

مدل اقتصادی ریزشبهه جریان مستقیم با کاربرد سیستم فتوولتائیک در صنعت برق ایران

علیرضا برزی^۱ | غلامرضا هاشم‌زاده خوراسگانی^{۲*} | کیامرث فتحی هفشجانی^۳ | ابوتراب علی رضایی^۴

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸،۰۳،۰۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸،۰۶،۰۵

چکیده

مدیریت تولید انرژی ریزشبهه سیستم فتوولتائیک به علت اثرات مثبت در حفظ محیط زیست، افزایش پایداری و کاهش بارشبهه در سال‌های اخیر مورد توجه شرکت‌های توزیع صنعت برق قرار گرفته، یکی از چالش‌ها در عدم توسعه ریزشبهه سیستم فتوولتائیک، عدم برگشت سرمایه و هزینه‌های بهره‌برداری در کمترین زمان می‌باشد. در این پژوهش یک مسئله جدید جهت مدیریت انرژی ریزشبهه جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک با استفاده از داده‌های هواشناسی و ارائه مدل رگرسیون شدت تابش با متغیر ساعات آفتابی چهار شهر شیراز، تهران، رشت و تبریز در نرم افزارهای spss ارائه شده است. براین اساس تولید انرژی سیستم برآورد و درآمد حاصل از فروش آن با توجه به نرخ تورم و تعدیل سالیانه قیمت انرژی، در نرم افزار Matlab شبیه‌سازی شده است. روابط ریاضی هزینه‌ها شامل سرمایه‌گذاری اولیه، جایگزینی قطعات و سرویس و نگهداری با استفاده از پارامترهای اقتصادی تورم، استهلاک و بهره‌وام، بدست آمده، با استفاده از روابط ریاضی حاصل از هزینه‌ها و درآمد حاصل از فروش انرژی، مدل ریاضی نهایی ارائه شده است. انرژی تولیدی و برگشت سرمایه حاصل از نتایج شبیه‌سازی چهار شهر، همچنین عملکرد ریزشبهه سیستم فتوولتائیک منصوبه با نتایج شبیه‌سازی در شهر تهران مقایسه، که نشان‌دهنده اقتصادی بودن مدل است.

واژگان کلیدی:

درآمد، هزینه، سیستم فتوولتائیک، انرژی تولیدی، Matlab.

۱ مقدمه

صنعت برق به خاطر نقش زیربنایی و ارتباط زیادی که با کلیه عوامل موثر بر رشد اقتصادی دارد، صنعتی پویا و تاثیرگذار است. با توجه به فراگیری گسترده انرژی برق می‌توان آن را بعنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل بسترساز توسعه اقتصادی کشور محسوب کرد. درصنعت توزیع برق مشترکان براساس نوع فعالیت به تعرفه‌های صنعتی، خانگی، کشاورزی، تجاری و عمومی تقسیم بندی شده‌اند (لی و همکاران، ۲۰۱۷). هرچه آزادسازی ظرفیت انرژی بیشتر شود، پایداری شبکه و صادرات انرژی به کشورهای همجوار افزایش می‌یابد (مارتین و همکاران، ۲۰۱۷). داشتن انرژی پایدار عمده‌ترین عامل اقتصادی جوامع صنعتی پس از نیروی انسانی است. تامین انرژی پایدار ضرورت توسعه پایدار است، به همین دلیل در سال‌های اخیر دولت‌های مختلف پیشرفته و در حال توسعه و بخصوص کشورمان توجه فزاینده‌ای به انرژی تجدیدپذیر (سیستم 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 داشته است. درایالات متحده آمریکا به منظور اقتصادی نمودن تکنولوژی پیشرفته فن‌آوری انرژی پاک، افزایش قابلیت اطمینان صادرات برق پژوهش نموده‌اند (احمد و همکاران، ۲۰۱۹). گزارش‌های اخیر آژانس های بین‌المللی نشان می‌دهد که تعداد زیادی متقاضیان برق در دنیا به شبکه برق دسترسی ندارند (چاتریه و همکاران، ۲۰۱۹) و همچنین مطالعات صورت گرفته در کشور فیلیپین در راستای تامین برق جزایر این کشور از سیستم فتوولتائیک پیشنهاد شده است و نتایج حاکی از کاهش هزینه ۲۰ درصدی از هزینه ترازشده جهت تامین انرژی شبانه روز توسط بخش خصوصی نسبت به تولید انرژی با سوخت‌های فسیلی می‌باشد (برداو، ۲۰۱۹). در کشور مالزی جهت سوق دادن مشترکین تجاری و صنعتی به استفاده از سیستم فتوولتائیک، مشترکین علاوه بر پرداخت هزینه‌های برق مصرفی، نسبت به پرداخت هزینه حداکثر تقاضا نیز اقدام نموده‌اند (سابرامانی و همکاران، ۲۰۱۷).

