

به نام خداوند جان و خرد



دانشکده مهندسی مکانیک
گروه تبدیل انرژی

بررسی فنی و اقتصادی ساختمان با مصرف انرژی صفر به منظور کاهش مصرف گاز طبیعی

دانشجو:

حامد بختیاری

استاد راهنما:

دکتر محمود فرزانه گرد

استاد مشاور:

دکتر علی جباری مقدم

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

زمستان ۱۳۹۱

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مکانیک

گروه : تبدیل انرژی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای حامد بختیاری

تحت عنوان:

بررسی فنی و اقتصادی ساختمان با مصرف انرژی صفر به منظور کاهش مصرف گاز طبیعی

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : علی جباری مقدم		نام و نام خانوادگی : محمود فرزانه گرد
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : احمد مددی		نام و نام خانوادگی : سید مجید هاشمیان
			نام و نام خانوادگی : محمود چهار طاقی
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم بہ

پدر و مادر

عزیزم

تشکر و قدردانی

ضمن سپاس بیکران خداوند، لازم می‌دانم از تمامی اساتیدی که در این مدت افتخار شاگردی ایشان را داشتم، به‌ویژه اساتید محترم آقای دکتر محمود فرزانه گرد و آقای دکتر علی جباری مقدم، که با راهنمایی‌های مدبرانه، نظارت و سرپرستی این پایان‌نامه را به عهده داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

تعهد نامه

اینجانب **حامد بختیاری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک- گرایش تبدیل انرژی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان "**بررسی فنی و اقتصادی ساختمان با مصرف انرژی صفر به منظور کاهش مصرف گاز طبیعی**" تحت راهنمایی دکتر محمود فرزانه گرد و دکتر علی جباری مقدم متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش های 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 می‌باشد 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 بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده‌است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده‌است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده‌است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده‌است.

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 نمی‌باشد.

چکیده

در این تحقیق به بررسی فنی و اقتصادی ایجاد یک ساختمان صفر انرژی پرداخته شده است. در ابتدا به معرفی سیستم های انرژی تجدیدپذیر پرداخته شده است، سپس به تعاریف موجود در مقالات در مورد ساختمان صفر انرژی و بالانس انرژی و معیار ها و دوره های بالانس در این گونه ساختمان ها پرداخته شده است. در ادامه به توصیف روابط حاکم بر تابش خورشیدی و معادلات مربوط به سیستم های فتوولتائیک و کلکتور های خورشیدی پرداخته شده و سپس به معرفی معادلات حاکم بر توربین های بادی و سیستم های انرژی بادی پرداخته شده است. در آخر نیز نتایج محاسبات، بر اساس معادلات حاکم ارائه شده، توسط نرم افزار RETScreen برای یک ساختمان نمونه ارائه شده و برای هر مورد آنالیز اقتصادی مفصلی ارائه شده و دوره بازگشت سرمایه و درآمد های حاصل از نصب چنین سیستم های انرژی ای ارائه شده است.

کلمات کلیدی: ساختمان صفر انرژی، انرژی های تجدید پذیر، بهینه سازی مصرف انرژی، نرم افزار

RETScreen

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ای بر تعاریف ساختمان صفر انرژی و سیستم های استحصال انرژی تجدیدپذیر.....۱۰۰۰۰

۱-۱	مقدمه	۲
۲-۱	توصیف سیستم های استحصال انرژی تجدیدپذیر	۵
۱-۲-۱	سابقه آب گرمکن های خورشیدی	۵
۲-۲-۱	سرویس دهی آب گرم	۶
۳-۲-۱	استخر شنا	۸
۴-۲-۱	تشریح سیستم آب گرمکن خورشیدی	۹
۵-۲-۱	کلکتور خورشیدی	۱۰
۶-۲-۱	بالانس سیستم	۱۳
1-2-7	سیستم های فتوولتائیک	۱۴
۸-۲-۱	تعریف سیستم فتوولتائیک	۱۶
۹-۲-۱	ماژول های PV	۱۷
۱۰-۲-۱	بهینه سازی قدرت	۱۸
۱۱-۲-۱	بازارهای هدف فتوولتائیک	۱۹
۱۲-۲-۱	کاربرد در سیستم های متصل به شبکه	۱۹
۱۳-۲-۱	کاربرد های جدا از شبکه توزیع	۲۱
۱۴-۲-۱	سیستم های پمپاژ آب	۲۲
۱۵-۲-۱	انرژی باد	۲۳
۱۶-۲-۱	توربین های بادی	۲۵

فصل دوم: مروری بر مقالات و پیشینه تحقیق.....۲۷

2-1	معرفی	۲۸
2-2	تعاریف ساختمان صفر انرژی- مرور مقالات و متد های محاسبه	۲۹

۳۱	۱-۲-۲	معیار های بالانس
۳۳	۲-۲-۲	دوره زمانی بالانس
۳۴	۳-۲-۲	نوع انرژی مورد استفاده
۳۸	۴-۲-۲	نوع بالانس انرژی
۳۹	۵-۲-۲	گزینه های تامین انرژی از منابع تجدیدپذیز
۴۳	۶-۲-۲	ارتباط بین تاسیسات انرژی
۴۵	۷-۲-۲	الزامات مربوط به ساختمان صفر انرژی
۴۷	۸-۲-۲	تایید روش های محاسبه ای پیشنهادی
۵۰	۳-۲	نمونه کار انجام شده: مطالعه و امکان سنجی ساخت خانه صفر انرژی در کشور نیو فندلاند
۵۲	۱-۳-۲	منبع تامین انرژی
۵۴	۲-۳-۲	انتخاب سیستم انرژی بادی
۵۶	۳-۳-۲	آنالیز حساسیت
۵۸	2-4	نتیجه گیری
۵۹		فصل سوم: معادلات و روابط حاکم بر سیستم های استحصال انرژی تجدیدپذیر
۶۰	۱-۳	اصول انرژی خورشیدی
۶۰	۱-۱-۳	زاویه میل
۶۱	۲-۱-۳	زاویه ساعت خورشیدی و زاویه ساعت غروب
۶۱	۳-۱-۳	تابش فرا زمینی و شاخص شفافیت
۶۲	۲-۳	محاسبه تابش بر سطح شیب دار
۶۲	۱-۲-۳	توصیف الگوریتم
۶۴	۲-۲-۳	محاسبه ساعت به ساعت تابش پخش شده و مستقیم
۶۶	۳-۲-۳	محاسبه ساعت به ساعت تابش بر صفحه آرایه های PV
۶۷	۴-۲-۳	جمع بندی مقادیر
۶۷	3-3	مدل سازی آرایه های PV
۶۸	۱-۳-۳	محاسبه بازده متوسط

۶۹	انرژی تولید شده توسط ماژول ها	۲-۳-۳
۷۰	مدل سازی سیستم متصل به شبکه	۴-۳
۷۱	مدل سازی سیستم آب گرمکن خورشیدی	۵-۳
۷۱	دمای آسمان	۱-۵-۳
۷۲	دمای آب سرد تغذیه	۲-۵-۳
۷۶	محاسبه بار حرارتی آب گرم مصرفی	۳-۵-۳
۷۶	کلکتور های خورشیدی	۶-۳
۷۷	کلکتورهای شیشه ای و لوله خلاء	3-6-1
۷۸	کلکتورهای بدون شیشه	۲-۶-۳
۷۹	هم ارزی بین کلکتورهای شیشه ای و بدون شیشه	۳-۶-۳
۸۰	بهینه سازی زاویه تابش	۴-۶-۳
۸۰	تلفات لوله کشی و مخزن ذخیره آب گرم	۵-۶-۳
۸۱	تلفات ناشی از بارش برف و کثیفی کلکتورها	۶-۶-۳
۸۱	متد F-CHART برای آب گرم مصرفی	۷-۳
۸۵	متد UTILISABILITY	۸-۳
۸۶	معادلات حاکم بر سیستم های بادی	۹-۳
۸۶	انرژی تصحیح نشده	۱-۹-۳
۸۹	انرژی خالص تولیدی	۲-۹-۳
۸۹	انرژی تجدیدپذیر تحویل داده شده	۳-۹-۳
۹۴	فصل چهارم: ارائه نتایج	
۹۵	مقدمه	۱-۴
۹۵	شرایط آب و هوایی شهر بیرجند	۲-۴
۹۵	معرفی اقلیم	۱-۲-۴
۹۷	تابش خورشیدی	۲-۲-۴
۱۰۰	معرفی ساختمان مجموعه ورزشی بیرجند	۳-۴

۴-۴	ارائه راهکار های کاهش مصرف انرژی.....	۱۰۴
۵-۴	بررسی جز به جز راهکار های ارائه شده.....	۱۰۶
۱-۵-۴	راه کارهای معماری.....	۱۰۷
۲-۵-۴	فرصت های صرفه جویی در ارتباط با تاسیسات ساختمان.....	۱۱۴
۳-۵-۴	فرصت های صرفه جویی در ارتباط با تجهیزات و روشنایی ساختمان.....	۱۲۹
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات.....		
۱-۵	نتیجه گیری.....	۱۴۶
۲-۵	پیشنهادات.....	۱۴۸

فهرست اشکال

شکل ۱-۱	کلکتور خورشیدی لوله خلا- تبت، چین.....	۵
شکل ۲-۱	کلکتورهای صفحه تخت که در یک آپارتمان نصب شده.....	۷
شکل ۳-۱	نصب آبگرمکن خورشیدی در بام خانه ها-سوئد.....	۷
شکل ۴-۱	کلکتورهای شیشه ای سیستم گرمایش استخر خانگی در کانادا.....	۸
شکل ۵-۱	شماتیک یک سیستم آب گرمکن خورشیدی.....	۱۰
شکل ۶-۱	شماتیک یک کلکتور تخت بدون شیشه.....	۱۱
شکل ۷-۱	شماتیک سیستم کلکتور صفحه تخت شیشه ای.....	۱۲
شکل ۸-۱	شماتیک سیستم کلکتور خورشیدی لوله خلاء.....	۱۳
شکل ۹-۱	نمایی از سیستم فتوولتائیک خانه ای در اسپانیا.....	۱۵

شکل ۱۰-۱ سلول خورشیدی کریستال سیلیکون	۱۸
شکل ۱۱-۱ شماتیک سیستم تولید پراکنده و متمرکز و نحوه تعامل آنها با یکدیگر	۲۰
شکل ۱۲-۱ شماتیک سیستم تولید هیبریدی	۲۱
شکل ۱۳-۱ شماتیک سیستم پمپاژ آب توسط ماژول های PV	۲۲
شکل ۱۴-۱ نیروگاه برق بادی با ظرفیت ۴۰ مگاوات در کشور دانمارک	۲۴
شکل ۱۵-۱ شماتیک سیستم توربین بادی	۲۶
شکل ۱-۲ دید کلی نسبت به گزینه های تامین انرژی تجدید پذیر، منبع: Marszal [30]	۴۲
شکل ۲-۲ نتایج آنالیز حساسیت	۵۷
شکل ۱-۳ الگوریتم محاسبه تابش بر صفحات شیب دار	۶۳
شکل ۲-۳ فلوچارت مدل سازی آرایه های PV	۶۷
شکل ۳-۳ دیاگرام سیستم تولید آب گرم مصرفی	۸۲
شکل ۱-۴ شماتیک زاویه تابش خورشید بر پنجره ساختمان	۱۰۸

فهرست نمودار ها

نمودار ۱-۲ سرعت وزش باد متوسط ماهانه	۵۳
نمودار ۲-۲ میانگین سرعت وزش باد در ساعات مختلف روز در سال ۱۹۹۷	۵۴
نمودار ۳-۲ منحنی قدرت توربین های بادی بر حسب سرعت باد	۵۵
نمودار ۱-۳ مقایسه دمای آب سرد محاسبه شده توسط الگوریتم با مقادیر آزمایشگاهی	۷۴
نمودار ۲-۳ نتایج متد f -Chart	۸۴
نمودار ۱-۴ شدت تابش خورشیدی برای ماه های سال در زوایای مختلف نسبت به افق	۹۹
نمودار ۲-۴ موقعیت خورشید در آسمان در روز ۳۱ خرداد	۱۱۰

نمودار ۳-۴ طول سایه ایجاد شده بر روی پنجره نسبت به تغییرات زاویه تابش و عرض سایه بان	۱۱۱.....
نمودار ۴-۴ موقعیت خورشید در آسمان در روز ۱ دی	۱۱۲.....
نمودار ۵-۴ طول سایه ایجاد شده بر روی پنجره نسبت به تغییرات زاویه تابش و عرض سایه بان	۱۱۳.....
نمودار ۶-۴ دوره بازگشت سرمایه و سود انباشته شده حاصل از نصب آبگرمکن خورشیدی در ۳۰ سال	۱۲۰.....
نمودار ۷-۴ دوره بازگشت سرمایه و سود انباشته شده حاصل از نصب سلول های خورشیدی در ۳۰ سال	۱۳۵.....
نمودار ۸-۴ منحنی توان تولیدی بر حسب سرعت باد	۱۴۱.....
نمودار ۹-۴ دوره بازگشت سرمایه و سود انباشته شده حاصل از نصب توربین بادی در ۳۰ سال	۱۴۳.....

فهرست جداول

جدول ۱-۲ متد های بالانس ساختمان صفر انرژی به همراه ویژگی های متد ها	۳۵.....
جدول ۲-۲ ادامه جدول ۱-۲ ویژگی های منحصر به فرد هر متدولوژی	۳۶.....
جدول ۳-۲ سلسله مراتب تامین انرژی تجدید پذیر. منبع: [18] Torcellini	۴۱.....
جدول ۴-۲ مرور نتایج ارضا شدن متد های پیشنهادی	۴۹.....
جدول ۵-۲ ویژگی های یک خانه با استاندارد R-2000 در نیو فنلاند	۵۱.....
جدول ۶-۲ متوسط ماهانه مصرف انرژی در ساختمان	۵۲.....
جدول ۷-۲ نتایج مدل سازی برای سه مقدار سرعت وزش باد	۵۶.....
جدول ۱-۳ مقادیر مشخصه های مازول های PV در شرایط استاندارد	۶۸.....
جدول ۲-۳ مقایسه مقادیر آزمایشگاهی و محاسبه شده برای دمای آب سرد	۷۵.....
جدول ۳-۳ نرخ جذب انرژی باد پیشنهادی	۹۱.....
جدول ۱-۴ مشخصات اقلیمی و شرایط طراحی بیرجند	۹۶.....

- جدول ۲-۴ داده های آب و هوایی برای ماه های سال و متوسط سالانه شهر بیرجند ۹۷
- جدول ۳-۴ تابش خورشیدی روزانه بر واحد سطح با زوایای ۹۰ و ۳۳ نسبت به افق ۹۸
- جدول ۴-۴ میزان مصرف برق و گاز مجموعه ورزشی ۱۰۱
- جدول ۵-۴ ضریب انتقال حرارت اجزای مختلف پوسته خارجی مجموعه ورزشی بیرجند ۱۰۱
- جدول ۶-۴ مشخصات هندسی اجزای پوسته خارجی مجموعه ورزشی بیرجند ۱۰۲
- جدول ۷-۴ تجهیزات برقی ساختمان ۱۰۳
- جدول ۸-۴ میزان مصرف انرژی در بخشهای مختلف مجموعه ورزشی ۱۰۴
- جدول ۹-۴ اقدامات صورت گرفته جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان مجموعه ورزشی بیرجند ۱۰۵
- جدول ۱۰-۴ میزان صرفه جویی در مصرف حامل های انرژی در ساختمان مجموعه ورزشی بیرجند ۱۰۵
- جدول ۱۱-۴ ارزیابی نصب سایه بان بر جدار های نور گذر در مجموعه ورزشی بیرجند ۱۱۴
- جدول ۱۲-۴ نوع و تعداد واحد های مصرف آب گرم مجموعه ورزشی بیرجند ۱۱۶
- جدول ۱۳-۴ شدت تابش خورشیدی برای شهر بیرجند در زاویه ۹۰ و ۳۳ درجه نسبت به افق ۱۱۷
- جدول ۱۴-۴ مشخصات آبگرمکن خورشیدی مجموعه ورزشی بیرجند ۱۱۸
- جدول ۱۵-۴ بالانس سیستم آب گرم کن خورشیدی مجموعه ورزشی بیرجند ۱۱۹
- جدول ۱۶-۴ ارزیابی استفاده از آبگرمکن خورشیدی در مجموعه ورزشی بیرجند ۱۲۰
- جدول ۱۷-۴ پارامتر های اقتصادی ۱۲۱
- جدول ۱۸-۴ قیمت تمام شده و سرمایه صرفه جویی شده و کسب شده ۱۲۱
- جدول ۱۹-۴ درآمد سالانه به تفکیک هر پارامتر ۱۲۲
- جدول ۲۰-۴ امکان سرمایه گذاری ۱۲۳
- جدول ۲۱-۴ ارزیابی تنظیم دمای فضاها برای تابستان در مجموعه ورزشی بیرجند ۱۲۵
- جدول ۲۲-۴ ارزیابی تنظیم دمای فضاها برای زمستان در مجموعه ورزشی بیرجند ۱۲۵
- جدول ۲۳-۴ ارزیابی تنظیم مشعل بویلر در مجموعه ورزشی بیرجند ۱۲۶

- جدول ۴-۲۴ ارزیابی نصب پرده هوایی در مجموعه ورزشی بیرجند..... ۱۲۶
- جدول ۴-۲۵ ارزیابی نصب سیستم کنترل هوشمند موتور خانه در مجموعه ورزشی بیرجند..... ۱۲۸
- جدول ۴-۲۶ ارزیابی استفاده از بالاست الکترونیکی در مجموعه ورزشی بیرجند..... ۱۳۲
- جدول ۴-۲۷ تابش خورشیدی و الکتریسیته تولیدی توسط سلول های خورشیدی ۱۳۳
- جدول ۴-۲۸ مشخصات سیستم فتوولتائیک و اینورتر مجموعه ورزشی بیرجند..... ۱۳۴
- جدول ۴-۲۹ ارزیابی استفاده از سلول خورشیدی برای مجموعه ورزشی بیرجند ۱۳۴
- جدول ۴-۳۰ پارامتر های اقتصادی نصب ماژول های خورشیدی ۱۳۶
- جدول ۴-۳۱ قیمت تمام شده و سرمایه صرفه جویی شده و کسب شده ۱۳۶
- جدول ۴-۳۲ درآمد سالانه به تفکیک هر پارامتر ۱۳۷
- جدول ۴-۳۳ امکان سرمایه گذاری..... ۱۳۹
- جدول ۴-۳۴ سرعت وزش باد در ارتفاع ۱۰ و ۲۰ متری سطح زمین ۱۴۰
- جدول ۴-۳۵ مشخصات فنی یک نمونه توربین بادی ۱۴۱
- جدول ۴-۳۶ ارزیابی نصب توربین بادی در مجموعه ورزشی بیرجند ۱۴۲
- جدول ۴-۳۷ پارامترهای تولید توربین بادی ۱۴۲
- جدول ۴-۳۸ امکان سرمایه گذاری..... ۱۴۳
- جدول ۵-۱ اقدامات صورت گرفته جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان مجموعه ورزشی بیرجند ۱۴۷



دانشگاه صنعتی شاهرود

فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی
تجدیدپذیر

فصل اول: مقدمه ای بر تعاریف

ساختمان صفر انرژی و سیستم های

استحصال انرژی تجدیدپذیر



۱-۱ مقدمه

حدود ۴۰ درصد انرژی مصرفی سالانه در دنیا مربوط به ساختمان های مسکونی و تجاری می باشد و ۷۰ درصد گاز طبیعی کشور ایران نیز مربوط به سیستم های گرمایشی ساختمان است. با توجه به افزایش قیمت حامل های انرژی و روند صعودی این افزایش و مشکلات زیست محیطی استفاده از سوخت های فسیلی، ساختمان های صفر انرژی گزینه مناسبی برای حرکت رو به جلو در کاهش مصرف انرژی و مرتفع کردن مشکلات مربوط به هزینه بالا و پیامد های زیست محیطی، که در کشور ایران در حال تبدیل به یک معضل بزرگ برای شهروندان در شهر های بزرگ و صنعتی است، می باشد. برای ساخت این ساختمان ها از یک سو باید مصرف انرژی ساختمان را تا حد ممکن کاهش داد و سپس با تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر آن مقدار کم انرژی که مورد نیاز ساختمان می باشد را تولید کرد.

