

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
وَأَشْرِكُوا بِرَبِّكَ  
الَّذِي خَلَقَ



دانشکده مهندسی مکانیک  
گروه سیستم‌های انرژی

# ارائه راهکار بهینه جهت تأمین انرژی مورد نیاز در سایت دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشجو

**مینا ابراهیمی**

استاد راهنما

**دکتر سیدمجید هاشمیان**

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ماه ۱۳۹۲



مدیریت تحصیلات تکمیلی  
فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره :  
تاریخ :  
ویرایش :

فرم صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خاتم مینا ابراهیمی رشته مهندسی مکانیک گرایش (سیستم انرژی) تحت عنوان: ارائه راهکار بهینه جهت تأمین انرژی مورد نیاز در سایت دانشگاه صنعتی شاهرود که در تاریخ ۱۳۹۲/۰۶/۲۴ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول ( با درجه : بسیار خوب امتیاز ۱۸.۷۷+)  دفاع مجدد  مردود

۱- عالی (۲۰ - ۱۹) ۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶) ۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد ارشد	دکتر سید مجید هاشمیان	استاد ارشد	
۲- استاد مشاور			
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	مهندس احمد مددی	رئیس	
۴- استاد ممتحن	دکتر محمود چهار طاقی	استاد ارشد	
۵- استاد ممتحن	دکتر علی عباس نژاد	استاد ارشد	

رئیس دانشکده: دکتر مهدی قناد





با سپاس بیکران بر همدلی و همراهی و همگامی پدر و مادر دلسوز و مهربانم

که سجده ی اینارشان گل محبت را در وجودم پروراند .

و با تقدیر و تشکر شایسته از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای

دکتر هاشمیان

که با نکته های دلاویز و گفته های بلند ، صحیفه های سخن را علم پرور نمود

و همواره راهنما و راه گشای نگارنده در اتمام و اکمال پایان نامه بوده است.

معلمانم مقامت ز عرش برتر باد همیشه توسن اندیشه ات مظفر باد



## تعهد نامه

اینجانب **مینا ابراهیمی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مکانیک - مهندسی سیستم‌های انرژی دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود** نویسنده پایان نامه "ارائه راهکار بهینه جهت تأمین انرژی مورد نیاز در سایت دانشگاه صنعتی شاهرود" تحت راهنمایی جناب آقای دکتر

**هاشمیان** 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

امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

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

## چکیده

مطالعات قبلی در زمینه انرژی مصرفی در مجموعه دانشگاه شاهرود (پردیس ۱) نشان دهنده آن است که وضعیت مصرفی انرژی دارای قابلیت‌هایی برای بهبود است. بدین منظور در پروژه جاری، استفاده از روش‌هایی در زمینه تولید پراکنده، پتانسیل‌سنجی استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر برای تولید برق و محاسبات فنی و اقتصادی هیبرید انرژی‌های تجدیدپذیر و همچنین هیبرید انرژی‌های تجدیدپذیر و فسیلی صورت گرفته است. در این تحقیق از نرم‌افزار HOMER، که توسط لابراتوار ملی انرژی‌های تجدیدپذیر ایالات متحده برای طراحی سیستم‌های تولید برق کوچک توسعه داده شده است برای کمک به مقایسه تکنولوژی‌های تولید برق گوناگون استفاده شده است. با برآورد بار الکتریکی و حرارتی دانشگاه از مهر ۱۳۸۹ تا مهر ۱۳۹۰، نیاز الکتریکی و حرارتی دانشگاه مشخص گردید. با توجه به پتانسیل منابع خورشیدی و بادی موجود در شهرستان شاهرود، سیستم‌های تجدیدپذیر و تجدیدپذیر هیبریدی متناسب با نیازهای دانشگاه مورد مطالعه قرار گرفت، که در نتیجه آن، سیستم بادی متصل به شبکه با بازگشت سرمایه یازده سال و هفت ماه، به عنوان سیستمی کاربردی برآورد شد. همچنین پتانسیل استفاده از میکروتوربین‌های گازی با قابلیت تولید همزمان و هیبرید آن با انرژی باد برای تأمین بار الکتریکی و حرارتی بررسی شد و در نتیجه آن مشخص شد، در صورت استفاده از برق تولیدی در دانشگاه، سیستم بادی متصل به شبکه با یازده سال و هفت ماه، به عنوان تنها سیستم کاربردی معرفی شد، و در صورت فروش برق تولیدی به مشترک با قدرت بالای ۳۰ کیلووات، سیستم میکروتوربین گازی با قابلیت تولید همزمان و متصل به شبکه با بازگشت سرمایه چهار سال و دو ماه طرحی کاربردی برآورد شد.

## کلمات کلیدی:

تولید پراکنده، سیستم تجدیدپذیر، سیستم هیبریدی، بازگشت سرمایه.

## فهرست

صفحه	عنوان
	<b>فصل اول: بررسی وضعیت موجود</b>
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- نتایج ممیزی دانشگاه
۵	۱-۲-۱- روش محاسبه <i>NPI</i>
۸	۳-۱- مسئله موجود
۱۰	۴-۱- نتیجه بررسی وضعیت موجود
	<b>فصل دوم: بیان وضعیت مطلوب</b>
۱۲	۱-۲- مقدمه
۱۲	۲-۲- مرور کارهای انجام شده
۱۳	۱-۲-۲- تولید پراکنده
۱۴	۲-۲-۲- سیستم‌های خورشیدی
۱۵	۳-۲-۲- سیستم‌های بادی
۱۶	۴-۲-۲- سیستم‌های هیبریدی
۱۸	۵-۲-۲- سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت
۲۱	۳-۲- ارزیابی کلیات تولید پراکنده
۲۲	۱-۳-۲- اهداف استفاده از تولیدات پراکنده
۲۵	۲-۳-۲- علل رویکرد به منابع تولید پراکنده در ایران
۲۵	۳-۳-۲- مزایای استفاده از تولید پراکنده
۲۶	۴-۳-۲- معرفی انواع تولید پراکنده
۲۷	۵-۳-۲- تکنولوژی پیل سوختی
۲۹	۶-۳-۲- تکنولوژی خورشیدی
۳۳	۷-۳-۲- تکنولوژی بادی
۳۶	۸-۳-۲- تکنولوژی میکروتوربین
۳۸	۹-۳-۲- تولید همزمان
	<b>فصل سوم: تئوری‌ها و روابط حاکم</b>
۴۲	۱-۳- مقدمه
۴۲	۲-۳- سیستم هیبریدی

۴۳	۱-۲-۳- نرم افزار HOMER
۴۴	۲-۲-۳- منبع انرژی خورشیدی و بادی
۴۶	۳-۲-۳- روابط اقتصادی حاکم بر نرم افزار HOMER

## فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی

### دانشگاه

۵۰	۱-۴- مقدمه
۵۰	۲-۴- بار حرارتی و الکتریکی دانشگاه
۵۲	۳-۴- پارامترهای فنی- اقتصادی سیستم‌های قدرت
۵۵	۴-۴- ارزیابی سیستم‌های قدرت بادی و خورشیدی بصورت مجزا و هیبریدی
۵۶	۱-۴-۴- بیان نتایج
۶۱	۲-۴-۴- تحلیل حساسیت
۶۴	۵-۴- ارزیابی سیستم قدرت بادی و میکروتوربین گازی بر اساس سیستم CHP بصورت مجزا و هیبریدی
۶۵	۱-۵-۴- بیان نتایج
۷۱	۲-۵-۴- تحلیل حساسیت

## فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۷۵	۱-۵- نتیجه‌گیری
۷۸	۲-۵- پیشنهادات
۸۰	مراجع



## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۴	شکل ۱-۱ مقایسه هزینه‌ها و مصارف حامل‌های انرژی دانشگاه
۲۲	شکل ۱-۲ تقسیم بندی فن‌آوری‌های تولید پراکنده
۳۰	شکل ۲-۲ پتانسیل تابش خورشیدی در ایران
۳۱	شکل ۳-۲ ظرفیت جهانی سیستم فتوولتائیک نصب شده
۳۲	شکل ۴-۲ سهم کشورهای مختلف در ظرفیت نصب شده سیستم‌های فتوولتائیک تا سال ۲۰۱۱
۳۵	شکل ۵-۲ ظرفیت جهانی سیستم بادی نصب شده
۳۵	شکل ۶-۲ سهم کشورهای مختلف در ظرفیت نصب شده سیستم‌های بادی تا سال ۲۰۱۱
۴۰	شکل ۷-۲ سهم CHP از کل تولید برق کشورهای مهم جهان
۴۵	شکل ۱-۳ نمودار سرعت ماهیانه باد
۴۶	شکل ۲-۳ نمودار شدت تابش نور خورشید
۵۰	شکل ۱-۴ مصرف انرژی الکتریکی دانشگاه
۵۱	شکل ۲-۴ مصرف انرژی الکتریکی دانشگاه
۵۲	شکل ۳-۴ بار حرارتی دانشگاه
۵۳	شکل ۴-۴ منحنی قدرت توربین باد
۵۴	شکل ۵-۴ تقسیم بندی ساعات کم باری، میان باری و اوج بار الکتریکی در ماه‌های مختلف سال
۵۶	شکل ۶-۴ اجزای سیستم تجدیدپذیر متصل به شبکه
۵۶	شکل ۷-۴ سیستم‌های پیشنهادی برآورد شده
۵۸	شکل ۸-۴ سهم انرژی باد و شبکه برق برای تامین بار ماهانه دانشگاه
۶۰	شکل ۹-۴ سهم انرژی خورشید و شبکه برق برای تامین بار ماهانه دانشگاه
۶۱	شکل ۱۰-۴ سهم انرژی بادی، خورشیدی و شبکه برق برای تامین بار ماهانه دانشگاه
۶۳	شکل ۱۱-۴ تاثیر تغییرات بار الکتریکی بر روی هزینه خالص نهایی و درصد تجدیدپذیری
۶۳	شکل ۱۲-۴ تاثیر تغییرات نرخ بهره بر سیستم‌های پیشنهادی

- شکل ۴-۱۳ تاثیر تغییرات میانگین سرعت باد سالانه بر سیستم‌های پیشنهادی ۶۳
- شکل ۴-۱۴ تاثیر تغییرات میانگین تابش خورشید سالانه بر سیستم‌های پیشنهادی ۶۴
- شکل ۴-۱۵ سیستم قدرت بادی و میکروتوربین همراه با *CHP*، متصل به شبکه ۶۵
- شکل ۴-۱۶ سیستم‌های پیشنهادی برآورد شده ۶۵
- شکل ۴-۱۷ سهم قدرت تولیدی میکروتوربین و برق خریداری شده از شبکه برای تامین بار الکتریکی دانشگاه ۶۷
- شکل ۴-۱۸ سهم حرارت تولید شده از میکروتوربین و بویلر برای تامین بار حرارتی دانشگاه ۶۸
- شکل ۴-۱۹ سهم انرژی باد و شبکه برق برای تامین بار ماهانه دانشگاه ۶۹
- شکل ۴-۲۰ سهم قدرت تولید شده از میکروتوربین، توربین باد و برق خریداری شده از شبکه برق برای تامین بار الکتریکی دانشگاه ۷۱
- شکل ۴-۲۱ سهم حرارت تولید شده از میکروتوربین و بویلر برای تامین بار حرارتی دانشگاه ۷۱
- شکل ۴-۲۲ تاثیر قیمت سوخت مورد نیاز میکروتوربین بر هزینه خالص نهایی و مصرف سوخت ۷۲
- شکل ۴-۲۳ تاثیر تغییرات قیمت فروش برق تولیدی در دانشگاه، بر روی تولیدات میکروتوربین و هزینه خالص نهایی ۷۳

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۴	جدول ۱-۱ مقادیر مصرف کل انرژی سالیانه، هزینه و تجزیه درصدی سوخت‌های مصرفی در دانشگاه صنعتی شاهرود از مهر ماه ۱۳۸۹ تا مهر ماه ۱۳۹۰
۶	جدول ۱-۲ نسبت سوخت مصرفی برای گرمایش فضا و آب گرم تولیدی مرتبط با گرمایش فضا
۷	جدول ۱-۱ ضرایب معرض
۸	جدول ۱-۴ مقایسه <i>NPI</i> موجود با مقدار استاندارد
۱۰	جدول ۱-۵ وضعیت <i>NPI</i> در ساختمان‌های poor
۲۶	جدول ۱-۲ انواع مولدهای <i>DG</i>
۳۱	جدول ۲-۲ انواع سلول‌های خورشیدی
۳۴	جدول ۲-۳ ظرفیت نیروگاه‌های بادی نصب شده در ایران تا انتهای سال ۱۳۹۲
۴۵	جدول ۱-۳ اطلاعات ماهیانه سرعت باد، شدت تابش نور خورشید و دمای میانگی شهرستان شاهرود
۵۱	جدول ۱-۴ فاکتورهای تبدیل انرژی
۵۱	جدول ۲-۴ نمونه ارزش ناخالص حرارتی سوختها
۵۳	جدول ۳-۴ پارامترهای فنی توربین باد
۵۵	جدول ۴-۴ نرخ خرید برق از شبکه و فروش برق به شبکه
۵۷	جدول ۵-۴ مقایسه هزینه خالص نهایی و درصد تجدیدپذیری سیستم‌های پیشنهادی
۵۸	جدول ۶-۴ برق تولیدی توسط سیستم بادی متصل به شبکه
۵۸	جدول ۷-۴ میزان مصرف و فروش برق
۵۹	جدول ۸-۴ برق تولیدی توسط سیستم خورشیدی متصل به شبکه
۵۹	جدول ۹-۴ میزان مصرف و فروش برق
۶۰	جدول ۱۰-۴ برق تولیدی توسط سیستم هیبرید بادی- خورشیدی متصل به شبکه
۶۱	جدول ۱۱-۴ میزان مصرف و فروش برق
۶۲	جدول ۱۲-۴ متغیرهای حساسیت و مقادیر آنها
۶۵	جدول ۱۳-۴ مقایسه هزینه خالص کنونی و درصد تجدیدپذیری سیستم‌های پیشنهادی
۶۶	جدول ۱۴-۴ برق تولیدی توسط سیستم میکروتوربین گازی بر اساس <i>CHP</i> متصل به شبکه

- ۶۷ جدول ۴-۱۵ میزان مصرف و فروش برق
- ۶۷ جدول ۴-۱۶ حرارت تولیدی توسط سیستم میکروتوربین گازی بر اساس *CHP* متصل به شبکه
- ۶۸ جدول ۴-۱۷ برق تولیدی توسط سیستم بادی متصل به شبکه
- ۶۹ جدول ۴-۱۸ میزان مصرف و فروش برق
- ۷۰ جدول ۴-۱۹ برق تولیدی توسط سیستم هیبرید بادی- میکروتوربین گازی بر اساس *CHP* متصل به شبکه
- ۷۰ جدول ۴-۲۰ میزان مصرف و فروش برق
- ۷۰ جدول ۴-۲۱ حرارت تولیدی توسط سیستم هیبرید بادی- میکروتوربین گازی بر اساس *CHP* متصل به شبکه
- ۷۵ جدول ۵-۱ گزینه‌های ممکن برای تامین بار الکتریکی دانشگاه
- ۷۶ جدول ۵-۲ گزینه‌های ممکن برای تامین بار حرارتی و الکتریکی دانشگاه

ۛۛۛ

فصل اول

بررسی وضعیت موجود

ۛۛۛ

## ۱-۱- مقدمه

مصرف انرژی در کشور ما طی سال‌های گذشته روند صعودی داشته تا جایی که با ادامه‌ی روند موجود پیش‌بینی می‌شود تا در کمتر از یک دهه آتی، میزان مصرف انرژی اولیه در کشور از تولید پیشی گرفته و ایران به یک وارد کننده‌ی انرژی تبدیل شود. این امر در حامل‌هایی که بیشتر در اختیار مردم جامعه قرار دارد، ملموس‌تر است. برق یکی از این حامل‌ها است. مصرف برق در کشور با روند صعودی طی سال‌های گذشته روبرو بوده که رشد آن، نه تنها به دلیل نرخ رشد تقاضا، بلکه به دلیل رشد تلفات تولید، انتقال و توزیع به همراه افزایش حجم تولید بوده است. یکی از راهکارهایی که در سال‌های اخیر به منظور کاهش تلفات و افزایش راندمان تولید برق در سطح جهان مورد استقبال قرار گرفته، تولید پراکنده برق است.

بنا به گفته متخصصین مرتبط، چهل سال پیش مولدهای کوچک جمع شد و به جای آن‌ها نیروگاه‌های بزرگ دولتی احداث شد، اما نمی‌توان همین مسیر را ادامه داد. روند فعلی همچون بیماری است که نشانه‌های آن شروع شده و تا هفت-هشت سال آینده انرژی کشور به‌طور جدی با آن درگیر آن خواهد شد. عملکرد قبلی سبب شده است تا کشور به صورت پله‌ای واردکننده بنزین، گازوئیل و گاز طبیعی شود و در برخی از مواقع برق نیز وارد گردد که با ادامه این روند تا چند سال آینده تنها مزیت صادراتی ایران، یعنی صادرات نفت خام نیز از بین می‌رود و نفت خام نیز وارد می‌گردد [۱].

یک راهکار برای کاهش تلفات و افزایش راندمان تولید برق که در سطح جهان هم مورد استقبال قرار گرفته است، تولید پراکنده برق است، که می‌توان انتظار داشت با اجرای برنامه و سیاست‌های اجرایی مدیریت و افزایش بازده و همچنین ارتقاء بهره‌وری در عرضه و همچنین تقاضای انرژی با هدف جلوگیری از اتلاف انرژی در بخش‌های مختلف عرضه و تقاضا و بازیافت آن به منظور ارتقاء کارایی انرژی در بخش‌های یاد شده و مدیریت بهینه منابع سوخت و انرژی کشور و صیانت از محیط‌زیست اقدامی عملی و اجرایی برای مقابله با بحران پیش رو در کشور محقق

گردد. [۲].

جامعی و همکارانش [۳] در سال ۱۳۹۱ در دانشگاه شاهرود با شناخت سایت دانشگاه ( که شامل بخش‌های اداری، آموزشی، فرهنگی، ورزشی و قسمت خوابگاه، کارگاه‌ها، مهمانسرا و آشپزخانه می‌باشد) به بررسی وضعیت موجود دانشگاه پرداختند و با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده، ممیزی انرژی دانشگاه را انجام دادند که نتایج آن در ادامه آورده شده است.

## ۱-۲- نتایج ممیزی دانشگاه

عبارت ممیزی انرژی دارای کاربردهای گسترده‌ای است و بسته به شرکت‌های خدمات انرژی، ممکن است معانی متفاوتی داشته باشد. ممیزی انرژی ساختمان‌ها، محدوده وسیعی از بررسی پیمایش تأسیسات تا تجزیه و تحلیل تفصیلی با شبیه سازی پویای کامپیوتری را در بر می‌گیرد. چهار نوع از روش‌های ممیزی انرژی به شرح ذیل است:

- ممیزی انرژی پیمایش
- تحلیل هزینه های تأسیساتی
- ممیزی انرژی استاندارد
- ممیزی انرژی تفصیلی

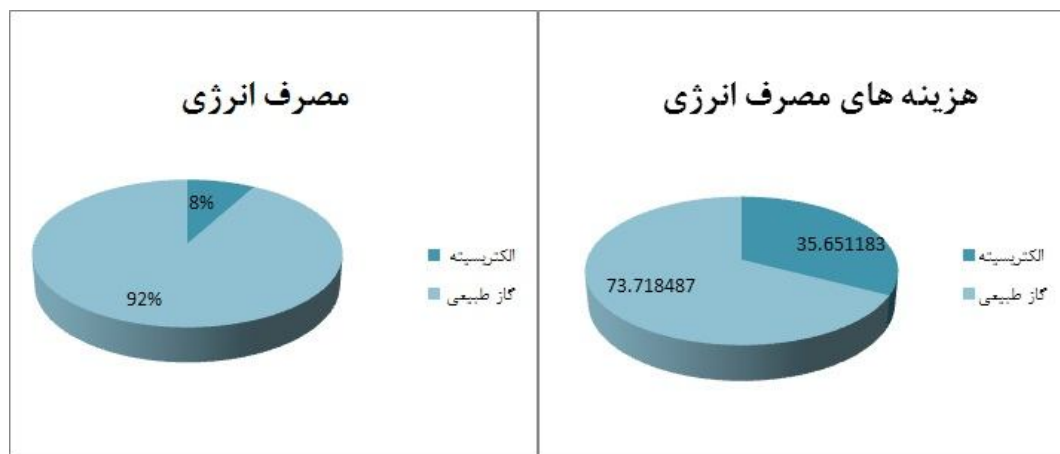
در بررسی ممیزی دانشگاه از روش ممیزی انرژی تفصیلی بهره گرفته شده است [۳]. براساس اطلاعات به دست آمده از قبوض گاز و برق دانشگاه مصرف انرژی از مهر ماه ۱۳۸۹ تا مهر ماه ۱۳۹۰، ۱۶۲۷۹۸۲ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی و ۱۷۷۸۱۵۵ متر مکعب گاز طبیعی بوده است. که مبالغی حدود ۵۶۰۳۳۷۰۰۰ ریال برای مصرف برق و ۸۹۸۱۲۱۰۰۰ ریال برای مصرف گاز طبیعی هزینه شده است که نسبت به سال گذشته در همین دوره مصرف برق ۱۲ درصد و مصرف گاز ۱۰ درصد افزایش داشته است [۳].

همانطور که نتایج جدول ۱-۱ و شکل ۱-۱ نشان می‌دهد، میزان مصرف انرژی الکتریکی

۸ درصد از کل انرژی را شامل می‌شود اما هزینه‌های ناشی از آن ۳۸ درصد کل هزینه‌ها است، این موضوع به دلیل قیمت بیشتر واحد انرژی الکتریکی در مقایسه با گاز طبیعی است [۳].

جدول ۱-۲ مقادیر مصرف کل انرژی سالیانه، هزینه و تجزیه درصدی سوخت‌های مصرفی در دانشگاه صنعتی شاهرود از مهر ماه ۱۳۸۹ تا مهر ماه ۱۳۹۰

نوع انرژی	واحد‌های خریداری شده	مصرف		هزینه	
		kWh	%	ریال	%
الکتریسیته	1627982 KWh	1627982	8.05443588	569793700	35.651183
گاز طبیعی	1778155m <sup>3</sup>	18584259.1	91.9455641	1598246283	73.718487
مجموع	-	20212241.1	100	2168039983	109.36967 (av)



شکل ۱-۱ مقایسه هزینه‌ها و مصارف حامل‌های انرژی دانشگاه

معیار خوبی از عملکرد یک ساختمان خاص را اغلب می‌توان با مقایسه ساده مصرف انرژی سالیانه و هزینه‌ها با ساختمان‌های مشابه در نوع و عملکرد، به دست آورد. اما مشکلات تفکیک ناپذیری وجود دارد که در زمان مقایسه عملکرد انرژی ساختمانی با ساختمان مشابه دیگر در یک مکان متفاوت باید مد نظر قرار گیرد که عبارتند از:

- ساختمان‌ها ممکن است ابعاد مختلف داشته باشند.
- دو موقعیت مکانی ممکن است دارای اختلاف آب و هوایی باشند که این امر بر انرژی مصرفی دو



ساختمان تأثیر دارد.

- دو ساختمان ممکن است در معرض آب و هوای متفاوتی باشند که در از دست دادن گرمای ساختمان تأثیر خواهد داشت.

- دو ساختمان ممکن است ساعت عملیاتی متفاوتی را تجربه کنند.

برای حل این گونه مسائل لازم است با به کارگیری متغیرهایی نظیر آب و هوا و الگوهای اشغال، اطلاعات مصرف انرژی ساختمان را تصحیح کرد. مفهوم شاخص عملکرد نرمال ( $NPI^1$ ) برای پرداختن به این مسائل شکل گرفته است.  $NPI$  ها عملکرد انرژی ساختمان‌های مشخصی را جهت مقایسه با دیگر ساختمان‌های مشابه در نوع و عملکرد، مقذور می‌سازند، همچنین عملکرد کلی انرژی یک ساختمان را در مقایسه با انرژی استاندارد معیار برای انواع ساختمان‌ها می‌سازد.

در اینجا معیارهای انرژی و اطلاعات کاربردی بریتانیا جهت نمایش فرآیند استفاده شده اند. در بریتانیا عملکرد انرژی ساختمان به صورت زیر رتبه بندی شده است [۴]:

خوب (good): وضعیت مصرف انرژی اعم از کنترل‌ها، نظام مدیریت انرژی و تجهیزات خوب بوده، اگرچه غالباً امکان صرفه جویی بیشتر انرژی وجود دارد.

نسبتاً رضایت بخش (fair): وضعیت مصرف انرژی قابل قبول است ولی امکان صرفه جویی در مقیاس چشمگیر وجود دارد.

ضعیف (poor): مصرف انرژی بالاست و اقدامات لازم برای شناسایی و کاهش مصارف غیر ضروری باید سریعاً انجام شود. در این خصوص باید راهکارهای بهینه سازی بررسی و معرفی گردد.

ساختمان‌هایی که عملکرد ضعیفی نشان می‌دهند بهترین فرصت‌های مدیریت انرژی هستند اما امکان بهینه سازی انرژی حتی برای ساختمان‌های دارای رتبه انرژی خوب وجود دارد.

## ۱-۲-۱ روش محاسبه $NPI$

<sup>1</sup> Normalized Performance Indicator

روش محاسبه  $NPI$  و طبقه بندی عملکرد انرژی ساختمان به شرح زیر می باشد: [۳]

- (۱) مشخص کردن کل مصرف انرژی ساختمان به واحدهای استاندارد
- (۲) تعیین مصرف انرژی سالانه برای گرمایش فضا. این عمل باید به وسیله کنتورهای جدا یا با استفاده از تکنیک‌های تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی تعیین گردد. اگر انجام این عملیات میسر نیست اطلاعات تجزیه درصدی نشان داده شده در جدول ۱-۲ به عنوان یک تخمین تقریبی به کار برده شود.
- (۳) زمانی که اطلاعات خام مصرف انرژی گرمایشی مشخص گردد سپس باید با کاربرد ضرایب اصلاح متغیرهای هوا معرض انجام شود:

$$1-1 \quad \text{روز} - \text{درجات گرمایشی سالیانه استاندارد} = \frac{\text{ضریب آب و هوا}}{\text{روز} - \text{درجات گرمایشی سالانه که ساختمان تجربه کرده است}}$$

در بریتانیا تعداد سالیانه روز-درجات گرمایشی ۲۴۶۲ در نظر گرفته شده است. این مقدار در کشور یا منطقه خاص مورد ملاحظه متفاوت خواهد بود. ضرایب معرض در جدول ۱-۳ آورده شده است.

جدول ۱-۳ نسبت سوخت مصرفی برای گرمایش فضا و آب گرم تولیدی مرتبط با گرمایش فضا

نوع ساختمان	نسبت سوخت مصرفی برای گرمایش فضا و آب گرم مرتبط با گرمایش فضا (/.)
مدرسه	75
خانه سالمندان _ بیمارستان	50
سایر ساختمانهای مراقبتهای بهداشتی	75
آموزش عالی	75
اداره	75
سالن ورزشی بدون استخر	75
سالن ورزشی با استخر	65
استخر شنا	55
گالری _ موزه _ کتابخانه	70
هتل	60
آژانس - بانک	75
فضای تفریحی	75
ساختمان خدمات - اورژانس - دادگاه	75
کارخانه	80

جدول ۱-۴ ضرایب معرض

معرض	ضریب معرض
محفوظ (مرکز شهر)	1.1
معمولی (روستایی / شهری)	1
بی حفاظ (زمین تپه ای/ ساحلی)	0.9

۴) گام بعدی اضافه کردن مصرف انرژی غیر گرمایشی به مصرف انرژی گرمایشی تصحیح شده است که مصرف انرژی تصحیحی بی زمان خام را بدست می آورد.