۱. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۲. نویسنده‌ی مسئول - دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۳. استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۴. دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

مطالعه بهینه‌سازی انرژی و کاهش آلاینده‌ها با تغییر رفتار متغیرهای ورودی دیگر ویژگی‌های این سیستم است (مالینو، ۲۰۱۹). بارشد ۴ درصدی مصرف انرژی در امارات متحده عربی طی شش سال گذشته، پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۰ این رشد به ۵ درصد افزایش یابد (سراف و همکاران، ۲۰۱۵). با بررسی تاثیر شرایط آب و هوایی ایالت کالیفرنیا بر شبکه توزیع برق و تاثیر سیستم فتوولتائیک به تجزیه و تحلیل تاثیر سیستم فتوولتائیک بر تلفات، پیک بار، پیری ترانسفورماتور، تنظیم‌کننده ولتاژ، کیفیت قدرت توزیع، توضیح داده شده است (چوئن و کالووی، ۲۰۱۵). مطالعه رابطه بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی در کشور ویتنام با استفاده از چارچوب رشد نئوکلاسیک Solow برای دوره ۱۹۷۱-۲۰۱۱ پرداخته است در این تحقیق از مفهوم و روش‌های همبستگی و علیت گرنجر برای ایجاد رابطه بین متغیرها استفاده کرده است (تان و ازترک، ۲۰۱۵). سیستم برق قابل اعتماد، اقتصادی، رقابتی و سازگار با محیط زیست، سنگ بنای یک جامعه مدرن است. بر این اساس انجمن اقتصاد جهانی در مورد آینده برق و سامانه‌های تحول دیجیتال کردن صنایع، می‌باشد. هدف توصیه‌های آنها تسریع استقرار این تکنولوژی‌های شبکه‌ای و مزایای اقتصادی و اجتماعی آنها است (مارتین و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین ارائه مدل‌سازی دینامیکی کلی از واحدهای فتوولتائیک چندگانه متصل به شبکه نشان می‌دهد که، با توسعه مدل تعمیم پویا از چند واحد فتوولتائیک (PV) متصل به شبکه امکان پایداری سیستم‌های PV افزایش می‌یابد (اورچی و همکاران، ۲۰۱۹). در پژوهشی دیگر به انرژی‌های تجدیدپذیر و رشد اقتصادی در کشورهای اروپایی پرداخته‌اند این پژوهش به بررسی رابطه بین مصرف انرژی ناشی از منابع انرژی تجدیدپذیر و رشد اقتصادی کشورهای صادر کننده به عنوان GDP مربوط به سرانه ۲۵ کشور اروپایی است. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های کشورهای اروپایی برای دوره ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶ می‌باشد. تجزیه و تحلیل آماری بر اساس آمار توصیفی، خوشه‌ای و تاخیر توزیع شده است. (نتانوس و همکاران، ۲۰۱۸) در گزارش حسابرسان اتحادیه اروپا به تولید انرژی با استفاده از انرژی باد و خورشید اشاره 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 و چشم‌انداز اتحادیه دستیابی آن به ۲۰ درصد تا سال ۲۰۲۰ می‌باشد. همچنین پیش‌بینی برای ۲۰۳۰ رشد ۲۷ درصد در نظر گرفته شده است. مطالعات در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر ریزشکبه‌ها بخصوص سیستم‌های فتوولتائیک در کشورمان ایران و کشورهای دیگر جهت کاهش هزینه احداث ریزشکبه جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک ادامه دارد و این تحقیقات منجر به کاهش وابستگی به انرژی فسیلی و افزایش استفاده از انرژی پاک شده است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های هواشناسی، طبقه‌بندی جغرافیایی استان‌های ایران انجام و مدل شدت تابش هر ناحیه بدست آمده، مقدار انرژی تولیدی محاسبه، درآمد حاصل از فروش انرژی بدست می‌آید. پارامترهای اقتصادی و هزینه‌ها بررسی و در نهایت مدل اقتصادی ارائه شده است. از نرم افزارهای Excel، Spss و Matlab جهت شبیه‌سازی استفاده شده است.

۲ روش‌شناسی

با توسعه استفاده از ریزشکبه جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه برق شهری و نگاه کشورها به انرژی پاک، در طول یکسال پژوهش از متخصصین توزیع صنعت برق ایران و قراردادهای منعقد در شرکت‌های توزیع برق پارامترهای اقتصادی و فنی با مصاحبه، تجزیه و تحلیل عملکرد ثبت انرژی ریزشکبه‌ها، پیشینه پژوهش‌ها و گزارشات در داخل و خارج کشور، داده‌های هواشناسی، استخراج و در مدل اقتصادی بکار گرفته شده، بدین نحو که داده‌های سازمان هواشناسی شامل ابرناکی، ساعات آفتابی و رطوبت ایستگاه‌های هواشناسی چهار شهر شیراز، تبریز، تهران و رشت بررسی و مدل رگرسیون آن، در نرم افزار spss شبیه‌سازی و معادله شدت تابش آن ارائه شده است. با استفاده از مدل بدست آمده، انرژی تولیدی سیستم برآورد و درآمد حاصل از فروش انرژی تولیدی، با استفاده از نرخ تعدیل قیمت انرژی، تورم و تلفات با نگاه ارزش فعلی در نرم افزار متلب شبیه‌سازی شده است. روابط ریاضی هزینه‌های سیستم شامل سرمایه‌گذاری اولیه، سرویس و نگهداری و جایگزینی قطعات با استفاده از پارامترهای اقتصادی تورم، بهره وام و استهلاک مدل‌سازی و مدل‌نهایی اقتصادی بدست