با افزایش بهای انرژی در سالهای ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ در اکثر نقاط جهان مهندسان و طراحان ساختمان به فکر ساخت خانه هایی با مصرف انرژی بسیار پایین افتادند ولی هنوز ساخت ساختمان های صفر انرژی در حیطه مطالعات و تحقیقات بود. با افزایش توجه دولت ها به این موضوع در ایالات متحده به موجب قانون تصویب شده در سال ۲۰۰۷ به منظور حمایت از ایجاد ساختمان هایی با مصرف خالص انرژی صفر، نیمی از ساختمان های تجاری تا سال ۲۰۴۰ و تمام ساختمان های تجاری ایالات متحده تا سال ۲۰۵۰، باید صفر انرژی باشند. در اروپا نیز در سال ۲۰۱۰ تصمیمی گرفته شد مبنی بر اینکه از سال ۲۰۱۸ در مورد ساختمان هایی که کاربری عمومی و دولتی دارند بحث نزدیک شدن به مصرف انرژی صفر مطرح شود و از سال ۲۰۲۰ به بعد برای همه ساختمان های جدید اعمال شود.

در ایران نیز در سال ۱۳۷۰ با تصویب مبحث ۱۹ توسط هیئت وزیران گام بزرگی در زمینه صرفه جویی مصرف انرژی در بخش ساختمان برداشته شد، و اعمال آن برای ساختمان های دولتی از سال ۱۳۸۴ اجباری



شد. اجرای این مبحث حداکثر ۵ درصد هزینه های ساخت و ساز ساختمان را افزایش می دهد اما در مقابل ظرفیت سیستم های گرمایش و سرمایشی را تا ۴۰ درصد کاهش می دهد.

امروزه با کاهش حجم ذخیره سوخت های فسیلی، گران تر شدن بهای انرژی و از آن مهمتر آلودگی های ایجاد شده ناشی از استخراج و بهره برداری از سوخت های فسیلی، و البته به کار گیری تکنولوژی های نوین ساخت خانه هایی باتولید انرژی مثبت میسر شده است. هم چنین به دلیل کاهش هزینه سیستم های خورشیدی به میزان ۸۰ درصد در طول دو دهه گذشته میل به استفاده از این سیستم ها افزایش یافته است. طبق آمار های اعلام شده در ساختمان های صفر انرژی میزان مصرف انرژی نسبت به ساختمان های مشابه معمولی بسیار کمتر است و این میزان در ایالات متحده ۷۵ درصد، در انگلستان ۷۷ درصد و در ایرلند ۸۵ درصد می باشد. از سوی دیگر هنوز استاندارد واحد و مشخصی برای یک ساختمان صفر انرژی وجود ندارد و استانداردهای گوناگونی در این زمینه ارائه شده اند، که از آن جمله می توان به استاندارد اکو هومز (Eco Homes) انگلیس، پسیو هوس (Passive House) آلمان و استاندارد زید (ZEED) ایالات متحده امریکا اشاره کرد، که هر کدام به گونه ای بازدهی انرژی را ارزیابی کرده اند، [1]

ساختمان انرژی صفر یا Zero Energy Building که به اختصار به آن ZEB می گویند، ترکیبی از هنر معماری، طراحی ساختمان با بازده انرژی بالا به همراه لوازم خانگی پر بازده و سیستم های تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر می باشد.

تعاریف مختلفی برای ساختمان با مصرف خالص انرژی صفر ارائه شده است، که در اکثر آنها فقط مصرف انرژی در طول زمان کار و بهره برداری از ساختمان در نظر گرفته می شود، در حالی که باید به انرژی مصرفی جهت ساخت ساختمان و مصالح و تجهیزات ساختمانی نیز پرداخته شود. اولین اظهار نظرها در مورد مفهوم خالص مصرف انرژی را می توان به پودولینسکی نسبت داد، وی سعی کرد تا جنبه های مختلف مصرف انرژی را برای تولید اجناس و کالاها ارزیابی کند، [2] در یک ساختمان با مصرف انرژی صفر، که از



این پس آن را ساختمان صفر انرژی می نامیم، ابتدا باید مصرف انرژی در آن تاحد ممکن کم شود، سپس انرژی مورد نیاز ساختمان با استفاده از تکنولوژی های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و انرژی باد، تامین شود. ساختمان صفر انرژی ترکیبی از طرح های انفعالی و تکنولوژی های فعال برای برقراری تعادل بین تولید و مصرف می باشد [1]. به طور کلی به خانه هایی که از شبکه سراسری توزیع برق دور باشند و به کمک منابع تجدیدپذیر انرژی، انرژی مورد نیاز خود را تامین کنند، عبارت صفر انرژی اطلاق می شود. آنچه در مورد این خانه ها قابل تامل است، تامین مصرف انرژی آنها در روزهای ابری و مواقع تاریکی که انرژی خورشیدی در دسترس نمی باشد است، البته این مشکل را با ذخیره انرژی در روزهای دیگر مرتفع ساخته اند، اما هزینه های مربوط به ذخیره انرژی بسیار بالا می باشد، و از پایداری مطلوبی برخوردار نمی باشد، از این رو طراحی ساختمان هایی با مصرف خالص انرژی صفر بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند. در این ساختمان ها سیستم تولید انرژی با سیستم توزیع انرژی از شبکه، در تعامل می باشد به طوری که در صورت نیاز به انرژی اضافی، آن را از شبکه دریافت می کند و هنگام تولید انرژی مازاد بر مصرف ساختمان، آن را به شبکه تزریق می کند. در سطح وسیع تر اگر در چند منطقه جغرافیایی خانه ها و شهرک هایی وجود داشته باشند، که تامین انرژی آنها توسط منابع تجدیدپذیر صورت گیرد، در هنگامی که در یک منطقه امکان تولید انرژی به علت شرایط محیطی فراهم نباشد، می توان با ایجاد تعامل بین منطقه ای، انرژی مازاد مناطق دیگر را به منطقه مورد نظر انتقال داد بدون اینکه احتیاجی به سوختن سوخت فسیلی وجود داشته باشد. اگر در ساختمان های انرژی صفر تولید انرژی بیشتر از نیاز سالانه آن ساختمان باشد آن را انرژی پلاس می گویند. منظور از بهینه سازی در یک ساختمان این است که مقادیر ضریب انتقال حرارت کلی برای دیوار ها، پنجره ها، سقف، ظرفیت حرارتی و ضخامت جرم حرارتی، جهت ساختمان و تعداد دفعات تعویض هوا را تغییر داده و با به کار گیری سیستم های پسیو (Passive) نتایج را تحلیل نموده و در مجموع بهینه ترین حالت، با کمترین میزان مصرف انرژی انتخاب شود، [3].



۲-۱ توصیف سیستم های استحصال انرژی تجدیدپذیر

۱-۲-۱ سابقه آب گرمکن های خورشیدی

استفاده از انرژی حرارتی خورشید ایده جدیدی نمی باشد. بیش از صد سال قبل، از مخازنی که رنگ سیاه به آنها زده شده بود، به عنوان ساده ترین سیستم آب گرمکن خورشیدی در برخی کشور ها استفاده شده است. در قرن گذشته تکنولوژی آب گرمکن خورشیدی پیشرفت چشمگیری داشته است. امروزه بیش از ۳۰ میلیون متر مربع کلکتور خورشیدی در سراسر دنیا نصب و مورد بهره برداری قرار گرفته است. صد ها هزار آب گرمکن خورشیدی مدرن مانند چیزی که در شکل ۱-۱ در کشورهای نظیر چین، هند، آلمان، ژاپن، استرالیا و یونان نصب شده است.

شکل ۱-۱ کلکتور خورشیدی لوله خلا-تبت، چین



در حقیقت، در برخی کشور ها نصب سیستم آب گرمکن خورشیدی در ساختمان های نو ساز به صورت قانون اجباری درآمده است. آب گرمکن های خورشیدی علاوه بر کاهش هزینه های سوخت مصرفی برای تولید آب گرم، مزایای دیگری نیز دارند. برخی از آنها یک مخزن ذخیره اضافی نیز دارند، که مخزن آب داغ



فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

را تغذیه می کند. که این موضوع باعث می شود احتمال تمام شدن آب گرم کمتر شود. برخی آب گرمکن های خورشیدی به الکتریسیته برای کار احتیاج ندارند و به همین دلیل هنگام قطع برق خللی در کار آنها اتفاق نمی افتد. هم چنین از آب گرمکن های خورشیدی می توان برای استخر های شنا استفاده کرد و در این حالت احتیاجی به مخزن ندارند.

موارد کاربرد آبگرمکن های خورشیدی بیشتر برای سرویس دهی آب گرم و استخر های شنا می باشد. در زیر به توضیح مختصر این موارد پرداخته خواهد شد.

۲-۲-۱ سرویس دهی آب گرم

برای سرویس آب گرم چندین کاربرد وجود دارد. بیشترین کاربرد آن برای تامین آب گرم مصرفی ساختمان های مسکونی می باشد. سایر موارد استفاده شامل فراهم کردن آب گرم در پروسه کاربر های ساختمان های تجاری و موسسات دولتی و خصوصی می باشد، که شامل آپارتمان های چند طبقه و خانه های مسکونی که در شکل ۱-۲ و شکل ۱-۳ نمونه هایی از آنها دیده می شود، مدارس و مراکز بهداشتی و درمانی، رستوران، هتل و ساختمان های اداری می باشد.



دانشگاه صنعتی شاهرود

فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

شکل ۱-۲ کلکتورهای صفحه تخت که در یک آپارتمان نصب شده



شکل ۱-۳ نصب آبگرمکن خورشیدی در بام خانه ها-سوئد





فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

۳-۲-۱ استخر شنا

دمای آب استخر ها می تواند به وسیله سیستم آب گرمکن خورشیدی تنظیم شود، و با این کار در هزینه انرژی صرفه جویی شود. اصول کار چنین سیستمی مانند سیستم سرویس آب گرم می باشد با این تفاوت که خود استخر به عنوان مخزن ذخیره عمل می کند. اگر سائز سیستم به درستی انتخاب شده باشد، سیستم آب گرمکن خورشیدی می تواند جایگزین سیستم سنتی گرمایش آب استخر شود. سیستم گرمایش خورشیدی آب استخر می تواند برای استخر هایی با سائز های مختلف چه این استخر یک استخر کوچک تابستانی رو باز باشد مانند شکل ۴-۱، و چه استخر المپیک سرپوشیده باشد که ۱۲ ماه سال فعال می باشد، به کار گرفته شود.

شکل ۴-۱ کلکتورهای شیشه ای سیستم گرمایش استخر خانگی در کانادا





۴-۲-۱ تشریح سیستم آب گرمکن خورشیدی

سیستم گرمایش آب خورشیدی از کلکتور و واحد انتقال مایع به منظور انتقال حرارت، و یک مخزن ذخیره استفاده می کند. واحد انتقال سیال شامل پمپ، سیستم های کنترل و تجهیزات ایمنی می شود. طراحی مناسب برای سیستم آب گرمکن خورشیدی، این سیستم را قادر می سازد، تا در دمای زیر صفر و یا در روزهای آفتابی که دما بیش از حد بالا می رود عملکرد مناسبی داشته باشد. بسیاری از سیستم ها از یک گرمکن پشتیبان برای تامین آب گرم مورد نیاز در هنگامی که شدت تابش آفتاب کم می باشد استفاده می کنند. سیستم آب گرمکن خورشیدی توسط سه مرحله به تامین آب گرم می پردازد:

۱- **جمع آوری:** تشعشعات خورشیدی توسط کلکتور جذب می شود.

۲- **انتقال:** سیرکولاسیون سیال عامل انرژی جذب شده توسط کلکتور ها را به سمت مخزن ذخیره

انتقال می دهد. این سیرکولاسیون می تواند طبیعی باشد، (با استفاده از خاصیت ترموسیفون) و یا

اجباری باشد، (یک پمپ با هد پایین)

۳- **ذخیره سازی:** آب گرم پس از تولید باید در مخزن عایقی نگهداری شود و تا زمان استفاده حرارت

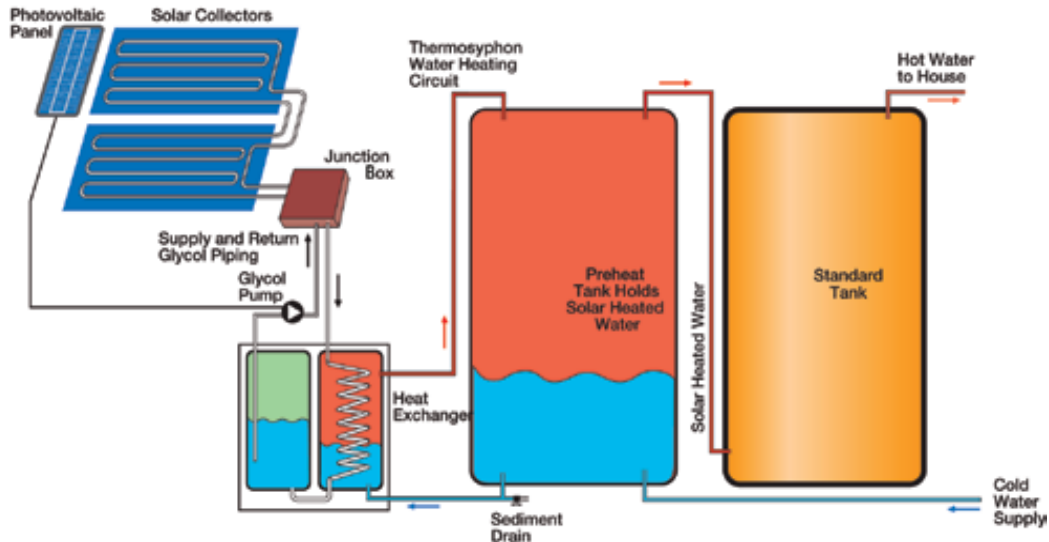
خود را از دست ندهد. در شکل ۱-۵ شماتیک یک سیستم آب گرمکن خورشیدی ملاحظه می شود:



فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

شکل ۵-۱ شماتیک یک سیستم آب گرمکن خورشیدی

Solar Hot Water System Schematic



۵-۲-۱ کلکتور خورشیدی

انرژی خورشیدی توسط صفحه جاذب در کلکتور های خورشیدی جمع آوری می شود. معمولاً از یک لایه پوشاننده برای بالا بردن ضریب جذب کلکتور استفاده می شود، سپس این حرارت جذب شده به سیال عامل انتقال می یابد.

چندین مدل کلکتور خورشیدی طراحی و ساخته شده است. انتخاب نوع کلکتور به منطقه آب و هوایی و دمای مورد نیاز بستگی دارد. به طور کلی ۳ نوع کلکتور خورشیدی وجود دارد.

۱- کلکتور صفحه تخت بدون شیشه

۲- کلکتور صفحه تخت شیشه ای

۳- کلکتور لوله خلاء

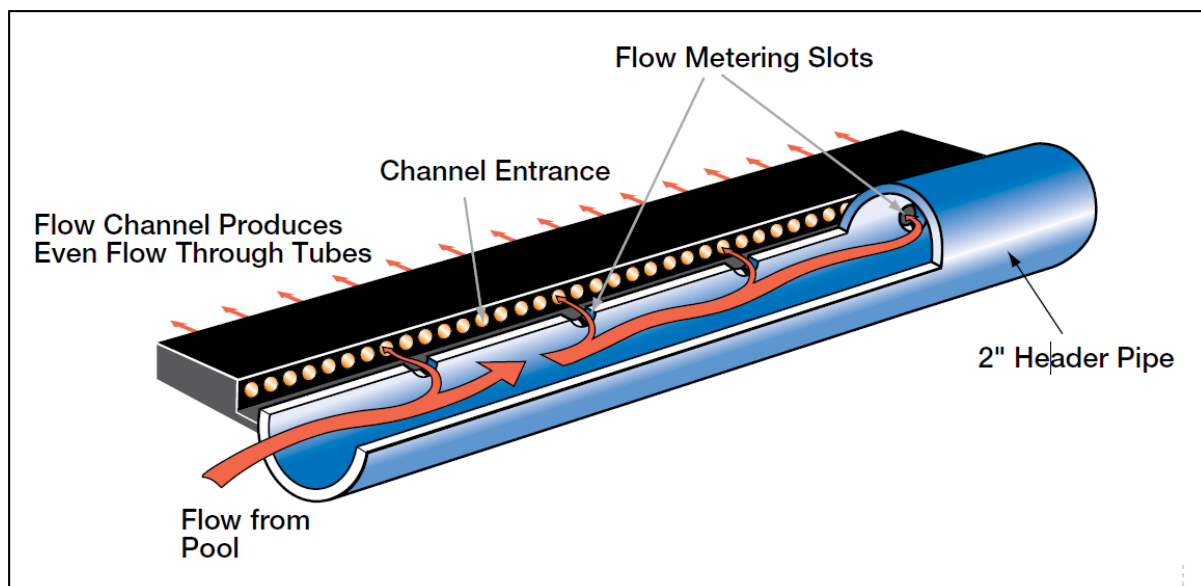


فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

۱-۵-۲-۱ کلکتور صفحه تخت بدون شیشه

این نوع کلکتور ها که در شکل ۶-۱ برشی از آن ملاحظه می شود معمولا از یک ماده پلیمری سیاه رنگ ساخته شده اند. در این کلکتورها به صورت معمول از ماده پوشاننده و قاب و عایق استفاده نمی شود. معمولا این کلکتور ها بر روی بام به همراه یک ساپورت چوبی پهن می شوند. این کلکتورهای ارزان قیمت برای جذب انرژی خورشیدی مناسب می باشند اما تلفات حرارتی آنها بسیار زیاد است و این تلفات با بالا رفتن دمای آب داخل صفحه پلیمری به ویژه در مواقع وزش باد به شدت افزایش می یابد. از این نوع کلکتور ها برای مقاصدی استفاده می شود که احتیاج به دمای پایین آب گرم دارند، مانند استخر شنا، مزرعه پرورش ماهی و غیره. در مکان های سرد نیز فقط در فصل تابستان عملکرد قابل قبولی دارند.

شکل ۶-۱ شماتیک یک کلکتور تخت بدون شیشه



۲-۵-۲-۱ کلکتور صفحه تخت شیشه ای

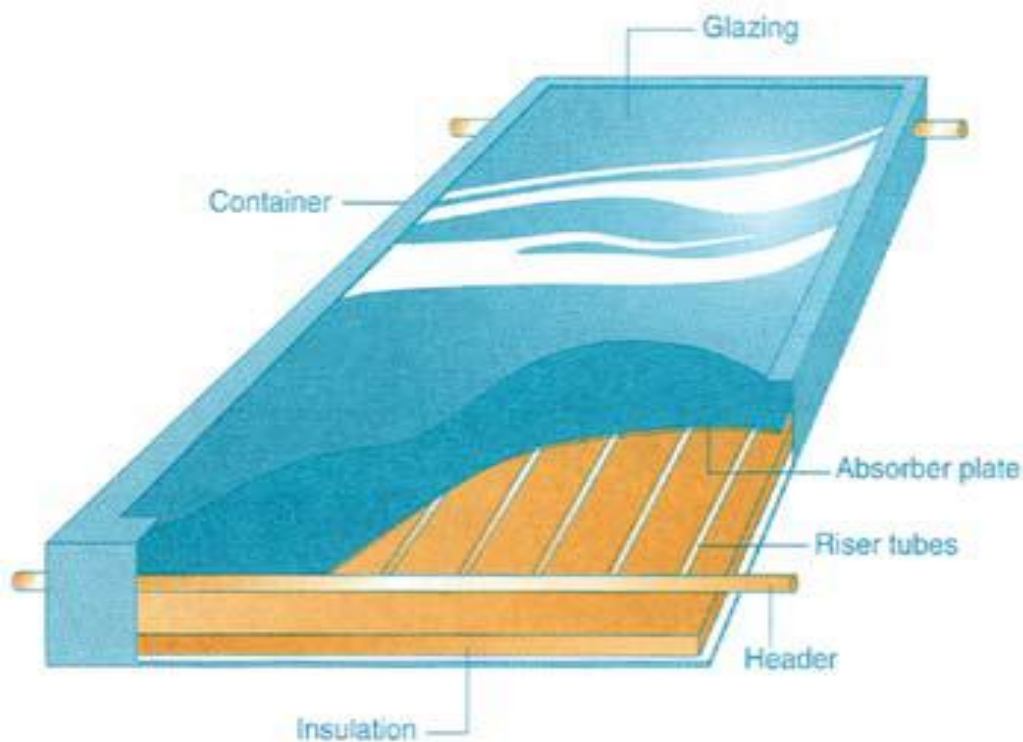
در کلکتورهای صفحه تخت شیشه ای همانطوری که در شکل ۷-۱ نیز مشاهده می شود، یک صفحه تخت جاذب (که معمولا دارای مواد پوشاننده نیز هست) در یک قاب بین سطوح شیشه ای در بالا و مواد عایق در پایین قرار می گیرد. به این ترتیب از هدر رفتن انرژی خورشیدی به علت ایجاد اثرات گلخانه ای جلوگیری



فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

می شود. این کلکتورها برای کاربرهای با دمای متوسط به کار گرفته می شوند، به عنوان مثال برای تامین آب گرم مصرفی یا گرمایش فضا ها.

