

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک

رشته مهندسی سیستم‌های انرژی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مدل‌سازی و بهینه‌سازی فنی و اقتصادی برای اندازه‌گیری بهینه و مکان‌یابی سیستم پمپاژ آب
فتوولتائیک خورشیدی

استادان راهنما:

دکتر اکبر ملکی

دکتر علی جباری مقدم

نگارنده:

فاطمه زهرا حیدری

مهر ۱۴۰۰

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم فاطمه زهرا حیدری با شماره دانشجویی ۹۸۰۴۶۸۴ رشته مهندسی مکانیک گرایش سیستم‌های انرژی تحت مدل‌سازی و بهینه‌سازی فنی و اقتصادی برای اندازه‌گیری بهینه و مکان‌یابی سیستم پمپاژ آب فتوولتائیک خورشیدی

که در تاریخ ۱۴۰۰/۸/۲۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

☐ قبول (با درجه:)	☐ مردود
☐ نظری	☐ عملی
نوع تحقیق:	

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر اکبر ملکی	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر علی جباری مقدم	دانشیار	
۳- استاد مشاور			
۴- نماینده تحصیلات	دکتر محمد ضامن	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر محمود مهرگان	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر محمد حسین احمدی	دانشیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر مهدی گردویی

تقدیم به

بدین وسیله از زحمات و تلاش بی دریغ استاد محترم جناب آقای دکتر اکبر ملکی و دکتر علی جباری مقدم که در تهیه این مجموعه با این جانب همکاری داشته‌اند، تشکر و مراتب سپاس قلبی خود را اعلام نموده و موفقیت ایشان را از خداوند متعال خواهم نمود.

پاسکزاری

پاسکزاری از پدر و مادر و خانواده

تقدیم به پدرم که زندگی را از دستاش،

مادرم که محبت را از نگاهش آموختم

و خانواده ام به پاس ایثار و فداکاری ایشان

پاسکزاری از استاد و اسما و خانواده

بدین وسیله از زحمات و تلاش بی دریغ استاد محترم و خانواده عزیزم صمیمانه پاسکزاری می نمایم و همچنین از سایر همکاران و

دوستانی که هر کدام به نحوی در تهیه این مجموعه با این جانب همکاری داشته اند تشکر نموده و موفقیت همه آن ها را از خداوند متعال

خواهانم.

تهدنامه

اینجانب فاطمه زهرا حیدری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته سیستم های انرژی دانشکده مکانیک و مکاترونیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مدل سازی و بهینه سازی فنی و اقتصادی برای اندازه گیری بهینه و مکان یابی سیستم پمپاژ آب فتوولتائیک خورشیدی تحت راهنمایی آقای دکتر اکبر ملکی و آقای دکتر علی جباری مقدم متعهد می شوم.

- 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 ۱۴۰۰/۸/۲۶



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.

استفاده از انرژی خورشیدی به صورت فتوولتاییک و ترکیبی با پمپاژ آب، یک جایگزین مناسب برای تأمین برق روستاهای پراکنده و مستقل از شبکه می باشد. در این پایان نامه ابتدا به بررسی و اولویت بندی ۹۳ سایت در سه استان خراسان شمالی، خراسان جنوبی و خراسان رضوی برای تأسیس نیروگاه پمپاژ خورشیدی پرداخته شده است. برای بررسی و اولویت بندی سایت ها از روش تصمیم گیری چند معیاره، تاپسیس استفاده شده است، لذا موقعیت جغرافیایی سایت ها و وضعیت آب و هوایی در این سه استان شناسایی و در نتیجه ۱۵ معیار مهم انتخاب شده است. تمامی این معیارها با روش شانون آنتروپی وزن داده شده است و سپس با روش تاپسیس به اولویت بندی سایت ها در این سه استان پرداخته شده است. در ادامه ی پروژه، بهینه سازی فنی و اقتصادی سیستم مورد نظر باهدف مینیموم کردن هزینه برای تأمین نیاز آبی محصول غلات در زمینی به مساحت ۱۲ هکتار، برای یافتن تعداد بهینه اجزای مختلف سیستم شامل پنل خورشیدی، باتری، اینورتر، ژنراتور، از طریق نرم افزار هومر در سه سایت ایران بهینه سازی شده است. نتایج امکان سنجی نشان می دهد به ترتیب، سایت سرایان در استان خراسان جنوبی، سایت بیدخت دو در استان خراسان رضوی و سایت جاجرم در استان خراسان شمالی مناسب ترین مکان ها برای تأسیس نیروگاه پمپاژ خورشیدی می باشد. برای بررسی بیشتر مسئله با تغییر وزن معیارها آنالیز حساسیت انجام شده است. نتایج بهینه سازی نشان می دهد سیستم ترکیبی با پنل خورشیدی، اینورتر، باتری و ژنراتور مناسب ترین سیستم با کمترین هزینه می باشد. در نهایت با انجام آنالیز حساسیت بر روی قیمت اجزای سیستم، نرخ بهره و قیمت سوخت به بررسی نتایج پرداخته شده است.

کلمات کلیدی

امکان سنجی؛ سیستم پمپ آب خورشیدی؛ روش تصمیم گیری چند معیاره؛ بهینه سازی فنی، اقتصادی؛ هومر

فهرست مطالب

فصل اول مقدمه و معرفی سیستم پمپ آب خورشیدی	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۱-۲ مزایا و معایب استفاده از سیستم‌های تولید برق فتوولتائیک	۳
۱-۳ ضرورت استفاده از انرژی خورشیدی	۴
۱-۴ دلایل انتخاب سه استان خراسان شمالی و رضوی و جنوبی:	۵
فصل دوم مروری بر پژوهش‌های پیشین	۷
۲-۲ برجستگی مطالعه حاضر	۱۳
فصل سوم امکان‌سنجی و تحلیل اقتصادی و فنی	۱۵
۳-۱ مقدمه:	۱۶
۳-۲ انتخاب گزینه‌های تصمیم	۱۶
۳-۳ انتخاب شاخص‌ها	۱۹
۳-۴ بررسی معیارها	۲۰
۳-۵ ماتریس تصمیم‌گیری	۲۲
۳-۶ روش‌شناسی	۲۶
۳-۷-۱ تعیین وزن شاخص‌ها	۲۶
۳-۷-۲ روش آنتروپی شانون برای وزن دهی شاخص‌ها:	۲۷
۳-۷-۳ مدل‌های تصمیم‌گیری	۲۸
۳-۷-۳-۱ تاپسیس:	۲۸
۳-۷-۴ مراحل روش	۲۹
۳-۸ مدل‌سازی سیستم پمپاژ خورشیدی فتوولتائیک	۳۰
۳-۹ شرایط آب و هوایی منطقه‌ی موردنظر	۳۱

۳-۱۰	سلول فتوولتائیک	۳۱
۳-۱۱	پانل های خورشیدی	۳۲
۳-۱۲	آرایه های خورشیدی	۳۳
۳-۱۳	باتری	۳۳
۳-۱۳-۱	کارکرد باتری	۳۴
۳-۱۳-۲	توان الکتریکی باتری	۳۴
۳-۱۳-۴	مدل باتری ذخیره وضعیت شارژ	۳۵
۳-۱۴	اینورتر	۳۶
۳-۱۵	عملکرد اینورتر خورشیدی	۳۶
۳-۱۶	پمپ	۳۶
۳-۱۷	انواع پمپ	۳۷
۳-۱۸	ژنراتور	۳۷
۳-۱۸-۱	طرز کار ژنراتور	۳۷
۳-۱۸-۲	مصرف سوخت دیزل ژنراتور	۳۸
۳-۱۹	معرفی نرم افزار هومر	۳۸
۳-۲۰	روابط اقتصادی حاکم بر نرم افزار هومر	۳۹
۳-۲۰-۱	هزینه خالص نهایی	۳۹
۳-۲۰-۲	نرخ بهره:	۳۹
۳-۲۰-۳	نرخ تنزیل:	۴۰
۳-۲۰-۴	هزینه های اولیه	۴۰
۳-۲۰-۵	هزینه های تعویض	۴۰
۳-۲۰-۶	مجموع کل هزینه های به صورت سالیانه شده	۴۰
۳-۲۰-۷	هزینه سطح بندی شده انرژی:	۴۱
۳-۴۳	فصل چهارم بحث و نتیجه گیری	۴۳

۴-۱	مقدمه	۴۴
۴-۲	آنالیز حساسیت برای امکان سنجی	۴۸
۴-۳	طراحی اندازه بهینه سیستم برای تأمین بار مناطق منتخب با نرم افزار هومر	۵۴
۴-۴	آنالیز حساسیت برای سه سایت در سه استان	۶۶
۴-۴-۲	نتایج آنالیز حساسیت برای سایت بیدخت دو در استان خراسان رضوی	۷۴
۴-۴-۳	آنالیز حساسیت برای سایت جاجرم در استان خراسان شمالی	۸۱
	فصل پنجم نتیجه گیری و ارائه پیشنهادها	۸۹
۵-۱	نتیجه گیری	۹۰
	پیشنهادهات	۹۲
	مراجع	۹۳

فهرست اشغال

- شکل ۱-۱: عناصر اصلی سیستم پمپاژ خورشیدی ۳
- شکل ۲-۱: بلوک دیاگرام تحقیق ۶
- شکل ۱-۳: اطلس خورشیدی ایران و نقشه مکانی سه استان خراسان رضوی، شمالی و جنوبی روی نقشه ۱۷
- شکل ۲-۳: معیارهای مسئله ارزیابی پتانسیل نواحی مختلف برای تأسیس نیروگاه پمپاژ خورشیدی.. ۱۹
- شکل ۳-۳. فلوجارت روش تاپسیس ۳۰
- شکل ۴-۳: انواع سلول‌های فتوولتایک ۳۲
- شکل ۳-۴: نتایج ۱۰ شهر برتر در مقیاس بزرگ‌تر برای تأسیس نیروگاه به روش تاپسیس ۴۷
- شکل ۴-۴: نتایج ۱۰ شهر آخر در مقیاس بزرگ‌تر برای تأسیس نیروگاه به روش تاپسیس ۴۸
- شکل ۵-۴: تصویر ماهواره‌ای سایت سرایان در خراسان جنوبی ۴۸
- شکل ۶-۴: نتایج آنالیز حساسیت حاصل از استراتژی تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس ۵۱
- شکل ۷-۴. ۱۰ گزینه اول نتایج در مقیاس بزرگ‌تر ۵۲
- شکل ۸-۴. ۵ گزینه‌ی اول نتایج در مقیاس بزرگ‌تر ۵۲
- شکل ۹-۴. ۳ گزینه‌ی اول نتایج در مقیاس بزرگ‌تر ۵۳
- شکل ۱۰-۴: نام‌گذاری شماره معیار آنالیز حساسیت ۵۳
- شکل ۱۱-۴: نام‌گذاری شماره سایت‌های آنالیز حساسیت ۵۳
- شکل ۱۲-۴: تابش خورشید به تفکیک ماههای سال ۵۴
- شکل ۱۳-۴: میانگین دما ماهانه در منطقه‌ی موردنظر ۵۵
- شکل ۱۴-۴: پروفیل بار مصرفی پمپ در ماه‌های مختلف سال ۵۵
- شکل ۱۵-۴: شماتیک سیستم طراحی شده ۵۶
- شکل ۱۶-۴: نمودار توان خروجی ژنراتور بر حسب سوخت مصرفی ۵۸

- شکل ۴-۱۷ نمودار توان خروجی ژنراتور برحسب راندمان ۵۸
- شکل ۴-۱۸ نمودار هزینه‌های سیستم بهینه برای سایت سرایان ۶۳
- شکل ۴-۱۹ نمودار هزینه‌های سیستم بهینه برای سایت بیدخت دو ۶۲
- شکل ۴-۲۰ نمودار هزینه‌های سیستم بهینه برای سایت جاجرم ۶۳
- شکل ۴-۲۱ میزان انرژی الکتریکی تولیدشده به تفکیک ماههای سال برای سیستم بهینه ۶۵
- شکل ۴-۲۲ نمودار هزینه‌ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۵ یورو ۶۷
- شکل ۴-۲۳ نمودار هزینه‌ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۷ یورو ۶۸
- شکل ۴-۲۴ نمودار هزینه‌ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۲ یورو ۶۹
- شکل ۴-۲۵ نمودار هزینه‌ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۵ یورو ۷۰
- شکل ۴-۲۶ نمودار هزینه‌ها به ازای قیمت سوخت ۰.۲۰ یورو ۷۱
- شکل ۴-۲۷ نمودار هزینه‌ها به ازای تجهیزات مختلف ۷۲
- شکل ۴-۲۸ نمودار هزینه‌ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۵ یورو ۷۴
- شکل ۴-۲۹ نمودار هزینه‌ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۷ یورو ۷۵
- شکل ۴-۳۰ نمودار هزینه‌ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۲ یورو ۷۶
- شکل ۴-۳۱ نمودار هزینه‌ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۵ یورو ۷۷
- شکل ۴-۳۲ نمودار هزینه‌ها به ازای قیمت سوخت ۰.۲۰ یورو ۷۸
- شکل ۴-۳۳ نمودار هزینه‌ها به ازای تجهیزات مختلف ۷۹
- شکل ۴-۳۴ نمودار هزینه‌ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۵ یورو ۸۰
- شکل ۴-۳۵ نمودار هزینه‌ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۷ یورو ۸۲
- شکل ۴-۳۶ نمودار هزینه‌ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۲ یورو ۸۳
- شکل ۴-۳۷ نمودار هزینه‌ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۵ یورو ۸۴
- شکل ۴-۳۸ نمودار هزینه‌ها به ازای قیمت سوخت ۰.۲۰ یورو ۸۵
- شکل ۴-۳۹ نمودار هزینه‌ها به ازای تجهیزات مختلف ۸۶

فهرست جداول

جدول ۱-۳: طول و عرض جغرافیایی سایت‌های منتخب.....	۱۷
جدول ۲-۳: بررسی مثبت و یا منفی بودن معیارها.....	۱۹
جدول ۳-۳: ماتریس تصمیم‌گیری برای سه استان ایران.....	۲۲
جدول ۱-۴: نتایج آنالیز حساسیت.....	۴۹
جدول ۲-۴: مشخصات تجهیزات به کاررفته.....	۵۷
جدول ۳-۴: انواع سیستم‌های بهینه‌شده جهت تأمین بار مصرفی برای سایت سرایان در استان خراسان جنوبی.....	۵۹
جدول ۴-۴: انواع سیستم‌های بهینه‌شده جهت تأمین بار مصرفی برای سایت بیدخت در استان خراسان رضوی.....	۶۰
جدول ۵-۴: انواع سیستم‌های بهینه‌شده جهت تأمین بار مصرفی برای سایت جاجرم در استان خراسان شمالی.....	۶۱
جدول ۷-۴: هزینه‌های سیستم بهینه انتخاب‌شده برای سایت سرایان.....	۶۲
جدول ۸-۴: هزینه‌های سیستم بهینه انتخاب‌شده برای سایت بیدخت دو.....	۶۳
جدول ۹-۴: هزینه‌های سیستم بهینه انتخاب‌شده برای سایت جاجرم.....	۶۴
جدول ۹-۴: انتشار آلاینده‌گی برای سیستم‌های بهینه طراحی‌شده برای سایت سرایان.....	۶۶
جدول ۱۰-۴: انتشار آلاینده‌گی برای سیستم‌های بهینه طراحی‌شده برای سایت بیدخت دو.....	۶۶
جدول ۱۱-۴: انتشار آلاینده‌گی برای سیستم‌های بهینه طراحی‌شده برای سایت جاجرم.....	۶۶
جدول ۱۲-۴: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۰۵ یورو.....	۶۷
جدول ۱۳-۴: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۰۷ یورو.....	۶۸
جدول ۱۴-۴: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۱۲ یورو.....	۶۹
جدول ۱۵-۴: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۱۵ یورو.....	۷۰
جدول ۱۶-۴: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۲ یورو.....	۷۱
جدول ۱۷-۴: نتایج با تغییر قیمت مازول ها با نرخ بهره و قیمت سوخت ثابت برای سایت سرایان.....	۷۲

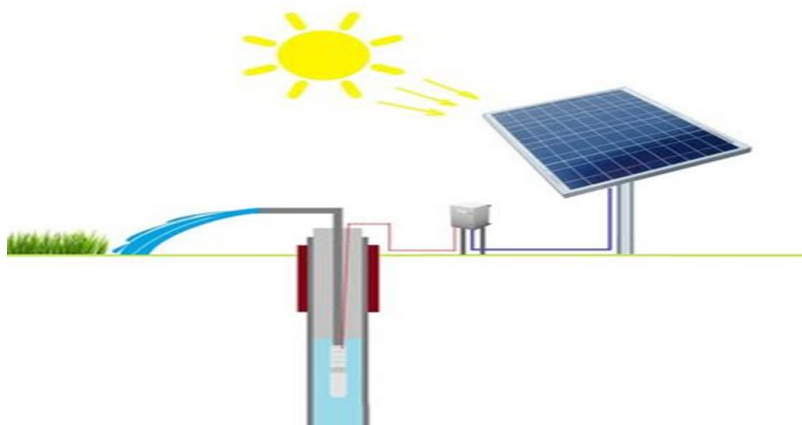
- جدول ۴-۱۸: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۰۵ یورو..... ۷۴
- جدول ۴-۱۹: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۰۷ یورو..... ۷۵
- جدول ۴-۲۰: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۱۲ یورو..... ۷۶
- جدول ۴-۲۱: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۱۵ یورو..... ۷۷
- جدول ۴-۲۲: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۲ یورو..... ۷۸
- جدول ۴-۲۳: نتایج با تغییر قیمت ماژول ها با نرخ بهره و قیمت سوخت ثابت برای سایت بیدخت دو..... ۷۹
- جدول ۴-۲۴: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۰۵ یورو..... ۸۰
- جدول ۴-۲۵: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۰۷ یورو..... ۸۱
- جدول ۴-۲۶: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۱۲ یورو..... ۸۳
- جدول ۴-۲۷: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۱۵ یورو..... ۸۳
- جدول ۴-۲۸: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۲ یورو..... ۸۴
- جدول ۴-۲۹: نتایج با تغییر قیمت ماژول ها با نرخ بهره و قیمت سوخت ثابت برای سایت جاجرم..... ۸۵

فصل اول: مقدمه و معرفی سیستم پمپ آب خورشیدی

۱- مقدمه

برق مهم‌ترین شکل انرژی است که در دنیای معاصر استفاده می‌شود. با افزایش جمعیت، مصرف انرژی در سراسر جهان به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه به‌طور مداوم در حال افزایش است [۱،۲]. نقش انرژی و سوخت در فعالیت‌های روزمره و زندگی امروز بشر بر کسی پوشیده نیست و محدود بودن این منابع حیاتی، باعث شده تا جوامع به سمت تغییر الگوهای مصرف و تغییر رفتارها در استفاده از انرژی بروند و دولت‌ها به فکر راه‌هایی برای صرفه‌جویی، کاهش هزینه‌های سرسام‌آور آن و یافتن انرژی‌های نو باشند و به تبع آن مصرف انرژی به‌خصوص تجدید ناپذیرها بالا رفته است [۳]. بالا رفتن قیمت سوخت‌های فسیلی، ملاحظات زیست‌محیطی، امنیت تأمین انرژی، کاربری در پتروشیمی، پیشرفت فناوری و توجه اقتصادی در برخی موارد از جمله عوامل تعیین‌کننده آینده انرژی‌های تجدید پذیر است [۴]. بنابراین استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر مانند انرژی خورشید، باد و... یک ضرورت است. امروزه انرژی خورشیدی به‌عنوان یکی از پاک‌ترین و در دسترس‌ترین منابع، دارای بزرگ‌ترین قابلیت برای برآوردن نیاز جهان در آینده به‌عنوان یکی از منابع تجدید پذیر است. و منبع اصلی تمام انرژی‌ها در زمین و منحصربه‌فردترین منبع انرژی تجدید پذیر است [۵]. انرژی خورشید به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم به اشکال مختلف تبدیل می‌شود. استفاده از انرژی خورشیدی به‌عنوان سوخت مفید و ارزان در بخش کشاورزی رویکرد جدیدی خواهد بود. و می‌توان از این منبع غنی انرژی در گلخانه‌ها، مکانیزاسیون و ماشین‌آلات کشاورزی و مصارف خانگی و صنعتی و نیروگاهی که همگی مصرف‌کننده سوخت‌های فسیلی هستند استفاده کرد که این امر به کاهش قابل توجه مشکلات آنان خواهد انجامید [۶]. استفاده از این انرژی در کشورهایمانند ایران که در کمربند خورشیدی جهانی قرار دارد و میزان تابش پرتوهای سالانه آن بالا است، یکی از بهترین گزینه‌ها است [۷]. یکی از روش‌هایی که می‌توان از انرژی خورشیدی، برق را دریافت و ذخیره کرد تأسیس نیروگاه‌های ترکیبی فتوولتاییک با پمپ آب است [۸]. در شکل ۱ عناصر اصلی تشکیل‌دهنده سیستم پمپاژ خورشیدی را نشان می‌دهد. این سیستم عمدتاً از یک آرایه فتوولتاییک یک اینورتر پمپ آب فتوولتاییک و یک پمپ آب تشکیل شده است. سلول‌های خورشیدی را می‌توان با توجه به مصرف روزانه آب، که به‌عنوان سیستم پمپاژ آب فتوولتاییک نیز شناخته می‌شود، با توان مربوطه همسان‌سازی کرد. این سیستم کاملاً اتوماتیک کار می‌کند، بدون محافظت دستی، موجب صرفه‌جویی در دستگاه‌های ذخیره انرژی مانند باتری، جایگزینی ذخیره‌سازی با ذخیره آب می‌شود و مستقیماً پمپ را برای بلند کردن آب هدایت می‌کند. پنل فتوولتاییک در این مجموعه از تعداد زیادی ماژول سلول خورشیدی متصل به‌صورت سری و موازی تشکیل شده است، انرژی تابش خورشیدی را جذب می‌کند، آن را به انرژی الکتریکی، یعنی تولید انرژی خورشیدی تبدیل می‌کند و

انرژی را برای کل سیستم فراهم می‌کند. عملکرد اینورتر به این صورت است که، برق حاصله از خروجی پنل را تبدیل به برق مورد نیاز برای راه اندازی پمپ می‌کند کنترل و تنظیم زمان واقعی عملکرد سیستم، هنگامی که نور آفتاب کافی است، سیستم برای عملکرد امتیاز می‌یابد هنگامی که نور آفتاب کافی نیست، حداقل فرکانس کار برای اطمینان از کاربرد کامل انرژی خورشیدی تنظیم شده است. پمپ خورشیدی وظیفه پمپ آب با استفاده از برق تولیدی توسط پنل و اینورتر را به عهده دارد. هنگامی که تولید انرژی بالاتر از تقاضای انرژی باشد مازاد انرژی برای پمپاژ آب از آن استفاده می‌شود. یک مخزن کم به یک مخزن زیاد انرژی را به صورت انرژی پتانسیل گرانشی آب (شارژ/پمپاژ) ذخیره می‌کند آب را می‌توان از منابع آب‌های عمیق مانند چاه‌های عمیق یا رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، داخل مخازن آب تزریق کرد یا مستقیماً به سیستم‌های آبیاری یا چشمه وصل شود. از پمپ‌های DC، پمپ‌های AC، پمپ‌های گریز از مرکز، پمپ‌های محوری، پمپ‌های جریان مختلط، پمپ‌های چاه عمیق و غیره می‌توان استفاده کرد [۹، ۱۰]. از موارد مؤثر در تحلیل اقتصادی سیستم‌های ترکیبی این است که می‌توان از توان اضافی تولید شده در روزهایی که به حداکثر توان فتوولتائیک نیازی نیست، برای مصارف دیگر استفاده نمود. با توجه به اینکه پمپ‌ها و سیستم آبیاری خورشیدی بهترین و کم‌هزینه‌ترین راه حل برای آبیاری مزارعی می‌تواند باشد که برق شبکه به آنجا رسیده و یا رساندن برق شبکه بسیار سخت و پرهزینه باشد [۱۱].



شکل ۱-۱ عناصر اصلی سیستم پمپاژ خورشیدی

۱-۲ مزایا و معایب استفاده از سیستم‌های تولید برق فتوولتائیک

سیستم پمپ‌های فتوولتائیک قابلیت استحصال آب از چاه‌ها، قنات، چشمه‌ها و رودخانه‌ها و... را جهت مصارف عمومی دارا هست. تکنولوژی بکار رفته در ساخت پنل‌های فتوولتائیک از مصالح بادوامی است. در گذشته دوام دستگاه‌ها را حدود ۱۰ سال در نظر می‌گرفتند. اما با پیشرفت‌های انجام شده، متوسط عمر مفید این سیستم‌ها به ۲۵ سال رسیده است، در سیستم منابع تجدید ناپذیر،

هزینه‌های حمل‌ونقل مواد و نیروی کار بسیار بالا است. اما در سیستم‌های فتوولتایک چنین هزینه‌هایی در چرخه تولید وجود ندارد. زیرا سیستم به بازرسی‌های دوره‌ای و نگهداری‌های گهگاهی با هزینه اندک نیاز دارد. در سیستم‌های فتوولتایک نیازی به منابع سوختی فسیلی و ... نمی‌باشد. بنابراین مضرات زیست محیطی ناشی از این منابع و هزینه‌های حمل‌ونقل و انبارداری آن‌ها حذف می‌شود. سیستم‌های فتوولتایک بدون حرکت و کاملاً بی‌صدا بوده و آلودگی صوتی ندارد. قابلیت نصب و راه‌اندازی سیستم‌های فتوولتایک در ظرفیت‌های گوناگون، با توجه به مدول‌های پیش‌ساخته در این سیستم‌ها می‌توان الکتریسیته را در مقیاس‌های مختلف تولید کرد. چنانچه با سیستم‌های فتوولتایک می‌توان از چند میلی وات تا چندین مگاوات انرژی به دست آورد. اگر این سیستم را به‌صورت مدول‌های کوچک و منفرد استفاده کنیم، برای نیازهای بسیار ناچیز و اگر در مزرعه‌ای مجموعه‌ای از آرایش‌های گسترده فتوولتایک را بکار ببریم، نیروگاهی عظیم را ایجاد کرده‌ایم. در مواقعی که انتقال برق شهری امکان‌پذیر نباشد، می‌توان از این سیستم‌ها بهره‌گیری کرد. زیرا به‌صورت مستقل الکتریسیته تولید کرده و نیازی به نگهداری فراوان ندارند. پس در مناطق دورافتاده و صعب‌العبور، استفاده از این سیستم‌ها گزینه مناسبی خواهد بود. مهم‌ترین ایرادی که به این سیستم‌ها وارد است، هزینه‌های بالای نصب و راه‌اندازی آن‌هاست. درحالی‌که با نگاه کارشناسانه و دقیق، این سیستم‌ها در درازمدت به‌صرفه خواهند بود. با توجه به نیاز این سیستم‌ها به نور خورشید، تغییرات جوی بر مقدار انرژی تولیدشده در این سیستم‌ها، مؤثر است. پس لازم است که این موضوع را در طراحی سیستم‌ها موردتوجه قرار دهیم. در بیشتر مواقع لازم است از باتری‌هایی به‌منظور ذخیره انرژی استفاده شود که این موضوع سبب افزایش هزینه‌ها می‌شود. با توجه به نو بودن کاربرد تکنولوژی فتوولتایک در ساختمان، تنها بخشی از مردم با امکانات و ارزش‌های آن آشنا هستند و این موضوع در توسعه بازار آن تأثیر منفی دارد [۱۲].

۱-۳ ضرورت استفاده از انرژی خورشیدی

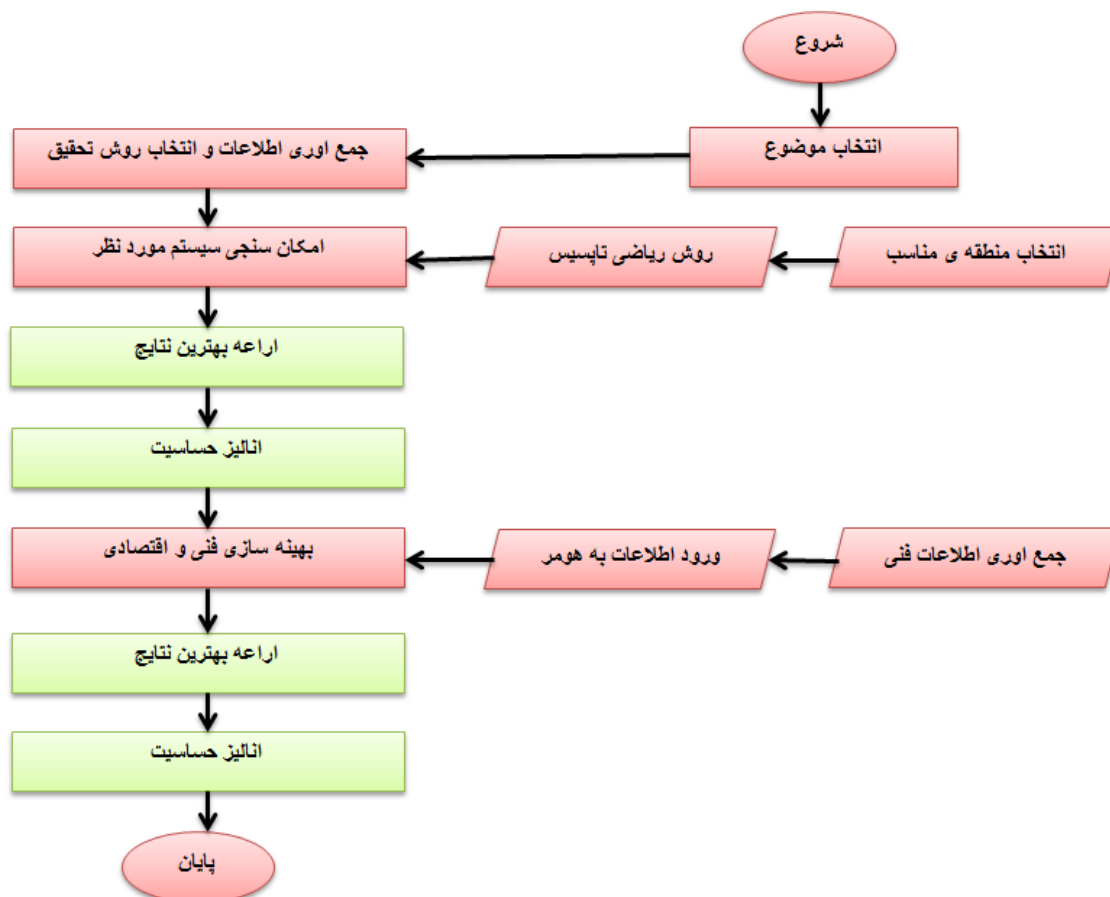
کشاورزی در ایران، بخش قابل‌توجهی از اقتصاد این کشور را می‌سازد. بر پایه آمار رسمی در سال ۱۳۹۶، ۱۷٫۶ درصد از نیروی کار ایرانی در بخش کشاورزی مشغول هستند. نزدیک به یک‌سوم زمین‌های ایران، قابلیت کشاورزی را دارند، اما به دلیل خاک نامرغوب و نامناسب بودن پخش آب در بیشتر نواحی، تنها در ۱۲٪ از سرزمین ایران کشاورزی انجام می‌شود. اما کمتر از یک‌سوم از زمین‌های کشاورزی آبیاری می‌شود طبق ترازنامه انرژی منتشرشده از سوی وزارت نیرو تنها در سال ۱۳۹۴ در حوزه کشاورزی بیش از ۳ میلیارد و ۱۶۳ میلیون لیتر گازوئیل، ۲۳ میلیون لیتر نفت ۴۸۹ هزار لیتر بنزین و ۴۹۲ هزار لیتر نفت کوره مصرف‌شده در نتیجه استفاده بیش‌ازحد از آن‌ها باعث آلودگی محیط‌زیست نیز می‌شود [۱۳]. بنابراین توسعه و گسترش انرژی‌های تجدید پذیر باعث

کمک به تحقق اهداف توسعه اقتصادی، زیست‌محیطی و حفظ انرژی‌های تجدید پذیر رو به پایان است. استفاده از انرژی‌های نو و از این میان انرژی خورشیدی می‌تواند باعث کاهش وابستگی به منابع فسیلی، کاهش انتشار گازهای آلاینده از بخش‌های تولید و مصرف منابع انرژی و همچنین باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای که تأثیر اساسی بر بالا رفتن دمای کره زمین دارد شود. تقاضای برق جهت پمپاژ آب در حوزه‌ی کشاورزی و حتی دام‌پروری در مناطق دورافتاده از شبکه سراسر برق می‌تواند یک انتخاب هوشمندانه باشد.

۱-۴ دلایل انتخاب سه استان خراسان شمالی و رضوی و جنوبی

مهم‌ترین دلیل برای تأمین برق منطقه، توسط سیستم‌های فتوولتائیک تابش خورشید است. به نقل از ساتبا سه استان خراسان شمالی و جنوبی و رضوی از حدود ۳۰۰ روز آفتابی در طول سال برخوردار است، که نمایانگر پتانسیل بالای آن در حوزه بهره‌برداری از انرژی خورشیدی است [۱۳]. نکته‌ی دیگر وجود آب که یکی از مهم‌ترین منابعی است که انسان به آن وابسته است، آب حاصل از دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و چاه‌ها جهت مصارفی همچون کشاورزی، دامداری، صنعت و مصارف عمومی همواره یکی از معضلات موجود بر سر راه جوامع انسانی و به‌خصوص جوامع روستایی بوده است. در بسیاری از مناطق موردنظر، در این سه استان، آب در سفره‌های زیرزمینی وجود داشته است و خارج‌سازی آن توسط دست یا تلمبه‌های دستی و یا توسط موتورهای دیزلی که از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند صورت می‌گیرد. در مناطق کویری یا کوهستانی موردنظر که مشکلات برق‌رسانی وجود دارد و نیز آب در عمق نسبتاً زیادی از سطح زمین قرار دارد خارج‌سازی آب به روش فوق امکان‌پذیر نیست، در این مناطق استفاده از پمپ‌های خورشیدی می‌تواند مزایای فراوانی داشته باشد. لذا طبق اطلاعات به دست آمده تأسیس نیروگاه خورشیدی با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی در این سه استان ایران گزینه‌ی بسیار عالی هست. تعداد جمعیت، حجم فعالیت‌های صنعتی و اقتصادی و وضعیت آب‌وهوا از عوامل تأثیرگذار در مصرف برق استان‌ها می‌باشد به‌گونه‌ای که بخش کشاورزی استان خراسان رضوی با ۴۷۲۱.۸ گیگاوات ساعت بیشترین میزان مصرف برق را به خود اختصاص داده‌اند. در سال ۱۳۹۴، بیشترین حجم مصرف بنزین مربوط به استان‌های تهران، اصفهان و خراسان رضوی به ترتیب با ۵۱۶۵.۱، ۱۷۷۲.۱، ۱۸۹۴.۱ میلیون لیتر و کمترین حجم مصرف آن مربوط به استان‌های ایلام، خراسان شمالی و کهگیلویه و بویر احمد به ترتیب با ۱۶۶۵.۸، ۱۷۹.۸، ۱۸۳.۸ میلیون لیتر بوده است. در سال ۱۳۹۴ بیشترین مصرف نفت سفید مربوط به استان‌های آذربایجان غربی، سیستان و بلوچستان، کرمانشاه و خراسان رضوی به ترتیب به میزان ۵۴۳.۳، ۴۴۵.۴، ۳۳۸.۳، ۳۰۸.۶ میلیون لیتر بوده است. فروش وزارت نیرو در استان خراسان جنوبی در بخش کشاورزی ۴۹۴۰.۸ گیگاوات ساعت، استان خراسان رضوی ۴۷۲۱.۸

گیگاوات ساعت و در استان خراسان شمال ۳۳۲.۹ گیگاوات ساعت می‌باشد. بنابراین استفاده از سیستم پمپ آب فتوولتائیک در این سه استان باعث کاهش هزینه‌های جاری دولت و کشاورزان می‌شود و از اهمیت بالایی برخوردار است [۱۳]. در شکل ۲-۱ بلوک دیاگرام مراحل تحقیق نشان داده شده است.