آمده است. نتایج شبیه‌سازی و زمان برگشت سرمایه چهار شهردر مدل‌نهایی در نرم افزار متلب شبیه‌سازی، مقایسه و تجزیه و تحلیل شده است، همچنین نتایج در شهر تهران با داده‌های سیستم منصوبه مقایسه شده است.

۱-۲ طبقه‌بندی منطقه مورد مطالعه

شهرهای مورد مطالعه مراکز استان‌های ایران و طبقه‌بندی جغرافیایی براساس ابرناکی، رطوبت هوا و متوسط ساعات آفتابی سالیانه بررسی و طبق جدول (۱) طبقه‌بندی

شده است. از نواحی طبقه‌بندی شده، شهرهای شیراز، تهران، تبریز و رشت انتخاب و با استفاده از داده‌های سازمان هواشناسی و نرم افزار SPSS مدل خطی شدت تابش براساس ساعات آفتابی طبق جدول (۲) استخراج شده، متغیرهای ابرناکی و دما به علت تاثیرات کم بر شدت تابش صرف‌نظر شده است. همبستگی پیرسون و معنادار بودن مدل رگرسیونی کنترل شده است.

جدول ۱: طبقه‌بندی مراکز و بعضاً «شهرهای استان‌های ایران براساس داده‌های سازمان هواشناسی» (برزی و همکاران، ۱۳۹۸)

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

جدول ۲: مدل آنگسترم، شدت تابش چهارشهر در جدول ۱ با استفاده از نرم افزار SPSS نشان داده شده است

ردیف	شهر	معادله بدست آمده
۱	شیراز	$\frac{H}{H_0} = .071 + .712 \frac{n}{N}$
۲	تهران	$\frac{H}{H_0} = .057 + .734 \frac{n}{N}$
۳	تبریز	$\frac{H}{H_0} = .066 + .818 \frac{n}{N}$
۴	رشت	$\frac{H}{H_0} = .081 + 1.038 \frac{n}{N}$

در جدول (۲) مقدار H_0 از رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$H_0 = \frac{24 \cdot 3600 G_{SC}}{\pi} \left(1 + .033 \times \cos \frac{360 \cdot n}{365} \right) \times \left[\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (1)$$

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right) \quad (2)$$

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

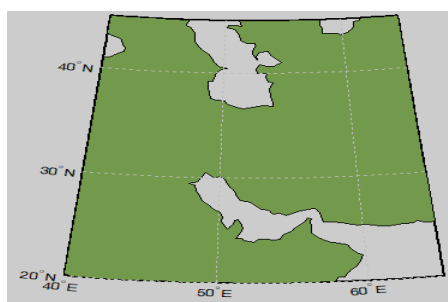
$$N = \frac{2}{15} \omega_s \quad (4)$$

با استفاده از مدل شدت تابش جدول (۱)، میانگین ساعات آفتابی و عرض جغرافیایی، میانگین شدت تابش طبق جدول (۳) بدست آمده است. همچنین شکل (۱) عرض و طول جغرافیایی ایران را نشان می‌دهد.

H میانگین تابش کل روزانه در هر ماه و H_0 تابش اندازه گیری شده در خارج جومی باشد که H_0 از رابطه (۱) بدست آمده است.

G_{sc} ثابت تشعشعی خارج جو که برابر با ۱۳۷۳ وات بر متر مربع در نظر گرفته شده است.

θ 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، φ زاویای تابش، ساعت خورشیدی و ماکزیمم ساعات آفتابی از روابط (۲)، (۳) و (۴) بدست می‌آید.

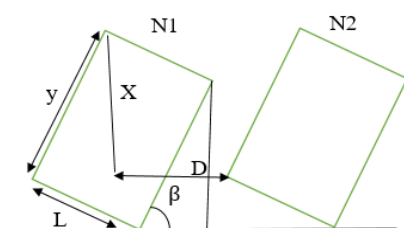


شکل ۱. عرض و طول جغرافیایی ایران نشان داده شده است

جدول ۳: مقدار تابش میانگین چهار شهر که در نرم افزار Matlab شبیه‌سازی شده، نشان داده شده است.

