بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده صنایع و مدیریت

پایان‌نامه کارشناسی ارشد برنامه ریزی سیستم‌های اقتصادی

بررسی صرفه اقتصادی استفاده از فناوری نوین سیستم‌های فتوولتاییک در فرآیند تولید انرژی

نگارنده: محمدرضا زال آقائی

اساتید راهنما

دکتر محمد میرباقری جم

دکتر عاطفه مزینانی

بهمن، ۱۳۹۸

این پایان نامه را تقدیم می‌کنم به مهربانترین همراهان زندگیم،

که حضورشان همیشه گرما بخش روح من بوده است.

از اساتید بزرگوارم جناب آقای دکتر محمد میرباقری جم و سرکار خانم دکتر عاطفه مزینانی برای تمام حمایت‌ها و زحمات بی دریغ‌شان سپاسگزاری می‌کنم. از جناب آقای دکتر محمدعلی مولایی و جناب آقای دکتر محمود رحیمی که زحمت داوری این رساله را به عهده داشتند سپاس فراوان دارم.

در پایان از کلیه دوستان خوبم که مطالب زیادی را به من آموختند تشکر کرده و برایشان آرزوی موفقیت و سربلندی می‌کنم.

تعهد نامه

اینجانب محمدرضا زال آقائی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **برنامه‌ریزی سیستم‌های اقتصادی** دانشکده **مهندسی صنایع و مدیریت** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **بررسی صرفه اقتصادی استفاده از فناوری نوین سیستم‌های فتوولتاییک در فرآیند تولید انرژی** تحت **راهنمائی دکتر محمد میرباقری جم و دکتر عاطفه مزینانی** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology**» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد

چکیده

هدف اصلی این پایان‌نامه بررسی صرفه اقتصادی طرح استفاده از فناوری نوین فتوولتائیک (PV) در فرآیند تولید انرژی برای شهر شاهرود است. همچنین برآورد منافع احداث نیروگاه که شامل منفعت دولت یا سرمایه گذار از فروش برق تولیدی نیروگاه، صرفه جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش میزان آلودگی محیط زیست در نتیجه کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی است. انتخاب تکنولوژی تولید با داده‌های مهندسی و اقتصادی انجام شده است. با توجه به تاثیرپذیری سطح توان برق تولیدی نیروگاه از شرایط جغرافیایی و آب هوایی منطقه، امکان‌سنجی پروژه با استفاده از داده های شرکت ناسا و نرم افزار RETscreen بررسی و تحلیل شده است. ارزیابی اقتصادی و تجزیه و تحلیل مالی پروژه نیز به دلیل لحاظ نمودن تمامی پارامترهای موثر بر طرح با این نرم‌افزار و به شیوه هزینه همتراز شده سالیانه (LCOE) انجام شده است. با این روش فواید و مضرات طرح در کل زمان عمر پروژه به صورت سالیانه محاسبه شده است و با انجام ۴ سناریوی متفاوت و تحلیل ریسک و حساسیت این گونه مشخص شد که ساخت نیروگاه فتوولتائیک برای شهر شاهرود کاملا صرفه اقتصادی دارد و دوران بازگشت سرمایه و نرخ بازده داخلی به ترتیب ۵/۷ سال و ۱۷/۱ درصد خواهد بود.

کلمات کلیدی: انرژی‌های تجدیدپذیر، فتوولتائیک، ارزیابی اقتصادی، هزینه همتراز شده، RETscreen

فهرست مطالب

فصل اول – کلیات پژوهش و تعریف مسئله ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ طرح تحقیق و بیان مسئله ۴

۱-۳ اهمیت و ضرورت تحقیق ۶

۱-۴ اهداف پژوهش ۸

۱-۵ سوالات و فرضیه های پژوهش ۸

۱-۶ روش پژوهش ۸

۱-۷ نوآوری تحقیق ۹

۱-۸ روش جمع آوری اطلاعات ۱۰

۱-۹ قلمرو پژوهش ۱۰

۱-۱۰ ساختار پژوهش ۱۰

فصل دوم – ادبیات تحقیق، مبانی نظری و پیشینه ۱۱

۲-۱ مقدمه ۱۲

۲-۲ انواع انرژی‌های تجدیدپذیر ۱۲

۲-۲-۱ انرژی آبی ۱۲

۲-۲-۲ انرژی بادی ۱۳

۲-۲-۳ انرژی فتوولتائیک ۱۳

۲-۲-۴ انرژی زمین گرمایی ۱۳

۲-۲-۵ انرژی زیست توده ۱۴

۲-۲-۶ انرژی امواج، انرژی جزر و مد و انرژی جریان اقیانوسی ۱۴

۲-۲-۷ انرژی هیدروژن ۱۴

۲-۳ معرفی سیستم تولید انرژی فتوولتائیک ۱۵
۲-۳-۱ انواع سیستم‌های فتوولتائیک ۱۷
۲-۳-۲ اجزاء سیستم فتوولتائیک ۱۹

۲-۴ مزایای سیستم فتوولتائیک در تولید انرژی ۱۹
۲-۴-۱ انرژی فتوولتائیک، صنعتی بدون آلایندگی ۱۹
۲-۴-۲ انرژی فتوولتائیک، منبع تجدیدپذیر ۲۰
۲-۴-۳ تعمیر و نگهداری آسان ۲۱
۲-۴-۴ نصب آسان پنل‌های فتوولتائیک ۲۱
۲-۴-۵ قابل استفاده در مناطق دوردست و صعب العبور ۲۲
۲-۴-۶ ماندگار بودن سلول‌های فتوولتائیک ۲۲
۲-۴-۷ بازدهی بالای سیستم فتوولتائیک ۲۲

۲-۵ محدودیت‌های استفاده از انرژی فتوولتائیک ۲۲
۲-۵-۱ قیمت بالا ۲۳
۲-۵-۲ متناوب بودن ۲۳
۲-۵-۳ ذخیره‌سازی هزینه‌بر ۲۳
۲-۵-۴ بازیافت پسماندهای سیستم فتوولتائیک ۲۳
۲-۵-۵ مواد نایاب ۲۴
۲-۵-۶ نیازمند فضا ۲۴

۲-۶ وضعیت مصرف انرژی در ایران ۲۴
۲-۶-۱ مقایسه روند مصرف سرانه انرژی ایران با جهان ۲۴
۲-۶-۲ مقایسه شدت مصرف انرژی در ایران با جهان ۲۵
۲-۶-۳ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تامین انرژی کشور ۲۶
۲-۶-۳-۱ انرژی‌های تجدیدپذیر در قانون برنامه و بودجه کشور ۲۸
۲-۶-۴ مقایسه سهم بخش‌های مختلف اقتصادی از مصرف انرژی برق ۲۸

۲-۷ نیروگاه‌های فتوولتائیک در کشور ایران ۲۹

۲-۸ ضرورت اجرای پروژه و ملاحظات آن ۳۰

۲-۹ پیشینه پژوهش ۳۱
۲-۹-۱ مطالعات خارجی ۳۲

۲-۹-۲ مطالعات داخلی ۳۷

۲-۱۰ خلاصه فصل دوم ۴۲

فصل سوم – روش شناسی تحقیق..... ۴۳

۳-۱ مقدمه ۴۴

۳-۲ روش‌های ارزیابی طرح‌های اقتصادی ۴۴
۳-۲-۱ روش ارزش خالص حال (NPV)..... ۴۵
۳-۲-۲ روش نرخ بازده داخلی (IRR) ۴۵
۳-۲-۳ روش هزینه همتراز شده (هزینه‌ی یکنواخت سالیانه LCOE)..... ۴۵

۳-۳ عوامل موثر در ارزیابی اقتصادی طرح ۴۸
۳-۳-۱ مشخصات جغرافیایی احداث پروژه ۴۹
۳-۳-۲ نوع واحد تولیدی..... ۵۲
۳-۳-۳ مقیاس تولید ۵۲
۳-۳-۴ نهاده‌های تولید ۵۳
۳-۳-۵ هزینه‌های تولید..... ۵۳
۳-۳-۶ هزینه‌های امکان‌سنجی..... ۵۴

۳-۴ تجزیه و تحلیل مالی طرح ۵۵
۳-۴-۱ شناسایی منابع تامین مالی پروژه..... ۵۵
۳-۴-۲ عوامل موثر بر تجزیه و تحلیل مالی پروژه..... ۵۶

۳-۵ تجزیه و تحلیل ریسک و حساسیت..... ۵۷

۳-۶ نرم‌افزار ارزیابی اقتصادی طرح (RETscreen)..... ۵۷

۳-۷ خلاصه فصل سوم..... ۵۹

فصل چهارم – مدل‌سازی و تحلیل نتایج..... ۶۱

۴-۱ مقدمه..... ۶۲

۴-۲ تعیین محل احداث پروژه ۶۲

۴-۳ برآورد مصرف انرژی بخش مسکونی در شاهرود ۶۵
۴-۳-۱ محاسبه برق مصرفی در یک واحد مسکونی ۶۸
۴-۳-۲ تخمین تعداد پنل فتوولتائیک مورد نیاز ۷۰
۴-۳-۳ تخمین متراژ زمین مورد نیاز ۷۱

۴-۴ برآورد هزینه‌های انجام طرح ۷۱
۴-۴-۱ هزینه‌های پنل‌ها و سازه‌ها (پایه‌ها) ۷۲
۴-۴-۲ هزینه‌های باتری و اینورترها ۷۸
۴-۴-۳ هزینه‌های بخش زمین و فنس ۷۹
۴-۴-۴ هزینه کابل‌های برق ۸۰
۴-۴-۵ هزینه‌های تعمیر و نگهداری نیروگاه ۸۰
۴-۴-۶ کل هزینه‌های طرح ۸۱

۴-۵ تخمین منافع طرح ۸۱
۴-۵-۱ درآمدهای مستقیم از فروش برق سیستم PV ۸۱
۴-۵-۱-۱ نرخ خرید تضمینی برق توسط دولت ۸۲
۴-۵-۲ منافع مالی غیرمستقیم طرح (صرفه‌جویی در سوخت‌های فسیلی) ۸۵
۴-۵-۳ منافع ناشی از عدم آلایندگی و خسارت به محیط زیست ۸۶

۴-۶ جریان وجوه نقد و تامین مالی پروژه ۸۷

۴-۷ محاسبه ارزش حال کل پروژه و شاخص PI ۹۱

۴-۸ دوره بازگشت سرمایه ۹۳

۴-۹ نتایج تحلیل ریسک و حساسیت پروژه ۹۳
۴-۹-۱ سناریوی اول (اثر افزایش نرخ تورم) ۹۵
۴-۹-۲ سناریوی دوم (اثر افزایش نرخ بهره) ۹۶
۴-۹-۳ سناریوی سوم (اثر افزایش مخارج اولیه) ۹۶
۴-۹-۴ سناریوی چهارم (اثر افزایش کلیه پارامترها) ۹۷

۴-۱۰ مقایسه هزینه راه‌اندازی نیروگاه PV با سایر نیروگاه‌ها ۹۸

۴-۱۱ خلاصه فصل چهارم..... ۱۰۰

فصل پنجم – نتایج و ارائه پیشنهادات ۱۰۱

۵-۱ مقدمه..... ۱۰۲

۵-۲ نتایج ۱۰۲

۵-۳ پیشنهادات ۱۰۴

منابع داخلی ۱۰۶

منابع خارجی..... ۱۰۸

ضمیمه..... ۱۱۲

۱- عوامل تاثیرگذار بر روی خروجی سیستم فتوولتائیک ۱۱۲

۲- نکات فنی انتخاب ظرفیت و آرایش سیستم PV ۱۱۲

۳- مراحل انتخاب ظرفیت و آرایش آرایه فتوولتائیک در حالت طراحی بر اساس میزان انرژی سالانه موردنیاز ۱۱۳

۴- محاسبه میزان انرژی روزانه موردنیاز از آرایه‌های فتوولتائیک ۱۱۴

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ ظرفیت تولید برق فتوولتائیک کشورهای جهان در سال ۵

شکل ۲-۱ ساختار یک سیستم فتوولتائیک..... ۱۶

شکل ۲-۲ اجزاء یک سیستم‌های فتوولتائیک..... ۱۹

شکل ۲-۳ مقایسه مصرف سرانه انرژی کشور ایران و جهان بعد از سال ۱۳۵۷ ..... ۲۵

شکل ۲-۴ مقایسه شدت مصرف انرژی ایران با جهان بعد از سال ۱۳۶۹ ..... ۲۵

شکل ۲-۶ مصرف برق کشور ایران در سه بخش تجاری، عمومی و خانگی..... ۲۹

شکل ۳-۱ جایگاه استان سمنان در نقشه کشور ایران..... ۴۹

شکل ۳-۲ شهرهای نزدیک به محل احداث پروژه..... ۵۰

شکل ۴-۱ فرآیند ارزیابی اقتصادی طرح..... ۶۲

شکل ۴-۲ محل تاسیس نیروگاه شاهرود..... ۶۳

شکل ۴-۳ سهم هر بخش از هزینه‌ها برای تولید ۱ کیلووات برق در نیروگاه گازی..... ۶۶

شکل ۴-۴ میزان صرفه‌جویی ۱ پنل ۱ کیلوواتی در طول ۱ سال..... ۶۸

شکل ۴-۵ تفاوت هزینه سیستم خودکفا PV و ترکیبی برای تامین برق شب..... ۷۳

شکل ۴-۶ میزان تابش ایده‌آل بر متر مربع و میزان بارندگی..... ۷۶

شکل ۴-۷ هزینه‌های پنل‌ها و پایه‌های نیروگاه فتوولتائیک شاهرود..... ۷۸

شکل ۴-۸ مقایسه هزینه‌های اقلام اصلی نیروگاه..... ۸۱

شکل ۴-۹ فروش ۱ پنل ترینا سولار مکس انرژی از نیروگاه فتوولتائیک شاهرود ۸۳
شکل ۴-۱۰ فروش برق کل نیروگاه شاهرود ۸۴
شکل ۴-۱۱ منابع صرفه‌جویی شده برای دولت ۸۶
شکل ۴-۱۲ میزان جلوگیری از خسارت به محیط زیست با ساخت نیروگاه ۸۷
شکل ۴-۱۲ میزان درآمد سالانه و کل طرح (بدون در نظر گرفتن تورم و نرخ بهره) ۸۸
شکل ۴-۱۳ جریان نقدینگی نقطه به نقطه سالیانه نیروگاه فتوولتائیک شاهرود (RETSCREEN) ۸۸
شکل ۴-۱۴ جریان نقدینگی تراکمی نیروگاه فتوولتائیک شاهرود (با لحاظ تورم و متغیرهای دیگر) ۸۹
شکل ۴-۱۵ بررسی مالی نیروگاه (RETSCREEN) ۹۳
شکل ۴-۱۷ تجزیه و تحلیل حساسیت NPV با محدوده ۲۵ درصد ۹۴
شکل ۴-۱۸ تجزیه تحلیل حساسیت هزینه تولید انرژی با محدوده ۲۵ درصد ۹۴
شکل ۴-۱۹ تجزیه تحلیل حساسیت نرخ بازده داخلی (IRR) با محدوده ۲۵ درصد ۹۴
شکل ۴-۲۰ تجزیه تحلیل حساسیت بازگشت سرمایه با محدوده ۲۵ درصد ۹۵
شکل ۴-۲۱ میزان سرعت وزش باد و میزان بارندگی برای هر ماه ۹۸
شکل ۴-۲۲ صرفه اقتصادی ساخت نیروگاه‌های تولید برق مختلف ۹۹

فهرست جداول

جدول ۲-۱ میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده در نیروگاه‌ها (G/KWH) ۲۰

جدول ۲-۲ درصد تولید برق ایران و جهان از انرژی‌های تجدیدپذیر ۲۷

جدول ۲-۳ میزان استفاده برق بخش‌های مختلف اقتصادی (گیگاوات ساعت) ۲۸

جدول ۲-۴ اطلاعات نیروگاه‌های فتوولتائیک ایران ۲۹

جدول ۲-۵ خلاصه مطالعات پژوهش..... ۴۰

جدول ۳-۱ معرفی پارامترهای استفاده شده در محاسبات و نرم افزار RETSCREEN..... ۴۸

جدول ۴-۱ اطلاعات جغرافیایی محل تاسیسات ۶۴

جدول ۴-۲ اطلاعات آب‌وهوایی محل تاسیسات.....۶۴

جدول ۴-۳ بهای تمام شده برق برای بخش‌های مختلف (۱ کیلووات).....۶۵

جدول ۴-۴ میزان متوسط مصرف لوازم‌خانگی یا ساختمان مسکونی.....۶۹

جدول ۴-۵ اطلاعات انرژی شهرستان شاهرود از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ مرکز آمار و ترازنامه انرژی.....۶۹

جدول ۴-۶ اطلاعات مربوط به پنل‌ها و زمین..... ۷۰

جدول۴-۷ طول عمر قطعات یک سیستم فتوولتائیک ۷۳

جدول ۴-۸ قیمت قطعات در سیستم فتوولتائیک ۷۴

جدول ۴-۹ متوسط تابش در ماه‌های مختلف در شاهرود..... ۷۴

جدول ۴-۱۰ هزینه‌های پنل‌ها و پایه‌های نیروگاه (سیستم خودکفا)..... ۷۸

جدول ۴-۱۱ هزینه باتری‌ها و اینورترها ۷۹
جدول ۴-۱۲ هزینه‌های زمین و فنس نیروگاه ۷۹
جدول ۴-۱۳ هزینه‌های کابل نیروگاه ۸۰
جدول ۴-۱۴ نرخ خرید برق تضمینی برای انواع نیروگاه ۸۲
جدول ۴-۱۵ توان تولید و مقدار فروش ۱ پنل فتوولتائیک ۸۳
جدول ۴-۱۶ توان تولید و مقدار فروش کل نیروگاه ۸۴
جدول ۴-۱۷ میزان صرفه‌جویی در سوخت‌های فسیلی (متر مکعب) ۸۵
جدول ۴-۱۸ میزان صرفه‌جویی مالی در سوخت‌های فسیلی (در یک سال) ۸۶
جدول ۴-۱۹ جریان نقدینگی سالیانه نیروگاه ۹۰
جدول ۴-۲۰ میزان ارزش حال سرمایه گذاری انجام شده برای هر سال به صورت جدا ۹۲
جدول ۴-۲۱ تغییرات در نتایج ارزیابی با سناریوی ۱۰ درصد افزایش نرخ تورم در جامعه ۹۵
جدول ۴-۲۲ تغییرات در نتایج ارزیابی با سناریوی ۱۰ درصد افزایش در نرخ بهره ۹۶
جدول ۴-۲۳ تغییرات در نتایج ارزیابی با سناریوی ۱۰ درصد افزایش در مخارج اولیه طرح ۹۶
جدول ۴-۲۴ تغییرات در نتایج ارزیابی با سناریوی افزایش کلیه پارامترها ۹۷

فصل اول – کلیات پژوهش و تعریف مسئله

۱-۱ مقدمه

روند صعودی تقاضای جهانی انرژی و محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی از یک طرف و افزایش آلودگی و مسائل زیست محیطی ناشی از آن از طرف دیگر باعث شده تا موضوع تامین انرژی پاک و ارزان به چالشی بزرگ در سطح جهانی تبدیل شود. در راستای رفع این مشکل و چالش امروزه کشورهای صنعتی و بزرگ دنیا به سمت استفاده از فناوری نوینی به نام فتوولتائیک رفته‌اند که باعث پیشرفت و گسترده شدن این صنعت و فرآیند تولید آن در جهان شده است.

با این مقدمه موضوع تامین انرژی پاک و غیر آلاینده در کشورمان نیز یک چالش بزرگ است؛ زیرا وفور منابع خدادادی سوخت فسیلی در ایران و در نتیجه ارزان بودن نسبی قیمت آن باعث شده شدت مصرف انرژی و مصرف سرانه انرژی در کشور بیش از متوسط جهانی باشد و در نتیجه شدت آلودگی و عوارض ناشی از آن سال به سال در کشور افزایش یابد. ثانیا در شرایط فعلی تحریم اقتصادی، امکان منتفع شدن کشور از صادرات و فروش سوخت‌های فسیلی نیست. لذا مسئله اصلی این تحقیق حول موضوع تامین انرژی پاک و ارزیابی اقتصادی استفاده از فناوری نوین سیستم فتوولتائیک در تولید انرژی شکل گرفته است و هدف آن پاسخ به این سوال اساسی است که با وجود منابع و ذخایر عظیم گاز طبیعی در کشور آیا استفاده از فناوری نوین سیستم‌های فتوولتائیک در تولید انرژی برق منطقه شهرستان شاهرود صرفه اقتصادی دارد یا خیر؟ در این تحقیق همچنین مشخص می‌شود که آیا شرایط جغرافیایی و آب و هوایی منطقه شاهرود مناسب ساخت و احداث نیروگاه فتوولتائیک است یا خیر؟ زیرا میزان تابش انرژی خورشید تاثیر بسزایی در تولید انرژی سیستم فتوولتائیک (خورشیدی) داشته و در نتیجه شرایط جغرافیایی منطقه احداث نیروگاه صرفه اقتصادی نیروگاه را تحت تاثیر قرار خواهد داد.

در حالت کلی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر فواید و مزیت‌های بسیار زیادی نسبت به سوخت‌های فسیلی دارد، از جامع‌ترین موارد پذیرش انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توان به مواردی از قبیل زیر اشاره نمود:

۱) محدود بودن سوخت‌های فسیلی

۲) انتشار کربن و تغییر آب و هوا

۳) آسیب‌های زیست‌محیطی

۴) تهدید سلامت مردم به علت آثار زیست محیطی

۵) عدم تامین امنیت عرضه جهانی انرژی به علت بحران‌های منطقه خاورمیانه

۶) ثبات اقتصادی

اولین دلیل و بزرگترین علت این که کشورها و اقتصادهای دنیا به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر کشیده می‌شوند محدود بودن سوخت‌های فسیلی و به اتمام رسیدن آن‌ها می‌باشد. چیزی که ما در طول یک یا دو قرن (۱۰۰ تا ۲۰۰ سال) مصرف نموده‌ایم تقریبا به میلیون‌ها سال زمان نیاز دارد تا دوباره تشکیل و آماده مصرف شود. با افزایش جمعیت جهانی همواره میزان استفاده از سوخت‌های فسیلی نیز افزایش یافته است و جهان باید خود را برای دنیایی بدون سوخت‌های فسیلی آماده نماید [۱].

دومین مورد آلودگی محیط زیستی می‌باشد، اگر با همین شیوه به مصرف سوخت‌های فسیلی ادامه دهیم و به تولید آلودگی‌های آن بپردازیم قطعا تا ۵۰ یا ۶۰ سال آینده ۴ الی ۵ درجه به گرمای زمین افزوده خواهد شد [۲].

سومین عامل در پذیرش استفاده از فناوری‌های تولید انرژی تجدیدپذیر، آسیب زیست محیطی است، به طور مثال در کشور ایران با تقاضای بیشتر برای بخش انرژی و همچنین تثبیت سهم ایران در اوپک قطعا وابستگی اقتصاد به نفت بیشتر خواهد شد. با این وجود با نیاز بیشتر به نفت نیاز به حفاری و ثبت میادین جدید احساس خواهد شد و قطعا اکتشاف و استخراج نفت مقوله‌ای هزینه‌بر و موجب آلودگی محیط اطراف خواهد شد.

چهارمین عامل پذیرش انرژی‌های نو مربوط به بعد سلامت افراد جامعه است، حفر و تولید فرآورده‌های نفتی و انتقال آن به بخش‌های دیگر موجب آلودگی‌های فراوانی خواهد شد. انرژی‌های تجدیدپذیر تولید آلودگی بسیار بسیار کمتری نسبت به سوخت‌های فسیلی خواهند داشت و در این زمینه قطعا گزینه مناسب‌تری

خواهند بود.

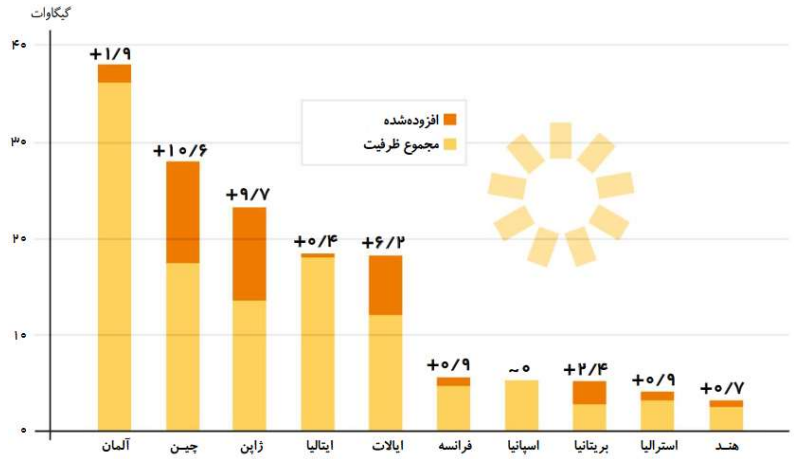
پنجمین عامل تاثیر گذار در قبول استفاده از انرژی تجدیدپذیر، امنیت انرژی خواهد بود، به عبارتی دیگر هم امنیت تولید انرژی و هم امنیت مصرف انرژی برای مصرف کننده مهم خواهد بود. امنیت انرژی برای تولید کننده همواره وجود بازار فروش مالی مناسب و رو به افزایش است.

ششمین عامل در پذیرش انرژی‌های تجدیدپذیر ثبات اقتصادی یک کشور خواهد بود، به طور مثال ثبات در تولید انرژی با سیستم فتوولتائیک موجب ثبات قیمت انرژی تولید شده و به طور کلی به ثبات اقتصاد خواهد انجامید.

۱-۲ طرح تحقیق و بیان مسئله

نیاز روز افزون به مصرف انرژی برق در جامعه و همچنین بالا بودن شدت مصرف انرژی موجب افزایش مصرف روز افزون برق در کشور شده است. در حال حاضر ۹۹/۵ درصد برق کشور از سوخت‌های فسیلی تامین می‌شود و تنها ۰/۵ درصد برق کشور از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر تولید می‌شود. گسترش زیرساخت‌های جدید تولید برق باعث خودکفایی کشور در تولید برق و امنیت تولید انرژی خواهد شد. با این شرایط نیاز به ایجاد نیروگاه‌هایی پاک و بدون آلایندگی در جهت تولید برق ایمن و امنیت همیشگی تولید انرژی با استفاده از تکنولوژی‌های انرژی خورشیدی شدیدا احساس خواهد شد [۳].

امروزه کشورهای صنعتی جهان، پیشرو در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. در زمینه سیستم‌های فتوولتائیک پنج کشور اصلی تولید کننده برق از این طریق کشورهای آلمان، چین، ژاپن، ایتالیا و ایالات متحده هستند.



شکل ۱-۱ ظرفیت تولید برق فتوولتائیک کشورهای جهان در سال [۴]

قابل مشاهده است که کشور آلمان به عنوان یکی از بزرگترین کشورهای صنعتی اروپا و جهان بیشترین ظرفیت تولید برق با استفاده از سیستم فتوولتائیک را داراست و همچنین کشور چین و ژاپن با سرمایه‌گذاری‌های فراوان در این زمینه به طور قابل توجهی به ظرفیت تولید برق خود افزوده‌اند. در کشور آلمان بیشتر از ۵۰ درصد از ظرفیت تولید برق نیروگاه‌های نصب شده از نوع فتوولتائیک است و با وجود پیشرفتی که این کشور در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر داشته است، قصد این موضوع را دارد که تا سال ۲۰۳۰، ظرفیت نیروگاهی تجدیدپذیر خود را به بیشتر از ۶۵ درصد برساند. اما کشور ایران با داشتن جغرافیای پهناور و داشتن شرایط مناسب آب و هوایی، تاکنون استفاده لازم از انرژی پاک و بدون آلودگی انرژی خورشیدی (فتوولتائیک) را نداشته است.

با توجه به افزایش روزافزون قیمت حامل‌های انرژی به علت افزایش تقاضای جهانی و محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی و همچنین در راستای رشد اقتصادی کشور و اقبال صنایع برای مدیریت انرژی‌های اتلافی در فرایند تولید، نیاز به انرژی الکتریکی به خوبی احساس می‌شود. از طرفی در جامعه کنونی با توجه به انواع مصارف خانگی و تجاری، نیاز به انرژی با رشد متوسط سالیانه در حدود ۷٪ می‌باشد. ایران با داشتن دومین ذخایر شناخته شده گازی جهان محدودیتی در تامین انرژی ندارد. اما به دلیل آثار زیست محیطی استفاده از سوخت‌های فسیلی، تامین برق مورد نیاز کشور از طریق انرژی‌های پاک و بدون آلاینده چالش اساسی برای

کشور است. به دلایل متعددی تاکنون در کشور استفاده از فناوری فتوولتائیک (انرژی خورشیدی) در تولید برق، رقیب جدی برای سوخت‌های فسیلی محسوب نمی‌شده است. پایین بودن نسبی قیمت‌های جهانی حامل‌های انرژی در گذشته و عدم پیشرفت تکنولوژی فتوولتائیک از مهمترین این دلایل است. بنابراین با توجه به وفور سوخت‌های فسیلی در کشور و ارزان بودن نسبی آن، حال این سوال اساسی مطرح می‌شود که آیا استفاده از فنآوری فتوولتائیک در شهر شاهرود بجای سوخت‌های فسیلی در تامین انرژی برق شهر، استان و کشور صرفه اقتصادی دارد یا خیر؟

میزان تابش انرژی خورشیدی سیستم‌های فتوولتائیک در مناطق خشک و آفتاب خیز کارایی بالاتری خواهند داشت. لذا در این تحقیق صرفه اقتصادی استفاده از انرژی فتوولتائیک برای شهرستان شاهرود ارزیابی اقتصادی می‌شود تا توجیه اقتصادی سرمایه‌گذاری در این طرح برای سرمایه‌گذار و یا سیاست‌گذار انرژی در کشور مشخص شود.

۱-۳ اهمیت و ضرورت تحقیق

تعداد مشترکین برق در کشور ایران به طور متوسط سالانه با ۴/۷ درصد افزایش از ۲۵ میلیون مشترک در سال ۱۳۸۹ به ۳۳ میلیون مشترک در سال ۱۳۹۵ رسیده است. لذا با این روند افزایشی و استفاده از سوخت‌های فسیلی نظیر نفت و گاز طبیعی در فرآیند تولید برق که رقمی بالغ بر ۷۰ میلیارد لیتر نفت و ۷۰ میلیارد متر مکعب گاز سالانه صرف تولید برق در نیروگاه‌ها می‌شود، قطعا بایستی به جایگزینی سوخت‌های فسیلی با منبعی پاک و تجدیدپذیر و بدون هیچگونه آلایندگی نگاهی ملی شود. تولید برق ارتباط مستقیم با مصرف گاز و نفت دارد و با توجه به اینکه اگر سدها را لحاظ ننماییم ۹۲/۵ درصد از کل برق تولید شده با استفاده از سوخت‌های فسیلی است تحقیق حاضر با پیشنهاد فناوری نوین PV در تلاش برای راهکاری جایگزین برای سوخت‌های فسیلی می‌باشد [۴].

از دلایل و صرفه‌های اقتصادی انجام این پروژه می‌توان به مواردی از قبیل زیر اشاره نمود:

- کاهش یارانه‌های پرداختی در بخش انرژی کشور.

- صرفه‌جویی در هدر رفت نفت و گاز با جایگزینی سیستم تولید الکتریسیته تجدیدپذیر
- کمک به ثبات قیمت برق در منطقه با کاهش بهای تمام شده برق.
- کمک به رشد اقتصادی کشور با صرفه‌جویی در سوخت‌های فسیلی و یارانه‌های آن.
- کاهش آلودگی‌های زیست محیطی.
- جلوگیری از کاهش ذخایر فسیلی.
- ارتقاء امنیت عرضه انرژی.
- تولید پراکنده و غیرمتمرکز انرژی و کاهش اتکا به شبکه‌های سراسری انتقال انرژی.
- اشتغال زایی و توسعه نواحی دور افتاده و کمتر توسعه یافته کشور.
- حل معضل ضایعات شهری.

مطالعات اتحادیه صنایع فتوولتائیک اروپا (EPIA[1]) نشان داده است که رقابت انرژی فتوولتائیک به زودی در سراسر جهان اتفاق خواهد افتاد. با توجه بر فراز و نشیب‌های اجتماعی و اقتصادی فعلی، توسعه منابع انرژی جانشین سوخت‌های فسیلی امری الزامی، مبرم و اجتناب ناپذیر است. با توجه به این مورد که کشور ایران دارای پتانسیل مطلوبی در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر است، توسعه و گسترش این منابع طبیعی موجه و اقتصادی به نظر می‌رسد، چرا که از طریق این روش می‌توانیم در راستای توسعه‌ای پایدار گام برداریم و موجب پیشرفت و حتی پیشرو در چنین صنایعی باشیم. کشور ایران با وجود دارا بودن پتانسیل‌های بسیار بالا در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، نظیر دارا بودن بطور میانگین ۳۰۰ روز آفتابی تنها کمتر از ۱ درصد از انرژی مورد نیاز خود را از سیستم‌های تجدیدپذیر فراهم میکند. هزینه‌های بعضی از فناوری‌های تجدیدپذیر به ویژه در بخش برق به سرعت رو به کاهش است. برای نمونه نوآوری‌ها در تولید و نصب سیستم فتوولتائیک، در کاهش کلی هزینه‌ها نقش داشته‌اند.

[1] European Photovoltaic Industry Association

۱-۴ اهداف پژوهش

تا کنون از دیدگاه اقتصادی پژوهشی در رابطه با بررسی کل پارامترهای اقتصادی راه‌اندازی یک سیستم PV در راستای کاهش هزینه‌های تولید برق یک شهرستان انجام نشده است، این پارامتر (بررسی اقتصادی از تمامی زوایا) می‌تواند یک نوآوری در مطالعه زمینه باشد زیرا با انجام سناریوهای متفاوت به انجام تحلیل‌ها و تخمین‌های اقتصادی خواهیم پرداخت. مسلما با بررسی اقتصادی استفاده از سلول فتوولتائیک در ابعادی به اندازه یک شهر مانند شهر شاهرود می‌تواند گامی جدید در عرصه اقتصاد و مهندسی باشد.

۱-۵ سوالات و فرضیه های پژوهش

هدف اصلی این تحقیق بررسی و ارزیابی میزان صرفه اقتصادی و امکان‌سنجی استفاده از انرژی خورشید جهت تامین الکتریسیته در شهر شاهرود در راستای کاهش هزینه‌های اقتصادی و زیست محیطی جامعه می‌باشد. اکثریت کارهای انجام شده در بخش داخل و خارج در سطح یک منزل مسکونی و کارهای کوچک انجام شده است و با یک نرم‌افزار جامع مانند RetScreen در سطح یک نیروگاه ۱۷ مگاواتی انجام نشده است.

این سوال اساسی مطرح می‌شود که آیا استفاده از فنآوری فتوولتائیک در شهر شاهرود بجای سوخت‌های فسیلی در تامین انرژی برق شهر، استان و کشور صرفه اقتصادی دارد یا خیر؟

میزان سود یا زیان دولت از این طرح چه میزان خواهد بود؟

میزان سود یا زیان فرد سرمایه‌گذار در این پروژه چه میزان خواهد بود؟

چه میزان و به چه مقدار از آلایندگی محیط زیست کاهش یافته؟ و مقدار مالی این مورد چه میزان است؟

۱-۶ روش پژوهش

ارزیابی اقتصادی طرح به روش هزینه همتراز شده (هزینه یکنواخت سالیانه) خواهد بود. اقلام اصلی هزینه در این روش شامل هزینه ساخت نیروگاه، هزینه عملیاتی، تعمیر و نگهداری نیروگاه، و هزینه آثار خارجی و زیست محیطی طرح است. داده‌های مورد استفاده داده‌های بخش انرژی و وزارت نیرو، سالنامه‌های آماری مرکز

آمار ایران، سازمان هواشناسی و محیط زیست می‌باشد که با بررسی‌های لازم در قسمت روش تحقیق خواهیم دید که امکان‌سنجی و هزینه‌های پایگاه PV برای یک بخش در کشور چه میزان است و صرفه‌جویی در بخش نفت و گاز برای تبدیل به الکتریسیته محاسبه خواهد شد.

در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار جامع RetScreen که توسط یک شرکت کانادایی برای ناسا طراحی شده است، به امکان‌سنجی طرح، تجزیه و تحلیل هزینه‌ها و درآمدهای طرح، بررسی شرایط جغرافیایی محل احداث نیروگاه، تحلیل ریسک و حساسیت نرخ بازده و دوره بازگشت سرمایه طرح نسبت به تغییرات عوامل اقتصادی (مانند نرخ بهره، نرخ تورم و غیره) تحت سناریوهای مختلف پرداخته خواهد شد.

۱-۷ نوآوری تحقیق

از جمله مواردی که در این پایان‌نامه برای اولین بار در ایران مورد بررسی قرار می‌گیرد به شرح زیر می‌باشند:

- برآورد سرمایه‌گذاری ثابت اجرای طرح ۱۷ مگاواتی فتوولتائیک برای شهر شاهرود
- برآورد سرمایه‌گذاری در گردش اجرای طرح ۱۷ مگاواتی فتوولتائیک برای شهر شاهرود
- برآورد هزینه سالیانه تولید برق با نیروگاه ۱۷ مگاواتی فتوولتائیک برای شهر شاهرود
- برآورد هزینه استهلاک سالیانه یک نیروگاه ۱۷ مگاواتی فتوولتائیک
- تعیین منابع تأمین مالی طرح و هزینه‌های مالی یک نیروگاه ۱۷ مگاواتی
- تحلیل درآمدها و هزینه‌های نیروگاه ۱۷ مگاواتی فتوولتائیک
- تعیین عملکرد سود و زیان طرح نیروگاه فتوولتائیک
- تعیین نرخ بازده داخلی (IRR)
- تعیین ارزش فعلی خالص (NPV)
- تحلیل نقطه سربه‌سر و بازگشت سرمایه در اجرای طرح نیروگاه ۱۷ مگاواتی
- صرفه اقتصادی در بخش نفت و گاز در راستای اجرای طرح فتوولتائیک
- چه کسانی و به چه میزان از اجرای پروژه منفعت می‌برند؟

- تحلیل حساسیت معیارهای اقتصادی
- انجام سناریو سازی با تغییر در پارامترهای اقتصادی

۱-۸ روش جمع آوری اطلاعات

بخشی از داده‌های مورد نیاز در این پایان‌نامه به صورت کتابخانه‌ای و توسط مطالعه در سایت‌های اینترنتی و منابع چاپی بدست آمده است و بخشی دیگر از این اطلاعات با تحقیقات میدانی از کارخانه‌جات و مراکز علمی و پژوهشی سازنده سلول‌های خورشیدی و لوازم وابسته به آن بدست آمده شد. همچنین قسمتی دیگر از اطلاعات توسط مراکز آمار جهانی و ترازنامه‌های انرژی و سایت مرکز آمار ایران بدست آمده است.