شکل ۲-۱ بلوک دیاگرام تحقیق

فصل دوم: مروری بر پژوهش‌های پیشین

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه سیستم‌های هیبرید صورت گرفته است که چند نمونه از آن‌ها به شرح زیر است. ملکی و همکاران [۱۴] یک مدل بهینه برای الکتریکی سازی یک منطقه دورافتاده واقع در نمین، اردبیل، ایران شبیه‌سازی شده بر اساس عملکرد به حداقل رساندن هزینه و حداکثر رساندن بازده منبع تغذیه و نتایج نشان داد که سیستم فتوولتایک، توربین بادی، پیل سوختی، مستقل از شبکه برای تأمین نیازهای الکتریکی مقرون به صرفه ترین است. ملکی و همکاران [۱۵] نوزده الگوریتم تکاملی برای تعیین اندازه بهینه سیستم انرژی تجدید پذیر ترکیبی شامل توربین باد پنل فتوولتایک، باتری، واحد نمک‌زدایی اسمز معکوس نتایج نشان می‌دهد که تکنیک‌های بهینه‌سازی ترکیبی بهترین عملکرد را ارائه می‌دهد و باعث کاهش هزینه‌های سیستم و افزایش قابلیت اطمینان سیستم و در دسترس بودن آب شیرین می‌شود. یانک و همکاران [۱۶] در این مقاله یک مطالعه امکان‌سنجی دقیق از یک سیستم ترکیبی باد و خورشید با ذخیره انرژی باتری برای یک جزیره دورافتاده ارائه شده است علاوه بر این اثرات اندازه پنل و توربین بادی بر عملکرد اقتصادی و قابلیت اطمینان سیستم در نرم‌افزار هومر مور بررسی قرار گرفت. شزان و همکاران [۱۷] در این مقاله برای روستایی دورافتاده، واقع در ایالت سلانگور مالزی که از نظر جغرافیایی از اتصال به شبکه جدا است، یک سیستم ترکیبی بادی خورشیدی خارج از شبکه را شبیه‌سازی کرده‌اند. ملکی و همکاران [۱۸] یک مطالعه موردی در شرق ایران برای تعیین مکان یک سیستم فتوولتایک مستقل در مناطق روستایی با در نظر گرفتن معیارهای فنی، زیست‌محیطی، اقتصادی و همچنین با رویکرد بهینه‌سازی ازدحام مصنوعی زنبور عسل پیشنهاد شده است نتایج نشان داد که می‌توان از آن برای پروژه‌های فتوولتایک خارج از شبکه در مناطق روستایی استفاده کرد. لی همکارانش [۱۹] با روش تاپسیس و الکره در سال ۲۰۱۸ باهدف تحلیل انواع انرژی تجدید پذیر و رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف برای کشور تایوان، نتایج نشان داد که هیدرو بهترین گزینه در تایوان و سپس به ترتیب خورشیدی، باد، زیست‌توده و زمین‌گرمایی است همچنین نیروگاه برق بهترین منبع اقتصادی است. گیولسین و همکاران [۲۰] با روش AHP در سال ۲۰۱۷ در کشور ترکیه یک نیروگاه حرارتی و سه پروژه انرژی تجدید پذیر با یکدیگر مقایسه و به صورت تحلیلی رتبه‌بندی شده است. و در نتیجه با در نظر گرفتن تکنولوژی، اندازه، هزینه، جنبه‌های محیطی و غیره چندین گزینه مختلف را مورد بررسی قرار دادند. سیستم نیروگاه حرارتی به عنوان بهترین گزینه انتخاب شد. داینا و همکاران [۲۱] در سال ۲۰۱۸ با روش الکره در کشور پرتغال با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی / مالی، فنی، اجتماعی و زیست‌محیطی با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره ارائه می‌دهد، که نصب

سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی در پارک نمایشگاه شهرداری بهترین رتبه‌بندی بود. سیامک مرادی و همکاران [۲۲] در سال ۲۰۲۰ در کشور ایران با روش AHP^۱ با در نظر گرفتن معیارهای ساختاری، توپوگرافی و زیست‌محیطی، همراه با زیرمعیارهای آن‌ها، برای از بین بردن مکان‌های نامناسب و انتخاب بهترین مکان در نظر گرفته شده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که ۲۰٪ از منطقه مورد مطالعه برای توسعه نیروگاه بادی مناسب است. منطقه جنوب شرقی استان، از جمله کرج و شهرستان نظرآباد، دارای بالاترین اولویت در استان البرز است. شاهید و همکاران [۲۳] در سال ۲۰۱۹ در کشور تایلند با روش AHP باهدف شناسایی سایت‌های ایدئال برای تعیین مکان مزارع بادی و خورشیدی در مقیاس مطلوب در استانی در جنوب تایلند. نتایج نشان می‌دهد که در جنوب این استان به ترتیب برای مزارع بادی و خورشیدی مناسب است. ایودل و همکاران [۲۴] در سال ۲۰۱۸ در کشور نیجریه با روش AHP یک مدل چند معیارها مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی برای انتخاب سایت مزرعه بادی با استفاده از روند سلسله مراتبی فازی در نیجریه اجرا می‌شود. نتایج این مطالعه نشان داد که بهترین مکان‌ها برای توسعه نیروگاه بادی اساساً در قسمت شمالی نیجریه واقع شده‌اند. دپش و همکاران [۲۵] در سال ۲۰۱۱ در کشور هند با روش تصمیم‌گیری چند معیاره سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی باهدف تعیین مناطق پتانسیل آب زیرزمینی، که چهار منطقه بالقوه آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه شناسایی و مشخص شد، یعنی "خوب"، "متوسط"، "ضعیف" و "بسیار ضعیف". عبدالوهاب و همکاران [۲۶] در سال ۲۰۱۵ با روش الکره باهدف یافتن بهترین محل انتخاب نیروگاه بادی دریایی برای چهار سایت (جایگزین) در بندر دیلم در خلیج فارس در جنوب غربی ایران. نتایج نشان داد A3 بهترین سایت و A1 جایگزین بدترین سایت است. هاوران و همکاران [۲۷] در سال ۲۰۱۹ در کشور چین با روش تصمیم‌گیری چند معیاره رویکرد فازی-دلفی باهدف، انتخاب سیستم ذخیره بهینه انرژی و ارزیابی جامع سیستم‌های ذخیره انرژی باتری، که نتیجه تجربی نشان می‌دهد باتری لیتیوم یون انتخاب اولویت برای پروژه‌های نمایش میکرو شبکه است. واتسون و همکاران [۲۸] در سال ۲۰۱۵ در کشور انگلستان با روش AHP باهدف انتخاب مکان مناسب برای سایت خورشیدی و بادی، نتایج نشان می‌دهد این منطقه برای توسعه مزارع خورشیدی مناسب‌تر است. جان و همکاران [۲۹] در سال ۲۰۱۳، با روش AHP با ارزیابی قرارگیری بهینه نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک در منطقه کارتاگنا (منطقه مورسیا)، در جنوب شرقی اسپانیا مطالعه صورت گرفت نتایج نشان داد مناطقی را در منطقه کارتاگنا انتخاب شد که از نظر انرژی، بهینه هستند و همچنین با نیاز آن‌ها سازگاری دارد. مهران جمشیدی و همکاران [۳۰] به طراحی چند هدف یک سیستم ترکیبی متشکل از فتوولتائیک، پیل سوختی و

¹ Analytical Hierarchy process

دیزل ژنراتور برای تأمین نیروی برق یک جامعه خارج از شبکه در کرمان، جنوب ایران در حضور فعال ذخیره (یا) و عدم اطمینان از بار و انرژی خورشیدی پرداخته است. کل هزینه خالص فعلی و از دست دادن احتمال منبع تغذیه، به عنوان اهداف در نظر گرفته می شوند و متغیرهای تصمیم گیری تعداد پانل های، دیزل ژنراتور ها، فیوسل ها، الکترولیزرها و مخازن هیدروژن است. بر اساس نتایج شبیه سازی، مشاهده شده است که ادغام فناوری انرژی هیدروژن هزینه کل سیستم های انرژی ترکیبی را کاهش می دهد. محمد گزگوز و همکاران [۳۱] به طراحی ذخیره سازی باتری هیدرولیکی پمپ شده ترکیبی بهینه برای سیستم های انرژی تجدید پذیر از شبکه پرداخته اند. اندازه بهینه سیستم بر اساس بهینه سازی چند هدف با استفاده از بهینه ساز گرگ خاکستری پیاده سازی شده در نرم افزار متلب تعیین می شود. نتایج نشان می دهد که سیستم ذخیره سازی ترکیبی دستیابی به قابلیت اطمینان بالاتر با هزینه کمتری را در مقایسه با سیستم دارای فناوری ذخیره سازی واحد امکان پذیر می کند. همچنین استفاده از ذخیره سازی هیبریدی باعث کاهش محدودیت تولید انرژی های تجدید پذیر می شود. زکی دیاب و همکاران [۳۲] در این مقاله، یک مدل شبیه سازی توصیف عملکرد سیستم میکرو شبکه ترکیبی / پنل / باد / دیزل با ذخیره بانک باتری ارائه شده است. اندازه گیری بهینه سیستم پیشنهادی برای به حداقل رساندن هزینه انرژی تأمین شده توسط سیستم ضمن افزایش قابلیت اطمینان و کارایی سیستم ارائه شده با از دست دادن احتمال منبع تغذیه، ارائه شده است. الگوریتم های بهینه سازی جدید الگوریتم بهینه سازی نهنگ، الگوریتم چرخه آب، بهینه ساز شعله پروانه و الگوریتم جستجوی گرانشی ازدحام ذرات ترکیبی برای طراحی ریز شبکه بهینه شده استفاده شده است. نتایج شبیه سازی عملکرد امیدوارکننده الگوریتم نهنگ ترکیبی را نسبت به الگوریتم های دیگر تأیید کرد. زکی دیاب و همکاران [۳۳] به اندازه گیری مطلوب سیستم انرژی ذخیره سازی ترکیبی خورشیدی / بادی / هیدروالکتریکی در مصر بر اساس تکنیک های مختلف فرا-اکتشافی پرداخته است. در این مقاله، یک مطالعه جامع بین الگوریتم بهینه سازی نهنگ، الگوریتم چرخه آب، الگوریتم ازدحام و بهینه ساز گرگ خاکستری برای تأیید هر یک انجام شده است. نتایج شبیه سازی ثابت کرد که الگوریتم نهنگ بیشترین عملکرد را نسبت به سایر تکنیک ها دارد. لین و همکاران [۳۴] به مطالعه امکان سنجی سیستم فتوولتائیک توزیع شده با ذخیره آب پمپ شده برای ساختمان های مسکونی پرداخته اند. برخی از شاخص های فنی، مانند نرخ خود مصرفی و میزان خود کفایی، برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی تحت سناریوهای مختلف استفاده می شود. نتایج نشان می دهد که سیستم ذخیره آب پمپ شده در ساختمان های آپارتمانی می تواند قدرت مازاد بیشتری (۴.۸۳ کیلووات ساعت در روز) را نسبت به ساختمان های ویلایی از سیستم فتوولتائیک جذب کند و انرژی بیشتری را آزاد کند. علاوه بر این، یک تجزیه و تحلیل حساسیت برای

ساختمان‌های آپارتمانی انجام شده است، که نشان می‌دهد ظرفیت فتوولتائیک و تقاضای بار دو پارامتر کلیدی هستند که بر هزینه و درآمد تجارت با شبکه تأثیر می‌گذارند. جود و همکاران [۳۵] به ارزیابی فنی و اقتصادی یک سیستم باتری خورشیدی- بادی ترکیبی مستقل برای یک جزیره دورافتاده با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته است. این مطالعه یک مدل ریاضی را برای بهینه‌سازی سیستم انرژی ترکیبی خورشید و باد با ذخیره‌سازی برای یک جزیره دورافتاده با الگوریتم ژنتیک توسعه می‌دهد. چهار مورد مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج با نرم‌افزار HOMER^۲ که به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد مقایسه می‌شوند و نشان می‌دهد که روش الگوریتم ژنتیک می‌تواند از نظر هزینه و قابلیت اطمینان سیستم، سیستم بهینه‌تری نسبت به HOMER تولید کند. جاود و همکاران [۳۶] به اندازه‌گیری یکپارچه سیستم ترکیبی باتری پنل/ باد برای جزیره دورافتاده با توجه به اشباع شدن هر منبع انرژی تجدید پذیر پرداخته‌اند. در این مطالعه، قابلیت اطمینان سیستم و بارهای مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. تجزیه و تحلیل تعادل انرژی کل سال و عملکرد شبیه‌سازی سیستم برای بررسی قابلیت اطمینان سیستم انجام شده است. تجزیه و تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که انرژی باد، هزینه باتری و بار تأثیر مهمی بر هزینه انرژی نسبت به سایر عوامل دارد. جود و همکاران [۳۷] ذخیره آب و باتری پمپاژ ترکیبی برای سیستم منبع تغذیه مبتنی بر انرژی تجدید پذیر را بررسی کرده‌اند. در ابتدا اندازه‌گیری ژنراتورهای و ذخیره انرژی، سپس یک استراتژی عملیاتی جدید سیستم تجدید پذیر مبتنی بر ذخیره آب و باتری پمپاژ ترکیبی، با توجه به محدوده عملکرد دستگاه توربین پمپ برگشت پذیر، برای استخراج حداکثر انرژی ذخیره شده توسط ذخیره آب و باتری پمپاژ ترکیبی با بهره‌وری مطلوب، توسعه یافته است. سرانجام تراز انرژی سیستم پیشنهادی برای نشان دادن عملکرد عملیاتی دقیق ذخیره آب و باتری پمپاژ ترکیبی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. بین لو و همکاران [۳۸] این مطالعه باهدف ایجاد یک سری الگوریتم‌های پیشرفته سیستم اطلاعات جغرافیایی برای یافتن مکان‌های احتمالی برای آب آبی پمپاژ در رودخانه در یک منطقه بزرگ مانند یک ایالت یا یک کشور انجام شده است. دو نوع سایت معمولی، آبراه خشک و لانه ترکیه، مدل‌سازی می‌شوند، الگوریتم‌های جستجوی سایت می‌توانند به‌طور مؤثری در شناسایی سایت‌های آبی پمپاژ شده در خارج از رودخانه کار کنند، اجازه می‌دهد ارزیابی‌های با وضوح بالا از ذخیره انرژی آبی پمپاژ شده به سرعت در مقیاس گسترده انجام شود. تجزیه و تحلیل حساسیت تأثیرات قابل توجه حداکثر ارتفاع دیواره سد بر تعداد سایت‌ها و ظرفیت ذخیره‌سازی کل را نشان می‌دهد. سیریک و همکاران [۳۹] در این مقاله توضیحات مکان کوچک نیروگاه آبی، انتخاب توربین، اندازه نیروگاه، اتصال نیروگاه به شبکه و همچنین جنبه قانونی و

² Hybrid Optimization of Multiple Electric Renewables

تأثیرات زیست‌محیطی تأسیسات آینده در صربستان ارائه‌شده و مورد بحث قرار گرفته است. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل فنی و اقتصادی از نیروگاه برق‌آبی کوچک آینده ارائه‌شده و مورد بحث قرار گرفته است. سرانجام موانع و تهدیدهای عمده‌ای برای رشد ظرفیت کوچک برق‌آبی مشخص شده و پیشنهادهایی برای افزایش سطح نفوذ آب کوچک و سایر منابع تجدید پذیر به شبکه در صربستان ارائه‌شده است. سان و همکاران [۴۰] یک طرح عملکرد ترکیبی بهینه برای ذخیره پمپاژ و سیستم تولید برق مکمل باد-فتوولتائیک بادی را ارائه کرده‌اند، یک مطالعه موردی برای نشان دادن بهبود مشخصات تولید برق و کاهش تلفات درآمد ذخیره انرژی پمپ شده هیدرولیکی و سیستم تولید برق مکمل بادی-فتوولتائیک بادی پمپ شده ارائه‌شده است. مورایتو همکاران [۴۱] این مقاله مروری فنی بر طراحی و نتایج حاصل از اولین تأسیسات خرد ذخیره‌سازی انرژی پمپ شده در نوع خود ذخیره سازی الکتریکی حرارتی پمپ شده را ارائه می‌دهد. این مقاله پارامترهای فنی و اقتصادی را برای یک راه حل مقرون به صرفه برای میکرو ذخیره سازی الکتریکی حرارتی پمپ شده تعریف می‌کند و یک مجموعه داده مهم برای تجزیه امکان‌سنجی میکرو ذخیره سازی الکتریکی حرارتی پمپ شده ارائه می‌دهد. ژنگ و همکاران [۴۲] در این مقاله، مدل ریاضی سیستم باتری فتوولتائیک برای بررسی عملکرد سیستم، بر اساس شاخص‌های مختلف اقتصادی و فنی، تهیه‌شده است. این مطالعه نشان می‌دهد که یکپارچه‌سازی ذخیره انرژی باتری می‌تواند ارزش مصرف خودکار و میزان خودکفایی را افزایش دهد در حالی که دوره بازپرداخت را طولانی‌تر می‌کند. سیستم‌های باتری فتوولتائیک قابل توجهی تحت تعرفه‌های عملی برق پویا در یک بازار معمول برق شبیه‌سازی شده‌اند. علاوه بر این، کل تحلیل اقتصادی چرخه زندگی نشان می‌دهد که نرخ خودکفایی بالاتر به سرمایه‌گذاری اولیه بالاتر اما دوره بازپرداخت کوتاه‌تر و سود بیشتر اشاره دارد. ریحمان و همکاران [۴۳] باهدف بررسی ظرفیت‌های موجود ذخیره سازی الکتریکی حرارتی پمپ شده جهانی، توسعه فن‌آوری و دستگاه‌های ترکیبی (باد-آبی)، خورشیدی و پیشنهاد بهترین گزینه‌های ممکن است. این بررسی نشان می‌دهد که ذخیره سازی الکتریکی حرارتی پمپ شده مناسب‌ترین فناوری برای شبکه‌های کوچک جزیره خودمختار و ذخیره انرژی عظیم است. ما و همکاران [۴۴] سیستم ذخیره آب هیدرولیکی پمپ شده پرداخته‌اند. قابلیت اطمینان سیستم و معیارهای اقتصادی به‌عنوان یک معیار برای بهینه‌سازی مورد بحث قرار گرفته است. الگوریتم ژنتیک، همراه با مفهوم بهینه‌سازی پارتو برای بهینه‌سازی فنی و اقتصادی سیستم استفاده می‌شود اندازه‌گیری، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سیستم با استفاده از تکنیک الگوریتم ژنتیک تک هدف و دو هدف انجام می‌شود. عملکرد مورد بهینه تحت، احتمال از دست دادن منبع تغذیه صفر بررسی می‌شود. این مطالعه نشان می‌دهد که

مدل‌های پیشنهادی و الگوریتم بهینه‌سازی مؤثر است و می‌تواند برای سایر مطالعات مشابه در آینده استفاده شود.

۲-۲ برجستگی مطالعه حاضر

با توجه به تحقیقات و جدول بالا و فعالیت‌هایی که در زمینه سیستم پمپ آب خورشیدی صورت گرفته است، در مکان‌یابی نیروگاه پمپاژ خورشیدی، معیارها و مشکلات فراوانی وجود دارد. که این معیارها نیازمند ارزیابی هم‌زمان می‌باشند [۴۵]. بزرگ‌ترین محدودیت برای اجرای این فناوری، اختلاف ارتفاع بین مخازن بالا و پایین و فضای موجود برای ساخت دو مخزن بزرگ می‌باشد [۴۶]. از معایب اصلی این سیستم‌ها می‌توان به هزینه اولیه بالای آنها اشاره کرد [۴۷]. همچنین متناوب بودن و پایداری نسبتاً پایین انرژی خورشیدی در روزهای ابری یا بارانی می‌باشد [۴۵، ۴۸]. اما یکی از اصلی‌ترین مزایای سیستم‌های تولید برق فتوولتائیک برتری آنها در زمینه تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی و طول عمر بالای ماژول‌ها و کاهش هزینه‌های نهایی تولید برق در مناطق دورافتاده از شبکه سراسری برق است [۴۹]. اگر مکان‌یابی سیستم‌های پمپاژ آب فتوولتائیک به درستی انجام شود، می‌تواند بسیار کارآمد تر از سیستم‌های پمپاژ مبتنی بر دیزل ژنراتور به‌ویژه در مناطق دور از دسترس شبکه و روستایی باشد [۵۰]. با توجه به اینکه برای مکان‌یابی و بهینه‌سازی نیروگاه پمپاژ خورشیدی کارهای ارزشمند زیادی در سراسر جهان صورت گرفته است اما در زمینه سیستم‌های ترکیبی بیش از یک منبع جهت تولید برق، مانند نیروگاه پمپاژ خورشیدی مطالعات اندکی صورت گرفته است و در این منطقه موردنظر، پتانسیل سنجی صورت نگرفته و مدت‌سازی نشده است و معیارها به‌صورت جامع بررسی نشده است لذا در این تحقیق سعی شده است که معیارهای مهم و تأثیر گزار که بر مکان‌یابی بهینه و عملکرد نیروگاه پمپاژ خورشیدی در سه استان ایران شامل خراسان شمالی و خراسان جنوبی و خراسان رضوی ضروری است موردبررسی قرار گیرد. برای بررسی این امر از روش تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شده است. در این راستا از روش تاپسیس که یکی از معروف‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است با روش شانون انترپی انجام شده است، ۱۵ معیار و پارامتر ضروری برای نیروگاه پمپ آب خورشیدی برای ۹۳ سایت منتخب، در نظر گرفته شده است. سپس به اولویت‌بندی سایت‌های این سه استان با روش تاپسیس، انجام شده است این معیارها عبارت هستند از تابش خورشید، ظرفیت تخمینی قابل استحصال خورشید، شیب زمین، رطوبت نسبی، سرعت باد، دما، فاصله از خط، فاصله از جاده، فاصله از مرکز شهر، فاصله از پست، تعداد سدهای اطراف، فاصله از رود، ارتفاع از دریا، جمعیت و میزان بارندگی. تفاوت اصلی این پژوهش با پژوهش‌های دیگران در این است که تاکنون پتانسیل شهرستان‌های این سه استان به‌صورت جداگانه ترکیبی با روش اولویت‌بندی تاپسیس بررسی نشده، معیارها بصورت جامع

بررسی نشده و بهترین مکان ارائه نشده است و آنالیز حساسیت صورت نگرفته است. همچنین تاکنون مطالعات جامعی از نظر بررسی سیستم های ترکیبی مختلف انجام نشده است. در این تحقیق به بررسی مدلسازی و بهینه سازی سیستم پمپ آب خورشیدی به همراه باتری و ژنراتور، باهدف مینیموم کردن هزینه برای تأمین نیاز آبی محصول غلات در زمینی به مساحت ۱۲ هکتار، و تأمین آب مصرفی یک‌خانه، اجزای مختلف سیستم با نرم افزار هومر بهینه‌شده است. که این بهینه‌سازی علاوه بر کاهش انتشار آلاینده‌های صوتی و زیست‌محیطی که توسط اغلب نویسندگان کمتر موردتوجه قرار می‌گیرد، باعث کاهش هزینه‌های اقتصادی کشاورز خواهد شد. در انتها مقایسه ای بین انواع سیستم های بهینه انجام شده است و با انجام آنالیز حساسیت به بررسی بیشتر سیستم های بهینه پرداخته شده است نرم افزار هومر نیاز به کد زدن ندارد و نرم افزار شناخته شده ای می باشد و خیلی از روش ها و تحقیقات را با نرم افزار هومر اعتبار سنجی میکنند لذا در این پایان نامه اعتبار سنجی صورت نگرفته است.

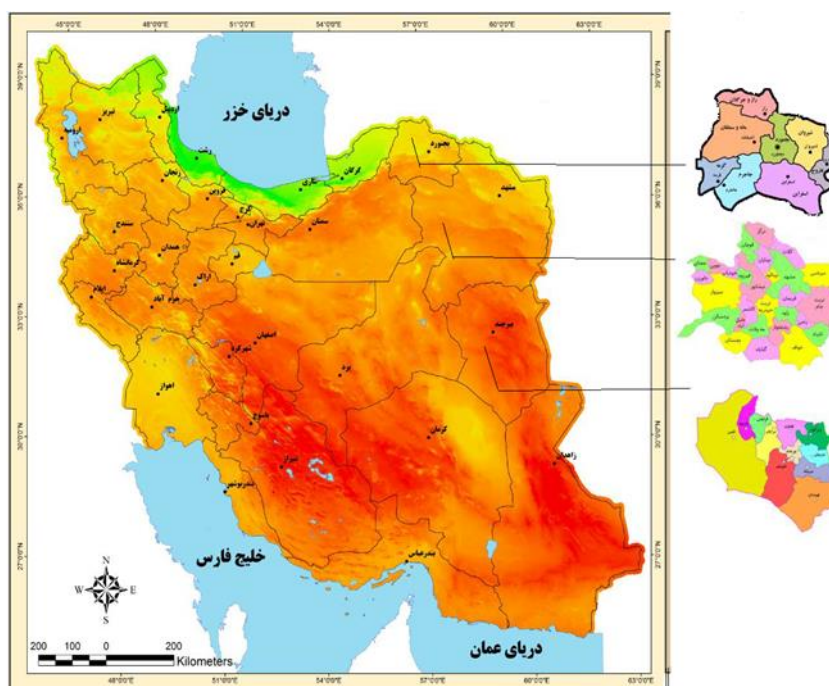
فصل سوم: امکان‌سنجی و تحلیل اقتصادی و فنی

۳-۱ مقدمه

بهینه‌سازی ریاضی یا برنامه‌ریزی ریاضی در ریاضیات، اقتصاد، مدیریت به برگزیدن بهترین عضو از یک مجموعه از اعضای دست‌یافتنی اشاره می‌کند. در ساده‌ترین شکل تلاش می‌شود که با گزینش نظام‌مند داده‌ها از یک مجموعه قابل‌دستیابی و محاسبه مقدار یک تابع حقیقی مقدار بیشینه و کمینه آن به دست آید. به زبان ساده بهینه‌سازی به معنای انجام بهتر کارها هست. یک عامل مهم در بهینه‌سازی زمان رسیدن به پاسخ است که جست‌وجوی همه‌جانبه زمان‌بر و پرهزینه است در همین راستا در این فصل ابتدا به بررسی امکان‌سنجی سه استان ایران شامل خراسان شمالی و خراسان جنوبی و خراسان رضوی پرداخته شده است سپس اجزای مختلف سیستم هیبرید مورد نظر مدل‌سازی شده است. جهت بررسی انواع مدل‌های استفاده شده در سیستم هیبرید متشکل از سلول خورشیدی، پمپ آب، باتری، دیزل، اینورتر و انتخاب مدل مناسب، نیاز به آشنایی با ساختار این سیستم‌ها وجود دارد سپس تحلیل اقتصادی پروژه و نحوه‌ی محاسبه‌ی هزینه‌ها بررسی شده است.

۳-۲ انتخاب گزینه‌های تصمیم

گزینه‌های بررسی شده در این پژوهش از بین سه استان خراسان رضوی، خراسان جنوبی و خراسان شمالی واقع در شرق و شمال شرقی کشور می‌باشد. در شکل ۳-۱۱ اطلس تولید سالانه انرژی فتوولتاییک (با استفاده از میانگین اطلاعات بلندمدت) و نقشه مکانی هر سه استان و شهرستان‌ها نشان داده شده است و در جدول ۳-۱ مختصات جغرافیایی هر کدام از سایت‌ها برای استان خراسان جنوبی نشان داده شده است. در خصوص اطلس خورشیدی مبنای انتخاب اطلس بانک جهانی است که در شکل زیر مشخص است. مهندسين در گروه اطلس‌های انرژی دفتر پتانسیل سنجی و ارزیابی منابع با در دست داشتن بانک جهانی، نهایتاً برای هر استان نقاط دارای پتانسیل خورشیدی را ارائه نمودند [۱۳].



شکل ۳-۱: اطلس خورشیدی ایران و نقشه مکانی سه استان خراسان رضوی، شمالی و جنوبی روی نقشه [۱۳].

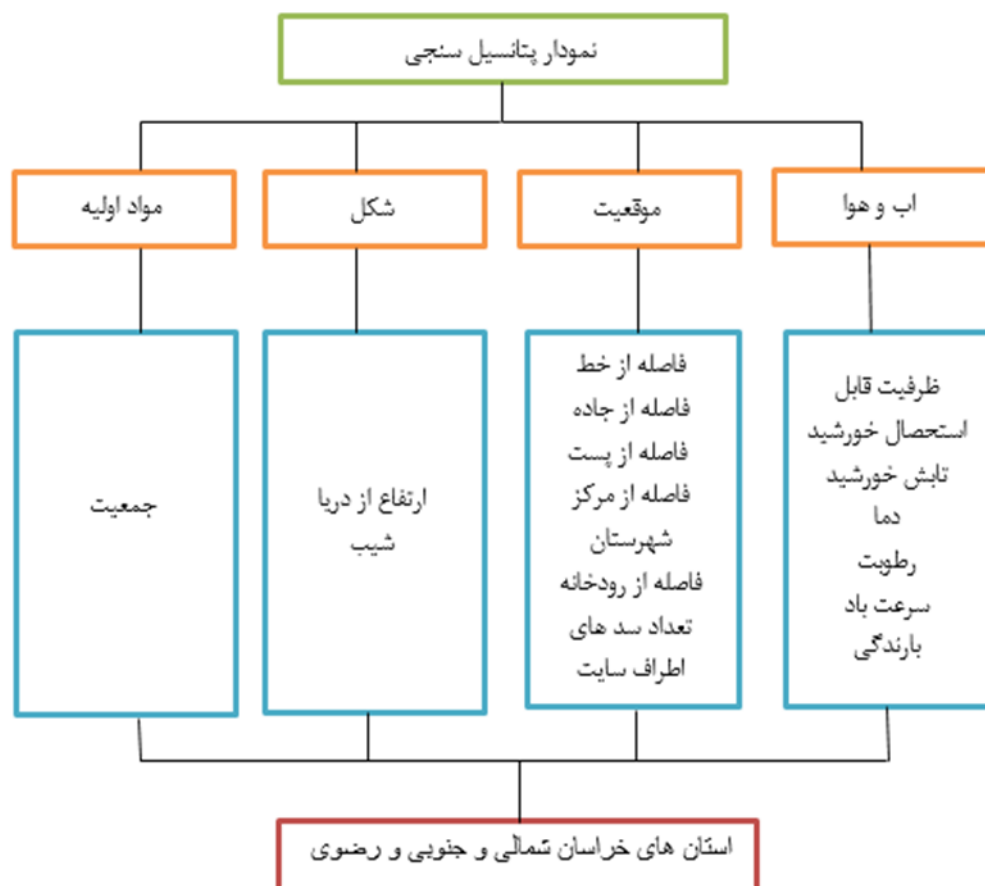
جدول ۳-۱: طول و عرض جغرافیایی سایت‌های منتخب

نام سایت	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نام سایت	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
سبزواری	57.6653	36.148810°	علی آباد الو	56.490297	37.00076
کوثر	58.78799	34.37779	باباامان	57.4915	37.5113
ماهانه	58.899372	34.94951	گرمه	56.232247	37.0277
مشهدریز	60.24714	34.45875	قنات کنار	56.09975	37.07845
سنگان ۱	60.24714	34.45875	سفیدآبه	58.6681	31.09912
بیدخت	58.74297	34.33446	شوسف	59.99756	31.8822
شهر جنگل	59.20324	34.71716	چاهدراز	59.83668	32.02159
سرداغ	58.13066	34.79341	تیغدره	59.821357	32.11903
زرگری	59.70061	34.93716	ابراهیمی	59.81619	32.27941
نامن	57.38454	36.11223	مومن آباد	59.82844	32.42662
نامن ۲	57.42336	36.1404	شهرک سربیشه	59.833003	32.60905
سنگبست ۲	59.79159	35.99908	اسدیه	60.009127	32.89148
بیدخت ۲	58.76877	34.31548	نصرالدین	60.22199	32.92001
حاجی آباد	58.82151	34.45229	پدران	59.71471	32.62784
شهر جنگل ۲	59.21748	34.68324	نوفرست	59.50111	32.74395
ابنیه	59.558138	35.01918	موود	59.51512	32.68878

32.80677	58.93808	خوسف	34.94421	59.71552	زرغری
32.84767	59.02281	سیوجان	34.72102	60.85843	قمی
32.83021	59.30089	شوکت آباد	34.66163	60.62896	تایباد
32.9543	59.31379	کلاته وجدی	34.45229	58.82151	حاج آباد
33.35079	59.205	ارین شهر	34.94233	60.79874	محسن آباد
33.44946	59.17808	روم	34.87889	60.78767	سرداب
33.62463	59.97889	حاجی آباد	34.94388	60.76235	عباس آباد ۲
33.59446	59.85574	خطیبی	34.96024	60.76681	عباس آباد ۳
33.67135	59.69111	اسفدن	36.32218	60.89928	قوش عظیم ۱
33.74308	59.55338	شهرک سیندر	36.37536	60.79783	گنبد لی
33.9459	59.63757	گرماب	36.33125	60.90066	قوش عظیم ۲
33.66739	59.19323	قاین	35.27153	58.14329	علیآباد کشر
33.65971	58.789245	هاشمیه	35.3149	58.09812	کوه ارسنگ
33.82674	58.53463	سرایان	35.27243	58.18533	نصراآباد
33.8716	58.46733	ایسک	35.228	57.90885	ابراهیم آباد
33.89948	58.33178	سرد	35.20461	57.99601	سیف آباد
33.72947	58.58419	بسطاق	35.24554	57.92736	ابراهیم آباد ۲
33.87673	59.09638	دشت بیاض	35.24554	57.92736	زر مهر
57.53285	33.35058	دیپوک	37.05294	57.41112	چهل حصار
57.52043	33.323063	رضویه	36.88868	57.39668	قاسم خان
57.52043	33.43397	شاهزاده علی	36.59678	57.94781	صفی آباد
57.47166	33.43397	لصفهک	37.34176	58.0322	شیروان
56.81777	33.12897	مرغوم	37.33009	58.08724	رضا آباد
56.92601	33.4837	کریت	37.32366	58.04918	دوین
56.88002	33.49963	دشتقران	37.30391	58.12492	فاروج
56.73753	33.40061	فهلنج	37.36978	57.963351	چلو
57.02116	33.59519	خسروآباد	37.525	57.28854	بجنورد
56.96604	33.64165	طبس	37.2876	56.54252	رباط عشق
56.9464	34.08003	امیرآباد	36.90565	56.41625	جاجرم
56.92527	34.25367	عشق آباد	36.69031	56.51075	امیر آباد
			37.00076	56.4903	کلاته گزی

۳-۳ انتخاب شاخص‌ها

اولین گام در تصمیم‌گیری چند معیاره تعیین معیارهای مؤثر در موضوع پژوهش است [۵۱، ۵۲]. در این پژوهش معیارهای مؤثر در اولویت‌بندی شهرستان‌های ۳ استان خراسان رضوی، خراسان شمالی و خراسان جنوبی بر اساس شاخص‌های مؤثر بر نیروگاه‌های پمپاژ خورشیدی و مطالعات موردی و تحقیقات انتخاب‌شده است. در شکل ۳-۲، معیارهای برگزیده‌ی مسئله ارزیابی پتانسیل نواحی مختلف جهت تأسیس نیروگاه ارزیابی شده است.



شکل ۳-۲ معیارهای مسئله ارزیابی پتانسیل نواحی مختلف برای تأسیس نیروگاه پمپاژ خورشیدی [۵۱، ۵۲]

در جدول ۳-۲ به بررسی مثبت و منفی بودن معیارها پرداخته شده است.

جدول ۳-۲: بررسی مثبت و یا منفی بودن معیارها [۴۹]

نوع	معیار	شماره
-	فاصله از خط	۱
-	شیب	۲
+	ارتفاع از دریا	۳

۴	فاصله از مرکز شهر	+
۵	تابش خورشید	+
۶	ظرفیت قابل استحصال خورشید	+
۷	فاصله از جاده	-
۸	فاصله از پست	-
۹	فاصله از رود	+
۱۰	تعداد سدهای اطراف	+
۱۱	رطوبت	-
۱۲	سرعت باد	-
۱۳	دما	-
۱۴	بارندگی	-
۱۵	جمعیت	+

۳-۴ بررسی معیارها

بارندگی: بارش اثرات نامطلوبی، از اشکالات فنی گرفته تا کثیف شدن سطح صفحات فتوولتاییک را سبب می‌شود بنابراین مناطق با بارش بالا در طول سال رطوبت آن منطقه را نشان می‌دهد، رطوبت بالا می‌تواند با جذب و یا بازتاب نور خورشید، میزان تابشی که به سطح ماژول‌های فتوولتاییک می‌رسد را کاهش دهد. در نتیجه افزایش بارندگی باعث ایجاد اختلال در نیروگاه شده و یک شاخص منفی در نظر گرفته می‌شود [۴۹].

ارتفاع: در صورتی که پنل در ارتفاع بیشتری نصب شده باشد، ضخامت جو کمتر و به دنبال آن میزان جذب نور به وسیله سلول خورشیدی راحت‌تر و بهتر است. از سوی دیگر، به دلیل کاهش دما در ارتفاعات بالاتر، عملکرد ماژول‌های فتوولتاییک نیز بهبود پیدا می‌کند. این نکته باید مدنظر قرار گرفته بشود که ارتفاع نصب پنل از سطح زمین باید به گونه‌ای باشد که در زمان بارش برف و باران کمترین آسیب به پنل وارد آید و همچنین در محل‌هایی که به دلیل افزایش ارتفاع دسترسی به آنجا سخت می‌شود، هزینه انتقال تجهیزات، کارگر و احداث نیروگاه افزایش پیدا می‌کند، که در نتیجه برای راه‌اندازی نیروگاه خورشیدی مناسب نخواهد بود [۵۳].

شیب: شیب زمین به طور چشمگیری بر پایداری محل نصب نیروگاه خورشیدی فتوولتاییک اثرگذار است. شیب زمین می‌تواند روی هزینه عمرانی نیروگاه خورشیدی اثر مستقیم داشته باشد. با افزایش میزان شیب، هزینه تسطیح زمین و ساخت سازه نگه‌دارنده (استراکچر) پنل‌های خورشیدی افزایش

می‌یابد. بنابراین بهتر است که محل موردنظر جهت ساخت نیروگاه خورشیدی، صاف و دارای شیب اندک باشد. شیب اقتصادی برای محل احداث نیروگاه خورشیدی بین ۰ تا ۳ درجه است. افزایش شیب زمین در هنگام زلزله باعث تخریب تجهیزات و نیروگاه می‌شود [۵۳].

متوسط دمای سالانه: در نظر گرفتن اثر دما در فرآیند انتخاب محل احداث نیروگاه خورشیدی، باعث کاهش هدر رفت سرمایه و افزایش راندمان نیروگاه خورشیدی می‌شود. این امر به دلیل آن است که بین راندمان ماژول‌های فتوولتائیک و دمای آن‌ها رابطه عکس برقرار است. به‌طور کلی، افزایش یا کاهش بیش از حد دما باعث ایجاد مشکلات در عملکرد نیروگاه می‌شود [۵۵].

فاصله تا جاده: دسترسی به جاده، باعث سهولت در رفت‌وآمد نیروی انسانی و حمل‌ونقل تجهیزات نیروگاه می‌شود. از این‌رو، دسترسی به جاده به‌عنوان یک عامل پایه‌ای در آمایش سرزمینی محل احداث نیروگاه‌ها، در نظر گرفته می‌شود و نقش مهمی در تأسیس نیروگاه‌ها ایفا می‌کند.

فاصله تا خطوط انتقال: خطوط انتقال برق، جز اصلی سیستم است، که انرژی الکتریکی را از نیروگاه به مناطق مصرف‌کننده می‌رساند. هر چه فاصله بیشتر باشد مقاومت کابل‌ها و تلفات و هزینه بیشتر شده و در نتیجه راندمان کاهش می‌یابد، پس بهترین مکان برای نصب نیروگاه نزدیک‌ترین مکان به پست برق است.

فاصله از پست: پست محلی است که تجهیزات انتقال انرژی در آن نصب و تبدیل ولتاژ انجام می‌شود. فاصله تا پست برق اگر زیاد باشد باعث تلفات و کاهش راندمان و افزایش هزینه و زمان می‌شود، ضمن اینکه بسیاری از کارشناسان حوزه سلامت و محیط‌زیست امواج ساطع از میدان‌های الکترومغناطیسی را تهدیدی بر سلامت انسان می‌دانند. لذا یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها می‌باشد.

رطوبت: افزایش رطوبت باعث خرابی و زنگ‌زدگی در تجهیزات سیستم نیروگاه می‌شود [۵۵]. به مقدار آبی که در هوا وجود دارد رطوبت گفته می‌شود. بخار آب و کربن دی‌اکسید مهم‌ترین جذب‌کننده‌های انرژی تابشی در جو می‌باشند. مناطق با رطوبت بالا به دلیل جذب انرژی کوتاه خورشید توسط بخار آب مستعد بهره‌برداری از انرژی خورشید نیستند.

جمعیت: مناطقی که جمعیت بیشتری دارند در اولویت برای خدمات‌رسانی هستند، چراکه نیاز آنها به انرژی و خدمات‌رسانی بیشتر است، لذا معیاری مثبت می‌باشد [۵۶].

فاصله تا مرکز شهر: احداث نیروگاه، در نزدیکی مناطق مسکونی شهری می‌تواند تأثیرات زیست‌محیطی منفی بر رشد و جمعیت شهری داشته باشد اغلب نیروگاه‌های بادی و زیست‌توده به دلیل آلودگی‌های ناشی از جمع‌آوری زباله و آلودگی صوتی همانند نیروگاه خورشیدی بهتر است که از مرکز شهر فاصله بیشتری داشته باشد و معیاری مثبت هست.