شکل ۷-۱ شماتیک سیستم کلکتور صفحه تخت شیشه ای



۱-۲-۵-۳ کلکتور های لوله خلاء

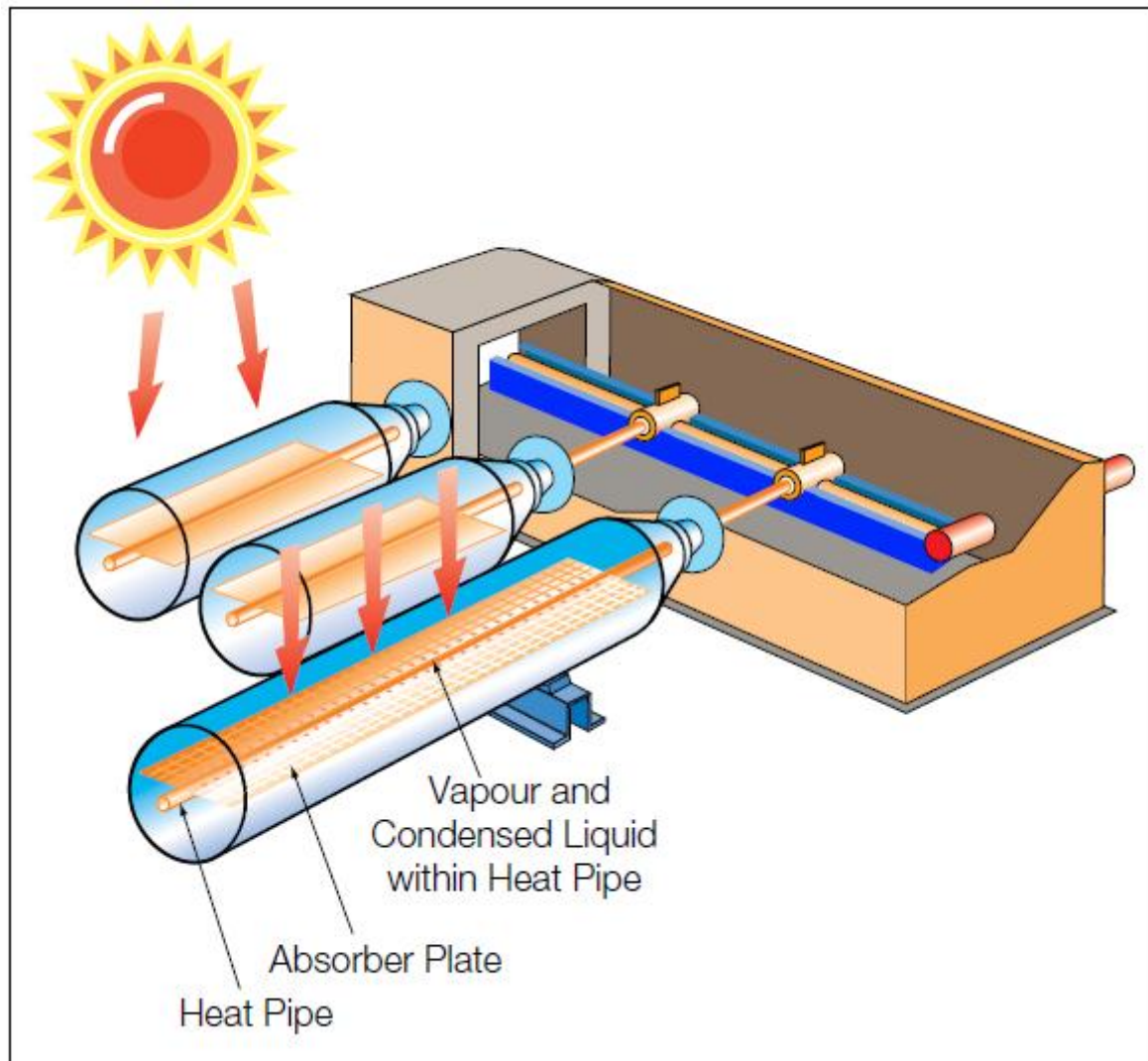
این مدل از کلکتور ها که در شکل ۸-۱ شماتیکی از سیستم آن دیده می شود، دارای یک صفحه جاذب با مواد پوشاننده که در درون یک لوله خلاء با درزبندی دقیق قرار دارد، می باشد. این مدل کلکتور برای دریافت انرژی خورشیدی بسیار مناسب می باشد و تلفات حرارتی آنها بسیار کم می باشد. در مرکز لوله خلاء یک لوله دیگر قرار دارد که به صفحه جاذب متصل است و گرما از طریق این لوله به سیال عامل انتقال



فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

داده می شود. این مدل از کلکتورها برای دما های متوسط به بالا (60°C الی 80°C بسته به دمای بیرون) به خصوص برای کناطق سرد سیر، مناسب می باشند.

شکل ۸-۱ شماتیک سیستم کلکتور خورشیدی لوله خلاء



۶-۲-۱ بالانس سیستم

سیستم آب گرمکن خورشیدی معمولاً از اجزای زیر که به اجزای بالانس سیستم معروفند تشکیل شده است:

۱- سازه نگه دارنده ردیف های کلکتور، به منظور پایدار نگه داشتن سیستم در برابر اثرات محیطی



فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

- ۲- مخزن نگهداری آب گرم، برای ذخیره و گرم نگه داشتن آب گرم مصرفی
- ۳- واحد انتقال سیال عامل، که شامل پمپ برای انتقال سیال از مخزن به کلکتور می باشد
- ۴- کنترلر، که وظیفه فعال کردن گردش سیال در هنگامی که حرارت قابل استفاده در کلکتور در دسترس می باشد. را بر عهده دارد.
- ۵- حفاظت از انجماد، که در هنگام سرد بودن هوا از انجماد سیال عامل جلوگیری می کند، معمولا از یک ضد یخ غیر سمی استفاده می شود که در این حالت سیستم نیاز به یک مبدل حرارتی دارد تا سیال عامل با آب گرم مصرفی مخلوط نشود.
- برای مدل سازی سیستم آب گرمکن خورشیدی احتیاج به یک سری متغیر های محیطی می باشد که توسط سازمان هواشناسی در اختیار قرار می گیرد.
- میانگین ماهانه ی تشعشع روزانه در محل نصب کلکتور های خورشیدی
- دمای آسمان، که برای محاسبه انرژی گردآوری شده توسط کلکتور های بدون شیشه به کار می رود.
- دمای آب سرد، که برای محاسبه بار گرمایی سیستم به کار می رود.
- بار حرارتی،

۷-۲-۱ سیستم های فتوولتائیک

در ۲۰ سال گذشته تقاضا برای سیستم های برق خورشیدی رو به افزایش بوده است. نیاز به انرژی برق ارزان قیمت در نقاط دور از شبکه نیروی محرک اصلی در صنعت فتوولتائیک امروزی بوده است. برای بسیاری از موارد کاربرد سیستم فتوولتائیک ارزان ترین گزینه می باشد. سیستم های فتوولتائیک در خانه های دور افتاده روستایی، سیستم های نظامی و سیستم آبیاری زمین های کشاورزی و موارد بشمار دیگری کاربرد دارند و



دانشگاه صنعتی شاهرود

فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

مورد استفاده قرار می گیرند [4]. در دهه ۸۰ میلادی صنعت PV رشدی معادل ۸۵۰ درصد را در ۱۴ سال تجربه کرد، که این رشد منجر به افزایش ظرفیت تولید برق خورشیدی به میزان ۱۰۰۰ مگاوات در سطح جهان شد.

شکل ۹-۱ نمایی از سیستم فتوولتائیک خانه ای در اسپانیا





۸-۲-۱ تعریف سیستم فتو ولتائیک

کلای اصلی در تجارت و بازار PV ماژول های PV می باشد. این ماژول ها بر اساس قدرت خروجی خود تحت شرایط استاندارد رتبه بندی می شوند. که شرایط استاندارد یعنی شدت تابش خورشیدی به میزان ۱۰۰۰ وات بر متر مربع و دمای 25 °C برای سلول خورشیدی می باشد. خروجی ماژول های خورشیدی که تحت شرایط استاندارد اندازه گیری شده است، تحت عنوان peak watt یا W_p که ظرفیت اسمی ماژول ها می باشد، نامیده می شود. ذکر این نکته ضروری است که اگر کارخانه سازنده به عنوان مثال ظرفیت ماژول را $165 MW_p$ عنوان کند، به معنی این است که این ماژول PV تحت شرایط استاندارد می تواند این مقدار الکتریسیته را تولید کند.

ماژول های PV با اجزای دیگری به صورت یک پارچه در می آیند که این اجزا تحت عنوان اجزای تعادل سیستم یا BOS نام گذاری می شوند، BOS مشتمل بر چهار جزء می باشد:

- ۱- باتری ها- که وظیفه ذخیره و نگهداری انرژی تولید شده و تحویل آن به بار ها در هنگام افت یا عدم تولید توسط سلول ها را بر عهده دارند.
- ۲- اینورتر- برای تبدیل ولتاژ DC که توسط ماژول ها تولید می شود به ولتاژ AC به کار می رود.
- ۳- کنترل کننده ها- وظیفه کنترل شارژ باتری ها و همچنین تحویل الکتریسیته به بار ها را بر عهده دارد.
- ۴- سازه- امکان نصب و اجرای ماژول ها و سایر اجزاء سیستم را فراهم می کند.

البته قابل ذکر است که تمام سیستم های PV به همه اجزای ذکر شده در بالا احتیاج ندارند. برای مثال سیستمی که از یرق AC استفاده نمی کند طبیعتاً به اینورتر احتیاج ندارد، یا در سیستمی که به شبکه توزیع سراسری متصل است از شبکه به عنوان سیستم ذخیره استفاده می کند و نیازی به باتری ندارد و یا برای سیستم پمپاژ آب نیز به باتری احتیاجی نیست چراکه منبع ذخیره آب به عنوان منبع ذخیره انرژی



فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

برای سیستم به شمار می رود. برخی از سیستم ها نیز به اجزای دیگری نیاز دارند که ربطی به فتوولتائیک ندارد. به عنوان مثال سیستم های جدا از شبکه که شامل یک ژنراتور سوخت فسیلی برای تولید الکتریسیته می شوند، تا هنگام تخلیه باتری ها از آن سیستم استفاده شود.

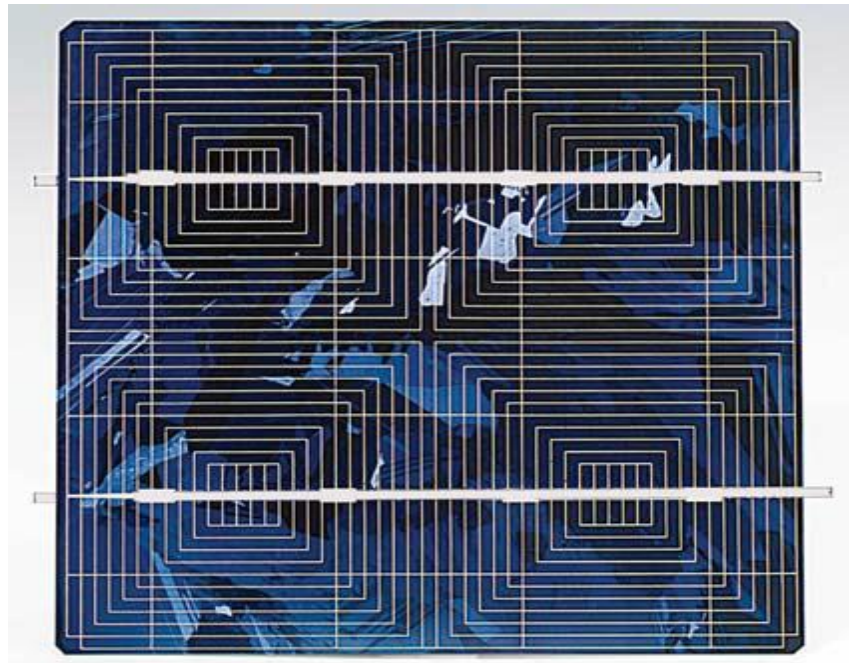
۹-۲-۱ مازول های PV

برای تولید مازول ها کارخانه های سازنده PV از کریستال های سیلیکون یا تکنولوژی پیشرفته فیلم نازک استفاده می کنند. در خط تولید توسط قالب ریزی کریستال منفرد یا کریستالهای به هم پیوسته سیلیکون یا تسمه های سیلیکونی به سلول های خورشیدی تبدیل می شوند. سپس کارخانه سازنده سلول های تولید شده را به مازول های PV مونتاژ می کند. به جهت اینکه این مازول ها برای شارژ باتری کاربرد دارند، بیشتر آنها برای تحویل برق DC در ولتاژ ۱۲ ولتاژ طراحی می شوند. یک مازول کریستالی سیلیکونی به صورت معمول شامل یک مدار سری از ۳۶ سلول می شود. بازده میانگین برای مازول های سیلیکونی بین ۱۱ الی ۱۵ درصد در نوسان است. در زیر شکل یک سلول خورشیدی ملاحظه می شود.



فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

شکل ۱-۱ سلول خورشیدی کریستال سیلیکون



برخی از کارخانه های سازنده بر روی مدلی از ماژول های PV تحقیق می کنند که این ماژول ها نور خورشید را با استفاده از عدسی بر روی سطح کوچکی از یک سلول خورشیدی با بازده بالا منعکس می کنند. به علت ارزان تر بودن عدسی نسبت به ماژول های سیلیکونی رایج، بر واحد سطح، انرژی تولید شده در هر وات ارزان تر از حالت بدون عدسی تمام می شود. تنها مشکل این سیستم این است که باید در معرض نور مستقیم خورشید قرار بگیرند و به این علت باید دارای یک سیستم ردیاب خورشیدی باشند، چنین سیستم هایی برای نواحی بیابانی که از شدت کافی تابش خورشیدی بهره مند هستند توصیه شده است.

۱-۲-۱ بهینه سازی قدرت

در سیستم ماژول های PV از چندین وسیله الکترونیکی برای کنترل و اصلاح قدرت تولیدی توسط سلول ها استفاده می شود. این وسیله ها شامل:



فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

- ۱- کنترلر شارژ باتری ها- که وظیفه تنظیم دوره های شارژ و دشارژ باتری ها را بر عهده دارد.
- ۲- سیستم ردیاب قدرت خروجی بیشینه (MPPT) - ولتاژ کاری آرایه های خورشیدی را در مقدار بیشینه نگه می دارد.
- ۳- اینورتر- تبدیل ولتاژ DC که توسط سلول ها تولید شده است به ولتاژ AC که برای اکثر لوازم برقی قابل استفاده می باشد.
- ۴- یکسو کننده جریان (شارژر باتری)- جریان AC را که توسط ژنراتور (در صورت وجود) تولید شده را به جریان DC برای شارژ باتری تبدیل می کند.

۱۱-۲-۱ بازارهای هدف فتوولتائیک

سیستم فتو ولتائیک سه مدل روش استفاده عمده دارد ۱- کاربرد در سیستم های متصل به شبکه ۲- سیستم های جدا از شبکه ۳- سیستم پمپاژ آب در اینجا به توضیح مختصری از هر کدام پرداخته می شود.

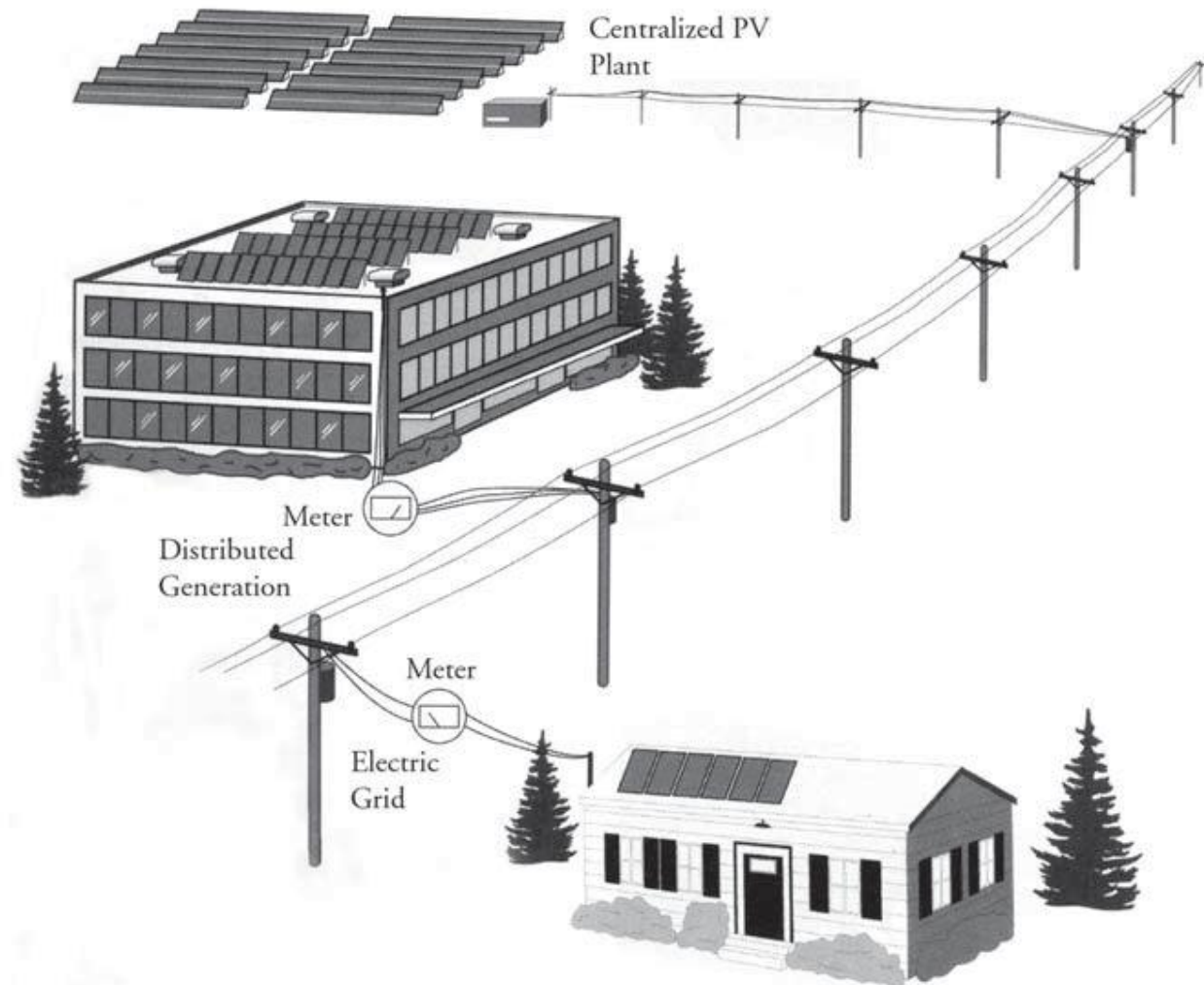
۱۲-۲-۱ کاربرد در سیستم های متصل به شبکه

در این سیستم کاربرد مازول های PV به طور مستقیم به شبکه برق تزریق می کنند. در رویکرد برای این مدل می تواند تعریف شود. ۱- سیستم تولید مرکزی ۲- سیستم تولید پراکنده. به عنوان مثال یک سیستم تولید پراکنده می توان خانه ای را که دارای سیستم یک پارچه PV که به شبکه متصل می باشد را نام برد. معمولاً برای خانه های مسکونی سائز سیستم تولید از ۲ تا ۴ کیلووات متغیر است و این مقدار برای ساختمان های تجاری می تواند به ۱۰۰ کیلووات یا بیشتر نیز برسد. در سیستم متصل به شبکه به باتری نیازی نیست. یک گزینه دیگر ساخت نیروگاه های تولید برق توسط مازول ها می باشد که بسته به منطقه مورد استفاده میتواند از توجیه اقتصادی برخوردار باشد. در زیر شکل شماتیک مربوط به این نوع کاربری ها ملاحظه می شود، [5].



فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

شکل ۱۱-۱ شماتیک سیستم تولید پراکنده و متمرکز و نحوه تعامل آنها با یکدیگر



مزایای سیستم تولید PV که به شبکه متصل می باشد به صورت عمومی بر پتانسیل چنین سیستم هایی به جهت کاهش هزینه های تولید انرژی استوار می باشد. هر چند از مزایای زیست محیطی چنین سیستم های نمی توان چشم پوشی کرد. در سیستم تولید پراکنده به علت نزدیکی مصرف کننده با واحد تولید انرژی، باعث می شود هم تلفات ناشی از انتقال انرژی بسیار کم شود kWh و هم ظرفیت سیستم کاهش یابد kW ، به علاوه سیستم توزیع نیازی به افزایش تولید خود به علت فرا رسیدن زمان اوج مصرف در بعداز ظهر نخواهد داشت زیرا این پیک مصرف توسط تولید PV ها جبران می شود.