نام شهر	میانگین ساعات آفتابی ماهانه	عرض جغرافیایی	شدت تابش
شیراز	۲۸۰	۲۹.۳۹	۴.۳۳
تهران	۲۵۲	۳۵.۷	۳.۵۸
تبریز	۲۳۸	۳۸.۰۶	۳.۲۶
رشت	۱۴۴	۳۷.۱۸	۳

و آرایش نصب نشان داده شده است. شدت تابش جهت محاسبه میزان انرژی از مدل رگرسیون جدول (۲) برای شهرهای تهران، شیراز، رشت و تبریز از رابطه (۶) و (۷) بدست آمده است.



شکل ۲: فاصله دو پنل، آرایش و زاویه سطح پنل نسبت به سطح افق و ارتفاع رانشان می‌دهد

۲-۲ برآورد انرژی تولیدی

مشترکین برق، فضاهایی را جهت نصب پنل خورشیدی همزمان و یا غیرهمزمان با درخواست تامین برق ملک به شرکت‌های توزیع ارائه می‌نمایند. کمینه کردن فضای ارائه شده با در نظر گرفتن قدرت برق درخواستی و یا مقدار انرژی تولیدی براساس فضا، با استفاده از پنل خورشیدی مورد توجه می‌باشد. در رابطه (۵)، پارامترهای زاویه شیب پنل با سطح افق، فاصله دو پنل جهت کمینه کردن اثر سایه و تعداد آرایش پنل آمده است. همچنین در شکل (۲)، پارامترهای D ، β ، x ، y ، N به ترتیب شامل ارتفاع و عرض پنل، زاویه پنل با سطح افق، فاصله هر پنل با پنل دیگر

جدول (۴) قیمت خریداری شده انرژی تولیدی توسط شرکت‌های توزیع، نشان داده شده است

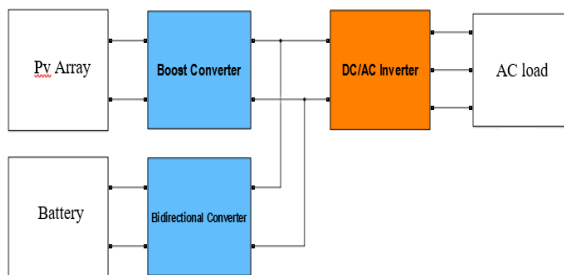
مقدار توان نصب شده (kW)	قیمت انرژی تولیدی (ریال)
۲۰	۱۰۴۰۰
۲۰-۱۰۰	۹۳۰۰
۱۰۰-۱۰۰۰۰	۶۷۰۰

۲-۴ هزینه‌های سیستم

تاثیر پارامترهای اقتصادی شامل بهره وام، نرخ تورم، استهلاک، بر مجموع هزینه جایگزینی قطعات سیستم، سرویس و نگهداری و سرمایه‌گذاری اولیه با استفاده از روابط ریاضی ارائه شده است.

۲-۴-۱ هزینه سرمایه‌گذاری اولیه

ریزشبکه جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک شامل پنل، باتری، اینورتر، شارژکنترلر و متعلقات ارتباطی می‌باشد، که در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳) نمای ریزشبکه جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک به همراه باتری بعنوان ذخیره کننده انرژی نشان داده شده است.

سرمایه‌گذاری اولیه (ISC^8) برای نصب یک سیستم فتوولتائیک، با توجه به محل نصب و نرخ دلار و دو نرخ بودن آن متفاوت می‌باشد. طبق بررسی قراردادهای شرکت های توزیع برق، پژوهش های داخلی و خارجی، به ازای یک وات توان تولیدی بین ۱ تا ۱.۲ دلار سرمایه‌گذاری لازم است. میزان سرمایه‌گذاری در رابطه (۱۳) نشان داده شده است. متغیرهای در رابطه (۱۱)، (۱۲)، (۱۳) شامل وام (L)، بهره آن (s)، تعداد اقساط و سرمایه نقدی (cc) می‌باشد.

$$cc(r) = cc(1 + z) \quad (11)$$

$$L(r_n) = \frac{L * \frac{s}{1200} (1 + \frac{s}{1200})^{rn}}{(1 + \frac{s}{1200})^{rn} - 1} * 12 * r1 \quad (12)$$

$$ISC = cc(r) + L(r_n) \quad (13)$$

$$W \geq (N - 1) \times D + N \times y \times \text{Cos}\beta \quad (5)$$

$$E_p = H \times S \times \eta_{\text{sys}} \times r \quad (6)$$

$$E_p = H \times N \times P_{\text{PV}} \times p_{\text{loss}} \quad (7)$$

در رابطه (۶) و (۷)، شدت تابش (H)، تعداد پنل (N) و توان (P_{PV})، مقدار تلفات سیستم (p_{loss})، مساحت پنل (S)، تعداد سال (r)، راندمان پنل (η_{sys}) می‌باشد. انرژی تولیدی حاصل از مجموع قدرت پنل‌ها و با کسر تلفات حاصل از تجهیزات سیستم به شبکه برآورد شده است.

