶
یزد	۳۲	۴/۷	۳	۲۴/۲۸	۱/۱۲۴	۸۵۸۰	۲۷/۷
گرگان	۳۶	۳/۵۶	۳	۱۱/۵۴	۱/۰۵	۶۵۰۳	۲۷/۷
اردبیل	۳۸	۴/۲۸	۳	۴۰/۴۹	۱	۷۸۱۰	۲۷/۹

مأخذ: نتایج تحقیق



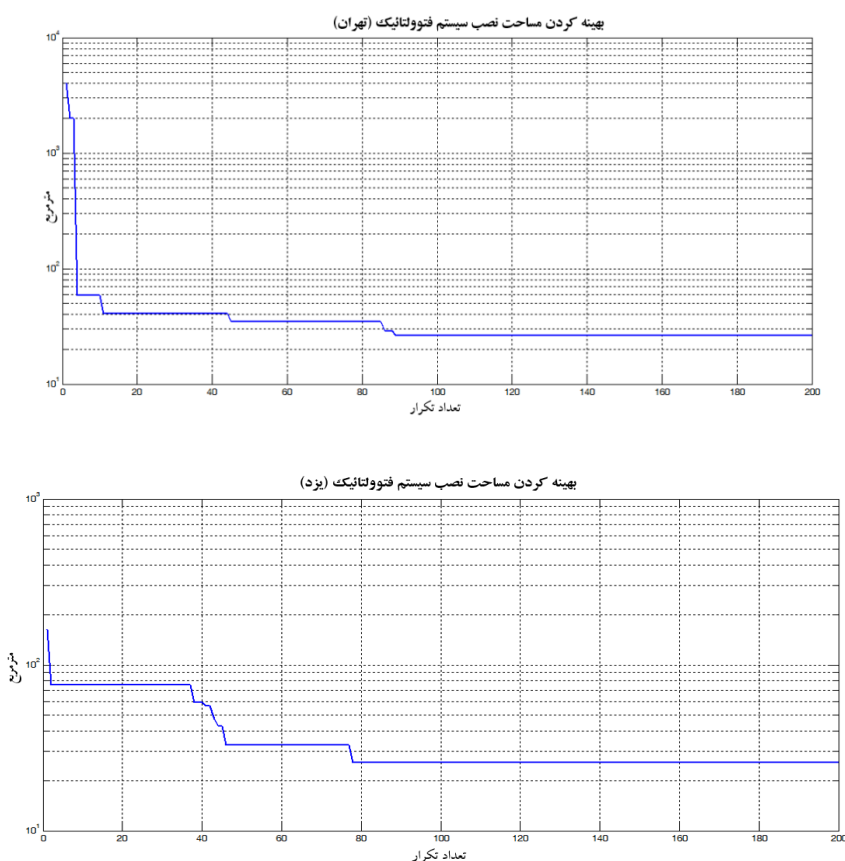
شکل ۸. تغییرات زاویه پنل نسبت به سطح افق و تغییرات انرژی هر شهر در فضای نصب پنل

شکل (۹) بیشترین تولید انرژی در مساحت‌های مختلف در شهر یزد در شرایط یکسان و فاصله مختلف پنل‌ها نسبت به یکدیگر را نشان می‌دهد. تغییر زاویه پنل نسبت به سطح افق در تولید انرژی و کمینه کردن فضای پنل مؤثر است.



شکل ۹. تغییر انرژی تولیدی با تغییر زاویه پنل نسبت به سطح افق و فاصله دو پنل از یکدیگر در شهر یزد

شکل (۱۰) نمودار کمینه کردن فضای نصب پنل در پنج شهر اهواز، تهران، یزد، اردبیل و گرگان با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل بمنظور افزایش تولید انرژی نشان داده شده است. همان طور که نمودارها نشان می‌دهد به غیر از نقطه بهینه سراسری در تکرار ۲۰۰ مرحله پردازش، نقاط محلی دیگری نیز وجود دارند که بهینه محلی هستند که با استفاده از تابع پردازش روابط (۲۱) و (۲۲) بهترین نقطه بهینه حاصل شده است. در شکل (۸) ماکزیمم انرژی براساس سطوح بهینه سراسری نمودارهای شکل (۱۰) آمده است.



شکل ۱۰. نمودار نقاط بهینه محلی و سراسری شهر یزد و تهران
که با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل در نرم افزار Matlab شبیه‌سازی شده است.

۸-۲. مقایسه انرژی تولیدی

مقایسه شبیه سازی حالت نرمال و بهینه با سیستم فتوولتائیک منصوبه مشترکین برای قدرت ۵ و ۸/۶ کیلووات در شرکت توزیع برق تهران بزرگ، در شرایط یکسان شدت تابش، عرض جغرافیایی، توان پنل و راندمان آن مقایسه شده، ثبت قرائت سالانه انرژی تولیدی سیستم فتوولتائیک منصوبه در جدول (۸) نشان دهنده تأثیر سرویس و نگهداری، زاویه نصب پنل نسبت به سطح افق و کاهش اثر سایه پنل نسبت به پنل دیگر بر انرژی تولیدی می باشد. نتایج تولید انرژی سیستم ۸/۶ کیلووات نشان دهنده وضعیت نصب مناسب تر آن نسبت به قدرت تولید انرژی ۵ کیلووات می باشد.