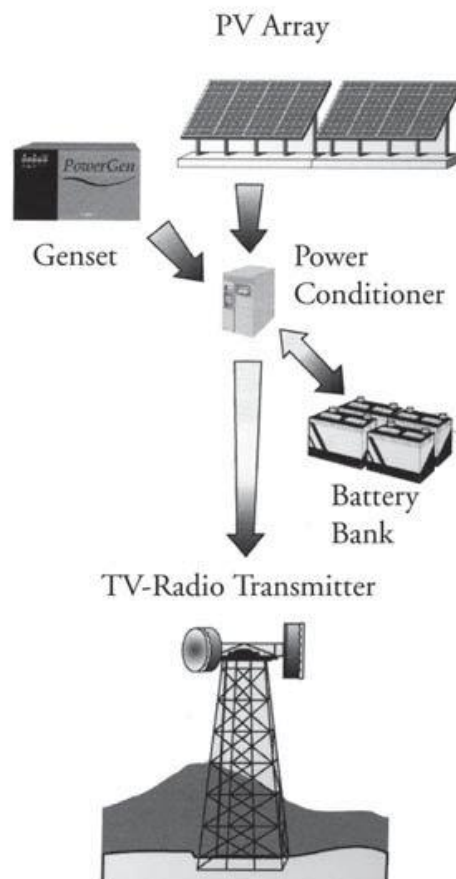
فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

تولید متمرکز توسط ماژول های PV در حال حاضر در مرحله تحقیقاتی می باشد و به علت عدم توجیه اقتصادی به صورت کلان دنبال نمی شود.

۱-۲-۱۳ کاربرد های جدا از شبکه توزیع

در حال حاضر استفاده از برق خورشیدی برای مناطق دور دست از توجیه اقتصادی مطلوبی برخوردار است به خصوص برای ظرفیت های کمتر از ۱۰ کیلووات. در این سیستم ها از باتری به عنوان مخزن ذخیره استفاده می شود و توسط ماژول ها شارژ می شود. در زیر شماتیک این سیستم ملاحظه می شود.

شکل ۱-۱۲ شماتیک سیستم تولید هیبریدی



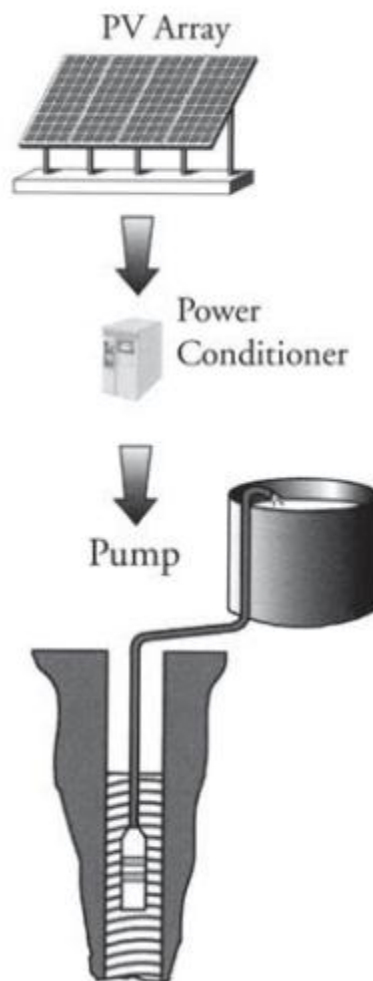


فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

۱-۲-۱۴ سیستم های پمپاژ آب

پمپاژ توسط سیستم PV یکی از رایج ترین کاربردهای PV در سراسر دنیا می باشد، به طوری که در کشورهای صنعتی و هم چنین کشور های در حال توسعه هزاران مورد از این سیستم نصب و راه اندازی شده است. در این سیستم ها، آب در طول روز به مخزن ذخیره پمپاژ می شود تا بتوان در هر موقعی از شبانه روز از آن استفاده کرد. سیستم های پمپاژ آب توسط PV بسیار ساده می باشند و نیاز کمی به تعمیر و نگهداری دارند، این سیستم ها بی نیاز از سوخت های فسیلی می باشند و به عنوان گزینه ای برای نقاط دور از شبکه مطرح می باشند. در زیر شماتیک چنین سیستمی ملاحظه می شود.

شکل ۱-۱۳ شماتیک سیستم پمپاژ آب توسط ماژول های PV





۱-۲-۱۵ انرژی باد

انرژی جنبشی موجود در باد یک منبع انرژی تجدید پذیر امید بخش با پتانسیل کافی در بسیاری از قسمت های جهان می باشد. انرژی که توسط توربین های بادی جذب می شود وابستگی زیادی به متوسط سرعت باد در منطقه نصب دارد. مناطق ساحلی معمولا از پتانسیل بالایی جهت نصب این توربین ها برخوردار می باشند. برخی مناطق کوهستانی و بیابانی نیز پتانسیل خوبی برای چنین سیستم هایی دارند. با وجود این محدودیت های جغرافیایی برای پروژه تولید انرژی بادی، مناطق وسیعی در سراسر دنیا وجود دارد که قادر هستند بخش قابل توجهی از برق مورد نیاز محلی را با استفاده از انرژی باد تامین کنند، [6].

تقاضای جهانی برای توربین های بادی در ۱۵ سال اخیر به شدت رو به افزایش بوده است. در طی سال ۲۰۰۱ به تنهایی نزدیک به 5,500 MW ظرفیت تولید انرژی بادی توسط صنایع توربین سازی نصب شده است. در حال حاضر کل ظرفیت تولید انرژی بادی در دنیا در حدود 24,000 MW تخمین زده می شود، [7]. حجم بالایی از این ظرفیت تولید، تحت عنوان تقاضا برای نیروگاه های سوخت پاک ایجاد شده است. نیروگاه های بادی با ظرفیت های در حد چندین مگاوات در بسیاری از کشور ها احداث شده اند. در دهه گذشته ظرفیت تولید یک توربین بادی معمولی که در حدود 100 kW بود به 1 MW رسیده است و قطعا بیشتر از این مقدار نیز خواهد شد. نتیجه این پروسه این است که در قسمتهایی از جهان، پروژه های تولید الکتریسیته از انرژی باد در مقیاس کلان، در حال تولید انرژی الکتریسیته ای می باشند که از نظر قیمت با سایر نیروگاه های تولید الکتریسیته نظیر نیروگاه هسته ای و سوخت فسیلی قابل رقابت می باشد.



دانشگاه صنعتی شاهرود

فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

شکل ۱-۱۴ نیروگاه برق بادی با ظرفیت ۴۰ مگاوات در کشور دانمارک



به علاوه ای این کاربرد های مقیاس کلان، از انرژی باد به عنوان یک سیستم کوچک تولید برق برای کاربرد های دور از شبکه و پمپاژ آب و یا برای شارژ باتری های یک ساختمان صفر انرژی نیز استفاده می شود.



فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

پروژه انرژی باد از نظر اقتصادی برای مناطق باد خیز مناسب می باشد. این به دلیل این است که پتانسیل تولید انرژی باد با مکعب سرعت باد رابطه مستقیم دارد. هرچند به دلایل ضعف آبرو دینامیکی و تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی و بازده توربین های بادی، در کارهای عملی، توان تولید با مربع سرعت باد رابطه مستقیم دارد. این به این معنی می باشد که انرژی تولید شده توسط توربین بادی، در صورتی که ۱۰ درصد در انرژی باد افزایش رخ دهد، ۲۰ درصد بیشتر می شود.

۱-۲-۱ توربین های بادی

تکنولوژی توربین بادی در طی ۱۵ سال گذشته در نتیجه رقابت های تجاری و موفقیت های تکنولوژیکی بسیار تکامل یافته است، و نگرانی که بابت گران بودن این سیستم ها وجود داشت تا حد زیادی بر طرف شده است. امروزه فاکتور ظرفیت برای پروژه انرژی بادی در سائیتی که از رژیم باد مناسب برخوردار است، از ۱۵ درصد به مقدار ۳۰ درصد افزایش یافته است. توربین های بادی مدرن دارای سیستم کنترل سرعت باد می باشند که از طریق این سیستم سرعت باد اندازه گیری می شود و وقتی باد به سرعتی که باعث غلبه بر اصطکاک توربین شود برسد (معمولا ۴ متر بر ثانیه)، کنترلر به پروانه ها اجازه چرخش می دهد، انرژی که در این حالت تولید می شود کمترین انرژی تولیدی توسط توربین می باشد. با افزایش سرعت باد میزان انرژی تولید شده نیز افزایش می یابد تا وقتی که سرعت باد به سرعت حد بالا برای توربین برسد، (معمولا ۱۵ متر بر ثانیه) در این سرعت توربین بیشترین انرژی که همان توان نامی آن است را تولید می کند. اما اگر سرعت باد باز هم بیشتر شود (در حدود ۲۵ متر بر ثانیه) سیستم کنترل، توربین را برای جلوگیری از صدمه دیدن آن خاموش می کند. اجزاء اصلی یک توربین بادی به شرح زیر می باشد:

۱- روتور، که معمولا ۲ یا ۳ پره دارد و وظیفه تبدیل انرژی جنبشی باد را به انرژی مکانیکی بر عهده دارد.

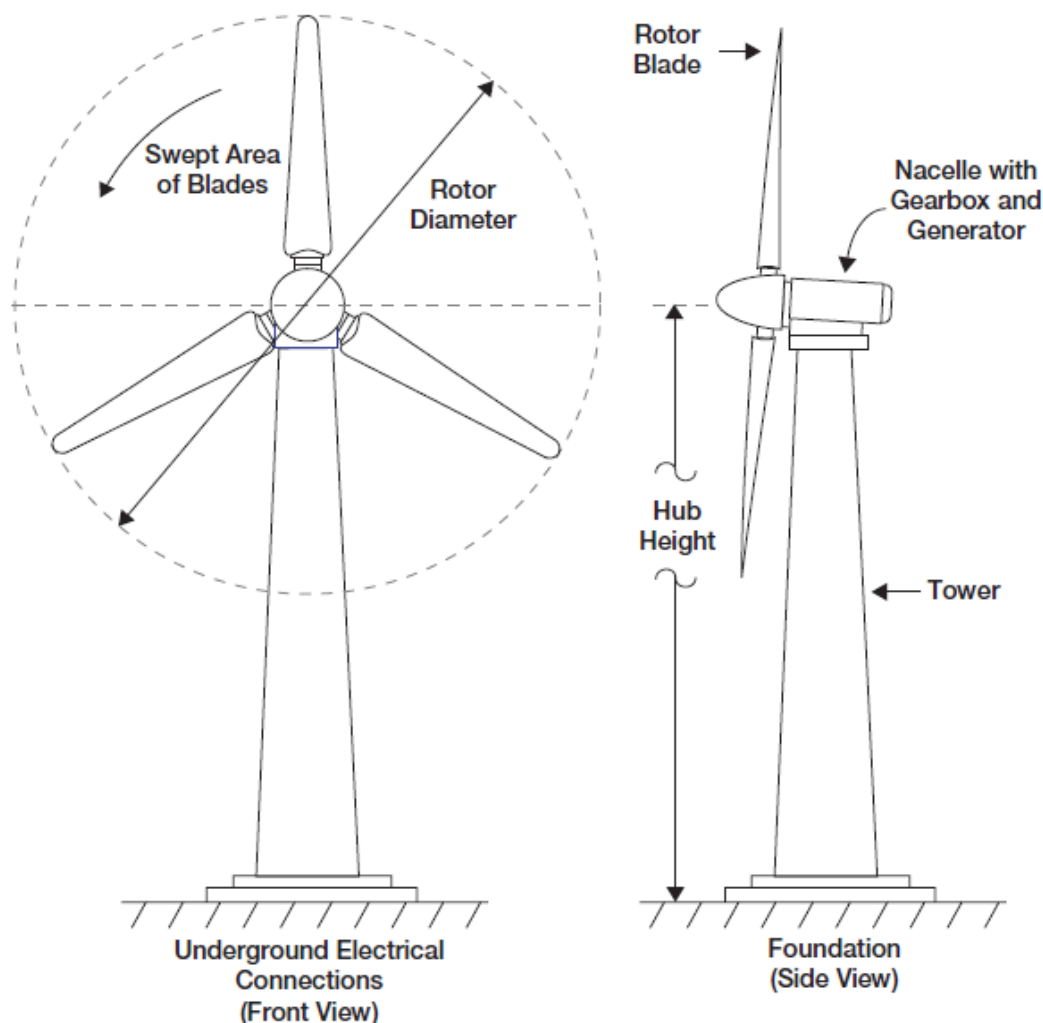
۲- جعبه دنده، وظیفه افزایش سرعت شفت روتور را برای هماهنگی با ژنراتور بر عهده دارد.



فصل اول: مقدمه ای بر ساختمان صفر انرژی و سیستم های انرژی تجدیدپذیر

- ۳- برج مرتفع که برای دستیابی روتور به سرعت های بالای باد طراحی شده است.
 - ۴- فنداسیون برای استحکام سازه ی برج در مقابل وزش شدید باد و بار های استاتیکی و دینامیکی
 - ۵- سیستم کنترل برای قطع و وصل کردن توربین بادی و ثبت عملکرد ماشین آلات توربین.
- در زیر نمایی از شماتیک یک توربین بادی گریز از مرکز با محور افقی ملاحظه می شود:

شکل ۱-۱۵ شماتیک سیستم توربین بادی



در فصل سوم توضیحات کاملی در خصوص روابط حاکم بر تولید انرژی توسط توربین های بادی و سایر سیستم های استحصال انرژی تجدیدپذیر ارائه خواهد شد.



دانشگاه صنعتی شاهرود

فصل دوم: مروری بر مقالات وپیشینه تحقیق

فصل دوم: مروری بر مقالات و

پیشینه تحقیق



۲-۱ معرفی:

مفهوم ساختمان های انرژی صفر دیگر به عنوان یک مفهوم انتزاعی و دور از ذهن نمی باشد، بلکه به عنوان راهی برای کاهش انتشار CO_2 و یا کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان می باشد. افزایش تعداد ساختمان های انرژی صفر گواه این مطلب است که توجه جهانی به پدیده مذکور رو به افزایش می باشد. ایده اجرا و پیاده سازی ساختمان انرژی صفر هدفی مورد بحث در سطح بین المللی می باشد، به عنوان مثال در کشور ایالات متحده در کنفرانس (EISA 2007) Energy Independence and Security Act of 2007 و در سطح اروپا مطابق با قالب بندی جدید دستور العمل بازده انرژی ساختمان (EPBD) Energy Performance of Building که در ماه می ۲۰۱۰ برگزار شد، توجه ویژه ای به این نوع از ساختمان ها ابراز شد. طبق دستور العمل EISA 2007 ساختمان های تجاری به منظور دنبال کردن هدف ساختمان انرژی صفر پیش قدم خواهند شد و تمام ساختمان های تجاری در ایالات متحده از سال ۲۰۳۰ باید از نوع انرژی صفر باشند، هم چنین ۵۰ درصد ساختمان های تجاری آمریکا تا سال ۲۰۴۰ باید به ساختمان انرژی صفر تبدیل شوند و تا سال ۲۰۵۰ نیز تمام ساختمان های تجاری باید به ساختمان انرژی صفر تبدیل شده باشند، [8]. EPBD نیز تمام ساختمان های عمومی را از سال ۲۰۱۸ و تمام ساختمان های جدید را از سال ۲۰۲۰ موظف به رعایت کردن شرایط یک ساختمان صفر انرژی کرده است، [9]. با این تفاسیر در سطح اروپا تا ۸ سال دیگر باید ساختمان ها به سمت ساختمان انرژی صفر حرکت کنند.

با وجود بذل توجه جهانی به مقوله ساختمان انرژی صفر، قبل از اینکه مفهوم ساختمان انرژی صفر به یک کد و استاندارد ساختمانی در سطح جهان بدل شود، باید دو چالش عمده در این زمینه مرتفع شوند. یکی سازش و توافق بر سر یک تعریف ساده و غیر مبهم از ساختمان صفر انرژی و دیگری توسعه پشتیبانی از متد های محاسبه بالانس انرژی در این ساختمان ها می باشند. در پژوهش پیش رو مفهوم ساختمان صفر انرژی



با گستره وسیعی از ترم ها و بیانات و تعدادی از خطی مشی های مختلف معرفی خواهد شد. عدم وجود توافق بر سر تعریف ساختمان انرژی صفر در حال حاضر از بحث های داغ در سطح جهانی می باشد [10].

نیاز به یک متد حل قدرتمند با افزایش تعداد پروژه های ساختمان صفر انرژی در دنیا روز به روز بیشتر می شود و مسئله اصلی این است که بالانس صفر چگونه محاسبه شود. برخی کشور ها در حال پذیرش ساختمان صفر انرژی در کد های ملی ساختمان سازی خود می باشند، هرچند هیچ پروسه محاسبه استاندارد شده ای برای این منظور وجود ندارد، و بیشتر محاسبات به صورت خود جوش برای یک مورد خاص از ساختمان صفر انرژی توسعه داده شده اند.

چنانچه در بالا ذکر شد، مفهوم و اصول یک ساختمان صفر انرژی هدف آتی جامعه بین المللی می باشد، هر چند به منظور توسعه و پیشرفت در این زمینه به یک چار چوب مورد توافق برای متد محاسبه احتیاج می باشد. در ابتدا تعاریف موجود در این زمینه با برجسته کردن مهمترین موضوعات آنها بررسی خواهند شد و سپس رویکرد های متفاوت در متد های ممکن برای محاسبه ارائه خواهند شد. [11]

۲-۲ تعاریف ساختمان صفر انرژی – مرور مقالات و متد های محاسبه

ساختمان صفر انرژی یک مفهوم پیچیده با تعدادی رویکرد می باشد که از پیش موجود بوده و تفاوت نمود های ساختمان صفر انرژی را آشکار می کنند. علاوه بر این محاسبه بالانس انرژی برای رسیدن به هدف صفر انرژی در ساختمانی که مجهز به سیستم های تولید انرژی از منابع تجدید پذیر، چه موجود در محل ساختمان on-site و یا دور از محل ساختمان off-site می باشد و چه اینکه ساختمان با شبکه سراسری تعامل داشته باشد و یا خیر، وظیفه ای دشوار می باشد. علاوه بر این به علت نبود استاندارد لازم برای پشتیبانی از متد محاسبه صفر مشکل دو چندان خواهد شد. برخی متد های ارزیابی محیطی مانند متد LEED [12] و یا BREEAM [13] وجود دارند اما هنوز گستره تعریف آنها از چار چوب مد نظر صفر



انرژی بسیار وسیع تر می باشد، بنابراین اگر ساختمان صفر انرژی به عنوان هدف آتی ساخت ساختمان مد نظر باشد، مسئله مهم این است که از جهت توسعه فیزیکی قانع کننده و از نظر متد حل قوی و روان باشد و هم چنین منعکس کننده مفهوم ساختمان انرژی صفر باشد، تا کار معماران و مهندسان در طراحی آن آسان شود.

ساختمان انرژی صفری که از شبکه مستقل باشد در سطح بین المللی با اقبال چندانی روبرو نخواهد بود و بیشتر به عنوان یک گام میانی برای رسیدن به یک ساختمان صفر انرژی متصل به شبکه مطرح می شود. [14] و [15] بنابراین متد های معرفی شده در این پژوهش منعکس کننده محاسبات انرژی ساختمان صفر انرژی می باشد.

مطالعه رویکرد های گوناگون برای محاسبات بالانس ساختمان صفر انرژی بر اساس روش ارائه شده توسط اجماع نظر محققان 'Toward Net Zero Energy Building': IEA SHC Task 40/ECBCS Annex 52 و روش پیشنهاد شده توسط [2] Hernandez and Kenny پایه گذاری شده است. (متد ۱۲ در جدول ۱-۲). باید به این نکته توجه داشت که محاسبات انرژی که توسط IEA SHC Task 40/ECBCS Annex 52 گردآوری شده است فقط به عنوان پیشنهاد می باشد و هیچ منبع منتشر شده ای ندارد. جدول ۱-۲ دید کلی نسبت به مهمترین ویژگی های هر متد با عنایت به معیار، دوره زمانی، نوع بالانس، نوع انرژی مورد استفاده، گزینه های تامین انرژی تجدید پذیر، انرژی اصلی مورد استفاده و فاکتور انتشار CO₂ و ویژگی های منحصر به فرد هر متد را ارائه می کند.

فصل پیش رو به معرفی تعاریف گوناگونی که از ساختمان صفر انرژی در مقالات موجود به آنها اشاره شده و هم چنین به متد های محاسبه انرژی پیشنهاد شده توسط مقالات می پردازد.



۱-۲-۲ معیار های بالانس

موارد کاربردی برای تعیین بالانس صفر می توانند بیش از یک مورد باشند، به عنوان مثال: انرژی اصلی مورد استفاده، موازنه انتشار گاز های گل خانه ای، انرژی، بهای انرژی و موارد دیگری که توسط سیاست های ملی انرژی تعریف می شوند همه جزئی از معیار های مورد استفاده برای بالانس صفر می باشند.