۱-۹ قلمرو پژوهش

قلمرو مکانی تحقیق شهر شاهرود واقع در استان سمنان کشور است. جامعه آماری آن نیز منازل مسکونی و میزان مصرف برق آن شهر می‌باشد. طبق داده‌های آماری سازمان جهانی PV ، شهر شاهرود را به علت شرایط آب و هوایی خاص آن یکی از بهترین مکان‌ها برای احداث پنل‌های فتوولتائیک می‌داند. لذا جهت بررسی صرفه اقتصادی استفاده از فناوری نوین فتوولتائیک این شهر انتخاب شده است.

۱-۱۰ ساختار پژوهش

در ادامه در این پایان‌نامه در چهار بخش مختلف به تحلیل موضوع و تعریف اجزا و ادبیات نظری آن پرداخته خواهد شد و با بررسی پژوهش‌های انجام شده در گذشته به شناختی جامع‌تر از موضوع اشاره خواهد شد. همچنین با بیان روش تحقیقی مناسب و معرفی نرم‌افزاری کاربردی در زمینه انرژی فتوولتائیک به انجام محاسبات پرداخته خواهد شد.

فصل دوم – ادبیات تحقیق، مبانی نظری و پیشینه

۲-۱ مقدمه

در این فصل به معرفی انواع انرژی تجدیدپذیر پرداخته خواهد شد و با بررسی هر یک از مزایا و معایب آن‌ها بیان خواهد شد، سهم انرژی تجدیدپذیر در ایران مشخص خواهد شد و اینکه سیستم فتوولتائیک به عنوان سیستمی پاک از چه اجزاء و قطعاتی ساخته خواهد شد. ملاحظات اقتصادی، سیاسی، فرهنگی و اجتماعی طرح معرفی می‌شود و در انتها با آشنایی انواع نیروگاه‌های فتوولتائیک در ایران و ظرفیت و نوع هر کدام و پیشینه گذشتگان در این راستا پرداخته خواهد شد.

۲-۲ انواع انرژی‌های تجدیدپذیر

انواع انرژی‌های تجدیدپذیر را می‌توان از نظر سازمان IEEE[1] به ۷ گروه تقسیم کرد:

۱. انرژی آبی[۲] (برق آبی)

۲. انرژی بادی[3]

۳. انرژی فتوولتائیک[۴] (خورشیدی)

۴. انرژی زمین‌گرمایی[۵]

۵. انرژی زیست توده[۶]

۶. انرژی امواج، انرژی جزر و مد و انرژی جریان اقیانوسی[۷]

۷. انرژی هیدروژن[۸]

۲-۲-۱ انرژی آبی

یکی از انواع سامانه‌های تولید برق در جهان انرژی آبی یا انرژی هیدرولیک است. به عبارتی این سامانه از

[1] Institute of Electrical and Electronics Engineers
[2] Hydro Energy
[3] Wind energy
[4] Photovoltaic
[5] Geothermal energy
[6] Biomass energy
[7] Wave energy, tidal energy and ocean energy
[8] Hydrogen energy

حرکت آب برق تولید می‌نماید. انرژی آب نیز یکی از انواع انرژی تجدیدپذیر می‌باشد که به طور گسترده در جهان استفاده می‌شود، از معروف‌ترین آن‌ها می‌توان به ایجاد سد و تولید برق از طریق آن اشاره نمود. هرچند که ساختن و تولید انرژی از این طریق بسیار پرهزینه خواهد بود و شرایط ایجاد آن در هر مکانی قابل انجام نیست لذا در مقابل انواع دیگری همچون انرژی خورشیدی قابل قیاس نیست [۵].

۲-۲-۲ انرژی بادی

انرژی بادی از انواع دیگر سامانه‌های تولید برق می‌باشد. در این روش انرژی الکتریکی مورد نیاز از طریق توربین‌های بادی خیلی بزرگ که انرژی مکانیکی تولید می‌نماید تامین خواهد شد. تا انتهای سال میلادی ۲۰۱۸ مقدار برق تولید شده توسط توربین‌های بادی ۵۳۹ گیگاوات بوده است. در حال حاضر می‌توان در دنیا میزان ۴۳۰ تراوات ساعت برق از طریق سیستم‌های بادی تولید نمود که میزان ۲ درصد از مصرف برق دنیاست [۵].

۲-۲-۳ انرژی فتوولتائیک

سیستم فتوولتائیک فناوری نوینی است که به صورت مستقیم انرژی و نور خورشید را تبدیل به انرژی الکتریکی می‌نماید. استفاده کردن از فناوری فتوولتائیک در فرآیند تولید انرژی این قابلیت ویژه را به ما خواهد داد تا محیط زیست پاکیزه‌ای داشته باشیم و از آلودگی محیط پرهیز نماییم (به دلیل این که تولید جریان برق از طریق سیستم PV اثرات جانبی بسیار اندکی خواهد داشت). پنل‌های سیستم فتوولتائیک صفحات خورشیدی‌ای هستند که با استفاده از نور خورشید مستقیما آن را به جریان برق مصرفی تبدیل می‌نمایند. این صفحات در سازه‌های متفاوت در دسترس خواهد بود و با توجه به تعداد سلول‌های آن هزینه آن متفاوت است. نمونه‌های کوچک آن در ماشین حساب‌ها و نمونه‌های بزرگتر در نیروگاه‌ها استفاده می شود [۵].

۲-۲-۴ انرژی زمین گرمایی

انرژی زمین گرمایی به روشی از فناوری تولید برق گفته خواهد شد که از انرژی حرارتی در پوسته جامد

زمین به تولید برق پرداخته شود. از مرسوم‌ترین انواع این سامانه‌ها می‌توان به نیروگاه‌های بخار خشک، نیروگاه-های تبدیل بخار سیال و نیروگاه‌های چرخه دوگانه می‌باشد. این نوع انرژی مربوط به فصل خاصی نبوده و به دلیل استفاده از انرژی درونی کره زمین در هر شرایطی قابل استفاده است.

۲-۲-۵ انرژی زیست توده

انرژی زیست توده و یا بیومس یکی دیگر از سامانه‌های تجدیدپذیر می‌باشد که از مواد زیستی به دست آمده و قابل استفاده می‌باشد. به طور خلاصه اگر بخواهیم زیست توده را تشریح نماییم به زباله‌هایی که منشا زیستی داشته و از تکثیر سلولی به وجود آمده اند اطلاق می‌شود. می‌توان مثال‌هایی در این زمینه زده شود مانند زباله‌های شهری از نوع جامد، جنگل‌ها و ضایعات به وجود آمده در جنگل، پسماندهای آلی که در صنعت استفاده می‌شوند، ضایعات و محصولات کشاورزی، فاضلاب‌ها، فضولات دامی و انواع این چنینی. لازم به ذکر خواهد بود که سوخت‌های فسیلی با این که در طبیعت به وجود آمده‌اند با این حال در این دسته قرار نمی‌گیرند.

۲-۲-۶ انرژی امواج، انرژی جزر و مد و انرژی جریان اقیانوسی

انرژی جزر و مد یکی دیگر از سامانه‌های تجدیدپذیر تولید برق خواهد بود که از تبدیل نیروی جزر و مد در آب به تولید الکتریسیته می‌پردازد. این روش تاکنون روش مرسومی در فرآیند تولید برق نبوده با این حال شاید در آینده با پیشرفت تکنولوژی فراگیر شود. این سامانه تولید برق دو محدودیت بزرگ دارد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به هزینه بالا و مکان مناسب با کشندی و سرعت بالای جریان آب اشاره نمود. این نوع از نیروگاه برای اولین‌بار در سال ۱۹۶۶ در مقیاس بزرگ مورد بهره برداری قرار گرفت.

۲-۲-۷ انرژی هیدروژن

سامانه تجدیدپذیر دیگر انرژی هیدروژن می‌باشد که از ترکیب تکنولوژیکی و یا فنی انرژی‌های تجدیدپذیر و عنصر هیدروژن به عنوان مکانیزمی جهت ذخیره منابع پاک و پایدار حاصل می‌شود. از این فناوری بیشتر در راستای نقل و انتقال انرژی استفاده می‌شود. این روش هیچ پسماندی ندارد و اثرات شیمیایی ایجاد نخواهد کرد.

انرژی مورد مطالعه قرار گرفته در این پایان‌نامه انرژی‌های خورشیدی است. البته تحقیقات اقتصادی راه‌اندازی و ساخت پایگاه‌های PV در ایران به شکل گسترده مورد مطالعه قرار نگرفته است و اطلاعات اندکی در این زمینه‌ی تحقیقاتی در دسترس است. تعدادی از این پژوهش‌ها با رعایت ترتیب سال به اختصار آورده شده است.

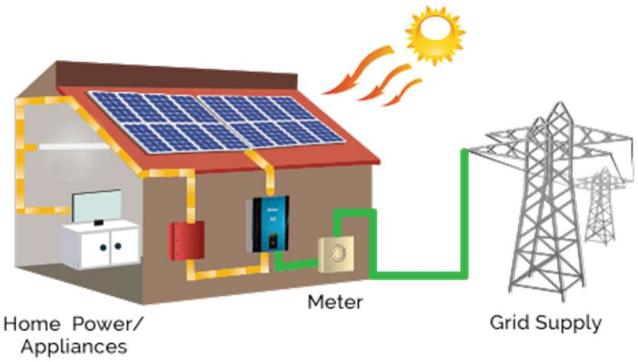
۲-۳ معرفی سیستم تولید انرژی فتوولتائیک

نام پنل‌های فتوولتائیک و یا سلول‌های خورشیدی امروزه بر کسی پوشیده نیست. این دو، وسایلی برای استفاده از انرژی خورشیدی هستند. برخی وسایلی که از آن‌ها استفاده می‌شود، مانند ماشین حساب‌ها، چراغ‌های راهنمایی یا چراغ‌های روشن در اتوبان‌ها مثال‌هایی هستند که انرژی خود را از سلول خورشیدی تأمین می‌کنند. حتی امروزه، ایده‌هایی مبنی بر استفاده از این فناوری در سطح عمومی، مانند پشت بام خانه‌ها و تولید خانگی برق مورد توجه دولت‌ها و مردم قرار گرفته است.

سیستم فتوولتائیک و یا به صورت نمادین PV، یکی از انواع سامانه و روش های تولید جریان الکتریسیته از انرژی خورشید می‌باشد [۶]. در این سیستم با بکارگیری سلول‌های خورشیدی[1]، تولید مستقیم جریان الکتریسیته از تابش نور خورشید امکان‌پذیر خواهد بود. همان‌گونه که در شکل ۲-۱ مشاهده می‌کنید ساختار یک سیستم فتوولتائیک نمایش داده شده است. واحدهای نوری فتوولتائیک (PV)، از نور خورشید جریان الکتریسیته تولید می‌کنند و به طور شگفت انگیزی، ساده، موثر و با دوام هستند. این اجزاء بی هیچ جزء متحرکی می‌توانند وسایل شما را راه‌اندازی، باتری‌ها را شارژ یا اینکه برای شبکه برق، انرژی تولید کنند [۷]. وقتی که نور خورشید به یک سلول PV برخورد می‌کند، آن سلول تعدادی از فوتون‌ها را جذب می‌کند و انرژی این فوتون‌ها در ماده نیمه رسانا به الکترون[2] تبدیل می‌گردد. با کسب انرژی از فوتون، الکترون می‌تواند جایگاه معمول خود را در اتم نیمه رسانا ترک نموده و بخشی از جریان در یک مدار برقی[3] گردد [۸]. سوخت‌های

[1] Solar Cells
[2] Electron
[3] Electric circuit

فسیلی اثرات واقعی اجتماعی، محیطی و اقتصادی دارند. هزینه‌های سالانه و بزرگی به وجود می‌آورد که ریشه در تمامی آلوده کننده‌های (هوایی، جامد و مایع) صادره از استخراج، پردازش و جابه جایی آن‌ها دارد، که بر سلامت عمومی ما و محیط تاثیر می‌گذارد [۹]. برخلاف منابع انرژی سوخت‌های فسیلی، سیستم‌های فتوولتائیک الکتریسیته پاک را برای دهه‌های بعد تولید می‌کنند (این به درستی معجزه تکنولوژی PV است). هزینه‌های سیستم PV در زمانی که سیستم نصب می‌شود پرداخت می‌گردد. بعد از آن اساساً انرژی رایگان است و از لحاظ اقتصادی به صرفه[1] می‌باشد [۱۰].



شکل ۲-۱ ساختار یک سیستم فتوولتائیک

می‌توان فتوولتائیک را در دسته فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر قرار داد. مقدار انرژی که از طریق خورشید بر روی کره زمین تابش خواهد شد (در یک ساعت) شش هزار برابر بیشتر از کل انرژی‌های مصرف شده به صورت سالیانه بر روی کره زمین خواهد بود که این مطلب نشان دهنده الزام و اهمیت هر چه بیشتر توجه به این منبع در تأمین نیازهای بشر امروزی است [۱۱].

اگر تا کنون انرژی پاک خورشیدی (فتوولتائیک) رقیبی بسیار جدی برای سوخت‌های فسیلی[2] (غیر تجدیدپذیر) محسوب نمی‌گردیده است، به دلیل این موضوع بوده که سطح پایین قیمت سوخت‌های فسیلی در طول تاریخ یکی از قدرتمند ترین دلایل پیشگیری از فناوری‌های جدید در زمینه تولید برق بوده است [۱۲].

[1] Efficient
[2] Fossil fuels

با این حال هنوز هم در سطح جهانی استفاده از فناوری نوین و جدیدی به نام فتوولتائیک به بلوغ و رشد خود نرسیده است، اما رسیدن به این پیشرفت و تکامل بسیار نزدیک‌تر از گذشته شده است. در جهان کشورهای زیادی در تلاشند تا با جایگزین کردن انرژی خورشیدی در فرآیند تولید حرارت[1] و الکتریسیته[2] حداکثر استفاده را از این منبع ببرند و زیان و ضررهای فراوان ناشی از استفاده سوخت‌های فسیلی را کاهش دهند [۱۳].

۲-۳-۱ انواع سیستم‌های فتوولتائیک

سیستم‌های فتوولتائیک انواع مختلفی دارد که در ادامه به معرفی آن‌ها پرداخته خواهد شد.

انواع فتوولتائیک از منظر فنی

سیستم‌های خورشیدی به دو دسته تقسیم بندی می‌شوند: سیستم‌های متصل به شبکه و سیستم‌های منفصل از شبکه، منظور از شبکه، شبکه سراسری برق می‌باشد.

انواع فتوولتائیک از منظر ساختاری

به طور کلی انواع مختلف پنل‌های فتوولتائیک از منظر ساختاری را می‌توان به دسته‌های زیر طبقه‌بندی نمود:

۱. سیلیکون بلورین برای (c-Si) برای تکنولوژی PV
۲. پنل‌های خورشیدی مونوکریستال
۳. پنل‌های خورشیدی پلی کریستال
۴. سلول‌های خورشیدی نوار رشته‌ای(TFSC) یا (TFPV)
۵. سلول خورشیدی فیلم نازک
۶. سلول‌های خورشیدی سیلیکون آمورف (a-Si, a-Si:H) و مدول‌های PV
۷. سلول‌های خورشیدی کادمیم تلورید(CDTe)

[1] Heat
[2] Electricity

۸. سلول‌های خورشیدی مس ایندیم گالیم سلنید (CIGS/CIS)

دو نوع اصلی از سامانه‌های فتوولتائیک (PV) برای استفاده در ساختمان‌ها وجود دارد:

۱. منفرد

۲. متصل به شبکه[14].

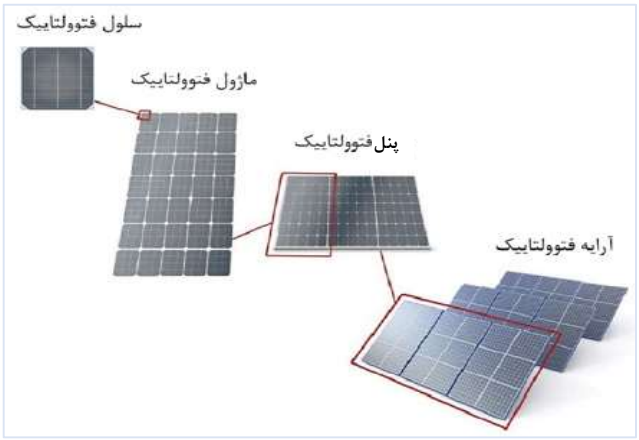
هنگامی که اتصال به شبکه برق ممکن نبوده یا مورد دلخواه نباشد نیاز به یک سامانه منفرد می‌باشد. در چنین مواردی برای تأمین برق به هنگام شب یا در روزهای ابری و نیز هنگام نیاز به حداکثر مقدار برق، نیاز به چند انباره[1] می‌باشد. اندازه آرایه‌های PV طوری تنظیم می‌شود که هم بارهای معمول روز هنگام و هم شارژ انباره‌ها را مهار کنند.

در یک سامانه متصل به شبکه، برای تغییر جریان مستقیم از آرایه PV به جریان متناوب (AC) با ولتاژ مناسب شبکه نیاز به یک مبدل می‌باشد [۱۵]. باید توجه داشت که در این حالت نیازی به انباره وجود ندارد و بدین ترتیب صرفه‌جویی قابل توجهی هم در هزینه و هم در نگهداری سامانه، ایجاد خواهد شد [۱۶]. در سامانه‌های منفرد، الکتریسیته مازادی که در طول روز تولید شده‌است برای استفاده در شب یا روزهای تاریک و ابری در انباره‌ها ذخیره می‌گردد. از آنجا که قیمت مبدل‌ها[2] و سلول‌ها[3] و انباره گران می‌باشد، یک سامانه ترکیبی (هیبریدی) که از نیروی باد استفاده می‌کند اغلب مکمل ایده آل برای سامانه PV می‌باشد چرا که نه تنها در طول شب باد می‌وزد بلکه در هوای بد نیز معمولاً باد قابل توجهی وجود دارد [۱۷]. علاوه بر آن در زمستان، زمانی که انرژی خورشیدی کمی برای برداشت وجود دارد هوا معمولاً باد خیزتر از تابستان می‌باشد. با این حال تمام مناطق برای استفاده از نیروی باد مناسب نیستند.

[1] Battery
[2] Converters
[3] Cells

۲-۳-۲ اجزاء سیستم فتوولتائیک

در شکل ۲-۲ اجزای یک سیستم فتوولتائیک نشان داده شده است که از آرایه‌ها، پنل‌ها، ماژول‌ها و سلول-های فتوولتائیک تشکیل شده است. این سلول‌های فتوولتائیک از نوع نیمه‌رسانا[1] هستند و از عنصر سیلیسیوم که دومین عنصر فراوان موجود در پوسته زمین است ساخته شده‌اند [۱۸]. زمانی که نور خورشید به سلول‌های فتوولتائیک به تابش در می‌آید، در بین دو الکترود منفی و مثبت سلول فتوولتائیک اختلاف جریان پتانسیل ایجاد شده و این امر موجب به جریان درآمدن جریان[2] بین آن‌ها می‌شود.



شکل ۲-۲ اجزاء یک سیستم‌های فتوولتائیک

۲-۴ مزایای سیستم فتوولتائیک در تولید انرژی

سیستم فتوولتائیک دارای مزایا و معایبی خواهد بود که در ادامه به رایج‌ترین آنها پرداخته خواهد شد.

۲-۴-۱ انرژی فتوولتائیک، صنعتی بدون آلایندگی

انرژی خورشیدی جایگزینی است برای سوخت فسیلی چرا که تمیز، قابل‌اطمینان[3] و تجدیدپذیر است و آلوده‌کننده نیست. این انرژی هوا را با گازهای مضری مثل کربن دی‌اکسید[4]، نیتروژن اکسید[5] و سولفور اکسید[6]

[1] Semiconductor
[2] Current
[3] Trusted
[4] Carbon dioxide
[5] Nitrous oxide
[6] Sulfur oxide

آلوده نمی‌کند؛ بنابراین، ریسک تخریب محیط کاهش می‌یابد.

انرژی خورشیدی همچنین نیازی به سوخت برای ایجاد جریان الکتریکی ندارد بدین‌معنی که مشکلات حمل‌ونقل سوخت یا ذخیره‌سازی مواد زائد رادیواکتیو[1] را ندارد [۱۹]. بزرگترین اثرات استفاده از سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها، انتشار و ایجاد آلودگی‌های هوایی به ویژه انتشار سولفور اکسید[2]، نیتروژن اکسید[3]، کربن مونواکسید[4]، کربن دی‌اکسید[5] و هیدروکربن‌ها می‌باشد. کربن مونوکسید (CO)، کربن دی‌اکسید (CO۲) و هیدروکربن‌ها به عنوان گازهای گلخانه‌ای مسئول گرم کردن زمین شناخته شده‌اند. SOX و NOX زمانی که وارد جو می‌شوند تولید اسید می‌کنند، که این اسیدها بوسیله ترکیب در آب باران ایجاد شده و سبب بارش‌های اسیدی می‌شوند. جدول زیر نشان دهنده میزان تولید آلاینده‌های عامل و گازهای گلخانه‌ای توسط انواع نیروگاه‌ها می‌باشد.

جدول ۲-۱ میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده در نیروگاه‌ها [۲۰] (g/kWh)

نوع نیروگاه	CO	CO2	NOX	SO2
زغال سنگ	۰.۱۱	۱۰۹۰	۳.۵۴	۹.۲۶
نفت	۰.۱۹	۷۸۱	۲.۰۲	۵.۰۸
گاز	۰.۲۰	۴۹۰	۲.۳۲	۰.۰۰۴

۲-۴-۲ انرژی فتوولتائیک، منبع تجدیدپذیر

انرژی خورشیدی یک منبع تجدیدپذیر است که از آن تا وقتی‌که خورشید وجود دارد می‌توان استفاده کرد. آفتاب در سرتاسر زمین در دسترس است. این انرژی را می‌توان با نصب صفحات خورشیدی تحت کنترل قرارداد و به طور مدارم در هنگام روز و روزهای ابری و شب استفاده کرد.

با اینکه انرژی خورشیدی در هنگام شب و روزهای ابری تولید نمی‌شود ولی با ذخیره سازی برق تولید شده

[1] radioactive
[2] Sulphur Oxides
[3] nitrogen oxides
[4] Carbon Monoxide
[5] CO2

می‌توان در شب از آن بهره برد. انرژی ساطع‌شده از خورشید ثابت و منبع انرژی دائمی است و می‌توان آن را در مکان‌های دوردست استفاده نمود. استفاده از انرژی خورشیدی بدون توجه به طراحی اقلیمی ساختمان نه‌تنها به‌صرفه‌تر نبوده بلکه هزینه‌های اضافی نیز در بر خواهد داشت؛ بنابراین توصیه می‌گردد با تهیه و تدوین روابط طراحی الگوی مسکن متناسب با اقلیم هر منطقه، طراحان را وادار به رعایت حداقل استانداردها در این زمینه بنمایند و نیز در جهت توسعه استفاده از انرژی خورشیدی در ساختمان سیاست‌های تشویقی و تنبیهی مدون گردد [۲۱].

۲-۴-۳ تعمیر و نگهداری آسان

سلول‌های خورشیدی چندان به نگهداری و اجرای طولانی نیاز ندارند. بیشتر صفحات خورشیدی را می‌توانیم هر موقع که بخواهیم استفاده کنیم. هزینه‌ی اولیه صفحات خورشیدی بالا است اما عملاً هزینه‌های نگه‌داری تقریبا صفر خواهد بود. هزینه‌ی اولیه که موجب ضرر شده است می‌تواند در درازمدت جبران شود که حدود ۱۰ سال است. جدا از این، صفحات خورشیدی آلودگی صوتی[1] یا مواد سمی ایجاد نمی‌کنند [۲۲].

۲-۴-۴ نصب آسان پنل‌های فتوولتائیک

نصب صفحات خورشیدی ساده بوده و نیازی به سیم، کابل یا منبع انرژی دیگری ندارند. برخلاف ایستگاه‌های انرژی زمین‌گرمایی و باد که نیازمند ماشین‌آلات حفاری‌اند، صفحات خورشیدی نیازی به آن‌ها نداشته و می‌توانند در پشت‌بام نصب شوند، یعنی نیازی به یک مکان جدید ندارند و هر خانه یا مکان تجاری می‌تواند تأمین برق خود را تضمین کند.

علاوه بر این، آن‌ها را می‌توان با روش‌های جدید توزیعی نصب کرد، یعنی نیازی به تأسیسات مقیاس[2] بزرگ نیاز نیست.

[1] Noise
[2] Scale

۲-۴-۵ قابل استفاده در مناطق دوردست و صعب العبور

برای خانه‌ها، صنایع و کارگاه‌های دوردستی که دسترسی به شبکه برق ندارند و یا انجام این کار دشوار و پرهزینه بوده انرژی خورشیدی گزینه مناسبی برای تامین انرژی آن‌ها است.

۲-۴-۶ ماندگار بودن سلول‌های فتوولتائیک

سلول‌های خورشیدی هیچ‌گونه صدایی تولید نمی‌کنند و قسمت‌های متحرک ندارند، درنتیجه ماندگاری آن‌ها افزایش پیداکرده و نیازی به نگهداری و تعمیرات آن‌چنانی ندارند. تکنولوژی انرژی خورشیدی هر ازگاهی رشد مداوم و پیوسته را تجربه می‌کند و از طرفی با این پیشرفت و رشد مدارم تکنولوژی ماندگاری این سلول‌ها نیز بیشتر می‌شود [۲۳].

۲-۴-۷ بازدهی بالای سیستم فتوولتائیک

نرخ بازدهی[1] سیستم PV به سه چیز بستگی دارد: منبع خورشیدی، قیمت‌های الکتریسیته و سیاست‌ها یا انگیزه‌های کشور. در حالی که تعداد زیادی از نیروگاه‌ها، برق را به میزان قابل پرداختی می‌فروشند، تورم[2] و همچنین تاریخچه قیمت انرژی نشان از افزایش قیمت انرژی در آینده دارد که باعث خواهد شد تا بازپرداخت سیستم‌های خورشیدی (برگشت سرمایه‌گذاری انجام شده) حتی سریع تر انجام پذیرد [۲۴].

طبق آخرین داده‌ها و اطلاعات داخلی این قضیه را طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۱ نشان می‌دهند، میانگین افزایش سالانه قیمت برای الکتریسیته در هر سال برابر ۴/۳ درصد بوده است؛ و بر طبق چشم‌انداز انرژی کوتاه‌مدت مدیریت اطلاعات انرژی، این طور طرح‌ریزی شده که نرخ‌های نیروگاه‌ها با میانگینی متناسب با این افزایش ارتقا یابند [۲۵].

۲-۵ محدودیت‌های استفاده از انرژی فتوولتائیک

همانند تمامی سیستم‌های اقتصادی و مهندسی، سیستم‌های فتوولتائیک نیز بدون محدودیت و کمبود

[1] Rate of return
[2] Inflation

نخواهد بود در ادامه به چند مورد از معایب و محدودیت‌های استفاده ز سیستم‌های فتوولتائیک اشاره خواهیم نمود.

۲-۵-۱ قیمت بالا

نیروی محرکه لازم برای پیشبرد انرژی خورشیدی ریشه در برنامه‌ریزی‌های یک کشور دارد. این برنامه‌ها می‌توانند مشوق خوبی برای منابع خورشیدی در مقابل سایر منابع باشند. لازم به ذکر است که علت نیازمند بودن به برنامه‌ریزی و حمایت دولت ازاین‌جهت است که هزینه‌های اولیه راه‌اندازی تجهیزات خورشیدی گران‌قیمت است و سرمایه‌گذاران شخصی[1] برای خرید و نصب سلول‌های خورشیدی به تسهیلات مالی نیازمندند.

۲-۵-۲ متناوب بودن

انرژی خورشید یک منبع متناوب[2] است. دسترسی به نور خورشید در یک بازه زمانی خاص در طول شبانه‌روز امکان‌پذیر است. همچنین پیش‌بینی آب‌وهوای روزانه نیز دشوار است. ازاین‌رو برای تولید برق موردنیاز، انرژی خورشید به‌عنوان منبع اصلی و اولیه برای این منظور محسوب نمی‌شود.

۲-۵-۳ ذخیره‌سازی هزینه‌بر

سیستم‌های ذخیره کننده انرژی خورشیدی مانند باتری‌ها به یکنواخت بودن و پایدار بودن جریان برق کمک می‌کنند؛ اما این تکنولوژی‌ها بسیار گران‌قیمت هستند.

۲-۵-۴ بازیافت پسماندهای سیستم فتوولتائیک

گرچه انرژی خورشیدی قطعاً بدون آلایندگی است اما مشکلاتی نیز در این میان وجود دارد. برخی از مواد مورد استفاده در فرآیند ساخت سلول‌های خورشیدی مانند نیتروژن‌تری فلوراید و سولفور هگزا فلوراید، انتشار گازهای گلخانه‌ای را به همراه دارند. انتقال و نصب سلول‌های خورشیدی نیز می‌توانند به‌صورت غیرمستقیم

[1] Personal Investors
[2] Alternate

آلودگی ایجاد کنند [۲۶].

۲-۵-۵ مواد نایاب

برخی از سلول‌های خورشیدی خاص نیازمند موادی هستند که گران‌قیمت بوده و در طبیعت نیز نایابند. این قضیه برای سلول‌های خورشیدی نازک که بر پایه کادمیوم تلوراید یا مس ایندیوم گالیوم سلوناید هستند صادق است.

۲-۵-۶ نیازمند فضا

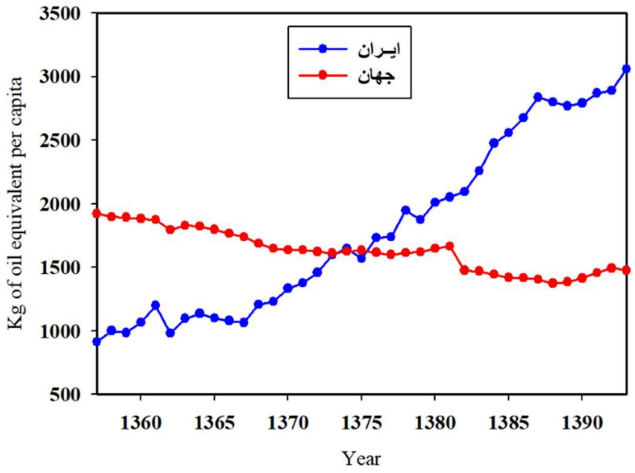
زمانی که قرار است مشخص شود از یک ناحیه معین چه مقدار انرژی به دست می‌آید، پارامتر چگالی توان یا همان وات بر مترمربع (W/m^2) به‌عنوان یک عامل ضروری خود را نشان می‌دهد. چگالی توان پایین نیروگاه خورشیدی نشان‌دهنده این است که برای تأمین برق موردنظر به فضای زیادی برای احداث نیروگاه خورشیدی نیاز است. میانگین جهانی چگالی توان تابشی خورشید ۱۷۰ W/m^2 می‌باشد [۲۷].

۲-۶ وضعیت مصرف انرژی در ایران

از مهمترین شاخصه‌های تعیین وضعیت مصرف انرژی در یک کشور، مصرف سرانه و همچنین شدت مصرف انرژی در آن کشور می‌باشد. مصرف سرانه انرژی به معنای میزان مصرف انرژی در کشور در یک سال به ازای هر نفر و شدت مصرف انرژی به معنای میزان مصرف انرژی به ازای تولید ناخالص داخلی بیان می‌گردد.

۲-۶-۱ مقایسه روند مصرف سرانه انرژی ایران با جهان

کشور ایران همواره در سالیان مختلف به دلیل پایین بودن بهای حامل‌های انرژی یکی از کشورهای با مصرف سرانه انرژی بالا بوده است. این سیاست اصلا مورد قبول سیاست‌های مرسوم جهانی نیست و در تمام کشورهای دنیا همیشه سعی بر پایین نگاه داشتن مصرف سرانه انرژی بوده است. شکل ۲-۳ روند مصرف انرژی در ایران و جهان را بعد از سال ۱۳۵۷ نشان می‌دهد که از دوره بعد از انقلاب اسلامی تاکنون شاهد افزایش بسیار زیاد میزان مصرف انرژی در کشور بوده‌ایم.

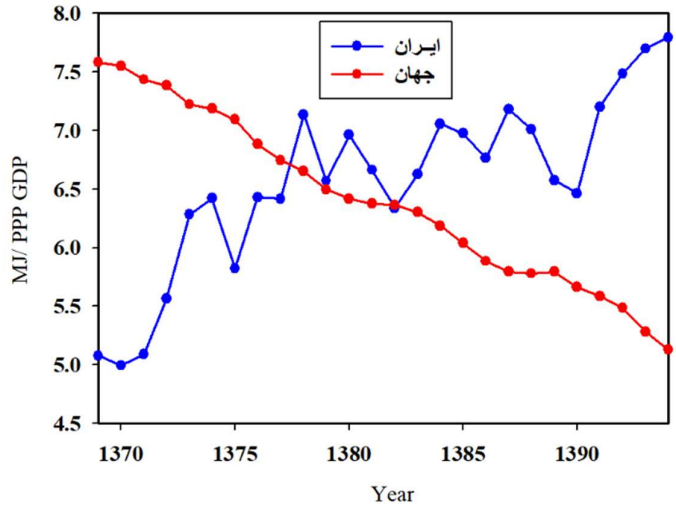


شکل ۲-۳ مقایسه مصرف سرانه انرژی کشور ایران و جهان بعد از سال ۱۳۵۷ [۲۸]

همچنین میانگین مصرف جهانی نشان می‌دهد که این عمل در سطح جهانی بسیار کمتر از ایران بوده و رفته رفته رو به کاهش می‌باشد. اما مصرف انرژی در ایران همواره رو به افزایش است و شیبی بسیار تند داراست.

۲-۶-۲ مقایسه شدت مصرف انرژی در ایران با جهان

شدت مصرف انرژی یکی از شاخص‌های بررسی کارایی مصرف انرژی است. این شاخص با تقسیم انرژی بر تولید ناخالص داخلی به دست می‌آید و از واحدهای مختلفی برای این اندازه‌گیری آن استفاده می‌شود.



شکل ۲-۴ مقایسه شدت مصرف انرژی ایران با جهان بعد از سال ۱۳۶۹ [۲۸]

همانگونه که در شکل ۲-۴ پیداست روند کاهشی نمودار شدت مصرف انرژی جهانی همواره با شیب تندی در حال کاهش می‌باشد اما این روند برای کشور ایران صادق نبوده و همواره با شیب تندی در حال افزایش می‌باشد شدت مصرف انرژی در ایران بسیار بالاست که می‌توان علت این موضوع را در ساختار اقصادی، سیاسی و یا جغرافیایی دانست. که البته در برخی سال‌ها دچار کاهش شده که می‌توان دلایل آن را افزایش قیمت حامل‌های انرژی در آن سال‌ها دانست که دوباره بعد از گذشت یک یا دو سال به دلیل وجود تورم ثابت در کشور مجدد دچار روند افزایشی خود شده است [۲۹]:

از دلایل تفاوت شدت مصرف انرژی ایران با جهان می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تفاوت سطح تورم
- کم بودن بهای مصرفی سوخت‌های فسیلی
- تفاوت درآمد سرانه
- تعداد ماه‌های گرم و سرد سال
- تفاوت میزان تولید ناخالص داخلی
- تفاوت سطح نرخ ارز
- نوع اقتصاد (کشورهای صادر کننده نفت)

با این حال درمان این بیماری در اقتصاد یک کشور خواستار یک عزم جدی در تمامی قسمت‌های اقتصادی گفته شده خواهد بود.

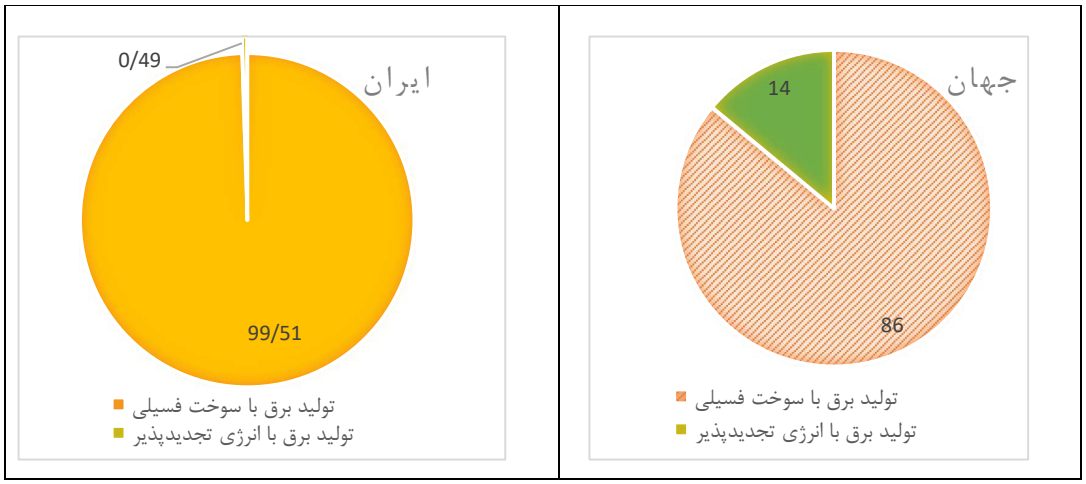
۲-۶-۳ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تامین انرژی کشور

انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور ایران با سهم ۰.۴۹ درصد در ظرفیت اسمی تولید برق، حتی به نیم درصد نیز نمی‌رسد. این درحالی است که توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر سال‌هاست در دستور کار دولت‌های مختلف ایران قرار دارد. این میزان برای میانگین جهانی ۱۴ درصد می‌باشد.

جدول ۲-۲ درصد تولید برق ایران و جهان از انرژی‌های تجدیدپذیر [۳۰]

نوع	ایران (درصد)	جهان (درصد)
تولید برق با سوخت فسیلی	۹۹/۵۱	۸۶
تولید برق با انرژی تجدیدپذیر	۰/۴۹	۱۴

همان‌گونه که در شکل ۲-۵ پیداست میانگین جهانی تولید برق از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر ۱۴ درصد می‌باشد البته هستند کشورهایی مانند آلمان،ایالات متحده آمریکا و چین که درصد بالایی از برق کشورشان را از طریق فتوولتائیک تامین می‌نمایند، با تمام این تفاسیر کشور ایران تنها ۰/۴۹ درصد از برق کشور را از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر تامین می‌نماید و این عدد برای استفاده از فتوولتائیک ۰/۰۷۹ درصد است.