جدول ۸. مقایسه انرژی تولیدی سالیانه دو مشترک شرکت توزیع برق تهران بزرگ با شبیه سازی در حالت نرمال و بهینه

شهر	قدرت (کیلووات)	مساحت نصب (مترمربع)				انرژی تولیدی سالانه (کیلووات)	
		با ذخیره کننده		بدون ذخیره کننده		نرمال	بهینه
		نرمال	بهینه	نرمال	بهینه		
تهران	۵	۳۸	۳۲	۳۴	۲۴	۷۲۴۵	۸۴۹۰
تهران	۸/۶	۶۴	۷۰	۵۸	۶۵	۱۳۱۴۵	۱۵۶۹۲

مأخذ: نتایج تحقیق

۹. نتیجه گیری

در این پژوهش تمرکز بر مدیریت بهینه انرژی می باشد. با استفاده از پارامترهای موجود در سازمان هواشناسی در طی سالیان قبل شامل میزان ساعات آفتابی، رطوبت، دما و ابرناکی به تجزیه و تحلیل و میزان انطباق این پارامترها در مراکز استان کشور و بعضی از شهرها پرداخته شده که نهایت در چهار طبقه قرار گرفتند. با استفاده از مدل آنگسترم مدل ریاضی هر طبقه در نرم افزار SPSS شبیه سازی و معنادار بودن آن ارائه شده است. نتایج شبیه سازی در نرم افزار Matlab برای ۵ شهر نشان می دهد که دو پارامتر، ساعات آفتابی و عرض جغرافیایی بر شدت تابش مستقیم و پراکنده هر شهر تأثیر پذیرتر بوده و باعث حداکثر و حداقل شدت تابش در هر استان می شود. در این پژوهش متوسط ساعات آفتابی در شبیه سازی استفاده شده است. شبیه سازی در حالت نرمال، میزان انرژی تولیدی هر پنل براساس

زاویه قرارگیری آن از سطح افق، شدت تابش و عرض جغرافیایی هر محل ارائه شده است. ازسویی با استفاده از الگوریتم فراابتکاری کلونی زنبور عسل به نحوه آرایش پنل‌های سیستم فتوولتائیک و کاهش اثر سایه با رویکرد بهینه کردن محل نصب سیستم و افزایش انرژی پرداخته شده، که نتایج ۵ شهر مورد مطالعه ارائه گردید. درجدول (۷) نشان داده شد، در فضای بهینه یکسان نصب سیستم فتوولتائیک، انرژی تولیدی در پنج شهر متفاوت می‌باشد، بطوریکه در ناحیه یک بیشترین و در ناحیه چهار تقسیم‌بندی، کمترین انرژی تولیدی به‌دست آمده است. نتایج با دو نمونه از سیستم‌هایی که توسط پیمانکاران مورد تأیید شرکت توزیع تهران بزرگ در شهر تهران جهت مشترکین با قدرت ۵ و ۸/۶ کیلووات نصب شده، مقایسه شده، همان‌طور که در جدول (۸) پژوهش آمده، سیستم فتوولتائیک ۵ کیلووات منصوبه، در حالت عادی انرژی تولیدی سالانه از ۶/۳۳۵ به ۸/۴۹ مگاوات ساعت در حالت بهینه افزایش، همچنین سیستم فتوولتائیک ۸/۶ کیلووات منصوبه، انرژی تولیدی سالانه از ۱۳/۸۲۷ به ۱۵/۶۹۲ مگاوات ساعت افزایش یافته که به ترتیب نشان دهنده رشد تولید انرژی حدود ۳۶٪ و ۱۴٪ می‌باشد. که نشان می‌دهد با نصب بهینه، سرویس و نگهداری و کاهش اثر سایه، باعث افزایش انرژی تولیدی سیستم، پایداری و افزایش قابلیت اطمینان شبکه توزیع شده است.

منابع

- [۱] برنامه پیشنهادی وزیر نیرو برای تصدی وزارت نیرو، مهرماه ۱۳۹۶.
- [۲] ترابی، غلامعلی؛ قاسمی، احمد (۱۳۹۷)، "برنامه‌ریزی مدیریت انرژی روز بعد یک ریزش‌بکه، شامل منابع انرژی تجدید پذیر و CHP با در نظر گرفتن پاسخ گویی بار"، نشریه علمی (فصلنامه) انرژی ایران-دوره ۲۳ شماره ۴.
- [۳] دفتر فناوری گروه آمار و اطلاعات وزارت نیرو (۱۳۹۴). "گزارش وضعیت برنامه‌های بخش برق و سیمای آینده".
- [۴] سایت دفتر آموزشی، تحقیقات و فناوری وزارت نیرو (۱۳۹۶). "الویت‌های تحقیقاتی".
- [۵] غفارپور، رضا و علیرضا جم (۱۳۹۵). "استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر به منظور تأمین انرژی امن در مراکز حساس"، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۹ شماره ۳.
- [۶] قنبری، محمد جمال و محمدجواد قنبری (۱۳۹۳)، "محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان و نقش آن در سیاست‌های مدیریتی"، سومین کنفرانس ملی ایده‌های نو در مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان.