۱-۱-۲-۲ مروری بر مقالات معیار های بالانس

آقای Torcellini و همکاران [14] مواردی که در تعریف ساختمان صفر انرژی تاثیر دارند را عنوان کردند:

- ۱- هدف انجام پروژه
 - ۲- قصد سرمایه گذاران از سرمایه گذاری در پروژه
 - ۳- نگرانی های مربوط به تغییرات آب و هوایی و انتشار گازهای گل خانه ای
 - ۴- بهای انرژی
- بنابراین آنها ۴ پیشنهاد مختلف برای مفهوم ساختمان صفر انرژی عنوان کردند:

- ۱- منطقه عملیاتی ساخت ساختمان صفر انرژی
- ۲- منابع ساختمان صفر انرژی
- ۳- انتشار گاز های گل خانه ای ساختمان صفر انرژی
- ۴- بهای ساختمان صفر انرژی

مولفان مزایا و معایب هر تعریف را مشخص کردند، به عنوان مثال ساده بودن اجرا بر اساس مفهوم منطقه عملیاتی و بهای ساختمان صفر انرژی، ویژگی تعریف منابع صفر انرژی، که بیشتر جهانی است تا



منطقه ای، سختی و پیچیدگی تعریف و محاسبه انتشار ساختمان صفر انرژی را می توان جز مزایا و معایب تعاریف اشاره شده ذکر نمود. تفاوت های برجسته بین معیار های پیشنهاد شده تا اینجا مورد بحث قرار گرفت. بحث بیشتر در این زمینه در تعدادی از مقالات دیگر نیز ارائه شده است. [16]، [17]، [18]، [19]، [20].

Kilkis [16] به صورت جز به جز شرح داد که اگر ما بخواهیم تمام اثرات مخرب زیست محیطی یک ساختمان را از بین ببریم، باید معیار های بالانس در تعریف یک ZEB (Zero Energy Building) ، مقدار انرژی را به خوبی کیفیت انرژی مشخص کنند. بنابراین وی برای مفهوم ZEB یک تعریف جدید پیشنهاد کرد و آن تعریف ویژه ای به نام ساختمان صفر انرژی می باشد و اینگونه توصیف می شود: " ساختمانی که جمع سالانه انرژی تبادل شده آن بین مرزهای ساختمان و سیستم انرژی آن چه به صورت الکتریسیته و یا هر صورتی از تبادل در دوره زمانی مشخص صفر باشد ". Mertz و همکاران [21] و Laust-sen [22] فقط دو مورد از بالانس را متمایز دانستند: انتشار و انرژی، اما این کار را بدون مشخص کردن انرژی تحویل داده شده و یا انرژی اصلی مورد استفاده، انجام دادند. در نهایت، تعریف ساختمان صفر انرژی که از سوی EPBD [9] معرفی شده شفاف تر از سایرین می باشد و از انرژی اصلی استفاده شده به عنوان معیار بالانس استفاده می کند.

۲-۱-۲-۲ متد های کاربردی معیار بالانس

بر اساس اطلاعات جدول ۱-۲ انرژی اولیه به صورت آشکارا یکی از محبوب ترین معیار های بالانس ZEB می باشد و این موضوع با آخرین قالب بندی قوانین EPBD هم خوانی دارد. [9]. این موضوع در بسیاری از متد های محاسبه انرژی ساختمان یک تمرین معمولی و قابل اجرا می باشد.



۲-۲-۲ دوره زمانی بالانس

دوره های زمانی که در آن محاسبات ساختمان انجام می دهد می توانند بسیار متنوع باشند. این دوره می تواند کل زمان طول عمر ساختمان باشد (برای مثال ۵۰ سال) یا به صورت رایج معمول بالانس سالانه باشد. در موارد خاص بالانس فصلی و یا ماهانه هم کاربرد دارد.

۱-۲-۲-۲ مروری بر مقالات دوره زمانی بالانس

در مقالات موجود در مورد مفاهیم ZEB بالانس سالانه از بیشترین کاربرد و محبوبیت برخوردار می باشد. [23]، [24]، [25] [26]. Hernandez and Kenny [2] این موضوع را که طول عمر ساختمان دوره مناسب تری برای بالانس انرژی می باشد را تصدیق کردند. با به کار بردن این نوع بالانس نه تنها می توان انرژی مورد استفاده در دوره کارکرد ساختمان را در بالانس مورد توجه قرار داد، بلکه انرژی که در ساخت ساختمان و فراهم کردن مواد آن به کار رفته و همچنین انرژی که در تخریب آن استفاده می شود را نیز مورد توجه قرار داد، با این کار می توان تاثیر واقعی ساختمان را بر محیط زیست بر آورد نمود.

۲-۲-۲-۲ متدهای کاربردی دوره زمانی بالانس

۱۱ تا از ۱۲ متد ارائه شده بر اساس بالانس سالانه شکل گرفته اند ، همانطوری که انتظار هم می رفت. ابتدا" به دلیل اینکه تمام نرم افزار های ارائه شده برای این مسئله نتایج خود را به صورت سالانه ارائه می دهند و دلیل دوم اینکه این موضوع در اکثر مقالات مطرح پیشنهاد شده است و به همین دلیل اجتناب ناپذیر می باشد که اکثر محققان از بالانس سالانه استفاده کنند. با این حال در متد ۶ از بالانس ماهانه استفاده شده است، زیرا به علت اینکه کل تولید الکتریسیته توسط منابع تجدید پذیر در محل ساختمان بیشتر از مقدار مصرف آن می باشد، فقط مقداری که توسط ساختمان استفاده شده است به حساب آمده و انرژی مازاد تولیدی در محاسبات دخیل نشده است، بنابراین از این انرژی اضافی تولیدی نمی توان برای



جبران نیاز انرژی ساختمان در زمانی که تولید کمتر است استفاده کرد پس رسیدن به یک ساختمان با مصرف انرژی خالص صفر کاری ممکن می باشد، اما فقط در موارد خاص این کار عملی می باشد.

۳-۲-۲ نوع انرژی مورد استفاده

مطابق با استاندارد بین المللی :

EN 15603:2008 Energy performance of building – overall energy use and definition of energy rating [27]

محاسبه نرخ انرژی باید فقط شامل انرژی هایی باشد، که به مواردی نظیر : وابستگی به رفتار ساکنین، شرایط آب هوایی واقعی و سایر واقعیت ها (شرایط محیطی و داخلی)، بستگی نداشته باشد. مشخصاً این به معنی: سرمایش و رطوبت زدایی، گرمایش، تهویه و رطوبت زنی، آب گرم مصرفی و روشنایی می باشد. در عمل روش محاسبه انرژی مورد استفاده در ساختمان بسیار متنوع می باشد و شامل ورودی های گوناگونی است.



دانشگاه صنعتی شاهرود

فصل دوم: مروری بر مقالات وپیشینه تحقیق

جدول ۱-۲ متد های بالانس ساختمان صفر انرژی به همراه ویژگی های متد ها

	Metric of the balance				Period of balance		Type of energy use			Type of balance		Renewable supply option		
	Delivered energy	Primary energy	CO ₂ emissions	Energy cost	Annual	Monthly	Operating energy	Total energy	Energy use	Generation Use	Grid in/out	Footprint	On-site	Off-site
Meth. 1		✓			✓			✓		✓		✓	✓	
Meth. 2		✓			✓			✓		✓		✓	✓	
Meth. 3		✓			✓			✓		✓		✓	✓	
Meth. 4		✓	✓		✓			✓		✓		✓	✓	✓
Meth. 5	✓	✓	✓		✓			✓			✓	✓	✓	✓
Meth. 6	✓					✓	✓			✓		✓	✓	
Meth. 7		✓	✓		✓			✓		✓		✓	✓	✓
Meth. 8		✓			✓			✓		✓		✓	✓	
Meth. 9	✓				✓			✓		✓		✓	✓	✓
Meth. 10		✓			✓		✓			✓		Not fully defined		
Meth. 11		✓			✓				✓	✓		✓	✓	
Meth. 12		✓			✓				✓	✓		Not fully defined		



ادامه جدول ۱-۲ که مربوط به توصیف ویژگی های منحصر به فرد هر متدولوژی می باشد در زیر ملاحظه می شود:

جدول ۲-۲ ادامه جدول ۱-۲ ویژگی های منحصر به فرد هر متدولوژی

No. Of Method	Unique Features
Meth.1	Energy use embraces also the effort for on-site energy generation
Meth.2	Energy use embraces also the effort for on-site energy generation
Meth.3	Not defined
Meth.4	Energy use includes also energy for servers located on the building site not within the footprint and the energy use for treating domestic hot water
Meth.5	External renewable supply option
Meth.6	Net ZEB is only achievable in very special case. No monthly surplus generation can be credited.
Meth.7	Not defined
Meth.8	Indirect evaluation of the indoor climate-penal electricity for cooling if indoor temp. above ۲۶°C
Meth.9	Application of rating based on the reference building
Meth.10	Fully neglected the renewable supply options topic.
Meth.11	Special calculation method of embodied energy
Meth.12	Life cycle approach (simplified method) with main focus on embodied energy

۱-۳-۲-۲ مروری بر مقالات نوع انرژی مورد استفاده

مقالات منتشر شده در دهه ۷۰ و ۸۰ میلادی [24]، [28]، [29]، جزو اولین کوشش ها برای گام نهادن در مسیر ساختمان های صفر انرژی یا ZEB می باشند. در آن زمان هنگامی که بیشترین مصرف انرژی ساختمانها به صورت گرمایشی بود (گرمایش فضا ها و آب گرم مصرفی و سرمایش) در واقع ساختمان های صفر انرژی همان ساختمان صفر گرمایی بودند. یک مثال برای این مورد ساختمان صفر انرژی در کشور دانمارک می باشد. [24] که مولفان آن را اینگونه معرفی کردند: "خانه صفر انرژی که در گرمایش فضا ها



و تامین آب گرم مصرفی در طول یک شرایط آب و هوایی نرمال در دانمارک خود کفا می باشد." یک رویکرد دیگر توسط Iqbal [26] و Gilijamse [23] مطرح شده است که در آنها تمام تمرکز بر روی برق مصرفی ساختمان می باشد.

Hernandez and Kenny [2]، پیشنهاد کردند که بالانس انرژی ساختمان نباید تنها مربوط به انرژی استفاده شده در مرحله بهره برداری از ساختمان باشد بلکه باید انرژی مورد استفاده در مرحله ساخت و ساز آن نیز مد نظر قرار بگیرد. با همه این تفاسیر در غالب مقالات منتشر شده نوع انرژی که باید در بالانس انرژی دخیل شود به صورت واضح مشخص نشده است. [9]، [2]، [17]، [22]، [25].

۲-۲-۳-۲ متدهای کاربردی انرژی مورد استفاده

گستره گوناگونی از ورودی های بالانس در جدول ۱-۲ ارائه شده است. بیشتر متدهای پیشنهادی تمام انرژی مورد استفاده که شامل انرژی های مصرفی توسط ساختمان و انرژی مصرفی واسطه به ساکنین می باشد را در محاسبات خود دخیل می کنند، البته هر کدام از آنها ویژگی های منحصر به فرد خود را با توجه به متغیرهای ورودی دارند. برای مثال: تلاش برای تولید انرژی در محل یا از حد گذشتن برق مصرفی نسبت به برق تولیدی. تجسم انرژی ساختمان کاری غیر معمول در محاسبه انرژی مصرفی ساختمان است اما با این حال دو متد ۱۱ و ۱۲ این موضوع را در محاسبات خود دخیل کرده اند، این دو متد رویکرد مشابهی نسبت به تجسم انرژی ساختمان دارند البته با یک تفاوت. در متد ۱۱ انرژی تجسم شده برای ساختمان روی $25 kWh/m^2$ در سال محدود شده است، به این معنی که اگر انرژی تجسم شده برای ساختمان کمتر از این مقدار باشد در محاسبات اشتباهی رخ داده و مسئله ای مورد غفلت واقع شده و اگر انرژی تجسم شده در محاسبات بیش از مقدار فوق باشد اختلاف مقدار واقعی انرژی تجسم شده با مقدار محدود شده مورد بررسی قرار میگیرد تا علت مشخص شود.



۴-۲-۲ نوع بالانس انرژی

نوع بالانس بیشتر در ساختمان های صفر انرژی که به شبکه متصل می باشند مطرح می شود، زیرا در این نوع از ساختمان های صفر انرژی دو بالانس عملی و امکان پذیر وجود دارد:

۱- بالانس بین انرژی مورد استفاده و انرژی تولید شده از منابع تجدید پذیر

۲- بالانس بین انرژی تحویل داده شده از شبکه به ساختمان و انرژی تزریق شده توسط ساختمان به شبکه

نتایج این دو مدل بالانس در بیشتر موارد شبیه به یکدیگر می باشد استثناء در این مورد برای سیستم تولید همزمان قدرت و گرما با استفاده از سوخت فسیلی می باشد، که در بالانس نوع اول صدق نمی کند اما در بالانس دوم صادق است. تفاوت اصلی این دو روش بالانس در دوره کاربری آنها می باشد. بالانس اول در فاز طراحی کاربرد دارد و بالانس دوم در هنگام بهره برداری و فاز مانیتورینگ کاربرد دارد. در مورد ساختمان های صفر انرژی جدا از شبکه نیز شرایط واضح می باشد و بالانس به صورتی باید باشد که انرژی مورد استفاده ساختمان توسط تولید انرژی از منابع تجدید پذیر جبران شود.

۱-۴-۲-۲ مرور مقالات نوع بالانس انرژی

تعاریف موجود در مقالات ارائه شده در خصوص نوع بالانس انرژی در زمینه ZEB اختلاف نظر هایی دارند. بالانسی که بیشترین محبوبیت را دارد، بالانس بین انرژی مورد نیاز و یا مصرف شده توسط ساختمان، با تولید انرژی از منابع تجدید پذیر می باشد. [25][23]. هر چند در مقاله آقای Laustsen [22] و Mertz و همکاران [21] بالانس انرژی منعکس کننده وضعیت جریان انرژی بین ساختمان و تاسیسات انرژی می باشد.

**۲-۴-۲-۲ متدهای کاربردی نوع بالانس انرژی**

مطالعات نشان می دهند که بالانس انرژی بین انرژی مصرف شده توسط ساختمان و انرژی تولید شده توسط منابع تجدید پذیر بیشترین مقبولیت را دارد. این رویکرد در بین ۱۱ متدولوژی مطرح شده در بالا نیز مشاهده می شود. فقط در یک متدولوژی از بالانسی که بر اساس تعامل شبکه با مرزهای سایت ساختمان عمل می کند استفاده شده است و مفهوم این بالانس بدین گونه است که کل انرژی که به ساختمان از طریق شبکه تحویل داده شده، باید توسط تزریق انرژی به شبکه جبران شود.

۵-۲-۲ گزینه های تامین انرژی از منابع تجدیدپذیر

منابع انرژی تجدید پذیر هم میتوانند در محل ساختمان در دسترس باشند مانند انرژی خورشیدی، انرژی باد و هم به محل ساختمان انتقال داده شوند مانند زیست توده. بنابر این بر اساس مطلب اخیر دو گزینه برای تامین انرژی تجدید پذیر وجود دارد:

۱- منابعی که در محل در دسترس می باشند. On-site supply

۲- منابعی که خارج از محل ساختمان می باشند و نیاز به انتقال به محل ساختمان دارند. Off-site supply

۱-۵-۲-۲ مروری بر مقالات گزینه های تامین انرژی از منابع تجدیدپذیر

در بیشتر مقالات مربوط به مفاهیم ZEB به صورت کامل از وجود چنین موضوعی غافل شده اند به جز در طرح جدید موسسه EPBD [9]: "ساختمان نزدیک به صفر یا با نیاز انرژی بسیار پایین، باید توسط منابع تجدید پذیر به میزان کافی پشتیبانی شود، که این منابع شامل منابع انرژی تجدید پذیر در محل یا نزدیکی محل ساختمان می باشد." Torcellini و همکاران [14]. جزو اولین کسانی بودند که به صورت قابل توجه ای در این موضوع همکاری کردند و گزینه های فرعی را به همراه مطالب ذکر شده



برای گزینه های تامین انرژی در بالا پیشنهاد کردند. آنها برای منابع on-site بین منابعی که در محدوده سازه ساختمان تامین می شوند و منابعی که در محدوده زمین مربوط به ساختمان تامین می شوند تفاوت قائل شدند و هم چنین خاطر نشان کردند، حتی ساختمانی که از منابع تجدید پذیر خارج از محل ساختمان، برای تولید انرژی در محل ساختمان استفاده می کند یا از منابع خارج از محل، انرژی خریداری می کند نیز جزو گزینه off-site به شمار می رود. بعلاوه Torcellini و همکاران سلسله مراتب تامین انرژی از منابع تجدید پذیر را در جدول ۲-۳ ارائه کردند.

۲-۵-۲-۲ متدهای کاربردی در گزینه های تامین انرژی از منابع تجدیدپذیر

اغلب متدولوژی ها دو گزینه برای منابع تجدیدپذیر و به طور خاص فضای در دسترس روی سازه و زمین اطراف ساختمان را به عنوان محل منبع تامین انرژی ارائه کرده اند. چهار روش علاوه بر این دو مورد، منابع خارج از محل را نیز مطرح کرده اند. از این موضوع می توان دریافت که سرمایه گذاری در توربین بادی خارج از محل و تولید انرژی توسط آن و دخیل کردن این انرژی در بالانس انرژی ساختمان یا خریدن انرژی سبز، می تواند جزو گزینه های تامین خارج از محل به شمار آید. باید به این موضوع توجه داشت که در برخی موارد در گزینه های تامین انرژی تجدیدپذیر ابهام به وجود می آید به خصوص وقتی با سیستم تولید همزمان برق و حرارت CHP که با سوخت زیست توده (biomass) راه اندازی شده است، سرو کار داشته باشیم زیرا در برخی موارد آن را on-site می دانند (وقتی تمرکز بر مکان واقعی تولید برق باشد) و در برخی موارد آن را یک گزینه تامین انرژی off-site می دانند، (وقتی تمرکز بر محل تولید سوخت باشد).

Marszal و همکاران [30]. یک مدل گرافیکی از گزینه های تامین انرژی تجدید پذیر که در روش های گوناگون محاسبه انرژی پیشنهاد شده بود را ارائه کرده اند.

شکل ۲-۱. مولفان تاکید کرده اند که این مدل گرافیکی نباید به صورت سلسله مراتب گزینه های تامین انرژی تجدیدپذیر دیده شود، بلکه این مدل ارائه شده فقط به جهت درک گزینه های ممکن برای تولید



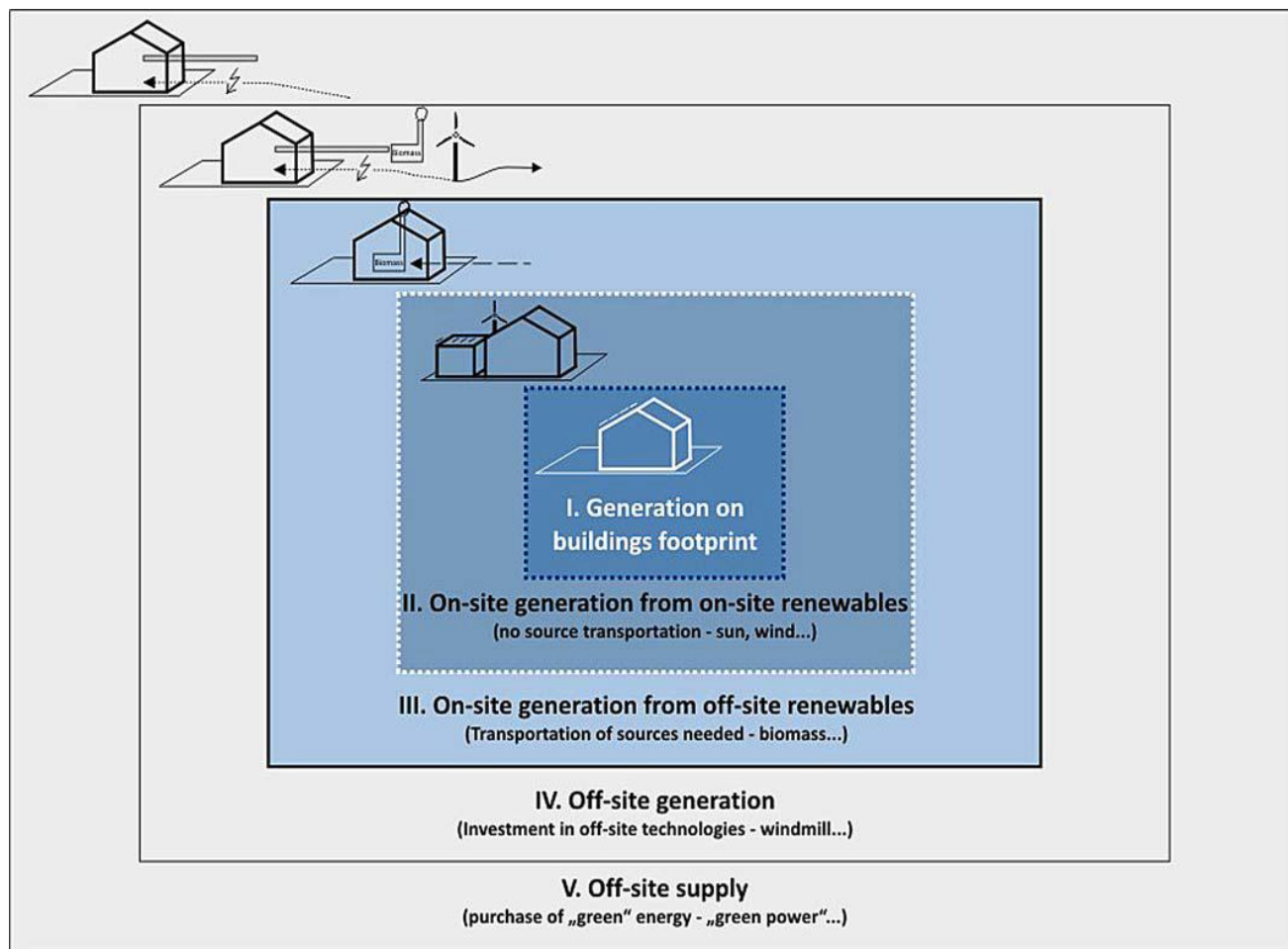
انرژی از منابع تجدیدپذیر می باشد. پنج گزینه برای محل تامین انرژی تجدیدپذیر در این مدل گرافیکی پیشنهاد شده است.

