نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، صفحه ۶۸ – ۴۵

# پارامترهای مؤثر بر انرژی تولیدی ریزشبکه جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه توزیع برق ایران بارویکردپایداری

[۱]علی رضا برزی*، [۲] غلام رضا هاشم زاده خوراسگانی، [۳] کیامرث فتحی هفشجانی، [۴] ابوتراب علی رضایی

**تاریخ دریافت:**
۱۰ / ۱۰ / ۱۳۹۸

**تاریخ پذیرش:**
۶ / ۱۲ / ۱۳۹۸

**کلمات کلیدی:**
سیستم فتوولتائیک،
انرژی،
الگوریتم فراابتکاری
Matlab،SPSS

**چکیده**

توجه به نگرانی‌های روز افزون گرمایش جهانی، بحران زیست‌محیطی و انرژی، تحقیقات و توسعه بین المللی را به سیستم‌های انرژی پایدار افزایش داده است. دراین پژوهش،روش کاربردی جهت بهینه‌سازی فضای نصب سیستم فتوولتائیک به علت محدودیت فضا در ساختمان شهرهای کشور ارائه شده، بطوری‌که اثر سایه برروی 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 هرطبقه در نرم افزار spssشبیه‌سازی شده‌اند. پنج شهرتهران، 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 هرپنل، از الگوریتم فراابتکاری کلونی زنبور عسل در نرم افزار Matlab استفاده شده و با حالت نرمال آن مقایسه گردیده، همچنین نتایج شبیه سازی 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، بهینه فضای نصب پنل و کاهش سایه باعث افزایش تولید انرژی، آزادسازی ظرفیت وپایداری 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_alirezaee@azad.ac.ir

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

## 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 آن‌را به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل بسترساز توسعه اقتصادی کشورمحسوب کرده است. یکی از چالش‌های مشترکین در تولید انرژی ریزشبکه‌های سیستم فتوولتائیک عدم فضای بالقوه ساختمان شهرهای کشور، تأثیر سایه بر بازدهی پنل است. مطالعات زیادی درزمینه 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 به‌دنبال ماکزیمم کردن انرژی تولیدی ریزشبکه‌های جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک با کمینه‌کردن 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 ریزشبکه‌ها 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 درکشور استرالیا، امارات و رابطه بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی درکشور 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

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

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 جمع کننده شدت تابش، طراحی و شبیه‌سازی انرژی در شرایط نامناسب محیطی، تحقیقاتی است که توسط محققان ارائه شده است [۱۹]، [۱۴]، [۱۱]. مدل‌سازی دینامیکی واحدهای فوتوولتائیک چندگانه متصل به شبکه برای تحلیل تعاملات پویایی پژوهشی است که هدف از آن، توسعه مدل تعمیم پویا 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 ۲۰درصد 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، درسال ۱۳۹۴ روزانه یک میلیارد کیلووات ساعت مصرف انرژی درکشور تولید شده، که در زمان پیک بار لحظه‌ای افزون بر ۵۰ هزار مگاوات می‌باشد. ماکزیمم مصرف برق درتیرماه سال ۹۴ به ۵۰ هزار و ۱۷۸ مگاوات رسیده است، در سال ۹۶ نیز پیک بار شبکه درتیرماه 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 ۱۸۰۰مگاوات مصرف و نزدیک به کشور آذربایجان با مصرفی بالغ بر ۳۸۰۰ مگاوات است. برای جبران

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

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 توان بالا ودر دسترس بودن، یک راه حل مناسب برای تأمین انرژی و سرمایه‌گذاری اقتصادی در یخش 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

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

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 طبقه بندی 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 هرشهر و انرژی تولیدی حاصل از سیستم فتوولتائیک با کمینه کردن فضای محل نصب پنل با استفاده از الگوریتم فرابتکاری کلونی زنبورعسل و رعایت قیود مانند فاصله هر پنل ازیکدیگر، 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.

## ٤. طبقه بندی 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. طبقه بندی 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<br>ناحیه دوم: ۳۰۰۰-۳۲۰۰<br>ناحیه سوم:۲۱۰۰-۳۰۰۰<br>ناحیه چهارم: کمتر از۲۱۰۰ |
| 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

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

## ۵. مدل رگرسیونی شدت تابش

از جدول(۱) شهرهای تهران، یزد، اردبیل، گرگان و اهـواز انتخـاب و بـا اسـتفاده از داده‌هـای سـازمان هواشناسی و نرم افزار SPSS مدل رگرسیونی شدت تابش براسـاس سـاعات آفتـابی طبـق جـدول (۲) استخراج شده، متغیرهای ابرناکی و دما به علت تأثیرات کم برشدت 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 درخارج از جو زمین($H_0$) از رابطه (۱) به‌دست می‌آید.