۵) مقدار مصرف انرژی سالیانه "تصحیح بی زمان خام" در ضریب تصحیح ساعت مصرف ساختمان ضرب می شود تا مصرف انرژی سالیانه همگن شده به دست بیاید.

$$۲-۱ \quad \text{ساعات مصرف سالانه استاندارد} = \frac{\text{ساعات مصرف واقعی}}{\text{ضریب ساعات مصرف}}$$

۶) مصرف انرژی سالیانه همگن شده باید بر مساحت سطح ساختمان تقسیم شود تا NPI به دست بیاید. از مساحت سطح مورد استفاده در این محاسبه باید مساحتی که گرمایش و سرمایش به آن اختصاص داده نمی شود کسر کرد.

نهایتاً NPI به دست آمده را با معیارهای استاندارد مقایسه کرده و عملکرد ساختمان رتبه بندی می شود. پس از انجام ممیزی و تعیین برچسب انرژی ساختمان های دانشگاه، آن ها در سه گروه good، fair و poor طبقه بندی شده اند که در جدول ۱-۲ نتایج نشان داده شده است [۳].

با توجه به نتایج ممیزی انجام شده مصرف انرژی در ساختمان کتابخانه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشکده فیزیک و فناوری اطلاعات، مجموعه فرهنگی شقایق ها و سالن اجتماعات، فروشگاه، سایت کامپیوتر و مرکز اطلاع رسانی، آزمایشگاه مرکزی، سازمان مرکزی و مجموعه رستوران، انبار مواد غذایی و انتشارات بیشتر از حد استاندارد و نامطلوب بوده است و ساختمان های آزمایشگاه دانشکده شیمی، ساختمان کلاس ها، دانشکده علوم پایه، دانشکده مکانیک، سالن سرپوشیده ورزشی شماره ۲، سالن سرپوشیده و رختکن ورزشی شماره ۱ و بوفه دانشجویی دارای مصرف نسبتاً رضایت

بخش و ساختمان‌های دانشکده معدن، ساختمان علوم انسانی و تربیت بدنی، ساختمان تربیت بدنی جنب سالن شماره ۲ و استخر سرپوشیده ورزشی دارای مصرف قابل قبول هستند اما با اقدامات بهینه سازی می‌توان مصرف انرژی را در تمام ساختمان‌ها کاهش داد.

جدول ۱-۵ مقایسه NPI موجود با مقدار استاندارد

وضعیت	واحد سازمانی	NPI موجود	NPI استاندارد	وضعیت
poor	مجموعه رستوران ، انبار مواد غذایی و انتشارات	۷۰۹	۴۱-۴۳۰	poor
poor	سایت کامپیوتر و مرکز اطلاع رسانی	۶۳۵	۳۴۰-۴۸۰	
poor	آزمایشگاه مرکزی	۴۸۳	325-355	
poor	سازمان مرکزی	۴۷۷	۲۵۰-۴۱۰	
poor	فروشگاه	۴۷۶	۲۸۰-۳۲۰	
poor	مجموعه فرهنگی شقایقها و سالن اجتماعات	۳۶۸	۲۲۰-۳۱۰	
poor	دانشکده فنی و مهندسی	۴۳۴	325-355	
poor	ساختمان کتابخانه	۳۷۱	۲۰۰-۲۸۰	
poor	دانشکده فیزیک و فناوری اطلاعات	۴۸۷	325-355	fair
fair	دانشکده مکانیک	۳۲۷	325-355	
fair	آزمایشگاه دانشکده شیمی	۳۵۴	325-355	
fair	ساختمان کلاسها	۳۳۵	325-355	
fair	دانشکده علوم پایه	۳۲۸	325-355	
fair	سالن سرپوشیده ورزشی شماره ۲	۳۰۰	۲۰۰-۳۴۰	
fair	بوفه دانشجویی	۳۳۰	۳۴۰-۴۷۰	
fair	سالن سرپوشیده و رختکن ورزشی شماره ۱	۲۲۷	۳۴۰-۲۰۰	good
good	ساختمان علوم انسانی و تربیت بدنی	۲۳۲	۳۵۵-۳۲۵	
good	ساختمان تربیت بدنی جنب سالن شماره ۲	۱۷۱	۳۵۵-۳۲۵	
good	دانشکده معدن	۲۲۰	۳۵۵-۳۲۵	
good	استخر سرپوشیده ورزشی	۸۵۸	۱۳۹۰-۱۰۵۰	

### ۱-۳- مسئله موجود

عدم توجه به استفاده صحیح و بهره برداری مناسب از کولرهای گازی و اسپیلتها و دستگاه‌های گرمایشی و روشنایی، می‌تواند هزینه سنگین برق و گاز مصرفی را در پی داشته باشد. خصوصا که در شرایط فعلی هزینه انرژی مصرفی واحدها به صورت غیر یارانه‌ای محاسبه و دریافت می‌گردند. به عبارت دیگر به دلیل افزایش بهای گاز و برق مصرفی نمی‌توان استفاده از دستگاه‌های

گرمایشی پکیج و موتورخانه را در فصل زمستان و سیستم سرمایشی را در تابستان تعطیل کرد و باید راهکارهای جلوگیری از اتلاف حرارتی ساختمان‌ها در فصل سرما و راه‌های کاهش برق مصرفی کولرهای اسپلت، گازی و آبی در تابستان بررسی شود، تا علاوه بر متعادل نمودن بهای انرژی مصرفی از به هدر رفتن بی رویه‌ی آن نیز جلوگیری کرد.

در ماه‌های گرم سال ۴۰ درصد از برق مصرفی کشور مربوط به سیستم‌های سرمایشی است. به جهت واقع شدن کشور در منطقه گرم و خشک، در اغلب مناطق کشور استفاده از تجهیزات و سیستم‌های سرمایشی در فصل گرما ضروری است و علاوه بر این در طول سال‌های گذشته مواردی همچون تغییرات اقلیمی (گرمایش زمین) و افزایش سطح رفاه اجتماعی، استفاده از کولرهای گازی روند رو به رشدی را نشان می‌دهد. این موضوع علاوه بر تحمیل هزینه‌های زیاد انرژی به مصرف کنندگان، ایجاد اوج مصرف روزانه در شبکه برق کشور را نیز موجب شده است. در این میان مصرف بهینه انرژی وسایل سرمایشی می‌تواند نقش موثری در کاهش هزینه‌های برق مصرفی داشته باشد. با رعایت توصیه‌ها و به اجراء درآوردن راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی، حدود ۵۰ درصد از مصرف برق مربوط به بخش سرمایش (و حدود ۲۰ درصد از کل مصرف) کاسته خواهد شد. عوامل مؤثر در ازدیاد مصرف انرژی، طراحی معماری و تاسیساتی غلط و نبود سیستم‌های مناسب کنترل دمای داخل ساختمان است. از آنجایی که ساختمان‌های دانشگاه عایق کاری مناسب ندارند لذا می‌توان با عایق کاری ساختمان‌ها، مصرف انرژی ساختمان‌ها را تا حد زیادی کاهش داد. این مطلب در مورد ساختمان‌های گروه good و fair نیز صادق است. با توجه به بازدیدهای صورت گرفته از قسمت‌های مختلف دانشگاه می‌توان گفت با آنکه ساختمان‌ها می‌توانند از روشنایی روز بهره بگیرند اما در اکثر ساختمان‌ها در کل ساعات استفاده از روشنایی مصنوعی استفاده می‌شود. گاهی در زمان تعطیلی کلاس‌ها سیستم‌های روشنایی روشن هستند که استفاده از سنسور در کلاس‌ها و راهروها می‌تواند مفید باشد. اشکالی که در طراحی معماری و تاسیساتی ساختمان آزمایشگاه مرکزی می‌توان به آن اشاره کرد قرار داشتن دریچه برگشت هوا در بالاترین نقطه ساختمان، مرتبط بودن بخش‌های

مختلف به یکدیگر و قابل کنترل نبودن میزان گرمایش در هر کلاس می‌باشد، که باعث می‌شود طبقه فوقانی بیش از حد گرم شده در حالی که در طبقه زیرین ساختمان دما پایین باقی می‌ماند، بطوریکه افراد چه در طبقه بالایی و چه در طبقه پایین از دمای مطلوبی برخوردار نیستند. نتیجه این طرح معماری- تاسیساتی نامناسب باعث شده که دانشجویان مستقر در طبقه بالائی با باز کردن پنجره کلاس‌های خود بر ازدیاد دمای نامناسب غلبه و سیستم حرارتی ساختمان نیز برای تأمین شرایط مطلوب طبقه زیرین به کار خود ادامه می‌دهد. کولرهای آبی موجود روی پشت بام‌ها در معرض تابش مستقیم خورشید هستند که با استفاده از سایبان و رنگ‌های پلیمری می‌توان مصرف برق کولرهای آبی را کاهش داد. سیستم‌های گرمایش دانشگاه از لحاظ عایق‌کاری بسیار ضعیف بوده و در بسیاری از موتورخانه‌ها عایق پشم‌شیشه موجود به کلی تخریب شده و عایق‌های باقی مانده نیز فقط ظاهر سالمی دارند و به راحتی حرارت را به محیط بیرون منتقل می‌کند که باید عایق‌کاری مناسب و جدید برای موتورخانه‌ها و لوله‌های انتقال حرارت سریع‌ا انجام شود [۳].

#### ۱-۴- نتیجه بررسی وضعیت موجود

وضعیت مصرف انرژی در ردیف‌های ۱ تا ۹ از جدول ۱-۳ در گروه poor قرار گرفته است، لذا نیازمند بهینه‌سازی در این ساختمان‌ها و کاهش مصرف انرژی می‌باشد.

جدول ۱-۶ وضعیت *NPI* در ساختمان‌های poor

وضعیت	واحد سازمانی	<i>NPI</i> موجود	<i>NPI</i> استاندارد	وضعیت	
Poor	۱	مجموعه رستوران، انبار مواد غذایی و انتشارات	۷۰۹	۴۳۰-۴۱۰	poor
	۲	سایت کامپیوتر و مرکز اطلاع رسانی	۶۳۵	۴۸۰-۳۴۰	poor
	۳	آزمایشگاه مرکزی	۴۸۳	۳۵۵-۳۲۵	poor
	۴	سازمان مرکزی	۴۷۷	۴۱۰-۲۵۰	poor
	۵	فروشگاه	۴۷۶	۳۲۰-۲۸۰	poor
	۶	مجموعه فرهنگی شقایق‌ها و سالن اجتماعات	۳۶۸	۳۱۰-۲۲۰	poor
	۷	دانشکده فنی و مهندسی	۴۳۴	۳۵۵-۳۲۵	poor
	۸	ساختمان کتابخانه	۳۷۱	۲۸۰-۲۰۰	poor
	۹	دانشکده فیزیک و فناوری اطلاعات	۴۸۷	۳۵۵-۳۲۵	poor

❧

فصل دوم

بیان وضعیت مطلوب

❧

## ۲\_۱\_ مقدمه

بر اساس مطالعات صورت گرفته میزان انرژی مصرفی ساختمان‌های دانشگاه مشخص شده و ساختمان‌ها بر اساس مقدار انرژی مصرفی، مساحت، ساعات اشغال، موقعیت ساختمانی و آب و هوایی تحت عنوان شاخص عملکرد نرمال شده با مقدار استاندارد آن مقایسه شده‌اند که در نتیجه آن، ساختمان‌ها به سه دسته good و fair و poor تقسیم‌بندی شدند. مصرف انرژی در دو گروه از ساختمان‌های دانشگاه با برچسب good و fair قابل قبول است، هر چند که می‌توان با اقدامات بهینه‌سازی، مصرف انرژی را کاهش داد اما بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های گروه poor ضروری است. برای بهسازی وضعیت مصرف انرژی در دانشگاه، طرح‌های متفاوتی مطرح شده است که در گذشته به آن پرداخته شده است. لازم بذکر است علاوه بر راهکارهای معمول در بحث بهسازی انرژی، مناسب است که با توجه به اهمیت و مزایای انرژی‌های تجدیدپذیر و تولیدات پراکنده، راهکارهایی جهت تامین انرژی برق در داخل دانشگاه نیز مدنظر قرار گیرد.

## ۲\_۲\_ مرور کارهای انجام شده

استفاده از انرژی تجدیدپذیر برای بسیاری از کشورها و دولت‌ها به هدف بسیار مهمی تبدیل شده است. انرژی تجدیدپذیر به عنوان انرژی پاک و حامی محیط زیست از اهداف پروتکل کیوتو حمایت می‌کند. ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر به منظور تولید برق برای دستیابی به توسعه پایدار بسیار مهم است [۵]. با توجه به دلایلی همچون افزایش در قیمت سوخت، مصرف انرژی، آلودگی و گازهای گلخانه‌ای، استفاده از انرژی تجدیدپذیر رو به رشد است [۷]. در توسعه‌های اخیر، انگیزه تولید الکتریسیته از نیروگاه‌های متمرکز بزرگ به واحدهای تولید محلی پراکنده در تمام منطقه تغییر کرده است. جامعه علمی در سطح جهان به تجزیه و تحلیل و برنامه‌ریزی برای توزیع منابع انرژی با رویکردهای وسیع فنی، زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی پرداخته است که نتایج آن در دو بخش مقالات تئوری و تجربیات عملیاتی در این جا آورده شده است.



مرور کارهای بررسی شده به پنج دسته‌ی تولید پراکنده، سیستم‌های خورشیدی، بادی، هیبریدی و تولید همزمان برق و حرارت تقسیم شده‌اند.

## ۲\_۲\_۱\_ تولید پراکنده

اکرمن و همکارانش [۸] در سال ۲۰۰۰ اذعان داشتند تولید پراکنده به معنی تولید برق در ظرفیت‌های کم که در محل مصرف یا نزدیک به آن با تکنولوژی فسیلی یا تجدیدپذیر است. از مزایای تولید پراکنده به بیان حجم کم سرمایه‌گذاری، کاهش ظرفیت در نیروگاه‌های بزرگ، امکان برق‌رسانی به مناطق جدا از شبکه، افزایش امنیت شبکه و کاهش آلاینده‌ها پرداختند و پیش‌بینی کردند تولیدات پراکنده در آینده از اهمیت بالایی برخوردار خواهد شد.

جیان فرانسو چیکو و همکارانش [۹] در سال ۲۰۰۷ با هدف تجزیه و تحلیل و برنامه‌ریزی برای توزیع منابع انرژی با رویکردهای وسیع فنی، زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی بیان کردند در توسعه‌های اخیر، انگیزه تولید الکتریسیته از نیروگاه‌های متمرکز بزرگ به واحدهای تولید محلی پراکنده در تمام منطقه تغییر کرده است و استفاده از سیستم‌های ترکیبی تولید چندگانه<sup>۱</sup> مزایای زیادی از جمله بازده بالای انرژی، کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای و مزایای اقتصادی را دربر خواهد داشت.

گرامی مقدم و همکارانش [۱۰] در سال ۲۰۱۰ با ارزیابی سرمایه‌گذاری در بخش تولیدات پراکنده و انرژی‌های تجدیدپذیر بیان کردند از آنجا که هزینه‌های سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های کوچک و از جمله منابع تجدیدپذیر انرژی به ازای هر کیلووات، بیش از سرمایه مورد نیاز برای نیروگاه‌های متداول با سوخت فسیلی است، لذا علاقمندی جهت سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های کوچک و پراکنده بسیار کمتر است لذا می‌توان با ایجاد یک نیروگاه کوچک با سرمایه‌گذاری اندک، سوددهی سریع سرمایه‌گذاری، کاهش ظرفیت بلااستفاده نیروگاه، تولید همزمان برق و گرما

---

<sup>1</sup> Multi-Generation

وحمایت‌های دولتی، سودآوری و بهینه بودن سرمایه‌گذاری در بخش تولیدات پراکنده را ضمانت کرد.

## ۲-۲-۲\_ سیستم‌های خورشیدی

نیشیمورا و همکارانش [۱۱] در سال ۲۰۱۰ مطالعاتی در زمینه سیستم‌های فتوولتائیک<sup>۱</sup> در دو پروژه متفاوت انجام دادند و بیان کردند از بین تمام تکنولوژی‌ها، سیستم فتوولتائیک با تمرکز بالا ( $HCPV$ )<sup>۲</sup> نسبت به دیگر سیستم‌های فتوولتائیک دارای بازده بالاتری است. نتایج تحقیقاتشان نشان می‌دهد برای احداث در مقیاس بزرگ، معمولا منطقه بیابانی مکان مناسبی برای احداث می‌باشد. ولی معایبی همچون کاهش بازده الکتریکی سلول فتوولتائیک با افزایش دمای محیط، هدر رفت بخشی از انرژی با افزایش فاصله محل تولید تا مصرف، کاهش بازده الکتریکی سیستم بدلیل پوشیده شدن سطح سلول خورشیدی یا لنز با شن و ماسه را دارا می‌باشد و با توجه به پایین بودن شدت انرژی، سطح بزرگی برای نصب و راه‌اندازی سیستم‌های خورشیدی به عنوان مثال  $HCPV$  نیاز است.

کین‌یان و همکارانش [۱۲] در سال ۲۰۱۰ با انجام مطالعه موردی بر روی تولید قدرت کمکی خورشیدی، یک راه موثر برای استفاده از حرارت خورشید در محدوده دماهای پائین یا متوسط برای تولید قدرت شرح داده‌اند، به این صورت که روغن حرارتی می‌تواند به عنوان حامل حرارت خورشیدی استفاده شود در این صورت به بخار نیاز نیست، همچنین فشار سیستم‌های خورشیدی در این حالت می‌تواند بسیار کمتر از کلکتورهای خورشیدی که از بخار یا آب به عنوان حامل گرما استفاده می‌کنند، باشد. که مزایایی همچون تقویت قدرت و صرفه‌جویی در سوخت را دارا می‌باشد.

منشی پور و همکارانش [۱۳] در سال ۲۰۱۰ در سازمان انرژی‌های نو ایران به بررسی اقتصادی استفاده از سیستم فتوولتائیک خورشیدی در برق رسانی به مناطق فاقد دسترسی به شبکه سراسری برق پرداختند. که نتیجه آن نشان می‌دهد در مناطق فاقد دسترسی به شبکه مانند روستاهای دور

<sup>۱</sup> Photovoltaic

<sup>۲</sup> High-Concentration Photovoltaic

افتاده، ایستگاه‌های بین راهی، ایستگاه‌های مخابراتی، جنگلبانی و محیط زیست و... که در مناطق دور افتاده قرار دارند و فاصله آن‌ها نیز از شبکه زیاد می باشد، تامین انرژی الکتریکی به طریق انرژی برق خورشیدی کاملاً اقتصادی هستند.

## ۲\_۲\_۳ سیستم‌های بادی

دالتون و همکارانش [۱۴] در سال ۲۰۰۹ با آنالیز امکان‌سنجی بر روی گزینه‌های تأمین انرژی یک مکان توریستی نتیجه گرفتند استفاده از انرژی باد و توربین بادی از انرژی خورشید و سلول‌های فتوولتائیک مقرون به صرفه تر است.

حامدی و همکارانش [۱۵] در سال ۲۰۱۰ مطالعاتی در زمینه امکان‌سنجی استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر با هدف تأمین انرژی بار مستقل در منطقه‌ی شمال غرب کشور با کمک نرم افزار HOMER<sup>۱</sup> انجام دادند. بر اساس این تحلیل مشخص شد برای مصرف کننده خانگی مستقل از شبکه در منطقه‌ی شمال غرب کشور، با در نظر گرفتن داده‌های سرعت باد و تابش خورشید منطقه و نیز هزینه حال حاضر اجزاء مختلف سیستم، سیستم باد-دیزل-باتری مناسب‌ترین راه حل می باشد. عبدی و همکارانش [۱۶] در سال ۲۰۱۱ مطالعات امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی ۱۰ مگاواتی مراوه تپه با هدف ارزیابی امکان پذیر بودن تاسیس یک نیروگاه بادی از لحاظ فنی، اقتصادی و زیر ساخت‌های مورد نیاز در یک سایت مشخص را انجام دادند. نتایجی که از این مطالعات بدست آمد نشان می دهد در صورتی که وزارت نیرو شرایط مناسبی را برای سرمایه گذار فراهم کند، بخش خصوصی برای مشارکت در این طرح که بازگشت سرمایه ۷ ساله دارد، ترغیب خواهد شد.

آگره و همکارانش [۷] در سال ۲۰۱۳ مطالعات امکان‌سنجی استفاده از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر برای یک هتل کوچک در اردن را با کمک نرم افزار HOMER انجام دادند که نتیجه آن اقتصادی بودن طرح‌های کوچک توربین بادی بوده است.

---

<sup>1</sup> Hybrid Optimization Model for Electric Renewables

## ۲\_۲\_۴\_ سیستم‌های هیبریدی

دالتون و همکارانش [۱۷] در سال ۲۰۰۷ در دانشگاه کوئینزلند استرالیا تحقیقاتی در زمینه تأمین انرژی یک هتل بزرگ در استرالیا به صورت متصل به شبکه پرداختند، که در نتیجه آن مشخص شد، با توجه به هزینه‌های سال ۲۰۰۴ هزینه خالص کنونی سیستم هیبریدی تجدیدپذیر متصل به شبکه، بازگشت سرمایه‌ای معادل با ۱۴ سال خواهد داشت. در ادامه تحقیقاتشان [۱۸] در سال ۲۰۰۸ در دانشگاه کوئینزلند استرالیا تحقیقاتی در زمینه تأمین انرژی یک هتل بزرگ در استرالیا به صورت مستقل از شبکه پرداختند. با مدل‌سازی سیستم‌های قدرت تجدیدپذیر، دیزل ژنراتور و هیبرید تجدیدپذیر-دیزل ژنراتور در نرم افزار HOMER نتیجه گرفتند، با یک پیکربندی مناسب می‌توان کل بار هتل را از سیستم قدرت تجدیدپذیر مستقل از شبکه تأمین کرد، در این حالت سیستم قدرت باد از سیستم فتوولتائیک مناسب‌تر برآورد شده است. همچنین کمترین هزینه خالص نهایی برای سیستم هیبرید تجدیدپذیر-دیزل ژنراتور برآورد شده است که در مقایسه با سیستم دیزل ژنراتور ۵۰ درصد هزینه خالص کنونی و ۶۵ درصد انشار گازهای گلخانه‌ای کمتری را شامل می‌شود. مدت بازگشت سرمایه سیستم هیبرید تجدیدپذیر-دیزل ژنراتور، ۴ سال و ۳ ماه برآورد شده است.

هیمری و همکارانش [۱۹] در سال ۲۰۰۷ در پروژه ملی برق و گاز الجزایر محاسبات فنی و اقتصادی نصب یک سیستم هیبرید در یک روستای دور افتاده را با نرم افزار HOMER انجام دادند و بیان کردند برای سرعت‌های باد بیشتر از ۵ متر بر ثانیه، استفاده از سیستم بادی مقرون به صرفه است.

ییلماز و همکارانش [۲۰] در سال ۲۰۰۹ آنالیز امکان‌سنجی تأمین انرژی مورد نیاز بزرگترین جزیره ترکیه بوسیله هیبرید انرژی‌های تجدیدپذیر را با کمک نرم افزار HOMER انجام دادند که در نتیجه آن مشخص شد استفاده از سیستم بادی متصل به شبکه مقرون به صرفه است.

شین‌هانگ‌چن و همکارانش [۲۱] در سال ۲۰۰۹ مطالعاتی بر روی انتخاب استراتژیک پروژه‌های مناسب برای سیستم‌های تولید قدرت هیبریدی بادی-خورشیدی انجام دادند. آن‌ها بیان

کردند انرژی خورشیدی و بادی توجه زیادی از انجمن‌های خصوصی، گروه‌های سیاسی و شرکت‌های برق برای تولید برق در مقیاس بزرگ را به خود جلب کرده است. اما مشکل موجود، غیرقابل پیش‌بینی بودن آب‌وهوا می‌باشد. خوشبختانه این مشکلات می‌توانند تا حدودی با استفاده از نقاط قوت یک منبع برای غلبه بر ضعف منبع دیگر برطرف شوند. به خصوص که بخش بزرگی از منبع خورشیدی در زمان‌های پیک بار برق در دسترس است. همچنین بیان کردند برخی از فاکتورها مانند حمایت سیاسی، تکنولوژی‌های جدید و سازوکارهای مالی، فرصت‌های دست‌یابی به سیستم‌های تولید قدرت بادی- خورشیدی را سرعت بخشیده‌اند.

شفیع ... و همکارانش [۲۲] در سال ۲۰۱۱ در دانشکده علوم، مهندسی و بهداشت استرالیا با کمک نرم افزار HOMER به مطالعه امکان سنجی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر پرداختند. که در نتیجه آن مشخص شد، استفاده از سیستم قدرت هیبرید بادی و خورشیدی نه تنها هزینه تولید برق را در استرالیا کاهش می‌دهد بلکه از انتشار گازهای گلخانه‌ای جلوگیری می‌کند.

یوزن‌اقلو و همکارانش [۲۳] در سال ۲۰۱۲ با بررسی اجمالی بر روی روش‌های مختلف طراحی بهینه سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر هیبریدی اظهار داشتند ترکیب منابع انرژی تجدیدپذیر با واحد پشتیبانی به شکل سیستم هیبرید می‌تواند اقتصادی‌تر و با محیط‌زیست سازگارتر باشد و همچنین عرضه برق در شرایط تقاضای بار کل در مقایسه با استفاده تک از چنین سیستم‌هایی قابل اعتمادتر می‌باشد.

بج پای و همکارانش [۲۴] در سال ۲۰۱۲ به بررسی سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر هیبریدی برای تولید قدرت در کاربردهای مستقل پرداختند. آن‌ها اظهار داشتند هزینه سرمایه‌گذاری بالا و تقاضای کم در فتوولتائیک خورشیدی و پیل‌های سوختی در گذشته سبب شده پیاده‌سازی این سیستم‌ها در مقیاس بزرگ آهسته صورت بگیرد. با این حال افزایش جهانی بازارهای انرژی تجدیدپذیر سبب شده به طور چشم‌گیری تحقیق و توسعه در این بخش افزایش یابد. سیستم انرژی تجدیدپذیر هیبریدی دارای پتانسیل زیادی برای پاسخگویی به تقاضای بار دور دست می‌باشد و می‌تواند به میزان

قابل توجهی به توسعه شهری و روستایی کمک کند. که به نوبه خود ظرفیت تولید مرکزی را کاهش می‌دهد و قابلیت اطمینان کلی سیستم را افزایش می‌دهد. این واحدها می‌توانند قدرت متوسطی در سطح انتشار آلودگی صفر عرضه کنند، که از مزیت‌های اصلی این سیستم‌هاست. استفاده گسترده از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر نه تنها مسائل انرژی را حل کرده، بلکه طرح‌های سبز و سازگار با محیط زیست را تضمین می‌کند.