جدول ۲-۳ سلسله مراتب تامین انرژی تجدید پذیر. منبع: [18] Torcellini

Option no.	ZEB supply-side options	Examples
0	Reduce site energy use through low-energy building technologies	Daylighting, high-efficiency HVAC equipment, natural ventilation, evaporative cooling, etc.
On-site supply options		
1	Use renewable energy sources available within the building's footprint	PV, solar hot water, and wind located on the building
2	Use renewable energy sources available at the site	PV, solar hot water, low-impact hydro, and wind located on-site, but not on the building
Off-site supply options		
3	Use renewable energy sources available off site to generate energy on site	Biomass, wood pellets, ethanol, or biodiesel that can be imported from off site, or waste streams from on-site processes that can be used on-site to generate electricity and heat
4	Purchase off-site renewable energy sources	Utility-based wind, PV, emissions credits, or other "green" purchasing options. Hydroelectric is sometimes considered



شکل ۱-۲ دید کلی نسبت به گزینه های تامین انرژی تجدید پذیر، منبع: [30] Marszal





۶-۲-۲ ارتباط بین تاسیسات انرژی

مقالات هم بر روی ZEB های متصل به شبکه و هم جدا از شبکه متمرکز شده اند. در هر دو رویکرد، ساختمان همان قدر که مصرف کننده انرژی می باشد، تولید کننده انرژی از منابع تجدید پذیر نیز می باشد. تفاوت اصلی در نحوه اتصال به تاسیسات انرژی می باشد. همانطوری که اخیراً ذکر شد، روش های محاسبه پیشنهاد شده فقط به اتصال به شبکه سراسری اشاره کرده اند.

۱-۶-۲-۲ مروری بر مقالات ارتباط بین تاسیسات انرژی

ساختمان های صفر انرژی جدا از شبکه (off-grid) به شبکه سراسری برق متصل نیستند و از این رو به یک مخزن ذخیره برق، برای دوره اوج مصرف نیاز دارند. در مقالات این نوع از ساختمان های صفر انرژی را خود کفا (self-sufficient) می نامند. یک تعریف نمونه از چنین ساختمانی به صورت زیر می باشد:

"ساختمان خود کفا ساختمانی است که احتیاجی به متصل بودن به شبکه ندارد و می تواند به صورت خود کار نیاز انرژی خود را بر طرف نماید. این ساختمانها ظرفیت ذخیره سازی انرژی برای استفاده در شب و یا زمستان را دارا می باشند." [22].

مثال هایی از پروژه های ساختمان های صفر انرژی جدا از شبکه در مقالات آمده است، به عنوان مثال: Iqbal [26]، Vale [15]، Stahl et al [31]، Voss et al [32]، Platell and Dudzik [33] و Kramer et al [34]. ZEB های متصل به شبکه به عنوان ساختمان هایی با مصرف انرژی خالص صفر مطرح می شوند. [26]، [17]، [18]، [22]، [23]، [25]، [35]، که به یک یا چند شبکه انرژی متصل می باشند مانند: شبکه برق، گرمایش یا سرمایش مرکزی، خط لوله گاز، شبکه توزیع زیست توده یا سوخت های زیستی. بنابراین هر دو امکان خرید انرژی از شبکه و فروش مازاد تولید به شبکه امری قابل دسترس و عملی می باشد که باعث



حذف سیستم ذخیره انرژی می شود، که هم گران قیمت می باشد و هم از پایداری قابل قبولی برخوردار نیست. یک تعریف نمونه از ساختمان صفر انرژی متصل به شبکه به صورت زیر می باشد:

"ساختمان های با مصرف خالص انرژی صفر (Net Zero Energy Buildings) ساختمانی است که در طول یک سال انرژی بیشتری نسبت به آنچه از شبکه توزیع انرژی دریافت کرده است را به شبکه تزریق کند. و با این تفصیر نباید هیچ نیازی به سوخت فسیلی برای سرمایش، گرمایش، روشنایی یا سایر انرژی های مورد استفاده داشته باشد. اگرچه بعضی اوقات از شبکه توزیع، انرژی دریافت می کنند." [22].

پی آمد استفاده از مخزن ذخیره با ظرفیت بالا یا ژنراتور پشتیبان، تلف شدن مقداری از انرژی در هنگام ذخیره و یا تبدیل آن و متناسب نبودن ظرفیت تولید سیستم تولید انرژی تجدیدپذیر در ساختمان های صفر انرژی مستقل از شبکه می باشد که این موارد دلیل استقبال نشدن از چنین ساختمان هایی در سطح دنیا می باشد. [18] و [32]. Vale and Vale [15] با رویکرد کاربردی و فلسفی به مطالعه مستقل از شبکه بودن و متصل به شبکه بودن، در بریتانیا پرداخته اند، و به این نتیجه رسیدند که:

" در بریتانیا که کشوری با جمعیت زیاد و متراکم می باشد، و دارای شبکه ملی توزیع برق نیز هست، برای رسیدن به خود کفایی ساختمان ها در تولید انرژی، هیچ نیازی به عوض کردن شبکه توزیع که منابع زیادی نیز برای ساخت آن صرف شده است، با منابع جدید مانند باتری حس نمی شود."



۷-۲-۲ الزامات مربوط به ساختمان صفر انرژی

امروزه، ساختمان ها قبل از ساخته شدن باید خواسته هایی را برآورده کنند. این خواسته ها می تواند به طور کامل بر طراحی ساختمان تاثیر داشته باشند. بنابر این کیفیت و کارایی ساختمان های صفر انرژی توسط ملزومات زیر معرفی می شود:

۱- بازده و کارایی ساختمان از منظر انرژی

۲- کیفیت هوای داخل ساختمان

۳- تعامل ساختمان با شبکه توزیع

متدولوژی هایی که در جدول ۱-۲ معرفی شده بودند فقط بر روی معرفی روش های ممکن برای محاسبه بالانس انرژی ساختمان متمرکز شده اند و هیچگونه الزاماتی را برای این ساختمان ها معرفی نکردند، در این قسمت به معرفی این الزامات پرداخته خواهد شد.

۱-۷-۲-۲ بازده و کارایی انرژی در ساختمان

۱-۱-۷-۲-۲ مرور مقالات بازده انرژی

همانگونه که توسط Laustsen [22] در توصیف اصول ZEB ذکر شده است، یک ساختمان صفر انرژی می تواند یک ساختمان قدیمی باشد که توسط تعداد زیادی کلکتور خورشیدی و پنل های فتوولتائیک تغذیه می شود. اگر این سیستم انرژی بیشتری نسبت به مصرف ساختمان به آن تحویل دهد، هدف ساختمان صفر انرژی برآورده شده است. این رویکرد بسیار غیر معمولی و کارشناسی نشده می باشد. با این وجود تنها تعداد اندکی از تعاریف ZEB که قبلا مرور شد، بر اهمیت به کار گیری ابزار اندازه گیری بازده ساختمان، قبل از اینکه بخواهیم از منابع تجدید پذیر استفاده کنیم، تاکید کرده اند: Torcellini و همکاران. [18]: " ZEB



یک ساختمان مسکونی یا تجاری می باشد که به صورت وسیعی نیاز انرژی در آن کاهش یافته تا بازده انرژی آن بالا رود و بتوان انرژی آن را با منابع تجدیدپذیر تامین کرد؛ [26] Iqbal: "خانه انرژی صفر عبارتی است که برای خانه ای به کار می رود که در آن ترکیبی از تکنولوژی های انرژی تجدید پذیر به طرز بهینه ای با هنر و تکنیک ساخت و ساز بهینه دیده می شود."؛ پروژه ساختمان صفر انرژی در دانمارک به نام BOLIG+ [36] بر اساس پنج اصل تعریف شده است. اولین اصل آن قبل از به کارگیری تکنولوژی های انرژی های تجدیدپذیر تاکید بر رعایت الزامات ساخت و سازی که از نظر مصرف انرژی در کلاس ۱ قرار دارد، می باشد. [37]

۲-۷-۲-۲ الزامات مربوط به شرایط هوای داخل

۱-۲-۷-۲-۲ مروری بر مقالات

در مقالات حاضر در مورد شرایط آب و هوایی داخل ساختمان بحث و توسعه چندانی صورت نگرفته و فقط تعداد اندکی از مقالات به تبیین این موضوع پرداخته اند. به عنوان مثال: اصول خانه فعال [38] و اصول BOLIG+ [36]. در پروژه اول الزامات مربوط به هوای داخل اساساً به روشنایی روز، هوای تازه و انتخاب مواد بستگی دارد. در پروژه دوم این الزامات برای رسیدن به هوای سالم و مناسب برای شرایط آسایش ساکنین، بیشتر مورد تاکید می باشد. از جمله: به کارگیری از نور روز و کنترل کافی بر روی نور مصنوعی، استفاده از هوای بیرون در مواقعی که دما و کیفیت هوای بیرون با شرایط آسایش هم خوانی دارد، استفاده از مواد سالم و بهداشتی که عایق صدا و حرارت نیز باشند.



۲-۲-۲ الزامات تعامل ساختمان با شبکه توزیع

۲-۲-۲-۳ مروری بر مقالات

اکثر مقالات مربوط به مفاهیم ساختمان صفر انرژی از این موضوع نیز غافل شده اند. در مقالات تنها به ذکر این که ساختمان به شبکه متصل شده است یا خیر بسنده کرده اند، و وارد جزییات تعامل ساختمان با شبکه نشده اند. تنها توجهی که به این موضوع شده توسط Kilkis [16] بوده است. نویسندگان این مقاله نشان داد که با توجه به کیفیت های مختلف انرژی بین انرژی صادر شده و وارد شده از شبکه، اغلب شبکه توزیع در شرایط بدتری نسبت به ساختمان قرار دارد، بنابراین وی پیشنهاد ساختمان با انرژی خالص صفر را ارائه کرد که برای انرژی با کیفیت های مختلف محاسبات دقیق تری انجام می دهد. در ساختمان BOLIG+ دانمارک نیز یکی از پنج اصل مورد استفاده در ساختمان مربوط به نحوه تعامل آن با شبکه می باشد که می باید انرژی تزریق شده از ساختمان، کارایی همان انرژی که از شبکه تحویل گرفته را داشته باشد.

۲-۲-۸ تایید روش های محاسبه ای پیشنهادی

۲-۲-۸-۱ تشریح مطالعه موردی برای ساختمان نمونه

ساختمان BOLIG+ یک پروژه نمونه از یک ساختمان با مصرف خالص انرژی صفر می باشد که در ۶ طبقه و ۱۰ واحد در هر طبقه ساخته شده است. کاربری این ۶۰ واحد آپارتمان، مسکونی می باشد. این ساختمان در شهر Aalborg در کشور دانمارک واقع شده است. [36]. از این ساختمان برای تصدیق متد های پیشنهاد شده و مشکلات احتمالی در اجرای محاسبات که پیشتر در جدول ۲-۱ ارائه شده بود، استفاده شده است. سیستم تولید انرژی در ساختمان مذکور ترکیبی از فتوولتائیک (PV) و فتوولتائیک - کلکتورحرارتی خورشیدی (PV/T)، به همراه یک پمپ حرارتی خورشیدی می باشد. سیستم PV و PV/T در بام و نمای



ساختمان نصب شده است. زیر بنای ساختمان بالغ بر ۷۰۰۰ متر مربع می باشد که مصرف انرژی آن به صورت زیر است:

- آب گرم مصرفی: $14,4 \text{ kWh/m}^2$ در سال
- گرمایش فضاها: $13,7 \text{ kWh/m}^2$ در سال
- الکتریسیته برای فعالیت ساختمان $7,6 \text{ kWh/m}^2$ در سال
- الکتریسیته مصرفی خانگی 15 kWh/m^2 در سال
- تولید ماژول های PV : $22,6 \text{ kWh/m}^2$ در سال
- تولید ماژول های PV/T : $8,3 \text{ kWh/m}^2$ در سال
- خروجی حرارتی پمپ گرمایی: 20 kWh/m^2 در سال

تولید حرارت ماژول های PV/T به عنوان منبعی برای بالا بردن بازده حرارتی ساختمان می باشد و نیاز حرارتی آن را کم می کند بنابراین به عنوان منبع تولید انرژی تجدیدپذیر در محاسبات ظاهر نشده است. ساختمان BOLIG+ فقط الکتریسیته با شبکه تبادل می کند هر چند ساختمان هنوز در فاز طراحی می باشد و مقدار الکتریسیته ای که با شبکه تبادل می کند مشخص نیست اما فرض بر این است که ۶۷ درصد از کل الکتریسیته تولیدی را شامل می شود. [39].

۲-۸-۲-۲ نتایج

همانطوری که در جدول ۴-۲ ملاحظه می شود نتایج، کاملاً سازگاری دارند: اگر روش پیشنهادی برای ساختمان صفر انرژی یک متغیر ورودی منحصر به فرد داشته باشد یا پروسه محاسبه بالانس صفر آن خیلی خاص باشد، بالانس ارضا نمی شود. برای متدولوژی ۱ و ۲ این پروسه خاص همان استفاده از انرژی اضافی برای تولید انرژی در محل می باشد، و برای متدولوژی ۴ این مطلب انرژی اضافی مورد استفاده برای فراهم



کردن آب گرم مصرفی می باشد. در مورد متد های ۱۱ و ۱۲ محاسبات به علت نبود داده های تجسم انرژی برای این پروژه نا تمام مانده است.

از آنجایی که BOLIG+ یک ساختمان تمام برقی می باشد- دارای یک حامل انرژی است- مطابقت بین واحد های مختلف در سطح مطلوب است. استثناء در این مورد بالانس بین بهای انرژی با واحد ها می باشد. و این به دلیل پایین تر بودن تعرفه برق خریداری شده توسط شبکه نسبت به تعرفه فروش آن به ساختمان می باشد. این پارامتر بسیار به منطقه و قوانین ملی هر کشور وابسته است.

جدول ۲-۴ مرور نتایج ارضا شدن متد های پیشنهادی

	✓ fulfilled	' – ' not fulfilled	✓ / – partly fulfilled		
		Delivered energy	Primary energy	CO ₂ emissions	Energy cost
Meth.1			—		
Meth.2			—		
Meth.3			✓		
Meth.4		—	—	✓	—
Meth.5		✓	✓	✓	—
Meth.6		✓ /—			
Meth.7		✓	✓		
Meth.8			✓		
Meth.9		✓	✓		
Meth.10			✓		
Meth.11		Due to lack of date impossible to complete			
Meth.12		Due to lack of date impossible to complete			

وضعیت خاص متد ۶ بازگو کننده ویژگی منحصر به فرد آن در بالانس ماهانه می باشد. در این پروژه برای ۸ ماه، از ماه مارس تا اکتبر، بالانس صفر به دست آمد، اما برای باقی ماه ها یعنی از نوامبر تا فوریه، انرژی



استفاده شده توسط ساختمان بالاتر از میزان تولید آن توسط ماژول های PV بوده است. این نتیجه به خوبی نشان دهنده متغیر بودن توانایی منابع تولید انرژی تجدیدپذیر به خصوص انرژی خورشیدی می باشد. هم چنین نشان دهنده دوره زمانی است که ساختمان به دریافت انرژی از شبکه نیاز دارد.

در مورد ساختمان BOLIG+ تفکیک بین منابع مختلف انرژی تجدیدپذیر قبل از نصب و بهره برداری از ماژول های PV و PV/T عملی نمی باشد.

۲-۳ نمونه کار انجام شده: مطالعه و امکان سنجی ساخت خانه صفر انرژی در

کشور نیو فندلاند:

در این مطالعه احداث یک خانه صفر انرژی با استفاده از توربین های بادی بررسی شده است که در زیر مشخصات خانه مورد مطالعه ارائه شده است:

استاندار ساخت خانه بر اساس استاندارد $R - 2000$ که شامل نیاز های وابسته به بازده انرژی، کیفیت هوای داخل و مواد و تولیدات معتبر محیطی می شود. [40]. در جدول ۲-۵ ویژگی های خانه مورد بررسی با استاندارد ذکر شده در بالا ملاحظه می شود.



جدول ۵-۲ ویژگی های یک خانه با استاندارد R-2000 در نیو فنلاند

Typical features of a R-2000 complaint house in Newfoundland

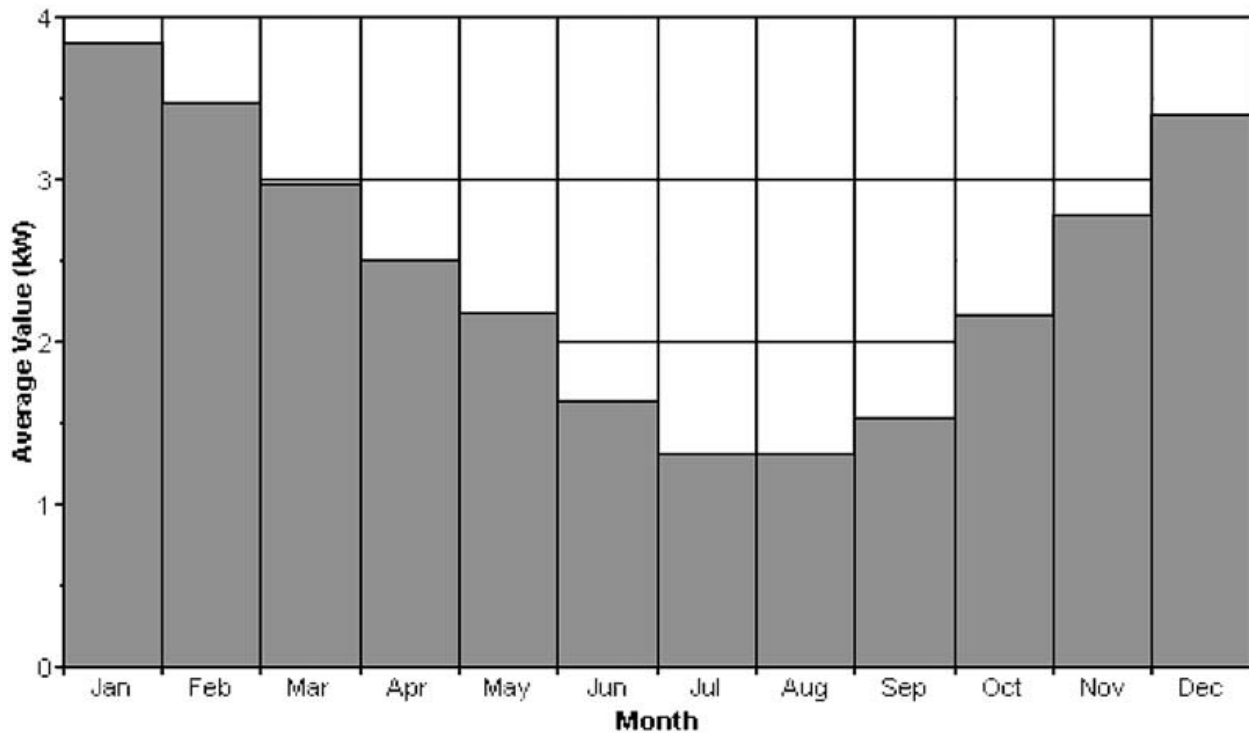
Walls absorptivity	0.4
Roof absorptivity	0.84
Heating temperature	21 °C
Doors	Solid wood with effective RSI value = 0.39
Windows	Double glazed with effective RSI value < 1
Walls	Composite wood joist, R-28 insulation Effective RSI value 7.83
Foundation	Slab on grade R - value = 2.34 RSI
Above grade annual heat loss	89%
Heat loss due to air change	11%
Space and water heating	Electric
Covered area	~1700 ft ²

خانه مذکور دارای دو طبقه است و بر روی یک فونداسیون بتنی قرار گرفته و بدنه بیرونی آن از چوب می باشد. از الکتریسیته برای پخت و پز و گرمایش آب گرم مصرفی و فضاها استفاده می شود. اطلاعات مصرف برق این ساختمان توسط کنتور برق به صورت کیلووات در هر ۱۵ دقیقه در سیستمی که از قبل برای این کار تعبیه شده ثبت می شود که اطلاعات ثبت شده به مدت یک سال برای مطالعه استخراج شده اند.