$$H_0 = \frac{24\times3600G_{SG}}{\pi}(1 + 0/33 \times \cos\frac{3600\times n}{365}) \times [\cos\emptyset\cos\delta\sin\omega_s + \frac{\pi\times\omega_s}{180}\sin\emptyset\sin\delta] \qquad (۱)$$

$H_0$ میانگین تابش کل روزانه در هرماه و $G_{SG}$ ثابت تشعشعی خارج جو که برابر با ۱۳۷۳ وات برمتربـع در نظر گرفته شده است.$\emptyset$ عرض جغرافیایی، $\delta$ زاویه تابش خورشـید نسـبت بـه خـط اسـتوا برحسـب درجه،$\omega_s$ زاویه ساعت خورشیدی برحسب درجه، n میانگین ماهیانه ساعات آفتابی،N میانگین ماکزیمم ساعات آفتابی است. مقادیرزوایای تابش،ساعت خورشیدی و ماکزیمم ساعات آفتابی از روابط (۲)، (۳) و (۴) به‌دست آمده است.

$$\delta = 23/45\sin\left(360\frac{284+n}{365}\right) \qquad (۲)$$

$$\omega_s = cos^{-1}(-tan\emptyset tan\delta) \qquad (۳)$$

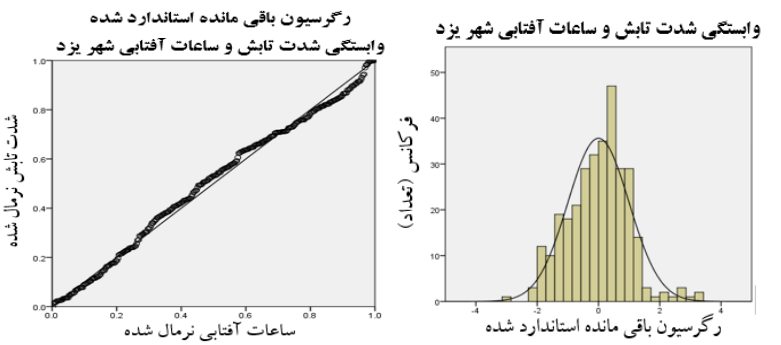
$$N = \frac{2}{15}\omega_S \qquad (۴)$$

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

| ردیف | شهر | مدل رگرسیونی |
|---|---|---|
| ۱ | اهواز و تهران | $\frac{H}{H_.} = ۰/۲۰۳ + ۰/۵۳۵\frac{n}{N}$ |
| ۲ | یزد | $\frac{H}{H_.} = ۰/۰۹۴ + ۰/۶۵۳\frac{n}{N}$ |
| ۳ | گرگان | $\frac{H}{H_.} = ۰/۰۳۹ + ۰/۷۸۲\frac{n}{N}$ |
| ۴ | اردبیل | $\frac{H}{H_.} = -۰/۰۶۹ + ۰/۹۸۵\frac{n}{N}$ |

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

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 به‌دست 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. درشکل(۱) نمودار هیستوگرام و رگرسیون مربوط به شهر یزد نشان داده شده است.




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

## ٦. شبیه‌سازی در حالت نرمال

مدل رگرسیونی ارائه شده درجدول (۲)، درنرم افزار Matlab شبیه‌سازی شده و مقادیر شدت تابش هر شهر به‌دست 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 ۱۰۰۰وات برمترمربع می‌رسد. شدت تابش(H) برحسب کیلووات بر مترمربع.

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

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

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

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

درحالت بهینه از مدل ایزوتروپیک جهت به‌دست آوردن شدت تابش کـه در رابطـه (۷) آورده شـده، در حالتی که سایه بر روی پنل قرار ندارد، استفاده می‌شود. درشکل(۲) زاویای تابش خورشید برسطح پنـل نشان داده شده است.

$$H_T = H_B R_B + H_D \left(\frac{1+cos\beta}{2}\right) + H\rho_g(\frac{1-cos\beta}{2} \qquad (۷)$$

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

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

$\beta$: زاویه پنل نسبت به سطح افق(درجه).