شکل ۲-۵ مقایسه تولید برق با انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران و جهان

سهم ناچیز تولید برق با فناوری‌های پاک و تجدیدپذیر در کشور ایران سیاستی نادرست و بسیار از سطح جهانی عقب مانده‌تر است که باید با تدابیر دولتی این مشکلات رفع شود. در حال حاضر بیش از ۹۲ درصد از برق کشور از نیروگاه‌های فسیلی تامین می‌گردد ۷/۵ درصد از آن توسط نیروگاه‌های سد آبی و ۰/۵ درصد از آن توسط نیروگاه‌های تجدیدپذیر. تولید این نیروگاه‌های فسیلی در سال گذشته برابر با ۲۸۸ میلیارد کیلووات ساعت برق بوده که برای این مقدار تولید ۶۹ میلیارد متر مکعب از گاز طبیعی (عمده ترین سوخت مصرفی نیروگاه‌های کشور) ۵ میلیارد لیتر گازوئیل و در حدود ۴ میلیارد لیتر مازوت به مصرف رسیده است. این نیروگاه‌ها، در سال ۳۲ درصد از مصرف کل گاز کشور را به خود اختصاص داده‌اند [۳۱].

۲-۶-۳-۱ انرژی‌های تجدیدپذیر در قانون برنامه و بودجه کشور

طبق ماده ۵۰ قانون برنامه پنج ساله ششم جمهوری اسلامی ایران دولت مکلف است سهم نیروگاه‌های تجدیدپذیر و پاک با اولویت سرمایه‌گذاری بخش غیردولتی (داخلی و خارجی) با حداکثر استفاده از ظرفیت داخلی را تا پایان اجرای قانون برنامه به حداقل ۵ درصد ظرفیت برق کشور برساند.

۲-۶-۴ مقایسه سهم بخش‌های مختلف اقتصادی از مصرف انرژی برق

در کشور ایران نوع مصرف بخش‌های مختلف اقتصادی از انرژی برق متفاوت بوده با این حال برخی از این موارد به صورت شیب تند افزایشی در حال صعود است.

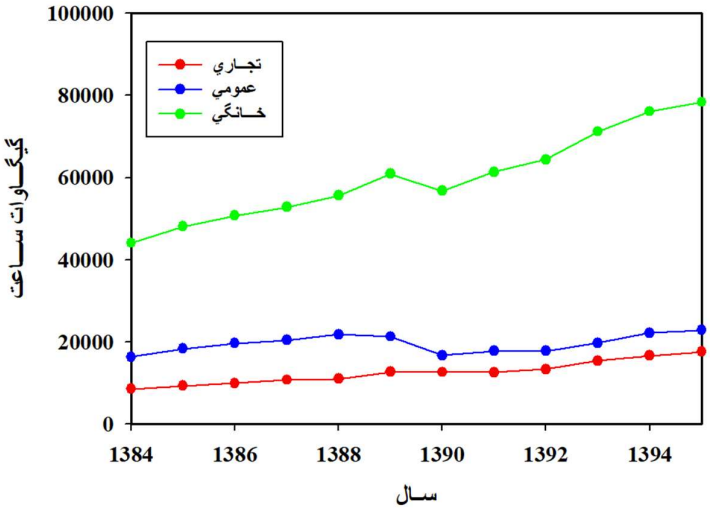
جدول ۲-۳ میزان استفاده برق بخش‌های مختلف اقتصادی (گیگاوات ساعت) [۳]

سال	خانگی	عمومی	تجاری	صنعتی	حمل و نقل	کشاورزی	سایر	جمع
۱۳۸۴	۴۴۱۰۸	۱۶۳۵۰	۸۵۴۱	۴۳۰۱۴	۱۰۸	۱۶۴۶۹	۴۳۰۵	۱۳۲۸۹۷
۱۳۸۵	۴۸۰۸۵	۱۸۳۲۸	۹۳۱۹	۴۶۴۳۰	۱۴۴	۱۷۶۶۶	۴۶۰۷	۱۴۴۵۸۱
۱۳۸۶	۵۰۷۷۶	۱۹۶۴۸	۹۹۵۲	۴۹۶۰۱	۱۶۹	۱۷۶۷۰	۴۵۰۹	۱۵۲۳۲۹
۱۳۸۷	۵۲۸۹۶	۲۰۴۲۸	۱۰۷۴۱	۵۱۸۶۳	۲۴۵	۲۱۱۷۸	۴۰۹۰	۱۶۱۴۴۵
۱۳۸۸	۵۵۶۲۹	۲۱۸۲۶	۱۱۰۱۵	۵۴۶۰۵	۲۸۲	۲۱۴۰۵	۳۶۷۴	۱۶۸۴۳۸
۱۳۸۹	۶۰۹۰۷	۲۱۳۰۸	۱۲۷۲۶	۶۱۱۸۳	۲۹۹	۲۴۱۸۸	۳۵۶۷	۱۸۴۱۸۱
۱۳۹۰	۵۶۷۷۳	۱۶۷۵۱	۱۲۶۶۳	۶۳۵۹۰	۳۵۳	۳۰۰۲۰	۳۷۵۲	۱۸۳۹۰۵
۱۳۹۱	۶۱۳۵۱	۱۷۸۱۰	۱۲۵۹۹	۶۶۷۳۶	۳۷۱	۳۱۶۴۷	۳۶۳۵	۱۹۴۱۴۹
۱۳۹۲	۶۴۳۷۹	۱۷۸۳۱	۱۳۳۷۷	۷۰۶۳۴	۳۲۳	۳۳۱۰۳	۳۷۶۵	۲۰۳۴۱۲
۱۳۹۳	۷۱۱۶۲	۱۹۷۶۷	۱۵۴۰۴	۷۳۹۳۲	۳۶۳	۳۵۱۸۸	۳۸۳۷	۲۱۹۶۵۳
۱۳۹۴	۷۶۱۰۳	۲۲۱۹۶	۱۶۶۸۰	۷۱۶۷۸	۵۴۹	۳۶۰۸۹	۴۰۱۷	۲۲۷۳۱۲
۱۳۹۵	۷۸۳۷۸	۲۲۹۱۴	۱۷۶۲۰	۷۷۱۶۷	۴۳۶	۳۶۲۲۲	۴۷۰۰	۲۳۷۴۳۶

همان‌گونه که در کلیه بخش‌های کشور میزان مصرف برق رو به افزایش است که این مورد برای اقتصاد کشور بسیار خطرناک است و بررسی ویژه‌ای می‌طلبد.

در ادامه و در شکل ۲-۶ میزان مصرف برق کشور ایران در سه بخش تجاری، عمومی و خانگی نشان داده

شده است. که می‌توان ملاحظه نمود که مصرف برق بخش خانگی در طی سال‌های ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۵ دارای شیب افزایشی بوده و روند مصرف رو به افزایش می‌باشد.



شکل ۲-۶ مصرف برق کشور ایران در سه بخش تجاری، عمومی و خانگی

با این حال دو بخش تجاری و عمومی شیب ملایم و تقریبا ثابتی را تجربه می‌نمایند و قابل کنترل‌تر نسبت به بخش خانگی خواهند بود.

۲-۷ نیروگاه‌های فتوولتائیک در کشور ایران

اگر بخواهیم که نیروگاه‌های خورشیدی در ایران را بررسی نماییم می‌توانیم به ۹ مورد در جدول زیر اشاره نماییم که هر کدام با مقدار مشخص توان تولید راه‌اندازی و به بهره برداری رسیده است. قابل مشاهده است که استان سمنان با توان تولیدی فراوان از انرژی خدادادی خورشید تاکنون پروژه بزرگی را احداث و راه‌اندازی ننموده است، که این پژوهش قصد امکان‌سنجی چنین طرحی را ایجاد خواهد نمود.

جدول ۲-۴ اطلاعات نیروگاه‌های فتوولتائیک ایران [۳۲]

ردیف	نام نیروگاه	مساحت	ظرفیت تولید	مکان	سال تاسیس
۱	نیروگاه فتوولتائیک اراک	۲ هکتار	۱ مگاوات	اراک	۱۳۹۵
۲	نیروگاه فتوولتائیک الهیه	۱ هکتار	۴۳ کیلووات	مشهد	۱۳۹۰
۳	نیروگاه فتوولتائیک مکران	۲۸ هکتار	۲۰ مگاوات	کرمان	۱۳۹۶

ردیف	نام نیروگاه	مساحت	ظرفیت تولید	مکان	سال تاسیس
۴	نیروگاه فتوولتائیک جرقویه	۲۰ هکتار	۱۰ مگاوات	اصفهان	۱۳۹۶
۵	نیروگاه فتوولتائیک تبریز	۱ هکتار	۵۰ کیلووات	آذربایجان شرقی	۱۳۹۳
۶	نیروگاه فتوولتائیک طالقان	۱ هکتار	۱۰ کیلووات	طالقان	۱۳۸۴
۷	نیروگاه فتوولتائیک بیرجند	۱ هکتار	۲۴ کیلووات	بیرجند	۱۳۹۱
۸	نیروگاه فتوولتائیک شیراز	۳۰ هکتار	۲۵۰ کیلووات	شیراز	۱۳۸۷
۹	نیروگاه فتوولتائیک یزد	۹۰۰ هکتار	۱۷ مگاوات	یزد	۱۳۸۸

۲-۸ ضرورت اجرای پروژه و ملاحظات آن

با توجه به میزان زیاد مصرف سرانه برق در کشور ایران و بالا بودن شدت مصرف انرژی و سهم بسیار اندک انرژی‌های تجدیدپذیر مانند PV در سبد تامین انرژی کشور بر آن بوده‌ایم تا با ارائه راهکاری جهت تامین انرژی برق پاک از طریق فتوولتائیک کمی از میزان آلودگی و خسارت به محیط زیست کاسته و با بهبود بخش صادرات و پیشرفت در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر کمی در این زمینه به سمت میانگین جهانی حرکت کنیم.

علاوه بر موارد فوق دیگر ملاحظات ضرورت اجرای پروژه عبارتند از:

ملاحظات اقتصادی

بدون شک مهمترین دلایل توجیه یک طرح بر ملاحظات اقتصادی آن استوار است. کسب سهمی مناسب از بازار داخلی و یا خارجی، گسترش بازار هدف و برخورداری از شاخص‌های مناسب مالی و اقتصادی، از مهمترین اهداف یک بنگاه اقتصادی برای ایجاد و یا توسعه یک طرح صنعتی می‌باشد و در کنار این موارد، از جنبه‌های ملی و کلان اقتصادی نیز باید ویژگی‌های طرح مورد بررسی قرار گیرد.

ملاحظات سیاسی

ملاحظات سیاسی چه در ابعاد ملی و چه در ابعاد بین المللی می‌تواند ضرورت اجرای یک پروژه را توجیه نماید. خروج از وابستگی به خارج از کشور و تولید داخلی در زمینه انرژی‌های پاک قطعا قدمی مهم و از موارد قابل بررسی خواهد بود همچنین با تحریم‌های روز به روز جهانی علیه ایران نیاز به دسترسی به انواع جدید

انرژی‌های پاک و خودکفایی در این زمینه لازم خواهد بود.

ملاحظات اجتماعی و فرهنگی

بررسی تاثیر اجرای پروژه بر شاخص‌های اجتماعی و فرهنگی در سطح ملی و منطقه‌ای نظیر بیکاری، مهاجرت نیروی کار، اثرات فرهنگی و ... اهمیت قابل توجه‌ای دارد. با اجرای چنین طرح‌هایی در یک منطقه قطعا قشر تحصیل کرده جامعه از مهندسین اجرایی تا بازاریاب‌ها و نیروهای خدماتی درگیر چنین پروژه‌هایی خواهند شد و سطح قابل توجه‌ای از بیکاری به صورت مستقیم و غیرمستقیم در محل اجرای پروژه کاسته خواهد شد.

ملاحظات امنیت تامین انرژی و تقاضای بازار

در مورد طرح‌هایی که بازار هدف، بازار صادراتی باشد و همچنین در مورد طرح‌هایی که محصول مورد بررسی رقیب وارداتی (محصول خارجی) دارد، بررسی بازار جهانی و منطقه‌ای ضروری می‌باشد. به طوری که در این بخش تحلیل‌های مربوط به وضعیت تجارت جهانی و منطقه‌ای و بازارهای هدف و همچنین مزیت‌های رقابتی محصول مورد بررسی در رقابت با محصولات مشابه وارداتی ارائه می‌شود.

۲-۹ پیشینه پژوهش

در زمینه سیستم‌های فتوولتائیک پژوهش‌ها و نوآوری‌های بسیاری انجام یافته است و این تحقیقات کماکان ادامه می‌یابد. از میان این پژوهش‌ها می‌توان به استفاده از پیکربندی‌های متفاوت سیستم PV، استفاده از تکنولوژی‌های جدید در سیستم و استفاده از الگوهای مدیریت و بهینه سیستم اشاره نمود. با این وجود پژوهش در زمینه ارزیابی اقتصادی راه‌اندازی و ساخت نیروگاه‌های PV در ایران مورد مطالعه اساسی قرار نگرفته است و اطلاعات اندکی در این زمینه تحقیقاتی در دسترس است. اکثریت کارهای انجام شده در مطالعات خارجی نیز در سطح یک منزل مسکونی و یا یک بنگاه انجام شده است. در ادامه تعدادی از پژوهش‌های مرتبط با موضوع تحقیق در سال‌های اخیر با رعایت ترتیب سال به اختصار آورده شده است.

۲-۹-۱ مطالعات خارجی

اندرو میلز[1] و همکاران در سال ۲۰۰۸ به بررسی سیستم‌های فتوولتائیک در سطح خرده فروشی کالیفرنیا برای مصارف خانگی و تجاری پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این خرده فروشی‌ها به افزایش تولید برق در یک منطقه کمک می‌کند و موجب کاهش قیمت سیستم‌هایی همچون PV خواهد شد، آن‌ها همچنین به این نتایج دست یافتند که اگرچه این تحقیق در کالیفرنیا انجام گرفته است ولی این خرده فروشی‌های مولد برق موجب جذب سرمایه‌گذار داخلی و خارجی در یک منطقه خواهد شد [۳۳].

مارتین براون[2] و همکاران در سال ۲۰۰۹ به بررسی قوانین حاکم دولت آلمان در زمینه سیستم‌های فتوولتائیک پرداخته و بدین صورت است که تعرفه خاصی برای راه‌اندازی سیستم‌های PV در نظر گرفته می‌شود و کسانی که از این سیستم تولید برق خواهند کرد برای ذخیره‌سازی الکتریسیته نیز در خرید باتری‌های لیتیومی یارانه‌ای پرداخت کرده و هزینه‌ها را برای مصرف کننده کاهش می‌دهد. این بررسی‌ها نشان داد که با افزایش کمک و راه‌اندازی این سیستم‌ها و باتری‌های ذخیره سازی برای شهروندان موجب افزایش استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک در سطح کشور شده است که همین عوامل کشور آلمان را جزو ۵ کشور برتر استفاده کننده از سیستم‌های فتوولتائیک کرده است [۳۴].

فورکان دینسر[3] در سال ۲۰۰۹ به بررسی تحقیقاتی در زمینه فتوولتائیک پرداخته و بیان کرده است که اکثر کشورهای جهان در حال برگزاری جلسات و نشست‌هایی برای عرضه انرژی و تقاضای انرژی هستند و همین امر موجب شده که کشورها روی به فناوری‌های تولید برق با انرژی‌های تجدیدپذیر بیاورند. وی در ادامه بیان می‌کند PV که اصلی‌ترین و پاک‌ترین سیستم تولید الکتریسیته در بین انرژی‌های تجدیدپذیر است سهم مهمی را در آینده خواهد داشت و جهان به این سو حرکت خواهد کرد [۳۵].

سانچز رینوسو[4] و همکاران در سال ۲۰۱۴ به تجزیه و تحلیل سود و هزینه یک نیروگاه فتوولتائیک پرداخته

[1] Andrew Mills
[2] Martin Braun
[3] Furkan Dincer
[4] Sanchez Reinoso

اند، آن‌ها در شهر سانتافه آرژانتین هزینه‌ها و چارچوب قانونی را برای یک نیروگاه PV بررسی و امکان‌سنجی کردند و نتایج، امکان ساخت یک نیروگاه برقی PV را نشان داد. با این حال مشکلی در تامین هزینه‌ها داشتند که باید در قوانین دولتی شرایطی فراهم می‌شد تا این طرح اجرا شود [۳۶].

آرمانديا‌ز لوپز[1] و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی این نکته پرداختند که استفاده مناسب از فن آوری‌های فتوولتائیک اساسا مبتنی بر شناسایی منابع خورشیدی موجود در محل نصب و تقاضای انرژی است، و بهترین محل از نظر آب و هوای خشک در کشور مکزیک را شهر مکزیکالی که آب و هوای خشک و گرم دارد را برگزیدند که با تامین هزینه‌های نصب توسط دولت فدرال مکزیک، دوره بازگشت سرمایه ۱۳ سال محاسبه شد. همچنین نتایج نشان داد که اگر از فناوری نوین PV در ساختمان‌های تجاری استفاده شود سرمایه‌گذاری بسیار مفیدی خواهد بود [۳۷].

توسییوشی سیوشی[2] و میکا گوتو[3] در تحقیقی در سال ۲۰۱۷ راجع به اندازه گیری بازده نسبت به مقیاس در پایگاه‌های بزرگ فتوولتائیک ، نشان دهنده این بود با بررسی دو کشور آلمان و آمریکا این بازدهی نسبت به مقیاس برای کشور آلمان مناسب بوده و قابلیت اجرای مناسب‌تری نسبت به کشور آمریکا دارد البته این بازدهی برای کشور آمریکا هم مناسب بوده و تا افزایش ۸۰ درصدی کاربرد دارد [۳۸].

گابریل ناستاسی[4] و همکاران در سال ۲۰۱۷ به بررسی صنعت فتوولتائیک در کشور رومانی پرداختند، آن‌ها بیان نمودند که خورشید منبع انرژی اولیه برای تمام زندگی در زمین است. انرژی خورشیدی پاک است و در سراسر جهان در دسترس است. کل انرژی تولید شده در سال ۲۰۱۶ در تمامی کشورهای جهان ۷۲۳۶ مگاوات ساعت بود و میزان مصرف کل ۶۶۶۰ مگاوات ساعت بود. متوسط تولید انرژی فتوولتائیک ۲۵۵ مگاوات ساعت از این حجم انبوه انرژی بوده که این رقم ۳.۵ درصد از کل تولید انرژی در جهان و ۸.۲ درصد انرژی‌های تجدیدپذیر (۳۰۹۶ مگاوات ساعت) را شامل می‌شود. سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور رومانی

[1] Armendariz Lopez
[2] Toshiyuki Sueyoshi
[3] Mika Goto
[4] Gabriel Nastase

از اواخر سال ۲۰۰۸ شروع شد، آن‌ها از سال ۲۰۱۲ به بعد که صنعت فتوولتائیک رو به توسعه گذاشت به بررسی پرداختند. آن‌ها دریافتند که صنعت PV نقش مهمی در توسعه کشور رومانی دارد و با داشتن مزیت‌های نامحدود موجب رشد کشور خواهد شد. در حال حاضر بزرگترین پایگاه فتوولتائیک رومانی با ظرفیت تولید ۸۲ مگاوات برق در زمینی به مساحت ۲۰۰ هکتار در شهر براشو بنا شده است [۳۹].

آگمار فریرا[1] و همکاران در سال ۲۰۱۸ در تحقیقی به ارزیابی اقتصادی استفاده و تولید انرژی خورشیدی فتوولتائیک در کشور برزیل پرداختند و نتایجی که بدست آورده‌اند به این گونه بوده است که تمامی کشورهای دنیا برای پیدا کردن جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی به دنبال راه چاره هستند که فناوری فتوولتائیک یکی از بهترین سیستم‌های تولید برق با انرژی پاک به شمار می‌رود، کشورهایی مانند آلمان و سایر کشورهای اروپایی مکانیسم‌های قانونی و حمایتی خاصی را برای تشویق استفاده از PV از طریق برنامه‌های دولتی یا از طریق انگیزه‌های مالی و یا مالیاتی توسعه داده‌اند. در برزیل، با وجود پتانسیل بزرگ موجود از نور خورشید، تشویق به این فن‌آوری به تازگی آغاز شده است [۴۰].

دنیل رودریگوئز اورگو[2] و لئوناردو رودریگوئز[3] در سال ۲۰۱۸ به بررسی انرژی فتوولتائیک در کشور کلمبیا پرداختند و وضعیت فعلی، موجودی، سیاست‌ها و چشم اندازهای آینده فناوری PV را بررسی کرده‌اند. همچنین با تصویب قانون ملی توسعه و گسترش فناوری فتوولتائیک به رشد این صنعت توسط دولت کمک شده، با بررسی‌های انجام شده این نتایج حاصل شد که کشور کلمبیا با ۴/۵ کیلو وات ساعت تولید سرانه برق از فناوری PV در مقابل میانگین جهانی ۳/۹ کیلو وات ساعت تولید برق دارای رشدی بالاتر از حد جهانی در این صنعت می‌باشد. همچنین با بررسی هزینه‌ها در بخش راه‌اندازی و توسعه بخش‌های فتوولتائیک راه کارهایی برای دولت اندیشیده شده است [۴۱].

گوکسین کاولاک[4] و همکاران در سال ۲۰۱۸ در بررسی و ارزیابی هزینه‌های یک پنل فتوولتائیک به این

[1] Agmar Ferreira
[2] Daniella Rodríguez Urrego
[3] Leonardo Rodríguez Urrego
[4] Goksin Kavlak

نتایج رسیده‌اند با پیشرفت تکنولوژی در طی ۴۰ سال گذشته روز به روز از هزینه تمام شده راه‌اندازی یک پنل فتوولتائیک کاسته شده و این کاهش هزینه همچنان روندی رو به بهبود خواهد بود. سپس سهم هر متغیری را در این روند کاهشی پنل‌های PV بررسی نمودند تا سهم هر قسمت مشخص شود، این نتایج نشان داد از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ هزینه‌ها کاهش ۲۵ درصدی داشته است. به همین دلایل پیشنهاد شد که دولت‌ها باید با تحریک بخش سرمایه‌ای و فراهم کردن زیرساخت‌ها عامل افزایش استفاده از این فناوری در کشورها باشند [۴۲].

فرناندو چیاچیو[1] و همکاران در سال ۲۰۱۸ در طی تحقیقاتی در ایتالیا نیروگاه‌های فتوولتائیک نصب شده در سطح کوچکتر در کشور ایتالیا را مورد تحقیق و بررسی قرار دادند که با در نظر گرفتن عواملی چون قیمت باتری‌ها و ذخیره سازی برای مصرف شبانه این نتایج حاصل شد که با خرید یک باتری لیتیومی ذخیره کننده می‌توان بدون دغدغه از این سیستم‌ها استفاده نمود ولی در غیر این صورت با مشکلاتی مواجه خواهند شد [۴۳].

یو لی[2] و همکاران در سال ۲۰۱۹ تحقیقی راجع به راه‌اندازی و استفاده از پایگاه فتوولتائیک در آفریقا و مقایسه آن با چین پرداختند. آن‌ها در ابتدا به ضرورت شرایط زیست محیطی و مبارزه با آلودگی جهانی به توسعه انرژی خورشیدی روی آوردند و با بیان این نکته که آفریقا وسعت خیلی زیادی در زمینه توسعه انرژی خورشیدی و شرایط استفاده از آن دارد، اضافه نمودند که این سیستم تولید انرژی کم کربن و باعث ایجاد توسعه و رشد اقتصادی در این کشورها خواهد شد. با استفاده از این تجزیه و تحلیل‌ها نقاط قوت و ضعف داخلی، و فرصت‌های خارجی و تهدیدات توسعه انرژی خورشیدی در آفریقا مورد بررسی قرار گرفت. این تجزیه و تحلیل به ویژه بر فرصت‌های جدیدی برای کشورهای آفریقایی برای توسعه منابع انرژی خورشیدی خود از طریق همکاری متقابل بین آفریقا و چین در چارچوب ابتکار کمربند و جاده (BRI) تأکید می‌کند [۴۴].

[1] Ferdinando Chiacchio
[2] Yu Lei

جیا لی[1] و همکاران در در سال ۲۰۱۹ میلادی در تحقیقی به فن‌آوری‌های ذخیره سازی انرژی خورشیدی فتوولتائیک برای ساختمان‌ها پرداخته اند، آنها در ابتدا با در نظر گرفتن جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی با اشاره به فتوولتائیک بیان نموده‌اند که این سیستم بر مصرف انرژی در ساختمان‌ها اثر خواهد گذاشت. آن‌ها فتوولتائیک را یک روش تولید برق بدون نوسانات هزینه معرفی نمودند و با معرفی روش ذخیره سازی هیبریدی به روشی برای ذخیره سازی این انرژی پاک پرداختند. آن‌ها بیان نمودند که پیشرفت تحقیق در زمینه فن آوری‌های ذخیره انرژی الکتریکی مجتمع فتوولتائیک، با انواع ذخیره سازی مکانیکی، الکتروشیمیایی و الکتریکی دسته بندی می‌شود و سپس با توجه به عملکرد فنی، اقتصادی و محیطی تجزیه و تحلیل می‌شوند. در نتیجه مشخص شد که باتری‌های لیتیوم یون هیبریدی فشرده، چشم انداز دلخواه را در ذخیره انرژی فتوولتائیک برای تامین منبع برق به ساختمان‌ها نشان می‌دهند [۴۵].

سباستین سیمی[2] و همکاران در سال ۲۰۱۹ به تجزیه و تحلیل عملکرد سیستم‌های فتوولتائیک در اسلوونی پرداخته‌اند و با بررسی‌ها انجام شده نتایج را با سایر نقاط جهان مورد مقایسه قرار دادند، نتایج در این مقاله نشان می‌دهد که عملکرد سیستم‌های فتوولتائیک در درجه اول به زاویه مناسب و زاویه‌ای از ماژول‌های فتوولتائیک، سایه‌ها و مانع برف بستگی دارد. تجزیه و تحلیل داده‌های عملیاتی برای ۳۳۲۶ سیستم پنل فتوولتائیک، نصب شده بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸ با حداکثر توان اوج حدود ۲۵۸ مگاوات انجام شد. میانگین مقادیر سالانه عملکرد نهایی، نسبت عملکرد و فاکتور استفاده ۱۰۳۸ کیلووات بر ساعت، ۶۸.۸۴٪ و ۱۱.۸۵٪ به ترتیب برای سیستم‌های فتوولتائیک در اسلوونی است [۴۶].

تالاورا[3] و همکاران در سال ۲۰۱۹ طی تحقیقی در زمینه ارزیابی هزینه رقابت و سودآوری در پنج پایگاه مختلف با بررسی این مورد که راه حل‌هایی که سودآوری و هزینه رقابت پروژه‌های فتوولتائیک را به حداکثر می‌رسانند هنوز لازم است، بنابراین ضروری است که استراتژی‌های بهینه سازی را با توجه به پارامترهای فنی،

[1] Jia Liu
[2] Sebastian Seme
[3] Talavera

اقتصادی و مالی و نیز تعرفه‌های برق به عنوان یک متغیر استراتژیک در تجزیه و تحلیل تعریف کنیم [۴۷].

۲-۹-۲ مطالعات داخلی

احمد زاهدی[1] در سال ۲۰۰۵ تحقیقاتی در زمینه استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک برای مصارف خانگی انجام داده است و بیان نموده که با توجه به افزایش روز افزون آلودگی‌های محیط زیستی به علت استفاده از سوخت‌های فسیلی احتیاج به یک نوع انرژی پاک و بدون آلاینده بسیار احساس خواهد شد او با معرفی فناوری PV و تولید برق بیان می‌کند که این سیستم یک سیستم پاک و بدون آلایندگی و تجدیدپذیر بوده که می‌توان از آن روی سقف منازل مسکونی و یا دیوار ساختمان‌های تجاری بزرگ نصب و استفاده شود. همچنین او بیان می‌نماید که بزودی جذابیت استفاده از این فناوری در جهان رو به افزایش خواهد رفت و همگان به استفاده از آن روی خواهند آورد [۴۸].

سیامک جمالی و همکاران در سال ۲۰۱۹ ارزیابی حرارتی و اقتصادی سیستم‌های فتوولتائیک را در اقلیم‌های مختلف انجام داده‌اند این گروه به بررسی نوعی دودکش خنک کننده سیستم‌های فتوولتائیک در پنج شهر ایران پرداختند که بیشترین بازدهی در شهرهای شیراز و تبریز با میانگین ۰.۳ و ۰.۵ مشاهده شد [۴۹].

سجاد محمودی و همکاران در سال ۲۰۱۹ در کشور استرالیا به بررسی زباله‌های ایجاد شده از سیستم‌های فتوولتائیک می‌پردازند. با توجه به این که پنل‌های فتوولتائیک و نیروگاه‌های آن در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ در استرالیا نصب شده است پیش بینی می‌شود که در سال‌های ۲۰۳۰ به بعد حدودا ۸۰۰ میلیون تن زباله تولید میشود که شیشه، آلومینیوم، مس و استیل است. که با راه کارهای بهینه در این زمینه می‌توان عایدی زیادی را تامین نمود که در کاهش هزینه‌های اقتصادی قابل توجه خواهد بود. آنها تخمین زدند که با بازیابی این زباله‌ها حدود ۱.۲ میلیارد دلار ارزش اقتصادی خواهد داشت [۵۰].

علی نژاد و همکاران در سال ۱۳۹۴ با تحقیقاتی در زمینه محاسبه هزینه انرژی برای یک منزل مسکونی با سیستم فتوولتائیک به این نتیجه رسیدند که با در نظر گرفتن مولفه‌های اصلی هزینه شامل هزینه پنل‌های

[1] Ahmad Zahedi

خورشیدی فتوولتائیک، نرخ سود بانکی، هزینه باتری، و قابلیت نگه داری شارژ در آن نقش اساسی در تعیین هزینه‌ها ایفا می‌کند. همچنین این تحقیق بیان نمود که باتری مهم‌ترین و اصلی‌ترین نقش را در هزینه‌های یک طرح فتوولتائیک دارد و لذا به صرفه بودن و یا نبودن از دید اقتصادی به طور قابل توجه‌ای به داشتن و یا نداشتن آن سیستم به باتری بستگی دارد [۵۱].

ایلدر آبادی و همکاران در سال ۱۳۹۴ در تحقیقی موردی در شهرستان مازندران و برای استفاده از سیستم PV در نمای یک ساختمان به این نتایج رسیدند که اگر بعد از نصب این سیستم ساکنین آن از این سیستم استفاده نکنند و برق تولیدی آن را به فروش برسانند بعد از مدت زمان ۵ سال سرمایه انجام شده بازگشت داده خواهد شد و این سیستم بعد از پنج سال هزینه‌های اقتصادی خودش را جبران می‌کند و از آن به بعد سالیانه ۲ میلیون و ۴۰۰ هزار تومان عایدی برای ساکنین خواهد داشت [۵۲].

اصغرپور حسن کیاده و همکاران در سال ۱۳۹۵ شمسی در طی تحقیقی در شهر پر جمعیت تهران با آلودگی بسیار بالا موضوع امکان‌سنجی آرایه‌های فتوولتائیک برای یک منزل مسکونی را بررسی نمودند که در این تحقیق با در نظر گرفتن موارد اقتصادی به این نتایج رسیدند که با نصب ۶ متری آرایه‌های PV برای یک منزل مسکونی ۷۰ متری بدون استفاده از باتری و متصل به شبکه برق میتوان سالیانه به طور متوسط ۲۷۷ دلار در هزینه‌های برق خانوار صرفه‌جویی نمود و با استفاده از این طرح میزان ۴۵۶۱۷۷ متر مکعب سوخت فسیلی صرفه‌جویی خواهد شد؛ ضمنا با در نظر گرفتن شرایط آلودگی و محیط زیستی پایتخت این طرح را بسیار ویژه مورد تایید قرار داده‌اند [۵۳].

صالحی و کامیاب در سال ۱۳۹۵ تحقیقاتی در زمینه یافتن مکان مناسب برای ساخت پایگاه فتوولتائیک با استفاده از نرم‌افزار PVsyst پرداختند و با اسفاده از نتایج بدست آمده میزان تولید و تلفات سالیانه این پایگاه را تخمین زدند که برای یک سال میزان ۲۱۶ مگاوات برق تولید و تخمین زده شد [۲۰].

همدانی و ساداتی در سال ۱۳۹۵ با تحقیقاتی در زمینه مقایسه قیمت‌ها و هزینه‌های تمام شده انواع باتری و پنل‌های فتوولتائیک به این نتایج رسیدند که با توجه به کاهش چشم گیر سالیانه بهای تمام شده قیمت

سیستم‌های فتوولتائیک استفاده و نصب نوع خاصی از این اینورترها و باتری‌ها به صرفه تر از دیگر موارد بوده و با بررسی موارد خاصی در این زمینه بیانگراین موضوع شدند که با استفاده از این نوع سیستم‌ها و باتری‌ها هم بازدهی و کارایی کل سیستم بالاتر خواهد رفت و هم بهای تمام شده هزینه‌ها برای سرمایه‌گذار کاهش یافته و همین امر موجب سرمایه‌گذاری بیشتر در زمینه سیستم‌های فتوولتائیک خواهد شد [۵۴].

نظر زاده لزرجانی و همکاران در سال ۱۳۹۵ در تحقیقاتی در یکی از روستاهای استان گیلان پروژه‌ای را بررسی و راه‌اندازی کرده‌اند که با نزدیک‌ترین مرکز شبکه برق شهری ۲۰ کیلومتر فاصله داشته است، در این پروژه با ایجاد شبکه تولید برق فتوولتائیک در این روستا شاهد کاهش هزینه‌های تولید و مصرف برق تا ۸۹ درصد بوده‌اند و این رقم بسیار بزرگ کاهش در هزینه‌ها هر ارگانی را تشویق به تولید برق با انرژی پاک خواهد کرد [۵۵].

فرجی مرجانلو در سال ۱۳۹۵ در تحقیقی در زمینه موارد عدم پذیرش سیستم‌های PV در منازل و ساختمان‌ها چند مورد را بیان و بررسی نمود که اصلی‌ترین آن‌ها عدم سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در این بخش است، به نظر وی امروزه دلایل گوناگونی مثل بحران انرژی، کشورهای جهان را بر آن داشته که با مسائل مربوط به انرژی، برخوردی متفاوت داشته باشند و از انرژی‌های تجدیدپذیر بجای فسیلی استفاده نمایند. ولی متاسفانه دلایل متعددی مثل عدم سرمایه‌گذاری هر چه بیشتر در این صنعت می‌تواند بر عدم گسترش بیشتر این نوع انرژی با توجه به پتانسیلی که کشور ایران دارد اثرگذار بوده است. در این مطالعه ۴ مولفه کارایی، سهولت استفاده، سودمندی و قابلیت اطمینان به عنوان عوامل موثر بر پذیرش تکنولوژی فتوولتائیک مورد بررسی قرار گرفت که در آن سودمندی بیشترین عامل اثر گذار بوده است [۵۶].

زارع و قائدی در سال ۱۳۹۵ در پروژه‌ای تحقیقاتی در زمینه PV به این نتایج رسیدند که امروزه سیستم‌های فتوولتائیک فراوانی وجود دارد که با توجه به کاربردهای آن‌ها از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشند و از نظر بهره برداری و از نظر هزینه سرویس و نگهداری، توجیه پذیر می‌باشند. آن‌ها همچنین بیان نمودند که طراحی این سیستم‌ها بسیار ساده است و نگهداری از آن‌ها کار دشواری نیست و همچنین نیازی به جابجایی

قطعات نیست و در نتیجه وقتی حرکتی وجود نداشته باشد استهلاکی نیز وجود نخواهد داشت [۵۷].

شیوا گرجیان و همکاران در سال ۲۰۱۹ در بررسی سیستم‌های تولید برق فتوولتائیک در ایران و بررسی توسعه، سیاست‌ها، و موانع به این نتایج دست یافته‌اند که کشور ایران با اینکه ۱۰ درصد از ذخایر نفت جهان و ۱۵ درصد از منابع گاز جهان را داراست، مصرف انرژی در ایران ۴.۴ برابر مصرف جهانی است و در بین ۱۰ کشور بالای جدول تولید کننده‌های گازهای گلخانه‌ای است. طبق معاهده پاریس ایران موظف شده است که تا سال ۲۰۳۰ تولید گازهای گلخانه‌ای خود را بین ۴ تا ۱۲ درصد کاهش دهد. ایران با دارا بودن مناطق عظیمی از نور خورشید و مناطق خورشید خیز پتانسیل تولید انرژی با پنل‌های فتوولتائیک را داراست ولی همچنان تامین مالی پروژه‌های فتوولتائیک عامل اصلی عدم پیشرفت در این زمینه است [۵۸].

جدول ۲-۵ خلاصه مطالعات پژوهش

ردیف	نام پژوهشگر	پژوهش	نوع ارزیابی و روش‌ها	نتایج
۱	احمد زاهدی (۱۳۸۴)	انرژی خورشیدی فتوولتائیک؛ آخرین تحولات در ساختمان سیستم‌های یکپارچه و هیبریدی	بررسی قیمت سیستم، پیش بینی آینده فتوولتائیک،	جلوگیری از آلودگی محیط زیستی جذابیت روز افزون و روند رو به رشد نصب پنل‌ها در جهان
۲	اندرو میلز، رایان ویسر، گالن باربوس، ویلیام گالاو (۲۰۰۸)	تاثیر ساختارهای خرده فروشی بر اقتصاد سیستم‌های تجاری فتوولتائیک در کالیفرنیا	محاسبه متوسط هزینه برق، محاسبه وزن تقاضای متوسط، توزیع قیمت، تقاضا	افزایش فروش در سطح خرده فروشی به افزایش سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی خواهد انجامید
۳	مارتین براون، کاترین بونبندر، دیرک مگنور، آندرس جیسون (۲۰۰۹)	مصرف خانگی فتوولتائیک آلمان: بااستفاده از باتری یون لیتیوم برای افزایش انرژی فتوولتائیک مصرف شده.	محاسیه درآمدها و هزینه‌ها، محاسبه IRR	با حمایت و دادن یارانه برای خرید باتری‌های لیتیومی سرمایه‌گذاری و نصب سیستم افزایش یافته و کشور آلمان جزو ۵ کشور برتر شد.
۴	فورکان دینسر (۲۰۰۹)	تجزیه و تحلیل وضعیت تولید برق فتوولتائیک، پتانسیل و سیاست کشورهای پیشرو در انرژی خورشیدی	بررسی هزینه‌های فتوولتائیک در کشورهای مختلف اروپایی و آمریکایی و آسیایی	با افزایش مبادلات برق بین کشورهای جهان احتیاج به یک منبع تجدیدپذیر احساس شد و حرکت جهان به سمت فتوولتائیک است
۵	سانچز رینوسو، دی پاولا، بویتراگو (۲۰۱۴)	تجزیه و تحلیل هزینه-سود یک نیروگاه فتوولتائیک	محاسبه هزینه راه‌اندازی‌ها، محاسبه هزینه‌ها و سودهای طرح	طرح کاملا در هزینه-سود اقتصادی بصرفه و تنها مشکل فراهم کردن سرمایه اولیه بود که دولت پیشنهاد شد.
۶	آرمانداياز لوپز، لونا لئون، گونزالز ترویسو، آذنا گراناتوس (۲۰۱۵)	هزینه چرخه زندگی فن آوری‌های فتوولتائیک در ساختمان‌های تجاری در باخا کالیفرنیا، مکزیک	امکان‌سنجی و بازگشت سرمایه، محاسبه NPV، جریان نقدی خالص	بازگشت سرمایه ۱۳ ساله در مکزیک و بصرفه در ساختمان‌های تجاری و آیتم مهم محل نصب است.
۷	گابریل ناستاسی، الکساندرو سربان، جورج دراگومیر، آلین لانون برزینو، ایرینا بوسور (۲۰۱۷)	توسعه فتوولتائیک در رومانی. بررسی آنچه انجام شده است	محاسبه ظرفیت نصب، مکان یابی هوایی خورشیدی، بررسی هزینه‌ها و فایده‌ها	با بررسی صنعت فتوولتائیک در کشور رومانی مشخص شد که این صنعت موجب رشد کل کشور خواهد شد.