متوسط مصرف انرژی ساختمان 58 kWh/day می باشد که بیشینه لحظه ای مصرف انرژی ساختمان برابر 3.8 kW در ماه ژانویه و کمینه مصرف لحظه ای انرژی 1.4 kW در ماه جولای و آگوست می باشد.



جدول ۲-۶ متوسط ماهانه مصرف انرژی در ساختمان

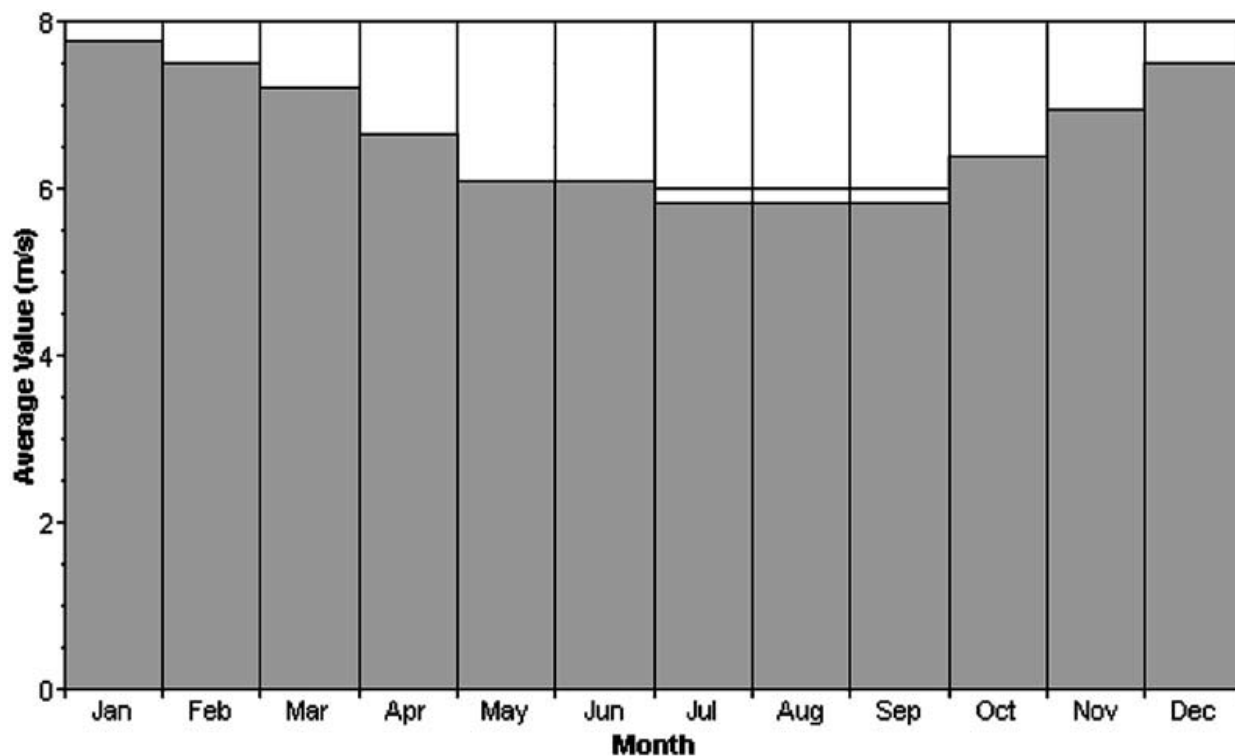


۱-۳-۲ منبع تامین انرژی:

متوسط وزش باد سالانه در شهر St John's, Newfoundland $6,7 \text{ m/s}$ می باشد که در نمودار ۱-۲ مقادیر متوسط ماهانه وزش باد برای دوره ۱۹۹۰-۱۹۴۲ ملاحظه می شود با مقایسه جدول وزش باد و نیاز انرژی ماهانه متوجه می شویم در فصل زمستان که سرعت وزش باد بیشتر می باشد در ساختمان نیز به انرژی الکتریکی بیشتری نیاز می باشد.



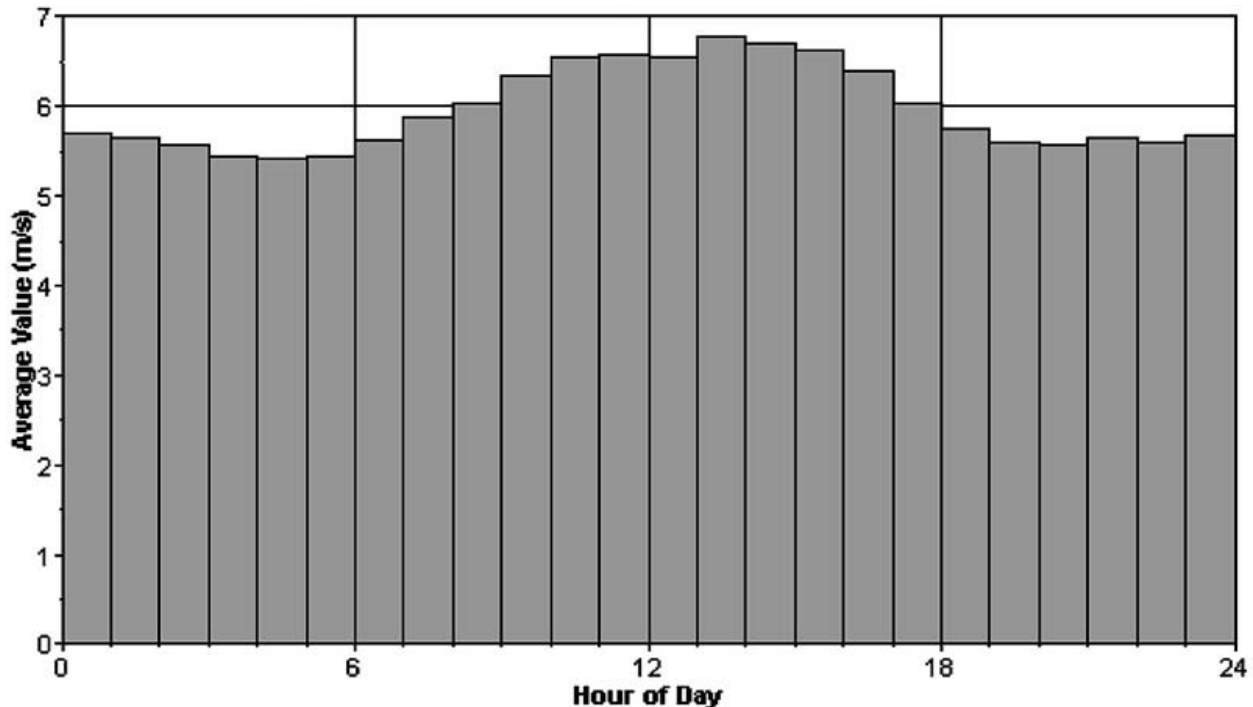
نمودار ۱-۲ سرعت وزش باد متوسط ماهانه



در نمودار ۲-۲ سرعت وزش باد به صورت ساعت به ساعت در سال ۱۹۹۷ ارائه شده است که متوسط سرعت باد در سال ۱۹۹۷ برابر با 5.96 m/s می باشد که از حد معمول کمی پایین تر می باشد، سرعت بیشینه وزش باد نیز برابر با 21 m/s در ماه آوریل است که زیر سرعت حد یک توربین باد معمولی می باشد.



نمودار ۲-۲ میانگین سرعت وزش باد در ساعات مختلف روز در سال ۱۹۹۷



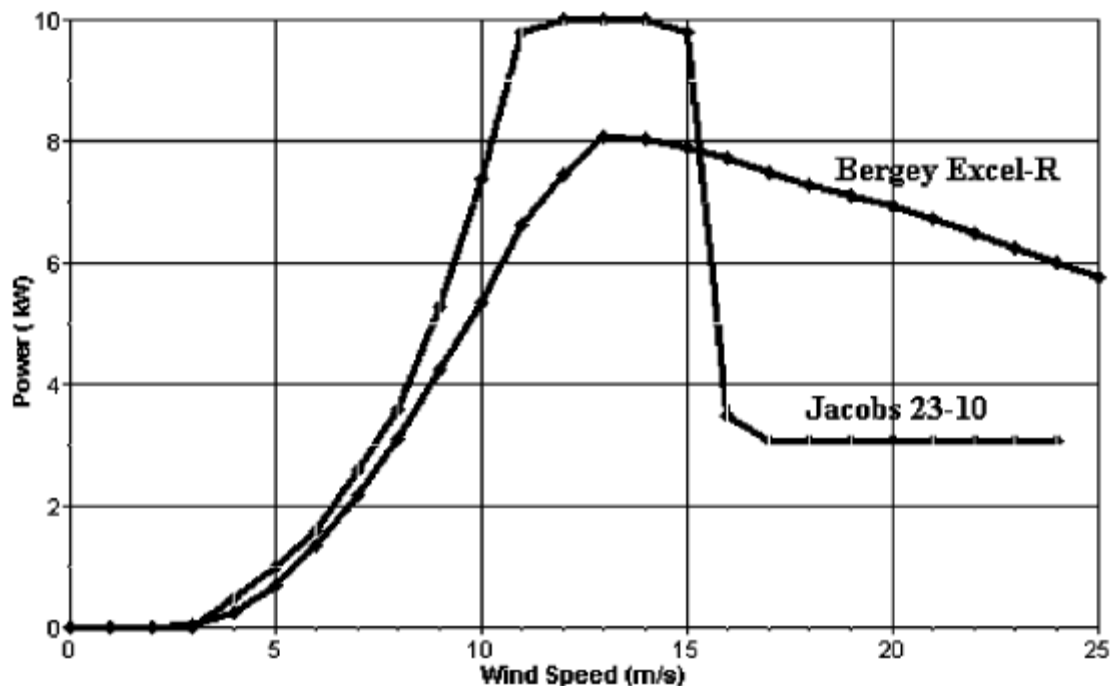
۲-۳-۲ انتخاب سیستم انرژی بادی:

انتخاب یک سیستم تولید انرژی بر اساس اطلاعات انرژی باد و بار ساختمان توسط نرم افزار HOMER که یک نرم افزار رایگان می باشد و توسط موسسه National Renewable Energy Laboratory در اختیار محققان قرار داده شده است. این نرم افزار برای تعیین سائز و مدل سازی یک سیستم هیبریدی تولید انرژی می باشد که از دقت کافی برای تخمین کارایی سیستم مورد طراحی بر خوردار می باشد.

دو توربین بادی JacobsTM 23-10 و BWC EXCEL-R برای ساختمان مذکور انتخاب شده اند. منحنی قدرت این توربین ها بر حسب سرعت وزش باد در نمودار ۳-۲ نشان داده شده است.



نمودار ۲-۳ منحنی قدرت توربین های بادی بر حسب سرعت باد



سیستم توربین بادی این ساختمان متصل به شبکه سراسری می باشد و ظرفیت تولید اسمی سیستم 10 kW می باشد. انرژی تولید شده توسط توربین بادی با سه مقدار برای متوسط وزش باد سالانه که به ترتیب $6,66 \text{ m/s}$ برای سالهای ۱۹۴۲-۱۹۹۰ و $5,96 \text{ m/s}$ برای سال ۱۹۹۷ و $7,25 \text{ m/s}$ برای سال ۱۹۷۵ می باشند توسط نرم افزار مدل سازی می شود هم چنین چهار مقدار مصرف برق در سالانه برای هر روز نیز در نظر گرفته شده است که برابر ۳۸، ۴۸، ۵۸ و ۶۸ کیلو وات ساعت در روز می باشد. در جدول ۲-۷ نتایج مربوط به مدل سازی سیستم در سه وضعیت ذکر شده ملاحظه می شود:



جدول ۷-۲ نتایج مدل سازی برای سه مقدار سرعت وزش باد

Expected performance if the wind energy system

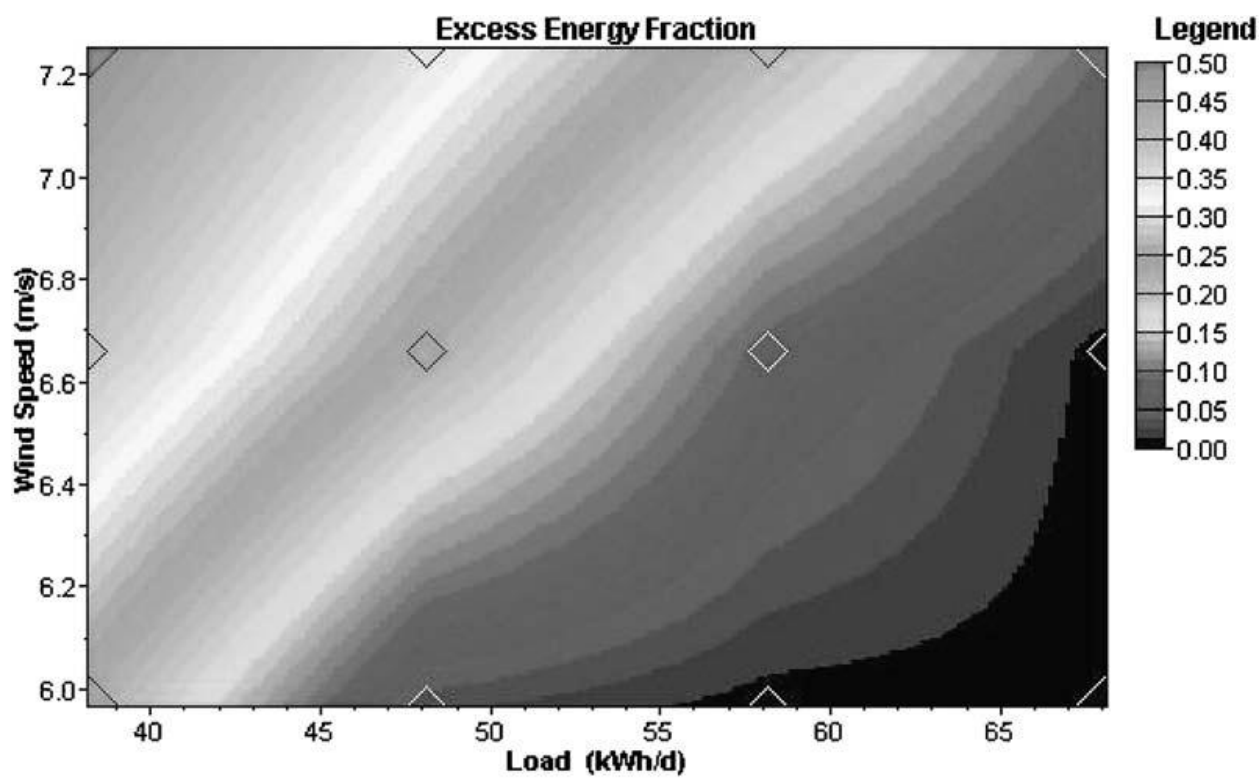
	Wind speed 5.96m/s	Wind speed 6.66 m/s	Wind speed 7.25m/s
Annual energy production (kWh)	21765	27581	32248
Excess energy (kWh)	132 (0.6%)	2156 (7.8%)	6795 (21.1%)

۳-۳-۲ آنالیز حساسیت:

آنالیز حساسیت برای بررسی تاثیر سرعت های مختلف باد و بار های متفاوت ساختمان انجام می شود. که نتایج این آنالیز در جدول ۷-۲ نشان داده شده است. طبق تخمین نرم افزار Homer در سرعت 6.66 m/s انرژی اضافی تولید شده توسط سیستم توربین بادی برابر 2156 kWh می باشد همانطوری که از شکل ۲-۲ مشخص می باشد اگر مصرف انرژی ساختمان برابر با 60 kWh در روز باشد و سرعت وزش باد به طور متوسط 6 m/s باشد هیچ انرژی اضافی تولید نخواهد شد. اگر فرض کنیم سرعت باد برابر 6.66 m/s باشد و مصرف انرژی نیز برابر 50 kWh باشد انرژی اضافی تولید شده برابر ۲۰ درصد کل انرژی تولیدی می باشد شکل ۲-۲ نشان می دهد که سیستم انتخاب شده ی تبدیل انرژی باد می تواند تمام انرژی مورد نیاز ساختمان را در هر چهار مقدار مختلف پاسخ گو باشد. [26]



شکل ۲-۲ نتایج آنالیز حساسیت





۲-۴ نتیجه گیری

در سال های اخیر توجه به ساختمان های صفر انرژی در سطح جهان رو به افزایش بوده است. تعداد زیادی از کشور ها ساختمان های صفر انرژی را در راس برنامه های آتی خود در زمینه انرژی قرار داده اند. در بین استراتژی های موجود برای کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان، ساختمان های صفر انرژی پتانسیل بالایی به جهت کاهش مصرف انرژی و بالا بردن سهم تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر دارند. با این وجود برای اینکه این نوع از ساختمان ها در حاشیه قرار نگیرند باید یک چارچوب مشخص برای تعریف اصول آنها و یک متد قوی برای محاسبه ی انرژی صفر در آنها تعریف شود که مورد توافق جامعه جهانی نیز باشد. این چارچوب می تواند شامل تمام منابع تجدیدپذیر ممکن باشد و فقط شامل سلول های خورشیدی نباشد.

این فصل مروری بود بر مقالات موجود که به تعریف و بسط مفاهیم ساختمان های صفر انرژی پرداخته بودند. این فصل شامل معیار، دوره زمانی و نوع انرژی مورد استفاده در بالانس انرژی و گزینه های تامین انرژی های تجدیدپذیر، اتصال به تاسیسات انرژی و بازده انرژی، شرایط هوایی داخل و تعامل ساختمان با شبکه سراسری توزیع بود. در این فصل در مورد راه حل های موجود برای اجرای پارامتر های ذکر شده بحث شد، و مزایا و معایب هر کدام شرح داده شد. هرچند هدف این فصل یافتن پاسخی واحد برای تمام سوالات و مسائل مطرح در زمینه ساختمان صفر انرژی نبوده است. به عنوان مثال پاسخ به این موضوع که کدام معیار برای کدام نوع انرژی باید برای بالانس انرژی بکار رود پاسخی واحد و روشنی نخواهد بود و بر حسب مورد و منطقه عملیاتی در جزئیات آن تفاوت ایجاد می شود. هدف این فصل ارائه چگونگی درک تفاوت ها بین موضوعات مطرح شده در تعاریف بوده است. [11] در آخر برای روشن شدن بیشتر موضوع و اینکه خواننده با مورد های عملی اجرا شده در خصوص ساختمان صفر انرژی بیشتر آشنا شود و موضوع قابل لمس باشد به ذکر نمونه کار انجام شده در این خصوص پرداخته شده است.



فصل سوم: معادلات و روابط حاکم

بر سیستم های استحصال انرژی

تجدیدپذیر



۳-۱ اصول انرژی خورشیدی

قبل از اینکه به جزئیات تولید انرژی توسط PV ها پرداخته شود، به معرفی اصول تابش خورشیدی و مهندسی انرژی خورشیدی پرداخته خواهد شد. بسیاری از متغیرهای معرفی شده در این بخش در چندین قسمت مدل سازی مورد استفاده قرار می گیرند. اکثر معادلات مطرح شده در این بخش از کتاب «مهندسی انرژی خورشیدی در سیستم های حرارتی» [41]؛ استخراج شده اند.

۳-۱-۱ زاویه میل

زاویه میل موقعیت زاویه خورشید، در ظهر خورشیدی نسبت به خط استوا می باشد. این پارامتر بر حسب زاویه بیان می شود و از معادله کوپر بدست می آید:

$$\delta = 23.45 \sin \left(2\pi \frac{284 + n}{365} \right) \quad (3-1)$$

که در این معادله n شماره روز در سال است، به این معنی که مثلاً اول ژانویه این شماره برابر ۱ است پس برای ۱ فوریه داریم: $n = 32$. تغییرات زاویه میل بین $23,45^\circ -$ در ۲۱ دسامبر و $24,45^\circ +$ در ۲۱ ژوئن می باشد.



۳-۱-۲ زاویه ساعت خورشیدی و زاویه ساعت غروب

زاویه ساعت خورشیدی جابجایی زاویه ای خورشید در غرب یا شرق نصف النهار محلی می باشد؛ در صبح منفی و در بعد از ظهر مثبت می باشد. زاویه ساعت خورشیدی در هنگام ظهر خورشیدی برابر صفر می باشد، این زاویه در هر ساعت ۱۵ درجه تغییر می کند.