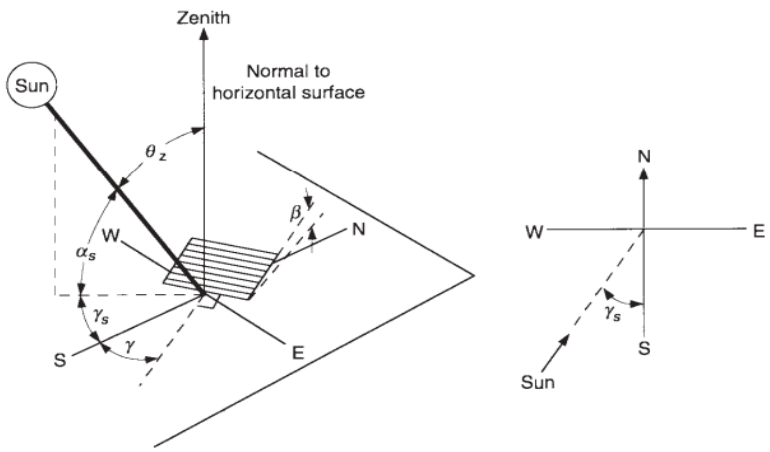
$H_D$: شدت تابش پراکنده که وابسته به شرایط جوی ابرناکی دارد(کیلووات ساعت بر متر مربع).

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

$$R_B = \frac{cos\delta \cos(\emptyset-\beta)\omega_s' + (^{\pi}/_{180})\omega_s' \sin(\emptyset-\beta) sin\delta}{cos\delta cos\emptyset sin\omega_s + (^{\pi}/_{180})\omega_s sin\emptyset sin\delta} \qquad (۸)$$

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

$$\omega_s' = \left[\begin{matrix}\min\left[cos^{-1}(-tan\emptyset tan\delta)\right.\\ cos^{-1}(-\tan(\emptyset-\beta)tan\delta\end{matrix}\right] \quad (۹)$$




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. تأثیراثرسایه برشدت 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 برروی 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.دررابطه(۱۰) مقدارشدت تابش پس از تأثیر اثر سایه آورده شده است [۱۴].

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

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

$$l_s = l - (D + Acos\beta)\frac{sin\beta|sin_{\gamma_S}|tan\alpha}{cos\beta + \frac{Asin\beta cos_{\gamma_S}}{tan\alpha}} \quad (۱۲)$$

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

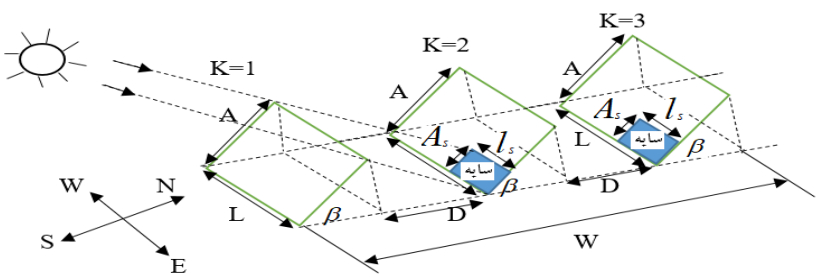
$$A_s = A(1 - \frac{D+Acos\beta}{Acos\beta+\frac{Asin\beta cos\gamma_S}{tan\alpha}}) \quad (۱۳)$$

$$s_shade = l_s \times A_s \quad (۱۴)$$

$F_d$: 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 به‌دست آمده است.

$$H_T^{''}=H_T^{'}+H_T \quad (۱۵)$$




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

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

## ۷-۲. پایداری شبکه توزیع برق

ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه محل نصب ریزشبکه‌های 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]. $\lambda_i$ 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.

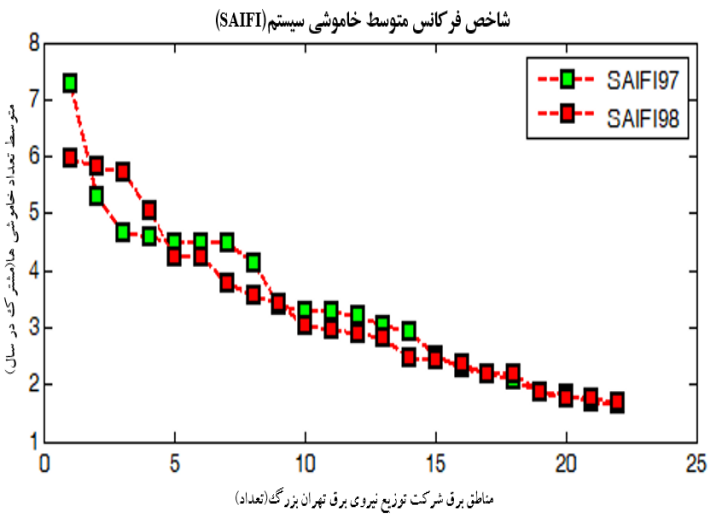
[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda i \times \mathrm{N}i}{\sum_{i=1}^{n} \mathrm{N}i} \quad (۱۶)$$