بکله و همکارانش [۲۵] در سال ۲۰۱۲ در دانشگاه آدیس آبابا در اتیوپی با کمک نرم افزار *HOMER* سیستم تولید قدرت هیبریدی بادی- خورشیدی در یک منطقه دور افتاده در اتیوپی را طراحی کردند که از نتایج آن می‌توان به توسعه روستاهای دور افتاده اشاره کرد.

اسراری و همکارانش [۲۶] در سال ۲۰۱۲ در دانشکده برق دانشگاه فردوسی مشهد به ارزیابی اقتصادی سیستم هیبرید تجدیدپذیر برای یک منطقه دور افتاده با کمک نرم افزار *HOMER* پرداختند و بیان کردند سیستم بادی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر از استفاده از ژنراتور است و می‌توان با نگرانی‌های زیست محیطی مقابله کرد.

صدرالاسلام و همکارانش [۲۷] در سال ۲۰۱۲ با کمک نرم افزار *HOMER* مدل بهینه‌ای از سیستم انرژی هیبریدی برای جزیره کوچکی در بنگلادش ارائه دادند و بیان کردند با توجه به اینکه قیمت سوخت در بنگلادش به سرعت در حال افزایش است، سیستم هیبریدی باد-فتوولتائیک-دیزل-باتری مناسب‌ترین سیستم برای تأمین تقاضای انرژی جزیره خواهد بود.

## ۲\_۲\_۵\_ سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت

عمیدپور و همکارانش [۲۸] در سال ۲۰۱۰ تحلیل ترموآکونومیک، انرژی و انرژی بر روی سیستم ترکیبی قدرت، گرمایش و سرمایش (*CCHP*)<sup>۱</sup> را انجام دادند. آن‌ها بیان کردند تولید مشترک یکی از بهترین متدهای صرفه‌جویی انرژی برای استفاده کاربردی بیشتر از سوخت‌ها و دستیابی به

---

<sup>۱</sup> Combined Cooling, Heating and Power

پیشرفت‌های زیست محیطی می‌باشد. تولید مشترک، تولید برق و انرژی حرارتی مفید را از یک منبع انرژی ممکن می‌سازد.

سبزپوشانی و همکاریانش [۲۹] در سال ۲۰۱۱ در دانشگاه کاشان مطالعاتی بر روی سیستم تولید همزمان برق، حرارت و تبرید برای تامین برق یک مگاوات، حرارت ۱،۲ مگاوات و سرمایش ۲۰۰ تن تبرید در محل دانشگاه کاشان انجام دادند. از مزیت‌های این سیستم علاوه بر راندمان بالای مجموعه (شامل ۴۰ درصد راندمان الکتریکی و ۴۵ درصد راندمان حرارتی و در مجموع راندمان ۸۵ درصد)، استفاده و مصرف انرژی‌های تولیدی در محل دانشگاه کاشان است که باعث حذف هزینه ایجاد شبکه توزیع و تلفات آن شده است. که با کمک آنالیز اقتصادی طرح، مدت بازگشت سرمایه اجرای سیستم را کمتر از ۳ سال برآورد شده است.

هتل ریتز-کارلتون در سانفرانسیسکو در سال ۲۰۰۵ به منظور کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های انرژی، با نصب سیستم *CCHP*، ۲۴۰ کیلووات برق و ۱۲۰ تن تبرید سرمایش از بار پایه هتل تامین می‌شود. بازگشت سرمایه طرح بدون کمک مالی هشت سال و با کمک مالی سه سال برآورد شده است [۳۰].

در دانشگاه سیراکیوز واقع در نیویورک، در سال ۲۰۰۹، سیستم (*CHP*)<sup>۱</sup> با ظرفیت 780kW با هدف استفاده از انرژی حرارتی برای تامین سرمایش و گرمایش، نصب گردید. از مزایای این طرح می‌توان به، افزایش قابلیت اطمینان، کاهش نیاز به سوخت‌های فسیلی و کاهش گازهای گلخانه‌ای اشاره نمود [۳۱].

مرکز خورشیدی کارولینای شمالی در سال ۲۰۱۰ با همکاری شورای تحقیقات و آموزش پروپان (*PERC*)<sup>۲</sup> در زمینه امکان‌سنجی فنی سیستم تولید پراکنده متشکل از سیستم حرارتی خورشیدی، آرایه فتوولتائیک و میکرو-*CHP*<sup>۳</sup> که با پروپان تغذیه می‌شود، تحقیقاتی انجام داده و بیان

<sup>۱</sup> Combined Heating and Power

<sup>۲</sup> Propane Education and Research Council

<sup>۳</sup> Micro-CHP

## فصل دوم : بیان وضعیت مطلوب

کردند این سیستم‌ها بصورت موازی برای تولید برق و حرارت کار می‌کنند و می‌توان از این سیستم برای برنامه‌های کاربردی مانند ساختمان‌های بزرگ مسکونی، ساختمان‌های تجاری و سایت‌های صنعتی استفاده نمود [۳۲].

کارخانه Simonds تولید کننده تیغه‌های فلزی اره در ماساچوست که در سال ۱۹۳۵ تاسیس شده است، در سال ۲۰۱۱ با نصب سیستم *CHP* با ظرفیت 1.8MW با هزینه ۶,۵ میلیون دلاری و بازگشت سرمایه ۴,۵ ساله توانست با کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش گازهای گلخانه‌ای تولیدی، قیمت برق مصرفی‌اش را از ۰,۱۶ دلار در هر کیلووات ساعت به ۰,۰۹ دلار در هر کیلووات ساعت برساند [۳۳].

در نتیجه مطالعات انجام شده، مشخص شد انگیزه تولید الکتریسیته از نیروگاه‌های متمرکز بزرگ به واحدهای تولید پراکنده در تمام جهان تغییر کرده است، به گونه‌ای که تولید پراکنده برای کاهش تلفات و کاهش آلاینده‌های زیست محیطی و همچنین افزایش راندمان تولید برق به عنوان یک راهکار مورد استقبال جهانیان قرار گرفته است.

طبق مطالعات صورت گرفته بر روی تکنولوژی‌های تولید قدرت خورشیدی و بادی (بصورت مجزا و هیبریدی) و تولید همزمان مشخص شد، تکنولوژی خورشیدی برای مناطق بیانی و دور افتاده مناسب خواهد بود، اما با توجه به بالا بودن قیمت و پایین بودن راندمان، رشد جهانی استفاده از این سیستم‌ها سرعت پایینی داشته است. تکنولوژی‌های تولید قدرت بادی نسبت به خورشیدی مقرون به صرفه‌تر بوده و رشد جهانی استفاده از این سیستم‌ها با سرعت بالاتری در حال افزایش است، از دلایل محبوبیت سیستم بادی می‌توان به بازده بالا و افزایش توان توربین‌های نسل جدید اشاره نمود. همچنین طی تحقیقات صورت گرفته، به علت غیر قابل پیش‌بینی بودن آب و هوا می‌توان از سیستم‌های هیبریدی استفاده کرد که این سیستم‌ها به توسعه شهری و روستایی کمک شایانی خواهند نمود. و همچنین مشخص شد استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت در سراسر جهان در حال افزایش است و این سیستم‌ها اغلب برای ساختمان‌های بزرگ مسکونی، ساختمان‌های



تجاری و سایت‌های صنعتی مورد استفاده قرار گرفته است.

با توجه به مطالب مذکور، به بررسی و بیان کلیات تولید پراکنده و تکنولوژی‌های مربوطه پرداخته خواهد شد.

## ۲-۲\_ ارزیابی کلیات تولید پراکنده

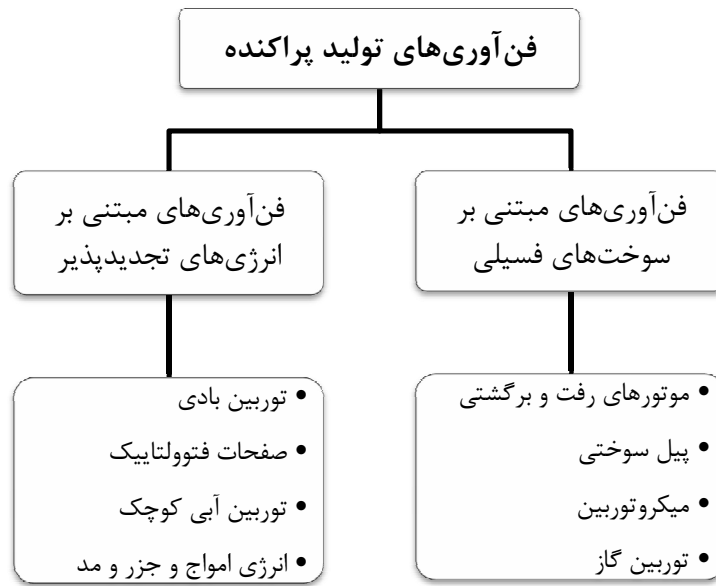
از آغازین روزهایی که بشر برای رفع نیاز خود به انواع مختلف انرژی نیاز داشت تولید پراکنده شکل گرفته است چرا که این انرژی عملاً در نزدیکی محل مصرف آن تولید می‌شود. تولیدات پراکنده به صورت محلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به این که این تولیدات نزدیک به مراکز مصرف می‌باشند نیازی به انتقال انرژی الکتریکی خروجی آن‌ها در مسافت‌های طولانی وجود ندارد. هرچه مصرف کننده به تولیدکننده نزدیک‌تر باشد هزینه تأمین انرژی الکتریکی نیز کاهش خواهد یافت [۳۶-۳۴-۹].

موسسه مهندسان برق و الکترونیک (*IEEE*)<sup>۱</sup> تولید برق توسط وسایلی که به اندازه کافی از نیروگاه‌های مرکزی کوچک‌تر بوده و قابل نصب در محل مصرف هستند را به عنوان تولید پراکنده معرفی کرده است.

تولید پراکنده با انواع تکنولوژی‌های تولید برق مبتنی بر سوخت‌های فسیلی و مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر امکان پذیر است [۳۷ و ۳۸]. شکل ۱-۲ تقسیم‌بندی فن‌آوری‌های تولید پراکنده را نشان می‌دهد [۳۹].

---

<sup>1</sup> Institute of Electrical and Electronics Engineers



شکل ۲-۱ تقسیم بندی فناوری‌های تولید پراکنده

### ۲\_۳\_۱\_ اهداف استفاده از تولیدات پراکنده

هزاره جدید با نوآوری‌های مختلف آغاز شده است و توسط تکامل سریع تکنولوژی‌ها در بخش انرژی هدایت می‌شود. بهبود وضعیت اقتصادی انرژی، انگیزه زیادی برای توسعه سیستم‌های انرژی نوین، وضع قوانین تشویقی مرتبط با تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر و حمایت بیشتر از طرح‌های سازگار با محیط‌زیست، تحول در بازارهای برق و ضرورت بهبود امنیت تامین انرژی به منظور کاهش آسیب پذیری سیستم انرژی نوین ایجاد نموده است [۹ و ۴۰ و ۴۱]. بدون شک، برای مقابله با تهدیدات تغییرات آب و هوایی، تعهداتی بین چندین کشور در پروتکل کیوتو مبنی بر تحت فشار قرار دادن محرک‌های کلیدی در جهت تغییرات در بخش انرژی صورت گرفته است. جامعه علمی با رویکردهای گسترده و با در نظر گرفتن محاسبات فنی، زیست محیطی و مسائل اقتصادی و اجتماعی به این مسائل رسیدگی می‌کند. در مورد تولید برق محلی، به طور خاص، پیشرفت‌های قابل توجهی را بر طبق الگوی منابع انرژی پراکنده شاهد هستیم، جنبه‌های مختلف از نقطه نظر تولید انرژی غیر متمرکز به مفهوم تولید پراکنده توجه دارد [۹].

تغییرات مداوم به میزان قابل توجهی بر روی نقش و بهره‌برداری از زیر ساخت‌های سیستم‌های الکتریکی تاثیر گذار است. در این راستا، تعدادی از تکنولوژی‌های نوآورانه تولید پراکنده با ارائه راه‌حل‌های در دسترس برای مصرف کنندگان به مرحله تجاری رسیده‌اند. به طور خاص، در بین راهکارهای مختلف تولید نیرو در اندازه‌های کوچک (زیر 1MW) موفقیت تجاری با موتورهای احتراق داخلی ( $ICE^1$ ) و میکروتوربین‌ها ( $MT^2$ ) همراه بوده است که تا حد زیادی به علت بهبود بازده انرژی حاصل از تولید همزمان برق و حرارت برای جبران تقاضای حامل‌های انرژی مشابه، می‌باشد. علاوه بر این، پیل‌های سوختی ( $FC^3$ ) به عنوان جایگزین محتمل در آینده محسوب می‌شود. افزون بر این بازده الکتریکی بالقوه بالایی دارند و همچنین در ترکیب با توربین برای راه‌اندازی سیکل‌های ترکیبی یا هیبرید مناسب است. تولید همزمان گرما و قدرت در بسیاری موارد دارای پتانسیل بالایی در صرفه‌جویی انرژی با توجه به تولیدات مجزا می‌باشد. مولدهای پراکنده تجدیدپذیر نیز با کاهش آلودگی برای تأمین برق مناسب می‌باشند [۴۲ و ۴۳].

تجاری کردن تکنولوژی‌های تولید قدرت محلی مانند میکروتوربین‌ها، موتورهای احتراق داخلی و پیل‌های سوختی که همزمان با تولید نیرو سودآوری را در بر خواهند داشت در مقیاس کوچکتر از گرمایش مرکزی کلاسیک یا کاربردهای صنعتی راه‌اندازی می‌شوند. همزمان با اشاعه منابع تولید الکتریسیته غیرمتمرکز، تکنولوژی‌های جدیدی برای تولید توان سرمایه‌گذاری در سراسر جهان توسعه یافته‌اند و بازده سنتی آن‌ها در حال بهبود است، که در درجه اول به علت تغییر در تقاضای تهویه مطبوع، بازار تجهیزات خنک کننده گسترش یافته است. علاوه بر این قیمت‌های انرژی (برق، نفت و گاز طبیعی) در برخی کشورها به خاطر دلایلی مانند عملکرد نامناسب بازارهای انرژی و اثرات متقابل سیاسی با کشورهای دارای سهام منابع سوخت‌هایی فسیلی، سربه فلک کشیده است. علاوه بر این بارهای سرمایه‌گذاری در زمانی که نرخ برق بالا می‌باشد (در ساعت پیک) عمدتاً مورد نیاز هستند. در این

---

<sup>1</sup> Internal Combustion Engine

<sup>2</sup> Microturbine

<sup>3</sup> Fuel Cell

رابطه بارهای سرمایشی بالا به پیک بار الکتریکی و تراکم (یا تجمع) شبکه ثانویه و رویداد شکست در سیستم‌های قدرت مختلف در سراسر جهان کمک می‌کنند. آگاهی دادن به دولت‌ها، کارخانه‌ها و جوامع در رابطه با انرژی و انتشارات محیطی، جستجو برای تجهیزات اقتصادی و کارآمد برای تولید انرژی را الزامی کرده است [۹].

در واقع تغذیه فناوری‌های مختلف با سوخت‌های مختلف برای تولید حامل‌های مختلف انرژی، پیدایش گزینه‌ای متفاوت برای طراحی و برنامه‌ریزی موثرتر سیستم‌های انرژی مختلف را بیان می‌کند. بهره‌برداری از تولیدات الکتریکی سبک از منابع تجدیدپذیر مانند باد یا خورشید، می‌تواند مفید واقع شود. از این‌رو، مزایای احتمالی حاصل از تولیدات ترکیبی چند حامل انرژی (مانند الکتریسیته، گرمایش، سرمایش، هیدروژن و سایر محصولات شیمیایی) مسیر را برای سناریوهای آینده که به راه‌حل توسعه تولیدات چندگانه توجه دارند، هموار می‌کند. تمام جوانب فوق، منجر به تغییرات قابل توجهی در چشم انداز جهانی بخش انرژی می‌شود و مستلزم پی‌ریزی چارچوب جامع تجزیه و تحلیل می‌باشد [۳۴ و ۴۲]. به طور خاص، به تازگی مقالات علمی به بررسی تولیدات محلی انرژی با استفاده از دیدگاه‌ها و روش‌های مختلف پرداخته‌اند. در جوامع علمی چند چارچوب مشخص مطابق با منابع انرژی، سیستم‌های قدرت، اثرات زیست محیطی و تحلیل‌های مالی و اقتصادی و غیره فرموله شده‌اند. با این حال در حال حاضر ارتباطات بین مسائل مرتبط با انرژی آنقدر محدود است که دیدگاه میان رشته‌ای برای پل زدن بین دیدگاه‌های مختلف ضروری است. بررسی مجلات علمی منتشر شده مربوطه در سال‌های 2001-2007 نشان می‌دهد بخش اعظمی از مقالات منتشر شده به تولید همزمان مربوط است. با این حال، تعدادی از مقالات پژوهشی با مفاهیم تولیدات چندگانه در ارتباط هستند و کاربردهای آن‌ها به تازگی گسترده شده است. تاکنون بررسی‌های متعددی با تمرکز بر مدل‌های جامع انرژی، رویکردهای مقیاس بزرگ و روش‌های غیرمتمرکز در طرح‌های انرژی، تکنیک‌هایی برای تولید همزمان برق و حرارت و برودت و چارچوب‌های مشخص برای تکمیل سیستم‌های الکتریکی به شکل سیستم‌های الکتریکی تولید پراکنده صورت گرفته است [۴۴].

بطور کلی هدف از استفاده از منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع، تأمین تمام یا قسمتی از توان مصرفی شبکه بصورت تمام وقت یا پاره وقت می‌باشد.

## ۲\_۳\_۲\_ علل رویکرد به منابع تولید پراکنده در ایران

دلایل زیر کاربرد تولید پراکنده و تولید همزمان را در کشور ما برای مصارف معمولی و عمومی توجیه می‌کند:

- کاربرد واحدهای کوچک توسط مصرف کنندگان، صنعت برق را عملاً بتدریج خصوصی می‌کند و این خصوصی‌سازی از اهداف دولت و وزارت نیرو می‌باشد و از سرمایه گذاری ملی در زمینه تولید می‌کاهد.
- نصب تولید پراکنده در پایدار نگه داشتن ولتاژ، اصلاح قدرت راکتیو، تزریق قدرت اکتیو و حفظ فرکانس و نهایتاً بهبود کیفیت برق شبکه تأثیر مثبت دارد.
- آزادسازی تجهیزات فراوانی که به دلیل مصرف پیک شبکه الزاماً اضافه نصب شده و بعضاً چندین برابر مصرف اوقات عادی شبکه سرمایه‌گذاری شده است.
- نصب تولید پراکنده در محل‌های مصرف، جابه‌جایی انرژی الکتریکی را در کل شبکه متناسب با قدرت نصب شده کاهش می‌دهد در نتیجه تعویض هادی‌ها کابل‌ها و سایر تجهیزات خصوصاً در شبکه توزیع کاهش می‌یابد.

## ۲\_۳\_۲\_ مزایای استفاده از تولید پراکنده

بکارگیری تولیدات پراکنده در سیستم توزیع مزایای زیست محیطی، اقتصادی و فنی بسیار زیادی را به دنبال دارد. برای رسیدن به این مزایا تولیدات پراکنده باید دارای اندازه مناسب بوده و در مکان‌های مناسب نصب شوند. بطور کلی استفاده از نیروگاه‌های با تولید پراکنده در شبکه قدرت، مزایای زیر را به همراه دارد:

- کاهش نیاز به افزایش ظرفیت برق شبکه
- تولید برق با کیفیت بالا و امکان استفاده از گرمای حاصل به صورت همزمان
- صرفه جویی زیاد در مصرف انرژی
- امکان استفاده از منابع انرژی اولیه متنوع مانند بیوگاز، گاز طبیعی و...
- صرفه جویی اقتصادی برای مصرف کننده نهایی
- افزایش امنیت تأمین انرژی برای مصرف کننده نهایی
- انتشار کمتر آلاینده‌های زیست محیطی

## ۲-۳-۴\_ معرفی انواع تولید پراکنده

تولید پراکنده می تواند از دو گونه منبع انرژی معمول و تجدیدپذیر انجام شود که البته لزوم توجه به مسائل زیست محیطی و تلاش برای کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای، انرژی‌های تجدیدپذیر را در مرتبه بالاتری از اهمیت و توجه قرار داده است. جدول ۲-۱ انواع مولدهای تولید پراکنده <sup>1</sup>DG را همراه با محدوده توان تولیدی نشان می‌دهد [۴۵و۸] که در ادامه به معرفی برخی از سیستم‌ها پرداخته شده است.

جدول ۲-۱ انواع مولدهای DG

تکنولوژی	محدوده ظرفیت نمونه
خورشیدی، فتوولتائیک	چند وات تا چند صد کیلووات
باد	چند صد وات تا چند مگاوات
زمین گرمایی	چند صد کیلووات تا چند مگاوات
اقیانوس	چند صد کیلووات تا چند مگاوات
موتور احتراق داخلی	چند صد کیلووات تا چند ده مگاوات
سیکل ترکیبی	چند ده مگاوات تا چند صد مگاوات
توربین احتراقی	چند مگاوات تا چند صد مگاوات
میکروتوربین	چند ده کیلووات تا چند مگاوات
پیل سوختی	چند ده کیلووات تا چند ده مگاوات

<sup>1</sup> Distributed Generation

## ۲\_۳\_۵\_ تکنولوژی پیل سوختی

پیل سوختی یک سیستم الکتروشیمیایی است که انرژی شیمیایی سوخت را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. در آند پیل سوختی هیدروژنی، واکنش اکسیداسیون انجام می‌گردد و الکترون تولید شده وارد مدار خارجی شده و سپس به کاتد وارد می‌شود. یون مثبت تولیدی در آند با عبور از الکترولیت به قسمت کاتد رفته و در حضور کاتالیزور با اکسیژن هوا و الکترونی که از مدار خارجی به قسمت کاتد وارد شده است به آب تبدیل می‌گردد.

اگر چه پیل سوختی به تازگی به عنوان یکی از راهکارهای تولید انرژی الکتریکی مطرح شده است ولی تاریخچه آن به قرن نوزدهم و کار دانشمند انگلیسی سرویلیام گرو بر می‌گردد. او اولین پیل سوختی را در سال ۱۸۳۹ با سرمشق گرفتن از واکنش الکترولیز آب، طی واکنش معکوس و در حضور کاتالیزت پلاتین ساخت.

پیل‌های سوختی به دلیل برخورداری از دانش فنی پیشرفته در تولید الکتروسیته، علاوه بر کاهش اثرات گلخانه‌ای و عدم ایجاد آلودگی صوتی (بواسطه نداشتن قطعات مکانیکی موتوری)، به دلیل حذف چرخه کارنو، بازدهی بسیار بالایی نسبت به ماشین های احتراقی درون سوز دارند. تفاوت اساسی میان پیل‌های سوختی و باتری‌ها در طبیعت پیوسته ذخیره انرژی است. در یک باتری، سوخت و ماده اکسیدکننده با یکدیگر در یک مجموعه قرار گرفته‌اند، به گونه‌ای که هرگاه واکنش‌گرها مصرف شوند باتری باید تعویض یا در صورت امکان مجدداً پر شود در حالی که در یک پیل سوختی این واکنش‌ها پیوسته انجام می‌شوند. در پیل‌های سوختی از سوخت‌های گازی یا مایع استفاده می‌شود از قبیل هیدروژن، هیدروکربن‌ها و گاز زغال، ماده اکسید کننده اکسیژن و یا هوا می‌باشد [۴۶]. هیدروژن به عنوان سوخت سالم و تجدیدپذیر و پیل‌های سوختی به عنوان مبدل‌های انرژی الکتروشیمیایی به الکتروسیته که موجبات عدم آلودگی زیست محیطی را فراهم می‌سازند، نامزدهای خوبی برای بکارگیری در مقیاس کلان در دهه آتی هستند. هیدروژن سبکترین عنصر و گاز موجود در طبیعت به عنوان حامل انرژی سالم، که در قرن آتی جهت جایگزینی

## فصل دوم : بیان وضعیت مطلوب

بخشی از سوخت‌های فسیلی مورد بهره‌برداری قرار خواهد گرفت، مورد پذیرش صاحب‌نظران انرژی قرار گرفته است. مزایای استفاده از هیدروژن به عنوان حامل انرژی به شرح زیر است [۴۷]:

- هیدروژن دارای بازدهی بالا در مقایسه با سایر سوخت‌های مرسوم است.
  - حمل هیدروژن به راحتی امکان پذیر است.
  - ذخیره سازی و استفاده مجدد از آن به سادگی انجام پذیر است.
  - در کاربردهای مختلف انعطاف پذیری دارد.
  - آلودگی زیست محیطی ایجاد نمی‌کند و محصول سوختن آن با هوا، آب است که قابل استفاده می‌باشد.
  - مهمترین و موثرترین سوخت شیمیائی برای پیل سوختی است.
- در قرن آتی، پیل‌های سوختی به عنوان تکنولوژی انرژی سازگار با محیط زیست، به ویژه به صورت نیروگاه‌های پخش و یا محلی جهت تولید برق، کاربرد وسیعی را پیدا خواهند نمود. حجم فعالیت و سرمایه‌گذاری کلان در کشورهای صنعتی بر توسعه صنعت پیل سوختی، وضع قوانین سخت زیست محیطی، تخصیص یارانه برای انرژی‌های نو و سرعت بخشیدن به ایجاد زیرساخت‌های سوخت هیدروژن و متانول، پایان‌پذیری منابع نفتی، افزایش دمای کره زمین و رشد جمعیت همگی دال بر حتمی بودن جایگزینی فناوری پیل سوختی و کاهش گرایش به سمت موتورهای درون سوز است. بسیاری از سازندگان نیروگاه‌ها، سیستم پیل سوختی را جهت نصب در نیروگاه‌های آینده برنامه‌ریزی کرده‌اند [۴۸]. پیل سوختی در آینده نزدیک منبع تأمین نیرو برای مناطق حساسی نظیر بانک‌ها، مراکز معاملات سهام، بیمارستان‌ها و مراکز سیستم‌های کامپیوتری خواهد بود و بعنوان پشتیبان برای شبکه‌های محلی بکار برده خواهد شد [۴۶ و ۴۸]. مانع اصلی برای اقتصاد و صرفه جویی در هیدروژن، تجاری شدن کند پیل‌های سوختی می‌باشد. برای تولید هیدروژن و انتقال آن، مشکل اصلی هزینه هاست که باید کاهش یابد [۴۷ و ۴۹].



## ۲\_۳\_۶\_ تکنولوژی خورشیدی

خورشید، گوی غول‌پیکر درخشانی در وسط منظومه شمسی و تامین کننده نور، گرما و انرژی‌های دیگر زمین است. تقریباً تمامی منابع انرژی روی زمین بوسیله خورشید تامین می‌گردد. کاربرد انرژی خورشیدی به قرن هفتم قبل از میلاد مسیح باز می‌گردد که مردمان باستان از ذره بین برای تمرکز نور خورشید جهت روشن نمودن آتش استفاده می‌کردند. در سال ۱۷۶۷ میلادی، دانشمندی سوئیسی اولین کلکتور خورشیدی را ساخت. در سال ۱۸۳۹ میلادی، ادmond بکرل دانشمند فرانسوی اثر فتوولتائیک را کشف نمود، او هنگام کار با پیل الکترولیز که با دو الکتروود فلزی در محلول الکترولیت خود بود به این نتیجه رسید که وقتی در معرض نور خورشید قرار می‌گیرد میزان تولید برق افزایش می‌یابد. سال ۱۸۹۱ میلادی، اولین آب گرمکن خورشیدی توسط کلارنس آمریکایی ثبت اختراع گردید. سال ۲۰۰۸ میلادی، بزرگترین پارک خورشیدی در آلمان بوسیله سیستم‌های تین فیلم راه اندازی گردید [۴۸].