۲-۳ درآمد حاصل از فروش انرژی

قیمت انرژی تولیدی ریزشبکه جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک براساس قراردادهای منعقد شده با شرکت‌های توزیع، طبق جدول (۴) بدست آمده است. همچنین برای سال‌های آتی به ازای هر سال، k درصد نرخ تعدیل در نظر گرفته شده است. رابطه (۸) درآمد حاصل از فروش انرژی ($RES(r)$) از حاصلضرب مقدار انرژی تولیدی به شبکه و شدت تابش محل، طبق مدل رگرسیون جدول (۲) و قیمت انرژی خریداری شده (EP) توسط شرکت‌های توزیع و نرخ تعدیل سالیانه ($AR(r)$) که در رابطه (۹) نشان داده شده، برآورد شده است.

$$RES(r) = 365 \times r \times GE \times EP \times AR(r) \quad (8)$$

$$\text{first year} = EP$$

$$\text{second year} = EP(1+k)$$

$$\text{third year} = EP(1+k)^2 \quad (9)$$

$$AR(r) = EP(1+k)^{r-1}$$

۲-۳-۱ تاثیر نرخ تورم بر درآمد

درآمد حاصل از فروش انرژی (RES_{PV}) با توجه به تورم y سال‌ها آتی، متفاوت می‌باشد و ارزش آن به تورم وابسته است و نرخ رسمی آن توسط بانک مرکزی برآورد می‌شود. در رابطه (۱۰) Z درصد نرخ تورم سالیانه بر ارزش درآمد حاصل از فروش انرژی سال‌های آتی (RES_{FV}) نشان داده شده است.

$$RES_{\text{FV}}(r) = \sum_{r=1}^n \frac{RES_{\text{PV}}(r-1)}{(1+y)^r} \quad (10)$$



۲-۴-۲ هزینه جایگزینی قطعات

استهلاک ارزش قطعات در دوره عمر مفید با استفاده از روش خطی مستقیم بدست آمده، که در رابطه (۱۴) نشان داده شده است.

$$\mu = \frac{ISC-WD}{r_n} \quad (14)$$

عمر مفید پنل خورشیدی ۲۰ تا ۲۵ سال و قرارداد شرکت‌های توزیع با متقاضیان نصب سیستم فتوولتائیک ۱۵ تا ۲۰ سال می‌باشد. عمر مفید اینورتر، شارژکنترلر و باطری کمتر از آن می‌باشد. هزینه جایگزینی قطعات (ERC)^{۱۳} در طول عمر سیستم با استفاده از مدل ریاضی رابطه (۱۵) نشان داده شده است. در این پژوهش برای دوره قرارداد ۲۰ سال، تعویض باطری چهار بار و اینورتر و شارژ کنترلر یکبار و هزینه آن Z_2 درصد سرمایه‌گذاری اولیه برای سیستم در طول زمان بهره‌برداری است. در رابطه (۱۵)، μ نرخ استهلاک و WD ^{۱۵} ارزش اسقاط قطعات صفر لحاظ شده است. برای شبیه‌سازی هزینه قطعات در طول زمان بهره‌برداری سیستم، ۰.۲۵ درصد، سرمایه‌گذاری اولیه برآورد شده است.

$$ERC(r) = URC(r) \times \frac{\mu}{(1+\mu)^{r+1}} \quad (15)$$

$$URC(r) = z_2 \times ISC \quad (16)$$

۲-۴-۳ سرویس و نگهداری

رابطه (۱۷)، هزینه سرویس و نگهداری (SMC(r))^{۱۶}، جهت افزایش راندمان و عملکرد سیستم در طول بهره‌برداری نشان داده شده است. Z_1 درصدی از هزینه اولیه سرمایه‌گذاری سیستم است. که جهت محاسبات در شبیه‌سازی برابر ۰.۰۱ در نظر گرفته شده است.

$$SMC(r) = z_1 \times ISC \times (1+j)^r \quad (17)$$

۲-۵ مدل اقتصادی سیستم فتوولتائیک

مدل ریاضی اقتصادی براساس مدل رگرسیون شدت تابش، انرژی تولیدی و درآمد حاصل از آن به هزینه‌های سیستم در سرمایه‌گذاری اولیه و طول دوره بهره‌برداری بدست آمده است.

در مدل ارزش فعلی درآمدها و هزینه‌ها پیش بینی شده است. هرچه دوره برگشت سرمایه و هزینه‌ها سریعتر باشد، مدل ریاضی رابطه (۱۸) اقتصادی‌تر می‌باشد.

$$EM = \sum_{r=1}^n \frac{RES_{PV}(r-1)}{(1+j)^r} - \quad (18)$$

$$ISC[1 + z_1 \sum_{r=1}^n (1+j)^r + z_2 \sum_{r=1}^n \frac{\mu}{(1+\mu)^{r+1}}]$$