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

$$CAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{n} Ui \times Ni}{\sum_{i=1}^{n} \lambda i \times \mathrm{N}i} \quad (۱۸)$$

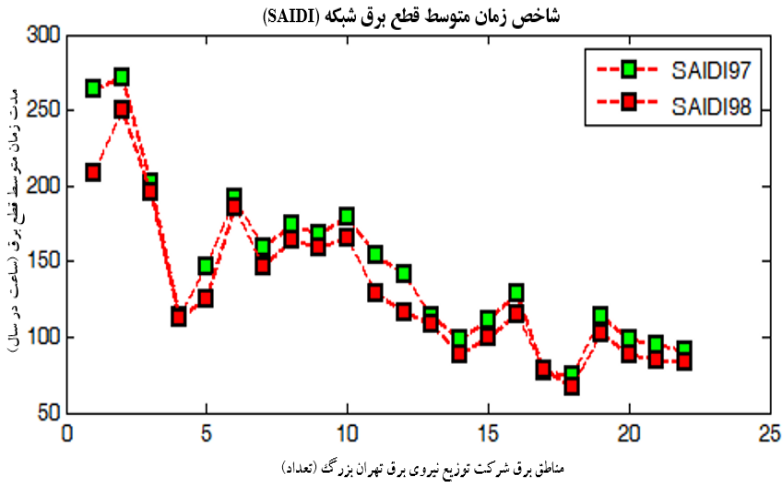
شکل‌های (۴)،(۵) و(۶) نمودارهای شاخص‌های SAIDI،SAIFI وCAIDI مربوط به مناطق ۲۲ گانه برق شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ در سال ۹۷ و نه ماهه سال ۹۸ در نرم افزار Matlab شبیه‌سازی شده، نشان داده شده است.




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

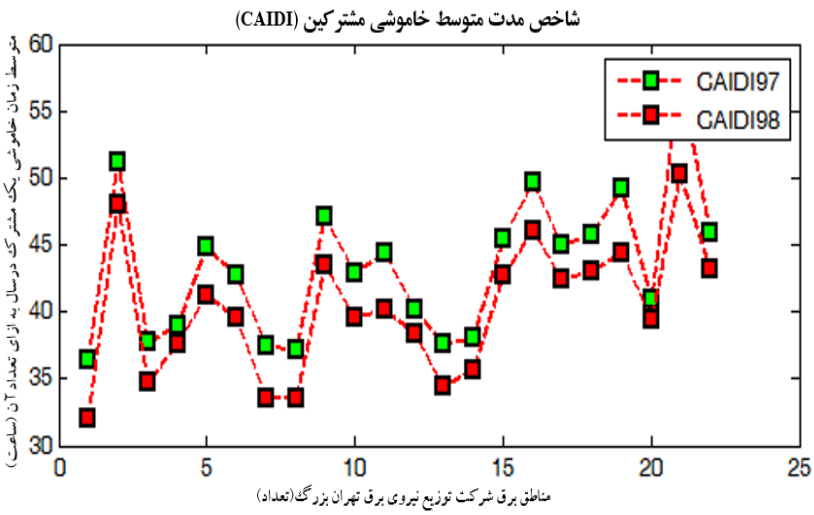
مأخذ: نتایج تحقیق. براساس بررسی داده‌های شرکت توزیع برق تهران بزرگ

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]




شکل ۵. نمودار شاخص متوسط 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 ودوگانه 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

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

همان‌طورکه درنمودار شکل(۳)، (۴) و (۵) نشـان داده شـده، مشـترکین متقاضـی نصـب سیسـتم فتوولتائیک براساس شاخص قابلیت اطمینان محل و حساسیت میزان قطع برق، میزان کیلووات انـرژی و ذخیره کننده آن را محاسبه و هزینه سرمایه‌گذاری را برآورد می‌کنند.

## ۷-۳. الگوریتم فراابتکاری کلونی زنبورعسل

در الگوریتم ABC [1]، در جمعیت اولیه، نیمـی از جمعیـت زنبورهـا زنبـور کـارگر و نیمـی دیگـر زنبـور جستجوگرتقسیم می‌شوند. برای هر منبع غذایی، فقط یک زنبورعسل کارگر وجود دارد. مقداردهی اولیه به منابع غذایی که به صورت تصادفی از رابطه (۱۹) به دست می‌آید.

$$X_{ij} = X_j^{min} + rand(0.1)(X_j^{max} - X_j^{min}) \quad (۱۹)$$

زنبورهای کارگر به سمت منابع غذایی حرکت می‌کنند. منـابع غـذایی همـان موقعیـت زنبورهـا در فضای بهینه‌سازی است. هر زنبور کارگر، به طور تصادفی یک همسایه انتخاب می‌کنـد و از طریـق رابطه (۲۰)، به سمت آن حرکت می‌کند. همچنین ارزیابی کیفیت آن از رابطه (۲۱) و (۲۲) اصلاح و حرکت انجام شود.