ایران با صحراهای وسیع در کمربند خورشیدی واقع شده است و از جمله کشورهای است که با شدت تابش خورشیدی بالا و داشتن سالانه بیش از 300 روز آفتابی در مناطق جنوبی، موقعیت مناسبی جهت احداث نیروگاه های حرارتی خورشیدی دارد. پتانسیل تابش خورشیدی در ایران در شکل ۲-۲ نشان داده شده است [۴۸]. با توجه به شکل ۲-۲ مشاهده می‌شود متوسط تابش در ایران بین ۴,۵ تا ۵,۵ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز برآورد شده است.

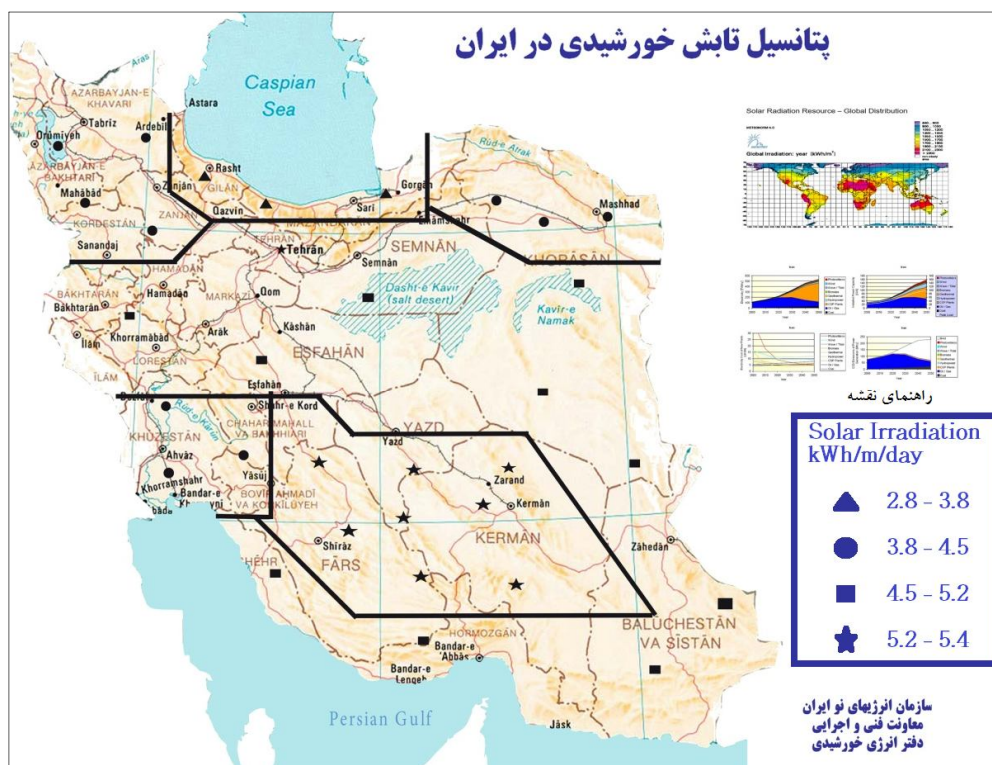
یکی از کاربردهای انرژی خورشیدی، استفاده از آن در سلول‌های فتوولتائیک<sup>۱</sup> به منظور تولید الکتریسیته می‌باشد. سلول فتوولتائیک نور خورشید را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. اصل مقدماتی در این تکنولوژی پدیده "فتوالکتریک" است که اولین بار توسط انیشتین مطرح گردید. "فتو" به معنای نور و "ولتائیک" به معنای الکتریسیته می‌باشد [۴۸]. عنصر اصلی در ساخت سلول‌های خورشیدی، نیمه هادی‌هایی مانند سیلیکون و گالیم آرسناید می‌باشد. اساس کار سلول‌های

<sup>1</sup> Photovoltaic cell

## فصل دوم : بیان وضعیت مطلوب

خورشیدی بر مبنای تئوری الکترون‌های مدارات اتم قابل توجیه است. مواد گوناگونی تاکنون در ساخت سلول‌های خورشیدی استفاده شده‌اند که بازده و هزینه‌های ساخت متفاوتی دارند. سلول‌های خورشیدی دارای انواع مختلفی هستند که در جدول ۲-۲ آورده شده است [۵۰].

این سلول‌ها باید طوری طراحی شوند که بتوانند طول موج‌های نور خورشید را که به سطح زمین می‌رسد با بازده بالا به انرژی مفید تبدیل کنند.



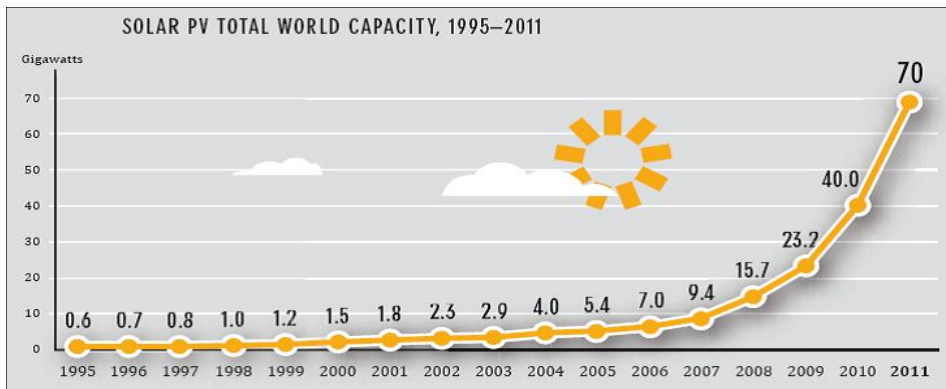
شکل ۲-۲ پتانسیل تابش خورشیدی در ایران [۴۸]

هزینه ساخت سیستم‌های فتوولتائیک در اوایل بسیار گران بود ولی به مرور زمان با استفاده از روش‌های تولید مناسب و بالا بردن بازدهی سیستم‌های برق خورشیدی و کاستن هزینه‌های تولید و نیز افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی این سیستم‌ها توانستند هر چه بیشتر جایگاه خود را بین دیگر صور تامین انرژی در دنیا بگشایند و امروز به صورت گسترده در کشورهای اروپای غربی، آمریکای لاتین و صحرای قاره آفریقا و آسیا (خاورمیانه) و دیگر صحرای جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴۵].

جدول ۲-۲ انواع سلول‌های خورشیدی

جنس سلول خورشیدی	ضخامت (mm)	بازده (%)	رنگ
سیلیسیم تک بلوری	۰,۳	۱۵-۱۸	آبی تیره، مشکی با پوشش خاکستری
سیلیسیم چند بلوری	۰,۳	۱۳-۱۵	آبی تیره، خاکستری نقره‌ای
سیلیسیم بی‌شکل	۳ الی ۰,۰۰۱+۱	۵-۸	قرمز-آبی، مشکی
تولید کادمیم (CdTe)	۰,۰۰۸ +۳	۶-۹	سبز تیره، مشکی
دی سلنید ینوم مس (CIS)	۰,۰۰۳ +۳	۵,۵-۹,۵	مشکی
سیلیسیوم هیبرید	۰,۰۲	۱۸	آبی تیره، مشکی

آمار جهانی ظرفیت‌های فتوولتائیک تا سال ۲۰۱۱ در شکل ۲-۳ نشان داده شده است [۴۸]. ظرفیت عملیاتی سیستم‌های فتوولتائیک تا آخر سال ۲۰۱۱ در حدود ۱۰ برابر میزان کل نصب شده جهانی در ۵ سال قبل بوده است و بدین وسیله به طور متوسط نرخ رشد سالانه ۵۸ درصدی را در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ به ارمغان آورده است.

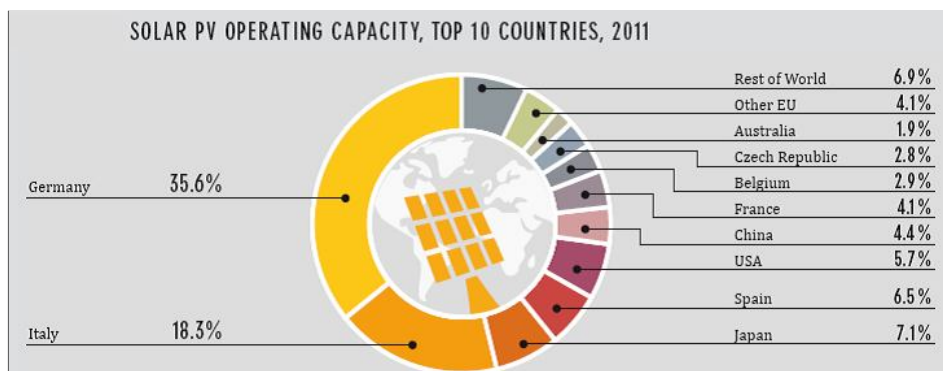


شکل ۲-۳ ظرفیت جهانی سیستم فتوولتائیک نصب شده [۴۸]

در شکل ۲-۴ سهم کشورهای مختلف در ظرفیت نصب شده سیستم‌های فتوولتائیک تا سال ۲۰۱۱ نشان داده شده است [۵۱]. مطابق شکل کشورهای پیشرو در بیشترین ظرفیت نصب شده تا انتهای سال ۲۰۱۱ آلمان، ایتالیا، ژاپن، اسپانیا و آمریکا بوده‌اند.

برخی از مزایای استفاده از سیستم‌های خورشیدی عبارتند از [۵۰]:

- انرژی خورشیدی تجدیدپذیر و نامحدود می‌باشد.



شکل ۲-۴ سهم کشورهای مختلف در ظرفیت نصب شده سیستم‌های فتولتائیک تا سال ۲۰۱۱ [۴۸]

- سیستم‌های فتولتائیک به راحتی با افزودن تعداد ماژول‌ها و باتری‌های ذخیره‌سازی انرژی قابل گسترش می‌باشند.
- تولید برق توسط فتولتائیک هیچگونه انتشار آلاینده زیست محیطی را در پی ندارد.
- خطر آتش سوزی در سیستم‌های فتولتائیک به مراتب کمتر از سایر سیستم‌ها می‌باشد.
- به کارگیری سلول‌های فتولتائیک برای تولید برق در مناطق دور افتاده بسیار مفید می‌باشد.
- سلول‌های فتولتائیک در کاربردهای خانگی، تجاری و صنعتی قابل نصب بر روی پشت بام‌ها می‌باشند از این رو فضاهای موجود اشغال نشده و برای سایر موارد به کار می‌روند.
- برخی از معایب استفاده از این سیستم‌ها عبارتند از [۵۰]:
- هزینه تولید برق توسط سلول‌های فتولتائیک بیشتر از هزینه تولیدی برق ناشی از سوخت‌های فسیلی می‌باشد. (لازم به توضیح است که با افزایش تولید سلول‌های فتولتائیک می‌توان هزینه‌ها را کاهش داد).
- برق تولیدی از انرژی خورشیدی غیرقابل اعتماد بوده و همواره در دسترس نمی‌باشد و میزان تولیدات به شرایطی نظیر حالت وضعی خورشید، شرایط اتمسفر، ابری بودن و... بستگی دارد.
- هزینه‌های اولیه نصب سیستم‌های فتولتائیک زیاد است.
- به منظور استفاده از انرژی خورشیدی در شب باید از باتری برای ذخیره سازی انرژی استفاده گردد.

- برای مصارف زیاد الکتریسیته، نیاز به مساحت زیادی برای نصب سلول‌های فتوولتائیک می‌باشد.
- تابش خورشید سبب بالا رفتن دمای مدول فتوولتائیک و در نتیجه کاهش بازده الکتریکی می‌شود [۶].

## ۲\_۳\_۷\_ تکنولوژی بادی

اختلاف حرارت حاصل از تابش خورشید در جو زمین باعث حرکت هوا می‌شود. این حرکت هوا را باد و انرژی حاصل از آن، انرژی باد نامیده می‌شود [۵۴]. باد به عنوان یکی از قدیمی‌ترین منابع انرژی، از دیرباز مورد توجه و کاربرد انسان بوده است. استفاده مستقیم از باد به صورت خشک کردن و تهویه و استفاده غیرمستقیم از آن به صورت تبدیل انرژی جریان باد به انواع مختلف انرژی جهت آرد کردن غلات، پمپاژ آب به مزارع و استفاده از آن در شبکه سراسری برق می‌باشد. طی سالیان دراز ثابت شده است که می‌توان انرژی باد را به صورت انرژی مکانیکی و یا الکتریکی مورد استفاده قرار داد [۳۸]. در سال ۱۸۹۱ میلادی فردی دانمارکی اولین سیستم بادی با پره‌های آیرودینامیکی را طراحی نمود و در بهترین برج آسیاب بادی به کار گرفت [۴۸].

توربین‌های بادی انرژی جنبشی باد را به توان مکانیکی تبدیل می‌نمایند و این توان مکانیکی از طریق شفت به ژنراتور انتقال پیدا کرده و در نهایت انرژی الکتریکی تولید می‌شود. توربین‌های بادی بر اساس یک اصل ساده کار می‌کنند. انرژی باد دو یا سه پره‌ای را که بدور روتور توربین بادی قرار گرفته اند را به چرخش در می‌آورد. روتور به یک شفت مرکزی متصل می‌باشد که با چرخش آن ژنراتور نیز به چرخش در آمده و الکتریسیته تولید می‌شود. توربین بادی از جمله مولدهای پاک می‌باشد که توسعه و استفاده از آنها جهت تامین بخشی از انرژی مورد نیاز، در دستور کار بسیاری از کشورهای جهان قرار گرفته است [۵۲]. توربین‌های بادی بسته به جهت محور توربین، به دو دسته‌ی توربین‌های افقی و عمودی تقسیم می‌شوند. همچنین بر اساس قدرت خروجی‌شان به دو

## فصل دوم : بیان وضعیت مطلوب

دسته‌ی توربین‌های بادی کوچک (چند وات) و توربین‌های بادی بزرگ (چند میلیون وات) تقسیم می‌شوند [۴۸ و ۵۱].

در ایران با توجه به وجود مناطق بادخیز، بستر مناسبی جهت گسترش بهره‌برداری از توربین‌های بادی فراهم می‌باشد. پتانسیل بادی قابل استحصال در کشور در حدود ۱۰۰ هزار مگاوات برآورد گردیده است.

ظرفیت نیروگاه‌های بادی نصب شده در ایران تا انتهای سال ۱۳۹۲ در جدول ۲-۳ آورده شده

است [۴۸].

جدول ۲-۳ ظرفیت نیروگاه‌های بادی نصب شده در ایران تا انتهای سال ۱۳۹۲

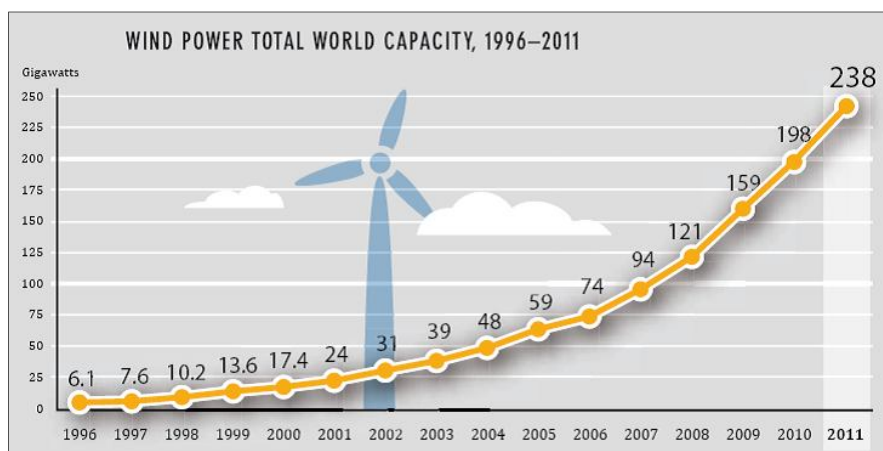
ردیف	نوع توربین	تعداد و ظرفیت نصب شده	مکان
۱	۳۰۰ کیلووات	۲۷ (۸۱۰۰ کیلووات)	سایت نیروگاهی منجیل
۲	۵۰۰ کیلووات	۲ (۱۰۰۰ کیلووات)	سایت نیروگاهی منجیل
۳	۵۵۰ کیلووات	۱۸ (۹۹۰۰ کیلووات)	سایت نیروگاهی منجیل
۴	۶۰۰ کیلووات	۱ (۶۰۰ کیلووات)	سایت نیروگاهی منجیل
۵	۶۶۰ کیلووات	۷۰ (۴۶۲۰۰ کیلووات)	سایت نیروگاهی منجیل
۶	۶۶۰ کیلووات	۹ (۵۹۴۰ کیلووات)	سایت نیروگاهی منجیل
۷	۶۶۰ کیلووات	۴۳ (۲۸۳۸۰ کیلووات)	سایت نیروگاهی بینالود
۸	۶۶۰ کیلووات	۱ (۶۶۰ کیلووات)	زابل سیستان
۹	۶۶۰ کیلووات	۱ (۶۶۰ کیلووات)	باباکوهی شیراز
۱۰	۶۶۰ کیلووات	۳ (۱۹۸۰ کیلووات)	عون ابن علی تبریز
۱۱	۶۶۰ کیلووات	۱ (۶۶۰ کیلووات)	سرعین (اردبیل)
۱۲	۶۶۰ کیلووات	۱ (۶۶۰ کیلووات)	اصفهان
۱۳	۶۶۰ کیلووات	۱ (۶۶۰ کیلووات)	ماهشهر
۱۴	۱,۵ مگاوات	۱ (۱,۵ مگاوات)	خواف (خراسان رضوی)
۱۵	۲,۵ مگاوات	۱ (۲,۵ مگاوات)	خواف (خراسان رضوی)
		۱۰۹,۴	جمع کل ظرفیت به مگاوات

آمار جهانی ظرفیت‌های بادی در شکل ۲-۵ نشان داده شده است [۴۸]. در طول سال ۲۰۱۱،

در حدود ۴۰ گیگاوات ظرفیت انرژی بادی عملیاتی گردید و ظرفیت جهانی انرژی بادی را تقریباً ۲۰

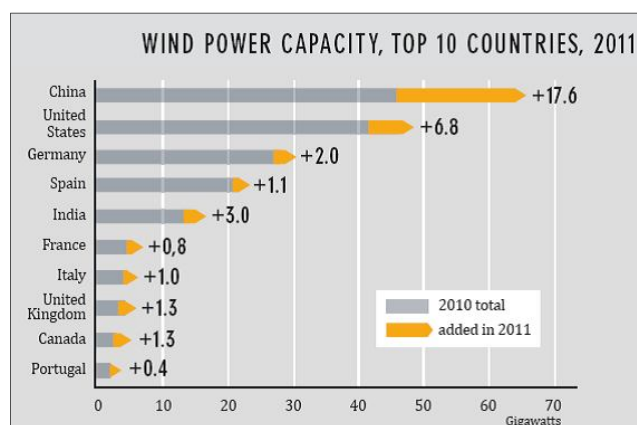
درصد افزایش داده و به میزان کل ۲۳۸ گیگاوات رسانیده است. این میزان افزایش ظرفیت در این سال

نسبت به دیگر تکنولوژی‌های تجدیدپذیر بیشتر بوده است. در شکل ۲-۶ سهم کشورهای مختلف در ظرفیت نصب شده سیستم‌های بادی تا سال ۲۰۱۱ نشان داده شده است [۴۸].



شکل ۲-۵ ظرفیت جهانی سیستم بادی نصب شده [۴۸]

مطابق شکل ۲-۶ کشورهای پیشرو در بیشترین ظرفیت نصب شده تا انتهای سال ۲۰۱۱ چین، آمریکا، آلمان، اسپانیا و هند بوده‌اند.



شکل ۲-۶ سهم کشورهای مختلف در ظرفیت نصب شده سیستم‌های بادی تا سال ۲۰۱۱ [۴۸]

برخی از مزایای استفاده از سیستم‌های بادی عبارتند از:

- انرژی باد از منابع انرژی تجدیدپذیر است که باعث می‌شود این انرژی به صورت پایان ناپذیر در اختیار بشر قرار داشته باشد.
- استفاده از انرژی‌های نو باعث کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و ذخیره ماندن آن‌ها برای

نسل‌های آینده می‌شود.

- انرژی باد، انرژی پاک است که هیچ خطری برای محیط زیست ندارد و بصورت رایگان در اختیار بشر قرار دارد.
  - توربین‌های بادی دارای قابلیت قدرت مانور بالا جهت بهره‌برداری در ظرفیت‌های مختلف تولید (از چند وات تا چندین مگاوات) با تغییر قطر روتور توربین آن‌ها را دارند.
  - پایین بودن هزینه برق تولیدی توسط توربین‌های بادی
  - عدم نیاز به آب و یا دیگر سیالات در پروسه تولید برق
  - ایجاد اشتغال و کارآفرینی
- برخی از معایب استفاده از این سیستم‌ها عبارتند از:
- وابستگی انرژی باد به شرایط جوی و محیطی
  - تغییرات انرژی باد در طول روز
  - صدای ایجادشده توسط پره‌های روتور و اثرات بصری

## ۲\_۳\_۸\_ تکنولوژی میکروتوربین

میکروتوربین‌ها در واقع توربین‌هایی با مقیاس بسیار کوچک و ساده می‌باشند. این توربین‌ها دارای ساختار و اندازه ساده‌ای بوده و به راحتی با استفاده از انواع سوخت‌ها می‌توانند به تولید انرژی الکتریکی با استفاده از ژنراتورهای ترکیب شده با خود پردازند. استفاده از توربین‌های گازی کوچک برای داشتن سیستم تولید انرژی قابل اعتماد، کم هزینه و همیشه در دسترس، گزینه بسیار مناسبی است. اکثر میکروتوربین‌ها تک مرحله‌ای بوده و از یک ژنراتور مغناطیس دائم سرعت بالا، برای تولید برق متناوب استفاده می‌کنند. همچنین به دلیل بالا بردن راندمان کلی سیستم و بهینه سازی انرژی می‌توان از گرمای حاصل از احتراق سوخت در این توربین‌ها نیز استفاده نمود. ویژگی‌های کلی میکروتوربین‌ها به شرح زیر است [۵۳]:



## فصل دوم : بیان وضعیت مطلوب

- گستره توان بین ۲۵ تا ۵۰۰ کیلووات است.
- از دیزل، پروپان، هیدروژن و گاز طبیعی به عنوان سوخت می‌توانند استفاده کنند.
- بازده الکتریکی آنها بین ۲۰ تا ۳۰ درصد است.
- سیستم میکروتوربین‌ها بر اساس مصرف و تولید انرژی شامل سه نوع می‌باشد:
- میکروتوربین‌های دارای رکوپراتور، به دلیل استفاده از گرمای خروجی آگروز توربین، دارای بازده بیشتری می‌باشند.
- میکروتوربین‌های بدون رکوپراتور (دارای سیکل ساده) دارای بازدهی کمتری هستند اما در مقابل دارای قیمت پایین‌تری نیز می‌باشند.
- میکروتوربین‌ها بر اساس سیستم‌های تولید همزمان *CHP*.
- مزایای استفاده از میکروتوربین‌ها به شرح زیر است:
- تعداد کم قطعات متحرک
- اندازه کوچک و وزن سبک
- بازدهی خوب در تولید همزمان
- آلاینده‌گی کم
- استفاده از سوخت‌های زائد
- فواصل طولانی تعمیرات
- عمل در فشارهای کم گاز
- همچنین معایب استفاده از میکروتوربین‌ها به شرح زیر است:
- هزینه سرمایه گذاری بالا
- بازده کم

## ۲\_۳\_۹\_ تولید همزمان

تولید همزمان برق و گرما یا به اختصار تولید همزمان، یکی از مهم‌ترین کاربردهای تولید پراکنده است. تولید همزمان برق و گرما، می‌تواند علاوه بر افزایش بازده و کاهش مصرف سوخت، باعث کاهش انتشار گازهای آلاینده نیز گردد. در تولید همزمان از انرژی گرمایی تولید شده در فرآیند تولید قدرت به عنوان منبع انرژی استفاده می‌شود.

کشورهایی نظیر فنلاند، استرالیا و سوئد تمام ظرفیت تولید نیروگاه‌های حرارتی خود را با روش تولید همزمان برق و حرارت استفاده می‌نمایند. همچنین کشورهای دانمارک، هلند، آلمان، روسیه، اتریش، ژاپن، انگلستان و آمریکا حداکثر ظرفیت تولید برق حرارتی خود را به استفاده از روش مذکور اختصاص داده‌اند و کشورهای کانادا، هندوستان، آفریقای جنوبی، ایرلند، کره جنوبی، مکزیک و یونان نیز به میزان قابل توجهی به این روش روی آورده‌اند [۲].

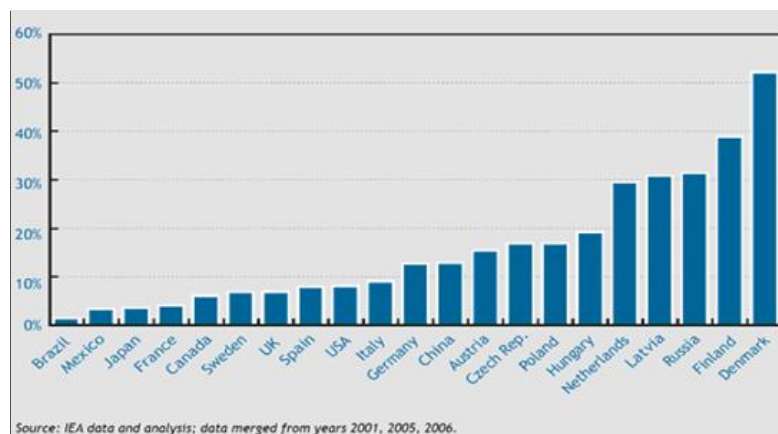
در روش‌های معمول برای تامین نیازهای الکتریکی و حرارتی، الکتریسته از شبکه توزیع سراسری و حرارت بوسیله سوزاندن سوخت در بویلرها و تجهیزات گرمازا به روش تولید جداگانه تامین می‌گردد. در این روش انرژی قابل توجهی به گونه‌ای متفاوت از طریق گازهای داغ خروجی دودکش، برج‌های خنک‌کن، کندانسورها، خنک‌کننده‌ها در موتورهای احتراق داخلی و همچنین تلفات توزیع و انتقال الکتریسته در شبکه سراسری به هدر می‌رود، که بیشتر این حرارت قابل بازیافت است و می‌تواند در تامین انرژی حرارتی مورد استفاده قرار گیرد. از طرفی الکتریسته تولیدی با این روش به صورت متمرکز (نیروگاهی) بوده و تلفات انرژی زیادی را در بردارد. در مقابل این سیستم‌های متمرکز، روش‌های تولید غیر متمرکز و مستقل با استفاده از فن‌آوری تولید همزمان برق و حرارت قرار دارد. از لحاظ ترمودینامیکی این روش به معنی تولید همزمان دو شکل معمول انرژی یعنی الکتریکی و حرارتی، با استفاده از یک منبع انرژی اولیه می‌باشد. انرژی گرمایی از بازیافت تلفات حرارتی این مولدهای مستقل بدست می‌آید و این حرارت در بخش‌های مختلف صنعتی، تجاری و مسکونی به کار گرفته می‌شود. از طرفی الکتریسته تولیدی توسط این فن‌آوری به

صورت محلی و مستقل و غیر متمرکز بوده که این دو ویژگی در کنار یکدیگر، کارآیی مولدهای تولید برق را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. کارآیی سیستم‌های معمول به روش متمرکز در حدود 27 تا 55 درصد می‌باشد که بیشترین کارآیی مربوط به نیروگاه‌های سیکل ترکیبی می‌باشد در حالی که با بهره‌گیری از فن‌آوری تولید همزمان برق و حرارت بصورت مستقل، کارآیی انرژی این مولدها به حدود 90 درصد نیز خواهد رسید، تا آن‌جا که دولت‌های اروپائی، امریکا و حتی در کشورهای آسیایی نظیر ژاپن سیاست‌ها و قوانینی را برای ترغیب به استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت وضع نموده‌اند. از مزایای سیستم‌های تولید همزمان می‌توان به حرکت به سوی خصوصی سازی و تولید غیر متمرکز و مستقل برق و حرارت، جلوگیری از تلفات توزیع و انتقال در شبکه سراسری، افزایش کارآیی تبدیل انرژی و استفاده از آن، کاهش مصرف سوخت و افزایش رقابت در تولید برق و توان نیروگاهی و کاهش آلاینده‌های زیست محیطی بخصوص دی‌اکسید کربن و گازهای گلخانه‌ای اشاره نمود. از مهمترین این سیستم‌ها می‌توان به توربین‌های گاز، موتورهای پیستونی و میکروتوربین‌ها که همگی مجهز به سیستم بازیافت حرارت هستند اشاره نمود [۴۰]. در شکل ۲-۷ سهم *CHP* از کل تولید برق کشورهای مهم جهان نشان داده شده است.