۳ ارزیابی مدل

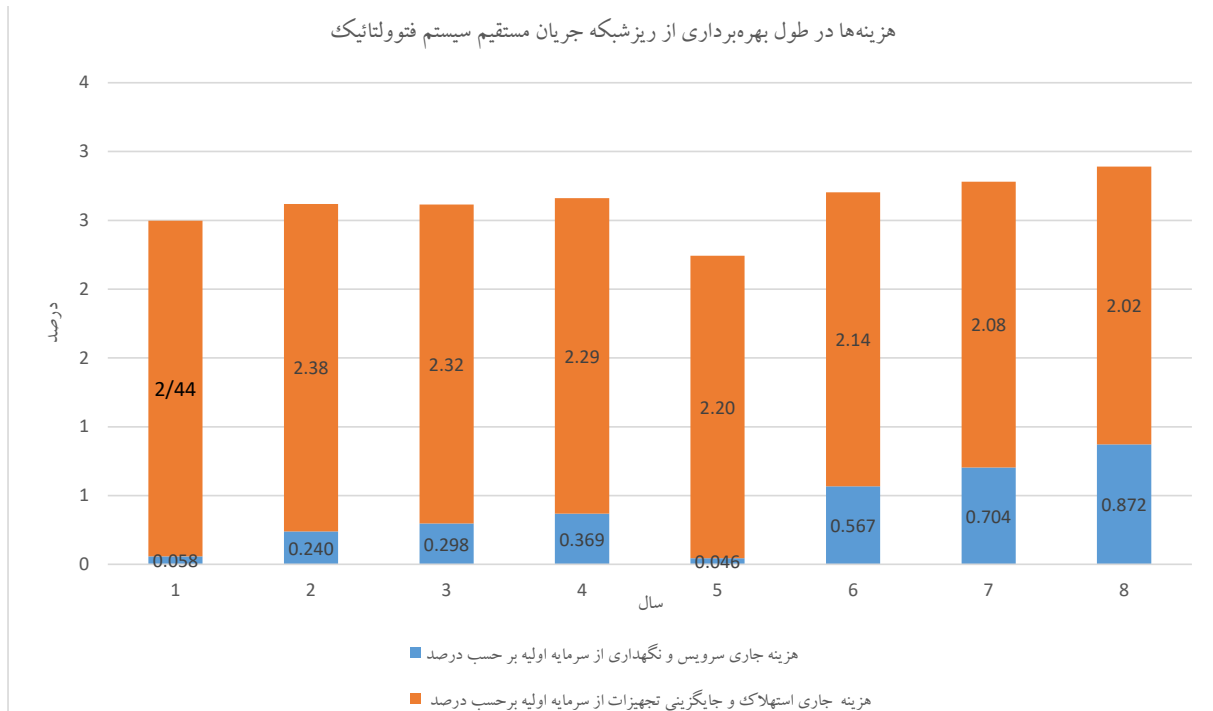
با استفاده از مدل رابطه (۱۸) و جداول (۲)، (۳) و شبیه‌سازی در نرم افزار متلب سرمایه‌اولیه و مقدار توان منصوبه برای نصب ریزشکه جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک برای چهار شهر بدست آمده است. نتایج نشان می‌دهد، که براساس بررسی‌های صورت گرفته در شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ و پژوهش‌ها، به ازای هر کیلووات حدود یکصد و ده میلیون ریال یا به عبارت دیگر یک یا یک و دودهم دلار برای هر وات جهت نصب سیستم فتوولتائیک برآورد شده است. در این پژوهش هزینه استهلاک و جایگزینی تجهیزات، سرویس و نگهداری و اثر تورم لحاظ شده و درآمد خالص از فروش انرژی به شرکت‌های توزیع شبیه‌سازی شده است. دوره بازگشت سرمایه و هزینه‌ها در طول بهره‌برداری برآورد شده و در جدول (۵) آورده شده است.

جدول ۵: پارامترهای استفاده شده در شبیه‌سازی و سال برگشت سرمایه اولیه نشان داده شده است.

شهر	تعداد پنل (عدد)	توان پنل (وات)	قیمت تولید انرژی (ریال)	تعدیل سالیانه (درصد)	توان تولیدی (کیلووات)	تلفات الکتریکی سیستم (درصد)	برگشت سرمایه (سال)
شیراز	۶۸	۳۳۰	۱۰۴۰۰	۱۹	۱۷.۹۵۲	۲	۶
تهران	۶۸	۳۳۰	۱۰۴۰۰	۱۹	۱۷.۹۵۲	۲	۷
تبریز	۶۸	۳۳۰	۱۰۴۰۰	۱۹	۱۷.۹۵۲	۲	۷
رشت	۶۸	۳۳۰	۱۰۴۰۰	۱۹	۱۷.۹۵۲	۲	۸

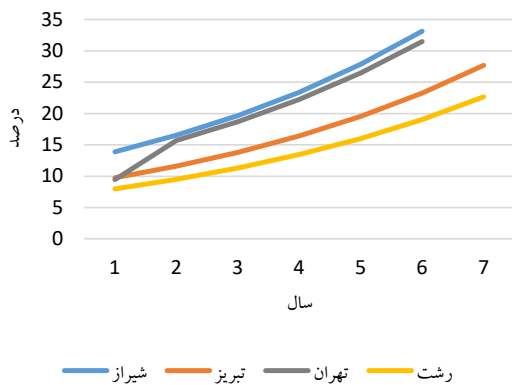
سرمايه تائيرگذار است، به طوري كه برگشت سرمايه شهر تهران از ۶ سال به ۷ سال افزايش يافته است.