- [۷] مومنی، منصور؛ نظری، حسام و عالیہ کاظمی (۱۳۹۴)، "انتخاب سناریوی مناسب برای پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش خانگی -تجاری با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات"، فصلنامه اقتصادی مقداری، دوره ۱۰، شماره ۳، صص ۱-۱۹.
- [۸] وزارت نیرو و شرکت‌های تابعه (شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ/ایران).

- [9] Adnan Z. Amin. (2018). "Renewable Energy Prospects for the European Union", International Renewable Energy Agency.
- [10] Amy H.I., Lee He-Yau Kang and You-Jyun Liou. (2017). "A Hybrid Multiple-Criteria Decision-Making Approach for Photovoltaic Solar Plant Location selection", Sustainability 2017, No. 9, pp. 184
- [11] Appelbaum J. (2019). "Shading and Masking affect the Performance of Photovoltaic Systems-a Review", AIMS Energy.
- [12] Chor Foon Tang , Bee Wah Tan , Ilhan Ozturk (2019). "Energy Consumption and Economic Growth in Vietnam", Chapter in Studies in Computational Intelligence.
- [13] Changchun Cai, Haolin Liu, Weili Dai Zhixiang Deng, Jianyong Zhang and Lihua Deng (2017). "Dynamic Equivalent Modeling of a Grid-Tied Microgrid Based on Characteristic Model and Measurement Data", Energies, No.10.
- [14] Duffie J.A, and W.A. Beckman (1991)."Solar Engineering of thermal Processes", John Wiley & Sons, Inc., New York, second edition.
- [15] European Court of auditors (2018). "Electricity Production from Wind and Solar Photovoltaic Power in the EU".
- [16] George Sarraf, Georges Chehade, Abdo Tayar, Jad Moussalli, Christopher Decker, Per-Ola arlsson (2015). "Energy Efficiency in the UAE", the Economist Intelligence unit, international Energy Agency (IEA)
- [17] Hamed Allaham, Abdul Kadir HamidAli Cheaitou (2019). "Renewable Energy Management: Technical and Economic Evaluation of an Optimized Photovoltaic System", Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bangkok, Thailand.
- [18] Jose Luis Torres, Moreno, Antonio Gimenez-Fernandez, Manuel Perez-Garcia and Francisco Rodriguez (2018). "Energy Management Strategy for Micro-Grids with PV-Battery Systems and Electric Vehicles", Energies, No.11, pp.522.
- [19] Michael A., choen D.S. Callaway (2015). "Physical Effects of Distributed PV Generation on California's Distribution System" Energy and Resources Group, University of California, Berkeley.
- [20] Owen Zinaman, Mackay Miller, Ali Adil, Douglas Arent, Jaquelin Cochran, and Ravi Vora (2015). "Power Systems of the Future A 21st Century Power Partnership Thought Leadership Report", Technical Report NREL/TP-6A20-62611.

- [21] Pedrasa M.A.A., Spooner MacGill I.F. (2011). "Robust Scheduling of Residential Distributed Energy Resources Using a Novel Energy Service Decision-Support Tool", IEEE.
- [22] Sander van der Stelt, Tarek AlSkaif, Wilfried van Sark (2017). "Techno-Economic Analysis of Household and Community Energy Storage for Residential Prosumers with Smart Appliances", Applied Energy.
- [23] Sobhy S. Dessouky, Saad A. Mohamed Abdelwahab, Walid S.E. Abdellatif, Marwa A. Ali (2018). "Performance Enhancement of Grid Connected PV System by Using Incremental Conductance MPPT Technique ", Journal of Scientific and Engineering Research.
- [24] Tahsin Fahima Orchi, Md Apel Mahmud and Amanullah Maung Than Oo. (2018). "Generalized Dynamical Modeling of Multiple Photovoltaic Units in a Grid-Connected System for Analyzing Dynamic Interactions", Energies, No.11, p.296.
- [25] Temitayo O. Olowu, Aditya Sundararajan, Masood Moghaddami and Arif I. Sarwat (2018). "Future Challenges and Mitigation Methods for High Photovoltaic Penetration:A Survey", Energies, No. 11, p.1782.
- [26] Yinghao Zhao, Quansheng Yan, Zheng Yang, Xiaolin Yu and Buyu Jia (2020). "A Novel Artificial Bee Colony Algorithm for Structural Damage Detection", Advances in Civil Engineering.