انگیزه‌های احداث واحدهای *CHP* با مروری بر تجربیات جهانی به شرح زیر می‌باشد [۲]:

- نیاز به تجدید ساختار در صنعت برق
- رشد سریع تکنولوژی و ظهور فن‌آوری‌های با راندمان بالا
- آلودگی هوا و محیط‌زیست ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی در تکنولوژی‌هایی که راندمان پایین داشته و آلودگی زیادی تولید می‌کردند.
- لزوم صرفه جویی در مصرف انرژی با توجه به رو به زوال بودن منابع سوخت فسیلی

فصل دوم : بیان وضعیت مطلوب



شکل ۲-۷ سهم *CHP* از کل تولید برق کشورهای مهم جهان [۲]



فصل سوم

تئوری‌ها و روابط حاکم



### ۳-۱- مقدمه

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 تجدیدپذیر (باد، خورشید، ژئوترمال، بیوماس و...) یا ترکیب آن‌ها به عنوان منبعی سازگار با محیط زیست 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 نرم افزار *HOMER* قابل شناسایی است.

### ۳-۲- سیستم هیبریدی

سیستم‌های انرژی هیبریدی شامل ترکیب دو یا تعداد بیشتری از تکنولوژی‌های تولید انرژی برای بدست آوردن بازده بالا نسبت به هر منبع تکی از انرژی می‌باشد. معمولاً منابع انرژی به دو دسته کنترل‌پذیر و کنترل‌ناپذیر دسته‌بندی می‌شوند. از منابع انرژی کنترل‌پذیر می‌توان به ذغال سنگ یا سوخت‌های فسیلی که تولید انرژی برق با تنظیم میزان آن قابل کنترل می‌باشد، اشاره نمود. در این دسته‌بندی، انرژی باد و خورشید از منابع انرژی کنترل‌ناپذیر محسوب می‌شوند به گونه‌ای که تولید انرژی از این منابع قابل پیش‌بینی نیست. به عبارت دیگر انرژی الکتریکی تولیدی خورشید و باد همیشه به صورت همزمان وجود ندارند. بنابراین در طراحی یک سیستم انرژی هیبریدی برای جلوگیری از کمبود انرژی و بهره‌برداری از توان خورشید یا باد در دسترس، بایستی از انرژی الکتریکی ذخیره شده (باتری) یا از منابع انرژی کنترل‌پذیر استفاده نمود. در این راستا استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی همچون نرم افزار *HOMER* می‌تواند در تخمین اولیه مولفه‌های نیروگاه‌های هیبریدی کمک شایانی ارائه دهد. این نرم افزار 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 محیط زیست کمترین اثر را داشته باشد را به عنوان بهترین مولفه انتخاب می‌کند [۵۴].

### ۳-۲-۱- نرم افزار HOMER

برای مدل‌سازی سیستم انرژی از نرم افزار HOMER استفاده شده است. نرم افزار HOMER، توسط لابراتوار ملی انرژی‌های تجدیدپذیر ایالات متحده NREL<sup>۱</sup> برای طراحی سیستم‌های تولید برق کوچک و کمک به مقایسه تکنولوژی‌های تولید برق گوناگون توسعه داده شده است [۷ و ۵۵]. نرم افزار HOMER، رفتار فیزیکی یک سیستم تولید برق، هزینه و طول عمر سیستم را برآورد می‌کند [۵]. این نرم افزار به مدل‌ساز اجازه می‌دهد که تعداد زیادی از طراحی‌های مختلف را بر اساس معیارهای فنی و اقتصادی بررسی نماید. همچنین این مدل کمک می‌کند تا آثار عدم قطعیت‌ها در داده‌ها و تغییرات در ورودی‌ها، توسط مدلساز شناخته شده و مورد بررسی قرار گیرند و بهترین گزینه از لحاظ فنی و اقتصادی انتخاب شود. از جمله توانمندی‌های این نرم افزار می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۵۶]:

- مدل‌سازی بارهای الکتریکی، حرارتی و هیدروژن
  - مدل‌سازی سلول‌های فتوولتائیک، توربین بادی، توربین آبی، تولید هیدروژن، ژنراتورهای مصرف کننده سوخت فسیلی
  - مدل‌سازی اتصال به شبکه برق در حالت‌های مختلف
  - تحلیل اقتصادی انواع تکنولوژی‌ها
  - تحلیل انتشار آلاینده‌ها از انواع تکنولوژی‌ها
- نرم افزار HOMER بر اساس منابع انرژی بصورت ماهیانه و بار ساعتی الکتریکی یا حرارتی، سیستم انرژی را با هر ترکیبی از توربین‌های بادی، آرایه‌های فتوولتائیک، قدرت بیوماس، ژنراتورهای موتور احتراق داخلی و باتری‌ها مدل کرده و بارهای الکتریکی و حرارتی سیستم را برآورده می‌کند. ورودی‌های نرم افزار شامل؛ اطلاعات منبع انرژی باد و خورشید، بارهای الکتریکی و حرارتی سیستم،

---

<sup>۱</sup> National Renewable Energy Laboratory

اندازه، هزینه و عمر تجهیزات سیستم قدرت و اطلاعات اقتصادی می‌باشد. الگوریتم نرم افزار HOMER هر ترکیب ممکن از منابع را در نظر گرفته و ترکیب‌های امکان‌پذیری که توانایی تأمین بار مورد نیاز را داشته و محدودیت‌های اعمال شده توسط طراح را برآورده می‌کنند، به عنوان خروجی، مشخص می‌کند [۲۰ و ۲۶]. در بهینه‌سازی بهترین ترکیب از میان آرایش‌های ممکن انتخاب می‌شود. بهترین ترکیب ممکن ترکیبی است که تمام قیود از پیش تعیین شده توسط بهره‌بردار را همراه با کمترین هزینه خالص نهایی تأمین کند. در HOMER تمام حالات ممکن شبیه‌سازی شده، سپس بر اساس کمترین هزینه خالص نهایی ( $NPV^1$ ) مرتب و در نهایت آرایش قابل تحقق با کمترین هزینه خالص نهایی، به عنوان آرایش بهینه معرفی می‌گردد.

### ۳-۲-۲- منبع انرژی خورشیدی و بادی

برای تحلیل اثر بخشی سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر، در نظر گرفتن منابع موجود مهم است. این منابع عمدتاً شامل باد و خورشید می‌باشد. ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی و قرارگرفتن در یک منطقه کم فشار نسبت به مناطق پرفشار شمال و شمال غرب در زمستان و تابستان در مسیر بادهای زیادی قراردارد. ایران در آسیا بین شرق و غرب و نواحی گرم جنوب و معتدل شمالی واقع شده و در مسیر جریان‌های عمده هوایی بین آسیا، اروپا، آفریقا، اقیانوس اطلس و اقیانوس هند است. همچنین ایران به دلیل قرارگرفتن در کمربند تابشی خورشید از پتانسیل بالایی در زمینه بهره‌برداری از این موهبت خدادادی برخوردار است. به طوری که در 90 درصد خاک ایران بیش از سیصد روز، آفتاب خیلی مؤثر وجود دارد. [۴۸ و ۵۷]

شهرستان شاهرود واقع در استان سمنان با طول و عرض جغرافیایی ۵۵ درجه غربی و ۳۶,۴ درجه شمالی است که در ارتفاع ۱۳۴۵ متری از سطح دریا قرار دارد. اطلاعات میانگین ماهانه سرعت باد و تابش خورشید، که توسط ماهواره‌های ناسا در بانک نرم افزار موجود است، در جدول ۳-۱ نشان

---

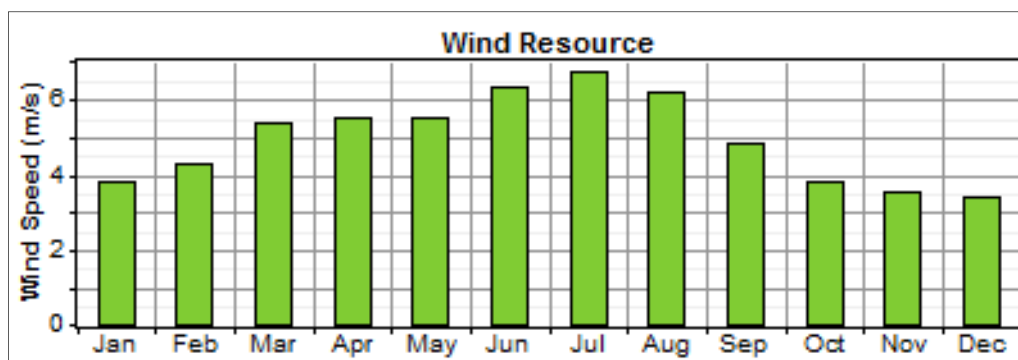
<sup>1</sup> Net Present Cost



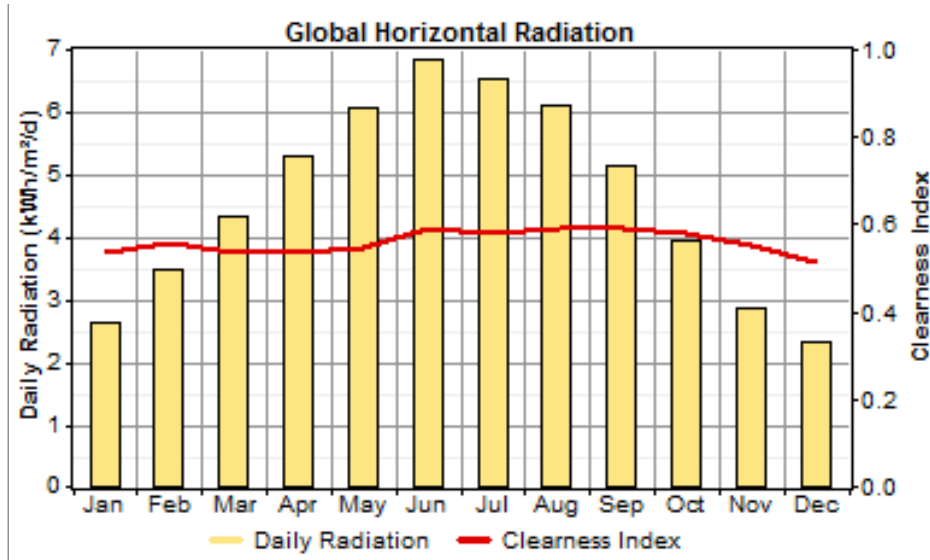
داده شده است. با توجه به جدول ۳-۱ سرعت متوسط سالیانه در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین 4.9 m/s و تابش متوسط نور خورشید سالیانه برابر با  $4.86 \text{ kWh/m}^2/\text{d}$  می‌باشد. شکل ۳-۱ نمودار سرعت ماهیانه و شکل ۳-۲ نمودار شدت تابش نور خورشید ماهیانه، برای دانشگاه شاهرود است، که جز ورودی‌های نرم افزار می‌باشد. بیشترین سرعت ماهیانه مربوط به ماه‌های مارس تا سپتامبر و بیشترین شدت تابش نور خورشید، مربوط به ماه‌های آوریل تا سپتامبر است.

جدول ۳-۱ اطلاعات ماهیانه سرعت باد، شدت تابش نور خورشید و دمای میانگین شهرستان شاهرود

ماه میلادی	میزان تابش خورشید ( $\text{kWh/m}^2/\text{d}$ )	سرعت باد (m/s)	دمای میانگین هوا (C)
ژانویه	۲,۳۹	۳,۸	۱,۱
فوریه	۳,۲۵	۴,۳	۳,۳
مارس	۴,۱۷	۵,۴	۸,۴
آوریل	۵,۳۳	۵,۵	۱۴,۵
می	۶,۴۲	۵,۵	۱۹,۶
ژوئن	۷,۴۴	۶,۳	۲۴,۲
جولای	۷,۳۱	۶,۷	۲۶,۷
اگوست	۷	۶,۲	۲۵,۵
سپتامبر	۵,۶۷	۴,۸	۲۱,۶
اکتبر	۴,۱۷	۳,۸	۱۵,۲
نوامبر	۲,۸۹	۳,۵	۸,۹
دسامبر	۲,۲۲	۳,۴	۳,۳
متوسط سالیانه	۴,۸۶	۴,۹	۱۴,۴



شکل ۳-۱ نمودار سرعت ماهیانه باد



شکل ۳-۲ نمودار شدت تابش نور خورشید

### ۳-۲-۳ روابط اقتصادی حاکم بر نرم‌افزار HOMER

معیار ارزیابی برای تجزیه و تحلیل در نرم‌افزار HOMER، هزینه خالص نهایی (NPC)، عامل تجدیدپذیر (RF)<sup>۱</sup> و زمان بازگشت سرمایه است. نرم‌افزار HOMER با استفاده از معادله ۳-۱ هزینه خالص نهایی چرخه عمر سیستم را محاسبه می‌کند. هزینه خالص نهایی بیان‌کننده تمام هزینه‌هایی که در کل عمر پروژه به سیستم تحمیل می‌شود (این هزینه‌ها شامل: نصب، تعویض، سوخت، خرید برق از شبکه، و جریمه‌های ناشی از انتشار گازهای آلاینده می‌باشد) منهای درآمدهای سیستم (شامل درآمدهای حاصل از فروش برق به شبکه یا درآمد حاصل از فروش وسایل اسقاطی) می‌باشد. تمام هزینه‌ها و درآمدها با یک نرخ بهره‌ی ثابت در طول سال ارزیابی می‌شوند. در این ارزیابی جهت اثر دادن تورم در محاسبات، با محاسبه‌ی نرخ بهره‌ی واقعی ناشی از تورم و اثر تغییر نرخ بهره در هزینه‌ی خالص نهایی اعمال می‌شود. معادله ریاضی استفاده شده در HOMER برای تعیین NPC بصورت معادله ۳-۱ است [۷]:

$$NPC = AC/CRF \quad 1-3$$

<sup>1</sup> Renewable Fraction

فاکتور  $AC^1$  نشان دهنده مجموع هزینه‌های سالانه اجزای تشکیل دهنده سیستم است و فاکتور

$CRF^2$  نشاندهنده ضریب بازگشت سرمایه در طی  $N$  سال است.  $i$  نرخ بهره واقعی است. معادله ۲-۳

نشاندهنده ضریب بازگشت سرمایه است [۷]:

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad 2-3$$

نرخ بهره واقعی از رابطه ریاضی ۳-۴ قابل محاسبه است [۷]:

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad 3-3$$

فاکتور  $i'$  نشاندهنده نرخ بهره‌ای است که به وام تعلق می‌گیرد (بهره اسمی) و  $f$  نشاندهنده نرخ تورم می‌باشد.

فاکتور تنزیل،  $i$  نرخ‌های که منافع یا هزینه‌های آتی بر اساس آن تنزیل شده‌اند، را نشان می‌دهد. رابطه ریاضی ۳-۴ بیان کننده نرخ تنزیل می‌باشد [۷]:

$$F_d = \frac{1}{(1+i)^N} \quad 4-3$$

فاکتور  $F_d$  بیان کننده نرخ تنزیل،  $i$  نشاندهنده نرخ بهره واقعی و  $N$  نشاندهنده تعداد سال می‌باشد. در پایان عمر پروژه برای هر جز از سیستم قدرت، ارزشی در نظر گرفته شده است، که به آن هزینه اسقاطی<sup>۳</sup> گفته می‌شود.

دوره بازگشت سرمایه، مدت زمانی است که کل صرفه‌جویی‌های خالص قبل از استهلاک، برابر با هزینه سرمایه‌گذاری پروژه  $IC^4$  می‌شود. رابطه ریاضی استفاده شده در  $HOMER$  برای محاسبه بازگشت سرمایه در معادله ۳-۵ آورده شده است [۷]:

<sup>1</sup> Anuall Cost  
<sup>2</sup> Capital Recovery Factor  
<sup>3</sup> Salvage Cost  
<sup>4</sup> Initial Cost

$$-IC + \sum_{j=1}^p \frac{CF_j}{(1+i)^j} = 0 \quad 5-3$$

فاکتور  $CF_j^1$  نشان‌دهنده جریان نقدی خالص برای سال  $j$ ام می‌باشد.

بر اساس شبیه سازی *HOMER*، در طرح‌های تجدیدپذیر فاکتورهایی مثل *NPC*، زمان بازگشت سرمایه و فاکتور درصد تجدیدپذیری *RF* ارزیابی شده است. تاثیر مالیات بر کربن، نرخ خرید و نرخ فروش و ارزش اسقاطی بر روی *NPC* نیز بررسی شده است. البته در ایران، محدودیت برای انتشارات گازهای گلخانه‌ای  $GHE^2$  وجود ندارد، اما انتظار می‌رود در آینده نزدیک این قوانین اتخاذ شود [۷].

---

<sup>1</sup> Net Cash Flow for the Year, j

<sup>2</sup> Green House Emission



## فصل چهارم

توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر  
در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود



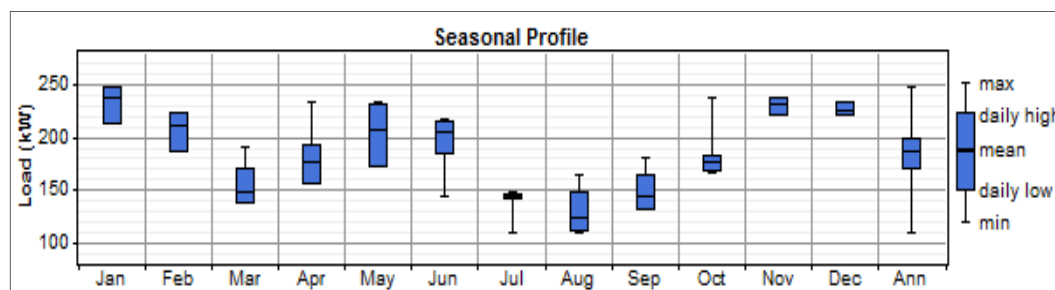
فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود

#### ۴\_۱\_ مقدمه

دانشگاه شاهرود، شامل بخش‌های اداری، آموزشی، فرهنگی، ورزشی و قسمت خوابگاه، کارگاه‌ها، مهمانسرا و آشپزخانه می‌باشد که مصرف کنندگان اصلی انرژی در دانشگاه بخش اداری، آموزشی، ورزشی؛ خوابگاه و آشپزخانه هستند. مصرف‌کنندگان انرژی دانشگاه به طور عمده انرژی را در بخش‌های روشنایی، گرمایش و سرمایش مصرف می‌کنند. برای تأمین نیازهای انرژی دانشگاه باید بار حرارتی و الکتریکی مدل‌سازی شده و مشخصات فنی و اقتصادی سیستم‌های قدرت تجدیدپذیر یا فسیلی به نرم‌افزار وارد شود.

#### ۴\_۲\_ بار حرارتی و الکتریکی دانشگاه

انرژی الکتریکی مصرفی دانشگاه با توجه به قبوض برق دانشگاه و تقسیم‌بندی ساعات مصرف به سه دسته؛ کم باری، میان باری و اوج بار، استخراج شده و به صورت ساعتی در هر روز از سال مشخص شده است. مصرف انرژی الکتریکی دانشگاه، ۴۴۴۵ کیلووات ساعت در روز، متوسط تقاضای بار ۱۸۵ کیلووات و حداکثر تقاضای بار ۲۴۶ کیلووات محاسبه شده است. در شکل ۴-۱ مصرف انرژی الکتریکی دانشگاه در دوازده ماه سال و در شکل ۴-۲ پروفیل مصرف بار الکتریکی روزانه برای یک روز خاص نشان داده شده است.

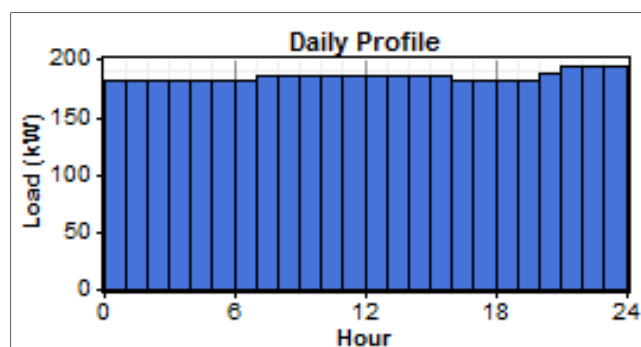


شکل ۴-۱ مصرف انرژی الکتریکی دانشگاه

با توجه به شکل ۴-۱ کمترین مصرف انرژی الکتریکی مربوط به ماه‌های مارس، جولای، آگوست و سپتامبر بوده است که دانشگاه تعطیل یا نیمه تعطیل می‌باشد. از شکل ۴-۲ نمایان است، بیشترین بار الکتریکی مربوط به ساعات ۷ تا ۱۷ (ساعات اداری و ساعات تشکیل کلاس‌ها) و ۲۰ تا

فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود

۲۴ (ساعت روشنایی خوابگاهها و معابر) بوده است.



شکل ۴-۲ پروفیل روزانه نوعی بار الکتریکی

مصرف گاز طبیعی برای تامین بار حرارتی دانشگاه از مهر ۱۳۸۹ تا مهر ۱۳۹۰، برابر با ۱۷۷۸۱۵۵ متر مکعب بوده که با استفاده از فاکتور تبدیل استاندارد نشان داده شده در جدول ۴-۱ و ارزشهای حرارتی ارائه شده در جدول ۴-۲ به kWh تبدیل شده و بار حرارتی دانشگاه بدست آمده است [۴۲].

جدول ۴-۱ فاکتورهای تبدیل انرژی

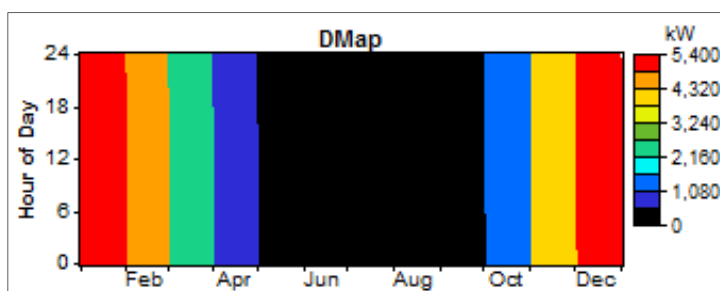
از	ضربدر فاکتور	به
Therm	29.306	kWh
MJ	0.2778	kWh
GJ	277.778	kWh

جدول ۴-۲ نمونه ارزش ناخالص حرارتی سوختها

نوع سوخت	نمونه ارزش ناخالص حرارتی
الکتریسیته	1 kWh
گاز طبیعی	1.01 Therms/100ft <sup>3</sup>
گازوئیل	38 MJ/Litre
مازوت سنگین	42 MJ/Litre
ذغال سنگ	27-30 GJ/Tonne
پروپان	92.6 GJ/m <sup>3</sup>
بوتان	49.3 GJ/m <sup>3</sup>

بار حرارتی دانشگاه، ۴۷۶۴۲ کیلووات ساعت در روز، متوسط تقاضای بار ۱۹۸۵ کیلووات و حداکثر تقاضای بار ۵۱۹۸ کیلووات محاسبه شده است. در شکل ۴-۳ بار حرارتی دانشگاه در دوازده

فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود  
 ماه سال نشان داده شده است.



شکل ۴-۳ بار حرارتی دانشگاه

با توجه به شکل ۴-۳ در ماه‌های می، ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر دانشگاه نیاز به گرمایش نداشته، لذا بار حرارتی دانشگاه نزدیک به صفر کیلووات ساعت برآورد شده است. بیشترین بار حرارتی مربوط به ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه بوده است، زیرا با توجه به جدول ۳-۱ در این سه ماه دمای شهرستان شاهرود نسبت به دیگر ماه‌ها کمترین مقدار را داراست.

#### ۴\_۳ پارامترهای فنی - اقتصادی سیستم‌های قدرت

در این تحلیل از توربین بادی با مدل S47-660 kW و ظرفیت تولید ۶۶۰ کیلووات استفاده شده است. پارامترهای فنی توربین باد در جدول ۴-۳ و منحنی قدرت توربین در شکل ۴-۴ نشان داده شده است [۵۷]. هزینه سرمایه‌گذاری<sup>۱</sup> هر واحد توربین باد ۶۶۰ کیلووات برابر با ۶۶۰۰۰۰ دلار، هزینه تعویض یا جایگزینی<sup>۲</sup> برابر با ۶۰۰۰۰۰ دلار و هزینه تعمیر و نگهداری<sup>۳</sup> برابر با ۶۶۰۰ دلار در سال (یک درصد از هزینه سرمایه‌گذاری) در نظر گرفته شده است [۵۸].

هزینه سرمایه‌گذاری آرایه فتوولتائیک به ازای هر وات برابر با ۱۰ دلار (هر کیلووات برابر با ۱۰۰۰۰ دلار)، هزینه تعویض برابر با ۱۰۰۰۰ دلار و هزینه تعمیر و نگهداری برابر با ۱۰ دلار در سال خواهد بود. طول عمر آرایه فتوولتائیک ۲۰ سال در نظر گرفته شده است [۷].