در شكل (۴) هزينه‌ها شامل سرويس و نگهداري، استهلاك و جايگزيني قطعات سيستم فتوولتائيك در طول بهره‌برداري از سيستم نشان داده شده است. تائير هزينه‌ها، بر برگشت



شكل ۴: هزينه‌ها در طول بهره‌برداري از ريزشبهه جريان مستقيم سيستم فتوولتائيك پس از نصب نشان داده شده است.

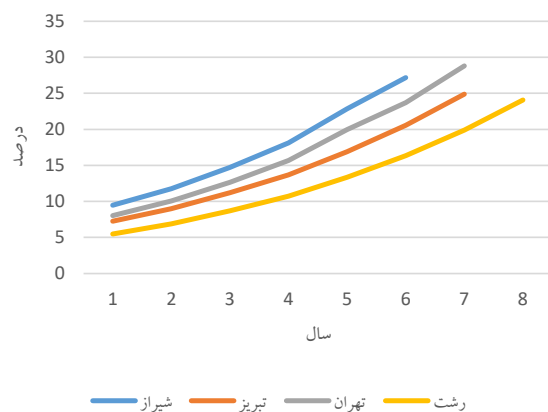
برگشت سرمايه از فروش انرژي توليدي بدون كسر هزينه‌ها در طول بهره‌برداري



شكل ۶: برگشت سرمايه چهار شهر براساس درآمد حاصل از فروش انرژي بدون كسر هزينه‌ها در طول بهره‌برداري سيستم نشان داده شده است.

شكل (۵) و (۶) نمودار برگشت سرمايه از درآمد فروش انرژي توليدي را نشان مي‌دهد.

برگشت سرمايه از فروش انرژي توليدي و با كسر هزينه‌ها در طول بهره‌برداري



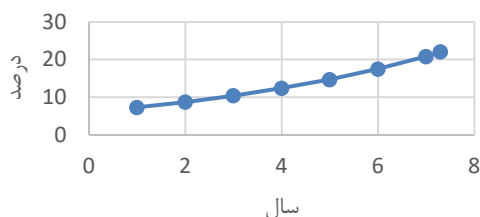
شكل ۵: برگشت سرمايه چهار شهر براساس درآمد حاصل از فروش انرژي و با كسر هزينه‌ها در طول بهره‌برداري از سيستم نشان داده شده است.

۴ آزمون مدل

سيستم فتوولتائيك ۲۰ كيلووات با هزينه ۲۰۰۰ ميليون ريال، متصل به شبكه توزيع برق بدون نصب باتري بعنوان

ذخیره کننده انرژی، در شهر تهران با تعرفه خانگی نصب شده است (شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ). در بازه زمانی یکساله انرژی تولیدی یادداشت و برای سال‌های آتی تعمیم داده شده، براساس مدل ارائه شده برگشت سرمایه کمی بیش از ۷ سال برآورد شده، که نشان‌دهنده دقت روابط ریاضی ارائه شده و مدل نهایی می‌باشد. در شکل (۷) برگشت سرمایه سیستم منصوبه نشان داده شده است.

برگشت سرمایه از فروش انرژی تولیدی بدون نصب ذخیره کننده انرژی



شکل ۷: درآمد حاصل از تولید انرژی ریزشبه جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک با تعرفه خانگی در شهر تهران و برگشت سرمایه نشان داده شده است.

۴ نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک مسئله جدید جهت مدیریت انرژی ریزشبه جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک با استفاده از داده‌های هواشناسی و ارائه مدل رگرسیون شدت تابش با متغیر ساعات آفتابی چهار شهر شیراز، تهران، رشت و تبریز در نرم افزارهای spss و Excel ارائه شده است. پارامترهای زاویه تابش خورشید، فاصله هر پنل از هم، زاویه پنل نسبت به سطح افق و عرض جغرافیایی هر شهر در میزان انرژی تولیدی و پاسخگویی به بار شبکه و درآمد حاصل از آن با استفاده از روابط ریاضی بدست آمده برای هر شهر، در نرم افزار Matlab شبیه‌سازی شده است. تجزیه و تحلیل تاثیرپذیری پارامترهای اقتصادی بر برگشت سرمایه و هزینه‌ها در طول بهره‌برداری ریزشبه جریان مستقیم فتوولتائیک متصل به شبکه شامل خرید انرژی و نرخ تعدیل آن، تورم، استهلاک قطعات، بهره‌روم و کمک‌های دولتی در روابط ریاضی ارائه شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که برگشت سرمایه در چهار شهر بررسی شده، متفاوت بوده و در حالت بدون کسر هزینه‌ها در طول بهره‌برداری سریع‌تر و اقتصادی‌تر می‌باشد.