فاصله تا رودخانه: به دلیل نیاز به محافظت از محیط زیست اکولوژیکی رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و دیگر منابع آبی، لازم است که نیروگاه‌های برق با فاصله از این مناطق ساخته شوند. برخلاف دیگر انواع نیروگاه‌های برق، سیستم‌های خورشیدی فتوولتائیک آلاینده‌گی بسیار کمی دارد. بر اساس مدل بولین، حداقل فاصله نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک با رودخانه و دریاچه باید 200 متر باشد. البته رعایت این فاصله باعث افزایش ایمنی نیروگاه در مقابل خطر وقوع سیل نیز خواهد شد.

سرعت باد: باد جریان ذرات گاز است که به طور تصادفی جریان دارد. بسته به قدرت جریان، ذرات کوچک از رسوبات جامد تا اجسام معلق می‌توانند صفحات خورشیدی و سایر تجهیزات را مسدود کرده و از آن‌ها خارج کنند باد می‌تواند باعث فرسایش و خرابی‌های احتمالی در بهره‌برداری از نیروگاه‌های خورشیدی شود.

۳-۵ ماتریس تصمیم‌گیری

نخستین گام در تمامی تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره که هدف انتخاب گزینه بهینه است تشکیل ماتریس تصمیم است. ماتریس تصمیم‌گیری یک ماتریس برای ارزیابی تعدادی گزینه بر اساس تعدادی معیار است، یعنی ماتریسی که در آن هر گزینه بر اساس تعدادی معیار امتیازدهی شده است. ماتریس تصمیم‌گیری در این پژوهش یک ماتریس 15 در 93 است که دارای 15 معیار و 93 گزینه است که در جدول ۳-۳ نشان داده شده است. 93 گزینه سایت‌های استان خراسان شمالی و جنوبی و رضوی هست که این سایت‌ها توسط مهندسين سازمان انرژی‌های تجدید پذیر و بهره‌وری انرژی برق ایران (ساتبا) منتخب شده است و شامل ۱۵ معیار مؤثر و حائز اهمیت برای احداث نیروگاه پمپاژ آب خورشیدی است.

جدول ۳-۳ ماتریس تصمیم‌گیری برای سه استان ایران

نام سایت	فاصله از خط شبکه	فاصله از پست	شیب	فاصله دسترسی به جاده	تابش خورشید	ظرفیت تخمینی قابل استحصال خورشید	دما	رطوبت نسبی	ارتفاع	فاصله از مرکز شهر	میزان بارندگی	جمعیت	فاصله از رود	تعداد سد های درهر شهر	سرعت باد
سبزوار	۰	۳.۹	۱.۰۰	۰	۱۴۰۰	۱۵۰	۱۷.۱	۴۰	۹۷۷.۶	۶.۳۹	۱۹۱.۵	۲۸۲۰۴۹	۴.۷۴	۴	۳.۸۳
کوثر	۰	۷.۳	۱.۴۰	۳.۹	۱۷۰۰	۱۵۰	۱۷.۱	۴۶	۱۰۲۰.۱	۹.۲۴	۱۷۱.۱	۸۸۷۵۳	۷.۴۲	۱	۳.۹۳
ماهانه	۰.۷	۳۲.۷	۱.۱۵	۳.۵	۱۷۵۰	۱۱۶.۵	۱۷.۸	۳۹	۹۴۰	۶۰.۴	۱۸۰.۱	۸۱۸۷۴	۱۸.۲	۱	۳.۹۳
مشهدریز	۰	۵۴	۰.۷۰	۰.۱	۱۶۵۰	۱۵۰	۱۷.۸	۴۰	۱۰۶۳	۱۶.۰۸	۱۸۱	۱۲۴۴۳	۳۴.۶۱	۲	۴.۵۴
سنگان ۱	۰	۱۰۰	۱.۲۰	۱	۱۶۰۰	۱۵۰	۲۶	۴۶	۹۵۰.۴	۱۳.۵۴	۱۷۰.۲	۱۲۴۴۳	۲۵.۲۲	۲	۴.۵۴

۴.۳۶	۱	۴.۹۵	۱۲۴۴۳	۱۴۴	۲.۴۴	۱۰.۶۶	۴۰	۱۷.۸۶	۸۵	۱۶۵۰	۰.۳	۲.۱۰	۰.۹	۰	بیدخت
۴.۳۶	۱	۵۱.۹۹	۸۸۷۵۳	۲۶۲.۳	۴۸.۲۳	۱۴۵۰.۸	۴۵	۱۴.۶	۱۵۰	۱۷۰۰	۰.۲	۱.۲۰	۱.۶	۰	شهر جنگل
۴.۳۶	۴	۷۱.۴۲	۱۴۳۶۰	۱۹۵.۵	۲۶.۳۴	۱۱۶۶	۴۰	۱۷.۸۶	۱۵۰.۵	۱۴۷۰	۱.۶	۱.۰۰	۰.۸	۰.۲	سرداغ
۴.۳۶	۱	۳۵.۷	۲۲۴۶۲۶	۱۸۸.۲	۷.۸۲	۹۹۸	۴۰	۱۷.۸	۷۵	۱۷۰۰	۵.۴	۱.۴۰	۵.۴	۱۵۰	زرگری
۳.۸۳	۴	۶۰.۸۹	۲۸۲۰۴۹	۱۸۰.۱	۲۷.۶	۸۷۱	۴۰	۱۷.۱	۱۵۰	۱۴۷۰	۵	۰.۵۵	۳۷	۰	نامن
۳.۸۳	۴	۲۶.۲۴	۲۸۲۰۴۹	۱۸۰.۵	۲۲.۴۴	۸۶۹	۴۰	۱۷.۱	۱۵۰	۱۵۷۰	۴.۹	۱.۰۰	۲۴	۰.۷	نامن ۲
۴	۳	۲۹.۵۷	۶۹۶۴۰	۲۴۰.۴	۲۷.۳۲	۱۱۰۴	۵۴	۱۵.۷	۳۰	۱۶۰۰	۰.۱	۱.۷۰	۶۲	۰.۶	سنگبست ۲
۳.۹۳	۸	۲۶.۷۱	۵۵۰۱	۱۳۹	۵.۹۸	۱۰.۶۸	۳۹	۱۶.۹	۱۵۰	۱۶۵۰	۰	۱.۸۵	۴	۰	بیدخت ۲
۳.۹۳	۸	۵۳.۳۴	۸۸۷۵۳	۲۰۰.۱	۱۹.۹۲	۱۱۶۶	۴۰	۱۷.۲	۹۲.۵	۱۷۰۰	۰	۱.۰۰	۸۸	۰.۱	حاجی ایاد
۳.۴۹	۱۷	۵۰.۵۵	۸۸۷۵۳	۱۳۹	۵۹.۹۵	۱۰.۵۶	۳۹	۱۷.۵	۱۵۰	۱۷۰۰	۲	۱.۹۰	۲	۲	شهر جنگل ۲
۳.۴۹	۱	۴۷.۸	۸۸۷۵۳	۱۷۹	۲۳	۹۹۸	۴۰	۱۷.۸	۵۰	۱۷۰۰	۰	۱.۸۰	۹.۷	۰	ابنیه
۴.۳۶	۱	۳۶.۵	۲۲۴۶۴۶	۲۵۹.۱	۷.۸۹	۱۴۵۰.۸	۴۵	۱۴.۶	۱۵۰	۱۶۵۰	۰.۶	۱.۴۰	۵.۴	۰	زرغری
۴.۵۸	۶	۲۵.۴۲	۲۲۴۶۲۶	۱۸۱	۲۴.۷۳	۷۵۸	۳۹	۱۶.۶	۱۵۰	۱۵۵۰	۰	۱.۷۰	۵.۴	۶	قمی
۴.۵۸	۶	۴۲.۲۲	۱۱۷۵۶۴	۱۸۰	۱۵.۴۹	۸۳۲	۳۹	۱۶.۵	۱۵۰	۱۶۵۰	۴.۱	۰.۹۵	۳.۳	۱.۳	تایباد
۴.۵۸	۶	۱۴.۵۵	۸۸۷۵۳	۱۷۹	۱۴.۶	۷۳۰	۳۸	۱۵.۹	۱۵۰	۱۵۵۰	۰.۴	۰.۹۵	۴	۰.۲	حاج ایاد
۴.۵۸	۶	۲۹.۰۷	۲۲۴۶۲۶	۱۷۰.۲	۲۳.۵۳	۹۳۲	۴۶	۱۵.۷	۱۵۰	۱۶۰۰	۰.۴	۰.۴۵	۳۷	۰	محسن ایاد
۴.۵۸	۶	۲۶.۸۳	۱۱۷۵۶۴	۱۷۰.۲	۱۴.۸۸	۹۵۰.۴	۴۶	۱۵.۷	۱۵۰	۱۶۰۰	۰	۰.۷۵	۱۲	۰	سرداب
۴.۵۸	۶	۳۱.۸۷	۱۱۷۵۶۴	۲۶۱.۲	۲۳.۳۵	۱۴۵۰.۸	۴۵	۱۴.۶	۱۵۰	۱۶۰۰	۰	۰.۸۵	۱۹	۰	عباس ایاد ۲
۴.۵۸	۶	۳۴.۰۱	۱۱۷۵۶۴	۲۶۱.۲	۲۰.۳۵	۱۴۴۰	۴۵	۱۴.۶	۱۵۰	۱۵۰۰	۰	۰.۵۵	۲۴	۰	عیاس ایاد ۳
۳.۹	۱	۴۹.۰۱	۴۲۱۷۹	۱۸۸	۲۷.۸۷	۳۰۰	۵۰	۱۸.۰۸	۱۵۰	۱۴۰۰	۷.۲	۰.۵۰	۲۲.۶	۸.۵	قوش عظیم ۱
۳.۹	۱	۶۰.۴۱	۴۲۱۷۹	۱۹۰	۳۴.۸۶	۳۹۶	۵۰	۱۸.۰۸	۸۵	۱۳۵۰	۰.۰۲	۰.۶۵	۲۳.۶	۰.۲	گنبد لی
۳.۹	۱	۵۱.۱۱	۴۲۱۷۹	۱۸۸	۲۹.۵۹	۳۷۱	۵۰	۱۷.۹۹	۱۵۰	۱۴۰۰	۶.۸	۰.۵۵	۲۱	۶.۵	قوش عظیم ۲
۴.۱	۱	۴۵.۱	۵۴۲۳	۱۹۰.۵	۱۴.۹۱	۱۱۰۰.۱	۴۰	۱۷.۸۶	۱۵۰	۱۷۰۰	۱.۱	۰.۹۰	۱.۲	۰	علی آباد کشمیر
۴.۱	۱	۴۰.۵	۵۴۲۳	۱۷۰	۱۳	۹۸۰	۴۰	۱۷.۵۴	۱۵۰	۱۶۵۰	۷.۲	۰.۹۰	۷.۲	۰.۶	کوه ارسنگ

۴.۱	۱	۴۹.۳۱	۵۴۲۳	۱۷۹	۱۶.۲۲	۹۷۵	۳۶	۱۷.۹	۱۵۰	۱۶۷۰	۰	۱.۰۵	۰.۲	۰	نصرا باد
۴.۱	۱	۲۶.۷	۶۷۱۲	۱۷۵	۶۶	۹۷۰	۴۰	۱۸	۱۳۵	۱۶۰۰	۰	۱.۲۵	۸.۷	۰	ابراهيم آباد
۴.۱	۱	۳۴.۱	۶۷۱۲	۱۷۰	۳۳.۷۷	۹۴۰	۳۸	۱۸.۱	۱۵۰	۱۶۷۰	۶۸	۱.۴۵	۴	۲.۵	سیف آباد
۴.۱	۱	۳۳.۱۲	۶۷۱۴	۱۷۱	۶۶۱	۹۳۰	۴۰	۱۷.۹	۵۵.۵	۱۶۰۰	۰.۱	۱.۶۰	۶	۰.۱۱	ابراهيم آ باد
۴.۱	۱	۲۷.۱۵	۷۶۱۲	۱۶۹	۴.۳۷	۹۷۰	۳۸	۱۶.۲	۱۳۳	۱۸۰۰	۰.۱	۱.۶۰	۱۳	۰	زر مهر
۲.۳	۳	۲۲	۶۰۳۲۷	۲۱۳.۵	۷.۹	۱۲۳۵	۵۴	۱۹	۳۰	۱۷۰۰	۰.۱	۳.۱۰	۸	۵۰	چهل حصار
۲.۳	۳	۸.۰۶	۶۰۳۲۷	۲۱۳.۵	۲۰.۴	۱۲۰۰	۵۴	۲۰.۱	۱۵۰	۱۶۰۰	۲۰	۱.۹۰	۲۰	۰	قاسم خان
۲.۳	۳	۳۵.۰۱	۶۰۳۲۷	۲۲۲.۲	۶۴.۴۵	۱۲۴۴	۵۴	۱۹.۷	۳۰	۱۵۰۰	۱۰	۰.۸۰	۱۰	۰	صفی آباد
۲.۱۷	۲	۲۹.۰۱	۸۸۲۵۴	۳۰۱.۴	۱۰.۵۱	۱۰۹۴	۵۹	۱۵.۲	۴۵	۱۵۰۰	۱	۱.۶۰	۱.۵	۰	شیروان
۲.۱۷	۲	۲۱.۰۱	۸۸۲۵۴	۳۰۰.۴	۱۵.۷	۱۰۳۴	۵۹	۱۶.۳	۳۵	۱۵۰۰	۱	۰.۳۰	۵	۲۰۰	رضا آباد
۲.۱۷	۲	۲۰.۱۷	۸۸۲۵۴	۳۰۱.۴	۱۳.۸	۱۰۹۸	۵۹	۱۵.۷	۱۸.۵	۱۵۰۰	۱.۵	۱.۷۰	۱.۵	۵۰۰	دوین
۲.۱۲	۱	۱۸.۹	۱۸۱۳۱	۲۸۷.۷	۱۱.۶	۱۱۸۱	۵۵	۱۳.۷	۱۰۰	۱۵۰۰	۸	۰.۹۰	۸	۰	فاروج
۲.۱۲	۱	۱۱	۱۸۱۳۱	۲۷۷.۸	۱۲	۱۱۳۴	۵۵	۱۶.۹	۱۵	۱۵۰۰	۰.۱۷	۱.۹۰	۴	۰	چلو
۲.۲	۱	۲۳	۱۹۹۷۹۱	۲۸۳.۸	۷.۸	۱۰۷۱	۶۰	۲۳	۶۰	۱۵۰۰	۰.۲	۲.۸۰	۳	۰	بجنورد
۴.۶	۲	۳۱.۷	۱۸۴۵۸	۲۱۶.۷	۳۸	۱۰۹۹	۵۸	۲۳.۲	۱۵۰	۱۵۰۰	۰.۸	۰.۹۰	۳۲	۳۰۰	رباط عشق
۴.۶	۲	۸.۰۱	۱۸۴۵۸	۲۱۵.۷	۲۵.۸	۱۰۸۸	۵۸	۲۲.۷	۱۵۰	۱۶۰۰	۰.۲	۱.۰۰	۶	۰	جاجرم
۴.۶	۲	۲۹.۰۱	۱۸۴۵۸	۲۱۶.۷	۳۱.۱	۱۰۷۶	۵۸	۲۳.۳	۱۵۰	۱۶۰۰	۰.۴	۱.۲۰	۲۰	۰	امیر اباد
۴.۶	۲	۱۶.۰۱	۱۸۴۵۸	۲۱۷.۸	۱۱.۳	۱۰۵۵	۵۸	۲۱.۷	۱۵۰	۱۶۰۰	۰.۱۵	۲.۰۰	۸۰	۲۰۰	کلاته گزی
۴.۶	۲	۱۹.۲	۱۸۴۵۸	۲۱۳.۲	۱۶.۱	۱۰۷۱	۵۸	۲۲.۲	۱۵۰	۱۵۰۰	۱۵۰	۱.۷۰	۵۰	۰	علی آباد الو
۲.۲	۲	۱۲.۷۲	۱۹۹۷۹۱	۲۸۳.۸	۱۵.۹	۱۰۷۱	۶۰	۱۶.۵	۱۰	۱۵۰۰	۰.۱۵	۶.۰۰	۱۱	۰	باباامان
۴.۶	۲	۱۳.۱۱	۱۸۴۵۸	۲۱۲.۹	۱۷.۲	۱۰۹۹	۶۰	۲۲.۵	۱۵۰	۱۷۰۰	۰	۱.۲۰	۱۰۰	۰	گرمه
۴.۶	۲	۱۱.۲	۱۸۴۵۸	۲۱۵.۹	۲۴.۷	۱۰۵۹	۵۸	۲۳.۲	۱۵۰	۱۷۰۰	۰	۱.۹۰	۱۱۵	۰	قنات کنار
۲.۹	۲	۲۳	۱۸۳۰۴	۸۵.۳	۴۷	۱۲۱۱	۳۰	۲۰	۱۵۰	۱۸۰۰	۰.۱	۰.۱۰	۱۰	۰	سفیدآبه
۲.۹	۲	۵.۷۸	۱۸۳۰۴	۸۴.۲	۴۰	۱۲۳۴	۳۰	۲۰	۱۵۰	۱۸۰۰	۰.۵	۰.۶۰	۴۸	۲۰۰۰	شوسف

۲.۹	۲	۱۱.۴۶	۱۸۳۰۴	۸۵.۷	۵۹	۱۲۳۷	۳۰	۲۰	۱۵۰	۱۸۰۰	۰.۵	۰.۶۰	۵۶	۰	چاهدراز
۲.۹	۲	۲۳	۱۸۳۰۴	۸۳.۹	۲۷	۱۲۸۷	۳۰	۲۰	۱۵۰	۱۸۰۰	۰.۵	۰.۶۰	۱۲	۰	تیغدره
۳.۹۴	۲	۲۰.۸۵	۸۷۱۵	۹۱.۲	۲۸.۸	۹۹۹	۳۲	۱۷	۱۰۰	۱۸۵۰	۰.۷	۲.۳۰	۵	۰	ابراهیمی
۳.۹۴	۲	۲۵.۸۵	۸۷۱۵	۹۱.۱	۱۵.۱	۹۸۷	۳۲	۱۷	۱۰۰	۱۸۵۰	۰.۲	۱.۲۰	۲۰	۸۰۰	مومن اباد
۳.۹۴	۲	۲۳	۸۷۱۵	۹۱.۲	۱۷.۹	۹۶۸	۳۲	۱۷	۱۰۰	۱۸۵۰	۰.۲	۱.۷۰	۵	۴۰۰	شهرک صنعتی سربیشه
۳.۹۴	۲	۲۳	۸۷۱۵	۹۲.۷	۲۶.۸	۹۵۷	۳۲	۱۷	۱۱۵	۱۸۵۰	۰.۳	۱.۱۰	۱.۵	۳۰۰	اسدیہ
۳.۹۴	۲	۹۸.۲۴	۸۷۱۵	۹۳.۳	۵۵	۹۴۸	۳۶	۱۷	۷۵	۱۸۵۰	۰.۲	۳.۳۰	۱.۷	۶۰۰	نصرالدین
۳.۹۴	۲	۶۲.۳۲	۸۷۱۵	۹۳.۳	۱۱.۴	۹۷۸	۳۶	۱۷	۱۵۰	۱۸۵۰	۲	۲.۸۰	۹.۵	۱۰۰۰	پدران
۳.۰۲	۱۵	۸۰.۱	۲۰۳۶۳۶	۱۶۷.۹	۲۵	۱۴۹۱	۳۶	۱۷	۱۵۰	۱۸۵۰	۰.۲	۲.۴۰	۹	۰	نوفروست
۳.۹۴	۲	۷۶.۹۵	۸۷۱۵	۱۶۶.۹	۳۰.۷	۹۹۱	۳۶	۱۷	۳۵	۱۸۵۰	۰.۲	۱.۵۰	۱۵	۰	موود
۳.۰۲	۱۵	۱۰۶.۲	۲۰۳۶۳۶	۱۶۷.۹	۲۹.۱۲	۱۴۹۱	۳۶	۱۷	۱۵۰	۱۸۰۰	۰.۱۸	۰.۶۰	۲.۸	۰	خوسف
۳.۰۲	۱۵	۱۰۲	۲۰۳۶۳۶	۱۶۹.۹	۲۰.۱۴	۱۴۹۹	۳۱	۱۷	۱۵۰	۱۸۰۰	۲	۲.۱۰	۷	۱۰۰۰	سیوجان
۳.۰۲	۱۵	۸۲.۱	۲۰۳۶۳۶	۱۵۱.۹	۷.۸	۱۴۵۶	۳۱	۱۷	۱۰۰	۱۸۰۰	۰.۲	۳.۷۰	۵	۴۰۰	شوکت اباد
۳.۰۲	۱۵	۳۰.۶۲	۲۰۳۶۳۶	۱۵۲.۹	۱۲.۲۳	۱۴۷۸	۳۱	۱۷	۱۰۰	۱۸۰۰	۱	۲.۱۰	۲۷	۲۰۰	کلاته وجدی
۲.۴۹	۹	۳۲.۷	۴۲۳۲۲	۱۸۱.۵	۳۸.۱	۱۴۳۲	۳۱	۱۴	۵۰	۱۸۰۰	۰.۱۵	۱.۶۰	۴۵	۰	ارین شهر
۲.۴۹	۹	۲۶.۹۹	۴۲۳۲۲	۱۸۰.۵	۲۵.۶	۱۴۶۶	۳۱	۱۴	۵۰	۱۸۰۰	۰.۱	۵.۶۰	۲۸	۱۵۰	روم
۲.۴۹	۹	۴.۷۶	۴۲۳۲۲	۱۷۹.۹	۷۰.۱	۱۴۲۹	۳۱	۱۴	۱۵۰	۱۸۰۰	۰	۳.۱۰	۲	۱۰۰۰	حاجی اباد
۲.۴۹	۹	۵	۴۲۳۲۲	۱۸۰.۱	۶۳.۲	۱۴۳۲	۳۱	۱۴	۱۵۰	۱۸۰۰	۰.۴	۰.۶۰	۹	۲۰۰	خطیبی
۲.۴۹	۹	۲۶.۲۳	۴۲۳۲۲	۱۸۰.۹	۴۳.۷	۱۴۸۱	۳۱	۱۴	۱۵۰	۱۸۰۰	۱	۰.۷۰	۸	۰	اسفدن
۲.۴۹	۹	۱۳.۴۲	۴۲۳۲۲	۱۷۹.۹	۳۳.۳	۱۴۶۶	۳۱	۱۴	۱۰۰	۱۸۰۰	۰.۳	۱.۸۰	۲۴	۶۵۰	شهرک سیندر
۲.۴۹	۹	۲.۷۲	۴۲۳۲۲	۱۷۹.۹	۴۲.۲	۱۴۵۶	۳۵	۱۴	۱۵۰	۱۸۰۰	۰.۱۶	۱.۱۰	۵۰	۰	گرماب
۲.۴۹	۹	۸.۹۶	۴۲۳۲۲	۱۷۹.۹	۴.۹۵	۱۴۲۳	۳۵	۱۴	۱۰۰	۱۸۰۰	۰.۱۴	۱.۱۰	۳	۵۰۰	قاین
۲.۴۹	۹	۲۳	۴۲۳۲۲	۱۶۹.۹	۱۹.۷	۱۴۳۲	۳۵	۱۴	۱۵۰	۱۸۰۰	۰.۲	۲.۳۰	۵۰	۰	هاشمیه
۳.۳۹	۸	۲.۹	۲۸۶۹۵	۱۳۴.۷	۳۴.۴	۱۲۳۴	۳۵	۱۸	۱۱۵	۱۸۰۰	۰.۱۵	۲.۳۰	۵	۰	سرایان
۳.۳۹	۸	۶.۹	۲۸۶۹۵	۱۳۳.۹	۲۷.۲	۱۲۷۸	۳۵	۱۸	۱۵۰	۱۸۰۰	۰.۲۵	۲.۰۰	۰.۸	۰	ایسک

۳.۳۹	۸	۲۰.۱	۲۸۶۹۵	۱۳۲.۹	۱۸.۷	۱۲۸۸	۳۵	۱۸	۱۲۵	۱۸۰۰	۰.۱۳	۱.۴۰	۱۵	۸۰۰	سرنند
۳.۳۹	۸	۱۳.۱	۲۸۶۹۵	۱۴۰.۷	۵۰.۱	۱۲۹۳	۳۵	۱۸	۱۵۰	۱۸۰۰	۰	۰.۷۰	۵۵	۰	بسطاق
۲.۴۹	۹	۲.۸۳	۴۲۳۲۲	۱۸۱.۵	۱۹.۱	۱۴۳۲	۳۱	۱۴	۱۵۰	۱۸۰۰	۰.۸	۱.۱۰	۱۴	۰	دشت بیاض
۳.۳۹	۱	۲۱۲.۴	۶۹۶۵۸	۹۷.۴	۶۵.۱	۷۳۴	۳۴	۱۸	۱۵۰	۱۷۵۰	۰.۵	۰.۸۰	۶۳	۰	دیپوک
۳.۳۹	۱	۲۴	۶۹۶۵۸	۸۰.۲	۴۷.۷	۷۵۶	۳۴	۱۸	۱۲۰	۱۸۰۰	۰.۱	۰.۸۰	۶۰	۱۰۰	رضویه
۳.۳۹	۱	۱۵۸.۱	۶۹۶۵۸	۹۷.۴	۵۰	۷۷۸	۳۴	۱۸	۱۰۰	۱۷۵۰	۰.۲	۰.۳۰	۵۴	۲۵۰	شاهزاده علی
۳.۳۹	۱	۱۸۴.۱	۶۹۶۵۸	۸۷.۲	۳۲.۳۴	۷۴۵	۳۴	۱۸	۱۵۰	۱۷۵۰	۰.۲	۲.۵۰	۲۷	۰	لصفهک
۳.۳۹	۱	۲۲۵.۲	۶۹۶۵۸	۸۹.۹	۵۷.۳۱	۷۸۹	۳۴	۱۸	۱۵۰	۱۶۰۰	۰.۳	۰.۵۰	۱۴	۲۰۰	مرغوم
۳.۳۹	۱	۵۵.۲	۶۹۶۵۸	۷۹.۲	۱۲.۵۷	۷۲۳	۳۴	۱۸	۷۵	۱۵۰۰	۱	۰.۹۰	۱۴	۰	کریت
۳.۳۹	۱	۳۸.۱۲	۶۹۶۵۸	۷۹.۹	۱۲.۱	۷۳۴	۳۴	۱۸	۱۵۰	۱۴۵۰	۳	۰.۸۰	۸	۳۰۰	دشتقران
۳.۳۹	۱	۴۲.۲۱	۶۹۶۵۸	۸۰.۲	۲۵.۱	۷۱۳	۳۴	۱۸	۱۵۰	۱۶۰۰	۰.۲	۰.۸۰	۲۶	۰	فهلنج
۳.۳۹	۱	۱۲.۵۷	۵۹۶۵۸	۷۹.۹	۶.۸۸	۷۱۲	۳۴	۱۸	۱۵۰	۱۷۰۰	۰.۳	۱.۳۰	۱۰	۰	خسروآباد
۳.۳۹	۱	۱۴.۸۹	۶۹۶۵۸	۷۹.۹	۶.۱۱	۷۱۱	۳۴	۱۸	۱۵۰	۱۷۰۰	۰.۷	۰.۷۰	۳	۱۰۰	طبس
۳.۳۹	۱	۳۰	۳۹۶۷۶	۹۷.۴	۵۰.۱	۸۵۵	۳۲	۱۹	۱۵۰	۱۷۰۰	۰.۶	۰.۲۰	۳۰	۴۰۰	امیرآباد
۳.۳۹	۱	۵۰.۷۹	۳۹۶۷۶	۹۷.۴	۶۴	۸۲۳	۳۲	۱۹	۱۲۵	۱۵۵۰	۰.۱۵	۰.۶۰	۸.۳	۲۰۰	عشق آباد

۳-۶ روش‌شناسی

در دهه‌های اخیر با دستیابی به تجهیزات محاسباتی و سیستم‌های تصمیم‌گیری توانمند امکان انتخاب دقیق‌تر گزینه‌ها و تحلیل مشخصه‌های کمی و کیفی مؤثر و بررسی اثرات متقابل آن‌ها برهم فراهم‌شده است. در این پژوهش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره که خود متکی بر تکنیک‌ها و روش‌های مختلف است، استفاده‌شده است که در ادامه به آن می‌پردازیم.

۳-۷- تعیین وزن شاخص‌ها

در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره و بخصوص مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه، داشتن و دانستن اوزان نسبی شاخص‌های موجود، گام مؤثری در فرایند حل مسئله بوده و موردنیاز است. پس از بی‌مقیاس‌سازی مقادیر مربوط به هر معیار بایستی اهمیت نسبی معیارها نسبت به یکدیگر را مشخص کنیم ازجمله روش‌های تعیین وزن‌های شاخص‌ها، می‌توان به روش‌های استفاده از پاسخ خبرگان،

روش لینمپ، روش کمترین مجذورات، تکنیک بردار ویژه، آنتروپی شانون، و... اشاره کرد، که در این پژوهش از روش آنتروپی شانون استفاده شده است.

۳-۷-۱ روش آنتروپی شانون برای وزن دهی شاخص‌ها:

روش آنتروپی شانون یکی از روش‌های تصمیم‌گیری برای محاسبه وزن معیارها است این روش نیازمند به ماتریس شاخص- گزینه می‌باشد. که در سال ۱۹۷۴ توسط شانون ارائه شده است و بیان‌کننده مقدار عدم اطمینان در یک توضیح احتمال پیوسته است. ایده اصلی این روش آن است که هر چه پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد آن شاخص از اهمیت بیشتری برخوردار است. از مزایای این روش ساده و مستند بودن آن است در این روش اصولاً افراد متخصص می‌توانند بر اساس یک طیف و یا بر اساس درصد اهمیت عوامل را مشخص کنند. مراحل مختلف این روش شامل محاسبه E_j ، K و d_j و درنهایت با استفاده از فرمول w_j مقادیر آن محاسبه می‌شود. برای محاسبه اوزان شاخص‌ها به ترتیب زیر عمل می‌شود [۵۷].

گام اول: محاسبه P_{ij} : مرحله اول از مراحل روش آنتروپی نرمالسازی یا بی‌مقیاس کردن جدول تصمیم‌گیری می‌باشد، برای نرمالسازی از روش نرمال سازی ساده یعنی همان روش میانگین حسابی استفاده می‌شود. رابطه ی نرمال سازی ساده به روش زیر محاسبه می‌شود.

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (۱-۳)$$

گام دوم: محاسبه مقدار آنتروپی E_j : در این مرحله باید آنتروپی هر شاخص را با استفاده از رابطه ی زیر محاسبه کرد.

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m [P_{ij} \ln P_{ij}] \quad (۲-۳)$$

$$K = \frac{1}{\ln(m)}$$

نکته: مقدار K باعث می‌شود که مقدار آنتروپی هر شاخص بین صفر و یک باقی بماند.

گام سوم: محاسبه مقدار عدم اطمینان d_j : در این مرحله باید فاصله ی هر یک از شاخص ها را از مقدار آنتروپی آن که در مرحله ی قبل محاسبه شد بدست آوریم، برای این کار از رابطه ی زیر استفاده می‌کنیم.

$$d_j = 1 - E_j \quad (۳-۳)$$

گام چهارم: محاسبه‌ی اوزان w_j : در این مرحله وزن هر یک از شاخص‌ها را محاسبه می‌کنیم.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (4-3)$$

۳-۷-۲ مدل‌های تصمیم‌گیری

در این پژوهش جهت اولویت‌بندی شهرستان‌های مختلف 3 استان کشور ایران با 15 شاخص، از روش تصمیم‌گیری چند معیاره، TOPSIS استفاده شده است.

۳-۷-۳ تاپسیس :

روش تاپسیس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که به رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌پردازد. تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، به فرآیند تصمیم‌گیری در حضور معیارهای متفاوت و بعضاً متناقض با یکدیگر می‌پردازد [۵۸]. حل این‌گونه مسائل می‌تواند به معنای طراحی بهترین جواب و یا انتخاب بهترین جواب از میان جواب‌های موجود باشد [۵۹]. در این روش از دو مفهوم “حل ایدئال” و “شباهت به حل ایدئال” استفاده شده است. حل ایدئال چنان چه از اسم آن پیداست، آن حلی است که از هر جهت بهترین باشد که عموماً در عمل وجود نداشته و سعی بر آن است که به آن نزدیک شویم. به منظور اندازه‌گیری شباهت یک طرح (یا گزینه) به حل ایدئال و ضد ایدئال، فاصله آن طرح (یا گزینه) از حل ایدئال و ضد ایدئال اندازه‌گیری می‌شود. سپس گزینه‌ها بر اساس نسبت فاصله از حل ضد ایدئال به مجموع فاصله از حل ایدئال و ضد ایدئال ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شوند. مشاهده می‌شود در بیشتر مقاله‌ها و پایان‌نامه‌ها از روش تاپسیس استفاده شده است. علت اینکه در این پژوهش از این روش استفاده شده است به شرح زیر است [۶۰]. روش تاپسیس، دارای پایه‌های ریاضی مناسب است. این روش با فاصله‌ها سروکار دارد. تاپسیس گزینه‌ای را که بیشترین فاصله از بدترین گزینه و کمترین فاصله از بهترین گزینه دارد، به عنوان گزین بهینه انتخاب می‌کند و به همین دلیل و پایه ریاضی‌اش، بر سایر روش‌های تصمیم‌گیری برتری دارد [۶۱]. تصمیم‌گیری در صورت وجود معیارهای مثبت و منفی (حتی توأم باهم در یک مسئله) امکان‌پذیر است. برای تعیین بهترین گزینه می‌توان تعداد قابل‌توجهی معیار را موردبررسی قرارداد درحالی‌که در روش AHP یا روش ANP عملاً و ذاتاً در این زمینه محدودیت‌هایی وجود دارد [۶۲]. روش تاپسیس برتری دیگری نسبت به بعضی از روش‌های تصمیم‌گیری دارد که این روش از روش‌های جبرانی است. یعنی وزن تمامی گزینه‌ها و معیارها در تصمیم‌گیری دخالت داده می‌شود و هیچ وزنی در این روش نادیده گرفته نمی‌شود. این روش ساده و دارای سرعت مناسب است و برای تعداد زیادی گزینه و معیار به‌خوبی پاسخگو است [۶۳].

۳-۷-۴ مراحل روش

گام اول: ماتریس تصمیم گیری را با استفاده از رابطه زیر به ماتریس تصمیم گیری نرمال تبدیل می‌کنیم. به عبارتی دیگر ابتدا برای هر ستون مجموع توان دوم مقادیر محاسبه شده و هر یک از درایه‌های ماتریس بر جذر مجموع توان دوم تقسیم می‌شوند.

$$N_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_{ij}^2}} \quad (۵-۳)$$

گام دوم: محاسبه ماتریس موزون؛ برای انجام این مرحله باید به هر یک از معیارها یک وزن اختصاص داده شود. این وزن می‌تواند مستقیماً توسط تصمیم‌گیرنده انتخاب شود به نحوی که هر یک از وزن‌ها بین صفر تا یک باشد و مجموع وزن‌ها برابر با یک باشد و یا اینکه می‌توان با استفاده از روش‌هایی مثل مقایسات زوجی و AHP، وزن معیارها را به دست آورد.

$$V = N * W_{n*n} \quad (۶-۳)$$

گام سوم: محاسبه‌ی راه‌حل ایدئال مثبت و منفی

V_j^+ : راه‌حل ایدئال مثبت = بردار بهترین مقادیر هر شاخص ماتریس بی‌مقیاس موزون در شاخص مثبت بیشترین عدد بهترین و در شاخص منفی کمترین عدد، بهترین است.

V_j^- : راه‌حل ایدئال منفی = بردار بدترین مقادیر هر شاخص ماتریس بی‌مقیاس موزون در شاخص منفی بیشترین عدد بدترین و در شاخص مثبت کمترین عدد، بدترین است

گام چهارم: محاسبه‌ی فاصله‌ی هر گزینه تا ایدئال مثبت و منفی

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (۷-۳)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (۸-۳)$$

گام پنجم: بعد از یافتن فاصله‌های مثبت و منفی برای هر گزینه، فاصله نسبی گزینه‌های تصمیم‌گیری به کمک رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$CL_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (۹-۳)$$

گام ششم: آخرین مرحله TOPSIS رتبه‌بندی گزینه‌های پیش‌روی و تعیین بهترین گزینه می‌باشد برای این منظور کافی است فاصله نسبی هر گزینه، به ترتیب بزرگ به کوچک مرتب شود. در این حالت گزینه که دارای بزرگترین فاصله نسبی نسبت به سایر گزینه‌ها می‌باشد، بالاترین رتبه را به خود اختصاص می‌دهد.

در شکل ۳-۳ فلوچارت روش تاپسیس نشان داده شده است. در این شکل مراحل تصمیم‌گیری با روش تاپسیس به صورت خلاصه نشان داده شده است مشاهده می‌شود که این روش دارای ۶ مرحله است و یک روش نسبتاً کوتاه و دقیق است که بسیار مورد توجه همگان بوده است.



شکل ۳-۳. فلوچارت روش تاپسیس

۳-۸ مدل‌سازی سیستم پمپاژ خورشیدی فتوولتائیک

امروزه رشد روزافزون قیمت گاز طبیعی و نفت و کاهش سوخت‌های فسیلی موجب شده است که استفاده از سیستم‌های تولید هم‌زمان و تولید پراکنده همچون انرژی‌های تجدید پذیر (باد، خورشید، ژئوترمال، بیوماس و...) یا ترکیب آن‌ها به عنوان منبعی سازگار با محیط‌زیست و با قابلیت اطمینان بالاتر، مورد توجه بیشتری قرار بگیرد، اما اینکه با چه اندازه و چه ترکیبی سیستم قدرت مورد نیاز قادر به تأمین تقاضای انرژی می‌باشد، با کمک نرم‌افزار HOMER قابل‌شناسایی است محل جغرافیایی نصب سیستم، میزان عمق چاه، میزان ارتفاع آب موجود در چاه، مقدار دبی آب مورد نیاز، طول خط انتقال آب از چاه تا منبع، حجم مخزن آب و تعداد صفحات خورشیدی نوع اقلیم منطقه، تعیین حداکثر توان فتوولتائیک از عوامل مهم برای طراحی و دستیابی به قابلیت اطمینان بیشتر و کاهش هزینه می‌باشد [64]. بدین منظور معادلات مدل‌سازی و فن‌ها و پارامترهای فنی و اقتصادی برای طراحی یک سیستم پمپ آب خورشیدی بر اساس کاربرد باید توسعه پیدا کند تا ظرفیت بهینه‌ی اجزا و عملکرد مطلوب این سیستم‌ها ارزیابی بشود. در این راستا استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی همچون نرم‌افزار HOMER می‌تواند در تخمین اولیه مؤلفه‌های نیروگاه‌های هیبریدی کمک شایانی ارائه دهد. این نرم‌افزار با در نظر گرفتن هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری و هزینه‌های اجتماعی و آلودگی محیط‌زیست، تمامی گزینه‌ها را بررسی و در نهایت گزینه‌هایی که از لحاظ اقتصادی مناسب‌تر و از نقطه نظر آلودگی محیط‌زیست کمترین اثر را داشته باشد را به عنوان بهترین مؤلفه انتخاب می‌کند [65]. در واقع در این مدل‌سازی تابع هدف مینیوم

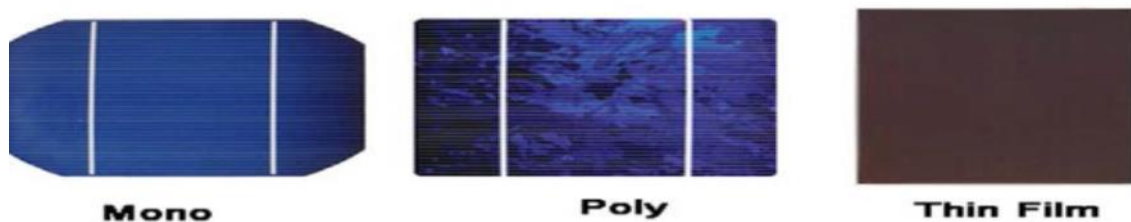
کردن هزینه ی انرژی میباشد. متغیر های تصمیم شامل پنل خورشیدی، باتری، ژنراتور و اینورتر می باشد که هدف یافتن ظرفیت هر کدام از متغیر ها برای مناطق مورد نظر می باشد. قید هایی که در این تحقیق بکار برده شده است برای پنل خورشیدی بازه ای بین ۱۰ تا ۵۰ کیلووات ، باتری از ۰ تا ۳۴ کیلووات و اینورتر ۰ تا ۲۰ کیلووات می باشد.