<sup>1</sup> Capital Cost  
<sup>2</sup> Replacement Cost  
<sup>3</sup> Operation and Maintenance cost



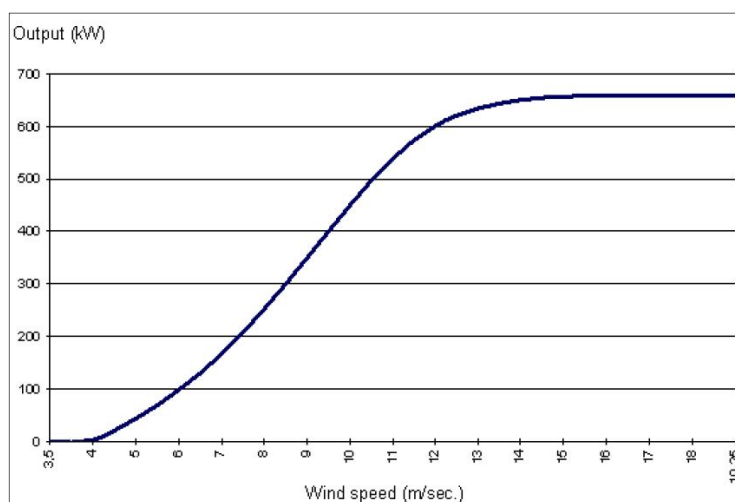
فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود

هزینه سرمایه‌گذاری کانورتر<sup>۱</sup> به ازای هر کیلووات معادل ۱۰۰۰ دلار، هزینه تعویض برابر با

۱۰۰۰ دلار و هزینه تعمیر و نگهداری برابر با صفر فرض شده است [۷].

جدول ۴ - ۳ پارامترهای فنی توربین باد

مقدار	پارامترهای فنی
۲۰ سال	عمر مفید توربین
۴۷ متر	قطر روتور
1735 m <sup>2</sup>	سطح جاروب شده
28.5 RPM	سرعت چرخشی روتور
22.9 m	طول پره
ساعتگرد از نمای روبه رو	جهت چرخش روتور
40 m	ارتفاع برج
آسنکرون - ۶۶۰ کیلووات - ۵۰ هرتز	نوع ژنراتور
1515-1650 RPM	دور ژنراتور
رو به باد	جهت قرار گیری توربین نسبت به باد
4 m/s	حداقل سرعت باد برای تولید برق
15 m/s	سرعت باد برای ایجاد توان نامی
25 m/s	حداکثر سرعت مجاز باد برای تولید توان



شکل ۴ - ۴ منحنی قدرت توربین باد

میکروتوربین گازی انتخابی به یک سیستم تولید همزمان متصل است که بازده سیستم CHP

<sup>۱</sup> Converter

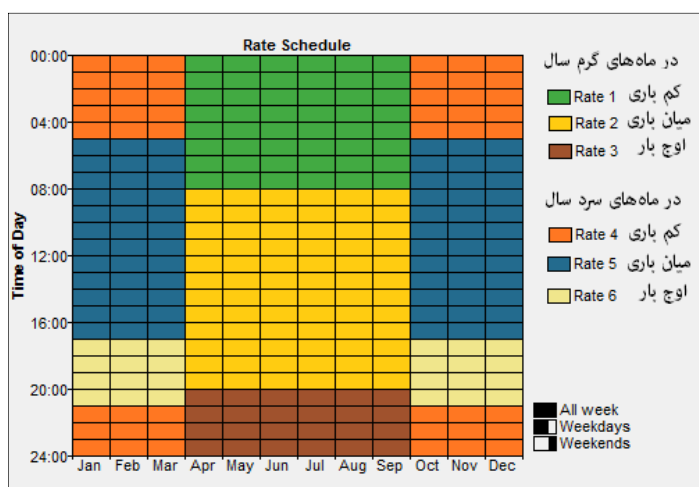
فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود

برابر با ۷۵ درصد در نظر گرفته شده است. هزینه سرمایه‌گذاری آن به ازای هر کیلووات برابر با ۶۵۰ دلار، هزینه تعویض به ازای هر کیلووات برابر با ۴۵۰ دلار و هزینه تعمیر و نگهداری به ازای هر کیلووات در هر ساعت برابر ۰,۰۱ دلار در نظر گرفته شده است. ساعات عملیاتی در نظر گرفته شده برای میکروتوربین ۴۵۰۰۰ ساعت می‌باشد [۵۳].

نرخ برق خریداری شده از شبکه بر اساس تقسیم بندی ساعات کم باری، میان باری و اوج بار و با توجه به اینکه دیماندر خریداری شده از شبکه ۱۶۴۰ کیلووات است (بیش از ۳۰ کیلووات) و مصرف کننده آن دانشگاه می‌باشد، از سایت شرکت توانیر قابل تعیین است [۵۹].

همچنین فرض شده است برق تولیدی از نیروگاه تجدیدپذیر ۱۹۰۰ ریال خریداری شود. در جدول ۴-۴ نرخ خرید برق از شبکه و نرخ فروش برق فسیلی آورده شده است. همچنین تقسیم بندی ساعات کم باری، میان باری و اوج بار در فصل‌های گرم و سرد برای تعیین تعرفه برق، متفاوت است (در ماه‌های گرم سال، به تعرفه برق ۲۰٪ اضافه خواهد شد) که در شکل ۴-۵ نشان داده شده است.

نرخ گاز خریداری شده توسط دانشگاه برای تأمین بار حرارتی ۱۰۰۰ ریال به ازای هر مترمکعب و نرخ گاز خریداری شده برای مصارف میکروتوربین (نیروگاه خصوصی) ۷۰۰ ریال در نظر گرفته شده است. همچنین قیمت هر دلار برابر با ۲۰۰۰۰ ریال، نرخ بهره واقعی ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است.



شکل ۴-۵ تقسیم بندی ساعات کم باری، میان باری و اوج بار الکتریکی در ماه‌های مختلف سال

جدول ۴ - ۴ نرخ خرید برق از شبکه و فروش برق به شبکه

قیمت خرید و فروش برق به شبکه ساعات مصرف	قیمت خرید و فروش برق به شبکه (\$/kWh)	قیمت‌دیماند خرید برق از شبکه (\$/kW/month)	قیمت فروش برق فسیلی به بیمارستان (\$/kWh)	قیمت فروش برق فسیلی به مشترک بالای ۳۰ کیلووات (\$/kWh)
ساعات کم باری	۰,۰۰۴۷	۶	۰,۰۰۸۵	۰,۰۲۷۵
ساعات میان باری	۰,۰۰۹۵	۶	۰,۰۱۷	۰,۰۵۵
ساعات اوج بار	۰,۰۱۹	۶	۰,۰۳۴	۰,۱۱

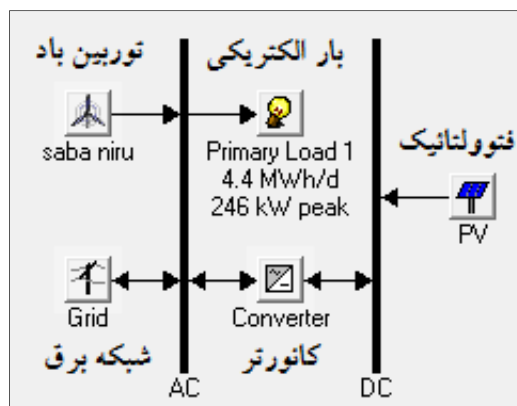
#### ۴-۴\_ ارزیابی سیستم‌های قدرت بادی و خورشیدی بصورت مجزا و هیبریدی

امروزه سیستم‌های ترکیبی فتوولتائیک و بادی در بسیاری از کاربردها مانند پمپاژ آب، روشنایی معابر، برق‌دار کردن مناطق دورافتاده و صعب‌العبور و تغذیه سیستم‌های مخابراتی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۹و۲۰ و ۲۵-۲۷]. سیستم ترکیبی فتوولتائیک و باد که گونه جدیدی در مبحث سیستم‌های انرژی ترکیبی تجدیدپذیر می‌باشد شامل آرایه‌های فتوولتائیک، توربین باد، باتری و مبدل می‌باشد. برای استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر خورشید و باد با توجه به راندمان و مسائل اقتصادی، طراحی یک سائزبندی بهینه بسیار مهم است. روش سائزبندی بهینه می‌تواند به دستیابی به کم‌ترین هزینه سرمایه‌گذاری به همراه استفاده کامل و منطقی از سیستم فتوولتائیک و باد کمک کند. بنابراین سیستم می‌تواند در شرایط بهینه با ساختار مناسب در دوره‌هایی از سرمایه‌گذاری و قابلیت اطمینان مورد نیاز بار مورد تقاضا کار کند. از جمله مشکلاتی که در تولید انرژی در یک نیروگاه تجدیدپذیر وجود دارد می‌توان به سریع و غیر قابل پیش‌بینی بودن تغییرات تولید انرژی و ناپدید شدن ناگهانی منبع تولید انرژی اشاره نمود. بنابراین در طراحی یک سیستم انرژی هیبریدی برای جلوگیری از کمبود انرژی و بهره‌برداری از توان خورشید یا باد در دسترس، بایستی از انرژی الکتریکی ذخیره شده (باتری) یا از منابع انرژی کنترل‌پذیر استفاده نمود.

سیستم قدرت برای تامین بار الکتریکی مشخص شده در بخش (۴-۲) نیازمند توربین باد، سلول فتوولتائیک و کانورتر می‌باشد. لازم به ذکر است سیستم موجود به شبکه سراسری برق متصل خواهد بود. شکل ۴-۶ اجزای سیستم تجدیدپذیر متصل به شبکه، که در نرم افزار HOMER مدل

فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود

شده است را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۶ اجزای سیستم تجدیدپذیر متصل به شبکه

#### ۴-۴-۱ بیان نتایج

پس از انجام تحلیل، نتایج در شکل ۴-۷ به صورت چهار طرح پیشنهادی به ترتیب از کم‌ترین

هزینه خالص نهایی به بیشترین هزینه خالص نهایی نشان داده شده است.

	PV (kW)	WES30	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
				1640	\$ 0	61,038	\$ 519,650	0.038	0.00
		1		1640	\$ 661,667	40,097	\$ 1,003,031	0.073	0.54
	66		10	1640	\$ 671,667	62,107	\$ 1,200,419	0.087	0.09
	66	1	10	1640	\$ 1,331,667	38,136	\$ 1,656,340	0.120	0.58

شکل ۴-۷ سیستم‌های پیشنهادی برآورد شده

طبق نتایج موجود در شکل ۴-۷، خرید برق از شبکه کم‌ترین هزینه خالص نهایی و سیستم

هیبرید بادی - خورشیدی متصل به شبکه بیشترین هزینه خالص نهایی برآورد شده است. در جدول

۴-۵ مقایسه‌ای بین هزینه خالص نهایی و درصد تجدیدپذیری  $RF^1$  سیستم‌های پیشنهادی صورت

گرفته است. درصد تجدیدپذیری به عنوان بخشی از انرژی الکتریکی کل سیستم، که توسط انرژی

تجدیدپذیر تامین می‌شود، تعریف شده و رابطه ریاضی آن بصورت زیر است [۷]:

$$RF = E_P / E_C \quad 1-4$$

فاکتور  $E_P$  بیان کننده کل انرژی تولید شده و فاکتور  $E_C$  بیان کننده کل انرژی مصرف شده

<sup>1</sup> Renewable Fraction

فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود است.

جدول ۴ - ۵ مقایسه هزینه خالص نهایی و درصد تجدیدپذیری سیستم‌های پیشنهادی

ردیف	نوع سیستم قدرت	هزینه خالص نهایی (دلار)	درصد تجدیدپذیری RF (%)
۱	متصل به شبکه	519650	0
۲	سیستم بادی متصل به شبکه	1003031	54
۳	سیستم خورشیدی متصل به شبکه	1200419	9
۴	سیستم هیبرید بادی - خورشیدی متصل به شبکه	1656340	58

با توجه به نتایج بدست آمده در شکل ۴-۷ و جدول ۴-۵ مقایسه‌ای بین سیستم‌های برآورد شده صورت گرفته است و نتایج به ترتیب از کم‌ترین هزینه خالص نهایی به بیشترین هزینه خالص نهایی به شرح زیر می‌باشد:

#### أ- سیستم متصل به شبکه برق

در سیستم متصل به شبکه، تمام بار الکتریکی دانشگاه از شبکه برق سراسری تامین شده است، لذا درصد تجدیدپذیری آن صفر می‌باشد. به دلیل عدم وجود مالیات بر کربن تولیدی توسط نیروگاه‌های فسیلی و همچنین پایین بودن تعرفه برق خریداری شده توسط دانشگاه، حالتی که دانشگاه کل برق مورد نیاز خود را از شبکه برق تامین کند، نسبت به سایر سیستم‌های معرفی شده، کمترین هزینه خالص کنونی را در بر خواهد داشت.

#### ب- سیستم بادی متصل به شبکه برق

این سیستم متشکل از یک توربین باد ۶۶۰ کیلووات بوده و به شبکه برق متصل است که به عنوان دومین سیستم پیشنهادی معرفی شده است. هزینه خالص نهایی سیستم ۱۰۰۳۰۳۱ دلار و بازگشت سرمایه آن برابر با یازده سال و هفت ماه و بیست روز برآورد شده است. میانگین قدرت خروجی از توربین باد ۱۲۷ کیلووات، مینیمم قدرت خروجی، صفر کیلووات و ماکزیمم قدرت خروجی

فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود

از توربین ۵۷۹ کیلووات برآورد شده است.

جدول ۴-۶ میزان برق تولیدی توسط سیستم و جدول ۴-۷ میزان مصرف و فروش سالیانه برق را نشان می‌دهد.

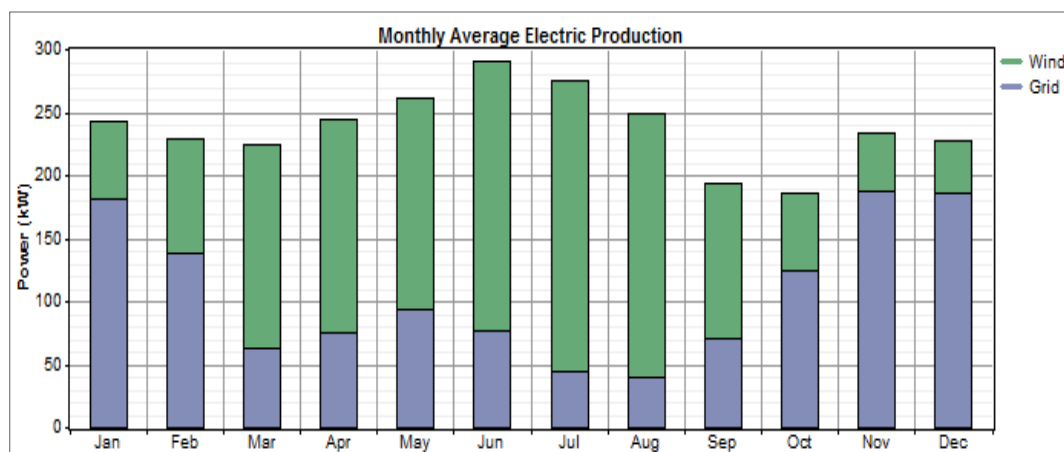
جدول ۴ - ۶ برق تولیدی توسط سیستم بادی متصل به شبکه

تولید برق توسط	kWh/yr	درصد
توربین باد	1,109,776	54
شبکه برق	954,193	46
کل	2,063,970	100

جدول ۴ - ۷ میزان مصرف و فروش برق

مصارف برق	kWh/yr	درصد
بار الکتریکی دانشگاه	1,622,440	79
فروش برق	441,501	21
کل	2,063,941	100

با توجه به جداول موجود می‌توان درک کرد، توربین باد سالانه ۱۱۰۹۷۷۶ کیلووات ساعت انرژی تولید می‌کند، و سالانه ۹۵۴۱۹۳ کیلووات ساعت برق را از شبکه برق خریداری می‌کند. از کل برق تولیدی توسط این سیستم، ۷۹ درصد صرف دانشگاه و ۲۱ درصد به شبکه برق فروخته خواهد شد. در شکل ۴-۹ سهم انرژی باد و برق خریداری شده از شبکه برق برای تامین بار دانشگاه در ماه‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل ۴-۸ سهم انرژی باد و شبکه برق برای تامین بار ماهانه دانشگاه

فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود

با توجه به اینکه بیشترین سرعت ماهیانه مربوط به ماه‌های مارس تا سپتامبر می‌باشد، بیشترین

تولید برق توسط توربین بادی در این ماه‌ها اتفاق خواهد افتاد.

#### ت - سیستم خورشیدی متصل به شبکه برق

سیستم خورشیدی متصل به شبکه برق متشکل از آرایه فتوولتائیک با ظرفیت ۶۶ کیلووات و مبدل ۱۰ کیلووات بوده و به شبکه برق متصل است که به عنوان سومین سیستم پیشنهادی معرفی شده است. هزینه خالص نهایی سیستم ۱۲۰۰۴۱۹ دلار برآورد شده است. میانگین قدرت خروجی از آرایه فتوولتائیک ۱۷,۴ کیلووات و میانگین انرژی الکتریکی تولیدی آرایه فتوولتائیک ۴۱۶ کیلووات ساعت در روز برآورد شده است. جدول ۴-۸ میزان برق تولیدی توسط سیستم و جدول ۴-۹ میزان مصرف و فروش سالیانه برق را نشان می‌دهد. با توجه به جداول موجود می‌توان درک کرد، آرایه فتوولتائیک سالانه ۱۵۱۹۹۹ کیلووات ساعت انرژی تولید می‌کند، و سالانه ۱۵۸۳۷۴۹ کیلووات ساعت برق را از شبکه برق خریداری می‌کند. از کل برق تولیدی توسط این سیستم، ۱۰۰ درصد صرف مصارف دانشگاه و صفر درصد به شبکه برق فروخته خواهد شد. در شکل ۴-۹ سهم انرژی خورشیدی و برق خریداری شده از شبکه برق برای تامین بار دانشگاه در ماه‌های مختلف نشان داده شده است.

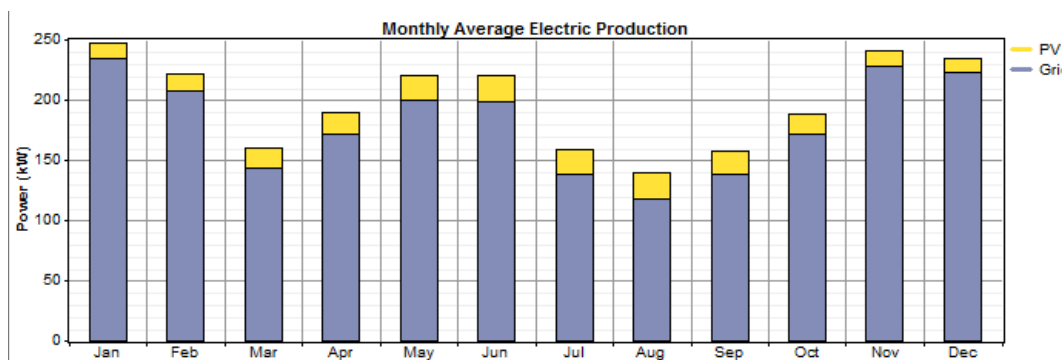
جدول ۴ - ۸ برق تولیدی توسط سیستم خورشیدی متصل به شبکه

درصد	kWh/yr	تولید برق توسط
۹	۱۵۱۹۹۹	آرایه فتوولتائیک
۹۱	1583749	شبکه برق
100	1735748	کل

جدول ۴ - ۹ میزان مصرف و فروش برق

درصد	kWh/yr	مصارف برق
100	1622440	بار الکتریکی دانشگاه
0	0	فروش برق
100	1622440	کل

فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود



شکل ۴- ۹ سهم انرژی خورشید و شبکه برق برای تامین بار ماهانه دانشگاه

با توجه به هزینه‌ی بالای سیستم فتوولتائیک و بازده پایین این سیستم‌ها، درآمد سالیانه از هزینه سالیانه کمتر بوده که سبب بیشتر شدن دوره بازگشت سرمایه از طول عمر پروژه شده است.

### ث- سیستم هیبرید بادی- خورشیدی متصل به شبکه

این سیستم متشکل از سلول فتوولتائیک ۶۶ کیلووات، توربین باد ۶۶۰ کیلووات و کانورتر ۱۰ کیلووات می‌باشد. هزینه خالص کنونی سیستم ۱۶۵۶۳۴۰ دلار و زمان بازگشت سرمایه بیشتر از عمر پروژه برآورد شده است. به خاطر بالا بودن هزینه خالص نهایی این سیستم نسبت به سایر سیستم‌ها، به عنوان چهارمین سیستم پیشنهادی معرفی شده است. جدول ۴-۱۰ میزان برق تولیدی توسط سیستم و جدول ۴-۱۱ میزان مصرف و فروش سالیانه برق را نشان می‌دهد. با توجه به جداول موجود می‌توان درک کرد، آرایه فتوولتائیک سالانه ۱۵۱۹۹۹ کیلووات ساعت، توربین باد ۱۱۰۹۷۷۶ کیلووات ساعت انرژی تولید می‌کنند، و سالانه ۹۳۰۰۰۱ کیلووات ساعت برق از شبکه برق خریداری می‌شود. از کل برق تولیدی توسط این سیستم، ۷۸ درصد صرف دانشگاه و ۲۲ درصد به شبکه برق فروخته خواهد شد.

جدول ۴- ۱۰ برق تولیدی توسط سیستم هیبرید بادی- خورشیدی متصل به شبکه

تولید برق توسط	kWh/yr	درصد
آرایه فتوولتائیک	151999	7
توربین باد	1109776	51
شبکه برق	930001	42
کل	2191776	100



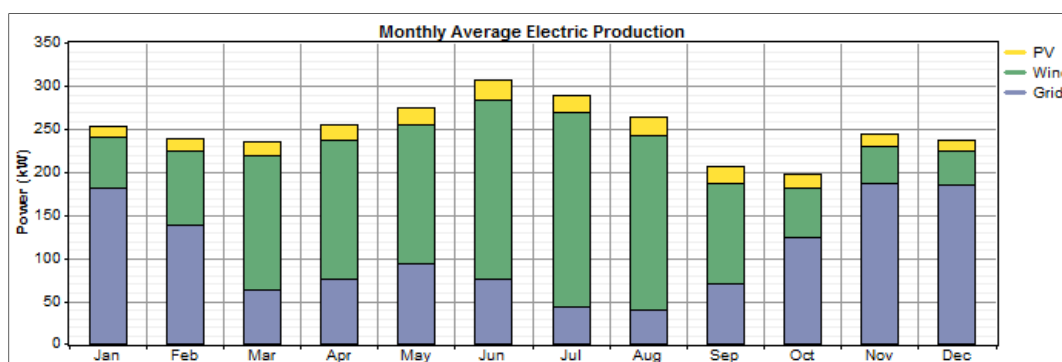
فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود

جدول ۴ - ۱۱ میزان مصرف و فروش برق

مصارف برق	kWh/yr	درصد
بار الکتریکی دانشگاه	1622440	78
فروش برق	456029	22
کل	2078470	100

در شکل ۴-۱۰ سهم انرژی بادی، خورشیدی و برق خریداری شده از شبکه برق برای تامین بار

دانشگاه در ماه‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۰ سهم انرژی بادی، خورشیدی و شبکه برق برای تامین بار ماهانه دانشگاه

#### ۲\_۴\_۴ تحلیل حساسیت

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 [۷].

در نرم افزار HOMER 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. به عنوان مثال هر کدام از اندازه‌ی بخش‌های مختلف

سیستم، متغیر تصمیم‌گیری می‌باشد. سرعت باد، تابش خورشید، بار الکتریکی و نرخ بهره در این

تحلیل به عنوان متغیر حساسیت در نظر گرفته شده‌اند. برای هر کدام از مقادیر حساسیت، نرم افزار

یک بار تمام حالات ممکن برای سیستم را شبیه‌سازی می‌کند. سیستمی به عنوان ترکیب قابل

قبول در نظر گرفته می‌شود که بتواند تقاضای بار را تأمین کند. جدول ۴-۱۲ مقدار واقعی هر یک

فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود

از متغیرهای حساسیت را نشان می‌دهد.

جدول ۴ - ۱۲ متغیرهای حساسیت و مقادیر آنها

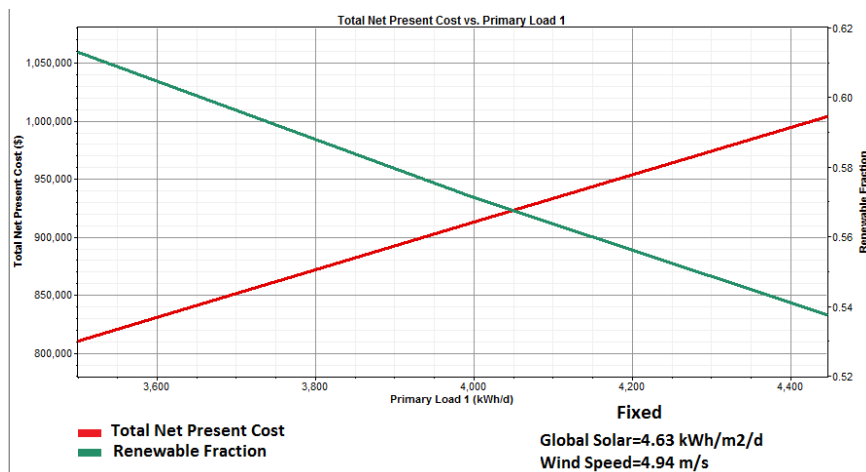
مقدار موجود	متغیر حساسیت
۴,۹۴	میانگین سرعت باد سالانه (m/s)
4.634	میانگین تابش خورشید سالانه (kWh/m <sup>2</sup> /d)
4445	بار الکتریکی (kWh/d)
۱۰	نرخ بهره (%)

در شکل ۴-۱۱ تاثیر کاهش بار الکتریکی بر روی هزینه خالص نهایی و درصد تجدیدپذیری نشان داده شده است. در حالتی که تمام متغیرهای حساسیت برابر با مقدار واقعی‌شان در نظر گرفته شوند با کاهش بار الکتریکی (با صرفه‌جویی و مدیریت انرژی در دانشگاه)، هزینه‌ی خالص نهایی کاهش خواهد یافت. همچنین با کاهش بار الکتریکی دانشگاه، کل انرژی مصرف شده کاهش یافته است، که سبب شده درصد تجدیدپذیری افزایش یابد. با افزایش نرخ بهره، هزینه خالص نهایی کاهش یافته است. شکل ۴-۱۲ نشان دهنده کاهش هزینه خالص نهایی با افزایش نرخ بهره است.

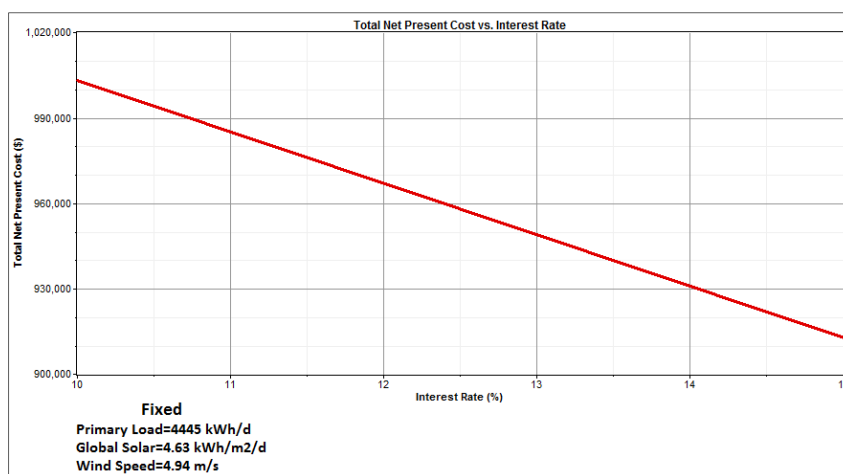
با ثابت نگه داشتن تمام متغیرهای حساسیت به جز میانگین سرعت باد سالانه، تغییراتی در هزینه خالص نهایی و درصد تجدیدپذیری رخ می‌دهد. در شکل ۴-۱۳ با افزایش سرعت باد، هزینه خالص نهایی سیستم‌هایی که توربین باد دارند کاهش خواهد یافت. همچنین با افزایش میانگین سرعت باد سالانه، درصد تجدیدپذیری  $RF$  در سیستم‌هایی که توربین باد دارند، افزایش یافته است.