$$V_{ij} = X_{ij} + \varphi_{ij}(X_{ij} - X_{kj}) \quad (۲۰)$$

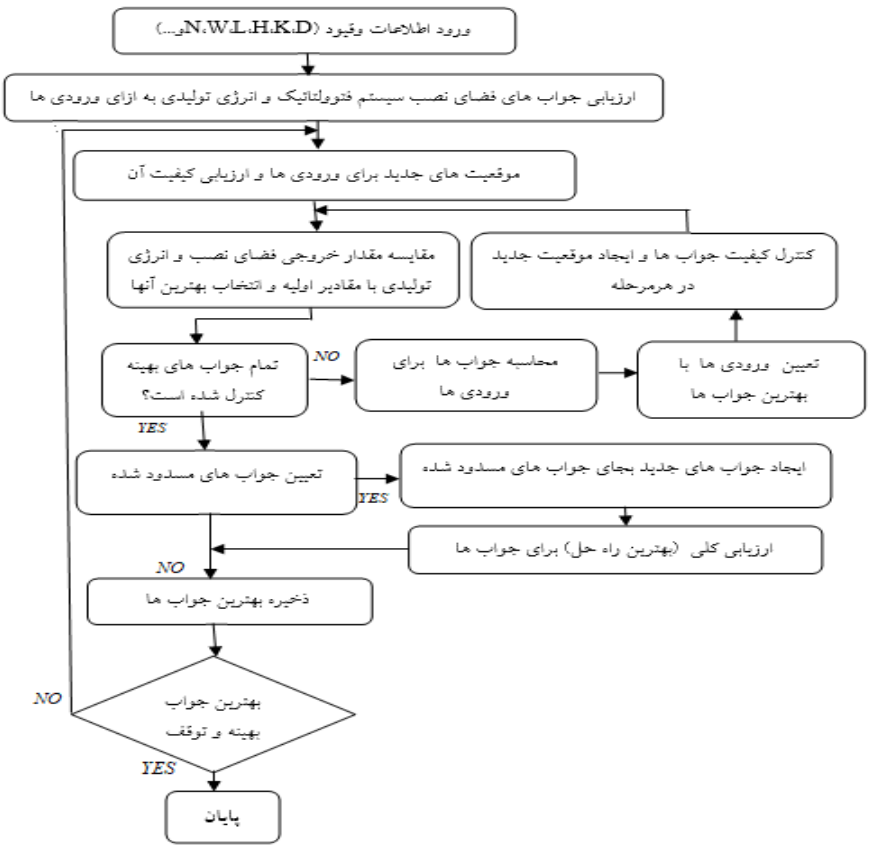
$$P_i = \frac{fitness_i}{\sum_{m=1}^{N} fitness_{im}} \quad (۲۱)$$

$$fitness_i = \begin{cases} \dfrac{1}{1 + fit_i} & fit_i \geq 0 \\ 1 + abc(fit_i) & fit_i \leq 0 \end{cases} \quad (۲۲)$$

1. Artificial Bee Colony

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

زنبورهای پیشاهنگ ناحیه‌هایی که از نظر شهد نـامطلوب شناسـایی شـدند، تـرک و بـه تصـادف ناحیه‌های دیگری را انتخاب می‌کنند. درصورتی که یک منبـع غـذایی بهتـر پـس از رسـیدن شـاخص محاکمه به حد تعیین شده یافت نشود، منبع غذایی جدیدی توسـط زنبورهـای پیشـاهنگ بـه صـورت تصادفی با استفاده ازرابطه (۱۹) مقداردهی می‌شود [۲۶].




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

## ۷-٤. کمینه کردن تابع هدف

با بازدید میدانی از پروژه‌های نصب سیستم فتوولتائیـک در سـطح شـهرتهران، کـاهش فضـای نصـب سیستم با بیشترین تولید انرژی اهمیت زیادی دارد و تعمیم آن به دیگر شهرهای ایران باعـث افـزایش

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

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 فرابتکاری کلونی زنبور عسل استفاده شده است.