۳-۹ شرایط آب و هوایی منطقه ی مورد نظر

شرایط آب و هوایی تأثیر زیادی در تابش و تابش دریافت شده در سطح زمین دارد. ممکن است ابری باشد، ممکن است مه یا دود وجود داشته باشد. چنین شرایطی قدرت و انرژی دریافتی را کاهش می دهد. شرایط آب و هوایی به طور کلی با تغییر فصل تغییر می کند. در فصول بارانی، به دلیل پوشاننده ابر بیشتر و ضخیم تر، تابش آفتاب کمتر از فصول خشک است. در فصول خشک، ممکن است آسمان های گردوغباری به همراه داشته باشد که باعث کاهش نور خورشید می شود. برای در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی، می توانیم با آمار کار کنیم. ایستگاه های هواشناسی اندازه گیری تمام پارامترهای هواشناسی، از جمله بارندگی، دما، و همچنین آفتاب و پوشش ابر و ارقام تابش را انجام می دهند. آن ها آماری تولید می کنند و آن ها را در جداول یا نمودارها ارائه می دهند. برای محاسبات معمولاً از ماهانه و سالانه و میانگین استفاده می شود. برای اخذ داده های آب و هوایی در این مطالعه از نرم افزار هومر بهره برده شده است.

۳-۱۰ سلول فتوولتائیک

عنصر اساسی یک صفحه خورشیدی، سلول فتوولتائیک یا سلول PV است. صفحات خورشیدی از تعدادی از این سلول ها ساخته می شوند. آن ها از مواد نیمه هادی ساخته شده اند که می توانند نور خورشید را مستقیماً به برق تبدیل کنند. وقتی نور خورشید به سلول ها برخورد می کند، الکترون ها از هم جدا و آزاد می شوند. یک الکترون بار الکتریکی بسیار کمی را حمل می کند. وقتی الکترون ها شروع به حرکت می کنند، جریان الکتریکی مستقیم (DC) تولید می کنند. سلول ها ممکن است گرد ، مربع یا شکل دیگری باشند. هر سلول فارغ از اندازه آن، تقریباً ۰.۵ ولت تولید می کند. مقدار آمپر ی که سلول می تواند تولید کند به اندازه آن بستگی دارد. سلول های بزرگ تر آمپر بیشتری تولید می کنند. از آنجاکه هر سلول فقط حدود ۰.۵ ولت تولید می کند، بسیاری از سلول ها باید به صورت سری وصل شوند تا ولتاژ کافی تولید شود. معمولاً از ۳۰ تا ۳۶ این سلول در صفحه ای وجود دارد که برای شارژ باتری ۱۲ ولت در نظر گرفته شده است. بیشتر سلول های PV تجاری از سیلیکون ساخته می شوند. سه نوع کلی وجود دارد: سلول های تک کریستالی، چند بلوری و آمورف یا لایه نازک.



شکل ۳-۴ انواع سلول‌های فتوولتاییک

سلول‌های سیلیکون چند کریستالی یا پلی کریستالی با ریخته‌گری سیلیکون مذاب ساخته می‌شوند. آن‌ها به یک بلوک جامد مربع از کریستال‌های درون گیاه متبلور می‌شوند. تولید سلول‌های چند بلوری نسبت به سلول‌های مونو کریستالی ارزان‌تر است، زیرا این امر به دلیل ساده‌ترین فرآیند تولید و نیاز به خلوص کمتر برای ماده اولیه است. با این وجود، کمی کار آیی دارند و متوسط بازده آن‌ها در حدود ۱۲٪ است. سلول‌های PV سیلیکون آمورف از یک‌لایه نازک سیلیکون غیر بلوری که روی یک بستر سفت و سخت یا انعطاف‌پذیر قرار می‌گیرد ساخته می‌شوند. ساخت آن‌ها نسبتاً آسان است و نسبت به مونو کریستال و PV چند کریستالی ارزان‌تر هستند، اما با بازدهی در حدود ۶٪ کارایی کمتری دارند. هزینه پایین آن‌ها باعث می‌شود بهترین گزینه در صورتی که کارایی و فضای زیاد مهم نیست باشند.

۳-۱۱ پانل‌های خورشیدی

سلول‌های PV برای ساختن صفحات خورشیدی باهم ترکیب می‌شوند که ماژول نیز نامیده می‌شوند. سلول‌های PV به منظور محافظت از سلول‌ها در یک گروه قرار گرفته و در شیشه یا پلاستیک شفاف قرار گرفته‌اند، در عین حال اجازه می‌دهند تا نور خورشید به سلول‌ها برسد. شیشه یا پلاستیک اغلب دارای پوشش ضد انعکاس است تا بازتاب نور از صفحه را به حداقل برساند. اندازه این پانل‌ها به حدی است که مقدار مناسبی الکتریسیته تولید می‌کنند، اما مدیریت و حمل آن‌ها هنوز هم آسان است. تولیدکنندگان صفحه‌های خورشیدی زیادی وجود دارند و بسته به نیاز مشتری و کاربردی که دارند، صفحات بسیار متنوعی را تولید می‌کنند. قیمت پنل‌های خورشیدی در ۴۰ سال گذشته بسیار افت کرده است. در مقایسه با سال ۱۹۷۰، قیمت‌ها تا ۹۰ درصد کاهش یافته و انتظار می‌رود که افت بیشتری داشته باشند. به دلیل این کاهش قیمت، صفحه‌های خورشیدی به عنوان منبع انرژی جایگزین بیشتر و جالب‌تر شده‌اند. تحقیقات و توسعه‌های زیادی برای افزایش کارایی سلول‌ها و پانل‌ها در حال انجام است. کارآمدترین سلول PV در حال حاضر حدود ۲۵٪ کارایی دارد.

با این حال، این نوع سلول بسیار گران است و به همین دلیل هنوز نمی‌تواند با سلول‌های PV ارزان قیمت موجود رقابت کند.

مهم‌ترین مشخصات یک صفحه خورشیدی عبارت‌اند از:

- ۱- چه مقدار ولتاژ تولید می‌کند (در شرایط کامل آفتاب)
- ۲- چه میزان جریان تولید می‌کند (در شرایط آفتاب کامل)
- ۳- چه مقدار نیرو و انرژی تولید می‌کند [67].

۳-۱۲ آرایه‌های خورشیدی

آرایه‌های خورشیدی از گروهی از صفحات خورشیدی تشکیل شده است که در یک پیکربندی خاص کنار هم قرار گرفته‌اند. پانل‌ها برای تولید ولتاژ مناسب و جریان و توان کافی برای هدفی که در اختیار دارند، در یک گروه قرار گرفته‌اند. توان تولیدی پانل‌های خورشیدی از معادله زیر به دست می‌آید.

$$p_{sol,i} = \begin{cases} p_{rs} \left(\frac{r^2}{R_{STD} R_C} \right) & \text{if } 0 \leq r < R_C \\ p_{rs} \frac{r}{R_{STD}} & \text{if } R_C \leq r < R_{STD} \\ p_{rs} & \text{if } R_{STD} \leq r \end{cases} \quad (3-10)$$

در رابطه (۳-۱۰) توان $p_{sol,i}$ تولیدی پنل فتوولتاییک در دوره ی i ، p_{rs} توان نامی یک پنل فتوولتاییک، r پیش‌بینی تابش خورشید در زمان موردنظر، R_C یک نقطه تابش معین که معمولاً m^2 $W/150$ قرار می‌گیرد، R_{STD} تابش استاندارد خورشید که معمولاً (W/m^2) 1000 در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱۳ باتری

باتری وسیله‌ای متشکل از یک یا چند سلول الکتروشیمیایی با اتصالات خارجی است که درون آن با انجام واکنش‌های شیمیایی، انرژی شیمیایی‌ای به الکتریکی تبدیل می‌شود. هنگامی که یک باتری در حال تأمین توان الکتریکی است، قطب مثبت آن کاتد و قطب منفی آن آنود است قطبی که با علامت منفی مشخص شده است منبع الکترون‌هایی است که از طریق یک مدار الکتریکی خارجی به سمت قطب مثبت جریان می‌یابد. هنگامی که یک باتری به یک بار الکتریکی خارجی متصل می‌شود، یک واکنش اکسایش-کاهش واکنش‌دهنده‌های پرا انرژی را به محصولات کم انرژی تبدیل می‌کند و اختلاف انرژی آزاد به عنوان انرژی الکتریکی به مدار خارجی تحویل می‌شود از گذشته، از اصطلاح

"باتری" برای دستگاه‌هایی با چند سلول استفاده می‌شود، باین حال از این اصطلاح همچنان برای دستگاه‌هایی با فقط یک سلول استفاده می‌شود [68].

۳-۱۳-۱ کارکرد باتری

معمولاً هر باتری از یک یا چند سلول کوچک داخلی تشکیل شده است، در باتری‌ها ممکن است سلول‌ها برای افزایش جریان باهم موازی شده یا برای افزایش ولتاژ باهم سری شوند، هر سلول شامل دو نیم سلول است که به صورت سری توسط ماده‌ای الکترولیت - شامل یون‌های مثبت و یون‌های منفی - که رسانای الکتریکی هست به هم متصل‌اند. با اتصال باتری به مصرف‌کننده یون‌های منفی از طریق سیم هادی به مصرف‌کننده وارد شده و بعد از ایجاد انرژی در آن (انرژی گرمایی بر اثر عبور از یک مقاومت یا انرژی جنبشی بر اثر القا یا انرژی نور بر اثر پرتاب و...) به سمت یون‌های مثبت حرکت می‌کنند و به تدریج یون‌های مثبت (که در اینجا حفره‌ها هستند) را خنثی می‌کنند. با گذشت زمان یون‌های مثبت بیشتری خنثی شده و به تدریج انرژی باتری کم شده و مقاومت داخلی آن افزایش می‌یابد در این حالت بعد از گذشت مدت زمانی که معمولاً با آمپرساعت باتری مشخص می‌شود باتری به صورت کامل تخلیه می‌شود. مثلاً یک باتری ۶۰ آمپرساعت می‌تواند ۶۰ آمپر را تا یک ساعت تأمین کند، این باتری بعد از گذشت یک ساعت و با کشیدن جریان ۶۰ آمپر از آن به صورت کامل تخلیه می‌شود. با کاهش جریان دریافتی از باتری می‌توان مدت زمان کارایی آن را افزایش داد، در این حالت باید پارامترهای مانند دما، لرزش و مقدار تنش موجود در جریان را نیز در زمان نهایی لحاظ کرد. به عنوان مثال باتری ۶۰ آمپرساعتی در حالت تئوری باید جریان ۲۰ آمپر را برای مدت زمان ۳ ساعت تأمین کند در حالی که با توجه به ساختار باتری و همچنین دمای محیط ممکن است این زمان تا نیم ساعت نیز کاهش یابد.

۳-۱۳-۲ توان الکتریکی باتری

توانی که هر باتری بر حسب وات فراهم می‌کند، برابر حاصل ضرب ولتاژ آن (بر حسب ولت) در حداکثر جریان مجاز آن (بر حسب آمپر) می‌باشد. در کاربردهایی با توان بالا از جمله راه اندازه موتور خودرو، میزان توان‌های تأمین شده در فواصل زمانی کوتاه به بیش از ۱۰۰۰ وات می‌رسد. در کاربرد کم‌توان در وسایل الکترونیکی ظریف، مانند سمعک‌ها و ساعت‌های رایانه‌ای، اندازه توان‌های فراهم شده نزدیک چند میلی وات است.

خطرها و نقص‌های مربوط به باتری عبارت‌اند از انفجار، نشتی و ضایعات باتری فرسوده. انفجار: پدیده انفجار باتری عموماً ناشی از عدم کاربرد یا کارکرد صحیح باتری است. به عنوان مثال تلاش برای شارژ نمودن مجدد باتری‌های یک بار مصرف یا غیرقابل شارژ، می‌تواند باعث انفجار این منبع انرژی الکتریکی شود.

نشتی: در بعضی از باتری‌ها از مقوا، فلز روی و مواد شیمیایی استفاده می‌شود. واکنش شیمیایی درون باتری در مدت‌زمان طولانی، باعث خروج و نشت مواد شیمیایی داخل باتری به بیرون شده و ایجاد خوردگی شیمیایی در قطعات فلزی دستگاه‌ها که اطراف باتری قرار دارند می‌نماید.

طول عمر باتری‌ها برحسب تعداد سیکل شارژ و دشارژ و میزان سطح دشارژ باتری ذکر می‌شود. در سیستم‌های سولار در طول روز باتری‌های خورشیدی از طریق پنل خورشیدی شارژ می‌شوند و در شب به وسیله مصرف‌کننده‌ها دشارژ می‌شوند. بنابراین یک سیکل شارژ و دشارژ باتری، در یک شبانه‌روز صورت می‌گیرد. از نکاتی که طراح باید در طراحی سیستم سولار به آن دقت کند آن است که سطح دشارژ باتری به میزانی در نظر گرفته شود که موجب کاهش زیاد طول عمر باتری نشود.

۳-۱۳-۴ مدل باتری ذخیره وضعیت شارژ

در سیستم هیبرید معمولاً از باتری‌های شیمیایی سربی- اسیدی برای ذخیره استفاده می‌شود انتخاب اندازه ظرفیت موردنیاز باتری نیازمند آنالیز کامل شارژ و دشارژ بر اساس بار الکتریکی موردنیاز و میزان انرژی قابل حصول از هر یک از منابع انرژی می‌باشد و عملکرد یک باتری بر اساس وضعیت شارژ آن باتری با استفاده از دو محدودیت مشخص به صورت زیر تنظیم می‌شود. وضعیت شارژ باتری‌ها در مدت‌زمان شارژ و دشارژ به صورت روابط زیر در هر لحظه محاسبه می‌شود.

وضعیت شارژ زمانی که باتری در حال شارژ است.

$$SOC(t+1) = SOC(t) \cdot (1 - \sigma(t)) + \frac{I_{bot}(t) \Delta t \eta_{ch}(t)}{c_{bot}} \quad (3-11)$$

وضعیت شارژ زمانی که باتری در حال دشارژ است.

$$SOC(t+1) = SOC(t) \cdot (1 - \sigma(t)) - \frac{I_{bot}(t) \Delta t \eta_{ch}(t)}{c_{bot}} \quad (3-12)$$

همان‌طور که در روابط دیده می‌شود وضعیت شارژ باتری در هر لحظه با استفاده از مقدار وضعیت شارژ آن در لحظات قبل به دست می‌آید. در این روابط، $\sigma(t)$ ، η_{ch} ، c_{bat} ، Δt به ترتیب نسبت دشارژ ساعتی باتری (تقریباً ۰.۰۲٪ در این سیستم)، راندمان شارژ باتری، ظرفیت نامی باتری، بازه زمانی شارژ باتری (بعنوان مثال یک ساعت) دقت شود که برای حالت دشارژ باتری راندمان باتری تقریباً برابر یک در نظر گرفته می‌شود [68].

۳-۱۴ اینورتر

اینورتر وسیله‌ای است که برق مستقیم یا DC دریافتی را به یک برق متناوب یا AC با ولتاژ بالاتر و به‌خصوص هم‌تراز با ولتاژ برق شهر تبدیل می‌کند تا در فعال‌سازی لوازمات برقی متداول، مورد استفاده قرار گیرد و در پنل‌های خورشیدی و باتری‌ها کاربرد زیادی دارد. اینورتر خورشیدی با اینورتر یا معکوس‌کننده منطقی که در الکترونیک و مدارات دیجیتال به‌کاررفته است و برای معکوس کردن وضعیت منطقی یک ولتاژ DC بسیار جزئی در ورودی خود به کار می‌رود مشابه نیست. اینورتر مورد استفاده سیستم خورشیدی دقیقاً نقطه مقابل یک آداپتور AC یا منبع تغذیه معمولی است، چون با دریافت یک ولتاژ ۱۲ ولت DC یا بالاتر از یک یا چند باتری سرب اسیدی یا نمونه‌های مشابه دیگر، برق AC مورد نیاز بسیاری از دستگاه‌ها و لوازمات برقی خانگی و صنعتی در رنج ۱۱۰ یا ۲۲۰ ولت را مهیا می‌کند.

۳-۱۵ عملکرد اینورتر خورشیدی

معمولاً اولین طبقه این وسیله، با استفاده از یک مبدل DC به DC، ولتاژ ۱۲ ولتی و مستقیم ورودی را به ولتاژ DC بالاتری تبدیل می‌کند. سپس به کمک یک مدار سوئیچینگ، این ولتاژ DC جای خود را به یک ولتاژ AC یا متناوب با شکل موج سینوسی داده و یک‌شکل موج تقریباً سینوسی شبیه‌سازی می‌شود. طبیعت ذاتی قطعات و مدارات سوئیچینگ دیجیتالی به‌گونه‌ای است که خروجی آن‌ها باعث ایجاد شکل موج‌های مربعی ساده‌ای می‌شود که معمولاً وجود هارمونیک‌ها با فرکانس‌های بالاتر را پنهان می‌کند؛ شکل موج‌هایی که وجودشان برای مصرف‌کننده‌هایی که برق را به گرما تبدیل می‌سازند بی‌ضرر است. هدف اصلی در طراحی اینورتر آن است که امواج مربعی حاصله را با یک دقت و تقریب قابل قبول و منطقی به یک‌شکل موج سینوسی کلاسیک نزدیک سازند. در این صورت هر چه شکل موج خروجی اینورتر به سینوسی نزدیک‌تر باشد، بدیهی است که مرغوب‌تر و گران‌تر خواهد بود [67,68].

۳-۱۶ پمپ

پمپ یا تلمبه، وسیله‌ای است که به روش مکانیکی، سیالات (گازها و مایعات) را جابجا می‌کند. به‌طور کلی پمپ به دستگاهی گفته می‌شود که انرژی مکانیکی را از یک منبع خارجی گرفته و به سیالی که از آن عبور می‌کند، انتقال دهد. در نتیجه، انرژی سیال پس از خروج از این دستگاه (پمپ) افزایش می‌یابد. در پمپ‌ها تغییرات انرژی سیال همواره به‌صورت تغییر فشار سیال مشاهده می‌گردد. از پمپ‌ها برای انتقال سیال به یک ارتفاع معین یا جابجایی آن در یک سامانه لوله‌کشی یا هیدرولیک برای انجام کار مانند بالابرهای هیدرولیکی استفاده می‌نمایند. به عبارت کلی‌تر، پمپ دستگاهی است که سیالات غیرقابل تراکم را از یک نقطه به نقطه‌ای دیگر جابجا می‌نماید. توان پمپاژ

مورد نیاز برای آبیاری به چندین پارامتر نظیر هد پمپ ، طول لوله ها و میزان دبی حجمی وابسته است . رابطه ی زیر توان پمپ را نشان می دهد [68] .

$$p_{pump} = \frac{\rho \times g \times Q \times h}{\eta_p \times 3600} \quad (3-13)$$

همچنین پمپ ها بر اساس کاربردها انواع متفاوتی نیز دارد، مانند:

پمپ های بهداشتی: مورد استفاده در صنایع غذایی، دارویی و بیوتکنولوژی

پمپ های فاضلاب: مورد استفاده در داخل حوضچه ها و چاه های فاضلاب

پمپ های آب شناور: مورد استفاده در دستگاه های خنک کننده و صنایع ماشین کاری

پمپ های مخصوص چاه های عمیق: با قابلیت پمپاژ مایع از چاه های عمیق

۳-۱۷ انواع پمپ

می توان پمپ را بر اساس هندسه و مکانیزم عضو انتقال دهنده نیرو، به دودسته زیر تقسیم کرد:

پمپ های دینامیکی: این پمپ ها انرژی جنبشی را به صورت پشت سر هم و دائمی به سیال منتقل می کنند و طرز کار پمپ آب در این نوع از پمپ ها به این صورت است که انرژی جنبشی تولید شده داخل پمپ به انرژی فشاری تبدیل می شود و سیال با سرعت و فشار زیادی از مجرای خروجی عبور می کند.

پمپ های جابه جایی مثبت: نام دیگر این دسته پمپ گسسته است. طرز کار پمپ آب در مدل پمپ های جابه جایی مثبت به این صورت است که انتقال انرژی به سیال دائمی نیست و مرتباً قطع و وصل می شوند و در هر دور کار این نوع پمپ آب، مقدار مشخصی از مایع و یا سیال پمپاژ می شود.

۳-۱۸ ژنراتور

ژنراتورها وسیله ای مفید هستند که نیروی الکتریسیته و برق تولید می کنند و از قطع فعالیت های روزانه یا اختلال در عملیات کاری پیشگیری می کنند. ژنراتورها در شکل های فیزیکی و الکتریکی برای کاربردهای مختلف در دسترس هستند.

۳-۱۸-۱ طرز کار ژنراتور

ژنراتور وسیله ای است که انرژی مکانیکی به دست آمده از منبع بیرونی را به انرژی الکتریکی به عنوان خروجی تبدیل می کند. این مهم است که درک کنیم که ژنراتور واقعاً انرژی الکتریکی خلق نمی کند. در عوض، با استفاده از انرژی مکانیکی عرضه شده و با ایجاد حرکت و تولید بار الکتریکی در سیم پیچ ها در مدار الکتریکی، برق را به عنوان خروجی سیستم تولید خواهد کرد. این جریان، شارژ الکتریکی جریان الکتریکی عرضه شده توسط ژنراتور است. مکانیسم ژنراتور را می توان با درک کار

پمپ آب فهمید که باعث جریان آب می‌شود اما واقعاً آبی ایجاد نمی‌کند و فقط آب جریان می‌یابد [68].

۳-۱۸-۲ مصرف سوخت دیزل ژنراتور

در سال ۱۹۹۸ اسکارستین و الهن مصرف سوخت دیزل ژنراتور را به صورت زیر مدل سازی نمودند.

$$CONS_G = B_G \times P_{N-G} + A_G \times P_G \quad (3-14)$$

در رابطه بالا $CONS_G$ مصرف سوخت دیزل ژنراتور بر حسب لیتر بر ساعت

P_{N-G} توان نامی دیزل ژنراتور بر حسب کیلووات

P_G توان خروجی دیزل ژنراتور بر حسب کیلو وات

A_G و B_G ضرایب ثابت معادله می‌باشند که به ترتیب برابر ۰/۲۴۶ و ۰/۰۸۱۴۵ کیلووات ساعت بر لیتر می‌باشند.

۳-۱۹ معرفی نرم افزار هومر

نرم افزار هومر به عنوان یک شبیه سازی دستگاه های سیکل ترکیبی و انرژی های نو مشهور هست. این نرم افزار می تواند حالت های امکان پذیر بازآرایی دستگاه های تولید به ازای بارهای تعریف شده در سیستم را ارائه دهد. در حالت کلی نرم افزار هومر برای تحلیل ریز شبکه های مستقل قدرت یا همان میکروگریدها کاربرد دارد. در این نرم افزار می توان یک مدل از سیستم ریز شبکه مورد استفاده را ارائه داد که در آن انواع مولدهای انرژی نو شامل توربین های بادی، سلول خورشیدی، پیل سوختی، الکترو لایزر، تانک هیدروژن و باتری در کنار منابع متداول فسیلی همچون نیروگاه های گازی، دیزلی، هیدروژنی، ترکیبی و ... را به صورت هیبریدی مورد استفاده قرارداد نرم افزار هومر باهدف صرفه جویی در مصرف انرژی، انتقال تجهیزات به بهره گیری از انرژی های تجدید پذیر و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای طراحی شده است و به مهندسين کمک می کند تا با ارائه طرح های هوشمند و بهینه سازی تجهیزات فعلی بتوانند ضمن حفظ محیط زیست، هزینه های شبکه بندی را تا حد چشم گیری کاهش دهند. این نرم افزار از سه بخش اصلی تشکیل شده است.

از جمله توانمندی های این نرم افزار می توان به موارد زیر اشاره کرد.

- مدل سازی بارهای الکتریکی، حرارتی و هیدروژن
- مدل سازی سلول های خورشیدی تولید برق (فتوولتائیک)، توربین بادی، توربین آبی، تولید هیدروژن، ژنراتورهای مصرف کننده سوخت فسیلی
- مدل سازی اتصال به شبکه برق در حالت های مختلف
- تحلیل اقتصادی انواع فناوری ها
- تحلیل انتشار آلاینده ها از انواع فناوری ها

- مدل سازی و تحلیل سناریوهای مختلف از طریق نرم افزار [68,69].

۳-۲۰ روابط اقتصادی حاکم بر نرم افزار هومر

۳-۲۰-۱ هزینه خالص نهایی

معیار ارزیابی برای تجزیه و تحلیل در نرم افزار HOMER هزینه خالص نهایی (NPC)^۳ است. نرم افزار هومر با استفاده از معادله (۳-۱۵) هزینه خالص نهایی چرخه عمر سیستم را محاسبه می کند. کل هزینه فعلی خالص (NPC) یک سیستم ارزش فعلی تمام هزینه هایی است که سیستم در طول عمر خود متحمل می شود، منهای ارزش فعلی تمام درآمدهایی که در طول عمر خود به دست می آورد. هزینه ها شامل هزینه های سرمایه ای، هزینه های جایگزینی، هزینه های تعمیرات و نگهداری، هزینه های سوخت، و هزینه های خرید قدرت از شبکه است. درآمدها شامل ارزش نجات و درآمد فروش شبکه است هومر کل هزینه فعلی خالص را با جمع بندی کل جریان نقدی تخفیف در هر سال از عمر پروژه محاسبه می کند. کل هزینه فعلی خالص اصلی ترین خروجی اقتصادی هومر است، مقداری که تمام پیکربندی های سیستم را در نتایج بهینه سازی رتبه بندی می کند و بر اساس آن کل هزینه سالانه و هزینه یکسان انرژی را محاسبه می کند. در این ارزیابی جهت اثر دادن تورم در محاسبات، با محاسبه ی نرخ بهره ی واقعی ناشی از تورم و اثر تغییر نرخ بهره در هزینه خالص نهایی اعمال می شود [68].

(۳-۱۵)

$$NPC = AC / CRF$$

فاکتور AC نشان دهنده مجموع هزینه های سالانه اجزای تشکیل دهنده سیستم است و فاکتور CRF نشان دهنده ضریب بازگشت سرمایه در طی N سال است i نرخ بهره واقعی است.

(۳-۱۶)

$$CRF(I,N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

۳-۲۰-۲ نرخ بهره

فاکتور i نشان دهنده نرخ بهره ای است که به وام تعلق می گیرد بهره اسمی و f نشان دهنده نرخ تورم می باشد. فاکتور تنزیل، نرخ که منافع یا هزینه های آتی بر اساس آن تنزیل شده اند، را نشان می دهد. رابطه (۳-۱۷) بیان کننده نرخ تنزیل هست.

³ Net present cost

$$I = \frac{i-f}{f+1} \quad (17-3)$$

۳-۲۰-۳ نرخ تنزیل

فاکتور Fd نشان‌دهنده نرخ تنزیل N تعداد سال هست i ، نرخ بهره واقعی و در پایان عمر پروژه برای هر جز از سیستم قدرت، ارزشی در نظر گرفته شده است، که به آن هزینه اسقاطی گفته می‌شود.

(۱۸-۳)

$$Fd = \frac{1}{(1+i)^N}$$

۳-۲۰-۴ هزینه‌های اولیه

این هزینه‌ها شامل خرید وسایل اولیه و تجهیزات در زمان حاضر و هزینه نصب و راه‌اندازی سیستم می‌باشد.

۳-۲۰-۵ هزینه‌های تعویض

این هزینه‌ها شامل هزینه تعویض هرکدام از اجزای سیستم در پایان عمر آن‌ها است که امکان دارد به دلایل زیر با هزینه اولیه آن‌ها متفاوت باشد.

الف) در پایان عمر یک مؤلفه از سیستم تمامی اجزای آن نیاز به تعویض ندارند.

ب) برای هزینه‌های اولیه، این امکان وجود دارد که مقداری از این هزینه‌ها توسط کارخانه و با

سازمان فروشنده به‌عنوان تخفیف کاهش داده شود. اما در مورد هزینه‌های تعویض این‌گونه و

هزینه مربوط به خرید قطعات بسته به مقدار نرخ بهره و تورم سالیانه در شرکتی از یک سال تا سال

دیگر متفاوت است. به‌عنوان مثال هزینه تعویض باتری بعد از پایان عمر آن می‌تواند کمتر و یا بیشتر

از هزینه خرید آن در سال اول خریداری آن باشد [68].

۳-۲۰-۶ مجموع کل هزینه‌های به‌صورت سالیانه شده

مجموع کل هزینه‌های به‌صورت سالیانه شده مؤلفه‌های سیستم را از رابطه زیر محاسبه می‌کنیم.

(۱۹-۳)

$$TAC = TAICC + TARC + TOaM$$

که در رابطه بالا $TAC - TAICC - TARC = TOaM$ به ترتیب برابر با مجموع کل هزینه‌های

تعمیرات و نگهداری - مجموع کل هزینه‌های تعویض به‌صورت سالیانه - مجموع کل هزینه‌های

اولیه به صورت سالیانه و مجموع کل هزینه‌های به صورت سالیانه شده مربوط به مؤلفه‌های سیستم در طول یک سال هست.

۳-۲۰-۷ هزینه سطح‌بندی شده انرژی

هومر هزینه سطح‌بندی شده انرژی (COE^۴) را به عنوان هزینه متوسط به ازای هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی مفید تولیدشده توسط سیستم تعریف می‌کند. برای محاسبه COE، نرم افزار HOMER هزینه سالانه تولید برق (کل هزینه سالانه منهای هزینه تحمل بار حرارتی) را بر کل بار الکتریکی تقسیم‌شده، با استفاده از رابطه زیر تقسیم می‌کند.

$$COE = \frac{AC}{E_{served}} \quad (۳-۲۰)$$

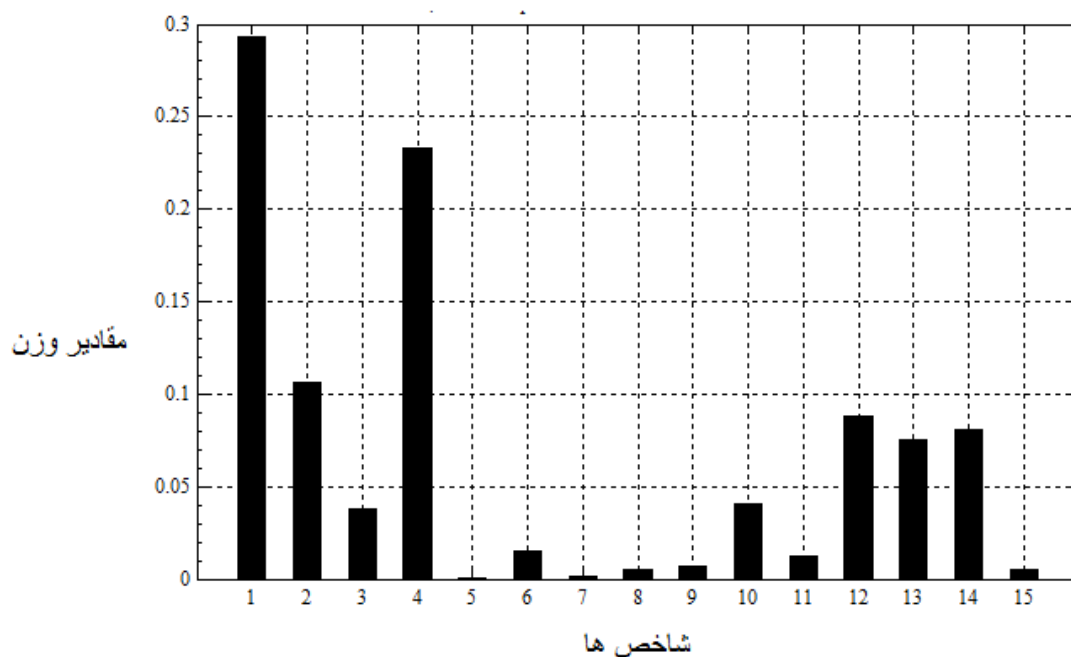
COE یک معیار مناسب برای مقایسه سیستم‌ها است، اما HOMER سیستم‌ها را بر اساس COE رتبه‌بندی نمی‌کند [68].

⁴ Cost of energy

فصل چهارم: بحث و نتیجه گیری

۴-۱ مقدمه

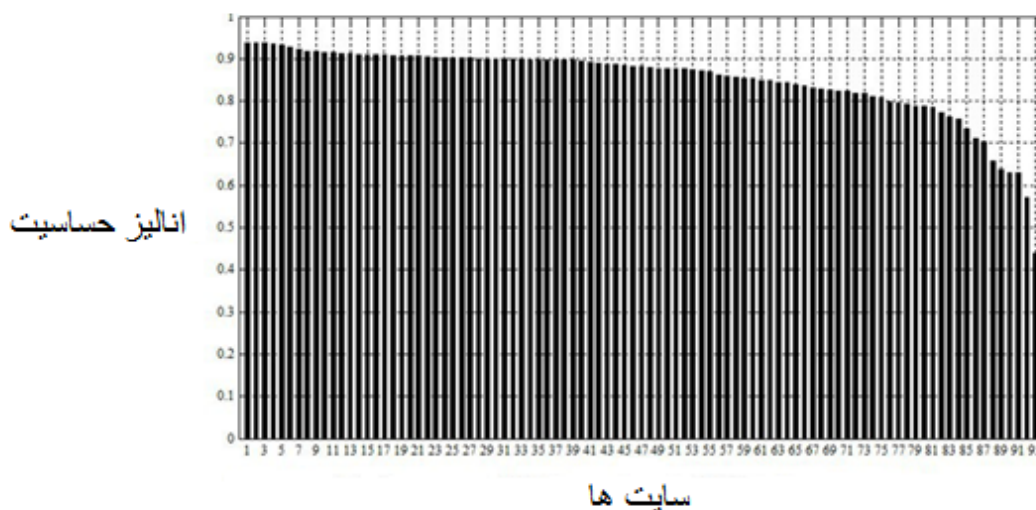
در این بخش در ابتدا به ارزیابی اولویت بندی سایت‌های ۳ استان خراسان شمالی و رضوی و جنوبی با توجه به داده‌های آب و هوایی و جغرافیایی پرداخته شده است و در ادامه به توجیه فنی و اقتصادی سه سایت برتر در هر استان پرداخته شده است. در شکل ۴-۱ نمودار وزن معیارها طبق روش آنتروپی شانون نشان داده شده است. آنتروپی در نظریه اطلاعات، یک معیار عدم اطمینان است که با توزیع احتمال مشخص بیان می‌شود. می‌توان از روش آنتروپی برای ارزیابی وزن‌های استفاده کرد. ایده روش فوق، این است که هرچه پراکندگی در مقادیر یک شاخص، بیشتر باشد، آن شاخص از اهمیت بیشتری برخوردار است. نتایج پژوهش نشان داد که معیار فاصله از خط به علت پراکندگی بالا دارای بیشترین وزن با وزن 0.29 است و سپس فاصله دسترسی از پست با وزن 0.23 حائز اهمیت هستند. تابش خورشید و رطوبت نسبی به ترتیب با وزن 0 و 0.1 کمترین وزن را دارند. در شکل ۴-۱ وزن شاخص‌ها با توجه به روش وزن دهی شئون آنتروپی نشان داده شده است.



۱- فاصله از خط، ۲- فاصله از پست، ۳- شیب، ۴- فاصله تا جاده، ۵- تابش، ۶- ظرفیت قابل دریافت تابش،
 ۷- دما، ۸- رطوبت، ۹- ارتفاع، ۱۰- فاصله تا مرکز شهر، ۱۱- بارندگی، ۱۲- جمعیت، ۱۳- فاصله تا رود،
 ۱۴- تعداد سد، ۱۵- سرعت باد

شکل ۴- ۱- نمودار وزن شاخص ها

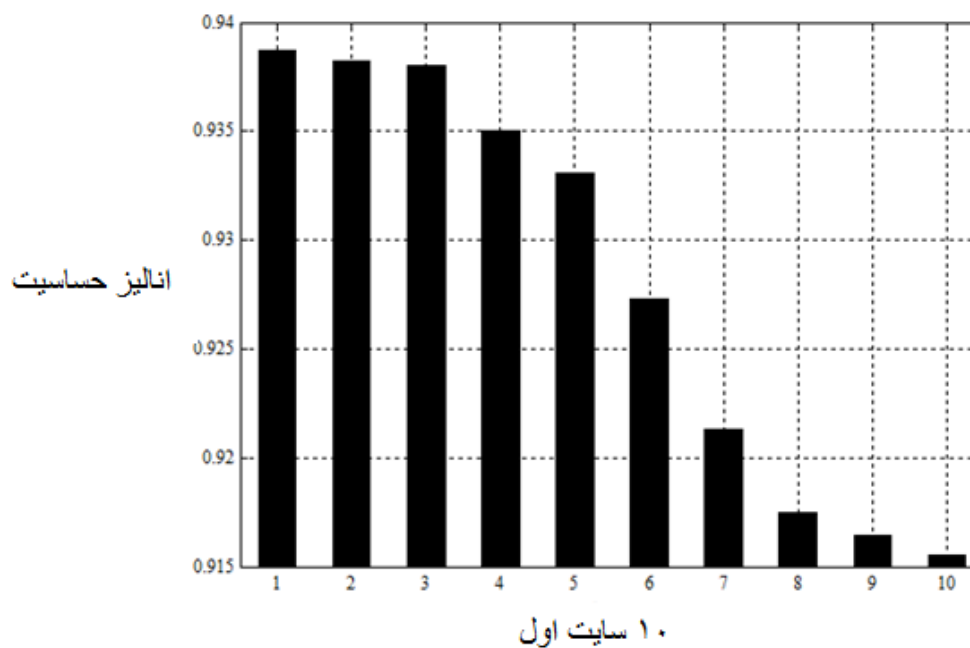
در شکل ۲-۴ نمودار اولویت بندی گزینه ها به روش تاپسیس نشان داده شده است. روش تاپسیس می تواند معیارهای کیفی را هم زمان با کمی در تصمیم گیری ها دخالت دهد و خروجی آن می تواند ترتیب اولویت گزینه ها را مشخص و این اولویت را به صورت کمی بیان کند. در این راستا به کمک فن تاپسیس معیارها مورد ارزیابی و وزن دهی قرار گرفتند. مشاهده می شود که درصد شهرها از مینیوم مقدار ۴۳.۹۵ درصد تا ماکسیموم مقدار ۹۳.۸۷ درصد متغیر است. علاوه بر دلایلی که قبلاً برای تأسیس مکان مناسب نیروگاه ذکر کردیم، سایت سرایان در موقعیت مناسبی از تابش نور خورشید قرار گرفته است که می توان به راحتی از این انرژی برای راه اندازی نیروگاه استفاده کرد. از مزایای دیگر این منطقه فاصله مناسب تا خط شبکه و ارتفاع از سطح دریا و همچنین شیب مناسب زمین می باشد، در نتیجه تجهیزات مورد نیاز برای انتقال و تعمیرات بسیار کمتر مورد استفاده قرار می گیرد و در هزینه ها صرفه جویی می شود.