با ثابت نگه داشتن تمام متغیرهای حساسیت به جز میانگین تابش خورشید سالانه، تغییراتی در هزینه خالص نهایی و درصد تجدیدپذیری رخ می‌دهد. در شکل ۴-۱۴ با افزایش میانگین تابش سالانه خورشید، هزینه خالص نهایی سیستم‌هایی که آرایه فتوولتائیک دارند کاهش خواهد یافت. همچنین با افزایش میانگین تابش سالانه خورشید، درصد تجدیدپذیری  $RF$  در سیستم‌هایی که سیستم خورشیدی دارند، افزایش یافته است.

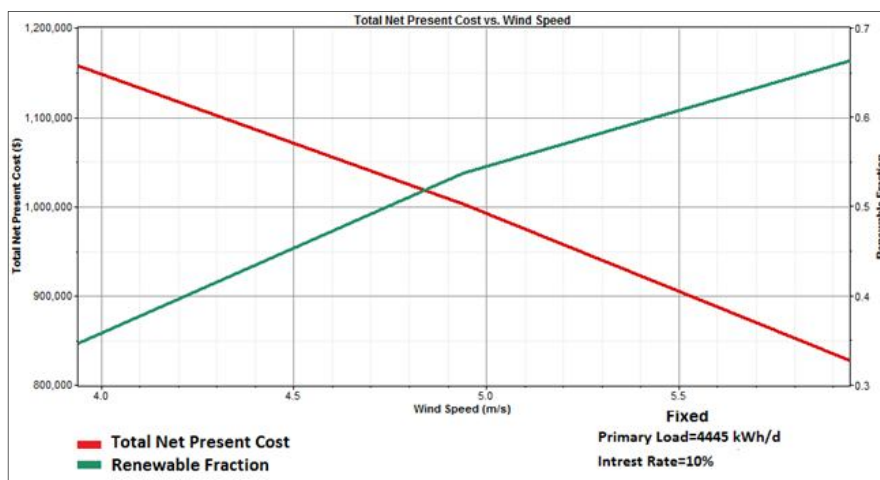
فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود



شکل ۴-۱۱ تاثیر تغییرات بار الکتریکی بر روی هزینه خالص نهایی و درصد تجدیدپذیری

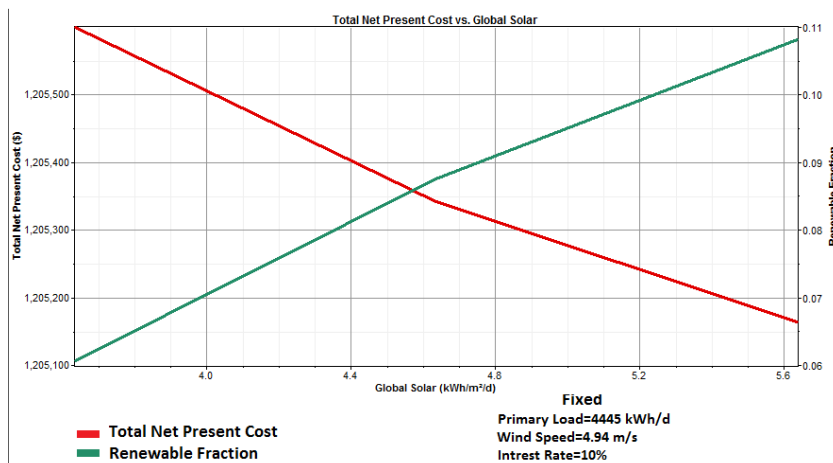


شکل ۴-۱۲ تاثیر تغییرات نرخ بهره بر سیستم‌های پیشنهادی



شکل ۴-۱۳ تاثیر تغییرات میانگین سرعت باد سالانه بر سیستم‌های پیشنهادی

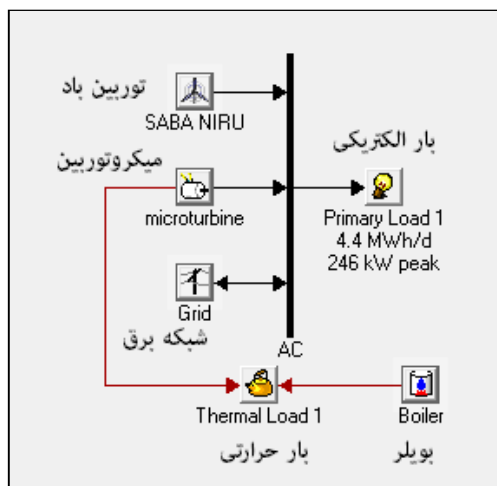
فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود



شکل ۴-۱۴ تاثیر تغییرات میانگین تابش خورشید سالانه بر سیستم‌های پیشنهادی

#### ۴\_۵\_ ارزیابی سیستم قدرت بادی و میکروتوربین گازی بر اساس سیستم CHP بصورت مجزا و هیبریدی

امروزه با گسترش سیستم‌های مختلف تولید انرژی الکتریکی در ساختمان‌های اداری و یا ساختمان‌ها و مجتمع‌های بزرگ و متوسط، روش‌های گوناگونی مانند استفاده از انرژی خورشیدی، انرژی باد، پیل‌های سوختی و انواع دیزل ژنراتورها مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما هر کدام از این روش‌ها دارای مزیت‌ها و معایب مخصوص به خود می‌باشد. داشتن یک سیستم تولید انرژی قابل اعتماد، کم هزینه و همیشه در دسترس، استفاده از توربین‌های گازی کوچک را به عنوان کاندید مهمی معرفی نموده است. میکروتوربین‌های گازی در واقع توربین‌های گازی با مقیاس بسیار کوچک و ساده‌تر می‌باشند. سیستم قدرت برای تامین بار الکتریکی و حرارتی مشخص شده در بخش (۴-۲) نیازمند توربین باد، میکروتوربین و کانورتر می‌باشد. لازم به ذکر است سیستم موجود به شبکه سراسری برق متصل خواهد بود. سیستم موجود علاوه بر تامین بار الکتریکی، وظیفه تامین بار حرارتی را برعهده دارد. شکل ۴-۱۵ اجزای سیستم قدرت مورد نیاز متصل به شبکه، که در نرم افزار HOMER مدل شده است را نشان می‌دهد.



شکل ۴- ۱۵ سیستم قدرت بادی و میکروتوربین همراه با *CHP*، متصل به شبکه

### ۴\_۵\_۱\_ بیان نتایج

پس از انجام تحلیل، چهار طرح پیشنهادی به ترتیب از کم‌ترین هزینه خالص نهایی به بیشترین هزینه خالص نهایی بصورت شکل ۴-۱۶ مرتب شده‌اند. سیستمی که برق مورد نیاز دانشگاه را از شبکه برق و کل بار حرارتی را از بویلرها تأمین می‌کند، کم‌هزینه‌ترین سیستم پیشنهادی و پرهزینه‌ترین سیستم، سیستم هیبرید بادی- میکروتوربین گازی بر اساس *CHP* متصل به شبکه برآورد شده است.

توربین باد	میکروتوربین	AIR	mctur (kW)	Efficiency Measures	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
✓	✓			No	1640	\$ 0	161,872	\$ 1,378,111	0.038	0.00
✓	✓		200	No	1640	\$ 131,666	172,446	\$ 1,599,798	0.054	0.00
✓	✓	1		No	1640	\$ 661,666	152,201	\$ 1,957,442	0.080	0.07
✓	✓	1	200	No	1640	\$ 791,666	162,910	\$ 2,178,615	0.096	0.07

شکل ۴- ۱۶ سیستم‌های پیشنهادی برآورد شده

در جدول ۴-۱۳ مقایسه فنی و اقتصادی بین سیستم‌های پیشنهادی صورت گرفته است.

جدول ۴- ۱۳ مقایسه هزینه خالص کنونی و درصد تجدیدپذیری سیستم‌های پیشنهادی

ردیف	نوع سیستم قدرت	هزینه خالص نهایی (دلار)	درصد تجدیدپذیری (%)
۱	سیستم متصل به شبکه	۱۳۷۸۱۱۱	۰
۲	سیستم میکروتوربین گازی بر اساس <i>CHP</i> متصل به شبکه	۱۵۹۹۷۹۸	۰
۳	سیستم باد متصل به شبکه	۱۹۵۷۴۴۲	۷
۴	سیستم هیبرید بادی- میکروتوربین گازی بر اساس <i>CHP</i> متصل به شبکه	۲۱۷۸۶۱۵	۷

فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود

با توجه به نتایج بدست آمده و جدول ۴-۱۳ مقایسه‌ای بین سیستم‌های برآورد شده صورت گرفته است و نتایج به ترتیب از سیستم با کم‌ترین هزینه خالص نهایی به سیستم با بیشترین هزینه خالص نهایی به شرح زیر می‌باشد:

#### أ- سیستم متصل به شبکه برق

در سیستم متصل به شبکه، تمام بار الکتریکی دانشگاه از شبکه برق سراسری و تمام بار حرارتی از بویلرها تامین شده است، لذا درصد تجدیدپذیری آن صفر می‌باشد. هزینه خالص نهایی سیستم ۱،۳۷۸،۱۱۱ دلار برآورد شده است.

#### ب- سیستم میکروتوربین گازی بر اساس CHP متصل به شبکه برق

این سیستم متشکل از میکروتوربین گازی ۲۰۰ کیلووات بر اساس سیستم CHP و بویلرهاست که به شبکه برق سراری متصل است. این سیستم به عنوان دومین سیستم پیشنهادی معرفی شده است که هزینه خالص نهایی آن برابر با ۱،۵۹۹،۷۹۸ دلار برآورد شده است. جدول ۴-۱۴ میزان برق تولیدی توسط سیستم را نشان می‌دهد. با توجه به جدول، دانشگاه ۵۶ درصد از نیاز الکتریکی خود را از شبکه برق تأمین می‌کند.

جدول ۴-۱۴ برق تولیدی توسط سیستم میکروتوربین گازی بر اساس CHP متصل به شبکه

درصد	kWh/yr	تولید برق توسط
۴۴	730000	میکروتوربین
56	924150	شبکه برق
100	1654150	کل

جدول ۴-۱۵ میزان مصرف و فروش برق را در دانشگاه نشان می‌دهد. مطابق این جدول، دو درصد از تولیدات برق، به شبکه فروخته خواهد شد. جدول ۴-۱۶ حرارت تولیدی توسط سیستم میکروتوربین گازی همراه با CHP متصل به شبکه را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴-۱۶ حرارتی که از سیستم CHP بازیافت شده است ۱۲۳۲۲ کیلووات ساعت در سال برآورد شده است، که در مقابل حرارت

فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود

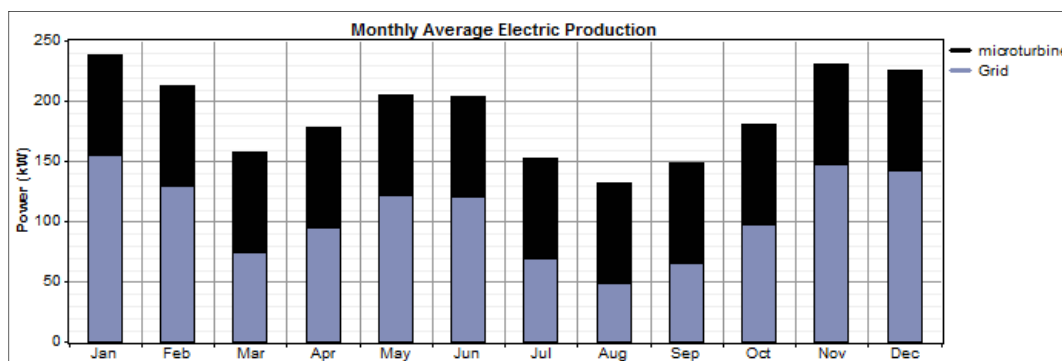
تولید شده توسط بویلر، بسیار ناچیز می‌باشد. در شکل ۴-۱۷ سهم قدرت تولید شده از میکروتوربین و برق خریداری شده از شبکه برق برای تامین بار الکتریکی دانشگاه در ماه‌های مختلف نشان داده شده است و به علت اینکه مصرف دانشگاه بیشتر از توان تولیدی میکروتوربین می‌باشد، بخشی از نیاز برق، از شبکه تامین شده است. در شکل ۴-۱۸ سهم حرارت تولید شده از میکروتوربین و بویلر برای تامین بار حرارتی نشان داده شده است. با توجه به شکل، در ماه‌هایی که به گرمایش نیازی نیست و یا دانشگاه تعطیل می‌باشد کمترین بار حرارتی قابل مشاهده است.

جدول ۴ - ۱۵ میزان مصرف و فروش برق

مصارف برق	kWh/yr	درصد
بار الکتریکی دانشگاه	1622440	۹۸
فروش برق	31680	2
کل	1654121	100

جدول ۴ - ۱۶ حرارت تولیدی توسط سیستم میکروتوربین گازی بر اساس CHP متصل به شبکه

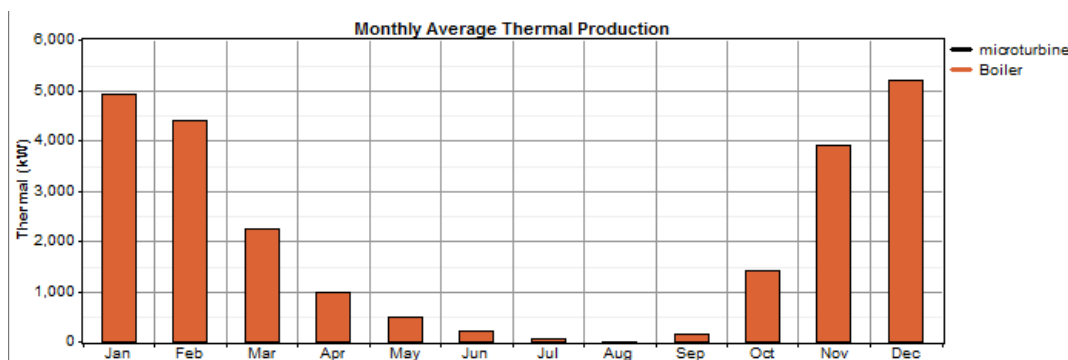
تولید حرارت توسط	kWh/yr	درصد
میکروتوربین	۱۲۳۲۲	0
بویلر	۱۷۳۷۸۱۸۲	100
کل	۱۷۳۹۰۵۰۴	100



شکل ۴-۱۷ سهم قدرت تولیدی میکروتوربین و برق خریداری شده از شبکه برای تامین بار الکتریکی دانشگاه

در این سیستم، هزینه سالانه به علت پایین بودن نرخ فروش برق مازاد تولیدی و همچنین مصرف برق در داخل دانشگاه (به جای فروش با قیمت بالاتر در خارج از دانشگاه)، بالاتر از درآمد سالانه برآورد شده است. لذا دوره بازگشت سرمایه بیشتر از عمر پروژه برآورد شده است.

## فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود



شکل ۴-۱۸ سهم حرارت تولید شده از میکروتوربین و بویلر برای تامین بار حرارتی دانشگاه

اگر کل برق تولیدی از این سیستم به جای استفاده در داخل دانشگاه به بخش دیگری فروخته شود، باعث تغییر در میزان برق تولیدی توسط میکروتوربین شده، لذا هزینه خالص نهایی تغییر کرده و بدنبال آن دوره بازگشت سرمایه نیز تغییر خواهد کرد. اگر کل برق تولیدی به بیمارستان فروخته شود، دوره بازگشت سرمایه بیشتر از عمر پروژه خواهد بود، اما اگر برق تولیدی به مشترکین با قدرت بیشتر از ۳۰ کیلووات فروخته شود بازگشت سرمایه‌ای معادل با ۴ سال و ۲ ماه و ۱۶ روز خواهد داشت.

### ت- سیستم بادی متصل به شبکه

این سیستم متشکل از یک توربین باد ۶۶۰ کیلووات بوده که به شبکه سراسری برق متصل است. بویلرها به تنهایی وظیفه تامین بار حرارتی را دارند. این سیستم به عنوان سومین سیستم پیشنهادی معرفی شده است و هزینه خالص نهایی آن برابر با ۱,۹۵۷,۴۴۲ دلار برآورد شده است. جدول ۴-۱۷ میزان برق تولیدی توسط سیستم و جدول ۴-۱۸ میزان مصرف و فروش سالیانه برق را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۷ برق تولیدی توسط سیستم بادی متصل به شبکه

درصد	kWh/yr	تولید برق توسط
59	1316834	توربین باد
41	899602	شبکه برق
100	2216437	کل

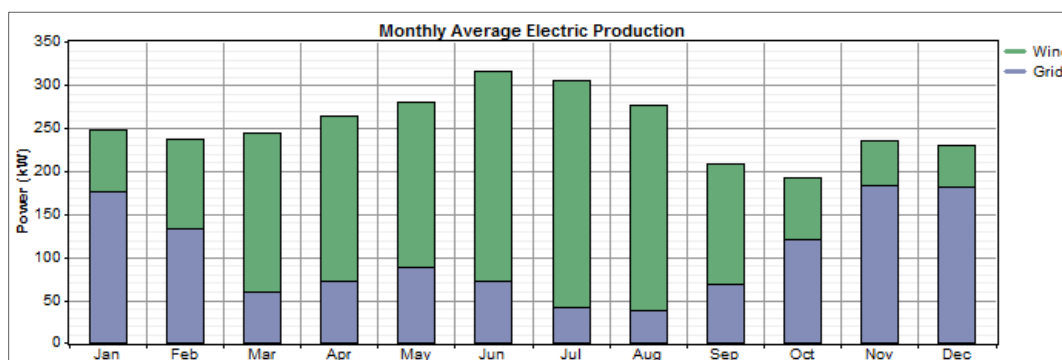


فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود

جدول ۴ - ۱۸ میزان مصرف و فروش برق

مصارف برق	kWh/yr	درصد
بار الکتریکی دانشگاه	1622440	73
فروش برق	593968	27
کل	2216408	100

با توجه به جداول موجود می‌توان درک کرد، ۴۱ درصد از بار الکتریکی دانشگاه از شبکه برق تامین شده است و ۲۷ درصد از برق تولیدی، قابل فروش به شبکه برق می‌باشد. در شکل ۴-۲۱ سهم انرژی باد و برق خریداری شده از شبکه برق برای تامین بار دانشگاه در ماه‌های مختلف نشان داده شده است. با توجه به اینکه بیشترین سرعت ماهیانه مربوط به ماه‌های مارس تا سپتامبر می‌باشد، بیشترین سهم تامین بار دانشگاه در این ماه‌ها بر عهده توربین باد خواهد بود. بازگشت سرمایه این سیستم ۱۱ سال و ۷ ماه و ۲۰ روز برآورد شده است.



شکل ۴ - ۱۹ سهم انرژی باد و شبکه برق برای تامین بار ماهانه دانشگاه

### ث - سیستم هیبرید بادی - میکروتوربین گازی بر اساس CHP متصل به شبکه

این سیستم متشکل از توربین بادی ۶۶۰ کیلووات، میکروتوربین گازی ۲۰۰ کیلووات بر اساس سیستم CHP بوده که به شبکه سراسری برق متصل است. تأمین بار حرارتی دانشگاه بر عهده بویلر و CHP می‌باشد. هزینه خالص نهایی سیستم ۲،۱۷۸،۶۱۵ دلار برآورد شده است. جدول ۴-۱۹ میزان برق تولیدی توسط سیستم و جدول ۴-۲۰ میزان مصرف و فروش سالیانه برق را نشان می‌دهد. جدول ۴-۲۱ حرارت تولیدی توسط سیستم هیبرید بادی - میکروتوربین گازی متصل به شبکه را نشان

فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود

می‌دهد.

جدول ۴ - ۱۹ برق تولیدی توسط سیستم هیبرید بادی- میکروتوربین گازی بر اساس CHP متصل به شبکه

تولید برق توسط	kWh/yr	درصد
توربین باد	1316834	52
میکروتوربین	730000	29
شبکه برق	477211	19
کل	2524046	100

جدول ۴ - ۲۰ میزان مصرف و فروش برق		
مصارف برق	kWh/yr	درصد
بار الکتریکی دانشگاه	1622440	64
فروش برق	901557	36
کل	2524017	100

با توجه به جدول ۴-۲۱ حرارتی که از سیستم CHP بازیافت شده است ۱۲۳۲۲ کیلووات ساعت در

سال برآورد شده است، که در مقابل حرارت تولید شده توسط بویلر، بسیار ناچیز می‌باشد.

جدول ۴ - ۲۱ حرارت تولیدی توسط سیستم هیبرید بادی- میکروتوربین گازی بر اساس CHP متصل به شبکه

تولید حرارت توسط	kWh/yr	درصد
میکروتوربین	12322	0
بویلر	17378182	100
کل	17390504	100

با توجه به جداول موجود می‌توان درک کرد، سالانه فقط ۱۹ درصد از بار الکتریکی از شبکه برق

تامین شده است. ۳۶ درصد از برق تولیدی، قابل فروش به شبکه برق می‌باشد. در شکل ۴-۲۰ سهم

قدرت تولید شده از میکروتوربین، توربین باد و برق خریداری شده از شبکه برق برای تامین بار

الکتریکی دانشگاه در ماه‌های مختلف نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴-۲۰ در ماه‌های مارس

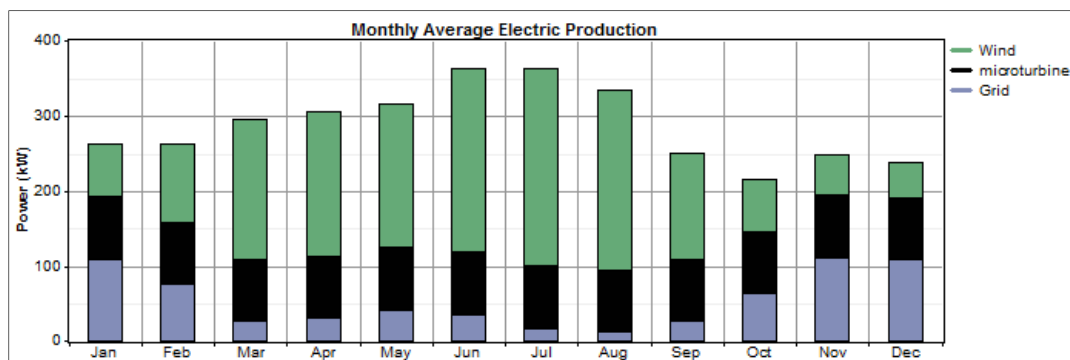
تا سپتامبر که سرعت باد نسبت به ماه‌های دیگر بیشتر است، توربین باد سهم عمده‌ای در تولید برق

سیستم داشته است. در ماه‌هایی از سال که سرعت باد از ماه‌های دیگر کمتر است و مصرف دانشگاه

بیشتر از توان تولیدی میکروتوربین می‌باشد نیاز برق بیشتر از شبکه تامین شده است. سهم

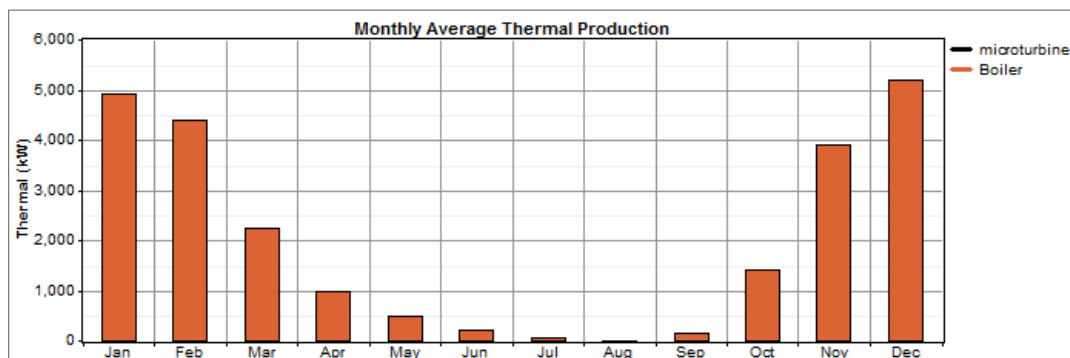
فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود

میکروتوربین در تمام ماهها ثابت است.



شکل ۴-۲۰ سهم قدرت تولید شده از میکروتوربین، توربین باد و برق خریداری شده از شبکه برق برای تامین بار الکتریکی دانشگاه

در شکل ۴-۲۱ سهم حرارت تولید شده از میکروتوربین و بویلر برای تامین بار حرارتی نشان داده شده است. با توجه به شکل، در ماههایی که به گرمایش نیازی نیست، و دانشگاه تعطیل است، کمترین بار حرارتی قابل مشاهده است.



شکل ۴-۲۱ سهم حرارت تولید شده از میکروتوربین و بویلر برای تامین بار حرارتی دانشگاه

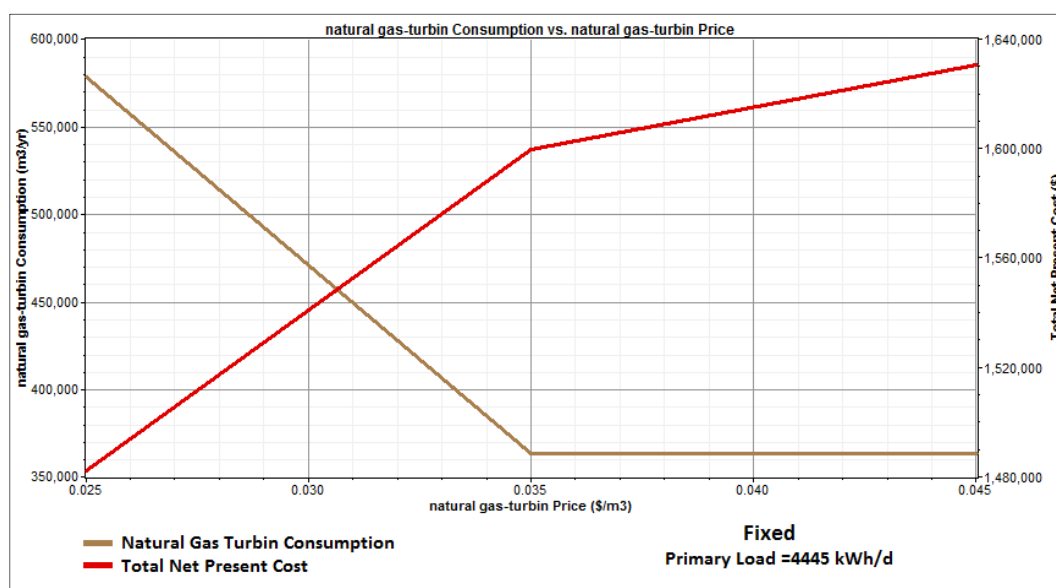
زمان بازگشت سرمایه این سیستم بیشتر از عمر پروژه برآورد شده است. اگر برق فسیلی تولید شده به بیمارستان فروخته شود بازگشت سرمایه‌ای برابر با نوزده سال و یک ماه و ده روز خواهد داشت و اگر به مشترکین با قدرت بیش از ۳۰ کیلووات فروخته شود بازگشت سرمایه‌اش برابر با هفت سال و سه روز خواهد داشت.