ردیف	نام پژوهشگر	پژوهش	نوع ارزیابی و روش‌ها	نتایج
۸	آگمار فریرا، شیلا کان، کاتیا فاگنانی، تیاگو د سوزا، کامیلیا تونزر، جورج دو سانتوس، کارلوس کومبرا (۲۰۱۸)	بررسی اقتصادی استفاده و تولید انرژی خورشیدی فتوولتائیک در برزیل	بررسی قیمت‌ها در طول زمان، محاسبه هزینه‌ها برای هر شهر برزیل، بررسی نقش دولت	در برزیل اقداماتی برای افزایش تولید برق با فتوولتائیک انجام شده از جمله معافیت‌های مالیاتی و حمایتی دولت.
۹	دنیل رودریگوئز اورگو، لئوناردو رودریگوئز (۲۰۱۸)	انرژی فتوولتائیک در کلمبیا: وضعیت فعلی، موجودی، سیاستو چشم اندازهای آینده	بررسی نقش تولید کننده‌های برق کوچک فتوولتائیک در رشد کشور	با ایجاد راهکارهایی برای دولت رشد تولید برق با فناوری فتوولتائیک در کلمبیا از میزان جهانی افزایش یافته
۱۰	گوکسین کاولاک، جیمز مک نرنی، جسیکا ترنسیک (۲۰۱۸)	ارزیابی علل کاهش هزینه در ماژول فتوولتائیک	بررسی‌های اولیه در زمینه هزینه‌های پنل‌ها، بررسی هزینه سیستم فتوولتائیک	کاهش ۲۵ درصدی هزینه ساخت فتوولتائیک از دهه ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲
۱۱	توسیبوشی سیوشی، میکا گوتو (۲۰۱۸)	اندازه گیری بازده به مقیاس در نیروگاههای بزرگ فتوولتائیک	چگونگی طبقه‌بندی نوع RTS (بازگشت به مقیاس)	بازدهی نسبت مقیاس در کشور آلمان نسبت به کشور آمریکا مناسب تر است
۱۲	تالاوارا، همکاران (۲۰۱۹)	ارزیابی هزینه رقابت، سود آوری - سیستم‌های فتوولتائیک ثابت و متحرک	مقایسه محور ثابت پنل‌ها با محور متحرک پنل‌ها	پنل‌ها و پایه‌های متحرک و چند محوره مناسب تر از سیستم‌های ثابت است.
۱۳	اصغرپور حسن کیاده و همکاران (۱۳۹۵)	امکان‌سنجی استفاده از آرایه‌های فتوولتائیک درآپارتمان‌های مسکونی شهر تهران بارویکرد اقتصادی	محاسبه درآمدها و هزینه‌ها	صرفه‌جویی سالانه هزینه‌ها، کاهش آلودگی محیط زیستی، صرفه‌جویی در مصرف نفت و گاز و نرخ بازدهی مناسب
۱۴	صالحی و کامیاب (۱۳۹۵)	بررسی احداث نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه در شهر گناباد و مقایسه با خارج	استفاده از نرم‌افزار PVsyst در پژوهش امکان‌سنجی	میزان تولید و تلفات سالیانه انرژی فتوولتائیک
۱۵	همدانی و ساداتی (۱۳۹۵)	بررسی و شناخت فنی انواع تکنولوژی مبدل‌های فتوولتائیک	مقایسه قیمت‌ها و هزینه‌های تمام شده انواع باتری	کاهش چشمگیر هزینه تمام شده فتوولتائیک در طول سال، نوع خاصی اینورتر و باتری به صرفه تر است.
۱۶	نظرزاده لزرجانی و همکاران (۱۳۹۵)	مدیریت هزینه تأمین برق منطقه، با استفاده از سیستم فتوولتائیک بصورت ISLAND	امکان‌سنجی و بررسی صرفه اقتصادی در روستای اطراف گیلان	صرفه‌جویی ۸۹ درصدی در هزینه‌ها
۱۷	فرجی مرجانلو (۱۳۹۵)	عوامل موثر بر پذیرش تکنولوژی سیستم فتوولتائیک	بررسی ظرفیت و قابلیت اطمینان اجرای طرح در شهر تبریز	به ترتیب سودمندی، قابلیت اطمینان، کارایی و سهولت بالاترین نمره را برای اجرای طرح کسب نمودند
۱۸	زارع و قائدی (۱۳۹۵)	ارزیابی انواع مختلف نیروگاه‌های فتوولتائیک از نقطه نظر قابلیت اطمینان	بررسی قابلیت اطمینان استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک	زمانی که جابجای‌ای صورت نگیرد اصطحلاکی نیز وجود نخواهد داشت و از نظر اقتصادی توجیه پذیر است
۱۹	علی نژاد و همکاران (۱۳۹۴)	محاسبات هزینه انرژی برای یک سیستم فتوولتائیک خورشیدی خانگی	بررسی سود بانکی و نوع هزینه‌های باتری‌ها و شارژ آنها	نتایج به این صورت بود که نقش باتری‌ها در هزینه‌ها از تمامی قطعات پر رنگ تر می‌باشد
۲۰	ایلدر آبادی و همکاران (۱۳۹۴)	ارزیابی اقتصادی سیستم فتوولتائیک در نمای ساختمان در مازندران	بررسی بازگشت سرمایه در سیستم متصل به شبکه و منفرد	بعد از گذشت ۵/۳ سال اجرای این طرح برای منزل مسکونی به صرفه خواهد بود

۲-۱۰ خلاصه فصل دوم

در این فصل انواع انرژی‌های تجدیدپذیر معرفی و برای هر کدام شرح مختصری داده شد. سپس با معرفی سیستم فتوولتائیک و انواع آن مزایا و معایب استفاده از این نوع منابع انرژی بیان شد. مقایسه سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک در سبد انرژی مصرفی کشور و مقایسه وضعیت مصرف سرانه انرژی و شدت مصرف انرژی در ایران با متوسط سایر کشورهای جهان نشان داد که نیاز به یک تغییر عظیم در ساختار تولید برق کشور نیاز است و خودکفایی در این قسمت را در پی خواهد داشت. در انتهای فصل مطالعات داخلی و خارجی انجام یافته در زمینه موضوع تحقیق گسترش نیروگاه‌های تولید برق فتوولتائیک ارائه شد.

فصل سوم – روش شناسی تحقیق

۳-۱ مقدمه

در این فصل با توجه به ساختار و نوع هزینه‌ها به معرفی و بحث پیرامون هر یک از متغیرهای اقتصادی و توضیح آن‌ها پرداخته خواهد شد. در ابتدا با بیان روش تحقیق و بررسی محاسبات مورد نیاز برای یک منزل مسکونی نمونه با مصرف کم برق ۱۴۲ کیلووات در ماه در شهر شاهرود پرداخته خواهد شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار تجزیه تحلیل طرح‌های اقتصادی RetScreen برای یک نیروگاه پیشنهاد شبیه سازی انجام خواهد شد و با توضیح و بررسی متغیرهایی چون تورم، نرخ بهره، نرخ ارز، مقیاس تولید، نوع واحد تولیدی، هزینه‌های ثابت و متغیر، نحوه انتخاب محل طرح و شرایط آب‌وهوایی، تجزیه و تحلیل ریسک پروژه و در انتها بررسی نرم‌افزارهای قابل استفاده در این پروژه و انتخاب برترین آن و نتیجه‌گیری ادامه داده خواهد شد. با توجه به انواع روش‌های ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها، در این قسمت ابتدا انواع روش‌های محاسباتی را توضیح داده و در انتها یکی را به عنوان روش اصلی و بهتر برای این پایان‌نامه انتخاب خواهد شد. نرم‌افزار مورد استفاده در این پژوهش RetScreen می‌باشد که با توجه به قابلیت‌های ویژه آن در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر و تخصص در زمینه فتوولتائیک قابلیت‌ها و ویژگی‌های آن بیان خواهد شد. در ابتدا با شبیه سازی یک منزل مسکونی در شهرستان شاهرود و بدست آوردن مصرف برق آن به طراحی یک سیستم برای آن پرداخته خواهد شد و سپس برای کل شهرستان در بخش خانگی محاسبات و ارزیابی‌های لازم بررسی می‌شود.

۳-۲ روش‌های ارزیابی طرح‌های اقتصادی

برای ارزیابی پروژه‌های اقتصادی از روش‌های متنوعی استفاده می‌شود و نرم‌افزارهای گوناگونی مورد قبول می‌باشد. با توجه به اهداف این پژوهش نرم افزار RETscreen و روش هزینه همتراز سالیانه مورد استفاده قرار گرفته است.

۳-۲-۱ روش ارزش خالص حال (NPV)

برای ارزیابی یک پروژه به روش ارزش حال خالص[1] منافع آن ابتدا باید کلیه درآمدها و هزینه‌ها را به ارزش حال تبدیل کرده و از تفاضل درآمدها از هزینه‌ها ارزش حال خالص منافع را بدست آورد. اگر NPV کوچکتر از صفر باشد پروژه غیر اقتصادی است، ولی اگر NPV مثبت باشد پروژه اقتصادی بوده و به این معنی است که ارزش فعلی هزینه‌ها کوچکتر از ارزش فعلی درآمدها است همچنین نرخ تنزیل در معادله زیر برای تمام سال‌ها یکسان در نظر گرفته شده است [۵۹].

$$NPV(i,N) = \sum_{t=0}^{T} \frac{R_t}{(1+i)^t} \qquad (۱)$$

t: دوره جریان نقدی i: نرخ بهره R_t: جریان نقدی خالص در دوره t

۳-۲-۲ روش نرخ بازده داخلی (IRR)

نرخی است که در آن ارزش کنونی خالص پروژه صفر می‌باشد. به منظور محاسبه این نرخ رابطه بالا برابر با صفر قرار داده می‌شود. نرخ (عدد i) به دست آمده از حل این معادله در واقع ، نرخ بازدهی داخلی پروژه محسوب می‌گردد.

۳-۲-۳ روش هزینه همتراز شده (هزینه‌ی یکنواخت سالیانه LCOE)

در روش هزینه‌های همتراز شده، رویکرد مشابه روش ارزش فعلی استفاده می‌شود. در این روش هزینه‌ها به پرداخت سالیانه یکنواخت تبدیل می‌شوند. به بیان دیگر هزینه همتراز شده میزان ثابت عایدی‌ها به ازای فروش یک واحد محصول که می‌تواند تمام مخارج پروژه را در طول عمر خدماتی پوشش دهد.

روش نرخ بازده داخلی و روش ارزش حال تنها به بررسی سودآوری طرح‌ها و افزایش ارزش سرمایه‌گذاری اولیه می‌پردازد. این در حالی خواهد بود که از دید دولت غالبا سرمایه‌گذاری در طرح‌هایی انجام خواهد شد که هزینه تمام شده پایین‌تری داشته باشند. به عبارت دیگر برای دولت نیروگاه‌های که هزینه تمام شده تولید یک

[1] NPV

واحد انرژی الکتریکی در آن پایین تر باشد در اولویت احداث قرار می‌گیرد. در نتیجه شاخص‌هایی مثل سودآوری و ارزش خالص حال سرمایه‌گذاری، شاخص‌های بعدی برای ارزیابی محسوب می‌شود. در تشریح این موضوع می‌توان اضافه کرد که روش نرخ بازده داخلی در تحلیل‌های مالی و تصمیم‌گیری به ورود یا عدم ورود به سرمایه‌گذاری در پروژه استفاده می‌شود و در مورد هزینه تمام شده صحبتی نمی‌کند؛ به عبارتی این روش، نرخ بازگشتی را که سرمایه‌گذار حاضر به سرمایه‌گذاری در پروژه است را معین می‌کند. از آنجا که هدف از این تحقیق بدست آوردن هزینه‌ی تمام‌شده برق نیروگاه از نگاه دولت است، استفاده از روش نرخ بازده داخلی برای پرداختن به این موضوع مناسب نمی‌باشد. همچنین در مدل ارزش حال، برای مقایسه پروژه‌ها می‌بایست عمر مشترکی را برای پروژه‌ها در نظر گرفت. با توجه به تفاوت طول عمر نیروگاه فتوولتائیک با طول عمر سایر نیروگاه‌ها، ارزیابی اقتصادی طرح به روش ارزش حال و مقایسه آن با سایر نیروگاه‌ها انجام نمی‌گیرد. لذا با توجه به این شرایط، از روش هزینه‌ی همتراز شده به‌عنوان روش مورد استفاده در تحلیل اقتصادی پروژه‌های نیروگاهی استفاده شده است[1].

هزینه همتراز شده نیروگاه (هزینه یکنواخت سالیانه) از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$LCOE = C_k + \left[\sum_{i=0}^{PL} \frac{C_{O\&M}\times(1+E_{O\&M})^t}{(1+r)^t} + \sum_{i=0}^{PL} \frac{C_{Fuel}\times(1+E_{Fuel})^t}{(1+r)^t}\right] \times \frac{r(1+r)^{PL}}{(1+r)^{PL}-1} + C_{EC} \qquad (۲)$$

طبق این رابطه هزینه همتراز شده نیروگاه (LCOE) از مجموع ارزش حال همه هزینه‌های مرتبط با نیروگاه که شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری (C_k)، مجموع هزینه‌های پیش‌بینی شده و پیش‌بینی نشده عملیات و تعمیر و نگهداری نیروگاه ($\sum_{i=0}^{PL} \frac{C_{O\&M}\times(1+E_{O\&M})^t}{(1+r)^t}$)، هزینه‌های پیش‌بینی شده و پیش‌بینی نشده سوخت نیروگاه ($\sum_{i=0}^{PL} \frac{C_{Fuel}\times(1+E_{Fuel})^t}{(1+r)^t}$)، هزینه‌های اثرات خارجی (C_{EC}) می‌باشد، محاسبه می‌شود. شایان ذکر است با ضرب جمله دوم و سوم رابطه بالا در فاکتور $\frac{r(1+r)^{PL}}{(1+r)^{PL}-1}$، ارزش حال مجموع هزینه‌های عملیاتی، تعمیر و نگهداری و هزینه سوخت نیروگاه به دست می‌آید.

[1] یکی از قابلیت‌های نرم‌افزار **RetScreen** بررسی سالیانه هزینه‌ها و درآمدها و تاثیر متغیرهای مختلف بصورت سالیانه بر طرح می‌باشد. هزینه‌ها به صورت ریز و جزء به جزء است که در ابتدای پروژه و در طول طرح به عنوان هزینه متغیر اعمال خواهد شد.

اقلام چهارگانه هزینه‌های نیروگاه با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود:

۱ هزینه‌های ساخت

$$C_K = \frac{DR \times TPC(1+r)^{C_L}}{HY \times CF}$$

۲ هزینه های عملیات، تعمیر و نگهداری

$$C_{O\&M} = \frac{FOM}{HY \times CF} + VOM$$

۳ هزینه های سوخت

$$C_{Fuel} = FC \times HR$$

۴ هزینه های اثرات خارجی طرح

$$C_{EC}(e/kwh) = EF(g/Btu) \times HR(Btu/kwh) \times VED(e/g)$$

در روابط بالا C_{EC} بیانگر هزینه‌های تحمیل شده بر جامعه (هزینه‌های اثرات خارجی) توسط گازهای آلاینده همچون CO_2، SO_2 و NO_X است. فاکتور آلودگی EF میزان آلودگی‌ها در یک واحد مصرفی انرژی سوختی را نشان می‌دهد. HR نرخ حرارتی نیروگاه‌های برق بوده و VED بیانگر ارزش میزان تخریب محیط می‌باشد. EF و HR مقادیر فیزیکی بوده که قابل محاسبه می‌باشند، در حالی که VED را می‌توان با تخمین مستقیم هزینه یا کاهش هزینه‌ها یا ترکیب آن‌ها محاسبه نمود. VED پارامتر مهمی برای تحلیل قوانین تنظیم کننده می‌باشد و لیکن محاسبه آن معمولا دشوار است. هزینه اثرات خارجی در واحد برق تولید شده با استفاده از این عوامل و وارد کردن آن‌ها در فرمول LOCE به طور مستقیم محاسبه می‌گردد.

از آنجا که LCOE معیار اندازه‌گیری تولید برق در چرخه عمر نیروگاه است، لذا می‌بایست تمام هزینه‌ها را در محاسبه هزینه نهایی وارد کرد. جهت محاسبه این پارامترها به اطلاعاتی از قبیل پارامترهای عملیاتی نیروگاه، هزینه ساخت و اجرای نیروگاه، پارامترهای بازار انرژی و پارامترهای کلان اقتصادی نیاز است [۶۰]. در جدول ۳-۱ لیست متغیرها و پارامترهای مورد استفاده در محاسبه هزینه همتراز شده ارائه شده است.

جدول ۳-۱ معرفی پارامترهای استفاده شده در محاسبات و نرم افزار RetScreen

ردیف	عنوان فارسی	عنوان لاتین	علامت اختصاری	واحد اندازه‌گیری
۱	هزینه سرمایه‌گذاری	Capital Cost	C_k	ریال / kwh
۲	نرخ استهلاک	Depreciation Rate	DR	درصد
۳	کل هزینه ساخت	Total Plant Cost	TPC	ریال / kw
۴	مدت زمان ساخت نیروگاه	Construction Life	C_L	سال
۵	نرخ تنزیل	Discount Rate	R	درصد
۶	تعداد ساعات دسترسی در سال	Hours Per Year	HY	ساعت
۷	ضریب ظرفیت	Capacity Factor	CF	درصد
۸	هزینه تعمیر و نگهداری	Total Operation & Maintenance Cost	$C_{O\&M}$	ریال / kwh
۹	نوسانات هزینه تعمیر و نگهداری	Escalation Rate of Operation & Maintenance Cost	$E_{O\&M}$	درصد
۱۰	هزینه ثابت تعمیر و نگهداری	Total Fixed Operation & Maintenance Cost	FOM	ریال / kwyear
۱۱	هزینه متغیر تعمیر و نگهداری	Total Variable Operation & Maintenance Cost	VOM	ریال / kwh
۱۲	نرخ گرما	Heat Rate	HR	kwh / btu
۱۳	طول عمر نیروگاه	Plant Life	PL	سال
۱۴	هزینه سوخت نیروگاه	Fule Cost	FC	ریال / mmbtu
۱۵	نوسانات هزینه سوخت	Escalation Rate of Fuel Costs	E_{Fuel}	درصد
۱۶	هزینه اثرات خارجی	External Cost	C_{CK}	ریال / kwh
۱۷	خسارت آلاینده	Value of Enviormental Damage	VED	ریال / gr
۱۸	فاکتور آلایندگی	Emission Factor	EF	btu / gr
۱۹	هزینه هم‌تراز شده انرژی	Levelized Cost of Energy	LCOE	ریال / kwh

۳-۳ عوامل موثر در ارزیابی اقتصادی طرح

عوامل موثر زیادی در ارزیابی یک پروژه دخیل هستند. لزوما شناخت عوامل مالی مانند هزینه‌ها و درآمدهای حاصل از آن در ارزیابی اقتصادی طرح برای تامین احداث نیروگاه کافی نیست.

به دلیل اینکه شناخت عوامل جغرافیایی مانند بررسی محل تاسیس نیروگاه، مساعد بودن شرایط جوی و آب و هوای محل تاسیس نیروگاه، تعیین مقیاس تولید نیرگاه و نوع واحد تولید شده از انرژی تولیدی نیروگاه،

قبل از احداث پروژه ضروری و لازم است. لذا در ادامه به مواردی اشاره خواهد شد.

۳-۳-۱ مشخصات جغرافیایی احداث پروژه

مشخصات مکان پروژه استان سمنان، و شهرستان شاهرود خواهد بود. اطلاعات جغرافیایی محل احداث طرح در ادامه آورده خواهد شد.

شکل ۳-۱ جایگاه استان سمنان در نقشه کشور ایران

طول و عرض جغرافیایی

محل مورد نظر برای احداث این نیروگاه در شهرستان شاهرود در طول جغرافیایی ۵۴/۹۵ و عرض جغرافیایی ۳۶/۴۲ واقع شده است. در شکل ۳-۱ محل استان احداث پروژه نمایش داده شده است.

در ادامه در شکل ۳-۲ مسافت شهرهای نزدیک به محل احداث پروژه بر اساس خروجی نرم‌افزار RETscreen در شکل ۳-۳ آورده شده است. یکی از دلایل بررسی شهرهای اطراف محل احداث پروژه این مورد خواهد بود که اگر در زمان خاصی قصد انتقال برق نیروگاه را به شهرها و روستاهای اطراف انتقال داد کدام یک از استان‌ها و شهرها از نظر مسافت مساعد تر نسبت به دیگر مکان‌ها است.

شکل ۳-۲ شهرهای نزدیک به محل احداث پروژه [۶۱]

همانطور که پیداست با توجه به فاصله موجود به شهرهای اطراف، در صورت اضافه بودن بار برق مصرفی نیروگاه می‌توان آن را به ترتیب به شهرهای گرگان و آق قلا و یا گنبد و دیگر شهرها انتقال داد.

ناحیه آب‌وهوایی

شهرستان شاهرود در منطقه دورگه خشک و گرم نیمه بیابانی واقع شده است، که همین موضوع نشان از مناسب بودن اوضاع برای ایجاد یک نیروگاه فتوولتائیک بوده است.

ارتفاع از سطح زمین

ارتفاع شهرستان شاهرود نسبت به سطح دریا عددی بین ۱۳۱۰ الی ۱۳۴۵ متر است. ارتفاع از سطح دریا[1] عبارتی است که به میزان ارتفاع یک عارضه یا نقطه در خشکی یا هوا از سطح متوسط آب‌های آزاد اشاره دارد. این اصطلاح در دانش‌های جوّی، هوانوردی، ارتباطات از راه دور و در تابش‌های رادیویی برای تخمین سطح پوشش امواج مورد استفاده قرار می‌گیرد. از ویژگی‌های ارتفاع از سطح دریا می‌توان نکات زیر را بیان داشت:

[1] AMSL: above mean sea level

- هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع، ۶ درجه کاهش دما
- هر ۳۰۰ متر افزایش ارتفاع، اشعه ماوراء بنفش خورشید، ۴٪ افزایش می‌یابد

اوضاع دمای هوا

شهرستان شاهرود به دلیل اینکه در منطقه آب‌وهوایی خشکی قرار دارد از نظر درجه هوا شرایط مناسبی دارد، طبق آخرین داده‌های آب‌وهوایی شهرستان شاهرود در پایین‌ترین نقطه دمایی ۱/۱ درجه سانتی گراد را در ماه ژانویه تجربه خواهد کرد و گرم‌ترین دمای آن در ماه ژوئیه است که دمایی حدود ۲۶/۷ را تجربه خواهد کرد. دمای زمین نیز در گرم‌ترین و سردترین نقطه برای شهرستان شاهرود طبق داده‌های ناسا به ترتیب ۳۳/۱ و ۳ درجه خواهد بود.

رطوبت نسبی و میزان بارندگی

رطوبت نسبی در شهرستان شاهرود در بین ۳۲/۸ درصد و ۶۱/۲ درصد می‌باشد. و همچنین میزان بارندگی در ماه‌های مختلف متفاوت است که می‌توان به کمترین میزان بارندگی در ماه آگوست با ۹/۶۷ میلی لیتر و بیشترین میزان بارندگی در ماه نوامبر با ۴۱/۵۵ میلی لیتر اشاره نمود.

میزان اشعه تابش خورشید

در قسمتی از بدنه یا جعبه پنل‌های خورشیدی به عددی اشاره می‌شود که معرف توانی است که انتظار می‌رود یک چنین پنلی قادر به تولید آن باشد (برحسب وات) البته مشروط بر آن که تابش خورشید در هر مترمربع از محل مورد نظر، ۱۰۰۰ وات در نظر گرفته شود. این شدت تابش یعنی ۱۰۰۰ وات بر مترمربع، رقمی است که در ساعات میانی و به خصوص ظهر هنگام اواسط تابستان می‌توان به آن دست یافت. بنابراین توقع نست که با احتساب یک میانگین روزانه، به چنین رقمی رسید. با دانستن شدت تابش خورشید در مکان مورد نظر و با در نظر گرفتن میانگین روزانه آن یعنی تعداد (کیلووات ساعت‌ها بر مترمربع در روز) و با ضرب کردن این رقم در توان پنل‌های خورشیدی (برحسب وات)، می‌توان حدود انرژی دریافتی روزانه توسط پنل‌ها

را مشخص نمود. طبق آمار منتشر شده توسط ناسا که فقط ساعات اوج تابش را نشان می‌دهد شهرستان شاهرود در کمترین میزان تابش در ماه دسامبر ۲/۲۲ ساعت است و در بیشترین تابش در ماه ژوئن ۷/۴۴ ساعت است. البته در هر روز چند ساعت تابش خارج از میزان اوج هم داریم که قطعا در محاسبات لحاظ خواهد شد.

میزان سرعت باد

بدست آوردن میزان شدت باد بسیار برای یک نیروگاه فتوولتائیک اهمیت دارد لذا اگر میزان وزش باد بیشتر از نقطه معینی از قدرت شود ممکن است باعث خرابی و خسارت به سیستم شود. شهرستان شاهرود در کمترین میزان وزش باد در ماه دسامبر با سرعت ۳/۴ متر بر ثانیه و بیشترین سرعت وزش باد در ماه ژوئیه با ۶/۷ متر بر ثانیه است.

۳-۳-۲ نوع واحد تولیدی

بر مبنای اینکه انرژی تولیدی سیستم PV در چه نوع واحد و یا بخش اقتصادی مصرف خواهد شد، نوع واحد تولیدی پروژه تعیین می‌گردد. انواع واحدهای تولیدی و اقتصادی استفاده کننده از انرژی عبارتند از:

واحد تولیدی صنعتی

واحد تجاری یا سازمانی: کاربرد برق تولید شده توسط PV برای مصارف ادارات و سازمان‌ها.

واحد تولیدی بخش کشاورزی: کاربرد برق تولید شده توسط نیروگاه PV برای مصارف کشاورزی.

مسکونی: کاربرد برق تولیدی PV برای مصارف مسکونی استفاده می‌شود.

شایان ذکر است برق تولیدی سیستم PV برای مصارف بخش خانگی و مسکونی منظور خواهد شد.

۳-۳-۳ مقیاس تولید

مقیاس[1] و صرفه‌جویی ناشی از مقیاس[2] دو اصطلاح کلیدی در مدیریت و کسب و کار محسوب می‌شوند.

[1] Scale
[2] Economies of Scale

منظور از مقیاس یک کسب و کار، بزرگی و حجم یک کسب و کار است که معمولاً بر اساس شاخص‌هایی مانند تعداد محصول یا تعداد مشتریان یک کسب و کار سنجیده می‌شود: اصطلاح مقیاس معمولاً هنگام مقایسه و تعیین جایگاه یک کسب و کار در میان رقبای خود (یا در مقایسه با گذشته‌ی خودش) به‌کار می‌رود و معمولاً در تغییرات بزرگ به آن اشاره می‌شود. صرفه‌های داخلی نتیجه افزایش مقیاس تولید به دلیل بهبود بازدهی تولید و تخصیص بهینه عوامل تولید در یک بنگاه اقتصادی است. در مقابل صرفه‌های خارجی به گسترش دانش و مهارت‌ها در سطح کلان اقتصادی وابسته است [۶۲]. صرفه‌جویی ناشی از مقیاس که گاهی آن را به صورت صرفه به مقیاس هم می‌گویند و می‌نویسند، به صرفه‌جویی‌های ناشی از افزایش مقیاس یک کسب و کار اشاره دارد.

۳-۳-۴ نهاده‌های تولید

به‌طورکلی به هر چیزی که در فرآیند تولید به‌کار برده می‌شود تا محصولی تولید شود، نهاده یا عامل تولید می‌گویند. در هر یک از بخش‌های تولید، اعم از کشاورزی، صنعتی و تجاری عوامل تولید سه گانه‌ای مشترک‌اند.

عوامل تولید نیروگاه فتوولتائیک عبارتند از:

- نیروی کار: شامل نیروی کار ساده و ماهر است.
- ابزار تولید: هر چیزی که به طور مستقیم و غیرمستقیم در مسیر احداث نیروگاه PV به کار می‌رود. (زمین، پنل‌ها، تجهیزات)
- سرمایه: وجوهی است که در مسیر تولید مصرف می‌شود.

۳-۳-۵ هزینه‌های تولید

هزینه‌های مالی تولید تحت دو عنوان زیر دسته‌بندی می‌شوند:

- هزینه‌های مالی ثابت – fixed cost
- هزینه‌های مالی متغیر

۳-۳-۶ هزینه‌های امکان‌سنجی

امکان‌سنجی یا مطالعات امکان‌سنجی، ارزیابی و تجزیه و تحلیل پتانسیل یک پروژه پیشنهادی است و بر اساس تحقیقات و مطالعاتی پایه ریزی شده که روند تصمیم‌گیری را پشتیبانی کند. یک مطالعه امکان‌سنجی، ارزیابی عملی بودن یک پروژه یا سیستم پیشنهادی است. اقلام اصلی هزینه‌های امکان‌سنجی عبارتند از:

- **هزینه بررسی و خرید محل اجرای پروژه**

اولین هزینه هر پروژه قطعا برای خرید زمین مورد نظر برای احداث خواهد بود، لذا در این پروژه اگر دولت مجری و احداث کننده باشد قطعا زمین‌های فراوان و بکری برای احداث در شهرستان شاهرود دارد و اگر به شخص خصوصی واگذار شود این هزینه باید پرداخت شود. می‌توان این هزینه را بین ۴۵۰ الی ۵۵۰ میلیون ریال (مشاور املاک "دانشجو" شهرک دانشجو) برای هر هکتار برای بخش خصوصی در نظر گرفت [۶۳]. (برای انجام پروژه‌های این چنینی طرح‌های تشویقی شامل پروژه می‌شود مانند معاف از مالیات و یا زمین رایگان)

- **هزینه ارزیابی منابع**

هزینه‌هایی است که صرف ارزیابی منابع انسانی، منابع مالی و منابع اطلاعاتی می‌شود که باید به مهندسین اجرایی پرداخت شود.

- **هزینه ارزیابی زیست محیطی**

بعد از ارزیابی‌های انجام شده توسط نرم‌افزار RetScreen میزان مالی جلوگیری از خسارت به محیط زیست محاسبه خواهد شد که در صورت استفاده نکردن از سیستم PV این آلایندگی وارد محیط و خسارت به آن خواهد شد.

- **هزینه طراحی اولیه**
- **هزینه تخمین ریز مخارج**
- **هزینه مدیریت پروژه**

- **هزینه سفر و محل اسکان**

۳-۴ تجزیه و تحلیل مالی طرح

تجزیه و تحلیل مالی به پروسه ارزیابی شرکت‌ها، کسب‌وکارها یا پروژه‌ها، از نظر بودجه‌بندی و دیگر جنبه‌های مالی اطلاق می‌شود، که برای تعیین میزان شایستگی این مؤسسات برای سرمایه‌گذاری در آن‌ها انجام می‌شود. تجزیه‌وتحلیل مالی اغلب به منظور بررسی استحکام یک مؤسسه و توانایی آن در پرداخت دیون، همچنین میزان نقدشوندگی و سودآوری آن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۴-۱ شناسایی منابع تامین مالی پروژه

یکی از مهمترین ملزومات هر فعالیت اقتصادی فراهم کردن منابع مالی مورد نیاز است. قطعا شناسایی راه‌های مختلف تامین مالی و بهره‌گیری از ابزارهای مناسب مالی، مدیریت را در اتخاذ تصمیمات صحیح‌تر و کسب منابع بیشتر یاری خواهد نمود. منابع تامین مالی به دو بخش منابع مالی داخلی و منابع مالی خارجی تقسیم می‌شود. در بخش منابع داخلی، شرکت از محل سود کسب شده اقدام به تامین مالی می‌کند. یعنی به جای تقسیم سود بین سهامداران، سود را در فعالیت‌های عمدتا عملیاتی شرکت جهت کسب بازدهی بیشتر به کار می‌گیرد. در بخش منابع خارجی نیز شرکت از محل بدهی‌ها (استقراض) و انتشار سهام اقدام به تامین مالی می‌کند. سرمایه‌گذاران و اعتباردهندگان مستمراً به ارزیابی توان کسب سود می‌پردازد. قابلیت سوددهی پروژه نقش کلیدی در تامین مالی آن دارد. زیرا سرمایه‌گذاران و اعتباردهندگان مستمرا به ارزیابی توان کسب سود بنگاه‌ها می‌پردازند. سرمایه‌گذاران به دنبال شرکت‌هایی می‌گردند که احتمال افزایش ارزش سهام آنها می‌رود و میزان سوددهی آن‌ها تضمین شده باشد. اعتباردهندگان نیز تمایل دارند به شرکت‌های سودآوری وام دهند که آن‌ها توان پرداخت بدهی‌های خود را دارند. با این تفاسیر چون اجرای پروژه نیروگاه فتوولتائیک صرفه اقتصادی خواهد داشت لذا سرمایه‌گذاران و اعتباردهندگان از این طرح حمایت و سود خواهند نمود.

۳-۴-۲ عوامل موثر بر تجزیه و تحلیل مالی پروژه

عمر پروژه

با توجه به این مورد که پیشرفت‌های فراوانی در زمینه سلول‌های فتوولتائیک انجام شده به طور معمول عمر این قطعات و پروژه‌ها بالای ۲۰ سال خواهد بود. البته این مورد بستگی به شرایط دیگری همچون آلودگی هوا و یا خشک یا شرجی بودن منطقه مورد نظر و همچنین میزان بارندگی‌ها و سرویس قطعات نیز داراست. لازم به ذکر است که هر چه طول عمر پروژه بالاتر باشد سوددهی و توجیه اقتصادی آن بیشتر خواهد بود زیرا اکثریت هزینه‌های نیروگاه فتوولتائیک جزء هزینه‌های ثابت می‌باشد و در طول زمان بیشتر درآمد طرح نیز بالاتر خواهد رفت در این طرح طول عمر پروژه ۲۵ سال در نظر گرفته شده است.

نرخ بهره

نرخ بهره درصد پاداش پرداختی بر روی پول، برحسب پول در تاریخ معین که معمولاً یکسال بعد از تاریخ معین است، می‌باشد. نرخ بهره را می‌توان به دو نوع تقسیم بندی نمود. نرخ بهره اسمی و نرخ بهره واقعی.

ارتباط بین این دو نوع نرخ بهره که به رابطه فیشر معروف است به صورت زیر است که در آن، i نشان دهنده بهره اسمی، r نشان دهنده نرخ بهره واقعی و π نشان دهنده نرخ تورم می‌باشد.

$$r = i - \pi$$

در این پژوهش وام بانکی برای پروژه تعریف نشده و نرخ بهره وارد محاسبات نشده است که در سناریویی جدا با وارد کردن نرخ بهره بانکی و پرداخت قسمتی از هزینه‌های پروژه توسط بانک به صورت وام، موجب افزایش نرخ های بازگشت سرمایه و ارزش خالص حال شده و در کل سرمایه‌گذار از این سیاست‌گذاری سود می‌برد لذا در ۴ سناریوی متفاوت چنین پارامترهایی بررسی خواهد شد.

نرخ تورم

در این پژوهش، نرخ تورم سال ۱۳۹۶ کشور که مستند به گزارش مرکز آمار ایران حدود ۱۰ درصد بوده است، مبنای محاسبه و ارزیابی طرح مورد استفاده قرار گرفته است.

نرخ ارز

نرخ ارز، قیمت پول رایج یک کشور بر حسب پول رایج کشوری دیگر است. با این که در این طرح قطعات استفاده شده در نیروگاه از تولیدی‌های داخل کشور تهیه می‌شود زیرا چرخ تولید بچرخد و اشتغال ایجاد شود با این حال برای مقایسه پژوهش با خارج از کشور طبق داده‌های ارزی حال حاضر از نرخ ارز ۱۱۴,۰۰۰ ریالی استفاده خواهد شد. البته اگر طرح برای دولت تعریف شود می‌توان از ارز دولتی ۴۲,۰۰۰ ریالی برای انجام این پروژه استفاده نمود.

۳-۵ تجزیه و تحلیل ریسک و حساسیت

آنالیز ریسک تکنیکی است که برای شناسایی و ارزیابی مؤلفه‌ها و عواملی که ممکن است موفقیت یک پروژه یا دستیابی به یک هدف را به مخاطره بکشاند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. نام دیگر این فرایند، «آنالیز حوادث پروژه» است.

بخشی از فرآیند آنالیز ریسک، تعیین و ارزیابی مجدد هزینه‌های طرح است. این هزینه‌ها عبارتند از هزینه‌های تأمین و توسعه؛ یعنی هزینه‌های عملیاتی و نگهداری و ...، هزینه‌های مستندسازی، هزینه‌های آموزشی نیروی انسانی، هزینه زیرساخت‌ها، هزینه بروزآوری، هزینه‌های جابجایی و مانند آن.

از مرسوم ترین روش بررسی ریسک در اقتصاد در این پروژه از روش انحراف معیار استفاده خواهد شد که از رابطه زیر بدست خواهد آمد.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(r_i - \bar{r})2}{n}}$$

که در آن σ ریسک، r_i بازده‌های داخلی، $\bar{r}$ میانگین بازده‌ها، و n تعداد دوره‌ها می‌باشد.

۳-۶ نرم‌افزار ارزیابی اقتصادی طرح (RETscreen)

RETscreen یکی از بهترین نرم‌افزار تجزیه و تحلیل پروژه‌ها در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر است. با کمک نرم‌افزارهای طرح توجیهی می‌توان با نمایش بصری داده‌ها و قابلیت ارائه و لینک کردن داده‌ها میزان تاثیرگذاری

عناصر کلیدی در موفقیت پروژه را تعیین کرد. در این پایان‌نامه برای انجام محاسبات اقتصادی پروژه مورد نظر از نرم‌افزار RETscreen استفاده شده است، که در ادامه به توضیحاتی در این زمینه می‌پردازیم.