### ۷-٤-۱. تابع هدف

ماکزیمم انرژی با افزایش شدت تابش ردیف k و ردیف های$(k-1)$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.

$$H_T^{''} = A \times l \times [H_B + H_d + (k-1)\left(H_B^{sh} + H_d^{sh}\right)] \qquad (۲۳)$$

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 پرتوسالانه در واحد سطح با سایه روی پنل (k−۱) ردیف

$H_d^{sh}$ : متوسط تابش پراکنده سالانه در واحد سطح با سایه روی پنل (k−۱) ردیف

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

MINIMIZE l*W

### ۷-٤-۲. 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 بدنبال حداقل فاصله می‌باشیم.

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

عرض پنل(A) با زاویه‌ای($\beta$) که پنل نسبت به سطح افـق مـی‌سـازد، E انـرژی تولیـدی کـه از کمترین انرژی درخواستی بیشتر و وابسته به قیود دیگر است، S مساحت فضای نصب پنل که از فضای ماکزیمم آن کمتر است. $\xi_1$ ، $\xi_2$ به منظور قراردادن نسبت طول و عرض فضای نصب در بازه تعیـین شده می‌باشد$k \geq 2 \ \& \in z$.

$$\begin{cases} (k-1) \times D + k \times A \times cos\beta \leq w \\ 0^o \leq \beta \leq 90^o \\ A \leq A_{max} \\ E \leq E_{min} \\ S(l \times w) \times S_{max} \leq (l_{max} \times w_{max}) \\ \xi_1 \leq \frac{w}{l} \leq \xi_2 \\ D \geq D_{min} \end{cases} \quad (۲۴)$$

### ۷-٤-۳. متوسط مصرف انرژی ماهانه

مصرف متوسط سرانه مشترکین برق با تعرفه‌های مختلف براساس داده‌های موجـود انـرژی مشـترکین برق خانگی، تجاری، عمومی، صنعتی و کشاورزی درچهارمحدوده جنوبشرق، جنوب‌غرب، شمال‌غرب و شمال‌شرق شرکت توزیع برق تهران بزرگ بررسـی و در جـدول (۴) نشـان داده شـده اسـت. وضـعیت فرهنگ مصرف، تکنولوژی، درآمد و دمای محـل، بـه علـت مهـاجرت فرهنـگ‌هـا از شـهرهای دیگـر کشورمان به این نواحی شهری را می‌توان مشابه تقریبی مصرف و درآمد در شهرها دانست. با توجه بـه مصرف سرانه انرژی برق و فضای محدود نصب سیستم در داخل شهرها،جدول (۴) نشان مـی‌دهـد بـا استفاده از ریزشبکه‌های سیستم فتوولتائیک و کمینه کردن فضای نصب در بخـش خـانگی، تجـاری و عمومی می‌توان ظرفیت شبکه توزیع را افزایش داد. همچنین در بخش کشاورزی و صنعتی با توجه بـه فضای موجود و کمینه کردن آن، می‌توان انرژی تولیـدی سیسـتم فتوولتائیـک را جـایگزین بخشـی از انرژی شبکه توزیع کرد.

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

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 |
| جنوب‌شرق | ۲/۳ | ۳/۶ | ۸ | ۴۱/۷ | ۲۱/۶۳ |
| جنوب‌غرب | ۲/۲ | ۵ | ۶/۳ | ۲۷ | ۱۶۰/۴۵ |
| شمال‌شرق | ۲/۴ | ۸/۶ | ۱۴/۷ | ۵۴/۹ | ۱۴۶/۷ |
| شمال‌غرب | 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 $a_1 = ۰/۴۵ \& a_2 = ۰/۸$)

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

مأخذ: داده‌های اولیه و استخراج اطلاعات نصب سیستم فتوولتائیک درشرکت 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(میلیمتر) | سازنده | مدل |
| مونو کریستال | ۳۴۰ | SSF-M72 | ۱۹۵۶-۹۹۲-۴۰ | چین | omniksol |

مأخذ: نتایج تحقیق

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

### 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 زنبورعسل، درنرم افزارMatlab 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.

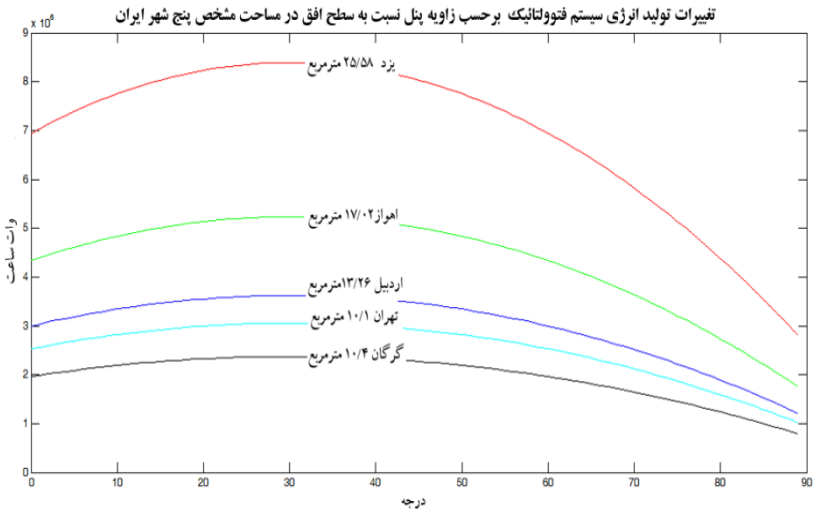
۴. شکل(۸) تغییرات بهینه انرژی در تغییرات زاویه پنل نسبت به سطح افق برای شهرهای مختلف در فاصله پنل‌ها نسبت به یکدیگر نشان داده شده است. در صورتی که مساحت فضای نصب پنل ۵ شهر ثابت باشد. انرژی تولیدی هر شهر طبق جدول (۷) می‌باشد.