۱-سرایان. ۲-ایسک. ۳-اسفدن. ۴-دشت بیاض. ۵-بیدخت دو. ۶-شهر جنگل. ۷-حاج اباد. ۸-ارین شهر. ۹-سراب. ۱۰- گرماب. ۱۱-عباس اباد. ۱۲-عباس اباد ۳. ۱۳- سیف اباد ۱۴- هاشمیه ۱۵-نوفرست. ۱۶- جاجرم. ۱۷-بستاق. ۱۸- خزیبی. ۱۹- تیغ دره. ۲۰-خوسف. ۲۱- ابراهیمی. ۲۲- امیرآباد. ۲۳-چهل حصار ۲۴- چلو ۲۵-نصرآباد. ۲۶- ابراهیم اباد. ۲۷- سرداغ. ۲۸- ابراهیم اباد دو. ۲۹-بیدخت ۳۰- موودا. ۳۱- زرمهر ۳۲- شهر جنگل. ۳۳- خسروآباد. ۳۴-روم ۳۵- شیروان. ۳۶-ابنیه ۳۷-گنبدلی. ۳۸-قمی. ۳۹- علی اباد کشمیر. ۴۰-فهانگ. ۴۱-کریت. ۴۲-طبیس ۴۳-قدراز. ۴۴- محسن اباد ۴۵-مشهدریز. ۴۶-سنگبست دو. ۴۷-بجنورد. ۴۸-کلاته وجدی ۴۹-بابا امان ۵۰- عشق اباد ۵۱- سبزوار ۵۲- زرغزی. ۵۳-رضاآباد. ۵۴-رضویه ۵۵-حاج اباد ۵۶-لفاهک ۵۷-تایباد. ۵۸-اسدییه ۵۹- ماهنه ۶۰- کوثر ۶۱- گرمه ۶۲- رباط عشق ۶۳-سنگان ۱. ۶۴-کاتنه گزی. ۶۵-دیپهل ۶۶- قنات کنار ۶۷- مرغوم ۶۸- شاهزاده علی ۶۹- شهرک سناتی ۷۰- شوکت اباد ۷۱-دشت قران ۷۲-امیر اباد ۷۳- نامن دو ۷۴- نامن ۷۵-قایان ۷۶- سیف اباد ۷۷- زرگری ۷۸-گوش عظیم دو ۷۹- کوهسرنک ۸۰- دوین ۸۱- گوش عظیم ۱. ۸۲- فورج ۸۳- نصر الدین ۸۴- شهرک سیندر ۸۵- سیف اباد ۸۶- سرنند ۸۷- مومن اباد ۸۹- علی اباد الو ۹۰- پدram ۹۱- سیف جان ۹۲- قاسم خان ۹۳- شوسف

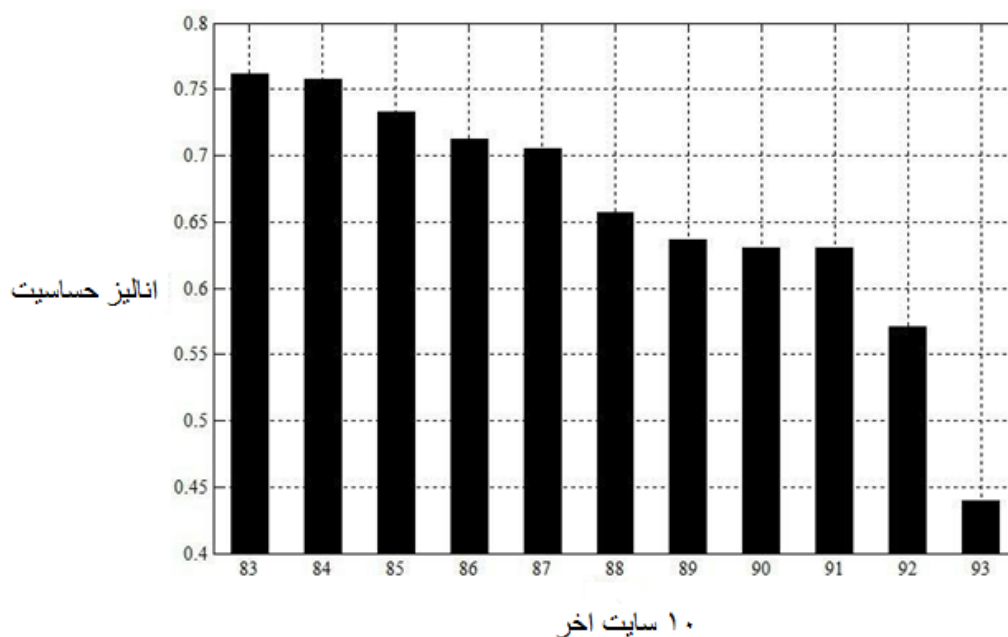
شکل ۴-۲ ارزیابی اولیت بندی گزینه‌ها از لحاظ پتانسیل تأسیس نیروگاه پمپاژ خورشیدی به روش تاپسیس

در شکل ۴-۳ نتایج درصدها، به ترتیب برای ۱۰ شهر اول بزرگنمایی شده است و مشاهده می‌شود به ترتیب سایت‌های سرایان در استان خراسان جنوبی، سایت ایسک در خراسان جنوبی، سایت اسفدن در خراسان جنوبی، سایت دشت بیاض در خراسان جنوبی، سایت بیدخت ۲ در خراسان رضوی، سایت شهر جنگل ۲ در خراسان رضوی، سایت حاج اباد در خراسان رضوی، سایت ارین شهر در خراسان جنوبی، سایت سرداب در خراسان رضوی و سایت گرماب در خراسان جنوبی، درصد های به ترتیب: ۹۳.۸۷ _ ۹۳.۸۲ _ ۹۳.۸۰ _ ۹۳.۵۰ _ ۹۳.۳۱ _ ۹۲.۷۳ _ ۹۲.۱۳ _ ۹۱.۷۵ _ ۹۱.۶۴ _ ۹۱.۵۵ را دارا می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود رتبه‌بندی سایت‌ها اختلاف بسیار اندکی باهم دارند.



شکل ۴-۳ نتایج ۱۰ شهر برتر در مقیاس بزرگ‌تر برای تأسیس نیروگاه به روش تاپسیس

و در شکل ۴-۴ نتایج ۱۰ شهر آخر در مقیاس بزرگ‌تر نشان داده شده است که به ترتیب شامل شهرک سیندر، صفی اباد، سرند، مومن اباد، حاجی اباد، علی اباد الو، پدران، سیو جان، قاسم خان، شوسف می‌باشد. امتیازها به ترتیب ۷۵.۷۳ _ ۷۳.۳۳ _ ۷۱.۱۸ _ ۷۰.۴۷ _ ۶۵.۶۸ _ ۶۳.۶۶ _ ۶۳.۰۴ _ ۶۳.۰۱ _ ۴۳.۹۵ می‌باشد.



شکل ۴-۴ نتایج ۱۰ شهر آخر در مقیاس بزرگ‌تر برای تأسیس نیروگاه به روش تاپسیس

شکل ۴-۵ تصویر ماهواره‌ای سایت سرایان در خراسان جنوبی را نشان می‌دهد. این سایت به مساحت ۲۳۰ هکتار در مختصات حدود مرکز به طول و عرض جغرافیایی ۳۳.۸۲۶۷۳۹ و ۵۸.۵۳۴۶۲۹ واقع شده است. بیشتر کاربری منطقه منابع طبیعی به صورت مسطح با شیب ۲.۳٪ می‌باشد. این منطقه با ۱۵۰ متر فاصله به جاده اسفالت دسترسی دارد. خطوط شبکه از داخل سایت می‌گذرد و فاصله از پست ۵ کیلومتر می‌باشد. میزان تشعشع در این منطقه ۱۸۰۰ kwh/kwp و ظرفیت تخمینی انرژی قابل استحصال خورشید ۱۱۵ مگاوات می‌باشد.



شکل ۴-۵ تصویر ماهواره‌ای سایت سرایان در خراسان جنوبی

۴-۲ آنالیز حساسیت برای امکان سنجی

فرضیات و مقادیر معلوم و مشخص هر مدل فنی و اقتصادی در معرض تغییر و خطا و تبدیل هستند. آنالیز حساسیت بررسی‌کننده این پارامترهای تغییر و خطا و مشکلات ناشی از آن‌ها روی نتایج حاصل از مدل در سطح وسیعی هست. روش‌های آنالیز حساسیت را می‌توان به سه گروه عمده آماری (احتمالی)، ریاضی و گرافیکی تقسیم‌بندی کرد. این طبقه‌بندی کمک می‌کند روش‌های مناسب را مطابق با فواید هر کدامشان برای تصمیم‌گیری انتخاب کنیم. به همین منظور در این پایان نامه برای بررسی بیشتر، پاسخگویی به دیدگاه‌های مختلف از تحلیل حساسیت معیارها استفاده شده است. یکی از مهم‌ترین فاکتورها در بررسی آنالیز حساسیت بررسی تأثیر تغییر وزن معیارها بر خروجی مدل هست. برای این منظور در این روش 30 حالت آنالیز حساسیت برای 15 معیار انجام شده است. بدین صورت که در حالت اول به وزن شماره یک ابتدا 10 درصد اضافه شده است

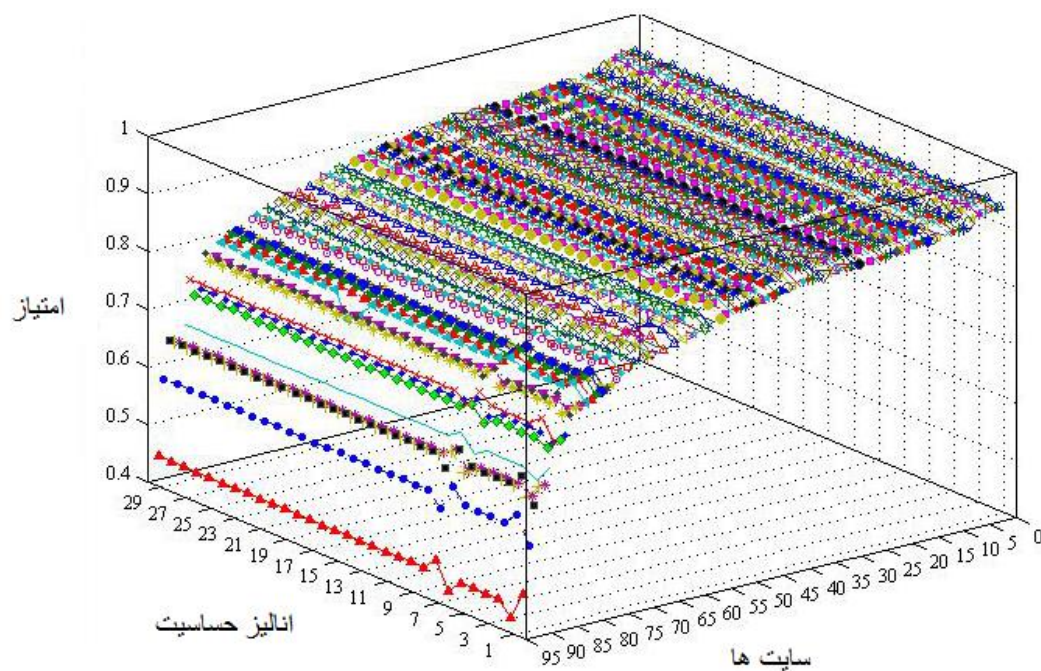
و بعد از دریافت نتیجه، در حالت دوم 10 درصد از همان وزن شماره یک کم شده است و دوباره نتیجه به دست آمده است. سپس در حالت سوم، به وزن شماره دو 10 درصد اضافه شده و نتیجه گیری شده است و در حالت چهارم، از وزن شماره دو 10 درصد کم شده است و نتیجه گیری شده است. در نتیجه برای 15 معیار 30 حالت آنالیز حساسیت به همین ترتیب انجام شده است. و تأثیر هر شاخص به صورت جداگانه بررسی شده است. مشاهده می شود که پس از تغییرات در وزن شاخص ها از 30 حالت، 28 حالت سایت سرایان در استان خراسان جنوبی و سپس سایت ایسک در خراسان جنوبی با اختلاف ۰.۰۵ درصد به عنوان بهترین سایت در تصمیم گیری انتخاب می شود. همچنین سایت شوسف در خراسان جنوبی نیز بدترین گزینه در تمام ۳۰ حالت به دست آمد. جدول ۴-۱ نتایج آنالیز حساسیت را نشان می دهد.

جدول ۴-۱ نتایج آنالیز حساسیت

شماره	فاصله از خط	فاصله از پست	شیب	فاصله از جاده	تابش خورشید	ظرفیت قابل استحصال خورشید	دما	رطوبت	ارتفاع	فاصله از مرکز شهر	بارندگی	جمعیت	فاصله از رود	تعداد سدهای اطراف	سرعت باد
وزن	0/2929	0/1064	0/0381	0/2331	0/0006	0/0149	0/0018	0/0049	0/0064	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c1	0/32219	0/1064	0/0381	0/2331	0/0006	0/0149	0/0018	0/0049	0/0064	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c2	0/26361	0/1064	0/0381	0/2331	0/0006	0/0149	0/0018	0/0049	0/0064	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c3	0/2929	0/09576	0/0381	0/2331	0/0006	0/0149	0/0018	0/0049	0/0064	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c4	0/2929	0/11704	0/0381	0/2331	0/0006	0/0149	0/0018	0/0049	0/0064	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c5	0/2929	0/1064	0/0343	0/2331	0/0006	0/0149	0/0018	0/0049	0/0064	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c6	0/2929	0/1064	0/0419	0/2331	0/0006	0/0149	0/0018	0/0049	0/0064	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c7	0/2929	0/1064	0/0381	0/20979	0/0006	0/0149	0/0018	0/0049	0/0064	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c8	0/2929	0/1064	0/0381	0/25641	0/0006	0/0149	0/0018	0/0049	0/0064	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c9	0/2929	0/1064	0/0381	0/2331	0/00054	0/0149	0/0018	0/0049	0/0064	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c10	0/2929	0/1064	0/0381	0/2331	0/00066	0/0149	0/0018	0/0049	0/0064	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c11	0/2929	0/1064	0/0381	0/2331	0/0006	0/01341	0/0018	0/0049	0/0064	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c12	0/2929	0/1064	0/0381	0/2331	0/0006	0/01639	0/0018	0/0049	0/0064	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c13	0/2929	0/1064	0/0381	0/2331	0/0006	0/0149	0/002	0/0049	0/0064	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c14	0/2929	0/1064	0/0381	0/2331	0/0006	0/0149	0/0016	0/0049	0/0064	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c15	0/2929	0/1064	0/0381	0/2331	0/0006	0/0149	0/0018	0/0044	0/0064	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c16	0/2929	0/1064	0/0381	0/2331	0/0006	0/0149	0/0018	0/0054	0/0064	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c17	0/2929	0/1064	0/0381	0/2331	0/0006	0/0149	0/0018	0/0049	0/00576	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005
c18	0/2929	0/1064	0/0381	0/2331	0/0006	0/0149	0/0018	0/0049	0/00704	0/0402	0/012	0/088	0/0748	0/081	0/005

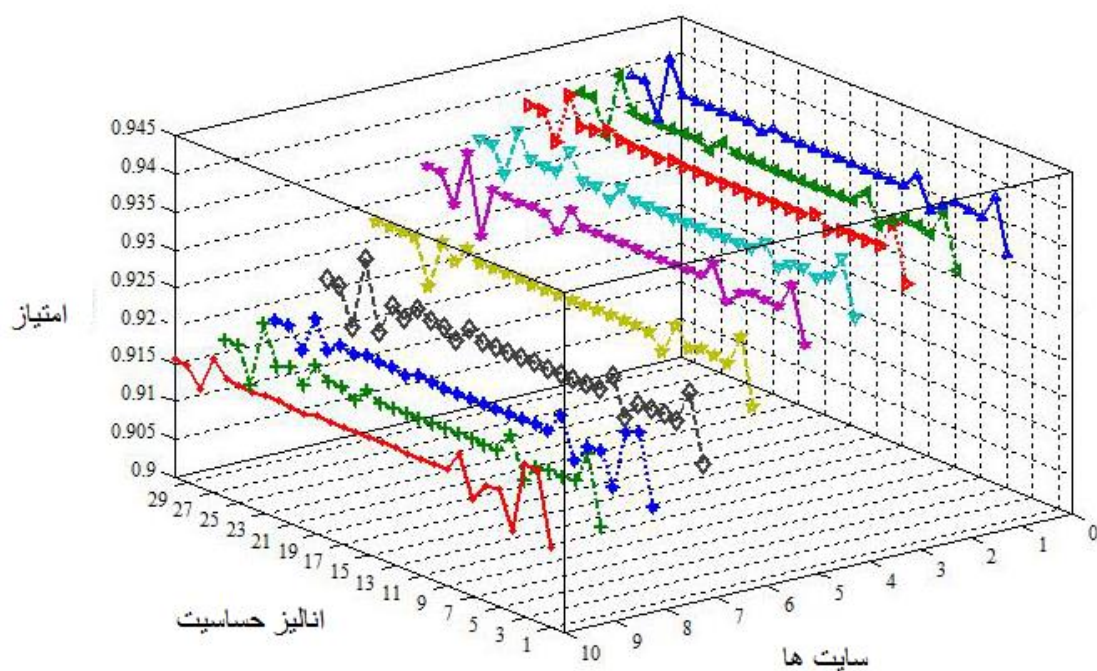
0/005	0/081	0/0748	0/088	0/012	0/03618	0/0064	0/0049	0/0018	0/0149	0/0006	0/2331	0/0381	0/1064	0/2929	c19
0/005	0/081	0/0748	0/088	0/012	0/04422	0/0064	0/0049	0/0018	0/0149	0/0006	0/2331	0/0381	0/1064	0/2929	c20
0/005	0/081	0/0748	0/088	0/011	0/0402	0/0064	0/0049	0/0018	0/0149	0/0006	0/2331	0/0381	0/1064	0/2929	c21
0/005	0/081	0/0748	0/088	0/013	0/0402	0/0064	0/0049	0/0018	0/0149	0/0006	0/2331	0/0381	0/1064	0/2929	c22
0/005	0/081	0/0748	0/0792	0/012	0/0402	0/0064	0/0049	0/0018	0/0149	0/0006	0/2331	0/0381	0/1064	0/2929	c23
0/005	0/081	0/0748	0/0968	0/012	0/0402	0/0064	0/0049	0/0018	0/0149	0/0006	0/2331	0/0381	0/1064	0/2929	c24
0/005	0/081	0/06732	0/088	0/012	0/0402	0/0064	0/0049	0/0018	0/0149	0/0006	0/2331	0/0381	0/1064	0/2929	c25
0/005	0/081	0/08228	0/088	0/012	0/0402	0/0064	0/0049	0/0018	0/0149	0/0006	0/2331	0/0381	0/1064	0/2929	c26
0/005	0/0729	0/0748	0/088	0/012	0/0402	0/0064	0/0049	0/0018	0/0149	0/0006	0/2331	0/0381	0/1064	0/2929	c27
0/005	0/0891	0/0748	0/088	0/012	0/0402	0/0064	0/0049	0/0018	0/0149	0/0006	0/2331	0/0381	0/1064	0/2929	c28
0/005	0/081	0/0748	0/088	0/012	0/0402	0/0064	0/0049	0/0018	0/0149	0/0006	0/2331	0/0381	0/1064	0/2929	c29
0/006	0/081	0/0748	0/088	0/012	0/0402	0/0064	0/0049	0/0018	0/0149	0/0006	0/2331	0/0381	0/1064	0/2929	c30

در شکل ۴-۶ نمودار نتایج آنالیز حساسیت به روش تصمیم‌گیری چند معیاره، تاپسیس نشان داده شده است. نتایج برای ۳۰ حالت آنالیز حساسیت با روش تاپسیس ارزیابی شده است. مشاهده می‌شود که این روش تا حد زیادی نتایج را به‌طور قطع و دقیق نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد سایت سرایان در استان خراسان جنوبی بهترین و سایت شوسف در استان خراسان جنوبی بدترین سایت برای تاسیس نیروگاه می باشد. هر خط نشان داده شده یک سایت می‌باشد که در مجموع ۹۳ خط نشان داده شده است. محور X تعداد سایت‌ها، محور Z آنالیز حساست‌های انجام شده را نشان می‌دهد و محور Y امتیاز هر سایت را نشان می‌دهد.



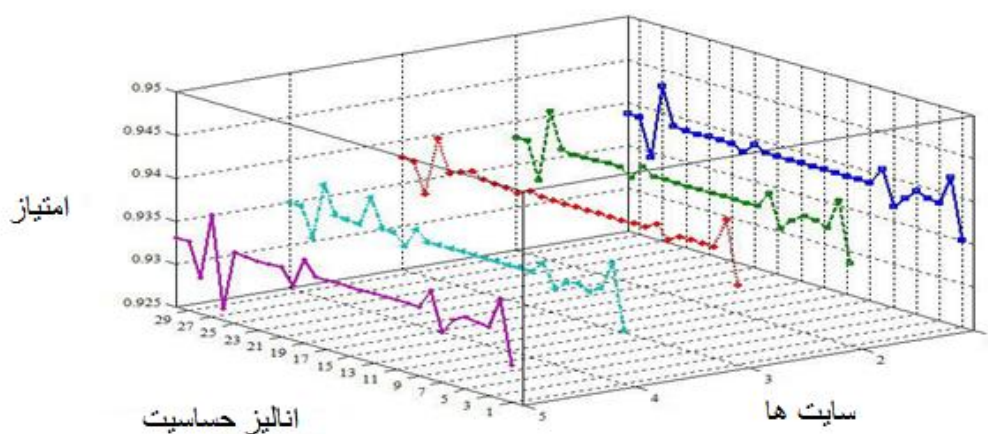
شکل ۴-۶ نتایج آنالیز حساسیت حاصل از استراتژی تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس

شکل ۴-۷ ده گزینه‌ی برتر حاصل از محاسبات را در مقیاس بزرگ‌تر را نشان می‌دهد. سایت سرایان در استان خراسان جنوبی بهترین گزینه برای تأسیس نیروگاه و سپس به ترتیب سایت ایسک، سایت اسفدن، سایت دشت بیاض، سایت بیدخت ۲، سایت شهر جنگل، سایت حاج اباد، سایت ارین شهر، سایت سرداب و سایت گرماب، ۱۰ اولویت اول با توجه به شرایط آب و هوایی و جغرافیایی برای تأسیس نیروگاه می‌باشد.



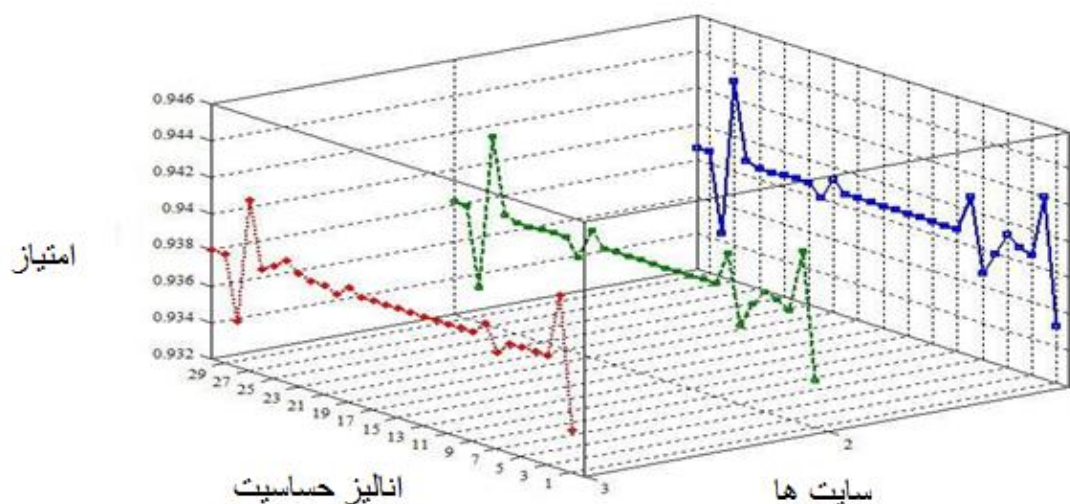
شکل ۴-۱۰. گزینه اول نتایج در مقیاس بزرگ تر

شکل ۴-۸ نتایج را در مقیاس بزرگ تر برای ۵ سایت برتر نشان می دهد. به ترتیب عبارت هستند از سایت سرایان، سایت ایسک، سایت اسفدن، سایت دشت بیاض، سایت بیدخت ۲.



شکل ۴-۸. ۵ گزینه ی اول نتایج در مقیاس بزرگ تر

شکل ۴-۹ نتایج آنالیز حساسیت برای ۳ گزینه‌ی اول در مقیاس بزرگتر می باشد. که بترتیب عبارت هستند از سایت سرایان، سایت ایسک و ساست اسفدن.



شکل ۴-۹ سه گزینه‌ی اول نتایج در مقیاس بزرگتر

۱-۲-فاصله از خط ۳-۴ فاصله از پست ۵-۶-شیب، ۷-۸-فاصله تا جاده، ۹-۱۰-تابش ۱۱-۱۲-ظرفیت قابل دریافت تابش، ۱۳-۱۴ دما، ۱۵-۱۶ رطوبت، ۱۷-۱۸-ارتفاع، ۱۹-۲۰-فاصله تا مرکز شهر، ۲۱-۲۲-بارندگی، ۲۳-۲۴-جمعیت، ۲۵-۲۶-فاصله تا رود، ۲۷-۲۸-تعداد سد، ۲۹-۳۰-سرعت باد

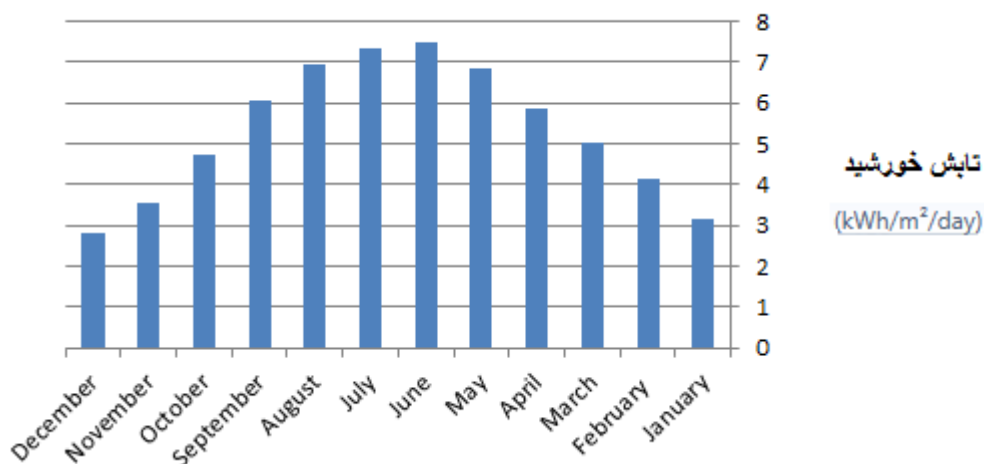
شکل ۴-۱۰ نام گذاری شماره معیار آنالیز حساسیت

۱-سرایان، ۲-ایسک، ۳-اسفدن، ۴-دشت بیاض، ۵-بیدخت دو، ۶-شهر جنگل، ۷-حاج ایاد، ۸-ارین شهر، ۹-سراب، ۱۰-گرماب، ۱۱-عباس ایاد، ۱۲-عباس ایاد ۳، ۱۳-سیف ایاد ۱۴-هاتمیه، ۱۵-خوهرست، ۱۶-جاجرم، ۱۷-جستاق، ۱۸-خزایی، ۱۹-تیغ دره، ۲۰-خوسف، ۲۱-ابراهیمی، ۲۲-امیر ایاد، ۲۳-چهل حصار، ۲۴-چلو، ۲۵-نصر ایاد، ۲۶-ابراهیم ایاد، ۲۷-سرداغ، ۲۸-ابراهیم ایاد دو، ۲۹-بیدخت ۳۰-موودا، ۳۱-زرمهر، ۳۲-شهر جنگل، ۳۳-خسروایاد، ۳۴-روم، ۳۵-شیروان، ۳۶-ابنیه، ۳۷-گنبدلی، ۳۸-خمی، ۳۹-علی ایاد کشمیر، ۴۰-فهانگ، ۴۱-کریت، ۴۲-طیس، ۴۳-قندراز، ۴۴-محسن ایاد، ۴۵-مشهدریز، ۴۶-سنگیست دو، ۴۷-جنورد، ۴۸-کلاته وجدی، ۴۹-بابا امان، ۵۰-عشق ایاد، ۵۱-سبزوار، ۵۲-زرغزی، ۵۳-رضا ایاد، ۵۴-رضویه، ۵۵-حاج ایاد، ۵۶-لفاهک، ۵۷-تایباد، ۵۸-اسدیه، ۵۹-ماهته، ۶۰-کوثر، ۶۱-گرمه، ۶۲-رباط عشق، ۶۳-سنگان، ۶۴-کاتنه گزی، ۶۵-دیهیل، ۶۶-قنات کنار، ۶۷-مرغوم، ۶۸-شاهزاده علی، ۶۹-شهرک سنائی، ۷۰-شوکت ایاد، ۷۱-دشت قران، ۷۲-امیر ایاد، ۷۳-نامن دو، ۷۴-نامن، ۷۵-قایان، ۷۶-سیف ایاد، ۷۷-زرگری، ۷۸-گوش عظیم دو، ۷۹-کوهسرنگ، ۸۰-دوین، ۸۱-غوش عظیم، ۸۲-فروج، ۸۳-نصر الدین، ۸۴-شهرک سیندر، ۸۵-سیف ایاد، ۸۶-سرنند، ۸۷-مومن ایاد، ۸۹-علی ایاد الو، ۹۰-یدرام، ۹۱-سیف جان، ۹۲-قاسم خان، ۹۳-شوسف

شکل ۴-۱۱ نامگذاری شماره سایت‌های آنالیز حساسیت

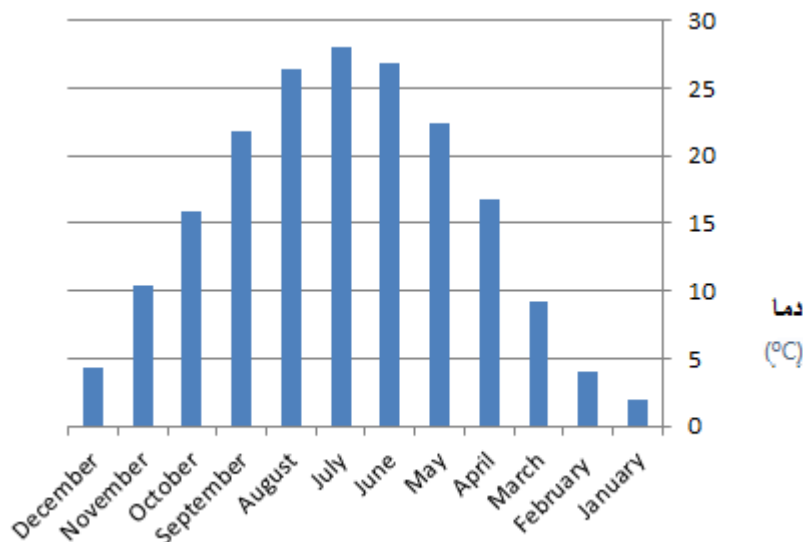
۳-۴ طراحی اندازه بهینه سیستم برای تأمین بار مناطق منتخب با نرم افزار هومر

در ادامه، برای ۳ سایت در سه استان خراسان جنوبی، رضوی و شمالی، اندازه‌ی بهینه سیستم پمپ آب فتوولتائیک با نرم‌افزار هومر بررسی شده است. این سایت‌ها شامل سایت سرایان در استان خراسان جنوبی که به‌عنوان بهترین سایت با روش تصمیم‌گیری چند معیاره انتخاب شد و سایت بیدخت ۲ در استان خراسان رضوی و سایت جاجرم در استان خراسان شمالی می‌باشد. در ادامه سیستم‌های بهینه‌ی انتخاب‌شده و هزینه‌های آن و میزان تولید آلاینده‌ی برای هر سیستم پیشنهادی بررسی و در نهایت با انجام آنالیز حساسیت درستی نتایج بررسی شده است. در شکل ۴-۱۲ و ۴-۱۳ داده‌های آب و هواشناسی برای سه استان نشان داده شده است. در شکل ۴-۱۲ مشاهده می‌شود که در تابستان این منطقه شدت تابش ۷ کیلووات ساعت بر مترمربع در هرروز و در زمستان به ۴ کیلووات ساعت در هر روز می‌رسد.



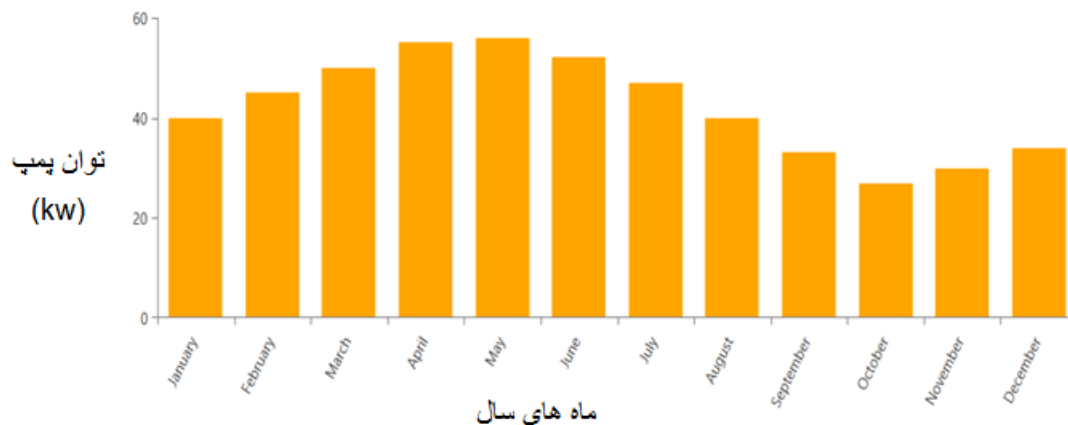
شکل ۴-۱۲ تابش خورشید به تفکیک ماه‌های سال [68].

در شکل ۴-۱۳ میانگین دما ماهانه در ماه‌های مختلف سال نشان داده شده است. مشاهده می‌شود در تابستان دما به ۲۸ درجه و در زمستان به ۴ درجه ساسیوس می‌رسد.



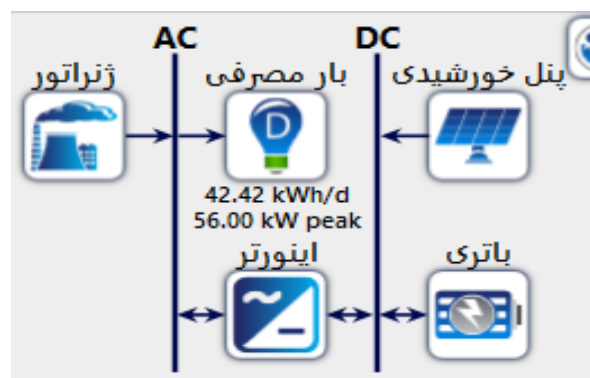
شکل ۴-۱۳: میانگین دما ماهانه در منطقه‌ی موردنظر [68].

در این پژوهش به تأمین انرژی موردنیاز یک پمپ با استفاده از یک سیستم ترکیبی برای آبیاری یک زمین کشاورزی ۱۲ هکتاری و همچنین تأمین آب مصرفی یک‌خانه پرداخته‌شده است. سیستم ترکیبی طراحی‌شده متشکل از ژنراتور، سلول خورشیدی و باتری است که انرژی موردنیاز یک پمپ با توان ۷۵ اسب بخار را تأمین می‌کند. این پمپ توانایی پمپاژ آب با دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه از یک چاه با عمق ۱۸۰ متر را دارد. برند پمپ مورد نظر، پمپ ایران می باشد. بار الکتریکی موردنیاز این پمپ در ماه‌های مختلف سال با توجه به مصرف بخش کشاورزی در شکل ۴-۱۴ نشان داده‌شده است. مشاهده می‌شود که این پمپ در تابستان بیشترین مصرف انرژی با مقدار ۵۶ کیلووات، در زمستان کمترین مصرف انرژی با مقدار ۲۷ کیلووات را در جهت تأمین آب، نیاز دارد. همچنین میانگین مصرف ۴۲ کیلووات در روز می‌باشد.



شکل ۴-۱۴ پروفیل بار مصرفی پمپ در ماه های مختلف سال [70].

در شکل ۴-۱۵ شماتیک سیستم طراحی شده برای تأمین انرژی موردنیاز پمپ در ماه های مختلف سال نشان داده شده است. میانگین انرژی موردنیاز پمپ در هرروز ۴۲.۴۲ کیلووات ساعت است و همچنین توان پیک موردنیاز آن ۵۶ کیلووات است. برای تأمین این توان از پنل خورشیدی، باتری، اینورتر و ژنراتور دیزلی استفاده شده است. پنل و باتری بار dc تولید می کنند و اینورتر بار ac تولید می کند. انرژی مصرفی موردنیاز پمپ به صورت برق متناوب است که انرژی تولیدشده توسط پنل خورشیدی با استفاده از اینورتر به برق متناوب تبدیل می شود.