نرم‌افزار مدیریت انرژی پاک که به طور خلاصه به آن RETscreen می‌گویند بسته نرم‌افزاری است که دولت کانادا طراحی کرده و در سال ۲۰۱۶ در نمایشگاه Clean Energy Ministerial در سانفرانسیسکو مورد توجه بسیار قرار گرفت. این نرم‌افزار امکان شناسایی، ارزیابی جامع و بهبود امکان‌سنجی فنی و مالی پروژه‌های بالقوه انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی و نیز سنجش و تأیید عملکرد واقعی تأسیسات و شناسایی روش‌های ممکن ذخیره/تولید انرژی را فراهم می‌سازد. البته برخلاف نسخه‌های قبلی RETScreen، در نسخه جدید این نرم‌افزار "حالت حرفه‌ای" (که امکان ذخیره، چاپ و غیره را می‌دهد) نیز موجود است که بر اساس یک آبونمان سالیانه قابل استفاده است. برخلاف RETScreen Suite، نسخه RETScreen Expert یک پلتفرم نرم‌افزاری یکپارچه است؛ در این نسخه برای ارزیابی پروژه‌ها از الگوهای دقیق و جامع استفاده می‌شود؛ و قابلیت تجزیه و تحلیل مجموعه‌ای از طرح‌ها (پورتفولیو) را نیز ممکن می‌سازد. RETScreen Expert برای کمک به کاربر، چندین پایگاه داده را که شامل بانک‌های اطلاعاتی جهانی آب و هوا از ۶,۷۰۰ ایستگاه زمینی و داده‌های ماهواره‌ای NASA و نیز بانک‌های اطلاعاتی مبنا، هزینه، پروژه، هیدرولوژی و محصول است، تلفیق کرده‌است؛ این نرم‌افزار شامل منابع آموزشی یکپارچه گسترده‌ای از جمله یک کتابچه الکترونیکی است. از فوریه ۲۰۱۸، بیش از ۵۷۵,۰۰۰ کاربر از کشورها و مناطق مختلف سراسر جهان، از نرم‌افزار RETScreen استفاده می‌کنند.

بر اساس برآورد یک مطالعه تأثیر مستقل تا سال ۲۰۱۳، استفاده از نرم‌افزار RETScreen در سراسر جهان، در صرفه‌جویی بیش از ۸ میلیارد دلار هزینه معاملات کاربران، کاهش سالانه ۲۰ MT (تن) انتشار گازهای گلخانه‌ای مؤثر بوده‌است و نصب حداقل ۲۴ گیگاوات ظرفیت انرژی پاک را میسر ساخته‌است.

RETScreen به‌طور گسترده‌ای برای تسهیل و اجرای پروژه‌های انرژی پاک استفاده می‌شود. برای نمونه، RETScreen در این موارد به کار گرفته شده‌است:

- برای ارتقاء ساختمان امپایر استیت با استفاده از طرح‌های بهینه سازی انرژی

- به‌طور گسترده توسط صنایع انرژی باد ایرلند برای تجزیه و تحلیل پروژه‌های جدید بالقوه
- برای نظارت بر عملکرد صدها مدرسه در انتاریو
- جهت بررسی کاربردهای پروژه
- برای مدیریت انرژی در پردیس‌های دانشگاها و کالج‌ها
- در برآورد و ارزیابی چند ساله عملکرد طرح‌های فتوولتائیک در تورنتو، کانادا
- برای تجزیه و تحلیل فن‌آوری گرمایش هوای خورشیدی در مراکز نیروی هوایی ایالات متحده
- برای تأسیسات خدمات شهری، شامل شناسایی فرصت‌هایی برای ارتقاء تأسیسات انرژی در مناطق شهری مختلف انتاریو

RETScreen بیش از ۱,۱۰۰ دانشگاه و کالج در سراسر جهان به عنوان ابزار آموزش و پژوهش به کار گرفته می‌شود و در کتاب‌های دانشگاهی مورد استناد قرار می‌گیرد. استفاده از RETScreen توسط برنامه‌های مشوق انرژی پاک در همه سطوح دولتی در سراسر دنیا، پیشنهاد شده‌است؛ از جمله توسط UNFCCC و اتحادیه اروپا؛ کانادا، نیوزلند و بریتانیا؛ در بسیاری از ایالات‌های آمریکا و استان‌های کانادا؛ شهرها و کلان‌شهرها؛ و مراکز خدماتی. کارگاه‌های آموزشی RETScreen در سطوح منطقه‌ای و ملی بر اساس درخواست رسمی دولت‌های شیلی عربستان سعودی، و ۱۵ کشور در مناطق غربی و مرکزی آفریقا، و سازمان انرژی آمریکای لاتین (OLADE) برگزار شده‌است. این برنامه به صورت تخصصی برای انرژی‌های تجدیدپذیر طراحی شده و با استفاده از سرورهای قدرتمند شرکت ناسا به تحلیل محاسبات می‌پردازد.

۳-۷ خلاصه فصل سوم

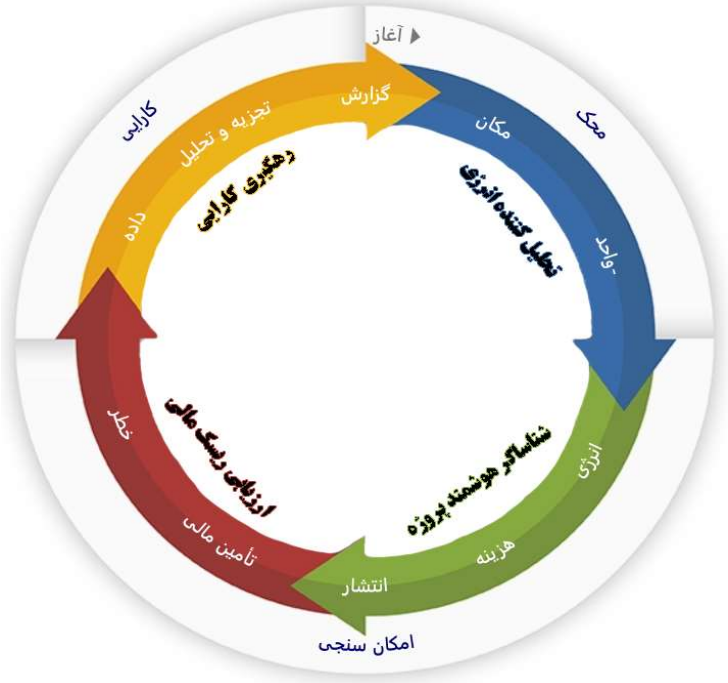
در این فصل ابتدا انواع روش‌های ارزیابی یک طرح ارائه شده و سپس با عوامل موثر در ارزیابی اقتصادی طرح مانند عوامل جغرافیایی، نوع واحد تولیدی، مقیاس تولید و هزینه‌های تولید انرژی و احداث نیروگاه برق تشریح شده است. همچنین فرآیند تجزیه و تحلیل ریسک و شیوه‌های تامین مالی اجرای پروژه و عوامل اقتصادی تاثیرگذار بر تجزیه و تحلیل مالی طرح مانند نرخ ارز، نرخ تورم و نرخ بهره معرفی شد. و در انتهای

فصل به توصیفی از تاریخچه و مزیت استفاده از نرم افزار RETscreen در ارزیابی طرح‌ها و پروژه‌ها در حوزه انرژی تجدیدپذیر و تاسیس نیروگاه‌های برق پرداخته شده است.

فصل چهارم – مدل‌سازی و تحلیل نتایج

۴-۱ مقدمه

در این فصل نتایج ارزیابی طرح و تحلیل داده‌ها ارائه می‌شود. ارزیابی طرح تولید برق با استفاده از سیستم PV شامل سه مرحله کلی می‌باشد، که به تجزیه و تحلیل مالی آن پرداخته خواهد شد.



شکل ۴-۱ فرآیند ارزیابی اقتصادی طرح

بررسی مرحله محک شامل تعیین اطلاعات جرافیایی مکان احداث پروژه و نوع واحد تولیدی و بخش اقتصادی استفاده کننده از برق تولید شده توسط سیستم فتوولتائیک است. مرحله امکان‌سنجی طرح شامل برآورد هزینه‌های پروژه، محاسبه منافع مالی و غیرمالی ناشی از اجرای طرح، تعیین شیوه‌های تامین مالی و برآورد منابع مورد نیاز طرح است. قسمت پایانی و مرحله سوم با شامل تجزیه و تحلیل نتایج ارزیابی شده و بررسی و کارایی و بازده اقتصادی طرح و ارائه نتایج تجزیه و تحلیل ریسک و حساسیت مالی است.

۴-۲ تعیین محل احداث پروژه

اندازه‌گیری مساحت فضای موجود برای نصب آرایه فتوولتائیک. که برای شهرستان شاهرود زمینی به

وسعت ۵۲ هکتار به صورت ایده آل و ۲۱ هکتار به صورت رفع نیاز مورد تایید خواهد بود که با توجه به نقطه مدنظر گرفته شده قیمتی حدود ۴۵۰ الی ۵۵۰ میلیون ریال به ازای هر هکتار هزینه خواهد داشت. در ادامه محلی که برای احداث در شهرستان شاهرود مد نظر است نشان داده شده است که نزدیکی به شهر مزیت خوبی نسبت به دیگر نقاط را خواهد داد.

شکل ۴-۲ محل تاسیس نیروگاه شاهرود

ابتدا مساحت مکان موردنظر برحسب مترمربع اندازه‌گیری می‌شود. در اندازه‌گیری باید قسمتی از سطح در نظر گرفته شود که کمترین سایه را داشته یا در صورت امکان اصلاً سایه نداشته باشد. بین هر دو ردیف پشت هم باید متراژ ۱/۵ الی ۳ متر نیز فاصله وجود داشته باشد که در نقطه مورد نظر در این طرح تمام گزینه‌ها بررسی شده و شرایط نوری بسیار مناسب خواهد بود.

البته یکی از موارد مهم در این طرح نزدیک بودن این قسمت به شهر شاهرود می‌باشد و انتقال برق از نیروگاه به شهر و منازل مسکونی چندان نیروگاه را دچار دردسر نخواهد نمود. در ادامه در جدول ۴-۱ به داده‌های منطقه جغرافیایی طرح اشاره شده و برای بخش‌های مختلف مقادیر مورد نیاز مشخص شده است.

جدول ۴-۱ اطلاعات جغرافیایی محل تاسیسات

عوامل جغرافیایی	واحد	محل داده‌های آب‌وهوایی	محل تاسیسات
عرض جغرافیایی	درجه	۳۶/۴۲	۳۶/۴
طول جغرافیایی	درجه	۵۵	۵۴/۹
ناحیه آب‌وهوایی		دورگه - خشک	
ارتفاع	متر	۱۳۴۵	۱۲۶۴
درجه حرارت طرح گرمایش زمین	°C	-۳/۸	
درجه حرارت سرمایش زمین هنگام اجرای طرح	°C	۳۴/۳	
میانگین دمای زمین	°C	۲۴/۹	

همان‌گونه که جدول ۴-۱ اطلاعات منطقه جغرافیایی محل احداث پروژه را مشخص نموده است منطقه مورد نظر در شهرستان شاهرود دارای آب و هوای خشک و مناسبی جهت احداث نیروگاه فتوولتائیک است در ادامه و در جدول ۴-۲ اطلاعات دقیق آب‌وهوایی برای هر ماه به صورت جداگانه در دسترس است.

این اطلاعات از طریق برنامه RetScreen و توسط شرکت هوا و فضای ناسا گرفته شده است و برای منطقه مورد نظر در شهرستان شاهرود مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۴-۲ اطلاعات آب‌وهوایی محل تاسیسات

ماه	حرارت هوا	رطوبت	بارندگی	اشعه‌خورشیدی	فشار اتمسفر	باد	دمای زمین	گرمایش زمین	سرمایش زمین
	°C	٪	mm	Kwh/ m^2/d	kpa	m/s	°C	°C-d	°C-d
ژانویه	۱/۱	۵۹/۹	۳۳/۶۵	۲/۳۹	۸۶/۹	۳/۸	۳/۰	۵۲۴	۰
فوریه	۳/۳	۴۸/۷	۲۸/۱۲	۳/۲۵	۸۶/۷	۴/۳	۴/۴	۴۱۲	۰
مارس	۸/۴	۴۴/۸	۳۸/۲۱	۴/۱۷	۸۶/۳	۵/۴	۹/۰	۲۹۸	۰
آوریل	۱۴/۵	۴۰/۴	۳۳/۷۲	۵/۳۳	۸۵/۹	۵/۵	۱۷/۵	۱۰۵	۱۳۵
مه	۱۹/۶	۳۹/۹	۱۹/۹۳	۶/۴۲	۸۵/۷	۵/۵	۲۳/۹	۰	۲۹۸
ژوئن	۲۴/۲	۳۲/۸	۱۲/۸۴	۷/۴۴	۸۵/۳	۶/۳	۲۹/۶	۰	۴۲۶
ژوئیه	۲۶/۷	۳۵/۵	۱۴/۰۶	۷/۳۱	۸۵/۲	۶/۷	۳۳/۱	۰	۵۱۸
آگوست	۲۵/۵	۳۳/۳	۹/۶۷	۷/۰۰	۸۵/۴	۶/۲	۳۲/۱	۰	۴۸۱
سپتامبر	۲۱/۶	۳۶/۶	۱۷/۳۹	۵/۶۷	۸۵/۸	۴/۸	۲۶/۷	۰	۳۴۸

ماه	حرارت هوا	رطوبت	بارندگی	اشعه‌خورشیدی	فشار اتمسفر	باد	دمای زمین	گرمایش زمین	سرمایش زمین
اکتبر	۱۵/۲	۴۰/۵	۱۹/۲۹	۴/۱۷	۸۶/۴	۳/۸	۱۸/۶	۸۷	۱۶۱
نوامبر	۸/۹	۴۹/۲	۴۱/۵۵	۲/۸۹	۸۶/۷	۳/۵	۱۱/۰	۲۷۳	۰
دسامبر	۳/۳	۶۱/۲	۴۱/۱۲	۲/۲۲	۸۶/۹	۳/۴	۵/۰	۴۵۶	۰
سالیانه	۱۴/۴	۴۳/۶	۳۰۹/۵۶	۴/۸۶	۸۶/۱	۴/۹	۱۷/۹	۲۱۵۴	۲۳۶۶

۴-۳ برآورد مصرف انرژی بخش مسکونی در شاهرود

هزینه برق تولیدی در هر کشور به اقتصاد، میزان رشد صنعتی، میزان دسترسی به منابع انرژی و ... بستگی دارد و دقیقاً به همین دلیل است که هزینه برق تولیدی به ازای هر کیلووات ساعت در کشورهای مختلف و حتی در مناطق مختلف یک کشور باهم تفاوت دارد. طبق آخرین نرخ بدست آمده توسط سازمان وزارت نیرو و بهای مصرفی بخش خانگی میزان بهای برق مصرفی برای هر مشترک خانگی به ازای هر کیلووات ۵۲۵ ریال خواهد بود که طبق جدول زیر این ارقام بدست خواهد آمد.

جدول ۴-۳ بهای تمام شده برق برای بخش های مختلف (۱ کیلووات)

ردیف	متغیر	نیروگاه گازی (ریال)	نیروگاه فتوولتائیک (ریال)
۱	بهای تمام شده مصرف کننده	۸۲۰۰	۴۰۰۰۰۰۰۰
۲	بهای تمام شده برای دولت	۱۳۳۵۰	۴۰۰۰۰۰۰۰
۳	میزان یارانه دولتی	۵۱۵۰	۰
۴	طول عمر (سال)	۰	۲۵
۵	مصرف یک خانوار با ۱۴۲ کیلووات در ماه	۱۸۹۵۷۰۰ - ۱۱۶۴۴۰۰	۱۳۸۰۰۰ - ۴۱۴۷۰۰۰۰

بر اساس آخرین آماری که در آمارنامه تفصیلی صنعت برق در سال ۱۳۹۶ منتشر شد، به ازای هر کیلو وات ساعت برق حرارتی حدودا ۰/۲۴۱ متر مکعب گاز ، ۰/۰۱۷ متر مکعب گازوییل و ۰/۰۱۳ لیتر مازوت مصرف می‌شود. برای محاسبه یارانه‌های هرکیلووات ساعت برق باید اثر یارانه‌ها را از قیمت سوخت حذف کرد [۶۴]. در حال حاضر قیمت سوخت صادراتی گاز طبیعی در نیروگاه‌ها تنها ۸۳۰۰ ریال به ازا هرمتر مکعب محاسبه میگردد و به ازا هر لیتر مازوت و گازوئیل تحویلی هم درحدود ۳۵۰۰ ریال دریافت میگردد.

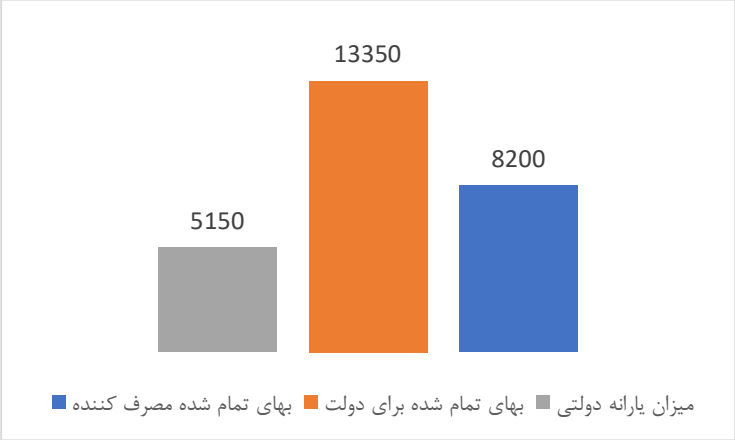
اگر گاز طبیعی G_n باشد و گازوئیل O_n باشد و مازوت M_n باشد و n مقدار استفاده شده در تولید هر کیلووات برق و P قیمت و el نماد هر کیلووات برق باشد در این صورت داریم هزینه هر کیلووات برق طبیعی خواهد بود:

$$PG_n + PO_n + PM_n = Pel$$

$$P(0.241) + P(0.017) + P(0.013) = P(el)$$

$$۴۲۸۰ + ۳۴۰ + ۵۳۰ = ۵۱۵۰$$

همانطور که محاسبه شد بهای تمام شده هر کیلووات برق تولیدی در کشور ایران بر اساس میزان سوخت‌های فسیلی مورد نیاز ۵۱۵۰ ریال هزینه در بر دارد.



شکل ۴-۳ سهم هر بخش از هزینه‌ها برای تولید ۱ کیلووات برق در نیروگاه گازی

قیمت برق با استفاده از سیستم فتوولتائیک

با پیشرفت تکنولوژی شاهد کاهش قیمت ماژول‌های فتوولتائیک در سال‌های اخیر بوده‌ایم. تولید الکتریسته از انرژی خورشید به دو روش مستقیم و غیرمستقیم صورت می‌گیرد. در روش مستقیم، انرژی خورشید مستقیماً توسط سلول‌های خورشیدی تبدیل به الکتریسته می‌شود که به آن سیستم فتوولتائیک می‌گویند. در روش غیر مستقیم، ابتدا انرژی خورشید به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود و سپس از طریق یک سیکل ترمودینامیکی انرژی حرارتی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌گردد، که به آن سیستم حرارتی خورشیدی گفته می‌شود، حال با

در نظر گرفتن این موارد گزینه مد نظر این تحقیق روش اول یا سیستم فتوولتائیک بوده است. در حال حاضر قیمت استاندارد هر وات برق تولیدی با پنل‌های فتوولتائیک ۴۴,۰۰۰ ریال است [۶۵]. اگر بخواهیم نتایج را با نتایج بالا مقایسه نماییم به عبارتی برای هر ۱ کیلووات برق تولیدی در سیستم فتوولتائیک ۴۴,۰۰۰,۰۰۰ ریال است (شامل تخفیف برای نیروگاه‌ها: ۴۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال). عمر متوسط هر سلول فتوولتائیک بین ۲۰ الی ۳۰ سال خواهد بود. حال اگر میانگین ۲۵ سال را در نظر بگیریم یک پنل ۱ کیلوواتی که چهل و چهار میلیون ریال برای ما هزینه دارد ۲۵ سال برای ما کار خواهد نمود. تجدیدپذیر بودن از اصلی‌ترین قابلیت این سیستم می‌باشد. با این هزینه ما قادر خواهیم بود از روش سوخت فسیلی میزان زیر (کیلووات ساعت) برق تولید کنیم:

$$۴۴.۰۰۰.۰۰۰ \div ۵۱۵۰ = ۸۵۴۳\ kwh$$

حال مقایسه این نتایج جالب خواهد بود، یک پنل ۱ کیلوواتی که ۴۴ میلیون ریال هزینه دارد در یک سال با متوسط ۱۰ ساعت تابش خورشید در طول روز میزان روزانه ۱۰ کیلووات برق تولید خواهد کرد که در یک سال میزان زیر را تولید خواهد نمود:

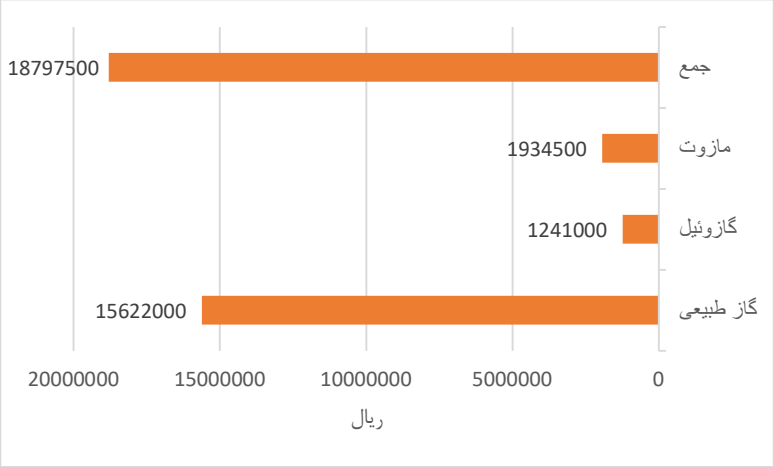
$$۱۰ \times ۳۶۵ = ۳۶۵۰\ kwh$$

حال این مقدار را در طول عمر پنل که ۲۵ سال است حساب می‌نماییم:

$$۳۶۵۰ \times ۲۵ = ۹۱۲۵۰\ kwh$$

تا قبل از اینکه پای طول عمر پنل‌ها وسط کشیده شود هنوز تولید برق با سوخت فسیلی به‌صرفه خواهد بود اما این روش چه مزیتی دارد؟ برای تولید ۸۵۴۳ کیلووات برق در سال میزان ۲۰۵۸ متر مکعب گاز طبیعی، ۱۴۵ متر مکعب گازوئیل و ۱۱۸ لیتر مازوت مصرف خواهد شد. اگر از روش فتوولتائیک برق تولید شود جدا از هزینه اولیه نیروگاه، سالیانه به میزان زیر صرفه‌جویی در سوخت‌های فسیلی خواهد شد که قادر به صادرات آن خواهیم بود:

$$(۴۲۸۰ \times ۳۶۵۰) + (۳۴۰ \times ۳۶۵۰) + (۵۳۰ \times ۳۶۵۰) = ۱۸.۷۹۷.۵۰۰ \text{ریال}$$



شکل ۴-۴ میزان صرفه جویی ۱ پنل ۱ کیلوواتی در طول ۱ سال

به عبارتی قادر خواهیم بود با تولید سالیانه با یک پنل ۱ کیلوواتی۱۸,۷۹۷,۵۰۰ریال سوخت ذخیره و یا صادرات داشته باشیم. مقدار دلاری این رقم عبارت است از ۳۸۵ دلار (به ازای هر ۱ کیلووات با دلار ۱۱۴۰۰ تومانی) حال اگر میزان مصرف ۱۴۲,۶۲۱,۰۰۰ کیلوواتی شاهرود را در نظر بگیرید به میزان قابل توجه هدر رفت سوخت‌های فسیلی خواهیم رسید. البته تا این جای کار میزان خسارات وارد شده به محیط زیست بررسی نشده است.

۴-۳-۱ محاسبه برق مصرفی در یک واحد مسکونی

در این قسمت مراحل طراحی سیستم فتوولتائیک با اجرا بر روی یک سیستم نمونه تشریح می‌شود. فرض می‌شود سیستم فتوولتائیک برای تغذیه انرژی الکتریکی موردنیاز در یک ساختمان مسکونی طراحی شود. به‌منظور برآورد مصرف انرژی الکتریکی یک واحد مسکونی نمونه، از جدول (۴-۴) که توان متوسط مصرفی سالیانه لوازم‌خانگی در آن ارائه‌شده استفاده گردیده شده است

اطلاعات مندرج در این جدول بر اساس میزان مصرف متوسط سالیانه لوازم‌خانگی معمول متعلق به یک واحد مسکونی دو اتاق خوابه به مساحت تقریبی 90 مترمربع در شهرستان شاهرود است.

جدول ۴-۴ میزان متوسط مصرف لوازم‌خانگی یا ساختمان مسکونی

ردیف	نام وسیله	متوسط توان مصرفی لحظه‌ای (W)	اطلاعات مصرف		
			ساعت مصرف	واتساعت	کیلووات ساعت
۱	لامپ	۵۳	۱۲	۶۴۰	۰/۶۴
۲	هواکش	۱۸	۸	۱۵۰	۰/۱۵
۳	یخچال	۸۷۰	۲۴	۲۱۰۰	۲/۱
۴	فریزر	۱۳۳	۲۴	۳۲۰۰	۳/۲
۵	تلویزیون LCD 40	۱۴۰	۱۰	۱۴۰۰	۱/۴
۶	کولرآبی	۴۹۰	۱۰	۴۹۰۰	۴/۹
۷	ماشین لباسشویی	۱۳۰۰	۱	۱۳۰۰	۱/۳
۸	اتوی برقی	۱۵۰۰	۱	۱۵۰۰	۱/۵
۹	سایر (متوسط)	۵۰۰	۴	۲۰۰۰	۲
جمع متوسط انرژی مصرفی روزانه برحسب کیلووات ساعت					۱۷/۱۹

در حال حاضر در شهر شاهرود ۶۷۸۸۷ مشترک مسکونی وجود دارد که با توجه به سالنامه انرژی جمهوری اسلامی ایران، این شهر در سال ۱۴۲,۶۲۱,۰۰۰ کیلووات برای استفاده خانگی برق مصرف دارد. این عدد برای یک ماه ۱۱,۸۸۵,۰۸۳ کیلووات است و برای یک روز ۳۹۶,۱۶۹ کیلووات و برای هر ساعت ۱۶۵۰۷ کیلووات ساعت بوده است.

جدول ۴-۵ اطلاعات بخش انرژی شهرستان شاهرود از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ مرکز آمار و ترازنامه انرژی

سال	تعداد خانوار	جمعیت شهر	متوسط مساحت هر واحد مسکونی	متوسط برق مصرفی هر واحد مسکونی
۱۳۸۵	۵۲۶۹۸	۱۳۲۳۷۹	۸۵	۱,۷۳۶
۱۳۹۰	۵۹۶۰۰	۱۴۰۴۷۴	۸۰	۱,۸۶۱
۱۳۹۵	۶۹۷۲۳	۱۵۰۱۲۹	۷۵	۲,۰۴۵

۴-۳-۲ تخمین تعداد پنل فتوولتائیک مورد نیاز

ابتدا باید تعداد پنل‌های مورد نظر را محاسبه نماییم تا به اندازه مد نظرمان برسیم. همانطور که با اندازه‌گیری میزان مصرف برق شاهرود انجام شده است که ۱۶۵۰۷ کیلووات در ساعت است برای تامین این نیاز برق به نیروگاهی با پنل‌های تولید ظرفیت ۱۶۵۰۷ کیلووات در ساعت نیاز خواهیم داشت. طبق بررسی‌های انجام گرفته قیمت هر پنل ۳۱۵ واتی ترینا سولار از شرکت مکس انرژی شیراز ۱۳۸۶۰۰۰۰ریال می‌باشد (۴۴۰۰۰ ریال به ازای هر وات) که در تعداد بالا دارای تخفیف ۴۰۰۰ ریالی برای هر وات نیز خواهد بود. در این پروژه به دلیل نیاز بالای سلول و پنل قطعا شرایط تخفیفی به آن تعلق خواهد گرفت. لذا در این قسمت محاسبه خواهد شد که چه میزان زمین و پنل مورد نیاز می‌باشد.

با توجه به مصرف ساعتی ۱۶۵۰۷ کیلوواتی شهرستان شاهرود احتیاج به همین مقدار توان تولید خواهد شد. اگر اندازه استاندارد پنل‌ها را ۳۱۵ واتی در نظر بگیریم، آنگاه خواهیم داشت:

جدول ۴-۶ اطلاعات مربوط به پنل ها و زمین

ردیف	اندازه پنل ها	فاصله پنل ها از هم	تعداد پنل ها	مساحت زمین مورد نیاز
۱	۱ در ۲ متر	۲ متر	۱۲۵۷۶۸	۵۲ هکتار

۳۱۵ W = ۰/۳۱۵ KW

۱۶۵۰۷ KW ÷ ۰/۳۱۵ KW = ۵۲۴۰۳

این میزان برای سیستم‌های مشترک متصل به شبکه است که در شب تامین برق بر عهده نیروگاه گازی است. برای تامین برق شب توسط نیروگاه فتوولتائیک باید با سناریو دوم که تعداد پنل‌ها برای شارژ باتری‌ها افزایش می‌یابد انجام شود. لذا در این صورت تعداد پنل‌ها برابر است با میزان مصرف برق شاهرود در طول روز که ۳۹۶۱۶۹ کیلووات است تقسیم بر توان تولید ۱ پنل در طول روز:

۳۹۶۱۶۹ ÷ ۳/۱۵ = ۱۲۵,۷۶۸

۴-۳-۳ تخمین متراژ زمین مورد نیاز

اندازه پنل‌ها در متراژ ۱ در ۲ متر است. لذا برای تخمین متراژ و مساحت زمین مورد نظر پنل‌ها را به صورت زیر در نظر خواهیم گرفت:

زمین مورد نظر به صورت مربع خواهد بود و پنل‌ها را به صورتی عمودی کارگزاری خواهیم نمود در این صورت محاسبات به صورت زیر خواهد بود:

تعداد پنل ها ۲۵۱ × ۵۰۲ = ۱۲۶۰۰۲

در قسمت عدد ۲۵۱ تعداد پنل‌ها به صورت ۲ متری کنار هم قرار داده است و در قسمت ۵۰۲ تعداد پنل‌ها به صورت ۱ متری که با توجه به اندازه متراژ آن‌ها به عدد زیر رسیده خواهد شد:

متر ۵۰۲ × ۵۰۲ = ۲۵۲۰۰۴

مشاهده شد که به میزان تقریبی ۲۵ هکتار زمین نیاز است، اما این پایان کار نیست زیرا پنل‌های فتوولتائیک را نمی‌توان به صورت چسبیده به هم قرار داد بلکه باید بین آن‌ها ۲ متر فاصله باشد تا سایه پنل جلویی هنگام طول روز بر روی پنل عقبی نیفتد، لذا نیاز خواهد بود این فضا در معادلات لحاظ شود:

متر (۲×۵۰۲) × ۵۰۲ = ۵۰۴۰۰۸

پس برای طرح اجرایی در شهرستان شاهرود میزان تقریبی ۵۰ هکتار فضا نیاز خواهد بود.

۴-۴ برآورد هزینه‌های انجام طرح

در این بخش به مقدار مورد نیاز پنل‌های فتوولتائیک برای اجرای طرح دست یافته و هزینه آن‌ها و سازه‌ها و پایه‌ها بررسی و برای خرید محاسبه و تحلیل خواهد شد. در این بخش محاسبه هزینه پنل‌ها و پایه‌های آن، هزینه باتری‌ها و اینورترها و هزینه بخش زمین و فنس دور آن انجام داده خواهد شد.

۴-۴-۱ هزینه‌های پنل‌ها و سازه‌ها (پایه‌ها)

همان‌گونه که ملاحظه شد به تعداد ۵۲,۴۰۳ پنل ۳۱۵ واتی‌ترینا سولار شرکت مکس انرژی نیازمند خواهیم بود. برای محاسبه میزان هزینه این تعداد پنل خواهیم داشت:

$$۳۱۵ \times ۴۰,۰۰۰ = ۱۲,۶۰۰,۰۰۰ \quad \text{ریال}$$

در این قسمت مشاهده شد که برای یک پنل ۳۱۵ واتی، دوازده میلیون و ششصد هزار ریال هزینه باید پرداخته شود. که این عدد باید در تعداد پنل‌های مورد نیاز محاسبه شود:

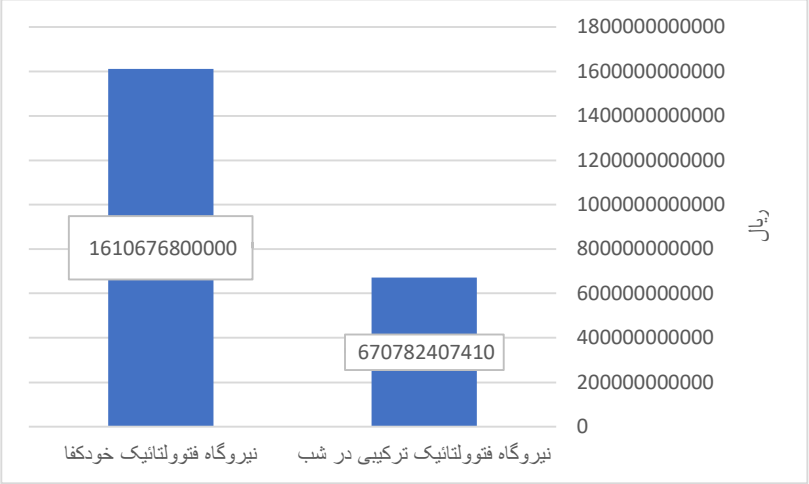
$$۱۲۶۰۰۰۰۰ \times ۵۲۴۰۳ = ۶۶۰,۲۸۲,۴۰۷,۴۱۰ \quad \text{ریال}$$

پس بر طبق محاسبات برای تامین پنل‌های مورد نیاز برای شهرستان شاهرود در بخش خانگی به مقدار تقریبی ششصد و شصت میلیارد ریال هزینه نیاز است. فرض می‌شود میزان متوسط انرژی مورد نیاز روزانه طبق مثال مطرح شده در صفحات قبل برابر ۱۳/۸۹ کیلووات باشد و سیستم فتوولتائیک با شبکه تبادل انرژی نداشته باشد؛ بنابراین تمام بار مصرفی باید توسط سیستم فتوولتائیک و باتری تأمین شود. در صورت تامین برق مصرفی در طول شب و توان ۱۰ ساعت آفتابی در روز برای تامین برق به ۱۲۵۷۶۸ پنل نیاز است تا سیستم نیروگاه به صورت کاملا خودکفا باشد، در این صورت هزینه پنل‌ها به میزان زیر خواهد بود:

$$۱۲۶۰۰۰۰۰ \times ۱۲۵۷۶۸ = ۱,۵۸۴,۶۷۶,۸۰۰,۰۰۰ \quad \text{ریال}$$

میزان متوسط مصرف[1] در یک خانواده شهر شاهرود: آنچه استاندارد شرکت برق تعریف می‌کند این است که متوسط مصرف برق در یک خانواده کم مصرف به‌طور تقریبی معادل ۱۴۲ kwh در ماه است بنابراین برای محاسبه هزینه‌های یک سیستم فتوولتائیک فرض می‌کنیم که مصرف‌کننده در هرماه به مقدار ۱۴۲ kwh مصرف دارد.

[1] Average consumption



شکل ۴-۵ تفاوت هزینه سیستم خودکفا PV و ترکیبی برای تامین برق شب

البته این میزان برای مشترکین پرمصرف متفاوت خواهد بود که با در نظر گرفتن میزان مصرف برق چند منزل مسکونی در شهر شاهرود به انجام محاسبات پرداخته خواهد شد. برای محاسبه هزینه اسمی یک سیستم فتوولتائیک یکی از پارامترهایی که باید در نظر گرفته شود این است که هر قطعه در یک شرایط معین کاری چقدر عمر مفید دارد و همچنین در طول این مدت چقدر نیاز به سرویس و نگهداری دارد، بدین ترتیب هزینه‌های سرویس و نگه‌داری و تعویض قطعات نیز در کل سیستم در نظر گرفته می‌شوند. جدول زیر نشان‌دهنده طول عمر قطعات مورداستفاده می‌باشد.

جدول۴-۷ طول عمر قطعات یک سیستم فتوولتائیک [۶۶]

نام قطعه	طول عمر مفید	دوره‌های بازبینی و سرویس
سلول‌های خورشیدی	بین ۲۰ الی ۳۰ سال	بازدید از اتصالات جهت عدم قطعی اتصالات یا شکستگی سلول‌ها
پنل‌ها	با توجه به شرایط محیطی و نوع پنل از ۲۰ تا ۳۰ سال	هر ۱ سال یک‌بار باید ازلحاظ ترک‌خوردگی شیشه و نفوذ رطوبت بازبینی و غبارروبی شوند
باطری اسیدی	در صورت رعایت نکات شارژ و دشارژ تا ۵ سال	هر ۴ ماه یک‌بار ازلحاظ سطح اسید موجود باید بازبینی شود
اینورتر	در شرایط استفاده طبق استاندارد بالای ۱۵ سال	نیاز به سرویس ندارد

طول عمر قطعات به عوامل دیگری همچون میزان رطوبت هوا، میزان بارندگی، اختلاف دمای کم و زیاد در طول روز و حوادث و بلایای طبیعی بستگی دارد که در شهرستان شاهرود با توجه به خوبی آب و هوا و

رطوبت پایین و سطح تابش مناسب خورشید، حتی در نقشه‌های هوایی شرکت ناسا محل مناسبی جهت راه‌اندازی سیستم‌های فتوولتائیک است. در ادامه یکی دیگر از آیتم‌های ویژه و اساسی برای بررسی و تحلیل یک پروژه فتوولتائیک هزینه‌های مربوط به قطعات است. قدم بعدی محاسبه قیمت هر قطعه بکار رفته در سیستم فتوولتائیک است که در جدول زیر آمده است:

جدول ۴-۸ قیمت قطعات در سیستم فتوولتائیک [۶۷]

نام قطعه	قیمت
سلول‌های خورشیدی	سلول‌های خورشیدی سیلیکونی قیمتی بین ۳۰۰۰ تا ۶۰۰۰ تومان به ازای هر وات دارند
باطری	هر باطری اسیدی ۶۰HA و ۱۲ ولت قیمتی بین ۵۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰ تومان دارد
اینورتر	با توجه به توان خروجی و کشور سازنده قیمت متفاوتی دارد مدل تایوانی با خروجی ۱۵۰۰ وات ۱۲۰۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰۰ تومان قیمت دارد

مرحله بعدی محاسبه مقدار توان سلول‌های خورشیدی است که در این مرحله محل جغرافیایی که قرار است پنل‌های فتوولتائیک در آن محل نصب شوند از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است چرا که در موقعیت‌های جغرافیایی مختلف پارامترهایی همچون زاویه تابش آفتاب، متوسط تابش روزانه آفتاب، مقدار ابری بودن روزها در طول سال و سایر عوامل جوی و محیطی تأثیر زیادی بر طراحی پنل‌ها ازلحاظ ظرفیتی خواهد داشت.