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

| شهر | $\phi$ (درجه) | $H$ (کیلووات ساعت برمترمربع) | k | $\beta$ (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 |

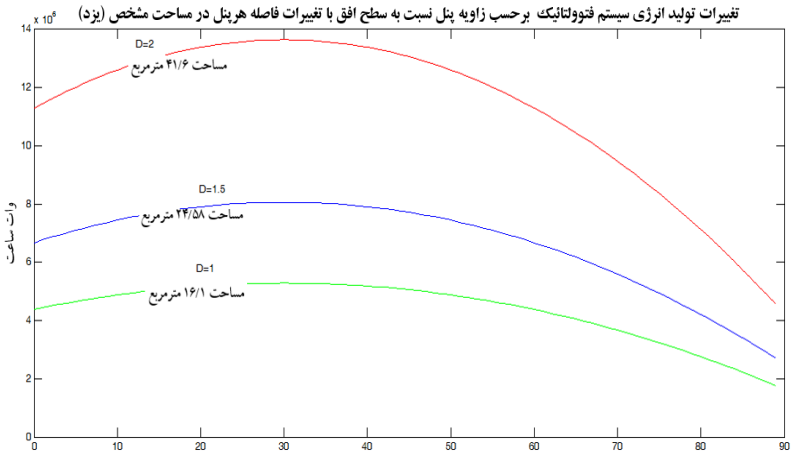
مأخذ: نتایج تحقیق

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]




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

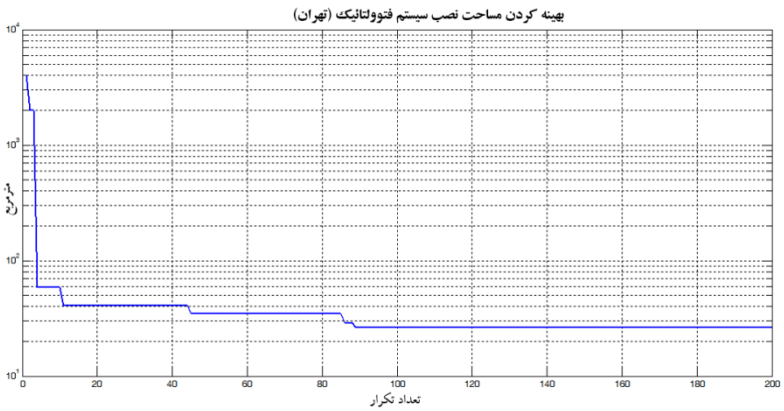
شکل (۹) بیشترین تولید انرژی در مساحت‌های مختلف در شهر یزد در شرایط یکسان و فاصله مختلف پنل‌ها نسبت به یکدیگر را نشان می‌دهد. تغییر زاویه پنل نسبت به سطح افق در تولید انرژی و کمینه کردن فضای پنل مؤثر است.

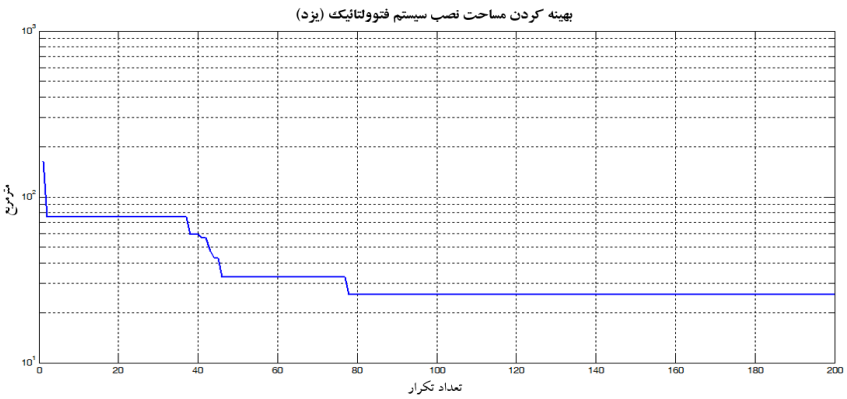



شکل ۹. تغییر انرژی تولیدی با تغییر زاویه پنل نسبت به سطح افق و فاصله دو پنل از یکدیگر در شهر یزد