## ۴\_۵\_۲\_ تحلیل حساسیت

قیمت سوخت مورد نیاز میکروتوربین به عنوان متغیر حساسیت در نظر گرفته شده است. با

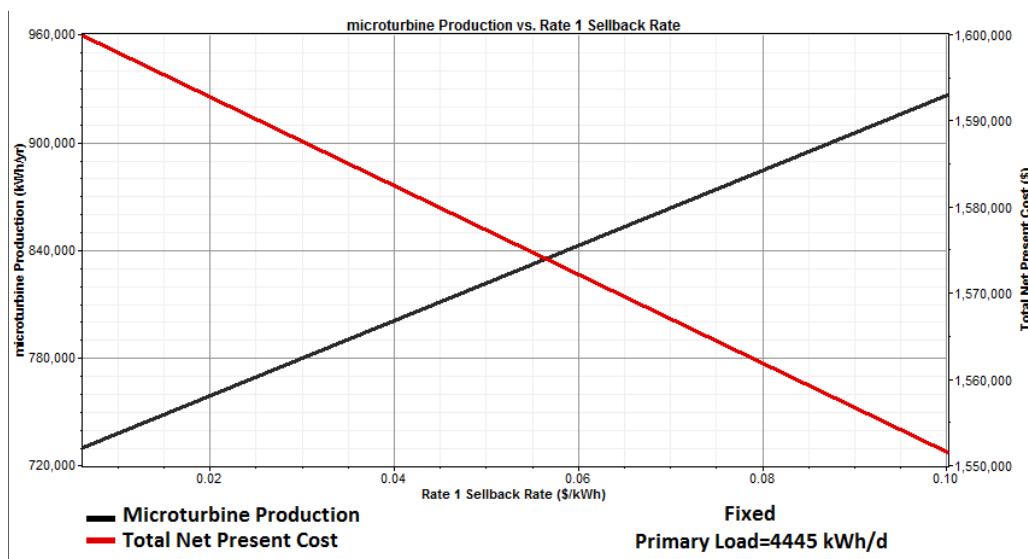
فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود

انجام آنالیز حساسیت، تاثیر قیمت سوخت مورد نیاز میکروتوربین (گاز طبیعی) بر روی هزینه خالص نهایی و مصرف سوخت میکروتوربین برآورد شده است که در شکل ۴-۲۲ نمایان است. با افزایش قیمت سوخت، هزینه عملیاتی سیستم و هزینه خالص نهایی افزایش یافته و مصرف سوخت کاهش می‌یابد که سبب کاهش تولیدات میکروتوربین خواهد شد. در شکل ۴-۲۳ تاثیر تغییرات قیمت فروش برق تولیدی در دانشگاه، بر روی تولیدات میکروتوربین و هزینه خالص نهایی نشان داده شده است. با توجه به شکل، با افزایش نرخ فروش برق دانشگاه، تولیدات میکروتوربین افزایش و هزینه خالص نهایی کاهش خواهد یافت.



شکل ۴-۲۲ تاثیر قیمت سوخت مورد نیاز میکروتوربین بر هزینه خالص نهایی و مصرف سوخت

فصل چهارم: توجیه فنی و اقتصادی چند گزینه برتر در بهبود وضعیت انرژی دانشگاه شاهرود



شکل ۴-۲۳ تاثیر تغییرات قیمت فروش برق تولیدی در دانشگاه، بر روی تولیدات میکروتوربین و هزینه خالص نهایی



## فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها



## ۵-۱- نتیجه‌گیری

امروزه رشد روزافزون قیمت گاز طبیعی و نفت و کاهش سوخت‌های فسیلی از یک طرف و آلودگی زیست محیطی از طرف دیگر موجب شده است که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر همچون باد، خورشید، ژئوترمال، بیوماس و ... یا ترکیب آنها به عنوان منبعی تمیز، تمام ناشدنی، نامحدود و سازگار با محیط زیست مورد توجه بیشتری قرار بگیرد. از این رو فناوری طراحی و ساخت نیروگاه‌های هیبریدی علاوه بر رفع نیاز به انرژی و افزایش ضریب اطمینان آن موجب حفظ منابع نفتی خواهد گردید. در این راستا استفاده از نرم افزارهای مدل‌سازی و بهینه‌سازی همچون نرم افزار HOMER در محاسبات اقتصادی و تخمین اولیه مولفه‌های نیروگاه‌های هیبریدی بسیار سودمند خواهد بود. نتایج مدل‌سازی‌های ارائه شده در فصل ۳ برای تامین بار الکتریکی دانشگاه در جدول ۵-۱ آورده شده است.

جدول ۵-۱ گزینه‌های ممکن برای تامین بار الکتریکی دانشگاه

ردیف	نوع سیستم قدرت	هزینه خالص نهایی (دلار)	درصد تجدیدپذیری (%)	بازگشت سرمایه (سال)
1	سیستم متصل به شبکه برق	519650	0	-
3	سیستم بادی متصل به شبکه	1003031	54	11,63
6	سیستم خورشیدی متصل به شبکه	1200419	9	-
8	سیستم هیبریدی بادی-خورشیدی متصل به شبکه	1656340	58	-

در جدول ۵-۱ سیستم‌ها از کمترین هزینه خالص نهایی به بیشترین هزینه خالص نهایی مرتب شده‌اند. تامین بار الکتریکی دانشگاه توسط شبکه برق، به عنوان کم هزینه‌ترین طرح و سیستم هیبرید بادی-خورشیدی متصل به پرهزینه‌ترین طرح برآورد شده است.

با توجه به جدول ۵-۱ هزینه خالص نهایی سیستم بادی متصل به شبکه نسبت به حالتی که نیاز برق از شبکه تأمین می‌شود، ۹۳ درصد افزایش داشته است، همچنین درصد تجدیدپذیری سیستم بادی متصل به شبکه، ۵۴ درصد افزایش یافته است و بازگشت سرمایه این سیستم یازده سال و هفت

## فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

ماه و بیست روز برآورد شده است. هزینه نهایی سیستم خورشیدی متصل به شبکه نسبت به سیستم بادی متصل به شبکه، ۲۰ درصد افزایش داشته است در حالیکه درصد تجدیدپذیری آن به ۹ درصد کاهش یافته است، زمان بازگشت سرمایه این سیستم به علت بالا بودن هزینه آرایه‌های فتوولتائیک و پایین بودن تولیدات الکتریسیته، بیشتر از عمر پروژه برآورد شده است. هزینه نهایی سیستم هیبرید بادی-خورشیدی متصل به شبکه نسبت به حالتی که نیاز برق از شبکه تأمین می‌شود، رشد ۲ برابری داشته است، همچنین درصد تجدیدپذیری در این سیستم ۵۸ درصد برآورد شده است، اما به علت بالا بودن هزینه آرایه‌های فتوولتائیک، زمان بازگشت سرمایه بیشتر از عمر پروژه برآورد شده است.

با توجه به توضیحات بیان شده، سیستم بادی متصل به شبکه که شامل توربین باد ۶۶۰ کیلووات می‌باشد با هزینه اولیه ۶۶۱۶۶۷ دلار، تولید سالیانه ۱۱۰۹۷۷۶ کیلووات ساعت انرژی، درصد تجدیدپذیری ۵۴ و بازگشت سرمایه یازده سال و هفت ماه و بیست روز، طرحی عملی و کاربردی خواهد بود، که با توجه به نتایج حاصل از آنالیز حساسیت صورت گرفته می‌توان انتظار داشت، با کاهش تقاضای انرژی الکتریکی، هزینه خالص نهایی کاهش، درصد تجدیدپذیری افزایش و به تبع آن، مدت زمان بازگشت سرمایه کاهش خواهد یافت.

برای تأمین بار حرارتی و بار الکتریکی دانشگاه در فصل چهارم مدل‌سازی انجام شد که نتایج

آن در جدول ۵-۲ آورده شده است.

جدول ۵-۲ گزینه‌های ممکن برای تأمین بار حرارتی و الکتریکی دانشگاه

ردیف	نوع سیستم قدرت	هزینه خالص نهایی (دلار)	درصد تجدیدپذیری (%)	بازگشت سرمایه (فروش برق به مشترک بالای ۳۰ کیلووات (سال))
۱	سیستم متصل به شبکه	۱۳۷۸۱۱۱	۰	-
۲	سیستم میکروتوربین گازی متصل به شبکه	۱۵۹۹۷۹۸	۰	۴,۲۱
۳	سیستم باد متصل به شبکه	۱۹۵۷۴۴۲	۷	۱۱,۶۳
۴	سیستم هیبرید بادی- میکروتوربین متصل به شبکه	۲۱۷۸۶۱۵	۷	۷,۰۱



در جدول ۵-۲ سیستم‌ها از کمترین هزینه خالص نهایی به بیشترین هزینه خالص نهایی مرتب شده‌اند که این سیستم‌ها علاوه بر تأمین بار الکتریکی، وظیفه تأمین بار حرارتی را نیز به عهده دارند. کمترین هزینه خالص نهایی مربوط به سیستمی است که بار الکتریکی‌اش را از شبکه برق و بار حرارتی‌اش را از بویلرها تأمین کرده است. دومین سیستم پیشنهادی، سیستم میکروتوربین گازی بر اساس *CHP* متصل به شبکه است. در حالتی که برق و حرارت تولیدی این سیستم در دانشگاه مصرف شود، بازگشت سرمایه‌ای بیش از عمر پروژه خواهد داشت. اما اگر کل برق تولیدی به مشترک بالای ۳۰ کیلووات (تعرفه فروش برق تولیدی دانشگاه، با تعرفه فروش برق شبکه به مشترک بالای ۳۰ کیلووات برابر باشد) فروخته شود، بازگشت سرمایه‌ای برابر با ۴ سال و ۲ ماه و ۱۶ روز خواهد داشت. در این حالت هزینه خالص نهایی سیستم نسبت به سیستم متصل به شبکه ۱۶ درصد رشد خواهد داشت. سومین سیستم پیشنهادی، سیستم باد متصل به شبکه است که شامل توربین بادی ۶۶۰ کیلووات می‌باشد، این سیستم بخشی از بار الکتریکی را از توربین باد و کل بار حرارتی‌اش را از بویلرها تأمین خواهد کرد. بازگشت سرمایه این سیستم یازده سال و هفت ماه و بیست روز برآورد شده است. آخرین سیستم پیشنهادی، سیستم هیبرید بادی- میکروتوربین گازی (همراه با *CHP*) متصل به شبکه معرفی شده است. در حالتی که برق و حرارت تولیدی این سیستم در دانشگاه مصرف شود، بازگشت سرمایه‌ای بیش از عمر پروژه خواهد داشت. اما اگر کل برق تولیدی به مشترک بالای ۳۰ کیلووات (تعرفه فروش برق تولیدی دانشگاه، با تعرفه فروش برق شبکه به مشترک بالای ۳۰ کیلووات برابر باشد) فروخته شود، بازگشت سرمایه‌ای برابر با هفت سال خواهد داشت.

لازم به ذکر است در حالتی که برق تولیدی به مشترک بالای ۳۰ کیلووات فروخته شود، ترتیب سیستم‌های پیشنهادی تغییر خواهد کرد به گونه‌ای که سیستم هیبرید بادی-میکروتوربین گازی گازی بر اساس *CHP* سومین سیستم پیشنهادی و سیستم بادی متصل به شبکه آخرین سیستم پیشنهادی معرفی خواهد شد.

با توجه به مطالب بیان شده، در صورتی که برق تولیدی توسط میکروتوربین در داخل دانشگاه

مصرف شود، سیستم توربین باد تنها سیستم عملی خواهد بود. در صورتیکه برق تولیدی به مشترک بالای ۳۰ کیلووات فروخته شود، سه سیستم پیشنهادی (سیستم میکروتوربین گازی بر اساس CHP متصل به شبکه، سیستم باد متصل به شبکه، سیستم هیبرید بادی- میکروتوربین گازی بر اساس CHP متصل به شبکه)، گزینه‌هایی عملی و کاربردی خواهند بود.

## ۵-۲- پیشنهادات

با توجه به بررسی‌های انجام شده، تولید برق در دانشگاه شاهرود جهت تأمین رشد بار و تقاضای مصرف و کاهش هزینه‌هایی که در زمینه انرژی به عهده دانشگاه است و همچنین کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای و افزایش قابلیت اطمینان، گزینه‌ی قابل تاملی خواهد بود.

با توجه به آنالیز حساسیت انجام شده بر روی بار مصرفی دانشگاه، مشخص شد با کاهش بار الکتریکی و حرارتی به کمک بهبود وضعیت انرژی دانشگاه، می‌توان هزینه خالص نهایی و زمان بازگشت سرمایه را کاهش داد.

همچنین در کشور ما به دلیل تعلق نگرفتن مالیات به کربن تولیدی و استفاده از سوبسیدهای دولتی، انرژی با قیمت پایین‌تری نسبت به سایر کشورها در اختیار مردم قرار می‌گیرد، که این امر سبب شده سرمایه‌گذاری در بخش تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر در کشور بسیار کم باشد. که با بالا بردن تعرفه خرید برق از شبکه می‌توان به توسعه سیستم‌های تجدیدپذیر کمک قابل توجهی نمود.

همچنین باید توجه داشت انرژی‌های تجدیدپذیر با هزینه بیشتری تولید می‌شوند، لذا شبکه سراسری برق، با بالا بردن تعرفه‌های خرید برق، کمک شایانی به این بخش خواهد نمود. در واقع با انجام حمایت‌های بخش دولتی و خصوصی باید شرایطی را آماده کرد که انرژی‌های تجدیدپذیر توانایی رقابت با انرژی‌های تجدیدپذیر را داشته باشند.

با توسعه انرژی‌های تجدید پذیر علاوه بر کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌توان با بوجود آوردن مشاغل جدید مانع از افزایش بیکاری و معضلات مربوط به آن شد.

## فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در همین راستا انرژی‌های تجدیدپذیر باید جایگزین انرژی‌های فسیلی شوند و در ابتدا باید جایگاه ستاد انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور ارتقاء یابد، در واقع انرژی تجدیدپذیر باید به نوعی رقیب انرژی فسیلی شود.

କଲ

مراجع

କଲ

[۱] "ضرورت ها و راهکارهای توسعه تولید پراکنده برق"، آذر (۱۳۸۸)، اقتصاد انرژی، شماره ۱۲۱.

[۲] "راهنمای جامع تولید همزمان برق و حرارت"، (۱۳۸۸)، وزارت نیرو دفتر بهبود بهره وری و اقتصاد برق و انرژی.

[۳] جامعی ا. (۱۳۹۱)، "بررسی مصرف انرژی در دانشگاه صنعتی شاهرود و معرفی راهکارهای بهینه سازی"، پایان نامه کارشناسی ارشد سیستم های انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شاهرود.

[۴] Beggs C. (2002), "Energy: Management, Supply and Conservation", Elsevier Science & Technology Books.

[۵] Lund H. and Duić N. and krajačić G. and Carvalho M.G. (2007), "Two energy system analysis models: A comparison of methodologies and results", Energy, 32, 948–954.

[۶] Mondal Md. Alam H. and Denich M. (2010), "Assessment of renewable energy resources potential for electricity generation in Bangladesh", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 2401–2413.

[۷] 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.

[۸] Ackermann T. and Andersson G. and Söder L. (2000), "Distributed generation: a definition" Electric Power Systems Research, 57, 195–204.

[۹] Chicco G. and Mancarella P. (2009), "Distributed multi-generation: A comprehensive view", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 535–551.

[۱۰] گرامی مقدم ا. و پارسامقدم م (۱۳۸۸)، "ارزیابی سرمایه‌گذاری در بخش تولیدات پراکنده و انرژیهای تجدیدپذیر"، نخستین کنفرانس انرژی های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران، بیرجند، دانشگاه بیرجند.

[۱۱] Nishimura A. and Hayashi Y. and Tanaka K. and Hirota M. and Kato S. and Ito M. and Araki K. and Hud E.J. (2010), "Life cycle assessment and evaluation of energy payback time on high concentration photovoltaic power generation

system”, Applied Energy, 87, 2797–2807.

[۱۲] Yang Y. and Yan Q. and Zhai R. and Kouzani A. and Hu E. (2011), “**An efficient way to use medium-or-low temperature solar heat for power generation e integration into conventional power plant**” Applied Thermal Engineering, 31, 157-162.

[۱۳] منشی پور س. و عبدالهی ر. (۱۳۸۶)، “**ارزیابی اقتصادی پکیج برق خورشیدی ( فتوولتائیک ) در برق رسانی به مناطق فاقد دسترسی به شبکه سراسری برق**” ، بیست و دومین کنفرانس بین المللی برق، تهران، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو.

[۱۴] Dalton G.J. and Lockington D.A. and Baldock T.E and (2009), “**Case study feasibility analysis of renewable energy supply options for small to medium-sized tourist accommodations**” Renewable Energy, 34, 1134–1144.

[۱۵] حامدی م. و شولایی ع. و اقا زاده ه. (۱۳۸۸)، “**امکان سنجی استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در تأمین انرژی بار مستقل در منطقه شمالغرب کشور**” ، نخستین کنفرانس انرژی های تجدید پذیر و تولید پراکنده ایران، بیرجند، دانشگاه بیرجند.

[۱۶] عبدی ح. و حسین زاده خنکداری ت. و ذاکری فر ر. و عباسیه کهن ح. و هاشمی پنبه چوله ا. و (۱۳۹۰)، “**امکان سنجی احداث نیروگاه بادی ۱۰ مگاواتی مراوه تپه**” ، نشریه انرژی ایران، دروه ۱۴، شماره ۱.

[۱۷] Dalton G.J and Lockington D.A. and Baldock T.E. (2009), “**Feasibility analysis of renewable energy supply options for a grid-connected large hotel**”, Renewable Energy, 34, 955–964.

[۱۸] Dalton G.J. and Lockington D.A. and Baldock T.E. (2008), “**Feasibility analysis of stand-alone renewable energy supply options for a large hotel**”, Renewable Energy, 33, 1475–1490.

[۱۹] Himri Y. and Boudghene Stambouli A. and Draoui B. and Himri S. (2008), “**Techno-economical study of hybrid power system for a remote village in Algeria**” Energy, 33, 1128–1136.

- [۲۰] Demiroren A. and Yilmaz U. (2010), “**Analysis of change in electric energy cost with using renewable energy sources in Gökceada, Turkey: An island example**”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 323–333.
- [۲۱] Chen H.H. and Kang H.Y. and Lee H.I. (2010), “**Strategic selection of suitable projects for hybrid solar-wind power generation systems**”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 413–421.
- [۲۲] Shafiullah G.M. and Amanullah M.T.O. and Shawkat Ali A.B.M. and Jarvis D. and Wolfs P. (2012), “**Prospects of renewable energy e a feasibility study in the Australian context**”, Renewable Energy, 39, 183–197.
- [۲۳] Erdinc O. and Uzunoglu M. (2012), “**Optimum design of hybrid renewable energy systems: Overview of different approaches**”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 1412– 1425.
- [۲۴] Bajpai P. and Dash V. (2012), “**Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications: A review**”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 2926– 2939.
- [۲۵] Bekele G. and Boneya G. (2012), “**Design of a Photovoltaic-Wind Hybrid Power Generation System for Ethiopian Remote Area**”, Energy Procedia, 14, 1760 – 1765.
- [۲۶] Asrari A. and Ghasemi A. and Javidi M.H. (2012), “**Economic evaluation of hybrid renewable energy systems for rural electrification in Iran—A case study**”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 3123– 3130.
- [۲۷] Sadrul Islam A.K.M. and Rahman Md.M. and Mondal Md.Alam H. and Alam F. (2012), “**Hybrid energy system for St. Martin Island, Bangladesh: An optimized model**”, Procedia Engineering, 49, 179 – 188.
- [۲۸] Ghaebi H. and Amidpour M. and Karimkashi Sh. and Rezayan O. (2011), “**Energy, exergy and thermoeconomic analysis of a combined cooling, heating and power (CCHP) system with gas turbine prime mover**”, International Journal Of Energy Research, 35, 697–709.
- [۲۹] سبز پوشانی م. و گلابی س. (۱۳۹۰)، “**بررسی و ارزیابی اقتصادی سیستم تولید همزمان برق ، حرارت و تبرید CCHP با ظرفیت تولید برق یک مگاوات**”، اولین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

- [۳۰] Pacific Clean Energy Application Center (2013).  
<http://www.pacificcleanenergy.org/PROJECTPROFILES/pdf/RitzFactSheet.pdf>
- [۳۱] Northeast Clean Energy Application Center (2013).  
[http://www.northeastcleanenergy.org/profiles/documents/Syracuse%20Case%20Study\\_Final.pdf](http://www.northeastcleanenergy.org/profiles/documents/Syracuse%20Case%20Study_Final.pdf)
- [۳۲] North Carolina Solar Center (2013).  
<http://ncsc.ncsu.edu/wp-content/uploads/Micro-CHP-and-Solar-Demonstration-Project-1.pdf>
- [۳۳] Northeast Clean Energy Application Center (2013).  
[http://www.northeastcleanenergy.org/profiles/documents/SimondsCaseStudy\\_Final.pdf](http://www.northeastcleanenergy.org/profiles/documents/SimondsCaseStudy_Final.pdf)
- [۳۴] Giannoulis E.D. and Haralambopoulos D.A. and (2011), “**Distributed Generation in an isolated grid: Methodology of case study for Lesvos – Greece**”, Applied Energy, 88, 2530–2540.
- [۳۵] Méndez V.H. and Rivier J. and de la Fuente J.I. and Gómez T. and Arceluz J. and Mari n I and Madurga A. (2006), “**Impact of distributed generation on distribution investment deferral**”, Electrical Power & Energy Systems, 28, 244–252.
- [۳۶] Papaioannou I.T. and Purvins A. and Tzimas E. (2013), “**Demand shifting analysis at high penetration of distributed generation in low voltage grids**”, Electrical Power and Energy Systems, 44, 540–546.
- [۳۷] Safigianni A.S. and Koutroumpetis G.N. and Poullos V.C. (2013), “**Mixed distributed generation technologies in a medium voltage network**”, Electric Power Systems Research, 96, 75–80.
- [۳۸] Thornton A. and Monroy C.R. (2011), “**Distributed power generation in the United States**”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 4809– 4817.
- [۳۹] سازمان بهره‌وری انرژی ایران، (۱۳۹۲).  
[http://www.saba.org.ir/saba\\_content/media/image/2009/10/350\\_orig.pdf](http://www.saba.org.ir/saba_content/media/image/2009/10/350_orig.pdf)
- [۴۰] Ren H. and Zhou W. and Gao W. (2012), “**Optimal option of distributed energy systems for building complexes in different climate zones in China**”, Applied Energy, 91, 156–165.
- [۴۱] Panapakidis I.P. and Sarafianos D.N. and Alexiadis M.C. (2012), “**Comparative analysis of different grid-independent hybrid power generation systems for a residential load**”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 551– 563.



[۴۲] Labis P.E. and Visande R.G. and Pallugna R.C. and Caliao N.D. (2011), "The contribution of renewable distributed generation in mitigating carbon dioxide emissions", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 4891–4896.

[۴۳] Aravena C. and Hutchinson W.G. and Longo A. (2012), "Environmental pricing of externalities from different sources of electricity generation in Chile", Energy Economics, 34, 1214–1225.

[۴۴] Tripanagnostopoulos Y. and Nousia TH. and Souliotis M. and Yianoulis P. (2002), "HYBRID PHOTOVOLTAIC/THERMAL SOLAR SYSTEMS", Solar Energy, 72, 217–234.

[۴۵] یوسفی ش. و پارسامقدم م. و دشتی ر. (۱۳۸۶)، "ارزیابی تأثیر سیستمهای تولید پراکنده بر عملکرد شبکه های توزیع برق با مطالعه موردی مولدهای فتوولتائیک"، ششمین همایش ملی انرژی، تهران، کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران، معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو.

[۴۶] مختاری ا. و کلانتر و. (۱۳۸۷)، "اهمیت فناوری پیل های سوختی در تکنولوژی آینده"، اولین کنفرانس ملی هیدروژن و پیل سوختی، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

[۴۷] ساعی و ایرانی زاد ا. (۱۳۷۸)، "هیدروژن، پیل های سوختی و محیط زیست"، دومین همایش ملی انرژی، تهران، کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران، معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو.

[۴۸] وزارت نیرو، سازمان انرژیهای نو ایران، (۱۳۹۲).

<http://www.sun.org.ir>

[۴۹] اصل شیرین س. و فضلعلی ع. (۱۳۸۷)، "ضرورت استفاده از پیل های سوختی و راه-کارهایی جهت تجاری ساختن آنها"، اولین کنفرانس ملی هیدروژن و پیل سوختی، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

[۵۰] سعیدی پ. (۱۳۸۴)، "سیستم های فتوولتائیک ، منبع انرژی پاک"، چهارمین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور.

[۵۱] باگرامیان آ. و سیفی ح. "انرژی باد"، چاپ شهر.

[۵۲] حسینی ج. (۱۳۸۹)، "اثر اختلالی توربینهای بادی بر روی سیستمهای راداری"، دومین

کنفرانس سراسری اصلاح الگوی مصرف انرژی الکتریکی، اهواز، شبکه برق منطقه ای خوزستان.

[۵۳] مقالات شرکت نفت و گاز پارس، میکروتوربین های گازی، (۱۳۸۹).

<http://www.pogc.ir/Portals/0/maghalat/890928.8.pdf>

[۵۴] 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.

[۵۵] <http://homerenergy.com/>

[۵۶] 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.

[۵۷] شرکت صبا نیرو، (۱۳۹۲).

<http://www.sabaniroo.co.ir/news/admin/Farsi%20Catalogue-R28.5.86.pdf>

[۵۸] شرکت صبانیرو، (۱۳۹۲).

<http://www.sabaniroo.co.ir/far/index.asp>

[۵۹] قوانین و مقررات فروش برق، شرکت توانیر، (۱۳۹۲).

<http://tariff.tavanir.org.ir/>

## **ABSTRACT**

Previous studies in the field of energy used in University (Campus 1) shows that the situation of energy consumption is capable to improve. Thus, in this research, the use of methods of distributed generation, feasibility of using renewable energy sources for electricity generation, technical and economic analysis of hybrid renewable energy and also a hybrid renewable energies and fossil fuels has been done. In this study, The HOMER energy modeling software which has been developed by the National Renewable Energy Laboratory (NREL) at department of energy in USA for the design of micro power generation systems, have been used to help compare different technologies to produce electricity. The university electrical and thermal requirements were identified by estimation of electrical and thermal load from October 1389 to 1390. Potential of solar and wind resource energies in Shahroud, is the main motivation for this investigation about renewable energies and hybrid techniques for provide energy requirement of Shahroud University. This studies compare some individual and hybrid scheme consisting of wind energy system, micro turbine and electric net to provide electrical and heat consumption of mentioned university. Results shown that the hybrid scheme of wind generation and trans-net electric supply has a 11.5 years payback and hybrid scheme of micro turbine and trans-net electric supply used as CHP system has a 4,5 years payback if the excess generated electricity sale to network.

## **keywords**

Distributed Generation, Renewable System, hybrid system, Return of Investment.



Shahrood University of Technology  
Faculty of Mechanical Engineering

# **Guiding the Optimal Opportunity for Supplying Required Energy in Shahrood University**

**Mina Ebrahimi**

Supervisor

**Dr. S.M. Hashemian**

September 2013