مهم‌ترین پارامتری که در شرایط جغرافیایی مختلف بر روی ظرفیت پنل‌ها تأثیر می‌گذارد متوسط تابش روزانه آفتاب در یک منطقه برحسب ساعت است خوشبختانه از این لحاظ ایران کشوری است که بیشتر روزهای سال را آفتابی می‌گذراند و متوسط سالانه روزهای آفتابی در ایران به‌خصوص مناطق مرکزی بسیار بالاست جدول زیر بیانگر متوسط مدت تابش آفتاب برحسب ساعت در ماه‌های مختلف سال در شاهرود می‌باشد.

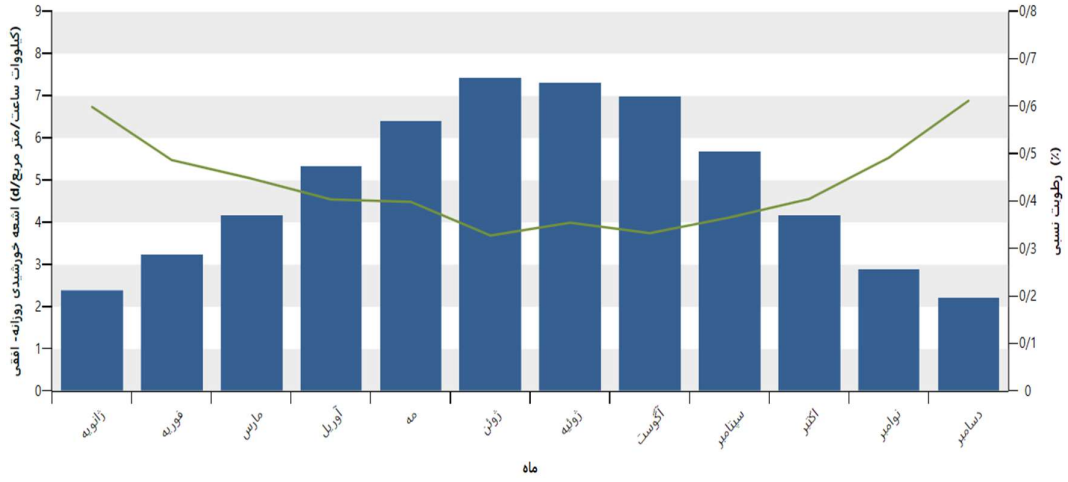
جدول ۴-۹ متوسط تابش در ماه‌های مختلف در شاهرود [۶۸]

ردیف	ماه	متوسط میزان تابش آفتاب در هرروز
۱	فروردین	۱۳ ساعت و ۴۳ دقیقه
۲	اردیبهشت	۱۳ ساعت و ۵۷ دقیقه
۳	خرداد	۱۳ ساعت و ۸ دقیقه

ردیف	ماه	متوسط میزان تابش آفتاب در هرروز
۴	تیر	۱۳ ساعت و ۸ دقیقه
۵	مرداد	۱۳ ساعت و ۵ دقیقه
۶	شهریور	۱۲ ساعت و ۵۸ دقیقه
۷	مهر	۱۱ ساعت و ۵۶ دقیقه
۸	آبان	۱۰ ساعت و ۵۱ دقیقه
۹	آذر	۹ ساعت و ۱۳ دقیقه
۱۰	دی	۹ ساعت و ۶ دقیقه
۱۱	بهمن	۸ ساعت و ۵۴ دقیقه
۱۲	اسفند	۸ ساعت و ۱۷ دقیقه

البته زمانی که در این پژوهش از نرم‌افزار RetScreen استفاده شد، میزان تابش خورشید در ماه‌های مختلف سال را این چنین بیان نداشته زیرا برنامه RetScreen به صورت پیشفرض فقط ساعات اوج تولید برق را بیان می‌نمایند به طور مثال اگر در طول ماه ژانویه ۱۲ ساعت آفتاب در آسمان است این برنامه تنها ۴ ساعت را مورد تایید خود قبول می‌کند و تنها زاویه تابشی خیلی عالی را ثبت می‌کند، لذا این در صورتیست که پنل‌ها به نور حساسیت دارند و در کل ساعات روز برق تولید می‌نمایند اگرچه در زمانی که خورشید پشت ابر است و یا هنگام صبح و بعد از ظهر هم برق تولید می‌نماید حتی هنگام شب پنل‌ها با نور مهتاب نیز مقدار ناچیزی برق تولید می‌کنند.

با توجه به جدول فوق می‌توان نتیجه گرفت که متوسط تابش آفتاب در شاهرود تقریباً ۱۱ ساعت در روز است که البته این مقدار در تابستان بیشتر و در زمستان کمتر خواهد بود. در نمودار زیر که از طریق نرم‌افزار RetScreen دریافت شده است، قابل ملاحظه است که میزان تابش و بارندگی را نمایش داده است.



شکل ۴-۶ میزان تابش ایده‌آل بر متر مربع و میزان بارندگی

البته پنل‌ها قادر به ساعات میزان تولید بیشتری در ساعات طول روز خواهند بود، اما در این نمودار که توسط شرکت ناسا استخراج شده است در نقطه مورد نظر برای تاسیس نیروگاه شاهرود، نشان دهنده این مورد است که در ماه ژانویه ۲/۳ ساعت تابش در حدی داریم که در هر متر مربع توان تولید ۱ کیلووات برق وجود خواهد داشت. حال در شهرستان شاهرود خانه‌ای که در ماه ۱۷۵ کیلو وات ساعت مصرف دارد متوسط مصرف روزانه‌اش ۵/۸=۳۰÷۱۷۵ کیلووات ساعت خواهد بود یعنی به عبارتی نیاز به یک یا چند پنل خورشیدی خواهد بود که روزانه پنجو هشت دهم کیلووات ظرفیت را ایجاد کند که می‌توان گفت معادل تابش یک ساعت آفتاب به یک مجموعه پنل با توان خروجی پنجو هشت دهم کیلووات یا تابش ۱۰ ساعت آفتاب، به یک پنل ۵۸۰ واتی است. مثالی که زده شد بیانگر رابطه بین ساعات تابش خورشید و ظرفیت پنل‌ها بود بنابراین درصورتی‌که میزان تابش آفتاب در روز بیشتر باشد به ظرفیت کمتری از سلول‌های خورشیدی نیاز است و بدین ترتیب هزینه سیستم تا حد زیادی کاهش خواهد یافت. حال با توجه به اینکه میزان تابش آفتاب در شاهرود تقریباً ۱۱ ساعت در روز است، می‌توان ظرفیت پنل‌ها را محاسبه نمود اما نکته حائز اهمیت در این مرحله این است که اولا در طول ۱۱ ساعتی که نور خورشید به پنل‌ها می‌تابد ممکن است هوا ابری شود و همچنین در ساعات ابتدایی و انتهایی روز زاویه تابش نور خورشید نسبت به سلول‌ها انقدر زیاد خواهد شد که سلول‌ها دیگر توان

اسمی خود را تولید نخواهند کرد ضمن اینکه شدت تابش آفتاب در این ساعات نیز کمتر از بقیه ساعات است. بنابراین برای بالا بردن ضریب اطمینان مدت‌زمان تابش مؤثر آفتاب را متوسط ۱۰ ساعت در نظر گرفته می‌شود. بنابراین ظرفیت مورد نیاز سلول‌های خورشیدی برای یک منزل مسکونی که ماهانه ۱۷۵ KWH مصرف می‌کند به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

تابش آفتاب ۱۰ ساعت ۱۷۵÷ ۳۰=۵/۲۵ KWH

ظرفیت مورد نیاز = (W) W= ۵/۲۵ KWH ÷ ۱۰C = ۵۲۵

مشاهده می‌شود برای این منزل مسکونی نیاز به پنل‌هایی خواهد بود که ۵۲۵ وات توان در شرایط آفتابی کامل تولید کند اما این در صورتی است که باطری و اینورتر ایده آل باشند درحالی‌که باطری‌ها در شرایط عادی دارای هفت‌تا ده درصد و اینورتر نیز ۵٪ تلفات خواهد داشت که درمجموع در عمل ذخیره‌سازی و تبدیل ۱۴/۵ درصد تلفات خواهیم داشت بنابراین ظرفیت سلول‌ها به‌اندازه یک و هفده صدم برابر باید بزرگ‌تر در نظر گرفته شود پس ظرفیت نهایی موردنیاز ۶۱۴=۵۲۵×۱/۱۷ خواهد بود که با توجه به قیمت هر وات سلول خورشیدی ۴۴۰۰۰ ریال مجموعاً هزینه‌ای برابر ۲۷,۰۱۶,۰۰۰ ریال صرف خرید سلول‌ها خواهد شد.

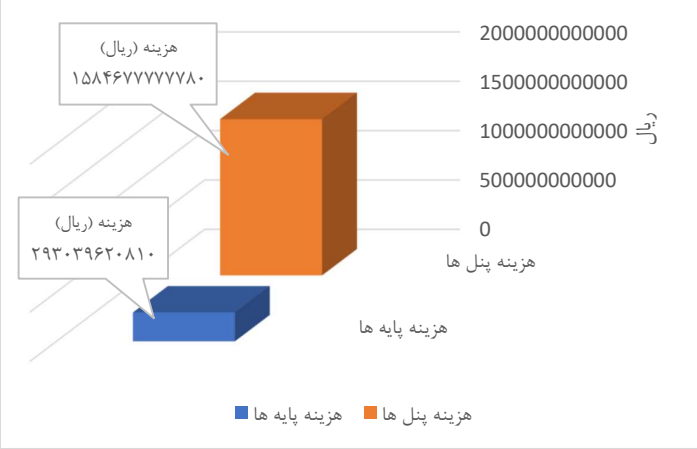
با توجه به میزان مصرف ۱۶۵۰۷ کیلوواتی برق در شهرستان شاهرود، احتیاج به نیروگاهی با چنین توان تولیدی خواهد بود که با انجام محاسبات لازم به ۵۲,۴۰۳ پنل ۳۱۵ کیلوواتی‌ترینا سولار مکس انرژی خواهیم داشت که این مقدار برای نیروگاهی درست خواهد بود که برای تامین برق در شب استفاده نخواهد شد در غیر این صورت اگر سیستم به صورت کاملا مستقل و تامین برق در شب باشد تعداد این پنل‌ها ۱۲۵۷۶۸ خواهد بود. لذا با این حساب که هزینه تمام شده هر ۱ کیلووات پنل ۴۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال و هزینه پایه‌های آن به ازای هر ۱ کیلووات ۷,۳۹۰,۰۰۰ ریال است با توجه به پیک بار مصرفی ۱۶,۵۰۷ کیلوواتی در ساعت خواهیم داشت:

جدول ۴-۱۰ هزینه های پنل‌ها و پایه‌های نیروگاه (سیستم خودکفا)

نوع	هزینه (ریال)
هزینه پایه‌ها	۲۹۳,۰۳۹,۶۲۰,۸۱۰
هزینه پنل‌ها	۱,۵۸۴,۶۷۷,۷۷۷,۷۸۰

هزینه نصب پایه‌ها برای بخش مسکونی: ۱۲۲,۰۹۸,۹۹۰,۰۰۰ ریال (بدون تامین برق در شب)

هزینه پنل‌ها برای بخش مسکونی: ۶۶۰,۲۸۲,۴۰۷,۴۱۰ ریال (بدون تامین برق در شب)



شکل ۴-۷ هزینه‌های پنل‌ها و پایه‌های نیروگاه فتوولتائیک شاهرود

این نوع از هزینه‌ها به عنوان هزینه‌های ثابت طرح دسته بندی خواهد شد.

۴-۴-۲ هزینه‌های باتری و اینورترها

برای تامین نیاز برق در شب (تاریکی) دو راه برای انجام وجود خواهد داشت: اول اینکه سیستم فتوولتائیک مورد نظر کاملا مستقل از شبکه اصلی و سوخت فسیلی باشد و برای تامین نیاز الکتریسیته در شب از باتری‌ها و انباره‌ها استفاده شود. دوم اینکه نیروگاه فتوولتائیک ساخته شده متصل به شبکه اصلی باشد و هنگام شب از سیستم برق قدیمی (سوخت فسیلی) استفاده شود. که به هر دو روش هزینه‌ها بررسی خواهد شد که ما در این پژوهش از روش اول محاسبات خود را انجام خواهیم داد. همچنین برای خروجی برق نیاز به مبدل و یا اینورتر نیز خواهد بود که از اینورتر دلتا ۴۵ کیلووات سه فاز سری بی با ورودی ۳۸۰ ولت آسام کالا [۶۹] مورد

استفاده قرار خواهد گرفت که هزینه‌های آن برای تعداد ۷ عدد مورد نیاز این پروژه به صورت زیر خواهد بود:

جدول ۴-۱۱ هزینه باتری‌ها و اینورترها

نوع	هزینه (ریال)
هزینه باتری ها	۵۰,۱۱۵,۶۰۰,۰۰۰
هزینه اینورترها	۲,۶۶۰,۰۰۰,۰۰۰

لازم به ذکر است که طول عمر باتری‌ها ۵ سال و اینورترها ۱۵ سال خواهد بود. این بخش از هزینه‌ها را می‌توان در دسته هزینه‌های متغیر طرح نیز محاسبه نمود.

۴-۴-۳ هزینه‌های بخش زمین و فنس

در بخش هزینه‌یابی زمین و فنس کشی دور زمین ابتدا باید اندازه زمین که قبل‌تر محاسبه نموده شد بررسی شود. همواره دولت با طرح‌های تشویقی خود به طور مثال دادن زمین برای احداث نیروگاه با هزینه پایین‌تر و یا موارد این چنینی سعی بر حمایت خود در ایجاد طرح‌ها و پروژه‌های تولید برق خصوصی و تجدیدپذیر داشته است. با این حال برای این پروژه قیمت زمین از مشاورین املاک موجود در شهرستان شاهرود بدست آمده که قیمت ۵۰۰ میلیون ریالی برای هر هکتار در محل مورد نظر داده شده است. با این احتساب که میزان مورد نیاز این پروژه ۲۱ هکتار برای نیروگاهی که فقط طول روز را پوشش می‌دهد و ۵۲ هکتار برای یک نیروگاه کاملا مستقل می‌باشد باید برای فنس‌کشی دور زمین نیز اقدامات انجام شود. لذا با محاسبه هزینه بخش فنس‌کشی که از شرکت پردیس سازه تهیه گردیده است [۷۰] برای مقدار ۲۱ هکتار میزان ۱۲۹۶ متر طول فنس خواهد شد در ارتفاع ۲ متری و برای ۵۲ هکتار این متراژ ۲۰۰۴ متر خواهد بود. با این حال محاسبات هزینه بخش زمین و فنس دور آن به صورت زیر خواهد بود:

جدول ۴-۱۲ هزینه‌های زمین و فنس نیروگاه

نوع	هزینه (ریال)
هزینه فنس ها	۲,۸۱۱,۲۰۰,۰۰۰
هزینه زمین	۲۶,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰

در صورتی که از سیستم نیروگاه ترکیبی با تامین پخش برق شب با نیروگاه فسیلی باشد این مقدار برای ۲۱ هکتار زمین ۱۰,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال خواهد بود. این هزینه‌ها از نوع هزینه‌های ثابت طرح بوده و در ابتدای پروژه برای یک بار انجام خواهد شد.

۴-۴-۴ هزینه کابل‌های برق

برای متصل کردن اجزای یک سیستم خورشیدی به یکدیگر شما نیاز به کابل خورشیدی DC با سایز مناسب آن سیستم دارید زیرا با توجه به اینکه معمولا ولتاژ سیستم‌های خورشیدی پایین است وجریان آن‌ها بالا است و باید مطمئن شوید تلفات انرژی و گرمای تولیدی (در برخی موارد حتی اتش سوزی) به حداقل برسد. با نظر به این‌که در یک سیستم برق خورشیدی کارآمد و مناسب، کابل خورشیدی DC نقش مهمی را ایفا می‌کند ولی اکثر اوقات فراموش شده و مورد بی‌توجهی و کم لطفی واقع می‌شوند. در واقع انتخاب نادرست قطر، یکی از بزرگترین اشتباهاتی است که کاربران معمولا در هنگام طراحی سیستم‌های برق خورشیدی مرتکب می‌شوند. افت ولتاژ کل مربوط به بخش کابل خروجی از ماژول فتوولتائیک تا ورودی اینورتر متصل به شبکه و خروجی اینورتر تا نقطه اتصال به شبکه کمتر از ۲٪ می‌باشد. این سیم‌کشی‌ها از شرکت اوستا مارکت [۷۱] قیمت گیری و قابل خرید می‌باشد که هزینه آن به صورت زیر می‌باشد:

جدول ۴-۱۳ هزینه‌های کابل نیروگاه

نوع	هزینه (ریال)
هزینه ۲۵۰۰ متر کابل نمره ۴	۶۷,۵۰۰,۰۰۰
هزینه ۲۵۰۰ متر کابل نمره ۶	۹۲,۵۰۰,۰۰۰

این نوع از هزینه به عنوان هزینه‌های ثابت طرح می‌باشد.

۴-۴-۵ هزینه‌های تعمیر و نگهداری نیروگاه

یکی دیگر از انواع هزینه که برای هر نیروگاهی ملزم و اجباری خواهد بود و طبق دستور سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر فرد تاسیس کننده چنین تجهیزاتی باید آن قوانین را رعایت کند، قوانین تعمیر و نگهداری سیستم

در دوره‌های ماهیانه، شش ماهه و سالیانه است که باید سلامتی پنل‌ها و کابل‌ها و باتری و سازه‌ها همیشه تست و بازرسی گردد. چنین هزینه‌ها را به طور سالیانه ۱ درصد از مبلغ کل پروژه در نظر خواهیم گرفت.

۴-۴-۶ کل هزینه‌های طرح

با توجه به آمار بدست آمده در قسمت بالا کل هزینه‌های ثابت طرح به صورت زیر خواهد بود:

۱,۹۵۹,۴۵۸,۵۹۸,۵۹۰ مقدار هزینه سرمایه‌گذاری ثابت پروژه (ریال)

شکل ۴-۸ مقایسه هزینه‌های اقلام اصلی نیروگاه

مقایسه هزینه‌های اقلام اصلی طرح بدون محاسبه پنل‌ها و پایه‌ها، در شکل بالا آورده شده است که نشان دهنده سهم عظیم باتری‌ها در هزینه‌های تمام شده نیروگاه می‌باشد.

۴-۵ تخمین منافع طرح

با فعالیت و راه‌اندازی پروژه که قطعا چنین طرح‌هایی چون به صورت نیمه آماده در دسترس است، مدت زمان بسیار کمی طول خواهد کشید و می‌توان در کوتاه‌ترین زمان ممکن مانند یک دوره ۱ یا ۲ ماهه به بهره برداری رسانید. بعد از بهره برداری و محاسبات هزینه‌ای به قسمت درآمدهای طرح پرداخته خواهد شد.

۴-۵-۱ درآمدهای مستقیم از فروش برق سیستم PV

درآمدهای مستقیم پروژه شامل درآمدهایی حاصل از فروش برق سیستم PV که با فروش برق تولیدی

نیروگاه تامین خواهد شد. برای محاسبه درآمد طی یک سال، باید ابتدا میزان تولید برق توسط پنل‌های فتوولتائیک را برای ۱ سال محاسبه نمود و سپس با نرخ خرید تضمینی برق توسط دولت به تحلیل میزان درآمد حاصل شده پرداخت.

۴-۵-۱-۱ نرخ خرید تضمینی برق توسط دولت

نرخ‌های خرید تضمین شده برق برای سال ۱۳۹۶ که در جدول زیر قابل مشاهده می‌باشد قیمت‌هایی می‌باشد که توسط بخش دولتی اعلام و به اجرا گذاشته شده است. لازم به ذکر است که نرخ خرید برق توسط دولت برای انواع مختلف فرآیند تولید برق متفاوت خواهد بود به طور مثال نرخ تضمین شده‌ای که برای خرید برق برای مزرعه‌های بادی است با نرخ خرید مزرعه تولید برق فتوولتائیک متفاوت خواهد بود زیرا دولت مزایا و معایب بسیاری را در نظر خواهد گرفت تا به نتایج زیر دست یابد. به طور مثال به منظور رفع مشکلات زیست‌محیطی در استان‌های ساحلی و کلان‌شهرها، نرخ پایه خرید تضمینی برق از فن‌آوری‌های زیست توده دو برابر تعیین می‌گردد و یا نرخ خرید برق نیروگاه‌های بادی واقع در استان سیستان و بلوچستان که در سال ۱۳۹۸ قرارداد تضمین خرید آنان قطعی و مبادله می‌شود، نسبت به ارقام مندرج در جدول فوق، ۱۰ درصد افزوده خواهد شد.

جدول ۴-۱۴ نرخ خرید برق تضمینی برای انواع نیروگاه [۷۲]

ردیف	انواع نیروگاه	نرخ پایه خرید تضمینی برق (ریال بر کیلووات‌ساعت)
۱	نیروگاه زیست توده	۵۵۵۰
۲	نیروگاه بادی	۵۴۶۰
۳	نیروگاه فتوولتائیک	۶۳۷۰
۴	نیروگاه زمین گرمایی	۶۳۷۰
۵	نیروگاه بازیافت تلفات حرارتی در فرآیندهای صنعتی	۳۷۷۰
۶	نیروگاه آبی	۴۲۲۵

همان‌گونه که در جدول بالا قابل ملاحظه است ساخت نیروگاه فتوولتائیک کاملا توجیه اقتصادی نسبت به

سایر نیروگاه‌ها خواهد داشت، زیرا خرید برق تضمینی آن توسط دولت در بالاترین نقطه ممکن وجود خواهد داشت. نیروگاه فتوولتائیک به اضای هر ۱ کیلووات ۶۳۷۰ ریال فروش خواهد داشت و حال با ظرفیت تولید و مصرف روزانه شهرستان شاهرود که میزان روزانه ۳۹۶۱۶۹ کیلووات است محاسبات خود را ادامه خواهیم داد.

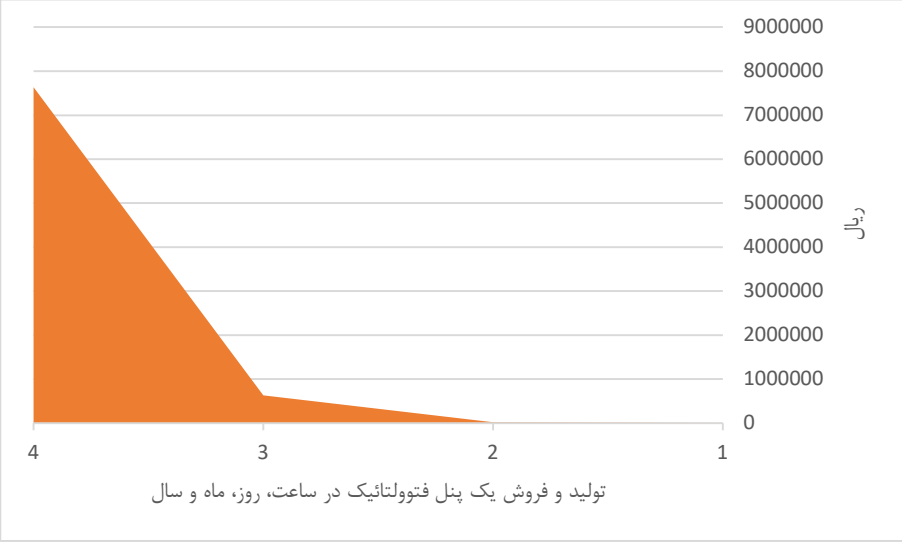
درآمد حاصل از فروش سالیانه

با توجه به نرخ خرید ۶۷۳۰ ریالی و توان تولید ۱۰ ساعت آفتابی در این صورت خواهیم داشت:

جدول ۴-۱۵ توان تولید و مقدار فروش ۱ پنل فتوولتائیک

واحد	توان تولید (کیلووات)	فروش برق (ریال)
یک پنل ۳۱۵ وات‌ترینا سولار مکس انرژی در ساعت	۰/۳۱۵	۲,۱۲۰
یک پنل ۳۱۵ وات‌ترینا سولار مکس انرژی در روز	۳/۱۵	۲۱,۲۰۰
یک پنل ۳۱۵ وات‌ترینا سولار مکس انرژی در ماه	۹۴/۵	۶۳۵,۹۸۵
یک پنل ۳۱۵ وات‌ترینا سولار مکس انرژی در سال	۱۱۳۴	۷,۶۳۱,۸۲۰

با توجه به این میزان تولید یک پنل از نیروگاه فتوولتائیک شاهرود و نرخ خرید تضمینی برق که توسط دولت اعلام شده است می‌توان به میزان سالیانه ۷,۶۳۱,۸۲۰ ریال برق به فروش رسانید همچنین نمایش نموداری آن را می‌توان به صورت زیر رسم نمود.



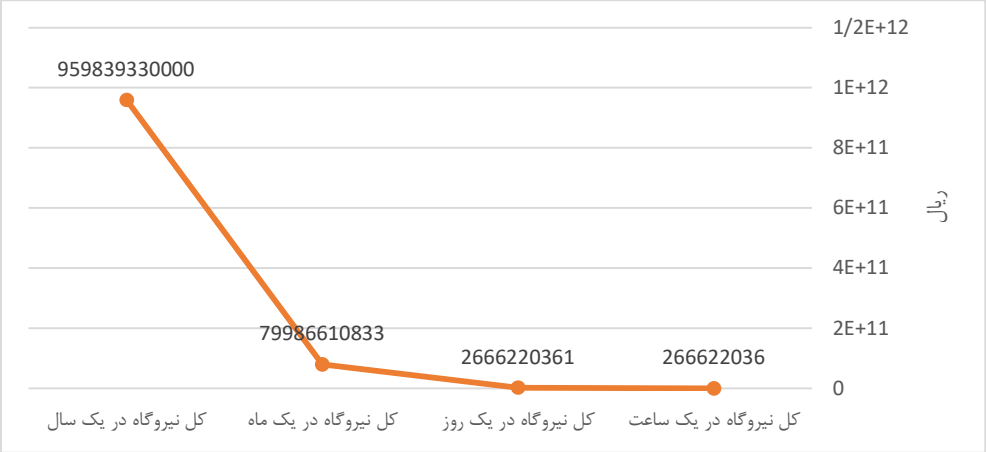
شکل ۴-۹ فروش ۱ پنل ترینا سولار مکس انرژی از نیروگاه فتوولتائیک شاهرود

حال همین محاسبات را برای کل نیروگاه انجام داده تا ظرفیت تولید و فروش برق تولیدی را محاسبه نموده و به بررسی متغیرهای دیگر پرداخته شود. چون نوع نیروگاه مورد نظر در این پایان‌نامه یک نیروگاه کاملا مستقل از شبکه برق قبلی بوده است لذا همان مورد در نظر گرفته خواهد شد.

جدول ۴-۱۶ توان تولید و مقدار فروش کل نیروگاه

تولید	توان تولید (کیلووات)	فروش برق (ریال)
کل نیروگاه در یک ساعت	۳۹,۶۱۷	۲۶۶,۶۲۲,۰۳۶
کل نیروگاه در یک روز	۳۹۶,۱۶۹	۲,۶۶۶,۲۲۰,۳۶۱
کل نیروگاه در یک ماه	۱۱,۸۸۵,۰۸۳	۷۹,۹۸۶,۶۱۰,۸۳۳
کل نیروگاه در یک سال	۱۴۲,۶۲۱,۰۰۰	۹۵۹,۸۳۹,۳۳۰,۰۰۰

درآمد روزانه نیروگاه فتوولتائیک شاهرود مبلغی در حدود دو میلیارد و ششصد میلیون ریال می‌باشد و این مقدار بدون لحاظ کردن تورم، نرخ بهره و هزینه های متغیر می‌باشد. نمایش نموداری این درآمد به صورت زیر خواهد بود.



شکل ۴-۱۰ فروش برق کل نیروگاه شاهرود

با توجه به توان تولیدی نیروگاه و خرید تضمینی برق به درآمد سالیانه ۹۵۰ میلیارد ریالی نیروگاه خواهیم رسید که این مبلغ تنها گوشه‌ای از فواید این طرح می‌باشد زیرا درآمدهای غیرمستقیم دیگری نصیب کشور خواهد شد که در ادامه به آن‌ها پرداخته خواهد شد.

۴-۵-۲ منافع مالی غیرمستقیم طرح (صرفه‌جویی در سوخت‌های فسیلی)

با توجه به میزان تولید پنل‌های نیروگاه شاهرود و قطع برق نیروگاه با منبع فسیلی علاوه بر تامین برق شهرستان شاهرود به روال سابق شاهد این قضیه خواهیم بود که نه تنها صرفه‌جویی مالی در بخش هزینه‌ها خواهد شد بلکه دیگر منابع فسیلی برای تامین این مقدار برق هدر رفت نخواهد شد و قادر به استفاده از این منابع در بخش‌های دیگر و یا صادرات آن خواهیم بود.

سطح مصرف برق شهرستان شاهرود میزان ۱۴۲,۶۲۱,۰۰۰ کیلووات در سال بوده است که برای تامین این مقدار انرژی الکتریکی نیاز به مصرف مقدار زیر خواهیم بود: (در مطالب قبل بیان شد که برای تولید هر ۱ کیلووات برق میزان ۵۱۵۰ ریال هزینه مالی استفاده خواهد شد)

مقدار سوخت فسیلی مورد نیاز برای ۱ کیلووات برق

به ترتیب ۰/۲۴۱ گاز طبیعی، ۰/۰۱۷ گازوئیل، ۰/۰۱۳ مازوت ۰/۰۱۳ + ۰/۰۱۷ + ۰/۲۴۱

واحدهای اندازه گیری= گاز طبیعی: متر مکعب ، گازوئیل: متر مکعب ، مازوت: لیتر

مقدار منابع مورد نیاز برای ۱۴۲,۶۲۱,۰۰۰ کیلووات برق شاهرود

جدول ۴-۱۷ میزان صرفه‌جویی در سوخت‌های فسیلی (متر مکعب)

	گاز طبیعی	گازوئیل	مازوت	مجموع
سوخت های فسیلی	۳۴,۳۷۱,۶۶۱	۲,۴۲۴,۵۵۷	۱,۸۵۴,۰۷۳	۳۸,۶۵۰,۲۹۱

قابل مشاهده است که بعد از ساخت نیروگاه فتوولتائیک شاهرود به میزان ۳۴,۳۷۱,۶۶۱ متر مکعب گاز طبیعی و ۲,۴۲۴,۵۵۷ متر مکعب گازوئیل و ۱,۸۵۴,۰۷۳ لیتر مازوت صرفه‌جویی خواهد شد که این درآمد نصیب دولت خواهد شد که می‌تواند آن را در موارد دیگر مورد نیاز استفاده و یا در صورت نیاز صادر کند.

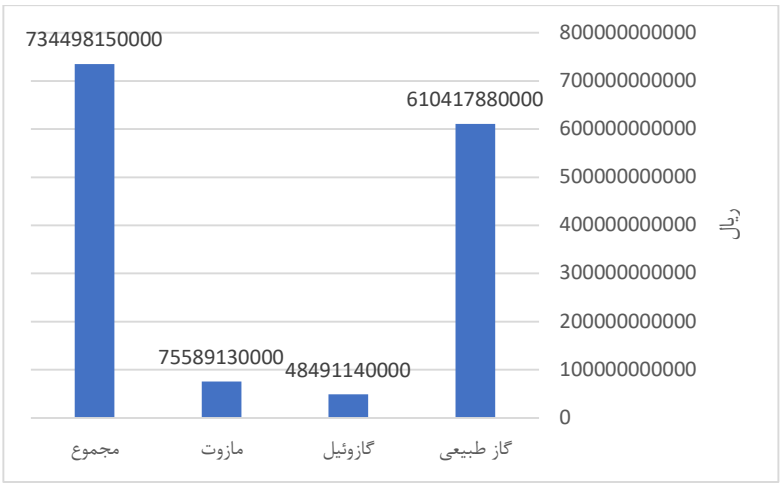
مقدار عایدی مالی از ساخت نیروگاه برای دولت

با صرفه‌جویی منابع نام برده شده در قسمت قبل مقدار مالی این منابع را محاسبه نموده و عایدی این مورد که مستقیما برای دولت خواهد بود در نظر گرفته شده است.

جدول ۴-۱۸ میزان صرفه‌جویی مالی در سوخت‌های فسیلی (در یک سال)

	گاز طبیعی	گازوئیل	مازوت	مجموع (ریال)
سوخت‌های فسیلی صرفه‌جویی شده	۶۱۰,۴۱۷,۸۸۰,۰۰۰	۴۸,۴۹۱,۱۴۰,۰۰۰	۷۵,۵۸۹,۱۳۰,۰۰۰	۷۳۴,۴۹۸,۱۵۰,۰۰۰

با صرف مقدار هزینه‌های مالی بالا دولت سالیانه در حال تامین برق شهرستان شاهرود است، آیا وقت آن نرسیده که در این هزینه‌های این چنینی صرفه‌جویی انجام داد؟ اگر برای شهرستان شاهرود به طور سالیانه مبلغ ۷۳۴,۴۹۸,۱۵۰,۰۰۰ ریال برای تولید برق صرف می‌شود و این عدد را در طول عمر پروژه که ۲۵ سال است محاسبه نمود به رقم بزرگ ۱۸,۳۶۲,۴۵۳,۷۵۰,۰۰۰ ریال خواهد رسید.

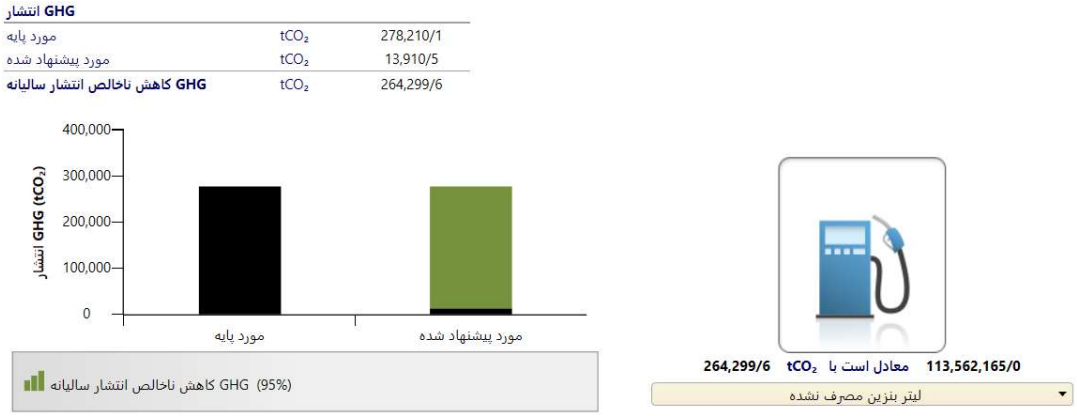


شکل ۴-۱۱ منابع صرفه‌جویی شده برای دولت

این عایدی تنها صرفه‌جویی برای دولت خواهد بود و عایدی برای سازنده نیروگاه هنوز محاسبه نشده است.

۴-۵-۳ منافع ناشی از عدم آلایندگی و خسارت به محیط زیست

نوع دوم از درآمدهای طرح ناشی از فواید زیست محیطی و کاهش خسارت به محیط زیست خواهد بود که طبق خروجی نرم‌افزار RetScreen به صورت زیر خواهد بود.

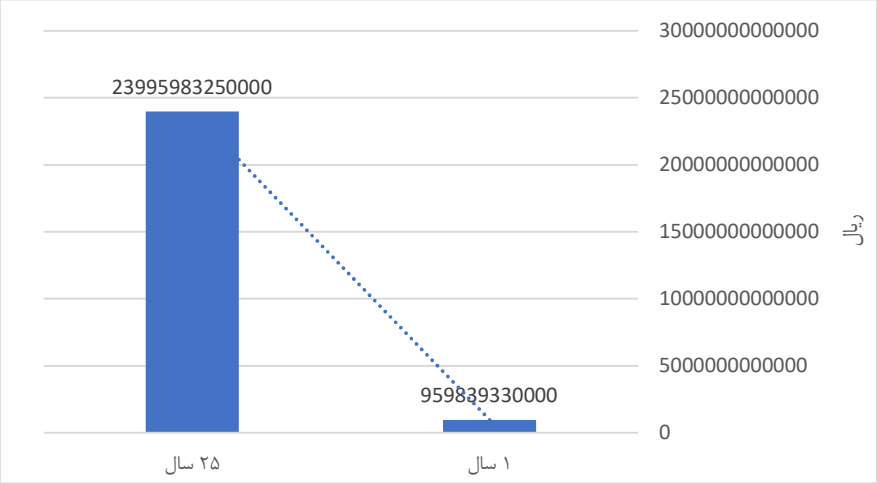


شکل ۴-۱۲ میزان جلوگیری از خسارت به محیط زیست با ساخت نیروگاه

به طور قابل درک می‌توان گفت که با اجرای این طرح و ساخت نیروگاه فتوولتائیک شاهرود سالیانه میزان ۲۶۴,۲۹۹ تن دی اکسید کربن کمتر وارد محیط زیست خواهد شد و در این حالت هوای سالم و پاک‌تری خواهیم داشت، عاملی که این روزها شدیدا در شهرهای بزرگ مانند تهران، اهواز، اصفهان، مشهد و بسیاری از شهرهای دیگر کشور ایران قابل مشاهده می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۴-۶ مشاهده می‌شود سالیانه به مقدار سوختن ۱۱۳,۵۶۲,۱۶۵ لیتر بنزین آلودگی کمتری وارد محیط زیست خواهد شد که اگر این مقدار را در طول عمر پروژه محاسبه کنیم این مقدار به ۶,۶۰۷,۴۷۵ تن آلودگی (دی اکسید کربن) خواهد رسید به عبارتی معادل سوختن ۲,۸۳۹,۰۵۴,۱۲۵ لیتر بنزین. اگر در چند شهر آلوده ایران مانند اهواز یا تهران چنین نیروگاه‌هایی تاسیس شود شاهد کاهش آلودگی بسیار زیادی در آن مکان‌ها خواهد شد.