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

شکل(۱۰) نمودارکمینه کردن فضای نصب پنل در پنج شهر اهـواز، تهـران، یـزد، اردبیـل وگرگـان بـا استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل بمنظور افزایش تولید انرژی نشان داده شده است. همان‌طور کـه نمودارها نشان می‌دهد به غیر از نقطه بهینه سراسـری در تکـرار ۲۰۰ مرحلـه پـردازش، نقـاط محلـی دیگری نیز وجود دارند که بهینه محلی هستند که با استفاده از تابع پردازش روابط (۲۱) و (۲۲) بهترین نقطه بهینه حاصل شده است. درشکل (۸) ماکزیمم انرژی براساس سطوح بهینه سراسـری نمودارهـای 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.

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

## ۸-۲. مقایسه انرژی تولیدی

مقایسه شبیه سازی حالت نرمال و بهینه با سیستم فتوولتائیک منصوبه مشترکین برای قـدرت 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 منصـوبه در جـدول(۸) نشان دهنده تأثیر سرویس و نگهداری، زاویه نصب پنل نسبت بـه سـطح افـق وکـاهش اثرسـایه پنـل نسبت به پنل دیگر بر انرژی تولیدی می‌باشد. نتایج تولید انرژی سیسـتم ۸/۶ کیلـووات نشـان دهنـده وضعیت نصب مناسب‌تر آن نسبت به قدرت تولید انرژی ۵ کیلووات می‌باشد.

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

| شهر | قدرت (کیلووات) | مساحت نصب (مترمربع) | | | | انرژی تولیدی سالانه (کیلووات | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | با ذخیره کننده | | بدون ذخیره کننده | | نرمال | بهینه | سیستم منصوبه |
| | | نرمال | بهینه | نرمال | بهینه | | | |
| تهران | ۵ | ۳۸ | ۳۲ | ۳۴ | ۲۴ | ۷۲۴۵ | ۸۴۹۰ | ۶۲۳۵ |
| تهران | ۸/۶ | ۶۴ | ۷۰ | ۵۸ | ۶۵ | ۱۳۱۴۵ | ۱۵۶۹۲ | ۱۳۸۲۷ |

مأخذ: نتایج تحقیق

## ۹. نتیجه‌گیری

دراین پژوهش تمرکز برمدیریت بهینه انرژی می‌باشـد. بـا اسـتفاده از پارامترهـای موجـود در سـازمان هواشناسی در طی سالیان قبل شامل میزان ساعات آفتابی، رطوبت، دما و ابرناکی به تجزیه و تحلیـل و میزان انطباق این پارامترها درمراکز اسـتان کشـور و بعضـی از شـهرهـا پرداختـه شـده کـه نهایـت در چهارطبقه قرار گرفتند. با استفاده از مدل آنگسترم مدل ریاضی هر طبقه در نرم افزار SPSS شبیه‌سازی و معنادار بودن آن ارائه شده است. نتایج شبیه سازی در نرم افزار Matlab برای ۵ شهر نشان می‌دهـد 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 می‌شود. در این پژوهش متوسط ساعات آفتابی در شبیه سازی استفاده شده است. شبیه‌سازی در حالت نرمال، میزان انرژی تولیدی هـر پنـل براسـاس

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

زاویه قرارگیری آن از سطح افق، شدت تابش و عرض جغرافیایی هرمحل 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 و۸/۶ کیلووات نصب شده، مقایسه شده، همان‌طور که در جدول (۸) پژوهش آمده، سیستم فتوولتائیک ۵کیلووات منصوبه، در حالت عادی انرژی تولیدی سالانه از ۶/۲۳۵ به ۸/۴۹ مگاوات ساعت در حالت بهینه افزایش، همچنین سیستم فتوولتائیک ۸/۶ کیلووات منصوبه، انرژی تولیدی سالانه از۱۳/۸۲۷ به۱۵/۶۹۲مگاوات 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 وکاهش 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 روزبعد 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 پذیربه 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.

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

[۷] مومنی، منصور؛ نظری، حسام و عالیه 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، صص۱–۱۹.

[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 Approch 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 , IIhan 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 auditore (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,intemational 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.

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]

[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.

[ Downloaded from necjournals.ir on 2026-01-31 ]