مدل ریاضی ارائه شده با سیستم منصوبه ۲۰ کیلووات متصل به شبکه توزیع برق و بدون ذخیره‌کننده انرژی در شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ براساس ارزش فعلی و ثبت انرژی تولیدی سیستم در طول یکسال و تعمیم آن به سال‌های بعد، تست شده، که نتایج نشان‌دهنده برگشت سرمایه در کمی بیش از هفت سال می‌باشد که صحت نتایج و دقت مناسب مدل براساس ارزش فعلی را نشان می‌دهد. مدیریت انرژی و اقتصادی کردن آن موجب، توسعه ریزشبه جریان مستقیم فتوولتائیک و آزادسازی شبکه توزیع و پایداری آن توسط سیاست‌گزاران و برنامه‌ریزان صنعت برق خواهد شد.

منابع

برزی علیرضا، هاشم زاده خوراسگانی غلامرضا، فتحی هفشجانی کیامرث، علی رضایی ابوتراب. پارامترهای مؤثر بر انرژی تولیدی ریزشبه جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه توزیع برق ایران با رویکرد پایداری. نشریه انرژی ایران. ۱۳۹۸؛ ۲۲ (۴): ۴۵-۶۸. شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ. سازمان هواشناسی ایران.

Chatterjee, A., Burmester, D., Brent, A., & Rayudu, R. (2019). Research insights and knowledge headways for developing remote, off-grid microgrids in developing countries. *Energies*, 12(10), 2008.

Solangi, Y. A., Tan, Q., Mirjat, N. H., Valasai, G. D., Khan, M. W. A., & Ikram, M. (2019). An integrated Delphi-AHP and fuzzy TOPSIS approach toward ranking and selection of renewable energy resources in Pakistan. *Processes*, 7(2), 118.

Ocon, J. D., & Bertheau, P. (2019). Energy transition from diesel-based to solar photovoltaics-battery-diesel hybrid system-based island grids in the Philippines—techno-economic potential and policy implication on missionary electrification. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 7(1), 139-154.

Ramaa, B. R., & Dianawati, W. (1997). Environmental Performance, Carbon Emission Disclosure and their Relationship to Share Return: An Indonesian Perspective.

Orchi, T. F., Mahmud, M. A., & Oo, A. M. T. (2018). Generalized dynamical modeling of multiple photovoltaic units in a grid-connected system for analyzing dynamic interactions. *Energies*, 11(2), 296.

Ntanos, S., Skordoulis, M., Kyriakopoulos, G., Arabatzis, G., Chalikias, M., Galatsidas, S., ... & Katsarou, A. (2018). Renewable energy and economic growth: Evidence from European countries. *Sustainability*, 10(8), 2626.

International Renewable Energy Agency, "RENEW-

1. The intensity of the sun's radiation
2. Panel Number
3. Panel Power Generation
4. Revenue from energy sales
5. Energy prices
6. Adjustment rate
7. Inflation
8. Initial System Capital
9. Loans
10. Profit
11. Cash capital
12. Unite Replacement Cost
13. Equipment Replacement Cost
14. Depreciation rate
15. Worth declining
16. Service and Maintenance Cost



ABLE ENERGY PROSPECTS FOR THE EUROPEAN UNION”, January 2018

European Court auditors,” Electricity production from wind and solar photovoltaic power in the EU”, February 2018.

Cheryl Martin, Francesco Starace, Jean Pascal Tricoire,” The Future of Electricity New Technologies Transforming the Grid Edge”, In collaboration with Bain & Company, March 2017

Lee, A. H., Kang, H. Y., & Liou, Y. J. (2017). A hybrid multiple-criteria decision-making approach for photovoltaic solar plant location selection. *Sustainability*, 9(2), 184.

Subramani, G., Ramachandaramurthy, V. K., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L., Blaabjerg, F., & Guerrero, J. M. (2017). Grid-tied photovoltaic and battery storage systems with Malaysian electricity tariff—A review on maximum demand shaving. *Energies*, 10(11), 1884.

Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., & Bansal, R. C. (2017). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 596-609.

George Sarraf, Georges Chehade, Abdo Tayar, Jad Mousalli, Christopher Decker, Per-Ola arlsson,”Energy Efficiency in the UAE”The Economist intelligence unit ,2015,intemational Energy Agency (IEA).

Cohen, M. A., & Callaway, D. S. (2015). Physical Effects of Distributed PV Generation on California's Distribution System. arXiv preprint arXiv:1506.06643.

Tang, C. F., Tan, B. W., & Ozturk, I. (2016). Energy consumption and economic growth in Vietnam. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1506-1514.

Pedrasa, M. A., Spooner, E. D., & MacGill, I. F. (2011, January). Robust scheduling of residential distributed energy resources using a novel energy service decision-support tool. In *ISGT 2011* (pp. 1-8). IEEE.