۴-۶ جریان وجوه نقد و تامین مالی پروژه

با توجه به میزان تولید نیروگاه که راستای مصرف شهرستان شاهرود می‌باشد و در طی یک سال میزان ۱۴۲,۶۲۱,۰۰۰ کیلووات مورد نیاز خواهد بود لذا درآمد مالی سازنده نیروگاه به صورت زیر خواهد بود. (با فرض تورم صفر و عدم تغییر نرخ بهره)

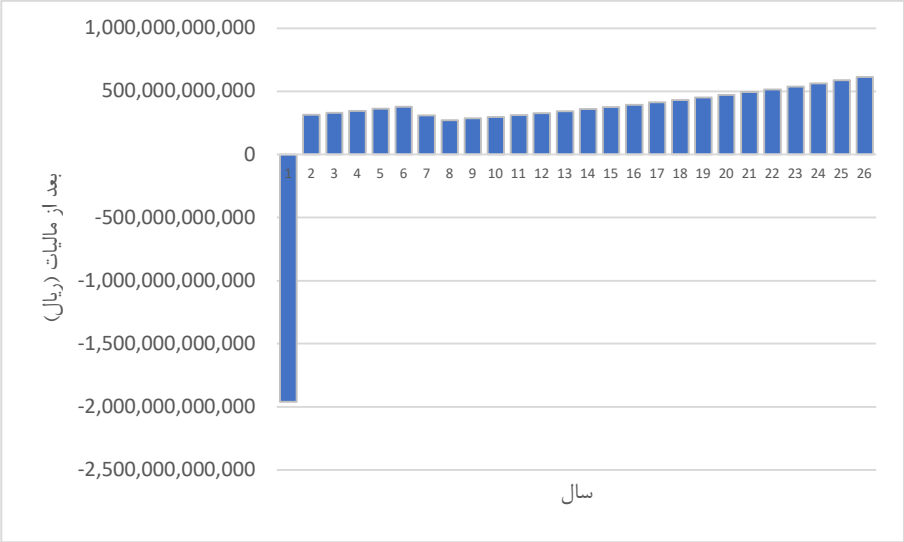


شکل ۴-۱۲ میزان درآمد سالانه و کل طرح (بدون در نظر گرفتن تورم و نرخ بهره)

درآمد یک سال نیروگاه فتوولتائیک شاهرود: ۹۵۹,۸۳۹,۳۳۰,۰۰۰ ریال

درآمد ۲۵ سال نیروگاه فتوولتائیک شاهرود: ۲۳,۹۹۵,۹۸۳,۲۵۰,۰۰۰ ریال

که البته این میزان با افزایش ۱۰ درصدی بهای برق برای مصرف کننده به صورت هر ساله افزایش خواهد یافت و ارزش پول ساخت نیروگاه نیز با نرخ تورم حداقلی ۱۰ درصدی سالیانه سود بیشتری عاید مجری طرح خواهد بود که با نرم‌افزار RetScreen قابل مقایسه خواهد بود. (با در نظر گرفتن نرخ تورم)

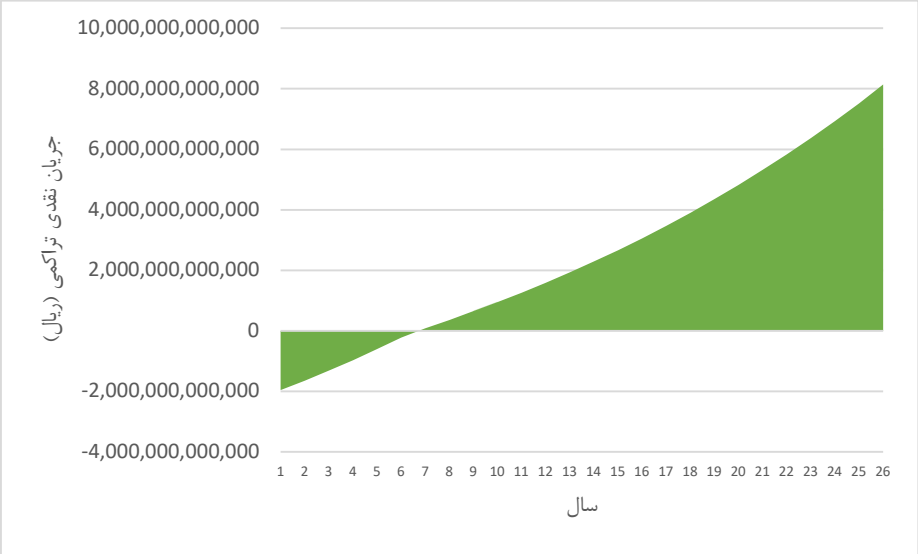


شکل ۴-۱۳ جریان نقدینگی نقطه به نقطه سالیانه نیروگاه فتوولتائیک شاهرود (RetScreen)

جریان‌های نقدینگی سالیانه را در شکل‌های ۴-۱۳ و ۴-۱۴ مشاهده خواهیم نمود. این نمودارها که از

نرم‌افزار RetScreen برای نیروگاه فتوولتائیک شاهرود برآیند شده است در شکل اول نشان دهنده میزان هزینه‌ها و درآمدها و یا همان جریانات نقدینگی به صورت نقطه به نقطه سالیانه است و در شکل دوم که در زیر نشان داده شده است جریان نقدینگی را به صورت تراکمی نشان داده شده است.

به عبارتی دیگر می‌توان این گونه بیان کرد که در شکل بالا میزان درآمدها و هزینه‌های طرح به صورت تجمعی بیان نشده است و برای هر سال به صورت جداگانه بررسی شده است، به طور مثال میزان هزینه‌های ثابت و ابتدایی نیروگاه کاملا قابل تمایز از قسمت بعدی خواهد بود و به همین منوال برای سال‌های آتی، با این وجود در شکل پایین شاهد جریانات تجمعی بوده‌ایم به صورتی که هزینه‌های ثابت نیروگاه که در ابتدای طرح انجام شده است اثراتش در ردیف بعدی خواهد بود و درآمد سال دوم کمی از هزینه‌های ابتدای طرح را جبران نموده و آن را به بخش تراز بالاتری کشانده است، چنین نموداری را جریانات نقدی تراکمی خواهند نامید و با استفاده از آن به صورت بصری می‌توان شاهد نقطه سر به سر هزینه‌ها و درآمدها و بازگشت سرمایه طرح بود.



شکل ۴-۱۴ جریان نقدینگی تراکمی نیروگاه فتوولتائیک شاهرود (با لحاظ تورم و متغیرهای دیگر)

محاسبات بالا در نرم‌افزار RetScreen با نرخ تورم ۱۰ درصد و طول عمر پروژه ۲۵ سال و همچنین نرخ مالیات بر درآمد ۳۵ درصدی در نظر گرفته شده است البته در این مورد دولت معافیت مالیاتی تا مدت زمان خاصی را مشخص می‌کند ولی با این حال ما در این آنالیز آن را محاسبه نموده‌ایم.

مقادیر جدول بالا بعد از کسر کلیه هزینه‌های ثابت و متغیر و مالیات و در نظر گرفتن تورم و استهلاک و همچنین نرخ افزایش سالیانه برق محاسبه و تخمین زده شده است. افت استهلاک لحاظ شده و همچنین دوره بازگشت سرمایه و ارزش فعلی پول نیز برآورد شده است.

جدول ۴-۱۹ جریان نقدینگی سالیانه نیروگاه

سال	بعد از مالیات (ریال)	قبل از مالیات (ریال)	تراکمی (ریال)
۰	-۱,۹۵۸,۱۸۶,۳۳۰,۰۰۰	-۱,۹۵۸,۱۸۶,۳۳۰,۰۰۰	-۱,۹۵۸,۱۸۶,۳۳۰,۰۰۰
۱	۳۱۴,۹۱۰,۴۸۴,۴۸۰	۳۱۴,۹۱۰,۴۸۴,۴۸۰	-۱,۶۴۳,۲۷۵,۸۴۵,۵۱۰
۲	۳۳۰,۱۰۶,۰۰۸,۷۰۰	۳۳۰,۱۰۶,۰۰۸,۷۰۰	-۱,۳۱۳,۱۶۹,۸۳۶,۸۰۰
۳	۳۴۶,۰۰۶,۳۰۹,۱۴۰	۳۴۶,۰۰۶,۳۰۹,۱۴۰	-۹۶۷,۱۶۳,۵۲۷,۶۶۰
۴	۳۶۲,۶۴۱,۱۲۴,۶۰۰	۳۶۲,۶۴۱,۱۲۴,۶۰۰	-۶۰۴,۵۲۲,۴۰۳,۰۶۰
۵	۳۸۰,۰۴۱,۱۳۰,۸۳۰	۳۸۰,۰۴۱,۱۳۰,۸۳۰	-۲۲۴,۴۸۱,۲۷۲,۲۳۰
۶	۳۱۱,۳۷۹,۲۲۳,۱۳۰	۳۹۸,۲۳۷,۹۳۲,۳۷۰	۸۶,۸۹۷,۹۵۰,۸۹۰
۷	۲۷۲,۵۹۲,۳۶۱,۹۴۰	۴۱۷,۲۶۴,۰۴۸,۴۹۰	۳۵۹,۴۹۰,۳۱۲,۸۴۰
۸	۲۸۵,۵۲۰,۱۱۰,۴۶۰	۴۳۷,۱۵۲,۸۹۲,۳۶۰	۶۴۵,۰۱۰,۴۲۳,۳۱۰
۹	۲۹۹,۰۳۰,۹۱۳,۱۰۰	۴۵۷,۹۳۸,۷۴۲,۵۷۰	۹۴۴,۰۴۱,۳۳۶,۴۲۰
۱۰	۳۱۳,۱۴۷,۵۸۹,۲۴۰	۴۷۹,۶۵۶,۷۰۵,۸۶۰	۱,۲۵۷,۱۸۸,۹۲۵,۶۶۰
۱۱	۳۲۷,۸۹۳,۴۶۵,۸۸۰	۵۰۲,۳۴۲,۶۶۹,۹۲۰	۱,۵۸۵,۰۸۲,۳۹۱,۵۴۰
۱۲	۳۴۳,۲۹۲,۳۳۹,۷۲۰	۵۲۶,۰۳۳,۲۴۵,۰۶۰	۱,۹۲۸,۳۷۴,۷۳۱,۲۷۰
۱۳	۳۵۹,۳۶۸,۴۳۰,۹۶۰	۵۵۰,۷۶۵,۶۹۳,۱۳۰	۲,۲۸۷,۷۴۳,۱۶۲,۲۳۰
۱۴	۳۷۶,۱۴۶,۳۲۷,۸۴۰	۵۷۶,۵۷۷,۸۴۲,۱۸۰	۲,۶۶۳,۸۸۹,۴۹۰,۰۸۰
۱۵	۳۹۳,۶۵۰,۹۲۰,۷۶۰	۶۰۳,۵۰۷,۹۸۵,۱۲۰	۳,۰۵۷,۵۴۰,۴۱۰,۸۴۰
۱۶	۴۱۱,۹۰۷,۳۲۴,۶۲۰	۶۳۱,۵۹۴,۷۶۰,۲۹۰	۳,۴۶۹,۴۴۷,۷۳۵,۴۷۰
۱۷	۴۳۰,۹۴۰,۷۸۸,۱۱۰	۶۶۰,۸۷۷,۰۱۱,۸۱۰	۳,۹۰۰,۳۸۸,۵۲۳,۵۸۰
۱۸	۴۵۰,۷۷۶,۵۸۸,۱۵۰	۶۹۱,۳۹۳,۶۲۷,۲۶۰	۴,۳۵۱,۱۶۵,۱۱۱,۷۳۰
۱۹	۴۷۱,۴۳۹,۹۰۷,۹۱۰	۷۲۳,۱۸۳,۳۴۹,۹۷۰	۴,۸۲۲,۶۰۵,۰۱۹,۶۴۰
۲۰	۴۹۲,۹۵۵,۶۹۶,۳۴۰	۷۵۶,۲۸۴,۵۶۲,۹۴۰	۵,۳۱۵,۵۶۰,۷۱۵,۹۹۰
۲۱	۵۱۵,۳۴۸,۵۰۷,۱۵۰	۷۹۰,۷۳۵,۰۴۱,۱۱۰	۵,۸۳۰,۹۰۹,۲۲۳,۱۵۰

سال	بعد از مالیات (ریال)	قبل از مالیات (ریال)	تراکمی (ریال)
۲۲	۵۳۸,۶۴۲,۳۱۴,۷۶۰	۸۲۶,۵۷۱,۶۶۸,۲۰۰	۶,۳۶۹,۵۵۱,۵۳۷,۹۱۰
۲۳	۵۶۲,۸۶۰,۳۰۴,۶۲۰	۸۶۳,۸۳۰,۱۱۴,۱۴۰	۶,۹۳۲,۴۱۱,۸۴۲,۵۴۰
۲۴	۵۸۸,۰۲۴,۶۳۵,۰۴۰	۹۰۲,۵۴۴,۴۶۸,۶۳۰	۷,۵۲۰,۴۳۶,۴۷۷,۵۸۰
۲۵	۶۱۴,۱۵۶,۱۶۷,۱۵۰	۹۴۲,۷۴۶,۸۲۵,۷۲۰	۸,۱۳۴,۵۹۲,۶۴۴,۷۴۰

همچنین نرخ افزایش بهای تمام شده برق برای مصرف کننده سالیانه ۵ درصد در نظر گرفته شده است با وجود تمامی این تفاسیر میزان جریان‌های نقدینگی به صورت بالا بوده است و دوره بازگشت سرمایه در قسمت بعدی محاسبه و تحلیل خواهد شد. در جدول ۴-۱۹ درآمدها و هزینه‌های پروژه در یک دوره ۲۵ ساله به طور کامل وارد و به صورت قبل از مالیات و بعد از مالیات برآورد شده است. (هزینه‌های متغیر نیز به صورت سالیانه اضافه شده است) البته لازم به ذکر است که نرخ بهای افزایش برق در این قسمت ۵ درصد در نظر گرفته شده است که اگر آن را ۱۰ درصد به طور سالیانه در نظر گرفته شده بود مقدار ۶۱۴,۱۵۶,۱۶۷,۱۵۰ ریال به مقدار قابل توجهی افزایش و به عدد ۱۹,۸۵۰,۱۱۳,۱۴۲,۱۱۰ ریال رسیده خواهد بود.

۴-۷ محاسبه ارزش حال کل پروژه و شاخص PI

برای محاسبه ارزش حال پروژه برای هر سال به صورت جداگانه با نرخ تنزیل ۴ درصد از روش زیر استفاده خواهیم نمود:

$$V_t = W_t + W_t.2\theta Q_t + \beta$$

که در آن W_t قیمت فروش برق و قسمت دوم کاهش ارزش تلفات برق با جایگزینی سیستم فتوولتائیک بجای سوخت فسیلی است و در قسمت آخر β میزان سود مالی ناشی از کاهش آلایندگی است. در ادامه با بررسی شاخص PI به مقدار بدست آمده این شاخص نیز با فرمول زیر برای هر سال محاسبه خواهیم نمود:

$$PI = \frac{present\ value\ of\ future\ cash\ flow}{initial\ investment}$$

جدول ۴-۲۰ میزان ارزش حال سرمایه گذاری انجام شده برای هر سال به صورت جدا

سال	فروش برق هر سال (Wt)	تلفات برق	منفعت کاهش آلودگی (بنزین ۱۵۰۰۰ ریال)	کل منفعت هر سال	ارزش حال کل درآمد (Vt)	نسبت ارزش حال به سرمایه‌گذاری اولیه (PI)
۱	۳۱۴,۹۱۰,۴۸۴,۴۸۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۰۱۸,۳۴۲,۹۵۹,۴۸۰	۱۹۴۰۷۱۴۳۸۴۱۱۵	۰/۹۹۰۴۳۳۹۸۳
۲	۳۳۰,۱۰۶,۰۰۸,۷۰۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۰۳۳,۵۳۸,۴۸۳,۷۰۰	۱۸۸۰۱۲۰۶۳۹۵۱۶	۰/۹۵۹۵۱۰۲۶۵
۳	۳۴۶,۰۰۶,۳۰۹,۱۴۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۰۴۹,۴۳۸,۷۸۴,۱۴۰	۱۸۲۲۰۴۷۲۸۳۱۹۷	۰/۹۲۹۸۷۲۸۱۵
۴	۳۶۲,۶۴۱,۱۲۴,۶۰۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۰۶۶,۰۷۳,۵۹۹,۶۰۰	۱۷۶۶۱۷۶۷۸۲۰۱۴	۰/۹۰۱۳۵۹۵۸۱
۵	۳۸۰,۰۴۱,۱۳۰,۸۳۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۰۸۳,۴۷۳,۶۰۵,۸۳۰	۱۷۱۲۵۳۷۸۹۷۲۷۹	۰/۸۷۳۹۸۵۲۴۲
۶	۳۱۱,۳۷۹,۲۲۳,۱۳۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۰۱۴,۸۱۱,۶۹۸,۱۳۰	۱۵۹۲۳۵۸۸۸۵۷۴۳	۰/۸۱۲۶۵۲۴۷۸
۷	۲۷۲,۵۹۲,۳۶۱,۹۴۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۱,۹۷۶,۰۲۴,۸۳۶,۹۴۰	۱۵۰۱۶۵۲۷۳۷۲۴۴	۰/۷۶۶۳۶۱۰۴۴
۸	۲۸۵,۵۲۰,۱۱۰,۴۶۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۱,۹۸۸,۹۵۲,۵۸۵,۴۶۰	۱۴۵۳۳۸۱۵۰۱۹۸۰	۰/۷۴۱۷۲۶۰۵۸
۹	۲۹۹,۰۳۰,۹۱۳,۱۰۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۰۰۲,۴۶۳,۳۸۸,۱۰۰	۱۴۰۶۹۱۵۸۹۱۳۰۹	۰/۷۱۸۰۱۲۵۶۳
۱۰	۳۱۳,۱۴۷,۵۸۹,۲۴۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۰۱۶,۵۸۰,۰۶۴,۲۴۰	۱۳۶۲۳۶۹۹۹۳۴۰۶	۰/۶۹۵۲۷۸۷۸۵
۱۱	۳۲۷,۸۹۳,۴۶۵,۸۸۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۰۳۱,۳۲۵,۹۴۰,۸۸۰	۱۳۱۹۵۵۶۹۳۱۸۴۴	۰/۶۷۳۴۲۹۳۵۱
۱۲	۳۴۳,۲۹۲,۳۳۹,۷۲۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۰۴۶,۷۲۴,۸۱۴,۷۲۰	۱۲۷۸۴۰۴۰۰۶۶۹۶	۰/۶۵۲۴۲۷۱۵۹
۱۳	۳۵۹,۳۶۸,۴۳۰,۹۶۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۰۶۲,۸۰۰,۹۰۵,۹۶۰	۱۲۳۸۹۱۹۴۶۳۰۳۹	۰/۶۳۲۲۷۶۴۱۸
۱۴	۳۷۶,۱۴۶,۳۲۷,۸۴۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۰۷۹,۵۷۸,۸۰۲,۸۴۰	۱۲۰۰۹۵۷۹۵۹۵۹۸	۰/۶۱۲۹۰۲۹۵۲
۱۵	۳۹۳,۶۵۰,۹۲۰,۷۶۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۰۹۷,۰۸۳,۳۹۵,۷۶۰	۱۱۶۴۴۶۴۰۹۸۹۲۸	۰/۵۹۴۲۷۸۴۹۱
۱۶	۴۱۱,۹۰۷,۳۲۴,۶۲۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۱۱۵,۳۳۹,۷۹۹,۶۲۰	۱۱۲۹۴۴۶۲۰۶۲۱۵	۰/۵۷۶۴۰۷۲۸۳
۱۷	۴۳۰,۹۴۰,۷۸۸,۱۱۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۱۳۴,۳۷۳,۲۶۳,۱۱۰	۱۰۹۵۷۳۰۴۰۸۷۰۲	۰/۵۵۹۲۰۰۵۹۲
۱۸	۴۵۰,۷۷۶,۵۸۸,۱۵۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۱۵۴,۲۰۹,۰۶۳,۱۵۰	۱۰۶۳۳۸۶۸۴۱۳۲۲	۰/۵۴۲۶۹۴۲۱۳
۱۹	۴۷۱,۴۳۹,۹۰۷,۹۱۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۱۷۴,۸۷۲,۳۸۲,۹۱۰	۱۰۳۲۳۱۰۷۹۵۰۰۲	۰/۵۲۶۸۳۴۷۰۶
۲۰	۴۹۲,۹۵۵,۶۹۶,۳۴۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۱۹۶,۳۸۸,۱۷۱,۳۴۰	۱۰۰۲۴۱۳۴۷۷۸۶۰	۰/۵۱۱۵۷۶۷۵۸
۲۱	۵۱۵,۳۴۸,۵۰۷,۱۵۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۲۱۸,۷۸۰,۹۸۲,۱۵۰	۹۷۳۷۰۴۷۳۶۱۰۰	۰/۴۹۶۹۲۵۳۹۴
۲۲	۵۳۸,۶۴۲,۳۱۴,۷۶۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۲۴۲,۰۷۴,۷۸۹,۷۶۰	۹۴۶۰۶۳۰۳۶۳۱۴	۰/۴۸۲۸۱۸۵۸۹
۲۳	۵۶۲,۸۶۰,۳۰۴,۶۲۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۲۶۶,۲۹۲,۷۷۹,۶۲۰	۹۱۹۵۰۰۴۵۸۳۱۹	۰/۴۶۹۲۶۲۵۰۹
۲۴	۵۸۸,۰۲۴,۶۳۵,۰۴۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۲۹۱,۴۵۷,۱۱۰,۰۴۰	۸۹۳۹۴۸۰۷۸۶۶۴	۰/۴۵۶۲۲۱۹۷۹
۲۵	۶۱۴,۱۵۶,۱۶۷,۱۵۰	۰	۱۷۰۳۴۳۲۴۷۵۰۰۰	۲,۳۱۷,۵۸۸,۶۴۲,۱۵۰	۸۶۹۳۷۸۲۸۸۷۵۰	۰/۴۴۳۶۸۲۹۰۸
مجموع	۱۰,۰۹۲,۷۷۸,۹۷۴,۶۳۰	۰	۴۲۵۸۵۸۱۱۸۷۵۰۰۰	۵۲,۶۷۸,۵۹۰,۸۴۹,۶۳۰	۳۲۵۶۶۴۶۰۷۸۳۱۵۷	۰/۶۶

۴-۸ دوره بازگشت سرمایه

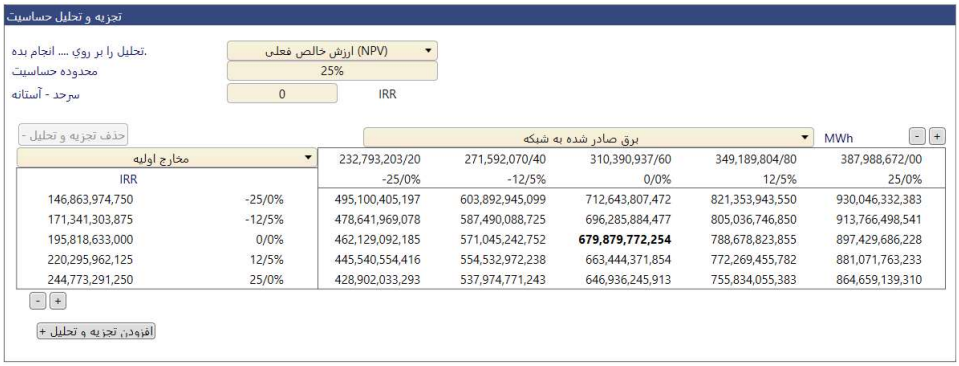
بازده‌ی سرمایه‌گذاری یا نرخ بازگشت سرمایه نسبتی می‌باشد که سود حاصل شده از سرمایه‌گذاری را در قالب درصدی از هزینه‌ی اولیه محاسبه می‌کند. به عبارت دیگر، در قالب درصدی از هزینه‌ی خرید، حساب می‌کند که این سرمایه‌گذاری چقدر سودآوری داشته است. نرخ بازگشت سرمایه به سرمایه‌گذاران نشان می‌دهد که هر یک ریالی که در پروژه‌ای سرمایه‌گذاری کردند، چقدر سود داشته است. سرمایه‌گذاران نه تنها برای ارزیابیِ چگونگی عملکردِ سرمایه‌گذاری‌شان، بلکه برای مقایسه‌ی عملکرد سرمایه‌گذاری‌های مختلف در انواع و اندازه‌های متفاوت هم از این نسبت استفاده می‌کنند. بازگشت سرمایه در پروژه ساخت نیروگاه فتوولتائیک شاهرود با احتساب کلیه عواید و هزینه‌ها ۵/۷ سال محاسبه شده است و با توجه به هزینه انجام شده بعد از این میزان سال طرح توجیه اقتصادی خواهد داشت.

سهام -IRR قبل از مالیات	%	20/4%
دارایی -IRR قبل از مالیات	%	20/4%
نرخ بازده داخلی بعد از احتساب مالیات - ارزش بازاری دارایی	%	17/1%
نرخ بازده داخلی بعد از احتساب مالیات - ارزش دارایی	%	17/1%
بازپرداخت ساده	سال	6/5
برگشت سرمایه	سال	5/7
ارزش خالص فعلی (NPV)	IRR	679,879,772,254
عمر چرخه ي پس انداز سالیانه	سال/IRR	30,871,133,161
نسبت هزینه - فایده (B-C)		4/5
پوشش هزینه های بدهی		بدون قرض

شکل ۴-۱۵ بررسی مالی نیروگاه (RetScreen)

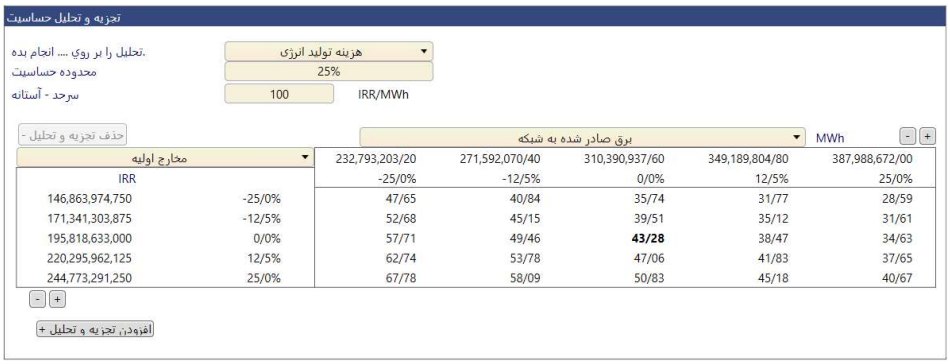
۴-۹ نتایج تحلیل ریسک و حساسیت پروژه

در این قسمت به تحلیل حساسیت و ریسک متغیر هایی چون بازگشت سرمایه، ارزش خالص فعلی(NPV)، نرخ بازده داخلی (IRR) پرداخته شده است.



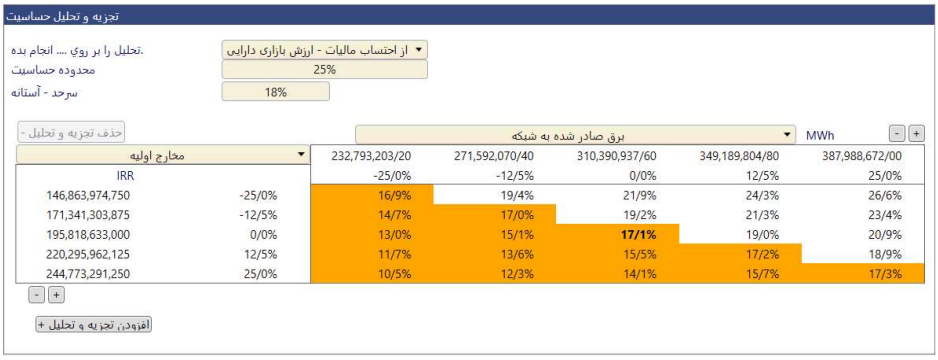
شکل ۴-۱۷ تجزیه و تحلیل حساسیت NPV با محدوده ۲۵ درصد

با توجه به شکل ۴-۱۷ و با در نظر گرفتن ثبات سایر متغیرها با افزایش ۲۵ درصدی مخارج اولیه میزان NPV کاهش یافته و طرح نسبت به قبل ناکارآمدتر خواهد شد.



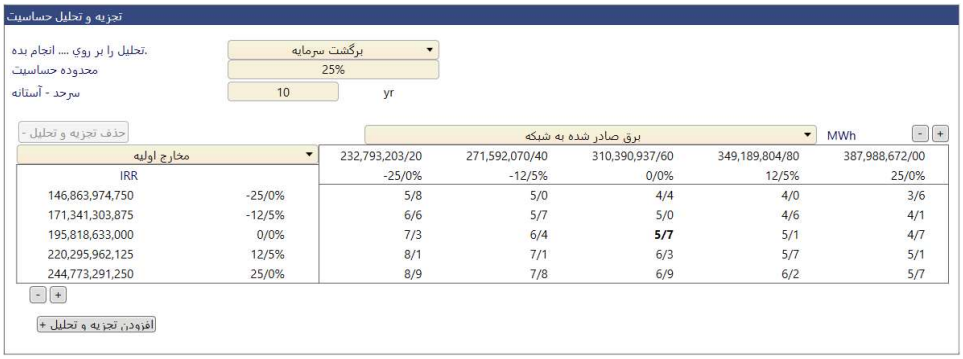
شکل ۴-۱۸ تجزیه تحلیل حساسیت هزینه تولید انرژی با محدوده ۲۵ درصد

با توجه به شکل ۴-۱۸ و با در نظر گرفتن ثبات سایر متغیرها با افزایش ۲۵ درصدی مخارج اولیه میزان هزینه تولید انرژی افزایش یافته و طرح نسبت به قبل ناکارآمدتر خواهد شد.



شکل ۴-۱۹ تجزیه تحلیل حساسیت نرخ بازده داخلی (IRR) با محدوده ۲۵ درصد

با توجه به شکل ۴-۱۹ و با در نظر گرفتن ثبات سایر متغیرها با افزایش ۲۵ درصدی مخارج اولیه میزان IRR کاهش یافته و طرح نسبت به قبل ناکارآمدتر خواهد شد.



شکل ۴-۲۰ تجزیه تحلیل حساسیت بازگشت سرمایه با محدوده ۲۵ درصد

با توجه به شکل ۴-۲۰ و با در نظر گرفتن ثبات سایر متغیرها با افزایش ۲۵ درصدی مخارج اولیه میزان برگشت سرمایه طرح افزایش یافته و طرح نسبت به قبل ناکارآمدتر خواهد شد.

۴-۹-۱ سناریوی اول (اثر افزایش نرخ تورم)

سناریو اول باتوجه به تورمی بودن کشور ایران و نرخ بالای تورم در سالیان مختلف با افزایش ۱۰ درصد نرخ تورم در ارزیابی پروژه لحاظ شد، که مدل را دچار تغییراتی نمود که از مهم‌ترین موارد می‌توان به متغیرهای زیر در جدول ۴-۲۱ اشاره نمود.

جدول ۴-۲۱ تغییرات در نتایج ارزیابی با سناریوی ۱۰ درصد افزایش نرخ تورم در جامعه

	تورم ۱۰ درصد	تورم ۲۰ درصد	اختلاف
درآمد کل (ریال)	۸,۱۳۵,۱۲۹,۰۷۴,۶۷۰	۵,۱۵۶,۸۵۸,۱۰۰,۵۱۰	۲,۹۷۸,۲۷۰,۹۷۴,۱۶۰
بازگشت سرمایه	۵/۷	۵/۸	۰/۱
نرخ بازده داخلی (IRR)	۱۷/۱	۱۵/۷	۱/۴
ارزش خالص فعلی (NPV)	۶,۷۹۹,۲۵۹,۶۳۰,۳۲۰	۴,۳۷۸,۱۲۲,۰۶۹,۴۸۰	۲,۴۲۱,۱۳۷,۵۶۰,۸۴۰

همانگونه که در جدول بالا قابل مشاهده است افزایش نرخ تورم کارایی اقتصادی پروژه را کاهش داده.

۴-۹-۲ سناریوی دوم (اثر افزایش نرخ بهره)

سناریو دوم با گرفتن وام بانکی و تغییر در نرخ بهره محاسبه شده است، به این صورت که اگر برای احداث نیروگاه ۵۰ درصد هزینه ها به صورت وام ۳ ساله دریافت شود و نرخ بهره ۱۰ درصد افزایش یابد متغیرهای اقتصادی شامل چه تغییراتی خواهند شد؛ که می توان در جدول ۴-۲۲ این تغییرات را مشاهده نمود.

جدول ۴-۲۲ تغییرات در نتایج ارزیابی با سناریوی ۱۰ درصد افزایش در نرخ بهره

	نرخ بهره ۴ درصد	نرخ بهره ۱۴ درصد	اختلاف
درآمد کل (ریال)	۸,۰۸۳,۵۵۰,۷۸۷,۹۹۰	۷,۹۴۹,۱۷۳,۴۴۷,۵۲۰	۱۳۴,۳۷۷,۳۴۰,۴۷۰
بازگشت سرمایه	۵/۹	۶/۴	۰/۵
نرخ بازده داخلی (IRR)	۱۱/۸	۱۱/۲	۰/۶
ارزش خالص فعلی (NPV)	۶,۷۶۶,۸۹۳,۰۶۲,۲۰۰	۶,۶۳۲,۲۶۵,۶۸۳,۱۱۰	۱۳۴,۶۲۷,۳۷۹,۰۹۰

همانگونه که در جدول بالا قابل مشاهده است افزایش نرخ بهره کارایی اقتصادی پروژه را کاهش داده.

۴-۹-۳ سناریوی سوم (اثر افزایش مخارج اولیه)

سناریو سوم با این شرایط مورد آزمایش قرار گرفته، که به مخارج اولیه طرح میزان ۱۰ درصد بیافزاییم در این شرایط متغیرهای اقتصادی شامل چه تغییراتی خواهند شد؛ که می توان در جدول ۴-۲۳ این تغییرات را مشاهده نمود.

جدول ۴-۲۳ تغییرات در نتایج ارزیابی با سناریوی ۱۰ درصد افزایش در مخارج اولیه طرح

	حالت استاندارد	مخارج اولیه ۱۰ درصد	اختلاف
درآمد کل (ریال)	۸,۱۳۵,۱۲۹,۰۷۴,۶۷۰	۷,۹۳۷,۸۰۶,۹۲۶,۶۸۰	۱۹۷,۳۲۲,۱۴۷,۹۹۰
بازگشت سرمایه	۵/۷	۶/۲	۰/۵
نرخ بازده داخلی (IRR)	۱۷/۱	۱۵/۷	۱/۴
ارزش خالص فعلی (NPV)	۶,۷۹۹,۲۵۹,۶۳۰,۳۲۰	۶,۶۰۸,۸۲۶,۰۲۱,۴۷۰	۱۹۰,۴۳۳,۶۰۸,۸۵۰

همانگونه که در جدول بالا قابل مشاهده است افزایش مخارج اولیه کارایی اقتصادی پروژه را کاهش داده.

۴-۹-۴ سناریوی چهارم (اثر افزایش کلیه پارامترها)

سناریو چهارم با این شرایط مورد تحلیل قرار خواهد گرفت که به کلیه سناریوهای قسمت‌های قبل عمل نموده و تاثیر تمامی آن‌ها را در پروژه اقتصادی لحاظ گردیده شود. با این تفاسیر در این شرایط متغیرهای اقتصادی شامل چه تغییراتی خواهند شد؛ که می توان در جدول ۴-۲۴ این تغییرات را مشاهده نمود.

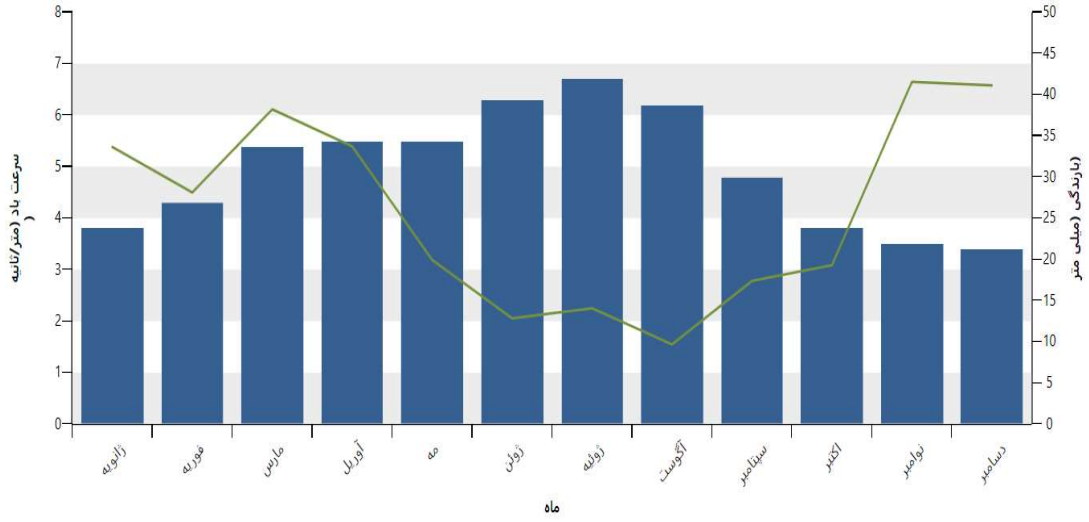
جدول ۴-۲۴ تغییرات در نتایج ارزیابی با سناریوی افزایش کلیه پارامترها

افزایش تمامی پارامتر ها	حالت استاندارد	حالت سناریوی ۴	اختلاف
درآمد کل (ریال)	۸,۱۳۵,۱۲۹,۰۷۴,۶۷۰	۴,۳۴۱,۳۷۵,۷۹۲,۹۲۰	۳,۷۹۳,۷۵۳,۲۸۱,۷۵۰
بازگشت سرمایه	۵/۷	۷/۵	۱/۸
نرخ بازده داخلی (IRR)	۱۷/۱	۷/۶	۹/۵
ارزش خالص فعلی (NPV)	۶,۷۹۹,۲۵۹,۶۳۰,۳۲۰	۳,۶۵۹,۶۰۷,۲۳۳,۷۷۰	۳,۱۳۹,۶۵۲,۳۹۶,۵۵۰

همانگونه که در جدول بالا قابل مشاهده است افزایش هم‌زمان کلیه پارامترها به شدت کارایی اقتصادی پروژه را کاهش داده.

تحلیل ریسک و خطرات پروژه

یکی از اقدامات مورد نیاز برای احداث هر پروژه قطعا بخش تحلیل ریسک آن خواهد بود که در این پژوهش ابتدا با ریسک‌های محیط زیستی و آب‌وهوایی شروع خواهیم نمود سپس به بخش مالی آن چشم خواهیم داشت. در ادامه نمودار مربوط به میزان وزش باد و میزان بارندگی نرم‌افزار RetScreen آورده شده است که این دو وقایع می‌توانند منجر به کاهش راندمان و یا خرابی سیستم‌ها شود.