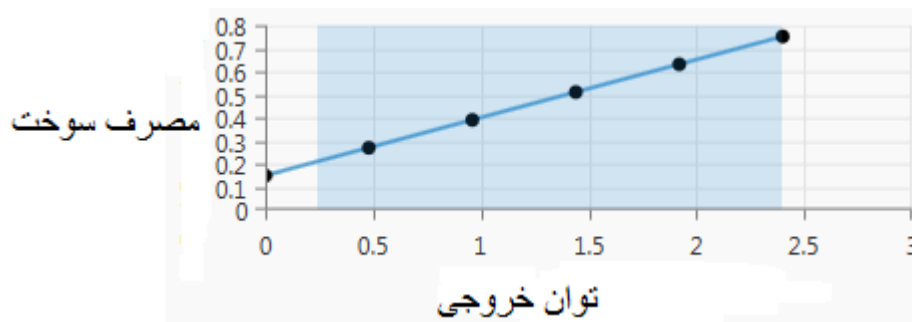
شکل ۴-۱۵ شماتیک سیستم طراحی شده

در ادامه قید های در نظر گرفته شده و اطلاعات مربوط به باتری، ژنراتور، سلول خورشیدی و اینورتر برای مدلسازی سه سایت مورد نظر در جدول ۴-۲ نشان داده شده است [71.72]. مبنای برابری نرخ یورو به ریال برای ماه مهر سال ۱۴۰۰ هجری شمسی می باشد. مشخصات سلول خورشیدی در این پژوهش بدین صورت است که توان هر پنل ۳۲۵ وات و دارای عمر ۲۰ سال می باشد نوع پنل، پلی کریستال و راندمان آن حدود ۱۷ درصد می باشد. همچنین اینورتر مورد استفاده در این پژوهش ۱۵۰ یورو هزینه سرمایه اولیه دارد، دارای عمر ۱۵ سال و راندمان ۹۵ درصد می باشد. نوع سوخت مصرفی ژنراتور، بنزین و قیمت هر لیتر سوخت ۰.۱۲ یورو در نظر گرفته شده است و طول عمر آن ۱۵۰۰۰ ساعت می باشد. باتری دارای ۱۷۵ یورو هزینه سرمایه اولیه می باشد. راندمان آن ۸۰ درصد و از نوع لید اسید می باشد.

جدول ۴-۲ مشخصات تجهیزات به کاررفته

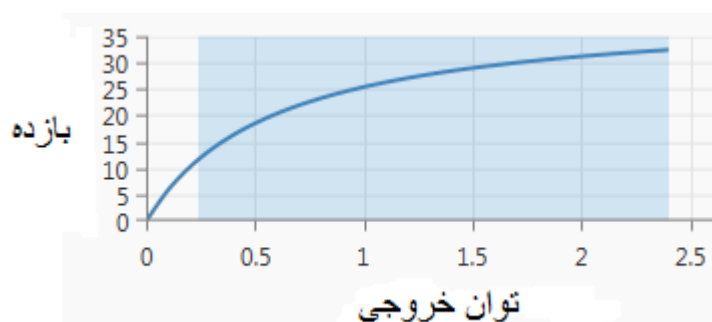
اینورتر	باتری	ژنراتور	پنل خورشیدی
هزینه سرمایه اولیه به ازای هر کیلووات ۱۵۰ یورو	هزینه سرمایه هر باتری ۱۷۵ یورو	هزینه سرمایه اولیه به ازای هر کیلووات ۲۰۰ یورو	هزینه سرمایه اولیه برای هر کیلووات پنل ۴۴۵ یورو
راندمان: ۹۵٪	توان باتری ۳ کیلووات ساعت	نوع سوخت مصرفی: بنزین	راندمان ۱۶.۹۴٪
طول عمر: ۱۵ سال	ولتاژ باتری ۱۲ ولت	قیمت هر لیتر سوخت: ۰.۱۲ یورو	توان هر پنل ۳۲۵ وات
هزینه جایگزینی به ازای هر کیلووات ۱۵۰ یورو	شدت جریان باتری ۲۵۷ آمپر	عمر کارکرد: ۱۵۰۰۰ ساعت	عمر پنل ۲۰ سال
هزینه تعمیرات و نگهداری ۱۰ یورو در سال	هزینه تعمیرات و نگهداری در سال ۵ یورو	هزینه تعمیر و نگهداری به ازای هر ساعت ۰.۰۳ یورو	نوع پنل پلی کریستال
	راندمان ۸۰٪ و از نوع LEAD ACID	میزان انتشار مونوکسید کربن ۱۶.۵ گرم بر لیتر	مدل CS6X

در شکل ۴-۱۶ نمودار توان خروجی بر حسب کیلووات برای سیستم بهینه اول، در ۳ سایت موردنظر برحسب مصرف سوخت برای ژنراتور مورد استفاده نشان داده شده است. مشاهده می شود که با افزایش توان خروجی ژنراتور مصرف سوخت آن نیز به طور خطی افزایش پیدا خواهد کرد. مشاهده می شود که این ژنراتور به ازای هر ۱ کیلووات توان تولیدی ۰.۴ لیتر بر ساعت مصرف می کند که با افزایش توان خروجی میزان سوخت مصرفی نیز بیشتر خواهد شد.



شکل ۴-۱۶ نمودار توان خروجی ژنراتور برحسب مصرف

در شکل ۴-۱۷ نمودار توان خروجی ژنراتور برحسب راندمان نشان داده شده است. مشاهده می شود که راندمان ژنراتور در توان های پایین کم است و رفته رفته با افزایش توان مصرفی راندمان نیز افزایش پیدا کرده و در نهایت به صورت ثابت به ۳۵٪ می رسد.



شکل ۴-۱۷ نمودار توان خروجی ژنراتور برحسب راندمان

در ادامه نتایج بهینه سازی برای سه استان مورد نظر ارزیابی شده است. هومر بر اساس کمترین هزینه ی خالص حال حاضر، ۳ سیستم به ترتیب پیشنهاد کرده است که با توجه به نزدیکی داده های

تابش خورشید و دما در این سه منطقه، نتایج بسیار شبیه هم هستند. در جدول ۳-۴ نتایج سایت سرایان برای استان خراسان جنوبی مشاهده می شود. سیستم بهینه ی این استان شامل ۱۰ کیلووات پنل خورشیدی و ۳ کیلووات باتری، ۲.۳ کیلووات اینورتر و ۲.۴ کیلووات ژنراتور می باشد. سیستم بهینه دوم شامل ۱۰ کیلووات پنل خورشیدی، ۲.۴ کیلووات ژنراتور و ۲.۳۳ کیلووات اینورتر می باشد. سیستم بهینه ی سوم شامل ۱۸ کیلووات پنل خورشیدی، ۹۶ کیلووات باتری و ۳ کیلووات اینورتر می باشد. در سیستم بهینه، هزینه خالص حال حاضر (NPC) برابر ۱۸۴۸۱ یورو، هزینه تراز شده انرژی (COE) برابر ۰.۰۹۲۴ یورو به ازای هر کیلووات می باشد که کمتر از دو سیستم بهینه دیگر منتخب می باشد.

جدول ۳-۴ انواع سیستم های بهینه شده جهت تأمین بار مصرفی برای سایت سرایان در استان خراسان جنوبی.

انواع سیستم	سوخت مصرفی (لیتر/ سال)	هزینه سرمایه اولیه (یورو)	کل هزینه سیستم (NPC) یورو	هزینه تراز شده انرژی (COE) یورو	ژنراتور (KW)	اینورتر (KW)	باتری (KW)	سلول خورشیدی (KW)
سیستم بهینه ۱	۲۸۶۱	۵۴۵۵	۱۸۴۸۱	۰.۰۹۲۴	۲.۴	۲.۳۳	۳	۱۰
سیستم بهینه ۲	۳۰۵۰	۵۲۸۰	۱۸۹۰۷	۰.۰۹۴۵	۲.۴	۲.۳۴	-	۱۰
سیستم بهینه ۳	-	۱۴۰۶۰	۲۸۱۲۸	۰.۰۱۴۱	-	۳	۹۶	۱۸

در جدول ۴-۴ نتایج سایت بیدخت دو برای استان خراسان رضوی مشاهده می شود. سیستم بهینه ی این استان شامل ۱۰ کیلووات پنل خورشیدی و ۳ کیلووات باتری معادل ۱ عدد، ۲.۳ کیلووات اینورتر و ۲.۴ کیلووات ژنراتور می باشد. سیستم بهینه دوم شامل ۱۰ کیلووات پنل خورشیدی، ۲.۴ کیلووات ژنراتور و ۲.۳۳ کیلووات اینورتر می باشد. سیستم بهینه ی سوم شامل ۱۸ کیلووات پنل خورشیدی، ۹۶ کیلووات باتری و ۳ کیلووات اینورتر می باشد. در سیستم بهینه، هزینه خالص حال

حاضر (NPC) برابر ۱۸۴۶۹ یورو، هزینه تراز شده انرژی (COE) برابر ۰.۰۹۲۳ یورو به ازای هر کیلووات می‌باشد که کمترین هزینه نسبت به دو سیستم دیگر را دارد.

جدول ۴-۴ انواع سیستم‌های بهینه‌شده جهت تأمین بار مصرفی برای سایت بیدخت در استان خراسان رضوی.

انواع سیستم	سوخت	هزینه سرمایه اولیه (یورو)	کل هزینه سیستم (NPC) یورو	هزینه تراز شده انرژی (COE) یورو	ژنراتور (KW)	اینورتر (KW)	باتری (KW)	سلول خورشیدی (KW)
سیستم بهینه ۱	۲۸۶۰	۵۴۵۵	۱۸۴۶۹	۰.۰۹۲۳	۲.۴	۲.۳۳	۳	۱۰
سیستم بهینه ۲	۳۰۴۷	۵۲۸۰	۱۸۸۸۷	۰.۰۹۴۴	۲.۴	۲.۳۳	-	۱۰
سیستم بهینه ۳	-	۱۴۰۶۰	۲۸۱۳۴	۰.۰۱۴۱	-	۳	۹۶	۱۸

در جدول ۴-۵ نتایج سایت جاجرم برای استان خراسان شمالی مشاهده می‌شود. سیستم بهینه این استان شامل ۱۰ کیلووات پنل خورشیدی و ۳ کیلووات باتری معادل ۱ عدد، ۲.۳ کیلووات اینورتر و ۲.۴ کیلووات ژنراتور می‌باشد. سیستم بهینه دوم شامل ۱۰ کیلووات پنل خورشیدی، ۲.۴ کیلووات ژنراتور و ۲.۳۳ کیلووات اینورتر می‌باشد. سیستم بهینه سوم شامل ۱۵ کیلووات پنل خورشیدی، ۱۰.۲ کیلووات باتری و ۳ کیلووات اینورتر می‌باشد. در سیستم بهینه، هزینه خالص حال حاضر (NPC) برابر ۱۸۳۷۳ یورو، هزینه تراز شده انرژی (COE) برابر ۰.۰۹۱۸ یورو به ازای هر کیلووات می‌باشد که کمترین هزینه ی تأمین بار را دارد.

جدول ۴-۵ انواع سیستم‌های بهینه‌شده جهت تأمین بار مصرفی برای سایت جاجرم در استان خراسان شمالی.

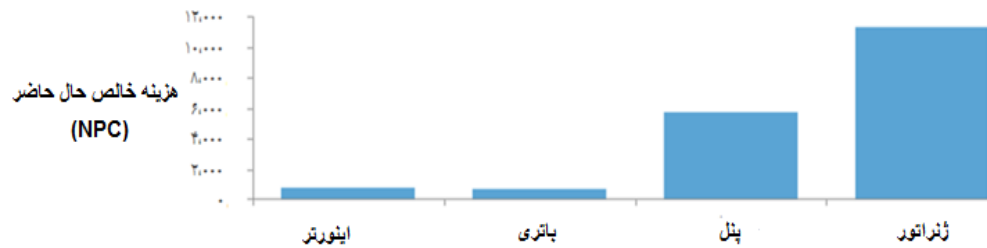
انواع سیستم	سوخت مصرفی (لیتر/ سال)	هزینه سرمایه اولیه (یورو)	کل هزینه سیستم (NPC) (یورو)	هزینه تراز شده انرژی (COE) (یورو)	ژنراتور (KW)	اینورتر (KW)	باتری (KW)	سلول خورشیدی (KW)
سیستم بهینه ۱	۲۸۳۵	۵۴۵۵	۱۸۳۷۳	۰.۰۹۱۸	۲.۴	۲.۳۳	۳	۱۰
سیستم بهینه ۲	۳۰۱۵	۵۲۸۰	۱۸۷۲۲	۰.۰۹۳۶	۲.۴	۲.۳۳	-	۱۰
سیستم بهینه ۳	-	۱۳۰۷۵	۲۶۶۸۶	۰.۰۱۳۳	-	۳	۱۰.۲	۱۵

طبق نتایج برای سیستم بهینه اول می‌توان این توجیه را داشت که با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه مورد نظر و شرایط اقتصادی و زیست محیطی مناسب ترین سیستم، ترکیب مشابه اعلام شده برای سه سایت مورد نظر می‌باشد چرا که با حذف هر کدام از متغیرها تأمین بار با قابلیت اطمینان کمتری و هزینه‌ی بیشتر می‌باشد. بعنوان مثال در صورت حذف دیزل ژنراتور، در شب و در مواقع بارانی و نامساعد بودن هوا پنل خورشیدی قابلیت تأمین بار را ندارد و وجود دیزل ژنراتور در اینجا ملزم است و با حذف پنل‌های خورشیدی، با افزایش چشمگیر میزان انتشار آلاینده‌گی مواجه می‌شویم. بنابراین هومر با ترکیب این سیستم حالت بهینه را انتخاب کرده است. در سیستم بهینه دوم با حذف باتری هزینه اولیه سیستم کاهش یافته است و مصرف سوخت در حالت دوم بیشتر از حالت بهینه اول می‌باشد و در مجموع هزینه کل سیستم بیشتر از حالت اول است. در حالت بهینه سوم مشاهده می‌شود بدلیل حذف دیزل ژنراتور مصرف سوخت صفر و میزان انتشار آلاینده‌گی صفر است در این سیستم هزینه اولیه پنل از باتری بیشتر است اما در مجموع کل هزینه‌های باتری از پنل بیشتر می‌باشد. فلذا بدلیل حذف دیزل ژنراتور تعداد پنل و باتری افزایش یافته که این امر باعث بیشترین هزینه ممکن از بین سه سیستم بهینه شده است. طبق بررسی‌ها ارزیابی می‌شود در دراز

مدت استفاده از پنل های خورشیدی بسیار مناسب تر از دیزل ژنراتور است چرا که هزینه تمام شده ژنراتور که شامل تعمیرات و نگه داری، جابجایی و سرمایه اولیه بیشتر از پنل خورشیدی است و در صورت افزایش تکنولوژی و بهبود کیفیت توان پنل های خورشیدی، قیمت پنل ها کاهش یافته و همچنین به دلیل محدود بودن منابع فسیلی، با افزایش قیمت ان مواجه خواهیم شد. در ادامه هزینه های سیستم بهینه انتخاب شده برای سه سایت مورد نظر به همراه نمودار آنها بر حسب هزینه ی خالص حال حاضر بررسی شده است. در جدول ۴-۷ و همچنین نمودار ان در شکل ۴-۱۸ هزینه های سیستم برای سایت سرایان در استان خراسان جنوبی بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که سلول های خورشیدی با توجه به سرمایه گذاری اولیه و عدم مصرف سوخت در کل ۵۷۱۵.۵ یورو هزینه دارد اما ژنراتور دیزلی معادل ۱۱۳۰۲.۸ یورو هزینه در پی دارد. اما با توجه به هزینه سرمایه گذاری اولیه کمتر و هزینه مصرف سوخت در هرروز، در طول عمر پروژه هزینه بیشتری نسبت به تمامی تجهیزات در بر خواهد داشت. هزینه تمام شده باتری و اینورتر برابر ۶۹۰.۱ و ۷۷۲.۴ یورو می باشد و هزینه سوخت مصرفی ان صفر می باشد و مشاهده می شود در پایان عمر پروژه ۹۲۰.۴ یورو اسقاط این سیستم بهینه در نظر گرفته شده است. کمترین اسقاط مربوط به باتری و بیشترین اسقاط مربوط به پنل خورشیدی است.

جدول ۴-۷ هزینه های سیستم بهینه انتخاب شده برای سایت سرایان.

ماژول	هزینه خالص حال حاضر (NPC) (یورو)	اسقاط (یورو)	سوخت (یورو/ سال)	تعمیرات و نگه داری (یورو/ سال)	جابجایی (یورو)	سرمایه اولیه (یورو)
اینورتر	۷۷۲.۴	۲۷.۹۶	۰	۳۰۱.۷	۱۴۸.۵	۳۵۰.۱
باتری	۶۹۰.۱	۱.۱۷	۰	۶۴.۶	۴۵۱.۶	۱۷۵
پنل خورشیدی	۵۷۱۵.۵	۷۹۹.۵	۰	۶۴۶.۳	۱۴۱۸.۶	۴۴۵۰
ژنراتور	۱۱۳۰۲.۸	۹۱.۸	۴۴۳۸	۴۵۸۰.۳	۱۸۹۶.۲	۴۸۰
سیستم	۱۸۴۸۰.۹	۹۲۰.۴	۴۴۳۸	۵۵۹۳.۱	۳۹۱۵.۱	۵۴۵۵.۱



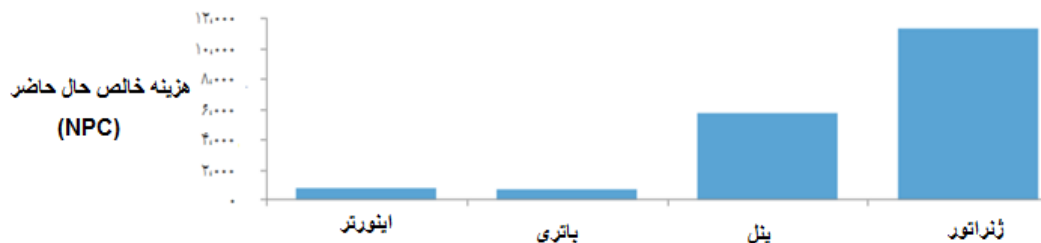
شکل ۴-۱۸ نمودار هزینه‌های سیستم بهینه برای سایت سرایان.

در جدول ۴-۸ و نمودار آن در شکل ۴-۱۹ هزینه‌های سیستم بهینه انتخاب شده برای سایت بیدخت دو در استان خراسان رضوی مشاهده می‌شود، هزینه تمام شده ژنراتور برابر ۱۱۲۹۷.۵۳ یورو و هزینه تمام شده پنل خورشیدی معادل ۵۷۱۵.۵۴ یورو و همچنین به ترتیب برای باتری و اینورتر معادل ۶۸۳.۷۶ و ۷۷۲.۴۰ یورو می‌باشد. مشاهده می‌شود که بیشتر هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه مربوط به سلول‌های خورشیدی است و بعد از آن ژنراتور قرار دارد. اما ژنراتور دیزلی با توجه به تعمیرات و نگهداری و همچنین هزینه مصرف سوخت بیشترین هزینه‌ی کل انرژی را به همراه دارد و در مجموع کل هزینه‌های سیستم برابر ۱۸۴۶۹.۲ یورو می‌باشد. هزینه سوخت مصرفی برای پنل، باتری و اینورتر صفر می‌باشد و مشاهده می‌شود در پایان عمر پروژه ۹۲۴.۰۶ یورو اسقاط این سیستم بهینه در نظر گرفته شده است. کمترین اسقاط مربوط به باتری و بیشترین اسقاط مربوط به پنل خورشیدی است.

جدول ۴-۸ هزینه‌های سیستم بهینه انتخاب شده برای سایت بیدخت ۲.

ماژول	هزینه خالص حال حاضر (NPC) (یورو)	اسقاط (یورو)	سوخت (یورو/ سال)	تعمیرات و نگهداری (یورو/ سال)	جایابی (یورو)	سرمایه اولیه (یورو)
اینورتر	۷۷۲.۴۰	۲۷.۹۶	۰	۳۰۱.۷	۱۴۸.۵۴	۳۵۰.۱
باتری	۶۸۳.۷۶	۴.۲۱	۰	۶۴.۶۴	۴۴۸.۳۳	۱۷۵
پنل خورشیدی	۵۷۱۵.۵۴	۷۹۹.۵۲	۰	۶۴۶.۳۸	۱۴۱۸.۶۹	۴۴۵۰

ژنراتور	۱۱۲۹۷.۵۳	۹۲.۳۷	۴۴۳۶.۸۶	۴۵۷۷.۵۸	۱۸۹۵.۴۸	۴۸۰
سیستم	۱۸۴۶۹.۲	۹۲۴.۰۶	۴۴۳۶.۸	۵۵۹۰.۳۲	۳۹۱۱	۵۴۵۵.۱

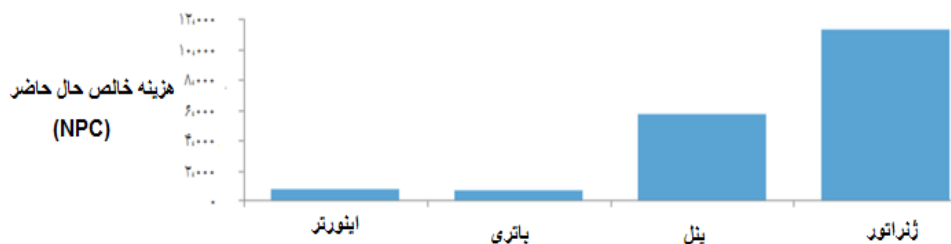


شکل ۴-۱۹ نمودار هزینه‌های سیستم بهینه برای سایت بیدخت دو.

در جدول ۴-۹ و نمودار آن در شکل ۴-۲۰ هزینه‌های سیستم بهینه‌ی انتخاب شده برای سایت جاجرم در استان خراسان شمالی مشاهده می‌شود، هزینه تمام شده ژنراتور برابر ۱۱۱۹۵.۲ یورو و هزینه تمام شده پنل خورشیدی معادل ۵۷۱۵ یورو و همچنین به ترتیب برای باتری و اینورتر معادل ۶۹۰.۲۰ و ۷۷۲.۴۰ یورو می‌باشد مشاهده می‌شود هزینه‌ی تمام شده ژنراتور از پنل و سایر متغیرها بیشتر است اما هزینه‌ی اولیه‌ی پنل خورشیدی و همچنین اسقاط آن از سایر ماژول‌ها بسیار بیشتر می‌باشد هزینه‌ی تمام شده‌ی باتری و اینورتر تا حدودی نزدیک به هم می‌باشند.

جدول ۴-۹ هزینه‌های سیستم بهینه انتخاب شده برای سایت جاجرم.

ماژول	هزینه خالص حال حاضر (NPC) (یورو)	اسقاط (یورو)	سوخت (یورو/سال)	تعمیرات و نگهداری (یورو/سال)	جایابی (یورو)	سرمایه اولیه (یورو)
اینورتر	۷۷۲.۴۰	۲۷.۹۶	۰	۳۰۱.۷۳	۱۴۸.۵۴	۳۵۰.۱
باتری	۶۹۰.۲۰	۱.۱۴	۰	۶۴.۶۴	۴۵۱.۷	۱۷۵
پنل خورشیدی	۵۷۱۵	۷۹۹.۵	۰	۶۴۶.۳۸	۱۴۱۸.۶	۴۴۵۰
ژنراتور	۱۱۱۹۵.۲	۱۰۱.۱۹	۴۳۹۷.۴۴	۴۵۳۴.۷۷	۱۸۸۴.۲	۴۸۰
سیستم	۱۸۳۷۳.۴	۹۲۹.۸	۴۳۹۷.۴	۵۵۴۷.۵	۳۹۰۳.۱	۵۴۵۵.۱



شکل ۴-۲۰ نمودار هزینه‌های سیستم بهینه برای سایت جاجرم.

در شکل ۴-۲۱ میزان انرژی الکتریکی تولیدشده به تفکیک ماه‌های مختلف سال توسط سلول خورشیدی و ژنراتور نشان برای سایت سرایان داده شده است. مشاهده می‌شود که بیشتر انرژی الکتریکی موردنیاز ماهانه توسط سلول خورشیدی تأمین می‌گردد. به‌طور میانگین ۶۸.۳٪ انرژی الکتریکی معادل ۱۸۴۹۰ کیلووات ساعت در طول سال توسط سلول خورشیدی و ۳۱.۴٪ معادل ۸۴۷۴ کیلووات ساعت در سال، توسط ژنراتور تأمین می‌گردد و در مجموع ۲۶۹۶۴ کیلووات ساعت در سال انرژی توسط پنل و ژنراتور تولید می‌شود. که ۴۰.۹٪ معادل ۱۱۰۲۵ کیلووات ساعت در سال آن مازاد بر مصرف بوده است، که با فروش این مقدار انرژی در هر سال به شبکه سراسری برق و تجهیزات در پایان عمر پروژه می‌توان درآمد زایی کرد. نرم افزار هومر با مقایسه ی سیستم بهینه (شامل پنل، باتری، ژنراتور و اینورتور) با یک سیستم مبنا (شامل پنل، ژنراتور و باتری) نشان داد بعد از حدود ۱.۶۸ سال بازگشت سرمایه اتفاق می‌افتد.



شکل ۴-۲۱ میزان انرژی الکتریکی تولیدشده به تفکیک ماه‌های سال برای سیستم بهینه .

در جدول ۴-۹ میزان انتشار آلاینده‌گی، برای ۳ سیستم طراحی شده برای سایت سرایان، در جدول ۴-۱۰ برای سایت بیدوخت دو و در جدول ۴-۱۱ برای سایت جاجرم، نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در سیستم اول و دوم تولید کربن دی‌اکسید و کربن مونوکسید کربن و اکسیدهای

نیترژن در سال قابل ملاحظه می‌باشد. در سیستم بهینه دوم بدلیل اینکه مصرف سوخت دیزل ژنراتور بیشتر است انتشار آلاینده‌گی آن بیشتر از سیستم بهینه اول می‌باشد. اما در حالت سوم به دلیل اینکه تنها از پنل خورشیدی بعنوان منبع تولید انرژی استفاده شده است، میزان تولید آلاینده‌گی صفر است.

جدول ۴-۹ انتشار آلاینده‌گی برای سیستم‌های بهینه طراحی شده برای سایت سرایان.

کیلوگرم در سال	نیترژن دی اکسید (Kg/year)	کربن مونواکسید (Kg/year)	کربن دی اکسید (Kg/year)
سیستم بهینه اول	۴۴.۳	۴۷.۲	۷۴۸۹
سیستم بهینه دوم	۴۷.۳	۵۰.۳	۷۹۸۴
سیستم بهینه سوم	۰	۰	۰

جدول ۴-۱۰ انتشار آلاینده‌گی برای سیستم‌های بهینه طراحی شده برای سایت بیدخت دو.

کیلوگرم در سال	نیترژن دی اکسید (Kg/year)	کربن مونواکسید (Kg/year)	کربن دی اکسید (Kg/year)
سیستم بهینه اول	۴۴.۳	۴۷.۲	۷۴۸۷
سیستم بهینه دوم	۴۷.۲	۵۰.۳	۷۹۸۵
سیستم بهینه سوم	۰	۰	۰

جدول ۴-۱۱ انتشار آلاینده‌گی برای سیستم‌های بهینه طراحی شده برای سایت جاجرم.

کیلوگرم در سال	نیترژن دی اکسید (Kg/year)	کربن مونواکسید (Kg/year)	کربن دی اکسید (Kg/year)
سیستم بهینه اول	۴۳.۹	۴۶.۸	۷۴۲۰
سیستم بهینه دوم	۴۶.۷	۴۹.۸	۷۸۹۳
سیستم بهینه سوم	۰	۰	۰

۴-۴ آنالیز حساسیت برای سه سایت در سه استان.

در تحلیل حساسیت سیستم، کاربر مجموعه‌ای از مقادیر را برای یک متغیر در نظر می‌گیرد. متغیری که برای آن مقادیر متعددی وارد شده باشد، متغیر حساسیت نامیده می‌شود [۶۷]. در نرم افزار هومر تقریباً هر ورودی مانند هزینه‌ی سوخت، نرخ بهره، سرعت باد و غیره که متغیر تصمیم‌گیری نباشد،

می‌تواند به عنوان متغیر حساسیت در نظر گرفته شود. متغیر تصمیم‌گیری، متغیری است که در الگوریتم برنامه برای آن یک حالت در نظر گرفته می‌شود و محاسبات هزینه با این فرض صورت می‌گیرد. در ادامه به بررسی آنالیز حساسیت‌های انجام‌شده برای سیستم بهینه اول، بر روی قیمت‌های پنل خورشیدی، باتری، اینورتر، ژنراتور، سوخت و نرخ بهره پرداخته‌شده است. در سیستم بهینه انتخابی برای سه استان خراسان جنوبی و رضوی و شمالی، قیمت پنل خورشیدی ۴۴۵ یورو، قیمت باتری ۱۷۵ یورو، قیمت ژنراتور به ازای هر کیلووات ۲۰۰ یورو و قیمت اینورتر ۱۵۰ یورو به ازای هر کیلووات در نظر گرفته‌شده است. همچنین نتایج با نرخ بهره ثابت ۸٪ و قیمت سوخت ۱۲٪ انجام‌شده است.

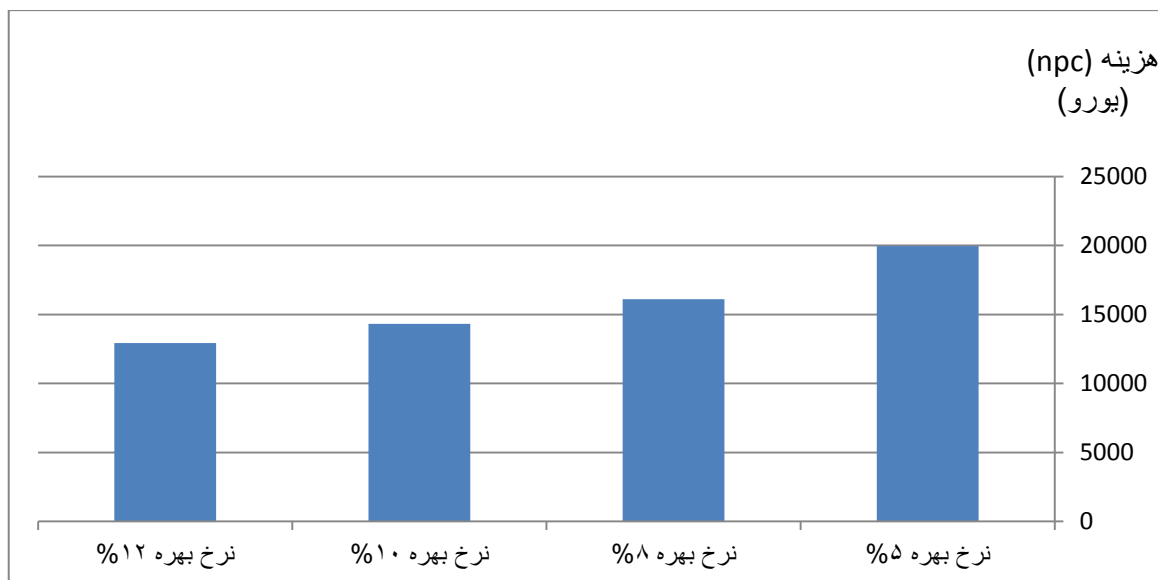
۴-۴-۱۱ آنالیز حساسیت برای سایت سرایان در استان خراسان جنوبی

در ادامه به بررسی آنالیز حساسیت‌های انجام‌شده بر روی نرخ بهره، قیمت سوخت پرداخته‌شده است. در جدول ۴-۱۲ آنالیز حساسیت برای ۴ نرخ بهره مختلف با قیمت سوخت ۰.۰۵ یورو انجام‌شده است.

جدول ۴-۱۲: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۰۵ یورو

نرخ بهره	قیمت سوخت (یورو/سال)	توان پنل خورشیدی (کیلووات)	توان ژنراتور (کیلووات)	تعداد باتری ۳ کیلوواتی	توان اینورتر (کیلووات)	هزینه تراژ شده انرژی (coe) (یورو)	هزینه کل سیستم (npc) (یورو)	هزینه عملکرد سالیانه (یورو/سال)	سوخت مصرفی (لیتر/سال)	هزینه مصرف سوخت (یورو/سال)
۵	۰.۰۵	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۷۳۶	۱۹۹۵۳	۸۲۷.۱۵	۲۹۵۸	۱۴۸
۸	۰.۰۵	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۸۰۶	۱۶۱۱۳	۸۲۴.۴۷	۲۹۵۸	۱۴۸
۱۰	۰.۰۵	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۸۵۵	۱۴۳۱۷	۸۱۹.۱۱	۲۹۵۸	۱۴۸
۱۲	۰.۰۵	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۹۰۷	۱۲۹۲۹	۸۱۲.۱	۲۹۵۸	۱۴۸

در شکل ۴-۲۲ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۵ یورو نشان داده شده است، مشاهده می شود با افزایش نرخ بهره هزینه های کلی سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



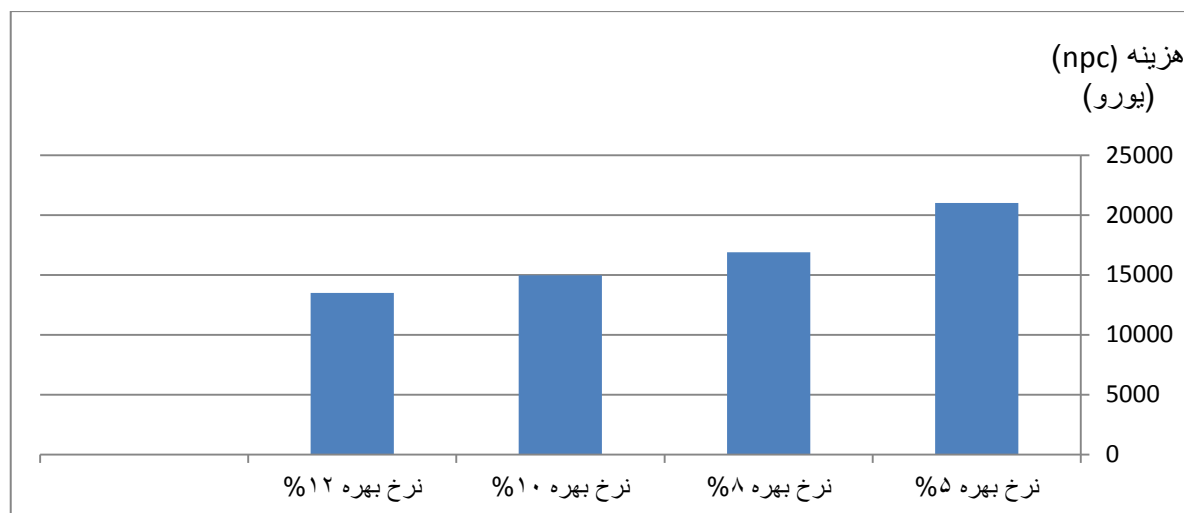
شکل ۴-۲۲ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۵ یورو

در جدول ۴-۱۳ آنالیز حساسیت برای ۴ نرخ بهره مختلف باقیمت سوخت ۰.۰۷ یورو انجام شده است.

جدول ۴-۱۳: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۰۷ یورو

نرخ بهره (درصد)	قیمت سوخت (یورو/سال)	توان پیل خورشیدی (کیلووات)	توان ژنراتور (کیلووات)	تعداد باتری ۳ کیلوواتی	توان اینورتر (کیلووات)	هزینه تراژ شده انرژی (coe) (یورو)	هزینه کل سیستم (npc) (یورو)	هزینه عملکرد سالیانه (یورو/سال)	سوخت مصرفی (لیتر/سال)	هزینه مصرف سوخت (یورو/سال)
۵	۰.۰۷	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۷۷۴	۲۱۰۰۱	۸۸۶.۹۱	۲۹۴۶	۲۰.۶
۸	۰.۰۷	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۸۴۴	۱۶۸۸۶	۸۸۴.۲۴	۲۹۴۶	۲۰.۶
۱۰	۰.۰۷	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۸۹۴	۱۴۹۶۴	۸۷۸.۸۹	۲۹۴۶	۲۰.۶
۱۲	۰.۰۷	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۹۴۶	۱۳۴۹۰	۸۷۱.۸۸	۲۹۴۶	۲۰.۶

در شکل ۴-۲۳ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۷ یورو نشان داده شده است، مشاهده می شود با افزایش نرخ بهره هزینه های کلی سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۴-۲۳ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۷ یورو

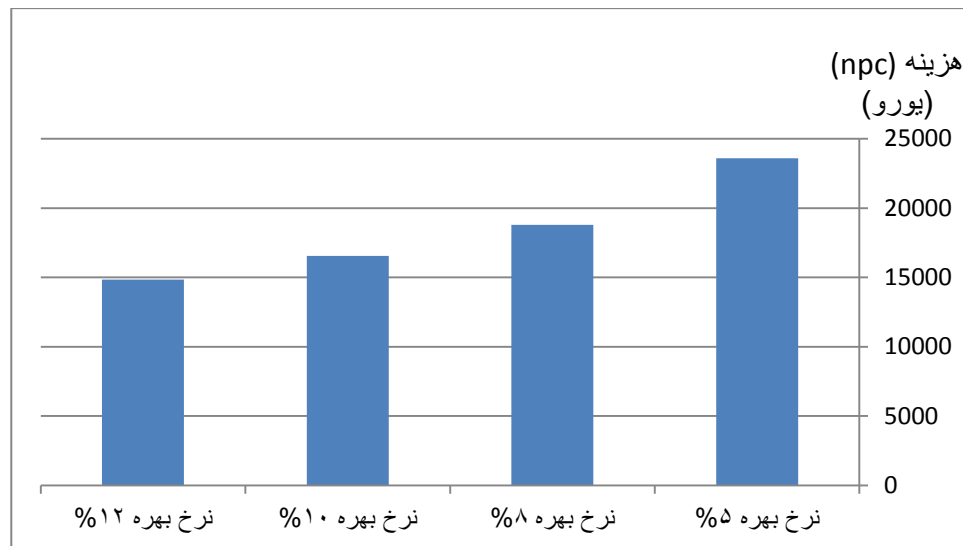
در جدول ۴-۱۴ آنالیز حساسیت برای ۴ نرخ بهره مختلف باقیمت سوخت ۰.۱۲ یورو انجام شده است.