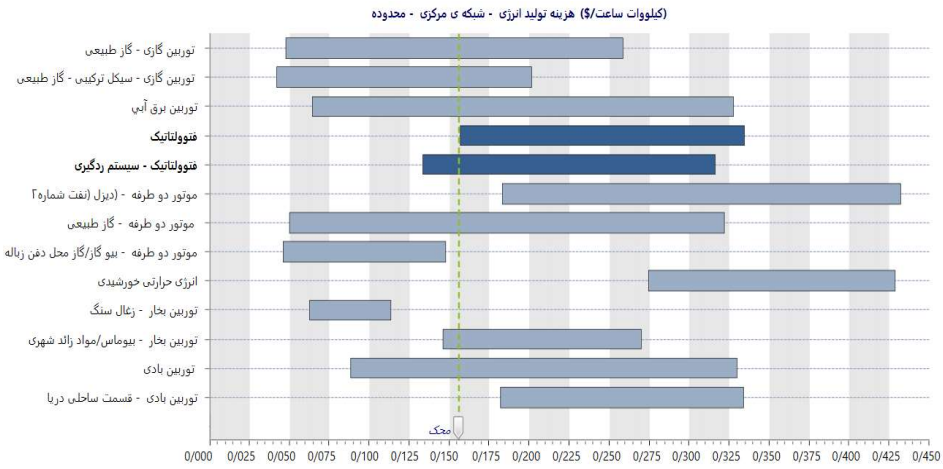


شکل ۴-۲۱ میزان سرعت وزش باد و میزان بارندگی برای هر ماه

همانطور که پیداست و از داده‌های شرکت ناسا قابل مشاهده است شهرستان شاهرود با داشتن سرعت وزش باد تقریبی ۵ متر بر ثانیه در فصول سال دارای میزان قابل قبولی بوده است که البته گاهی در برخی ماه‌ها سرعت آن افزایش و یا کاهش پیدا کرده است با این حال سنگ اندازی‌ای در اجرای پروژه فتوولتائیک نخواهد داشت و لذا در مناطق باد خیز شهر شاید توان تولید برق از این روش را نیز دارا باشد. در قسمت دوم میزان بارندگی بر حسب میلی متر نشان داده شده است در ماه‌های گرم سال میزان بارندگی بسیار بسیار اندک بوده و تا ۱۰ میلی متر هم کاسته خواهد شد و حتی در ماه‌های پر رونق بارشی هم بارش زیادی را مشاهده نخواهد نمود و حداکثر آن تا ۳۵ الی ۴۰ میلی متر خواهد رفت. لذا نباید شاهد ریسک قابل توجه‌ای در این دو بخش باشیم و شرایط آب‌وهوایی مناسب است.

۴-۱۰ مقایسه هزینه راه‌اندازی نیروگاه PV با سایر نیروگاه‌ها

این که با میزان مشخصی منابع مالی ساخت چه نیروگاه‌هایی صرفه اقتصادی بیشتری دارد یکی دیگر از تحلیل‌های اقتصادی مهندسی خواهد بود.



شکل ۴-۲۲ صرفه اقتصادی ساخت نیروگاه‌های تولید برق مختلف

در حال حاضر با توجه به منابع مالی موجود در کشور و انواع مختلف سامانه‌های تولید برق شاهد این هستیم که فتوولتائیک در ایران جزء صنعت‌های به نسبت پر هزینه تر نسبت به سایرین خواهد بود روش‌های کم هزینه‌تری در ایران برای تولید برق وجود دارد که نباید ما را در صرفه‌جویی در منابع فسیلی و کم هزینه تر غافل کند در شکل ۴-۲۲ نرم‌افزار RetScreen به صرفه بودن ساخت نیروگاه‌های تولید برق را در ایران نشان خواهد داد. طبق داده‌های خروجی و تحلیلی از نرم‌افزار RetScreen قابل مشاهده است که تولید برق در ایران شرایط کاملا متفاوتی دارد، زیرا کشور ایران دارای منابع غنی گازی و نفتی است. البته شاید این نعمتی باشد که در اختیار کشور قرار گرفته است و شاید هم ما را نیز از پیشرفت و صنعتی سازی سیستم‌های انرژی باز دارد، با این حال ما کماکان در حال سطح ۹۹ درصدی تولید برق از طریق سوخت‌های فسیلی هستیم و تنها ۱ درصد از سبد تولید برق کشور از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر تامین می‌شود. با توجه به شکل ۴-۲۲ ستون افقی نشان دهنده میزان هزینه به دلار به ازای تولید ۱ کیلووات برق است. در نمودار بالا که توسط نرم‌افزار شرکت NASA تجزیه و تحلیل شده است اگر نوع تولید برق توسط سیستم‌های گازی را از معادله حذف نماییم شاهد این موضوع خواهیم بود که صنعت فتوولتائیک حرف‌های زیادی برای گفتن خواهد داشت و لذا باید بیشتر به این صنعت بها داد.

۴-۱۱ خلاصه فصل چهارم

در این قسمت از پژوهش مورد نظر ابتدا با بررسی و محاسبه هزینه‌های برق مصرفی بدون استفاده از سیستم فتوولتائیک و با استفاده از سیستم فتوولتائیک پرداخته شده است و سپس برای یک منزل مسکونی شبیه‌سازی‌های لازم انجام گرفته و موارد مورد نیاز جهات راه‌اندازی یک نیروگاه کوچک مسکونی بیان شده و سپس با تعیین محل مورد نظر برای اجرای پروژه نیروگاه تولید برق فتوولتائیک شاهرود به هزینه یابی و درآمدزایی‌های این طرح رسیدگی شد و با بیان مواد و اجناس مورد نیاز پروژه به صورت کامل تجزیه و تحلیل اقتصادی شده و در انتها فوایدی که از این طرح عاید نیروگاه و سرمایه‌گذار و جامعه و دولت خواهد شد بررسی و با تحلیل حساسیت پروژه و انجام سناریو سازی به ۴ روش مختلف به کار این قسمت خاتمه داده شد در نهایت این‌چنین برداشت شد که با انجام ساخت و راه‌اندازی نیروگاه فتوولتائیک شهرستان شاهرود، کاهش چشمگیری در سطح آلودگی‌ها و خسارات به محیط زیست خواهد شد و با درآمدزایی خوب و با امنیت اقتصادی بالا برای احداث کننده موجب تضمین سود نیروگاه می‌شود. با انجام این طرح باعث رونق تولید ملی، خودکفایی در صنعت تولید برق پاک و جلوگیری از هدر رفت سوخت‌های فسیلی و مثبت کردن تراز اشتغال خواهد شد زیرا با اجرای این طرح به صورت مستقیم و غیر مستقیم به ایجاد شغل پرداخته خواهد شد.

فصل پنجم – نتایج و ارائه پیشنهادات

۵-۱ مقدمه

استفاده از سیستم‌های نوین فناوری فتوولتائیک روشی پاک و درآمدزا برای جایگزین کردن با سوخت‌های زیان‌بار فسیلی است. در این بخش با توجه به نتایج حاصل شده در قسمت‌های قبل تحقیق، راهکارهایی جهت رفع مشکل و معضلات ناشی از استفاده سوخت‌های فسیلی در تامین انرژی برق کشور پیشنهاد و ارائه خواهد شد تا به این ترتیب کمکی به تحقق اهداف اقتصاد مقاومتی کشور شود. سپس با پاسخ به فرضیات تحقیق و ارائه نوآوری‌های طرح به این بخش خاتمه داده خواهد شد.

۵-۲ نتایج

در این پژوهش صرفه اقتصادی استفاده از فنآوری نوین فتوولتائیک در احداث یک نیروگاه برق فتوولتائیک در شهرستان شاهرود بررسی و ارزیابی شد. برای این منظور ابتدا یک نیروگاه فتوولتائیک کوچک با توان تولید در سطح تامین انرژی یک منزل مسکونی مدلسازی شده و هزینه‌های آن مورد بررسی قرار گرفت. سپس احداث یک نیروگاه با ظرفیت توان تولید ۱۶ مگاوات ساعت جهت تامین برق مصرفی شهرستان شاهرود با تعداد ۱۲۵۷۶۸ پنل ۳۱۵ واتی شرکت ترینا سولار مکس انرژی از نوع سیلیکونی مدلسازی و ارزیابی اقتصادی شد. در ادامه برای فهم بیشتر پژوهش مزیت اقتصادی دو نیروگاه گازی و فتوولتائیک با ظرفیت مشابه با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد که در کوتاه‌مدت نیروگاه گازی توجیه اقتصادی داشته، در میان مدت تقریبا هزینه‌های دو نوع نیروگاه برابر و در بلندمدت نیروگاه فتوولتائیک دارای مزیت اقتصادی بیشتری نسبت به نیروگاه گازی است. یکی از دلایل اصلی اقتصادی‌تر شدن پروژه نیروگاه برق PV شاهرود نسبت به نیروگاه گازی، وارد کردن متغیر مالیات در مدل و کسر هزینه‌های آن است که ۳۵ درصد در نظر گرفته شده است.

زمان بازگشت سرمایه، نرخ بازده داخلی و ارزش خالص فعلی اجرای طرح که از مهمترین پارامترهای تصمیم‌گیری برای سیاستگذار در احداث نیروگاه است با ارزیابی اقتصادی در این پژوهش احصاء شد. حساسیت این پارامترهای کلیدی نسبت به متغیرهای اقتصادی مانند نرخ تورم، نرخ بهره بررسی و تحلیل شده است. همچنین تحلیل حساسیت انجام پروژه نسبت به سه عامل قیمت تضمینی برق، هزینه‌های اولیه و هزینه‌های

تعمیر و نگهداری (متغیر) در این تحقیق انجام شده است.

با نتایج بدست آمده در این پژوهش شاهد این بوده‌ایم که با سرمایه‌گذاری در قسمت ساخت و راه‌اندازی نیروگاه فتوولتائیک برای شهرستان شاهرود شاهد تامین کامل برق مصرفی شهر در طی یک سال و اندازه‌گیری پارامترهای مصرف کنندگان و تولیدکنندگان نشان‌دهنده رفاه بیشتر مصرف‌کننده و همچنین سمت مقابل بوده است. این طرح با دارا بودن طول عمر ۲۵ ساله نه تنها هزینه‌های تولید برق و مصرف را کاهش داده بلکه امنیت تولید انرژی افزایش می‌یابد. امنیت انرژی را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

۱) تولید انرژی جدید

۲) زیرساخت‌های جدید انرژی

۳) صادرات انرژی جدید

با احداث نیروگاه PV در شهرستان شاهرود شاهد تولید انرژی جدیدی در سطح گسترده برای منازل مسکونی خواهد بود، همچنین با ساخت و راه‌اندازی زیرساخت جدید تولید انرژی برای تامین برق شهرستان و همچنین صادرات برق تولید شده در مواقع غیر ضروری برای شهرهای اطراف، همه این‌ها باعث امنیت در تولید، مصرف و انتقال انرژی خواهد شد.

خودکفایی در تولید برق شهرستان با انرژی پاک موجب کاهش آلودگی هوای محیط به مقدار سوختن سالیانه ۱۱۳,۵۶۲,۱۶۵ لیتر بنزین بود، که علاوه بر فراهم کردن هوایی پاک و امنیت انرژی برای شهر فواید بسیار دیگری نیز ایجاد خواهد شد، یکی دیگر از این موارد صرفه‌جویی در سوخت‌های فسیلی است که برای تامین این میزان برق به طور سالیانه برای شهرستان شاهرود مصرف می‌شود. سالیانه برای تامین برق شهرستان شاهرود میزان ۷۳۴,۴۹۸,۱۵۰,۰۰۰ ریال هزینه در بر داشته، که البته هزینه انتقال را اگر برای تمام سیستم‌ها یکسان در نظر گرفته شود باز هم میزان بیان شده هزینه برای یک سال صرف خواهد شد حال اینکه طول عمر نیروگاه ۲۵ سال خواهد بود و مشخص شد که مبلغ ۱۸ تیریلیون ریال در طول این سال‌ها برای دولت صرفه-جویی اقتصادی خواهد داشت البته اگر بهای حامل‌های انرژی را ثابت فرض نمود این میزان خواهد بود در غیر

این صورت به مراتب مبلغی بیشتر را شاهد می‌بودیم.

یکی دیگر از فواید اجرای طرح سود مالی برای مجری طرح خواهد بود، در این قسمت اگر دولت مجری طرح باشد می‌تواند به صورت بهتر و با استفاده از مواد و پنل‌های مرغوب تر در نیروگاه استفاده کند و فواید مالی‌اش نیز بعد از دوره بازگشت سرمایه نصیب خودش شود. در طرف دیگر اگر مجری و سرمایه‌گذار طرح یک فرد حقیقی و یا حقوقی باشد قطعا بیشتر بر عوامل مالی تحلیل خواهد نمود و اولین گام را برای خود شرایط مالی و بازگشت سرمایه و سوددهی در نظر خواهد گرفت. با اجرا و ساخت نیروگاه PV شاهرود، سالیانه بعد از کسر مالیات و کلیه هزینه‌های نیروگاه (ثابت و متغیر) در حدود ۳۵۰ الی ۴۰۰ میلیارد ریال سوددهی خواهد داشت.

یکی از اساسی ترین اقدامات پس از انجام و ساخت نیروگاه را می‌توان به کوچک‌تر شدن دولت اشاره نمود. امروزه فضای کشور بیشتر از هر زمان نیاز به افزایش خصوصی سازی و کوچک‌تر شدن دولت دارد که با انجام و راه‌اندازی طرح‌های این چنینی می‌توان در این قضیه پیشگام بود.

یکی دیگر از فواید بسیار زیاد اجرای طرح ساخت نیروگاه فتوولتائیک در شهرستان شاهرود رونق بخشیدن به بازار رقابت و افزایش کیفیت کالا و خدمات و کاهش قیمت‌ها در سرزمین جمهوری اسلامی ایران می‌باشد. امروزه با اختصاری بودن اکثر کالاها و خدمات در کشور، شدیدا به فضای بازار رقابتی و کیفیت کالا و خدمات نیازمند بوده است. با انجام حمایت از چنین طرح‌هایی قطعا بیشتر شاهد بازار رقابتی در کشور خواهیم بود.

۵-۳ پیشنهادات

در ادامه پیشنهادات و راهکارهایی را جهت سهولت اجرای چنین طرح‌هایی می‌توانیم برای بخش‌های مختلف بیان نماییم که مهم‌ترین آن‌ها برای پیشنهاد به حمایت‌های دولتی خواهد بود که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- طرح های تشویقی
- پوشش‌های تضمینی و حمایتی

- کمک در فعالیت‌های ارزی و معادلات خارجی

دولت می‌تواند با ارائه خدماتی همچون طرح‌های تشویقی به طور مثال دادن زمین رایگان برای احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر، عدم پرداخت مالیات‌های سنگین و یا دادن تخفیفات مالیاتی به عنوان مثال برای ۵ ، ۱۰ و یا ۱۵ سال ابتدایی طرح، دادن وام با بهره کم و دوره پرداخت طولانی‌تر برای کمک به اجرای پروژه و هزینه‌های ثابت طرح، پوشش‌های تضمینی و حمایتی از نیروگاه فتوولتائیک برای مثال دادن تضمین نرخ خرید برق و حمایت‌های این چنینی و در انتها کمک در فعالیت‌های ارزی سرمایه‌گذار و معاملات خارجی آن‌ها.

یکی از اقدامات دیگر که می‌توان در سیاست‌گذاری‌ها انجام شود، می‌توان در مناطقی که ظرفیت استفاده از سیستم فتوولتائیک وجود دارد منازل مسکونی را به طوری طراحی نمود که شرایط استفاده از این فناوری محیا باشد و در صورت نیاز نصب شود.

منابع داخلی

[۱] "پایان سوخت های فسیلی در قرن حاضر/ پیش بینی نشریه اکوتریسیتی از پایان نفت جهان در سال ۲۰۵۲ | خبرگزاری بین المللی شفقنا." https://fa.shafaqna.com/news/۶۹۸۱۲۱

[۳] آ. م. ف. ن. ا. زا, "ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۵," *شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی انرژی‌زا*, ۱۳۹۲.

[۴] ج. ع. س. محمدحسین سیدان, "گزارش وضعیت جهانی انرژی های تجدید پذیر," ۲۰۱۵, p. ۱۱۰۲۲, ۴۵ .vol.

[۱۱] "انرژی خورشیدی چیست و چگونه به زمین می‌رسد؟!!" http://edu.nano.ir/paper/۳۲۵

[۲۰] غ. ک. علی صالحی, "بررسی احداث نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه در شهر گناباد و مقایسه شرایط عملکرد سیستم در شهر های برلین، پکن، توکیو و گناباد با استفاده با نرم افزار PVsyst," *کنفرانس بین المللی مهندسی برق*, ۱ .pp– ۱۸, ۱۳۹۵.

[۲۵] د. برهمندزاده ز. ر. قهرودی, "بررسی روند تغییرات مصرف برق در بخش های مختلف طی سال ها ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۱."

[۲۹] ز. فرجزاده, "شدت انرژی در اقتصاد ایران: اجزا و عوامل تعیین‌کننده," *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*, ۴, no. vol. ۱۵, ۱۳۹۴, ۵۵–۹۸. pp.

[۳۰] "ظرفیت و توان تولید انرژی های تجدیدپذیر در کشور ایران." https://clinicenergy.com

[۳۱] " سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق کشور چقدر است؟." https://barghnews.com

[۳۲] " - انرژی های تجدیدپذیر نیروگاه های فتوولتائیک کشور ایران." https://www.wikipedia.org

[۵۱] ا. ر. مصطفی علی نژاد, سید اسماعیل نقیبی, مهرداد احمدی کمر پشتی, "محاسبات هزینه انرژی برای یک سیستم فتوولتائیک خورشیدی خانگی," *کنفرانس ملی فناوری، انرژی و داده با رویکرد مهندسی برق و کامپیوتر*, ۱۷۱ .pp– ۱۷۵, ۱۳۹۴.

[۵۲] و. ا. ف. رحیم ایلدر آبادی, ملیحه معلمیان گرجی, هادی بابایی, "ارزیابی اقتصادی استفاده از سیستم فتوولتائیک در نمای ساختمان در استان مازندران," *سومین همایش ملی اقلیم، ساختمان و بهینه سازی مصرف انرژی (با رویکرد توسعه پایدار)*, ۱۳۹۴, ۹–۱. pp.

[۵۳] س. ح. ح. مرتضی اصغرپور حسن کیاده, فرهاد عباسی, گئورگ قره پتیان, "امکان سنجی استفاده از آرایه های فتوولتائیکدر آپارتمان های مسکونی شهر تهران با رویکرد اقتصادی," *همایش ملی انرژی تجدیدپذیر، پاک و کارآمد*, ۱۳۹۵.

[۵۴] ا. س. بنفشه همدانی, "بررسی و شناخت فنی انواع تکنولوژی مبدلهای فتوولتائیک," *کنفرانس بین المللی مهندسی برق, تهران*, ۱۳۹۵.

[۵۵] ع. م. ارسلان نظرزاده لزرجانی, محمدرضا خصوصی, رسول صادق نژاد کلشتری, "مدیریت هزینه تامین برق منطقه نمونه، با استفاده از سیستم های فتوولتائیک بصورت ISLAND مطالعه موردی در استان گیلان," *کنفرانس بین المللی مهندسی برق*, ۱۳۹۵, ۱۲–۱ .pp.

[۵۶] م. ف. مرجانلو, "مروری بر عوامل موثر بر پذیرش تکنولوژی سیستم فتوولتائیک انرژی های نو (انرژی خورشیدی) (مطالعه موردی: مردم تبریز)," *چهارمین کنفرانس ملی مدیریت، اقتصاد و حسابداری دانشگاه تبریز*, ۱۳۹۵, ۱۱–۱ .pp.

[۵۷] ز. جواد ق. امیر, "ارزیابی انواع مختلف نیروگاه های فتوولتائیک از نقطه نظر قابلیت اطمینان," vol. ۰۱. ۲۴-Feb- ۲۰۱۷.

[۶۲] ر. ن. علیرضا, غ. دکتر مجتبی, and د. دکتر علی, "بهینه سازی ذخیره سازی گاز طبیعی و اثرات ذخیره سازی بر رشد اقتصادی ایران," *پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شاهرود*.

[۶۳] "استعلام از مشاور املاک 'دانشجو' واقع در شهرک دانشگاه شهرستان شاهرود," ۴۴–۳۹ .pp.

[۶۴] م. ج. محمد, ز. آ. محمدرضا, ق. ابراهیم, and ا. زهرا, "تاثیرات قیمت حاملهای انرژی و یارانه های سوخت بر متغیرهای اقتصاد کلان ایران," ۱۳۹۷, ۱۲–۱ .pp.

[۶۵] "واحد سلول سازی ترینا سولار شرکت مکس انرژی شیراز."

[۶۶] . BarghNews, "طول عمر تجهیزات خورشیدی,"

[۶۸] "سازمان هواشناسی شهرستان شاهرود - استان سمنان."

[۶۹] "شرکت آسام کالا تهران - فلکه سوم تهرانپارس - خیابان ۱۹۶."

[۷۰] "شرکت پردیس سازه - تهران خیابان گاندی کوچه ۱۹."

[۷۱] "شرکت خدماتی مهندسی اوستا مارکت زنجان خیابان نصیر طوسی."

[۷۲] "سازمان انرژی های تجدیدپذیر و بهره وری انرژی برق | وزارت نیرو." http://www.satba.gov.ir

منابع خارجی

[2] A. Zecca and L. Chiari, “Fossil-fuel constraints on global warming,” *Energy Policy*, vol. 38, no. 1, pp. 1–3, Jan. 2010.

[5] “Wikipedia.” https://www.wikipedia.org

[6] B. Bollinger and K. Gillingham, “Peer effects in the diffusion of solar photovoltaic panels,” *Mark. Sci.*, vol. 31, no. 6, pp. 900–912, 2012.

[7] D. L. Pulfrey and D. L., “Photovoltaic power generation,” *New York, Van Nostrand Reinhold Co., 1978. 230 p.*, 1978.

[8] J. B. Sambur, T. Novet, and B. A. Parkinson, “Multiple exciton collection in a sensitized photovoltaic system.,” *Science*, vol. 330, no. 6000, pp. 63–6, Oct. 2010.

[9] C. Withagen, “Pollution and exhaustibility of fossil fuels,” *Resour. Energy Econ.*, vol. 16, no. 3, pp. 235–242, Aug. 1994.

[10] M. Bazilian *et al.*, “Re-considering the economics of photovoltaic power,” *Renew. Energy*, vol. 53, pp. 329–338, May 2013.

[12] G. C. Bakos and M. Soursos, “Technical feasibility and economic viability of a grid-connected PV installation for low cost electricity production,” *Energy Build.*, vol. 34, no. 7, pp. 753–758, Aug. 2002.

[13] R. Kannan, K. C. Leong, R. Osman, H. K. Ho, and C. P. Tso, “Life cycle assessment study of solar PV systems: An example of a 2.7 kWp distributed solar PV system in Singapore,” *Sol. Energy*, vol. 80, no. 5, pp. 555–563, May 2006.

[14] S. Dubey and A. A. O. Tay, “Testing of two different types of photovoltaic–thermal (PVT) modules with heat flow pattern under tropical climatic conditions,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 17, no. 1, pp. 1–12, Feb. 2013.

[15] C. Rodriguez and G. A. J. Amaratunga, “Long-Lifetime Power Inverter for Photovoltaic AC Modules,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 7, pp. 2593–2601, Jul. 2008.

[16] Y. Zhang, P. E. Campana, A. Lundblad, and J. Yan, “Comparative study of hydrogen storage and battery storage in grid connected photovoltaic system: Storage sizing and rule-based operation,” *Appl. Energy*, vol. 201, pp. 397–411, Sep. 2017.

[17] H. Yang, L. Lu, and W. Zhou, “A novel optimization sizing model for hybrid solar-wind power generation system,” *Sol. Energy*, vol. 81, no. 1, pp. 76–84, Jan. 2007.

[18] B. Sun, A. T. Findikoglu, M. Sykora, D. J. Werder, and V. I. Klimov, “Hybrid

Photovoltaics Based on Semiconductor Nanocrystals and Amorphous Silicon," *Nano Lett.*, vol. 9, no. 3, pp. 1235–1241, Mar. 2009.

[19] S. A. Kalogirou, "Environmental benefits of domestic solar energy systems," *Energy Convers. Manag.*, vol. 45, no. 18–19, pp. 3075–3092, Nov. 2004.

[21] A. C. Robert Foster, Majid Ghassemi, *Solar Energy: Renewable Energy and the Environment - Robert Foster, Majid Ghassemi, Alma Cota - Google Books*. CRC Press, 2010.

[22] B. Chebel-Morello, K. Medjaher, A. H. Arab, F. Bandou, S. Bouchaib, and N. Zerhouni, "E-Maintenance for Photovoltaic Power Generation System," *Energy Procedia*, vol. 18, pp. 640–643, Jan. 2012.

[23] V. Fthenakis, "Sustainability of photovoltaics: The case for thin-film solar cells," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 9, pp. 2746–2750, Dec. 2009.

[24] K. A. Hassett and G. E. Metcalf, "Energy conservation investment: Do consumers discount the future correctly?," *Energy Policy*, vol. 21, no. 6, pp. 710–716, Jun. 1993.

[26] J. K. Choi and V. Fthenakis, "Crystalline silicon photovoltaic recycling planning: Macro and micro perspectives," *J. Clean. Prod.*, vol. 66, pp. 443–449, Mar. 2014.

[27] "NASA." https://www.nasa.gov

[28] "World Bank Open Data | Data." https://data.worldbank.org

[33] A. Mills, R. Wiser, G. Barbose, and W. Golove, "The impact of retail rate structures on the economics of commercial photovoltaic systems in California," *Energy Policy*, vol. 36, no. 9, pp. 3266–3277, Sep. 2008.

[34] M. Braun, K. Büdenbender, D. Magnor, and A. Jossen, "Photovoltaic self-consumption in Germany: using lithium-ion storage to increase self-consumed photovoltaic energy," in *24th European Photovoltaic Solar Energy Conference (PVSEC), Hamburg, Germany*, 2009.

[35] F. Dinçer, "The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 1, pp. 713–720, Jan. 2011.

[36] C. R. Sanchez Reinoso, M. De Paula, and R. H. Buitrago, "Cost–benefit analysis of a photovoltaic power plant," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 16, pp. 8708–8711, May 2014.

[37] J. F. Armendariz-Lopez, A. Luna-Leon, M. E. Gonzalez-Trevizo, A. P. Arena-Granados,

and G. Bojorquez-Morales, “Life cycle cost of photovoltaic technologies in commercial buildings in Baja California, Mexico,” *Renew. Energy*, vol. 87, pp. 564–571, Mar. 2016.

[38] T. Sueyoshi and M. Goto, “Measurement of returns to scale on large photovoltaic power stations in the United States and Germany,” *Energy Econ.*, vol. 64, pp. 306–320, 2017.

[39] G. Năstase, A. Șerban, G. Dragomir, A. I. Brezeanu, and I. Bucur, “Photovoltaic development in Romania. Reviewing what has been done,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 94, pp. 523–535, Oct. 2018.

[40] A. Ferreira *et al.*, “Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in brazil,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, pp. 181–191, Jan. 2018.

[41] D. Rodríguez-Urrego and L. Rodríguez-Urrego, “Photovoltaic energy in Colombia: Current status, inventory, policies and future prospects,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 92, pp. 160–170, Sep. 2018.

[42] G. Kavlak, J. McNerney, and J. E. Trancik, “Evaluating the causes of cost reduction in photovoltaic modules,” *Energy Policy*, vol. 123, pp. 700–710, Dec. 2018.

[43] F. Chiacchio, D. D’Urso, J. I. Aizpurua, and L. Compagno, “Performance assessment of domestic photovoltaic power plant with a storage system,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 11, pp. 746–751, 2018.

[44] Y. Lei *et al.*, “SWOT analysis for the development of photovoltaic solar power in Africa in comparison with China,” *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 77, no. January, pp. 122–127, 2019.

[45] J. Liu, X. Chen, S. Cao, and H. Yang, “Overview on hybrid solar photovoltaic-electrical energy storage technologies for power supply to buildings,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 187, pp. 103–121, May 2019.

[46] S. Seme, K. Sredenšek, B. Štumberger, and M. Hadžiselimović, “Analysis of the performance of photovoltaic systems in Slovenia,” *Sol. Energy*, vol. 180, pp. 550–558, Mar. 2019.

[47] D. L. Talavera, E. Muñoz-Cerón, J. P. Ferrer-Rodríguez, and P. J. Pérez-Higueras, “Assessment of cost-competitiveness and profitability of fixed and tracking photovoltaic systems: The case of five specific sites,” *Renew. Energy*, pp. 902–913, 2019.

[48] A. Zahedi, “Solar photovoltaic (PV) energy; latest developments in the building integrated and hybrid PV systems,” *Renew. Energy*, vol. 31, no. 5, pp. 711–718, Apr. 2006.

[49] S. Jamali, A. Nemati, F. Mohammadkhani, and M. Yari, “Thermal and economic assessment of a solar chimney cooled semi-transparent photovoltaic (STPV) power plant in different climates,” *Sol. Energy*, vol. 185, no. August 2018, pp. 480–493, 2019.

[50] S. Mahmoudi, N. Huda, and M. Behnia, “Photovoltaic waste assessment: Forecasting and screening of emerging waste in Australia,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 146, no. October 2018, pp. 192–205, 2019.

[58] S. Gorjian, B. N. Zadeh, L. Eltrop, R. R. Shamshiri, and Y. Amanlou, “Solar photovoltaic power generation in Iran: Development, policies, and barriers,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 106, pp. 110–123, May 2019.

[59] W. Wiesemann, D. Kuhn, and B. Rustem, “Maximizing the net present value of a project under uncertainty,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 202, no. 2, pp. 356–367, Apr. 2010.

[60] S. Moslem Mousavi, M. Bagheri Ghanbarabadi, and N. Bagheri Moghadam, “The competitiveness of wind power compared to existing methods of electricity generation in Iran,” *Energy Policy*, vol. 42, pp. 651–656, Mar. 2012.

[61] “NASA.” https://www.nasa.gov

[67] D. Chung, C. Davidson, R. Fu, K. Ardani, and R. Margolis, “U.S. Photovoltaic Prices and Cost Breakdowns. Q1 2015 Benchmarks for Residential, Commercial, and Utility-Scale Systems,” Golden, CO (United States), Sep. 2015.

ضمیمه

۱- عوامل تاثیرگذار بر روی خروجی سیستم فتوولتائیک

خطای خروجی سازنده بر بازدهی و خطای اثر آلودگی هوا از مهمترین عوامل تاثیر گذاری بر محاسبه خروجی سیستم PV است که در ادامه هر یک از این موارد تشریح شده است.

الف- خطای خروجی سازنده بر بازدهی

توان خروجی ماژول‌های فتوولتائیک برحسب وات با خطایی تقریباً برابر ۵±% بیان می‌شود که بر اساس دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای سلول‌ها است؛ بنابراین، برای ماژول فتوولتائیک ۱۷۵ واتی بیشترین میزان کاهش در توان خروجی، حدود ۸/۷۵ وات است.

ب- خطای اثر آلودگی‌ها و گرد و خاک بر بازدهی

میزان توان خروجی یک ماژول فتوولتائیک ممکن است به دلیل آلودگی‌های موجود بر سطح ماژول، کاهش یابد و این کاهش با فاکتور کاهش در اثر آلودگی هوا محاسبه می‌شود. میزان کاهش در توان ماژول‌ها در اثر آلودگی، بستگی به اقلیم محل نصب آرایه‌ها دارد که در بعضی از مکان‌ها، به دلیل آلودگی هوا (مانند کلان‌شهرها)، زیاد است. به‌عنوان‌مثال، با فرض این‌که میزان کاهش به دلیل آلودگی در حدود ۲% در شهر شاهرود است، با توجه به اینکه میزان عملکرد ماژول ۱۷۵ واتی ذکر شده به خاطر نوسان به ۱۶۶/۲۵ وات کاهش یافته بود اکنون مقدار آن در اثر آلودگی حدوداً به ۱۶۲/۷ وات می‌رسد.

۲- نکات فنی انتخاب ظرفیت و آرایش سیستم PV

محاسبه کمترین تعداد ماژول برای آرایه‌های فتوولتائیک

تعداد ماژول‌های مورد نیاز در آرایه فتوولتائیک از تقسیم پیک توان مورد نیاز بر میزان توان تولیدی هر ماژول بدست می‌آید؛ بنابراین برای نمونه مورد طراحی، تعداد ماژول‌های 175 وات مورد نیاز بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$2/26\ \text{kW} \div 162/7\ \text{W} = 13/89 \approx 14$$

بنابراین ۱۴ ماژول ۱۷۵ واتی، توان مورد نیاز را برای یک خانوار شاهرودی فراهم می‌کند.

تعیین آرایش نهایی آرایه‌های فتوولتائیک

آرایه باید با محدوده مجاز ولتاژ مبدل تطابق داشته باشد و بنابراین، آرایش نهایی آرایه به مبدل انتخابی و محدوده مجاز ولتاژ عملکرد آن بستگی دارد.

تطبیق دادن آرایه با محدوده ولتاژ مبدل

بسیاری از مبدل‌های موجود دارای محدوده مجاز ولتاژ کاری هستند. اگر ولتاژ آرایه فتوولتائیک خارج از این محدوده مجاز باشد، مبدل کار نخواهد کرد و در شرایطی که ولتاژ آرایه بیش از مقدار مشخص شده باشد، ممکن است مبدل آسیب ببیند. بیشترین و کمترین ولتاژ ورودی توسط سازنده مشخص می‌شوند. بیشترین ولتاژ، ولتاژی است که در بیش از آن، مبدل آسیب می‌بیند. لازم است که ولتاژ خروجی آرایه‌های خورشیدی با ولتاژ کاری مبدل تطابق داشته باشد و هرگز به بیشترین ولتاژ مبدل نرسند. ولتاژ خروجی ماژول مشابه توان خروجی، تحت تأثیر تغییرات دمایی سلول است، سازندگان ماژول فتوولتائیک، ضریب دمایی ولتاژ را ارائه می‌کنند که غالباً به صورت ولت یا میلی ولت بر درجه سانتی گراد بیان می‌شود، همچنین می‌توان آن را به صورت درصدی از ولتاژ مدار باز نیز بیان کرد برای اطمینان از این که ولتاژ خروجی آرایه، خارج از محدوده ولتاژ داخلی مبدل نیست، بیشترین و کمترین دمای شبانه روز برای مکان مورد نظر مورد نیاز است. وقتی که دما حداکثر است، بیشترین ولتاژ خروجی آرایه نباید هرگز کمتر از کمترین ولتاژ کاری مبدل باشد.

۳- مراحل انتخاب ظرفیت و آرایش آرایه فتوولتائیک در حالت طراحی بر اساس میزان انرژی سالانه موردنیاز

گام اول: تعیین میزان مصرف متوسط سالانه انرژی که بر اساس آخرین فیش‌های برق مصرفی توسط مشتری تعیین می‌شود. حداقل لازم است که میزان مصرف در ۱۲ ماه گذشته مورد بررسی قرار گیرد و در

صورت امکان، میزان مصرف انرژی در چند سال اخیر نیز بررسی شود. درصورتی‌که خود مشتری فیش‌های مربوطه را ندارد لازم است که از اداره برق مربوطه اطلاعات موردنیاز حاصل شود. از این داده‌ها برای برآورد میزان مصرف انرژی سالانه استفاده می‌شود.

گام دوم: تغییرات مصرف لحاظ شود؛ اگر پیشنهادهایی برای انجام تغییرات در جهت بهبود بهره‌وری مصرف انرژی برای مصرف‌کننده وجود دارد، این تغییرات صورت گیرد و میزان تأثیر آن‌ها بر کاهش مصرف انرژی سالانه در نظر گرفته شود. همچنین لازم است که بارهای اضافی که در آینده به سیستم اضافه خواهد شد، لحاظ گردد.

گام سوم: برآورد میانگین مصرف سالانه انرژی که بر اساس داده‌های حاصل در گام ۱ و ۲ صورت می‌گیرد و با استفاده از میانگین مصرف سالانه انرژی، طراحی انجام می‌شود.

گام چهارم: اندازه آرایه‌ها این مرحله اساسی‌ترین بخش طراحی را تشکیل می‌دهد. برای تحقق انجام این مرحله باید جزئیاتی که در ادامه تشریح می‌گردد، به‌دقت رعایت گردد. در ابتدای امر لازم است به موارد زیر توجه شود.

- بازده مبدل
- تلفات سیستم (برای مثال: میزان تلفات در کابل‌ها)
- میزان تابش خورشید در زاویه تابشی و جهت‌گیری موردنظر
- خطاهای (تلورانس‌های) شرکت سازنده ماژول‌ها
- اثر آلودگی بر ماژول‌ها

۴- محاسبه میزان انرژی روزانه موردنیاز از آرایه‌های فتوولتائیک

لازم است به این نکته توجه شود که به خاطر بازده مبدل و تلفات، میزان انرژی روزانه دریافتی از آرایه

فتوولتائیک باید بیش از میانگین بار روزانه باشد. بازده مبدل را می‌توان از کارخانه سازنده دریافت کرد، معمولاً مبدل‌ها بازده بین ۹۰ تا ۹۶ درصد دارند. پیشنهاد می‌شود بازده مبدل ۹۵ %در نظر گرفته شود، این مقدار با لحاظ کردن بازده تجهیز بیشترین مقدار نیرو[1] که به‌منظور حداکثر کردن توان تحویلی در کنار مبدل استفاده می‌شود، پیشنهادشده است. طبق جدول (۱-۱) میزان متوسط مصرف انرژی روزانه برای یک ساختمان مسکونی برابر ۱۷/۱۹ Kwh می‌باشد با در نظر گرفتن تأثیر تلفات که بیشترین مقدار آن ۵ % فرض می‌شود و لحاظ کردن بازده مبدل (۹۵٪ فرض می‌شود) برای مثال مذکور، میزان انرژی روزانه موردنیاز به‌صورت زیر است:

۱۷/۱۹ kWh ÷ ۰/۹۵ = ۱۸/۰۹ kWh

به‌طور متوسط دارای میزان متوسط تابش سالانه خورشید[2] برابر ۸ ساعت باشد، بنابراین بیشترین انرژی مورد نیاز از آرایه فتوولتائیک به شرح زیر است:

۱۸/۰۹ kWh ÷ ۸ PSH = ۲/۲۶Kw

[1] Maximum Power point Tracking
[2] Dismissive expression

Abstract

The main purpose of this thesis is to investigate the economical benefit of the design of modern photovoltaic (PV) technology in the energy production process for Shahroud City. It also estimates the benefits of power plant construction, which include the government or investor benefit from selling electricity generated by the plant, saving on fossil fuels and reduction of environmental pollution resulting from reduced fossil fuel consumption. Production technology selection is made with engineering and economic data. Due to the effect of power level of plant from geographical and climatic conditions of the region, feasibility of the project is analyzed using the data from NASA and RETscreen software. The economic assessment and financial analysis of the project were further carried out by this software and Levelized Cost of Energy (LCOE) method, because that includes all effective parameters on the project. By this method, the advantages and disadvantages of the project have been calculated in the entire lifetime of the project. And doing four different scenarios, the risk analysis and sensitivity of such species were determined that the construction of the photovoltaic power plant is completely economical for Shahroud City. And invest return rate on equity and internal rate of return will be 5.7 years and 17.1 percent, respectively.

Keywords: Renewable Energy, Photovoltaic, Economic Evaluation, Parallel Cost, RETscreen.

Shahrood University of Technology
Departmant of Management and Industries

M.Sc Thesis in Economic Systems Planning

Survey the Economical of Photovoltaic Systems in the Energy Production Process

By:

Mohamad Reza Zal Aqaee

Supervisors:
Dr. Mohammad Mirbagherijam
Dr. Atefe Mazinani

January, 2020