جدول ۴-۱۴: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۱۲ یورو

نرخ بهره	قیمت سوخت (یورو/سال)	توان پیل خورشیدی (کیلووات)	توان ژنراتور (کیلووات)	تعداد باتری ۳ کیلوواتی	توان اینورتر (کیلووات)	هزینه تراژ شده انرژی (coe) (یورو)	هزینه کل سیستم (npc) (یورو)	هزینه عملکرد سالیانه (یورو/سال)	سوخت مصرفی در سال (لیتر/سال)	هزینه مصرف سوخت در سال (یورو/سال)
۵	۰.۱۲	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۸۷۰	۲۳۵۹۸	۱۰۲۸	۲۹۲۷	۳۵۱
۸	۰.۱۲	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۹۴۰	۱۸۸۰۲	۱۰۳۲	۲۹۲۷	۳۵۱
۱۰	۰.۱۲	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۹۹۰	۱۶۵۶۸	۱۰۲۷	۲۹۲۷	۳۵۱
۱۲	۰.۱۲	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۱۰۴	۱۴۸۵۶	۱۰۲۰	۲۹۲۷	۳۵۱

در شکل ۴-۲۴ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۲ یورو نشان داده شده است، مشاهده

می شود با افزایش نرخ بهره هزینه های کلی سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۴-۲۴ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۲ یورو

در جدول ۴-۱۵ آنالیز حساسیت برای ۴ نرخ بهره مختلف باقیمت سوخت ۰.۱۵ یورو انجام شده

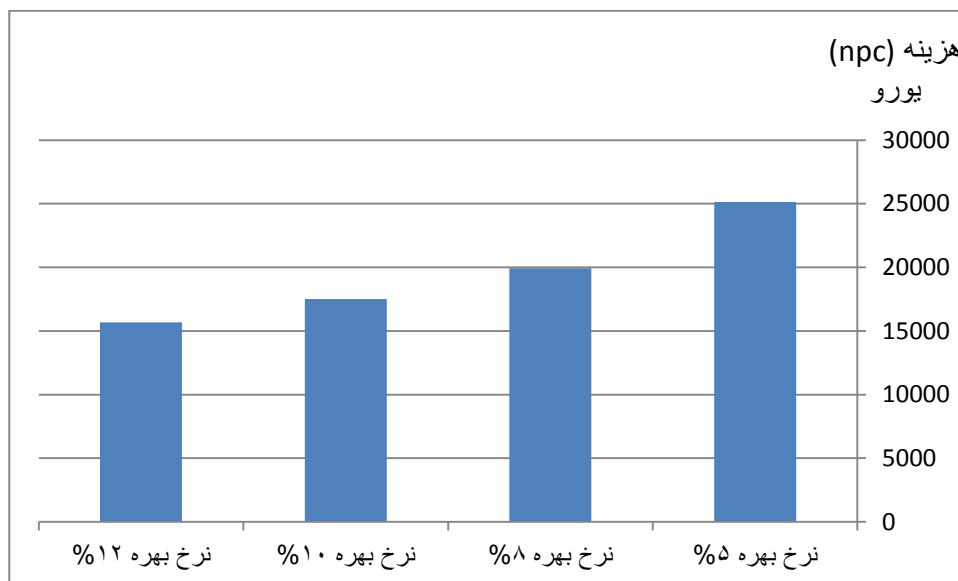
است.

جدول ۴-۱۵: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۱۵ یورو

نرخ بهره	قیمت سوخت (یورو/سال)	توان پیل خورشیدی (کیلووات)	توان ژنراتور (کیلووات)	تعداد باتری ۳ کیلوواتی	توان اینورتر (کیلووات)	هزینه تراژ شده انرژی (coe) (یورو)	هزینه کل سیستم (npc) (یورو)	هزینه عملکرد سالیانه (یورو/سال)	سوخت مصرفی در سال (لیتر/سال)	هزینه مصرف سوخت در سال (یورو/سال)
۵	۰.۱۵	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۹۲۹	۲۵۱۳۷	۱۱۲۳	۲۹۲۷	۴۳۹
۸	۰.۱۵	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۹۹۷	۱۹۹۳۷	۱۱۲۰	۲۹۲۷	۴۳۹

۴۳۹	۲۹۲۷	۱۱۱۵	۱۷۵۱۸	۰.۱۰۵	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۱۵	۱۰
۴۳۹	۲۹۲۷	۱۱۰.۸	۱۵۶۶۵	۰.۱۱۰	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۱۵	۱۲

در شکل ۴-۲۵ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۵ یورو نشان داده شده است، مشاهده می شود با افزایش نرخ بهره هزینه های کلی سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۴-۲۵ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۵ یورو

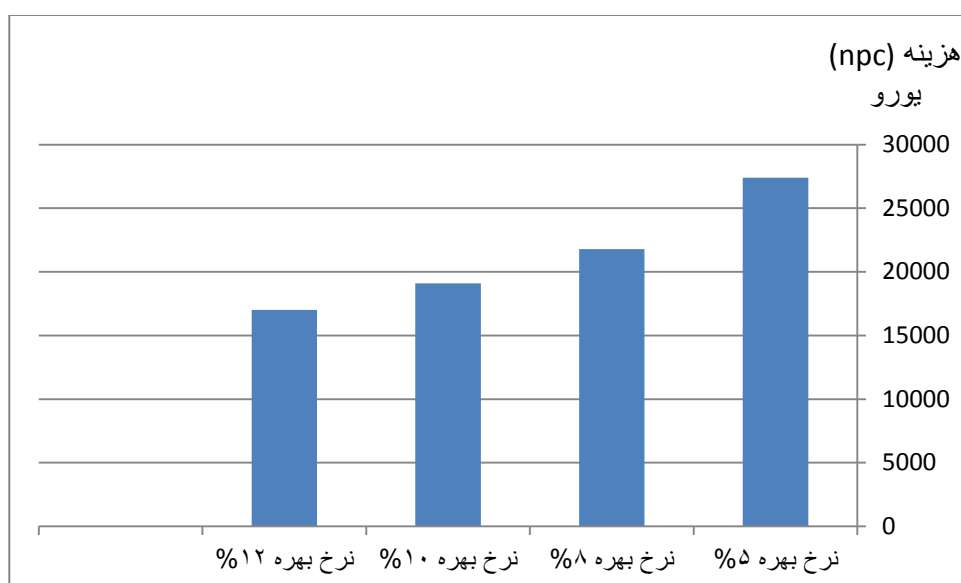
در جدول ۴-۱۶ آنالیز حساسیت برای ۴ نرخ بهره مختلف باقیمت سوخت ۰.۲ یورو انجام شده است.

جدول ۴-۱۶: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۲ یورو

هزینه	سوخت	هزینه	هزینه	هزینه	توان	تعداد	توان	توان پیل	قیمت	نرخ
مصرف	مصرفی	عملکرد	کل	تراز	اینورتر	باتری ۳	ژنراتور	خورشیدی	سوخت	بهره
سوخت	(لیتر/	سالانه	سیستم	شده	(کیلووات)	کیلوواتی	(کیلووات)	(کیلووات)	(یورو/	(درصد)
(یورو/	سال)	(یورو/	(npc)	انرژی					سال)	
سال)		سال)	(یورو)	(coe)						
				(یورو)						

۵	۰.۲۰	۱۰	۲.۴	۹	۲.۳۳	۰.۱۰۱	۲۷۳۹۶	۱۱۷۲	۱۶۱۷	۳۲۳
۸	۰.۲۰	۱۰	۲.۴	۲	۲.۳۳	۰.۱۰۹	۲۱۷۹۹	۱۲۵۱	۲۷۰۷	۵۴۱
۱۰	۰.۲۰	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۱۱۴	۱۹۱۰۱	۱۲۶۱	۲۹۲۷	۵۸۵
۱۲	۰.۲۰	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۱۱۹	۱۷۰۱۴	۱۲۵۴	۲۹۲۷	۵۸۵

در شکل ۴-۲۶ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۲۰ یورو نشان داده شده است، مشاهده می شود با افزایش نرخ بهره هزینه های کلی سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۴-۲۶ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۲۰ یورو

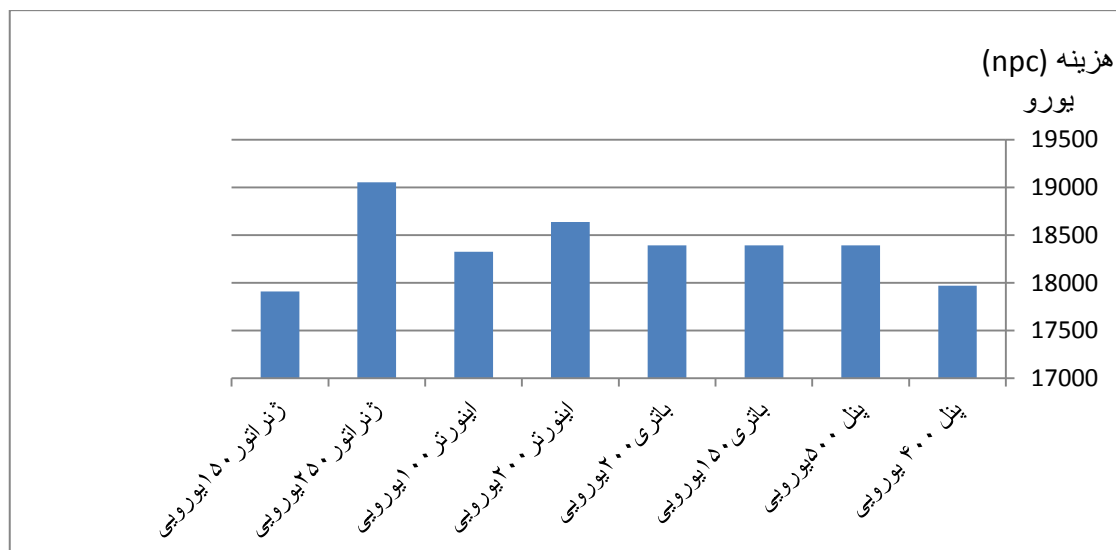
در جدول ۴-۱۷ به تغییرات قیمت پنل خورشیدی، باتری، اینورتر و ژنراتور پرداخته شده است. همچنین نتایج با نرخ بهره ثابت ۸٪ و قیمت سوخت ۰.۱۲٪ انجام شده است.

جدول ۴-۱۷ نتایج با تغییر قیمت ماژول ها با نرخ بهره و قیمت سوخت ثابت برای سایت سرایان

قیمت تجهیزات (به ازای هر کیلووات)	هزینه کل انرژی (npc)	هزینه تراز شده انرژی (coe)	هزینه سرمایه اولیه (یورو)
	(یورو)	(یورو)	
قیمت پنل خورشیدی ۴۰۰ یورو	۱۷۹۶۸	۰.۰۸۹۸	۵۰۰۵

قیمت پنل خورشیدی ۵۰۰ یورو	۱۸۳۹۲	۰.۰۹۵۵	۶۰۰۵
قیمت باتری ۱۵۰ یورو	۱۸۳۹۲	۰.۰۹۱۹	۵۴۳۰
قیمت باتری ۲۰۰ یورو	۱۸۳۹۲	۰.۰۹۱۹	۵۴۳۰
قیمت اینورتر ۲۰۰ یورو	۱۸۶۳۸	۰.۰۹۳۲	۵۵۷۲
قیمت اینورتر ۱۰۰ یورو	۱۸۳۲۴	۰.۰۹۱۶	۵۳۳۸
قیمت ژنراتور ۲۵۰ یورو	۱۹۰۵۲	۰.۰۹۵۲	۵۵۷۵
قیمت ژنراتور ۱۵۰ یورو	۱۷۹۰۹	۰.۰۸۹۵	۵۳۲۵

در شکل ۴-۲۷ نمودار هزینه ها به ازای تجهیزات مختلف بر حسب یورو نشان داده شده است، مشاهده می شود با افزایش سرمایه اولیه تجهیزات هزینه ها افزایش یافته و با کاهش سرمایه اولیه تجهیزات هزینه های کل سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۴-۲۷ نمودار هزینه ها به ازای تجهیزات مختلف

نتایج نشان می دهد که با افزایش نرخ بهره تغییری در ژنراتور و پنل ایجاد نشده اما هزینه هایی مانند هزینه تراز شده انرژی، هزینه کل سیستم و هزینه عملکرد سالیانه و تعداد باتری با توجه به قیمت سوخت مطابق جدول های ۴-۱۲، ۴-۱۳، ۴-۱۴، ۴-۱۵، ۴-۱۶ تغییر خواهد کرد و با تغییر حدود

۲۰ درصدی قیمت ماژول ها مطابق جدول ۴-۱۷، تغییری در سیستم بهینه پیشنهادی ایجاد نشده است.

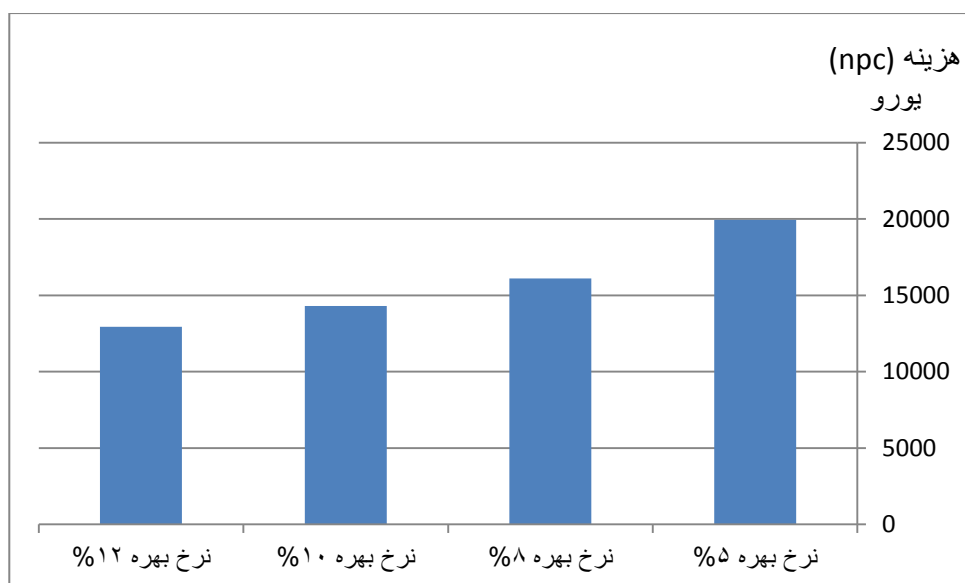
۴-۴-۲ نتایج آنالیز حساسیت برای سایت بیدخت دو در استان خراسان رضوی.

در جدول ۴-۱۸ آنالیز حساسیت برای ۴ نرخ بهره مختلف باقیمت سوخت ۰.۰۵ یورو انجام شده است.

جدول ۴-۱۸: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۰۵ یورو

نرخ بهره	قیمت سوخت (یورو/سال)	توان پیل خورشیدی (کیلووات)	توان ژنراتور (کیلووات)	تعداد باتری ۳ کیلوواتی	توان اینورتر (کیلووات)	هزینه تراژ شده انرژی (coe) (یورو)	هزینه کل سیستم (npc) (یورو)	هزینه عملکرد سالیانه (یورو/سال)	سوخت مصرفی (لیتر/سال)	هزینه مصرف سوخت (یورو/سال)
۵	۰.۰۵	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۷۳۵	۱۹۹۴۰	۸۲۶.۳۹	۲۹۶۰	۱۴۸
۸	۰.۰۵	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۸۰۵	۱۶۱۰۳	۸۲۳.۷۰	۲۹۶۰	۱۴۸
۱۰	۰.۰۵	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۸۵۵	۱۴۳۰۹	۸۱۸.۳۴	۲۹۶۰	۱۴۸
۱۲	۰.۰۵	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۹۰۷	۱۲۹۳۲	۸۱۱.۳۳	۲۹۶۰	۱۴۸

در شکل ۴-۲۸ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۵ یورو نشان داده شده است، مشاهده می شود با افزایش نرخ بهره هزینه های کلی سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



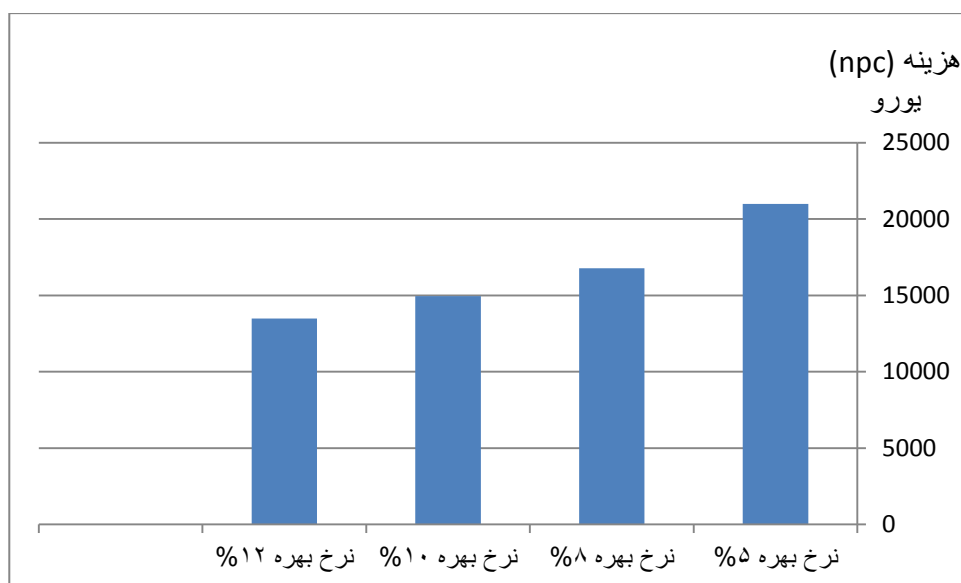
شکل ۴-۲۸ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۵ یورو

در جدول ۴-۱۹ آنالیز حساسیت برای ۴ نرخ بهره مختلف باقیمت سوخت ۰.۰۷ یورو انجام شده است.

جدول ۴-۱۹: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۰۷ یورو

نرخ بهره	قیمت سوخت (یورو/سال)	توان پیل خورشیدی (کیلووات)	توان ژنراتور (کیلووات)	تعداد باتری ۳ کیلوواتی	توان اینورتر (کیلووات)	هزینه تراز شده انرژی (coe) (یورو)	هزینه کل سیستم (npc) (یورو)	هزینه عملکرد سالانه (یورو/سال)	هزینه مصرفی (لیتر/سال)	هزینه مصرف سوخت (یورو/سال)
۵	۰.۰۷	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۷۷۴	۲۰۹۸۴	۸۸۵.۹۳	۲۹۴۶	۲۰۶
۸	۰.۰۷	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۸۴۳	۱۶۷۷۳	۸۸۳.۲۵	۲۹۴۶	۲۰۶
۱۰	۰.۰۷	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۸۹۳	۱۴۹۵۳	۸۷۷.۹۰	۲۹۴۶	۲۰۶
۱۲	۰.۰۷	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۹۴۵	۱۳۴۸۱	۸۷۰.۸۹	۲۹۴۶	۲۰۶

در شکل ۴-۲۹ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۷ یورو نشان داده شده است، مشاهده می شود با افزایش نرخ بهره هزینه های کلی سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۴-۲۹ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۷ یورو

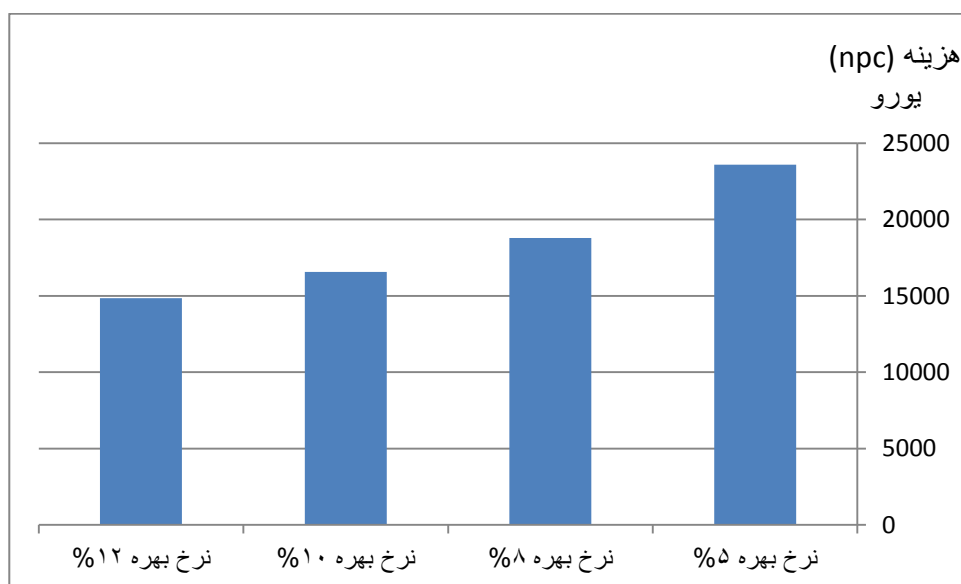
در جدول ۴-۲۰ آنالیز حساسیت برای ۴ نرخ بهره مختلف با قیمت سوخت ۰.۱۲ یورو انجام شده است.

جدول ۴-۲۰: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۱۲ یورو

هزینه مصرف سوخت (یورو/سال)	هزینه عملکرد (یورو/سال)	هزینه کل سیستم (npc) (یورو)	تراز شده انرژی (coe) (یورو)	توان اینورتر (کیلووات)	تعداد باتری ۳ (کیلوواتی)	توان ژنراتور (کیلووات)	توان پیل خورشیدی (کیلووات)	قیمت سوخت (یورو/سال)	نرخ بهره (درصد)
۳۵۱	۲۹۲۵	۱۰۳۴	۲۳۵۸۵	۰.۰۸۷۰	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۱۲
۳۵۱	۲۹۲۵	۱۰۳۲	۱۸۷۹۲	۰.۰۹۳۹	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۱۲

۱۰	۰.۱۲	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۹۸۹	۱۶۵۶۰	۱۰۲۶	۲۹۲۵	۳۵۱
۱۲	۰.۱۲	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۱۰۴	۱۴۸۵۰	۱۰۱۹	۲۹۲۵	۳۵۱

در شکل ۴-۳۰ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۲ یورو نشان داده شده است، مشاهده می شود با افزایش نرخ بهره هزینه های کلی سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۴-۳۰ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۲ یورو

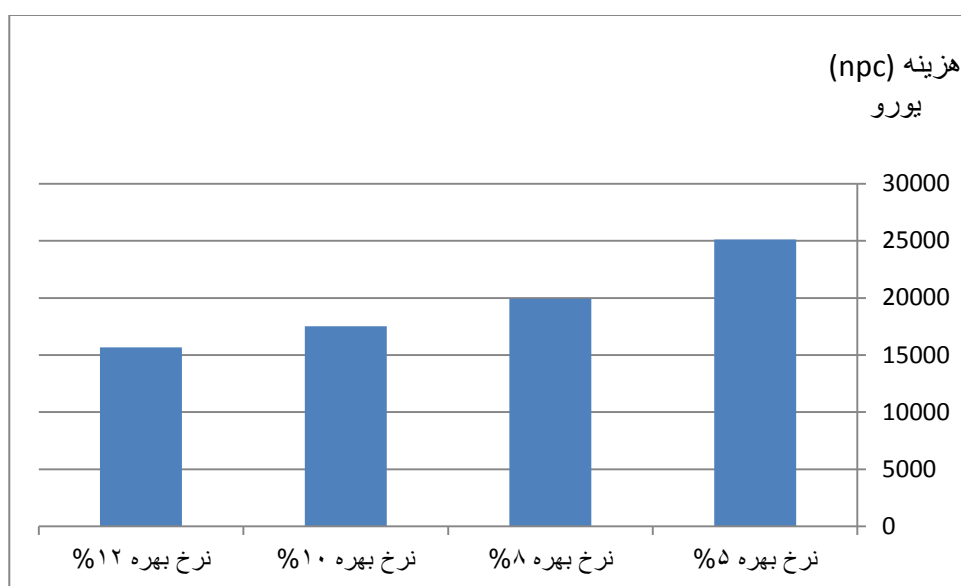
در جدول ۴-۲۱ آنالیز حساسیت برای ۴ نرخ بهره مختلف باقیمت سوخت ۰.۱۵ یورو انجام شده است.

جدول ۴-۲۱: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۱۵ یورو

هزینه	سوخت	هزینه	هزینه	هزینه	توان	تعداد	توان	توان پیل	قیمت	نرخ
مصرف سوخت	مصرفی	عملکرد	کل	تراز	اینورتر	باتری ۳	ژنراتور	خورشیدی	سوخت	بهره
(لیتر/سال)	(لیتر/سال)	(لیتر/سال)	(لیتر/سال)	(لیتر/سال)	(کیلووات)	(کیلووات)	(کیلووات)	(کیلووات)	(یورو/سال)	(درصد)
(یورو/سال)	(یورو/سال)	(یورو/سال)	(npc)	(coe)						
			(یورو)	(یورو)						

۴۳۹	۲۹۲۵	۱۱۲۲	۲۵۱۲۳	۰.۰۹۲۶	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۱۵	۵
۴۳۹	۲۹۲۵	۱۱۱۹	۱۹۹۲۷	۰.۰۹۹۶	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۱۵	۸
۴۳۹	۲۹۲۵	۱۱۱۴	۱۷۵۰۹	۰.۰۱۰۵	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۱۵	۱۰
۴۳۹	۲۹۲۵	۱۱۰۷	۱۵۶۵۸	۰.۰۱۱۰	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۱۵	۱۲

در شکل ۳۱-۴ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۵ یورو نشان داده شده است، مشاهده می شود با افزایش نرخ بهره هزینه های کلی سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۳۱-۴ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۵ یورو

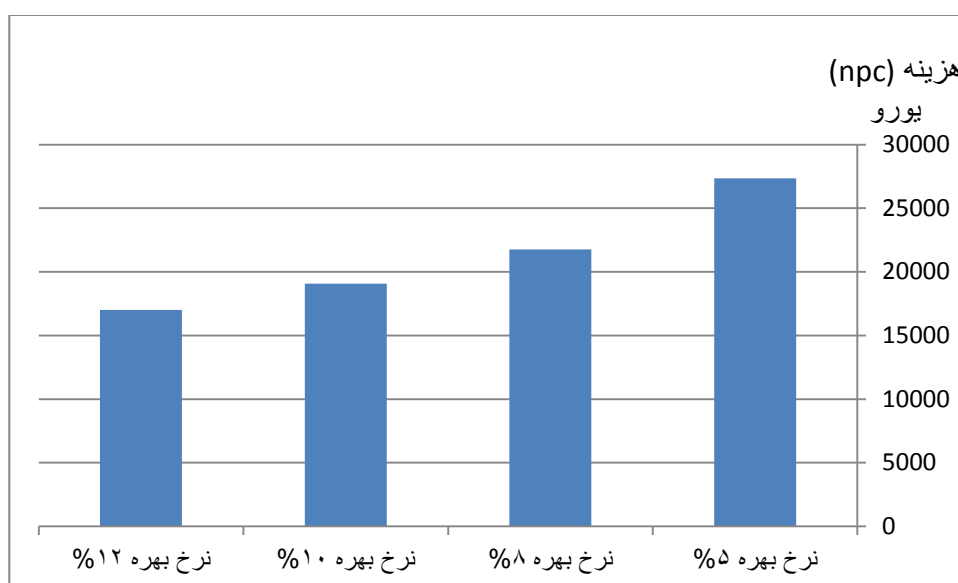
در جدول ۲۲-۴ آنالیز حساسیت برای ۴ نرخ بهره مختلف باقیمت سوخت ۰.۲ یورو انجام شده است.

جدول ۲۲-۴: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۲ یورو

هزینه	سوخت	هزینه	هزینه	هزینه	توان	تعداد	توان	توان پیل	قیمت	نرخ
مصرف سوخت (یورو/سال)	مصرفی (لیتر/سال)	عملکرد سالانه (یورو/سال)	کل سیستم (npc) (یورو)	تراز شده انرژی (coe) (یورو)	اینورتر (کیلووات)	باتری ۳ کیلوواتی	ژنراتور (کیلووات)	خورشیدی (کیلووات)	سوخت (یورو/سال)	بهره (درصد)

۵	۰.۲	۱۰	۲.۴	۹	۲.۳۳	۰.۱۰۱	۲۷۳۶۰	۱۱۷۰	۱۶۰۵	۳۲۱
۸	۰.۲	۱۰	۲.۴	۲	۲.۳۳	۰.۱۰۹	۲۱۷۷۲	۱۲۴۹	۲۷۰۲	۵۴۰
۱۰	۰.۲	۱۰	۲.۴	۲	۲.۳۳	۰.۱۱۴	۱۹۰۷۹	۱۲۴۳	۲۷۰۲	۵۴۰
۱۲	۰.۲	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۱۱۹	۱۷۰۰۶	۱۲۵۳	۲۹۲۵	۵۸۵

در شکل ۴-۳۲ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۲۰ یورو نشان داده شده است، مشاهده می شود با افزایش نرخ بهره هزینه های کلی سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۴-۳۲ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۲۰ یورو

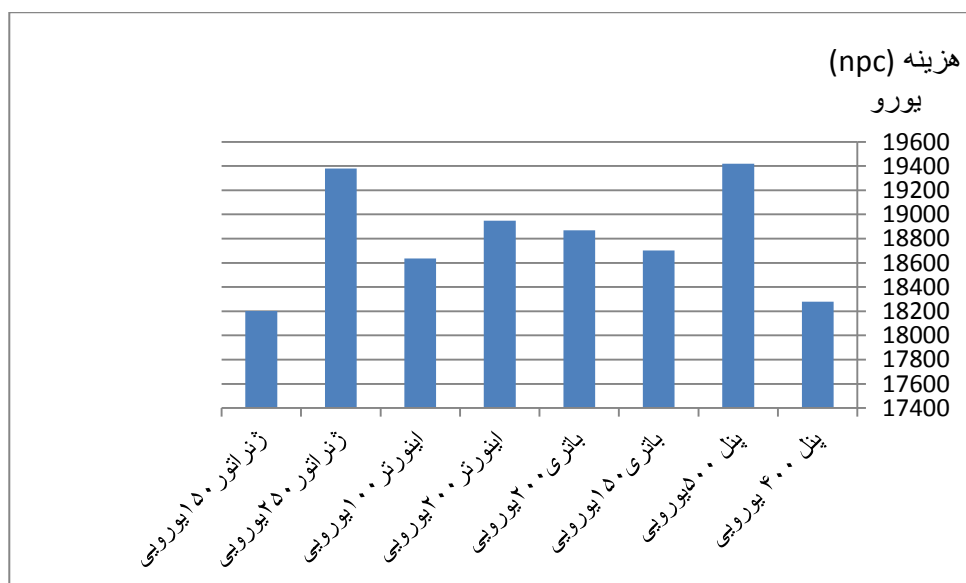
در جدول ۴-۲۳ به تغییرات قیمت پنل خورشیدی، باتری، اینورتر و ژنراتور پرداخته شده است. همچنین نتایج با نرخ بهره ثابت ۸٪ و قیمت سوخت ۰.۱۲٪ انجام شده است.

جدول ۴-۲۳ نتایج با تغییر قیمت ماژول ها با نرخ بهره و قیمت سوخت ثابت برای سایت بیدخت دو

قیمت تجهیزات (به ازای هر کیلووات)	هزینه کل انرژی (npc) (یورو)	هزینه تراز شده انرژی (coe) (یورو)	هزینه سرمایه اولیه (یورو)
قیمت پنل خورشیدی ۴۰۰ یورو	۱۸۲۸۰	۰.۰۹۱۴	۵۰۰۵
قیمت پنل خورشیدی ۵۰۰ یورو	۱۹۴۱۹	۰.۰۹۷۱	۶۰۰۵

۵۴۳۰	۰.۰۹۳۵	۱۸۷۰۳	قیمت باتری ۱۵۰ یورو
۵۴۸۰	۰.۰۹۴۳	۱۸۸۶۸	قیمت باتری ۲۰۰ یورو
۵۵۷۲	۰.۰۹۴۷	۱۸۹۴۹	قیمت اینورتر ۲۰۰ یورو
۵۵۳۸	۰.۰۹۳۲	۱۸۶۳۶	قیمت اینورتر ۱۰۰ یورو
۵۵۷۵	۰.۰۹۶۹	۱۹۳۸۰	قیمت ژنراتور ۲۵۰ یورو
۵۵۳۳۵	۰.۰۹۱۰	۱۸۲۰۳	قیمت ژنراتور ۱۵۰ یورو

در شکل ۴-۳۳ نمودار هزینه ها به ازای تجهیزات مختلف بر حسب یورو نشان داده شده است، مشاهده می شود با افزایش سرمایه اولیه هزینه های کلی سیستم افزایش و با کاهش سرمایه اولیه، هزینه های کلی سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۴-۳۳ نمودار هزینه ها به ازای تجهیزات مختلف

نتایج نشان می دهد که با افزایش نرخ بهره تغییری در ژنراتور و پنل ایجاد نشده اما هزینه هایی مانند هزینه تراز شده انرژی، هزینه کل سیستم و هزینه عملکرد سالیانه و تعداد باتری با توجه به قیمت سوخت مطابق جدول ۴-۱۸، ۴-۱۹، ۴-۲۰، ۴-۲۱، ۴-۲۲، ۴-۲۳ تغییر خواهد کرد و همچنین

مطابق جدول ۴-۲۳ با تغییر قیمت مازول ها حدود ۲۰ درصد تغییری در سیستم بهینه پیشنهادی ایجاد نمی شود.

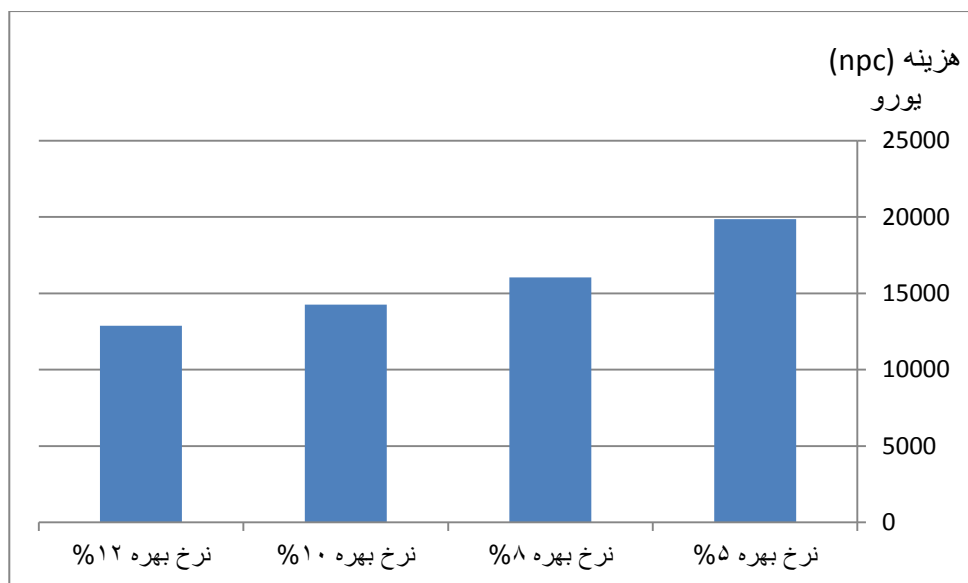
۴-۳-۴ آنالیز حساسیت برای سایت جاجرم در استان خراسان شمالی

در جدول ۴-۲۴ آنالیز حساسیت برای ۴ نرخ بهره مختلف باقیمت سوخت ۰.۰۵ یورو انجام شده است.

جدول ۴-۲۴: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۰۵ یورو

هزینه	سوخت	هزینه	هزینه	توان	تعداد	توان	توان پنل	قیمت	نرخ
مصرف سوخت (یورو/سال)	مصرفی (لیتر/سال)	عملکرد سالیانه (یورو/سال)	کل سیستم (npc) (یورو)	تراز شده انرژی (coe) (یورو)	اینورتر (کیلووات)	باتری ۳ (کیلوواتی)	ژنراتور (کیلووات)	خورشیدی (کیلووات) (یورو/سال)	بهره (درصد)
۱۴۶	۲۹۱۵	۸۲۱.۱۱	۱۹۸۴۷	۰.۰۷۳۲	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۰۵
۱۴۶	۲۹۱۵	۸۱۸.۴۴	۱۶۰۳۵	۰.۰۸۰۲	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۰۵
۱۴۶	۲۹۱۵	۸۱۳.۰۳	۱۴۲۵۲	۰.۰۸۵۱	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۰۵
۱۴۶	۲۹۱۵	۸۰۶.۰۷	۱۲۸۸۳	۰.۰۹۰۳	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۰۵

در شکل ۴-۳۴ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۵ یورو نشان داده شده است، مشاهده می شود با افزایش نرخ بهره هزینه های کلی سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



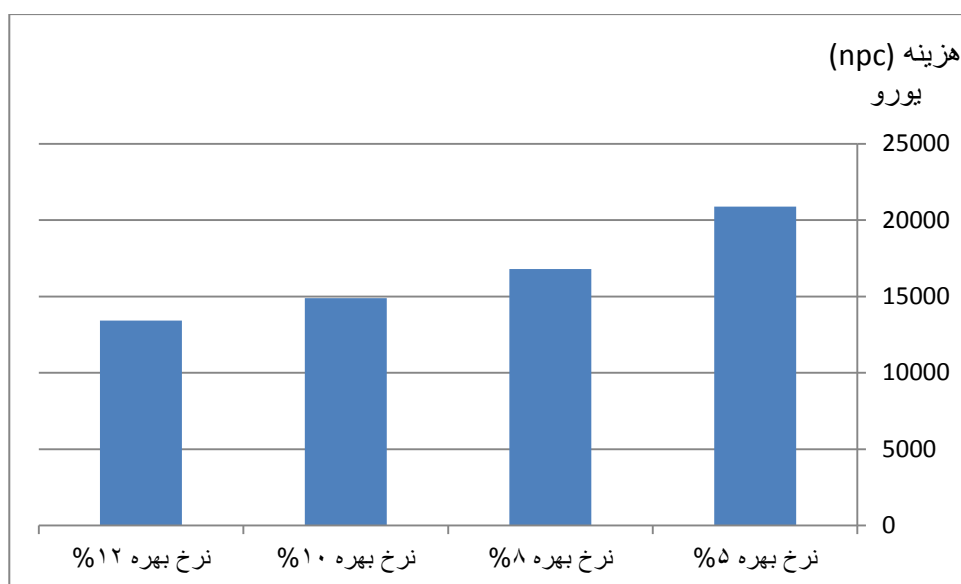
شکل ۴-۳۴ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۵ یورو

در جدول ۴-۲۵ آنالیز حساسیت برای ۴ نرخ بهره مختلف باقیمت سوخت ۰.۰۷ یورو انجام شده است.

جدول ۴-۲۵ نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۰۷ یورو

نرخ بهره	قیمت سوخت (یورو/سال)	توان پیل خورشیدی (کیلووات)	توان ژنراتور (کیلووات)	تعداد باتری ۳ کیلوواتی	توان اینورتر (کیلووات)	هزینه تراز شده انرژی (coe) (یورو)	هزینه کل سیستم (npc) (یورو)	هزینه عملکرد سالیانه (یورو/سال)	سوخت مصرفی (لیتر/سال)	هزینه مصرف (یورو/سال)
۵	۰.۰۷	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۷۷۰	۲۰۸۷۶	۸۷۹.۸۰	۲۹۰.۶	۲۰۳
۸	۰.۰۷	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۸۴۰	۱۶۷۹۴	۸۷۷.۱۵	۲۹۰.۶	۲۰۳
۱۰	۰.۰۷	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۸۸۹	۱۴۸۸۷	۸۷۱.۷۹	۲۹۰.۶	۲۰۳
۱۲	۰.۰۷	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۰۹۴۱	۱۳۴۲۵	۸۶۴.۷۹	۲۹۰.۶	۲۰۳

در شکل ۴-۳۵ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۷ یورو نشان داده شده است، مشاهده می شود با افزایش نرخ بهره هزینه های کلی سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



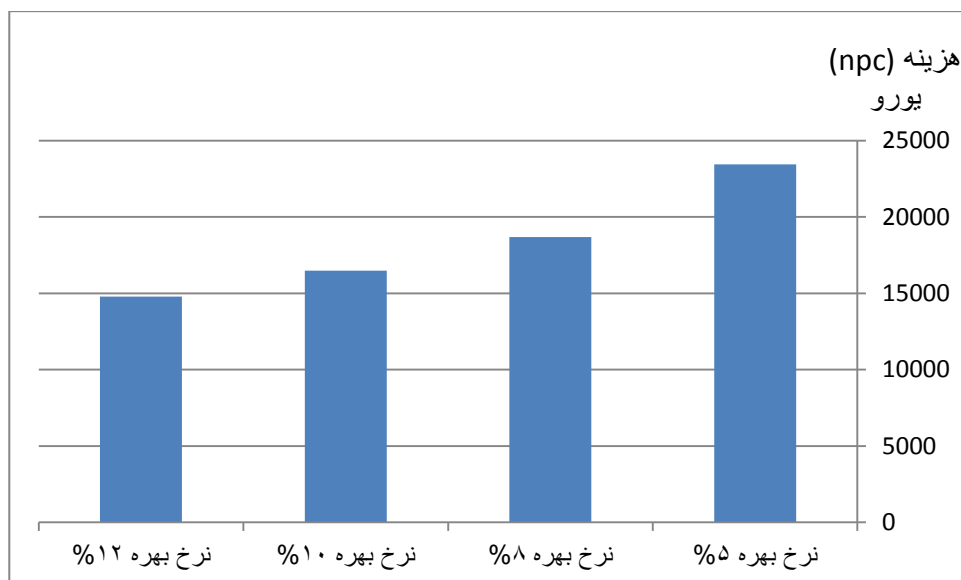
شکل ۴-۳۵ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۰۷ یورو

در جدول ۴-۲۶ آنالیز حساسیت برای ۴ نرخ بهره مختلف باقیمت سوخت ۰.۱۲ یورو انجام شده است.

جدول ۴-۲۶: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۱۲ یورو

هزینه مصرف سوخت (یورو/سال)	هزینه مصرف (لیتر/سال)	هزینه عملکرد سالانه (یورو/سال)	هزینه کل سیستم (npc) (یورو)	تراز انرژی (coe) (یورو)	توان اینورتر (کیلووات)	تعداد باتری ۳ (کیلوواتی)	توان ژنراتور (کیلووات)	توان پیل خورشیدی (کیلووات)	قیمت سوخت (یورو/سال)	نرخ بهره (درصد)
۳۴۷	۲۸۹۳	۱۰۲۶	۲۳۴۴۳	۰.۰۸۶۴	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۱۲	۵
۳۴۷	۲۸۹۳	۱۰۲۴	۱۸۶۸۸	۰.۰۹۳۴	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۱۲	۸
۳۴۷	۲۸۹۳	۱۰۱۸	۱۶۴۷۳	۰.۰۹۸۴	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۱۲	۱۰
۳۴۷	۲۸۹۳	۱۰۱۱	۱۴۷۷۵	۰.۱۰۴	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۱۲	۱۲

در شکل ۴-۳۶ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۲ یورو نشان داده شده است، مشاهده می شود با افزایش نرخ بهره هزینه های کلی سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۴-۳۶ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۲ یورو

در جدول ۴-۲۷ آنالیز حساسیت برای ۴ نرخ بهره مختلف باقیمت سوخت ۰.۱۵ یورو انجام شده است.

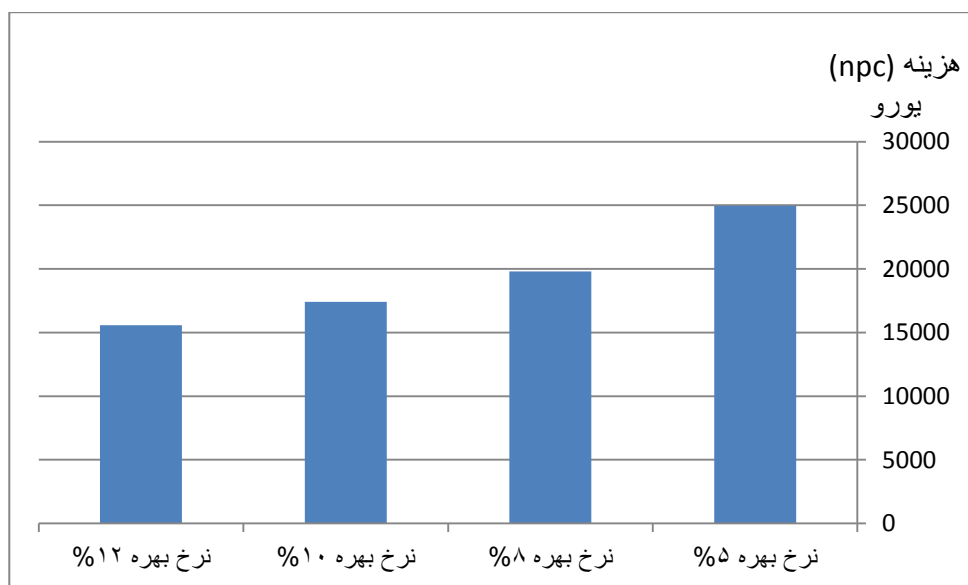
جدول ۴-۲۷: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۱۵ یورو

هزینه مصرف سوخت (یورو/سال)	هزینه عملکرد (یورو/سال)	هزینه کل سیستم (npc) (یورو)	تراز شده انرژی (coe) (یورو)	توان اینورتر (کیلووات)	تعداد باتری ۳ (کیلوواتی)	توان ژنراتور (کیلووات)	توان پیل خورشیدی (کیلووات)	قیمت سوخت (یورو/سال)	نرخ بهره (درصد)
۴۳۴	۲۸۹۳	۱۱۱۳	۲۴۹۶۴	۰.۰۹۲۰	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۱۵
۵									

۴۳۴	۲۸۹۳	۱۱۱۰	۱۹۸۱۰	۰.۰۹۹۰	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۱۵	۸
۴۳۴	۲۸۹۳	۱۱۰.۵	۱۷۴۱۱	۰.۰۱۰۴	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۱۵	۱۰
۴۳۴	۲۸۹۳	۱۰۹۸	۱۵۵۷۵	۰.۰۱۰۹	۲.۳۳	۱	۲.۴	۱۰	۰.۱۵	۱۲

در شکل ۴-۳۷ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۵ یورو نشان داده شده است، مشاهده می

شود با افزایش نرخ بهره هزینه های کلی سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۴-۳۷ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۱۵ یورو

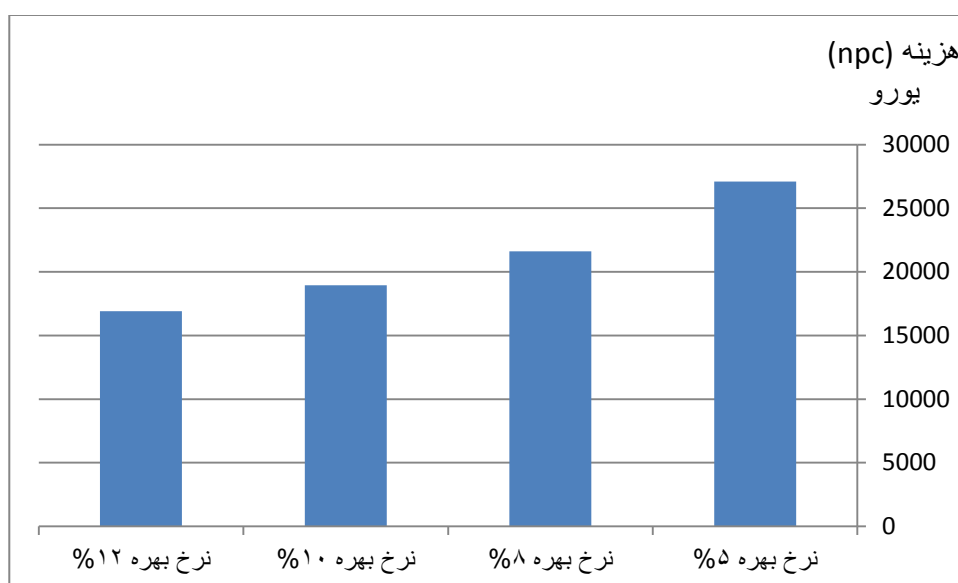
در جدول ۴-۲۸ آنالیز حساسیت برای ۴ نرخ بهره مختلف باقیمت سوخت ۰.۲ یورو انجام شده است.

جدول ۴-۲۸: نتایج با استفاده از ۴ نرخ بهره متفاوت و قیمت سوخت ۰.۲ یورو

هزینه	سوخت	هزینه	هزینه	هزینه	توان	تعداد	توان	توان پیل	قیمت	نرخ
مصرف سوخت	مصرفی	عملکرد	کل	تراز	اینورتر	باتری ۳	ژنراتور	خورشیدی	سوخت	بهره
(یورو/سال)	(لیتر/سال)	سالیانه (یورو/سال)	(npc) (یورو)	شده انرژی (coe) (یورو)	(کیلووات)	کیلوواتی	(کیلووات)	(کیلووات)	(یورو/سال)	(درصد)

۵	۰.۲	۱۰	۲.۴	۹	۲.۳۳	۰.۰۹۹۹	۲۷۱۰۰	۱۱۵۵	۱۵۲۸	۳۰۶
۸	۰.۲	۱۰	۲.۴	۲	۲.۳۳	۰.۱۰۸	۲۱۶۲۲	۱۲۳۷	۲۶۷۰	۵۳۴
۱۰	۰.۲	۱۰	۲.۴	۲	۲.۳۳	۰.۱۱۳	۱۸۹۵۴	۱۲۳۱	۲۶۷۰	۵۳۴
۱۲	۰.۲	۱۰	۲.۴	۱	۲.۳۳	۰.۱۱۹	۱۶۹۰۸	۱۲۴۳	۲۸۹۳	۵۷۹

در شکل ۴-۳۸ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۲۰ یورو نشان داده شده است، مشاهده می شود با افزایش نرخ بهره هزینه های کلی سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۴-۳۸ نمودار هزینه ها به ازای قیمت سوخت ۰.۲۰ یورو

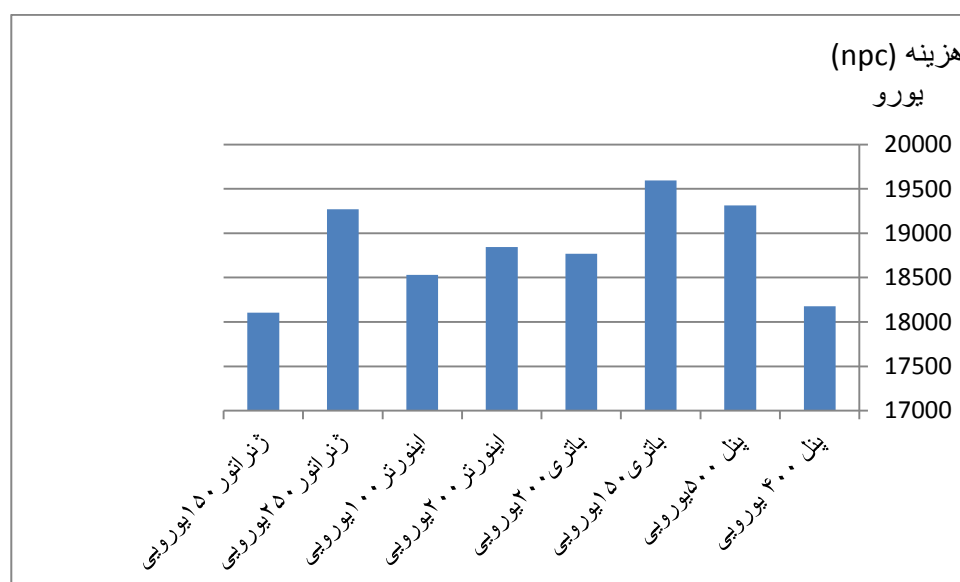
در جدول ۴-۲۹ به تغییرات قیمت پنل خورشیدی، باتری، اینورتر و ژنراتور پرداخته شده است. همچنین نتایج با نرخ بهره ثابت ۸٪ و قیمت سوخت ۰.۱۲٪ انجام شده است.

جدول ۴-۲۹ نتایج با تغییر قیمت ماژول ها با نرخ بهره و قیمت سوخت ثابت برای سایت جاجرم

قیمت تجهیزات (به ازای هر کیلووات)	هزینه کل انرژی (npc) (یورو)	هزینه تراز شده انرژی (coe) (یورو)	هزینه سرمایه اولیه
قیمت پنل خورشیدی ۴۰۰ یورو	۱۸۱۷۶	۰.۰۹۰۹	۵۰۰۵

۶۰۰۵	۰۰۰۹۹۶۶	۱۹۳۱۵	قیمت پنل خورشیدی ۵۰۰ یورو
۵۴۳۰	۰۰۰۹۳۰	۱۹۵۹۴	قیمت باتری ۱۵۰ یورو
۵۴۸۰	۰۰۰۹۳۸	۱۸۷۶۷	قیمت باتری ۲۰۰ یورو
۵۵۷۲	۰۰۰۹۴۲	۱۸۸۴۵	قیمت اینورتر ۲۰۰ یورو
۵۳۲۸	۰۰۰۹۲۶	۱۸۵۳۱	قیمت اینورتر ۱۰۰ یورو
۵۵۷۵	۰۰۰۹۳۶	۱۹۲۶۹	قیمت ژنراتور ۲۵۰ یورو
۵۳۲۵	۰۰۰۹۲۴	۱۸۱۰۶	قیمت ژنراتور ۱۵۰ یورو

در شکل ۴-۳۹ نمودار هزینه ها به ازای تجهیزات مختلف بر حسب یورو نشان داده شده است، مشاهده می شود با افزایش سرمایه اولیه تجهیزات، هزینه های کلی سیستم افزایش و با کاهش آن هزینه های کلی سیستم کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۴-۳۹ نمودار هزینه ها به ازای تجهیزات مختلف

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش نرخ بهره تغییری در ژنراتور و پنل ایجاد نشده اما هزینه‌هایی مانند هزینه تراز شده انرژی، هزینه کل سیستم و هزینه عملکرد سالیانه و تعداد باتری با توجه به قیمت سوخت مطابق جدول ۴-۲۴، ۴-۲۵، ۴-۲۶، ۴-۲۷، ۴-۲۸ تغییر خواهد کرد و همچنین با تغییر حدود ۲۰ درصدی، قیمت مازول ها مطابق جدول ۴-۲۹ تغییری در سیستم بهینه پیشنهادی ایجاد نشده است.

فصل پنجم: نتیجه گیری و ارائه پیشنهادها

۵-۱ نتیجه‌گیری

منابع انرژی تجدید پذیر توجه زیادی را به‌عنوان جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی یا به‌عنوان مکمل در سیستم‌های هیبرید به خود جلب کرده‌اند. انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین انواع انرژی نو و تجدید پذیر با توجه به موقعیت اقلیمی است و همین امر موجب شده تا سیستم‌های خورشیدی در ایران پتانسیل زیادی برای استفاده داشته باشد. در این پایان‌نامه، ابتدا پتانسیل مناطق مختلف استان خراسان رضوی و شمالی و جنوبی برای تأسیس نیروگاه پمپ آب خورشیدی بر اساس فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره، تاپسیس ارزیابی‌شده است. در این راستا معیارهای مرتبط با مسئله از جمله تابش، دما، رطوبت، بارندگی، شیب، فاصله از خط، فاصله از جاده، ظرفیت قابل استحصال خورشید، جمعیت، تعداد سدهای اطراف، فاصله از پست، فاصله از مرکز شهر، فاصله از رود، سرعت باد و ارتفاع از دریا جمع‌آوری شده است. سپس شناسایی و میزان اهمیت معیارها به کمک روش آنتروپی شانون تعیین گردید. معیار فاصله از خط به دلیل پراکندگی زیاد، بیشترین وزن و معیار تابش خورشید، کمترین وزن را به خود اختصاص داد. از میان ۹۳ سایت در سه استان مورد نظر، سایت سرایان در استان خراسان جنوبی، بالاترین امتیاز و سایت بیدخت دو در استان خراسان رضوی و سایت جاجرم در استان خراسان شمالی به ترتیب بهترین سایت‌های منتخب برای هر استان بوده است. سپس با انجام آنالیز حساسیت درستی نتایج بررسی شده است. درگام بعدی به بررسی سیستم‌های ترکیبی پمپ‌های خورشیدی برای آبیاری مزرعه‌ای در یک زمین کشاورزی ۱۲ هکتاری و همچنین تأمین آب مصرفی یک‌خانه، در سه استان برای سه سایت منتخب، پرداخته‌شده است. در این راستا از نرم‌افزار مدل‌سازی و بهینه‌سازی هومر استفاده‌شده است. نتایج بهینه‌سازی سیستم فوق حاکی از تأمین بار با کمترین هزینه تمام‌شده برای سیستم‌های ترکیبی بود. در این تحقیق از چهار اجزای مختلف شامل، پنل‌های خورشیدی، اینورتر، باتری، ژنراتور برای یافتن تعداد بهینه این اجزا استفاده شده است و سه سیستم بهینه برای هر سایت در نظر گرفته شده است. نتایج نشان داد که ترکیب سیستم پنل خورشیدی، باتری، ژنراتور و اینورتر بهینه‌ترین سیستم برای تأمین بار پمپ‌ابی است. با توجه به این سیستم بهینه، ژنراتور هزینه اولیه کمتری نسبت به پنل خورشیدی دارد، اما بدلیل مصرف سوخت و هزینه‌های تعمیرات و جابجایی هزینه تمام شده‌ی آن بیشتر از سایر متغیرها می‌باشد. میتوان نتیجه گرفت که ژنراتور با شرایط فعلی کشور ایران، میتواند سیستم پشتیبان تولید توان توسط سیستم هیبرید باشد و تأمین توان با کمترین هزینه را برای سیستم به ارمغان بیاورد. سیستم بهینه دوم شامل پنل، دیزل و اینورتر می‌باشد که با تأثیر حذف باتری مشاهده می‌شود با اینکه هزینه سرمایه اولیه کمتر از حالت اول خواهد شد اما از سوخت بیشتری استفاده می‌شود در نتیجه هزینه‌ی تراز شده و هزینه کل سیستم بیشتر خواهد شد، در نتیجه بعنوان حالت

بهینه دوم انتخاب شده است. سیستم بهینه سوم شامل پنل، باتری و اینورتر است. نتایج حاکی از کاهش چشمگیر میزان آلاینده‌گی به دلیل نبود دیزل می‌باشد. بیشتر هزینه‌ها مربوط به باتری و سپس پنل می‌شود. با حذف ژنراتور تعداد بهینه پنل و باتری افزایش پیدا کرده است، فلذا مشاهده می‌شود که هزینه تمام شده سیستم هیبرید مورد نظر نسبت به حالت بهینه اول و دوم افزایش یافته است. طبق بررسی‌ها مشاهده می‌شود در دراز مدت استفاده از پنل‌های خورشیدی بسیار مناسب تر از دیزل ژنراتور است چرا که هزینه تمام شده ژنراتور، بیشتر از پنل خورشیدی است و با افزایش تکنولوژی و بهبود کیفیت توان پنل‌های خورشیدی، قیمت پنل‌ها کاهش یافته و با توجه به تصمیمات دولت برای افزایش قیمت حامل‌های انرژی و اعمال جریمه‌هایی برای انتشار آلاینده‌هایی برای محیط زیست، پیش‌بینی می‌شود در آینده‌ای نه‌چندان دور سیستم‌های تجدید پذیر نقش زیادی در تولید توان پمپ‌های آبی داشته باشد. در نهایت با انجام آنالیز حساسیت بر روی قیمت اجزای سیستم و همچنین با ۴ نرخ بهره متفاوت و ۵ قیمت سوخت متفاوت به بررسی بیشتری پرداخته شده است. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت سیستم هیبرید پنل فتوولتائیک، ژنراتور، اینورتر و باتری بهینه‌ترین سیستم برای تأمین توان پمپ‌های آبی و خانه‌ی موردنظر با کمترین هزینه از بین سیستم‌های بررسی‌شده می‌باشد و همچنین به وضوح می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از سیستم‌های ترکیبی باعث کاهش هزینه‌های تمام شده سیستم تأمین کننده بار و افزایش قابلیت اطمینان سیستم و کاهش قابل توجه آلاینده‌های محیط زیست می‌شود.

پیشنهادهات

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده در این تحقیق و جهت تولید برق و کاهش هزینه‌ها برای ادامه‌ی کارها پیشنهادهات زیر ارائه شده است.

۱- بررسی اقتصادی استفاده از شبکه سراسری برق و ترکیب آن با سیستم‌های ذکر شده.

۲- تعیین زاویه مناسب پنل‌های خورشیدی.

۳- ترکیب (هیبرید) کردن با مازول‌های دیگر مثل توربین باد.

۴- استفاده از ابزارهای مهندسی دیگری همچون Pvsyst و Ret screen.

- [1] B. Modu, A. Aliyu, A. L. Bukar, M. Abdulkadir, Z. Gwoma, and M. Mustapha, "Techno-Economic Analysis of Off-Grid Hybrid PV-Diesel-Battery System in Katsina State, Nigeria," *Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment*, vol. 14, pp. 317.۲۰۱۸ ,۳۲۴-
- [2] G. Zhang, B. Wu, A. Maleki, and W. Zhang, "Simulated annealing-chaotic search algorithm based optimization of reverse osmosis hybrid desalination system driven by wind and solar energies," *Solar Energy*, vol. 173, pp. 964-975, 2018/10/01/ 20
- [3] G. N. Yücenur, Ş. Çaylak, G. Gönül, and M. Postalcioglu, "An integrated solution with SWARA&COPRAS methods in renewable energy production: City selection for biogas facility," *Renewable Energy*, vol. 145, 08/01 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.08.011.
- [4] H. S. Das, C. W. Tan, A. H. M. Yatim, and K. Y. Lau, "Feasibility analysis of hybrid photovoltaic/battery/fuel cell energy system for an indigenous residence in East Malaysia," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 76, pp. 1332-1347, 2017/09/01/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.174>.
- [5] M. Guezgouz, J. Jurasz, B. Bekkouche, T. Ma, M. S. Javed, and A. Kies, "Optimal hybrid pumped hydro-battery storage scheme for off-grid renewable energy systems," *Energy Conversion and Management*, vol. 199, p. 112046, 2019/11/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112046>.
- [6] A. Puia, A. Aslani, and R. Ghasempour, "Analysis of solar farm site selection based on TOPSIS approach," *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development*, vol. 9, pp. 12-25, 01/01 2018, doi: 10.4018/IJSESD.2018010102.
- [7] M. Jamshidi and A. Askarzadeh, "Techno-economic analysis and size optimization of an off-grid hybrid photovoltaic, fuel cell and diesel generator system," *Sustainable Cities and Society*, vol. 44, pp. 310-320, 2019/01/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.021>.
- [8] W. Zhang, A. Maleki, and M. A. Rosen, "A heuristic-based approach for optimizing a small independent solar and wind hybrid power scheme incorporating load forecasting," *Journal of Cleaner Production*, vol. 241, p. 117920, 2019/12/20/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117920>.

- [9] A. Evans, V. Strezov, and T. J. Evans, "Assessment of utility energy storage options for increased renewable energy penetration," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 6, pp. 4141-4147, 2012/08/01/ 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.048>.
- [10] S. S. Chandel, M. Nagaraju Naik, and R. Chandel, "Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 1084-1099, 2015/09/01/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.083>.
- [11] M. Guezgouz, J. Jurasz, and B. Bekkouche, "Techno-Economic and Environmental Analysis of a Hybrid PV-WT-PSH/BB Standalone System Supplying Various Loads," *Energies*, vol. 12, no. 3, p. 514, 2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/3/514>.
- [12] O. M. Babatunde, J. L. Munda, and Y. Hamam, "Selection of a Hybrid Renewable Energy Systems for a Low-Income Household," *Sustainability*, vol. 11, no. 16, 2019, doi: 10.3390/su11164282.
- [13] "Renewable Energy and Energy Efficiency Organization (SATBA)." Available in:< <http://www.satba.gov.ir/en/home>> (Accessed 20.11.2018).
- [14] A. Maleki, F. Pourfayaz, and M. A. Rosen, "A novel framework for optimal design of hybrid renewable energy-based autonomous energy systems: A case study for Namin, Iran," *Energy*, vol. 98, pp. 168-180, 2016/03/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.133>.
- [15] W. Peng, A. Maleki, M. A. Rosen, and P. Azarikhah, "Optimization of a hybrid system for solar-wind-based water desalination by reverse osmosis: Comparison of approaches," *Desalination*, vol. 442, pp. 16-31, 2018/09/15/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.03.021>.
- [16] T. Ma, H. Yang, and L. Lu, "A feasibility study of a stand-alone hybrid solar–wind–battery system for a remote island," *Applied Energy*, vol. 121, pp. 149-158, 2014/05/15/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.01.090>.
- [17] S. A. Shezan *et al.*, "Performance analysis of an off-grid wind-PV (photovoltaic)-diesel-battery hybrid energy system feasible for remote areas," *Journal of Cleaner Production*, vol. 125, pp. 121-132, 2016/07/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.014>.
- [18] A. Maleki, F. Pourfayaz, H. Hafeznia, and M. A. Rosen, "A novel framework for optimal photovoltaic size and location in remote areas

- using a hybrid method: A case study of eastern Iran," *Energy Conversion and Management*, vol. 153, pp. 129-143, 2017 ,۲۰۱۷ /۰۱/۱۲/doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.09.061>.
- [19] H.-C. Lee and C.-T. Chang, "Comparative analysis of MCDM methods for ranking renewable energy sources in Taiwan," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 92, pp. 883-896, 2018/0 ,۲۰۱۸ /۰۱/۹ doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.007>.
- [20] G. Büyükoçkan and Y. Karabulut, "Energy project performance evaluation with sustainability perspective," *Energy*, vol. 119, pp. 549-560, 2017/01/15/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.12.087>.
- [2۱] D. Neves, P. Baptista, M. Simões, C. A. Silva, and J. R. Figueira, "Designing a municipal sustainable energy strategy using multi-criteria decision analysis," *Journal of Cleaner Production*, vol. 176, pp. 251-260, 2018/03/01/ 2018, doi : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.114>.
- [22] S. Moradi, H. Yousefi, Y. Noorollahi, and D. Rosso, "Multi-criteria decision support system for wind farm site selection and sensitivity analysis: Case study of Alborz Province, Iran," *Energy Strategy Reviews*, vol. 29, p. 100478, 2020/05/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100478>.
- [23] S. Ali, J. Taweekun, K. Techato, J. Waewsak, and S. Gyawali, "GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand," *Renewable Energy*, vol. 132, pp. 1360-1372, 2019/03/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.035>.
- [24] T. R. Ayodele, A. S. O. Ogunjuyigbe, O. Odigie, and J. L. Munda, "A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2 fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria," *Applied Energy*, vol. 228, pp. 1853-1869, 2018/10/15/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.07.051>.
- [25] D. Machiwal, M. K. Jha, and B. C. Mal, "Assessment of Groundwater Potential in a Semi-Arid Region of India Using Remote Sensing, GIS and MCDM Techniques," *Water Resources Management*, vol. 25, no. 5, pp. 1359-1386, 2011/03/01 2011, doi: 10.1007/s11269-010-9749-y.
- [26] A. Fetanat and E. Khorasaninejad, "A novel hybrid MCDM approach for offshore wind farm site selection: A case study of Iran," *Ocean &*

- Coastal Management*, vol. 109, pp. 17-28, 2015/06/01/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.02.005>.
- [27] H. Zhao, S. Guo, and H. Zhao, "Comprehensive assessment for battery energy storage systems based on fuzzy-MCDM considering risk preferences," *Energy*, vol. 168, pp. 450-461, 2019/02/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.129>.
- [28] J. J. W. Watson and M. D. Hudson, "Regional Scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation," *Landscape and Urban Planning*, vol. 138, pp. 20-31, 2015/06/01/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.001>.
- [29] J. M. Sánchez-Lozano, J. Teruel-Solano, P. L. Soto-Elvira, and M. Socorro García-Cascales, "Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 24, pp. 544-556, 2013/08/01/ 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.019>.
- [30] Jamshidi M, Askarzadeh A. Techno-economic analysis and size optimization of an off-grid hybrid photovoltaic, fuel cell and diesel generator system. *Sustainable Cities and Society* 2019;44:310e20
- [31] Guezgouz M, Jurasz J, Bekkouche B, Ma T, Javed MS, Kies A. Optimal hybrid pumped hydro-battery storage scheme for off-grid renewable energy systems. *Energy Convers Manag* 2019;199:112046.
- [30] Diab AAZ, Sultan HM, Mohamed IS, Kuznetsov ON, Do TD. Application of different optimization algorithms for optimal sizing of PV/Wind/Diesel/Battery storage stand-alone hybrid microgrid. *IEEE Access* 2019;7:119223e45
- [33] Diab AAZ, Sultan HM, Kuznetsov ON. Optimal sizing of hybrid solar/wind/ hydroelectric pumped storage energy system in Egypt based on different meta-heuristic techniques. *Environ Sci Pollut Res Int* 2019.
- [34] Lin S, Ma T, Shahzad Javed M. Prefeasibility study of a distributed photovoltaic system with pumped hydro storage for residential buildings. *Energy Convers Manag* 2020;222:113199.
- [35] Javed MS, Song A, Ma T. Techno-economic assessment of a stand-alone hybrid solar-wind-battery system for a remote island using genetic algorithm. *Energy* 2019;176:704e17
- [36] Ma T, Javed MS. Integrated sizing of hybrid PV-wind-battery system for remote island considering the saturation of each renewable energy resource. *Energy Convers Manag* 2019;182:178e90.

- [37] Javed MS, Zhong D, Ma T, Song A, Ahmed S. Hybrid pumped hydro and battery storage for renewable energy based power supply system. *Appl Energy* 2020;257:114026.
- [38] Lu B, Stocks M, Blakers A, Anderson K. Geographic information system algorithms to locate prospective sites for pumped hydro energy storage. *Appl Energy* 2018;222:300–12.
- [39] Ciric RM. Review of techno-economic and environmental aspects of building small hydro electric plants – a case study in Serbia. *Renewable Energy* 2019;140:715–21.
- [40] Sun K, Li K-J, Pan J, Liu Y, Liu Y. An optimal combined operation scheme for pumped storage and hybrid wind-photovoltaic complementary power generation system. *Appl Energy* 2019;242:1155–63.
- [41] Morabito A, Hendrick P. Pump as turbine applied to micro energy storage and smart water grids: a case study. *Appl Energy* 2019;241:567–79.) Zhang Y, Ma T, Elia Campana P,
- [42] Zhang Y, Ma T, Elia Campana P, Yamaguchi Y, Dai Y. A techno-economic sizing method for grid-connected household photovoltaic battery systems. *Appl Energy* 2020;269
- [43] Rehman S, Al-Hadhrami LM, Alam MM. Pumped hydro energy storage system: a technological review. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;44:586–98
- [44] Ma T, Yang H, Lu L, Peng J. Pumped storage-based standalone photovoltaic power generation system: Modeling and techno-economic optimization. *Appl Energy* 2015;137:649–59
- [45] S. Yusuf, M. Islam, R. Rubel, M. A. Sujon, and M. Beg, "Design, Construction, and Performance Test of a Portable Solar Photovoltaic Water Pumping System for Irrigation and Household Water Supply," 2017.
- [46] H. Ibrahim, A. Ilinca, and J. Perron, "Energy storage systems—Characteristics and comparisons," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, no. 5, pp. 1221-1250, 2008/06/01/ 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.01.023>.
- [47] J. Reca, C. Torrente, R. López-Luque, and J. Martínez, "Feasibility analysis of a standalone direct pumping photovoltaic system for irrigation in Mediterranean greenhouses," *Renewable Energy*, vol. 85, pp. 1143-1154, 2016/01, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.056>.

- [48] D. H. Muhsen, T. Khatib, and H. T. Haider, "A feasibility and load sensitivity analysis of photovoltaic water pumping system with battery and diesel generator," *Energy Conversion and Management*, vol. 148, pp. 287-304, 2017/09/15/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.06.007>.
- [49] D. H. Muhsen, T. Khatib, and F. Nagi, "A review of photovoltaic water pumping system designing methods, control strategies and field performance," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 68, pp. 70-86, 2017/02/01/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.129>.
- [50] Y. Yu, J. Liu, H. Wang, and M. Liu, "Assess the potential of solar irrigation systems for sustaining pasture lands in arid regions – A case study in Northwestern China," *Applied Energy*, vol. 88, no. 9, pp. 3176-3182, 2011/09/01/ 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.02.028>.
- [51] J. Liu, F. Xu, and S. Lin, "Site selection of photovoltaic power plants in a value chain based on grey cumulative prospect theory for sustainability: A case study in Northwest China," *Journal of Cleaner Production*, vol. 148, pp. 386-397, 2017/04/01 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.012>.
- [52] D. Kereush and I. Perovych, "Determining Criteria For Optimal Site Selection For Solar Power Plants," *Geomatics, Landmanagement and Landscape*, vol. 4, pp. 39-54, 01/01 2017, doi: 10.15576/GLL/2017.4.39.
- [53] M. S. Ngan and C. W. Tan, "Assessment of economic viability for PV/wind/diesel hybrid energy system in southern Peninsular Malaysia," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 1, pp. 634-647, 2012/01/01/ 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.028>.
- [54] R. M. Horner and C. E. Clark, "Characterizing variability and reducing uncertainty in estimates of solar land use energy intensity," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 23, pp. 129-137, 2013/07/01/ 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.014>.
- [55] A. K. Suresh, S. Khurana, G. Nandan, G. Dwivedi, and S. Kumar, "Role on nanofluids in cooling solar photovoltaic cell to enhance overall efficiency," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 9, Part 3, pp. 20614-20620, 2018/01/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.442>.

- [56] A. Padhy, B. Vishal, P. Verma, G. Dwivedi, and A. K. Behura, "Fabrication of parabolic trough hybrid solar PV-T collector using a-Si thin film solar cells in Indian perspective," *Materials Today: Proceedings*, vol. 38, 06/01 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.652.
- [57] W. Yunna and S. Geng, "Multi-criteria decision making on selection of solar–wind hybrid power station location: A case of China," *Energy Conversion and Management*, vol. 81, pp. 527-533, 2014/05/01/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.02.056>.
- [58] J. R. San Cristóbal, "Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain: The Vikor method," *Renewable Energy*, vol. 36, no. 2, pp. 498-502, 2011/02/01/ 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.07.031>.
- [59] Y. Yang, J. Ren, H. S. Solgaard, D. Xu, and T. T. Nguyen, "Using multi-criteria analysis to prioritize renewable energy home heating technologies ", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 29, pp. 36-43, 2018/10/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.06.005>.
- [60] J. Ren and B. K. Sovacool, "Prioritizing low-carbon energy sources to enhance China's energy security," *Energy Conversion and Management*, vol. 92, pp. 129-136, 2015/03/01/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.044>.
- [61] K. Sadeghzadeh and M. B. Salehi, "Mathematical analysis of fuel cell strategic technologies development solutions in the automotive industry by the TOPSIS multi-criteria decision making method," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 36, no. 20, pp. 13272-13280, 2011/10/01/ 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.07.064>.
- [62] I. I. Falqi, M. Ahmed, and J. Mallick, "Siliceous Concrete Materials Management for Sustainability Using Fuzzy-TOPSIS Approach," *Applied Sciences*, vol. 9, no. 17, 2019, doi: 10.3390/app9173457.
- [63] Ü. Şengül, M. Eren, S. Eslamian Shiraz, V. Gezder, and A. B. Şengül, "Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey," *Renewable Energy*, vol. 75, pp. 617-625, 2015/03/01/ 2015 .
- [64] Ngan.MS.Tan.CW.Assessment of economic viability for PV/wind/diesel hybrid energy system in southern Peninsular Malaysia. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16:634–47

- [65] Dalton G.J. Lockington D., Baldock T. (2009), "Case study feasibility analysis of renewable energy supply options for small to medium-sized accommodations", *Renew Energy*, 34, 1134-44.
- [66] Aagreh Y. and Al-Ghzawi A. (2013), "Feasibility of utilizing renewable energy systems for a small hotel in Ajloun city, Jordan", *Applied Energy*, 103, 25-31.
- [67] I. B. Askari and M. Ameri, "Optimal sizing of photovoltaic—battery power systems in a remote region in Kerman, Iran," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, vol. 223, pp. 563-570, 2009
- [68] www.homerenergy.com.
- [69] Angelis-Dimakis A. and Biberacher M. and Dominguez J. and Fiorese G. and Gadocha S. and Gnansounou E. and Guariso G. and Kartalidis A. and Panichelli L. and Pinedo I. and Robba M. (2011), "Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1182-1200.
- [70] جالوند باخدا. حسین الماسی. پتانسیل سنجی امکان استفاده از انرژی باد برای پمپ های کشاورزی برقی در منطقه بروجرد (۲۰۱۴)
- [71] "http://www.wholesalesolar.com."
- [72] "http://www.generatorsales.com."

Abstract

The use of solar energy in combination with photovoltaics and water pumping is a suitable alternative to supply electricity to scattered villages and is independent of the grid. In this dissertation, 93 sites in three provinces of North Khorasan, South Khorasan and Khorasan Razavi for the establishment of solar pumping power plant have been studied and prioritized. To review and prioritize the sites, the multi-criteria decision-making method, TOPSIS, has been used, so the geographical location of the sites and the weather conditions in these three provinces have been identified and as a result, 15 important criteria have been selected. All these criteria have been weighed by Shannon entropy method and then by TOPSIS method, sites in these three provinces have been prioritized. In the continuation of the project, technical and economic optimization of the system in order to minimize the cost to meet the water needs of cereals on a land area of 12 hectares, to find the optimal number of different system components including solar panel, battery, inverter, generator, through Homer software Optimized in three Iranian sites. The feasibility results show that Sarayan site in South Khorasan province, Bidokht Do site in Khorasan Razavi province and Jajarm site in North Khorasan province are the most suitable places for establishing solar pumping power plant, respectively. Sensitivity analysis was performed to further investigate the issue by changing the weight of the criteria. The optimization results show that the combined system with solar panel, inverter, battery and generator is the most suitable system with the lowest cost. The prices of system components, interest rates and fuel prices are examined in the results.

Keywords: feasibility; Solar water pump system; Multi-criteria decision making method; Technical optimization; economic; Homer



Shahrood University of Technology

Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics
Energy Systems Engineering

Master Thesis

**Modeling and techno-economic optimization for the optimal
sizing and location of a solar photovoltaic water pumping system**

Supervisor:
Dr. Akbar Maleki and
Dr. Ali Jabbari Moghaddam

Author: Fatemeh Zahra Heidari

October 1400