زاویه ساعت غروب خورشید که با نماد ω_s نشان داده می شود، زاویه ای می باشد که خورشید در هنگام غروب در آن قرار دارد و توسط معادله زیر بدست می آید

$$\cos \omega_s = -\tan \psi \tan \delta \quad (3-2)$$

که δ زاویه میل است که قبلا در مورد آن بحث شد، و ψ عرض جغرافیایی محل می باشد.

۳-۱-۳ تابش فرا زمینی و شاخص شفافیت

تابش خورشیدی در خارج از جو زمین تحت عنوان تابش فرا زمینی شناخته می شود. تابش فرا زمینی روزانه بر روی سطح افقی را با نماد H_0 نشان داده می شود. و توسط رابطه زیر برای روز n ام محاسبه می شود:

$$H_0 = \frac{86400 G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \left(2\pi \frac{n}{365} \right) \right) (\cos \psi \cos \delta \sin \omega_s + \omega_s \sin \psi \sin \delta) \quad (3-3)$$

که G_{sc} ثابت خورشیدی می باشد و مقدار آن برابر 1.367 W/m^2 می باشد، سایر متغیر ها قبلا معرفی شده اند.



تابش خورشیدی قبل از رسیدن به سطح زمین توسط جو و ابرها ضعیف می شود، نسبت تابش در سطح زمین به تابش فرا زمینی به عنوان شاخص شفافیت شناخته می شود. بنابر این متوسط ماهانه شاخص شفافیت $\bar{K}_T$ توسط رابطه زیر بدست می آید:

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad (4-3)$$

که $\bar{H}$ متوسط ماهانه تابش روزانه بر سطح افقی می باشد و $\bar{H}_0$ متوسط ماهانه تابش فرا زمینی روزانه بر سطح افق است. مقدار $\bar{K}_T$ به محل جغرافیایی و زمان سالانه بستگی دارد و معمولاً بین ۰,۳ برای آب و هوای ابری و ۰,۸ برای مکان های آفتابی در نوسان است.

۲-۳ محاسبه تابش بر سطح شیب دار

تابش بر صفحه آرایه های PV با استفاده از متدی که به الگوریتم Keleyn and Theilacker شبیه می باشد [41]؛ محاسبه می شود. اگرچه به دلیل توسعه دادن الگوریتم برای صفحات دنبال کننده خورشید، متد ارائه شده کمی با آنچه در مرجع ذکر شده تفاوت دارد.

۱-۲-۳ توصیف الگوریتم

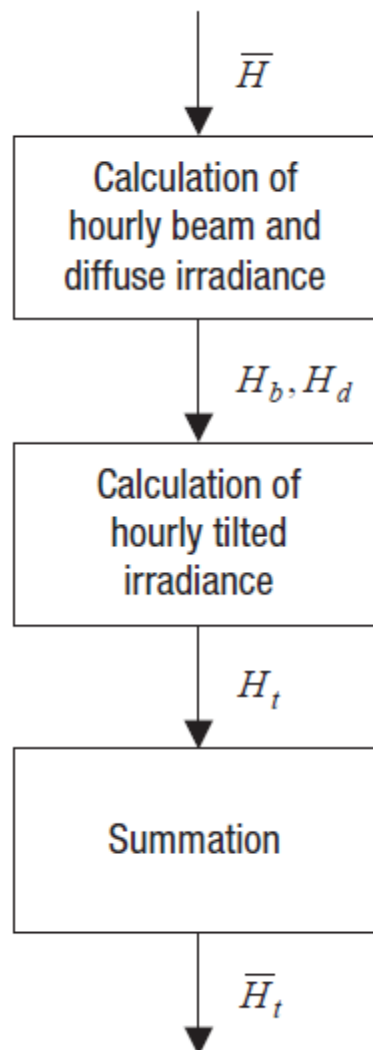
مطابق شکل ۱-۳ الگوریتم مدل سازی شامل سه گام اساسی می باشد:



فصل سوم: معادلات حاکم بر سیستم های انرژی تجدیدپذیر

۱. محاسبه کل تابش مستقیم و پخش شده بر صفحه افقی در تمام ساعات روز
۲. محاسبه مقدار ساعت به ساعت تابش کلی بر سطح شیب دار یا سطح دنبال کننده خورشید
۳. جمع مقادیر تابش ساعت به ساعت بر صفحه شیب دار جهت مشخص کردن متوسط تابش روزانه بر صفحه آرایه های PV

شکل ۱-۳ الگوریتم محاسبه تابش بر صفحات شیب دار





۲-۲-۳ محاسبه ساعت به ساعت تابش پخش شده و مستقیم

تابش خورشیدی به دو بخش؛ پرتو های مستقیم که از قرص خورشید ساعت می شوند و پرتو های پراکنده در آسمان تقسیم می شود. در این الگوریتم هر دو این تابش ها در معادله دخیل می شوند.

در ابتدا متوسط ماهانه تابش پراکنده روزانه خورشید که با نماد $\bar{H}_d$ نمایش داده می شود، با استفاده از متوسط ماهانه تابش روزانه کلی که نماد آن $\bar{H}$ می باشد، از طریق معادله Erbs و همکاران [41]؛ محاسبه می شود:

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.391 - 3.560\bar{K}_T + 4.189\bar{K}_T^2 - 2.137\bar{K}_T^3 \quad (5-3)$$

معادله بالا در شرایطی که زاویه ساعت غروب خورشید کمتر از 81.4° باشد صادق است. و معادله:

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.311 - 3.022\bar{K}_T + 3.427\bar{K}_T^2 - 1.821\bar{K}_T^3 \quad (6-3)$$

در شرایطی که زاویه ساعت غروب خورشید از مقدار 81.4° بزرگتر باشد، صادق است.

ذکر این نکته ضروری است که هر دو معادله بالا فقط برای مقادیر $0.3 \leq \bar{K}_T \leq 0.8$ که از معادله ۴-۳ بدست می آید صحیح می باشد.

سپس متوسط تابش روزانه به مقادیر ساعت به ساعت شکسته می شود. این کار برای تابش کلی با معادله

Collares-Pereira and Rabl انجام می گیرد:



$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s} \quad (7-3)$$

که برای پارامتر های a, b داریم:

$$a = 0.409 + 0.501 \sin \left(\omega_s - \frac{\pi}{3} \right) \quad (8-3)$$

$$b = 0.6609 + 0.4767 \sin \left(\omega_s - \frac{\pi}{3} \right) \quad (9-3)$$

که r_t نسبت تابش ساعت به ساعت به تابش کلی روزانه است، ω و ω_s بر حسب رادیان در معادله ظاهر می شوند. برای تابش پراکنده نیز با استفاده از معادله Liu and Jordan می توان نوشت:

$$r_d = \frac{\pi}{24} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s} \quad (10-3)$$

که r_d نسبت تابش ساعت به ساعت روزانه به کل تابش پراکنده می باشد. برای هر ساعت از روز تابش افقی کلی H و تابش پراکنده H_d و مستقیم H_b توسط معادلات زیر بدست می آیند:

$$H = r_t \bar{H} \quad (11-3)$$

$$H_d = r_d \bar{H}_d \quad (12-3)$$

$$H_b = H - H_d \quad (13-3)$$



۳-۲-۳ محاسبه ساعت به ساعت تابش بر صفحه آرایه های PV

محاسبه تابش ساعت به ساعت بر صفحه آرایه های PV می تواند با استفاده از یک مدل ایزو تروپیک انجام شده است، [41]. این پارامتر را بانماد H_t نشان می دهند. این مدل دقیق ترین مدل موجود نیست اما برای مرحله پیش امکان سنجی بسیار مناسب می باشد:

$$H_t = H_b R_b + H_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + H \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (14-3)$$

در معادله فوق ρ اثر پراکندگی زمین نام دارد و معمولاً به آن توان تابشی زمین می گویند و β معرف شیب نصب آرایه های PV است. توان تابشی زمین در دمای بالاتر از صفر برابر با 0,2 در نظر گرفته می شود و برای دمای کمتر از 5°C برابر 0,7 در نظر گرفته شده است. برای مقادیر دمایی بین این دو دما می توان از درونیایی خطی استفاده کرد. R_b نسبت تابش مستقیم بر آرایه های PV نسبت به صفحه افقی است:

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (15-3)$$

در رابطه فوق θ زاویه برخورد پرتوهای مستقیم و پراکنده خورشید بر سطح آرایه های PV می باشد و θ_z زاویه خورشید در نقطه اوجش می باشد.

مزیت الگوریتم فوق این است که در مواردی که موقعیت آرایه ها در حال تغییر است می تواند خود را اصلاح کند، مثل مواقعی که ردیاب خورشیدی در سیستم نصب شده باشد. زاویه شیب آرایه ها θ و زاویه برخورد برای هر ساعت توسط معادله Braun and Mitchell؛ [42] تعیین می شود.



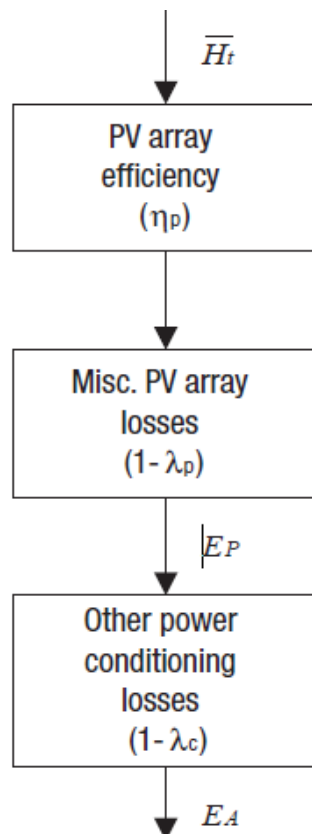
۴-۲-۳ جمع بندی مقادیر

تا اینجا تابش بر صفحات شیب دار برای تمام ساعات روز محاسبه شد، مقدار $\bar{H}_t$ که تابش کل روزانه می باشد، با جمع کردن مقادیر تابش که برای هر ساعت جدا جدا حساب شده است، بدست می آید.

۳-۳ مدل سازی آرایه های PV

مدل سازی آرایه های PV بر اساس کارهای صورت گرفته توسط Evans؛ [43]؛ صورت گرفته است، که در شکل ۲-۳ سلسله مراتب این مدل سازی ملاحظه می شود:

شکل ۲-۳ فلوچارت مدل سازی آرایه های PV





۱-۳-۳ محاسبه بازده متوسط

آرایه ها با بازده متوسط خود معرفی می شوند، که این بازده تابعی از دمای متوسط ماژول ها می باشد، بازده را با نماد η_p و دمای ماژول ها را با نماد T_c نشان می دهند:

$$\eta_p = \eta_r [1 - \beta_p (T_c - T_r)] \quad (۱۶-۳)$$

که η_r در معادله فوق بازده ماژول ها در دمای مرجع $T_r = 25^\circ C$ می باشد و β_p ضریب دمایی بازده ماژول ها می باشد. T_c به دمای میانگین ماهانه دمای هوای بیرون T_a بستگی دارد. از معادله Evans، [43] داریم:

$$T_a - T_c = (219 + 832 \bar{K}_t) \frac{NOCT - 20}{800} \quad (۱۷-۳)$$

در معادله فوق $NOCT$ دمای نامی کارکرد سلول ها می باشد و $\bar{K}_t$ شاخص شفافیت ماهانه است. η_r ، $NOCT$ و β_p به نوع ماژول های PV بستگی دارند. برای ماژول هایی که تحت شرایط و تکنولوژی استاندارد تولید شده اند، مقادیر پارامتر های مذکور جدول ۱-۳ ملاحظه می شود:

جدول ۱-۳ مقادیر مشخصه های ماژول های PV در شرایط استاندارد

PV module type	η_r (%)	$NOCT$ ($^\circ C$)	β_p (%/ $^\circ C$)
Mono-Si	13	45	0, 40
Poly-Si	11	45	0, 40
a-Si	5	50	0, 11
CdTe	7	46	0, 24
CIS	7, 5	47	0, 46



معادله ۳-۱۷ برای مقادیر بهینه شیب آرایه ها صادق است. (شیب بهینه معمولاً برابر عرض جغرافیایی محل نصب منهای زاویه میل می باشد.) اگر زاویه نصب آرایه ها از مقدار بهینه تجاوز کرد یا کمتر از آن بود، سمت راست معادله باید در فاکتور تصحیح C_f ضرب شود، مقدار فاکتور تصحیح از معادله زیر محاسبه می شود:

$$C_f = 1 - 1.17 \times 10^{-4} (s_M - s)^2 \quad (3-18)$$

که s_M مقدار بهینه زاویه شیب و s مقدار واقعی زاویه شیب نصب شده می باشد. هر دو پارامتر بر حسب زاویه بیان می شوند.

۳-۳-۲ انرژی تولید شده توسط ماژول ها

انرژی تحویل داده شده توسط آرایه های PV از رابطه زیر بدست می آید:

$$E_p = S \eta_p \bar{H}_t \quad (3-19)$$

که S مساحت آرایه ها می باشد. انرژی محاسبه شده در بالا توسط تلفات متفرقه آرایه ها λ_p و شرایط دیگر برای آماده سازی توان خروجی λ_c دچار نقصان می شود، با توجه به این تلفات داریم:

$$E_A = E_p (1 - \lambda_p) (1 - \lambda_c) \quad (3-20)$$

در معادله فوق E_A انرژی قابل دسترسی است که توسط آرایه ها به بار ها و باتری تحویل می شود. بازده کلی آرایه ها با نماد η_A نشان داده می شود و از رابطه زیر بدست می آید:

$$\eta_A = \frac{E_A}{S \bar{H}_t} \quad (3-21)$$



۳-۴ مدل سازی سیستم متصل به شبکه

مدل سازی سیستم متصل به شبکه به علت نداشتن سیستم باتری و وجود منبع ذخیره پایداری پون شبکه توزیع، به نسبت مدل جدا از شبکه ساده تر می باشد زیرا تنها پل ارتباطی بین سیستم تولید و شبکه یک عدد اینورتر است که معمولا آن را هم سائز ظرفیت سیستم تولید در نظر می گیرند. در این بخش از ذکر مدل سازی سیستم جدا از شبکه به علت طولانی شدن موضوع و عدم به کار گیری در مدل سازی ساختمان مورد بحث خودداری شده است. انرژی تحویل داده شده به شبکه از رابطه زیر بدست می آید:

$$E_{grid} = E_A \eta_{inv} \quad (22-3)$$

که در رابطه فوق η_{inv} بازده اینورتر می باشد. بسته به پیکر بندی شبکه تمام انرژی تولید شده توسط شبکه قابل جذب نمی باشد. انرژی که واقعا توسط شبکه جذب می شود از رابطه زیر بدست می آید:

$$E_{dlvd} = E_{grid} \eta_{abs} \quad (23-3)$$

که در معادله فوق η_{abs} نرخ جذب انرژی تولید شده توسط PV می باشد.

تا اینجا به ذکر معادلات مربوط به مدل سازی سیستم فتوولتائیک که به شبکه توزیع متصل است پرداخته شد. در ادامه به توضیح جز به جز مدل سازی سیستم آبگرمکن خورشیدی پرداخته خواهد شد.



۳-۵ مدل سازی سیستم آب گرمکن خورشیدی

معادلات مطرح شده برای تابش خورشیدی برای آب گرمکن خورشیدی نیز معتبر می باشد و از باز نویسی آنها در این بخش خودداری می شود.

۳-۵-۱ دمای آسمان

تابش های آسمانی با طول موج بلند، توسط امواج با طول موج بلندتر از $3\mu m$ تولید می شوند. همانطوری که در قسمت های بعدی ملاحظه خواهد شد، محاسبه مقادیر تابش که بین کلکتورها و آسمان رخ می دهد از اهمیت بالایی برخوردار است. تابش های آسمانی به دمای آسمان که با نماد T_{sky} نشان داده می شود، وابسته هستند. مقادیر این تابش برابر با تابش جسم سیاه در دمای T_{sky} می باشد. تابش آسمان که به اختصار L_{sky} نامیده می شود، در دمای صفر درجه سانتی گراد از طریق رابطه زیر قابل محاسبه می باشد:

$$L_{sky} = \sigma (T_{sky} + 273.2)^4 \quad (3-24)$$

که σ ثابت استفان بولتزمن می باشد و برابر $(5.669 \times 10^{-8} (W/m^2)/K^4)$ است. تابش آسمان بستگی به وجود و یا عدم وجود ابر در آسمان دارد، شب های صاف معمولا سردتر از شب های ابری می باشند. میزان امواج با طول بلند برای آسمان صاف توسط رابطه Swind bank ارائه شده است، [44]:

$$L_{clear} = 5.31 \times 10^{-13} (T_a + 273.2)^6 \quad (3-25)$$

که T_a دمای خارج بر حسب $^{\circ}C$ می باشد.

در مدل سازی برای آسمان ابری دمای ابرها برابر با $(T_a - 5)$ فرض می شوند و ابرها در این دما امواج بلند با شدت 0,96 ساعت می کنند. بنابر این تابش در آسمان ابری توسط رابطه زیر بدست می آید:



$$L_{cloudy} = \sigma (T_a + 273.2 - 5)^4 \quad (26-3)$$

مقدار واقعی تابش آسمان وقتی آسمان شرایطی بین حالت صاف و ابری دارد، از رابطه زیر بدست می آید، که پارامتر C بخشی از آسمان که ابری است می باشد:

$$L_{sky} = (1 - c) L_{clear} + c L_{cloudy} \quad (27-3)$$

برای مشخص کردن مقدار دقیق C در یک ماه، برای مدل سازی تابش آسمان مشابه سازی بین مقدار ابر و سهم متوسط ماهانه از تابش روزانه صورت گرفته است. در آسمان صاف مقدار ضریب پخش که توسط $K_d = H_d / H$ بدست می آید برابر با 0,165 می باشد و این مقدار برای آسمان ابری برابر ۱ است.

$$c = \frac{(K_d - 0.165)}{0.835} \quad (28-3)$$

K_d از طریق شاخص شفافیت $(\bar{K}_T)$ محاسبه می شود. برای محاسبه مقدار آن از هم بستگی Collares-Perrira [41] استفاده می شود. در زیر مقادیر مختلف K_d ملاحظه می شود:

$$K_d = \begin{cases} 0.99 & \text{for } K_T \leq 0.17 \\ 1.188 - 2.272K_T + 9.473K_T^2 - 21.865K_T^3 + 14.648K_T^4 & \text{for } 0.17 \leq K_T \leq 0.75 \\ -0.54K_T + 0.632 & \text{for } 0.75 \leq K_T \leq 0.80 \\ 0.2 & \text{for } K_T \geq 0.80 \end{cases} \quad (29-3)$$

۳-۵-۲ دمای آب سرد تغذیه

تعیین دمای آب سرد که توسط شبکه آب رسانی شهری تامین می شود، برای محاسبه بار حرارتی تامین آب گرم با دمای مورد نیاز، لازم می باشد. در مدل سازی مورد بحث دو روش برای محاسبه دمای آب سرد مطرح می باشد. در روش اول دمای آب سرد به صورت اتوماتیک از روی دمای محیط خارج محاسبه می شود.



در روش دوم دمای آب سرد ورودی از روی مقادیر کمینه و بیشینه که توسط کاربر در نرم افزار مشخص شده حساب می شود.

۳-۵-۲-۱ محاسبه اتوماتیک

معادله انتقال حرارت در زمین به صورت زیر می باشد:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (3-30)$$

که T در اینجا معرف دمای خاک می باشد، t معرف زمان، α ضریب نفوذ حرارتی خاک بر حسب m^2/s و فاصله عمودی می باشد. برای محیط نیمه بی نهایتا نوسانات پریودیک در سطح می توان نوشت:

$$T(0, t) = T_0 e^{i\omega t} \quad (3-31)$$

که T_0 دامنه نوسانات دمایی در سطح و ω فرکانس نوسانات دمایی سطح برای ماه i ام می باشد. اگر معادله فوق برای عمق z و زمان t حل شود خواهیم داشت:

$$T(z, t) = T_0 e^{-(1+i)z/\sigma} e^{i\omega t} \quad (3-32)$$

که ω مقیاس فضایی می باشد و از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2\alpha}{\omega}} \quad (3-33)$$

به عبارت دیگر نوسانات فصلی و سالانه در دامنه ΔT در سطح در عمق z به صورت رابطه $\Delta T(z) = \Delta T e^{-z/\sigma}$ اثر می کند و این تأثیر با تأخیر $\Delta t = z/\sigma\omega$ رخ می دهد.

نرم افزار RETScreen برای پروژه مدل سازی تولید آب گرم خورشیدی، دمای آب سرد را برای عمق ۲ متری خاک با ضریب نفوذ حرارتی برابر $\alpha = 0.52 \times 10^{-6} m^2/s$ محاسبه می کند. بنابر مطالب گفته شده می توان نوشت:



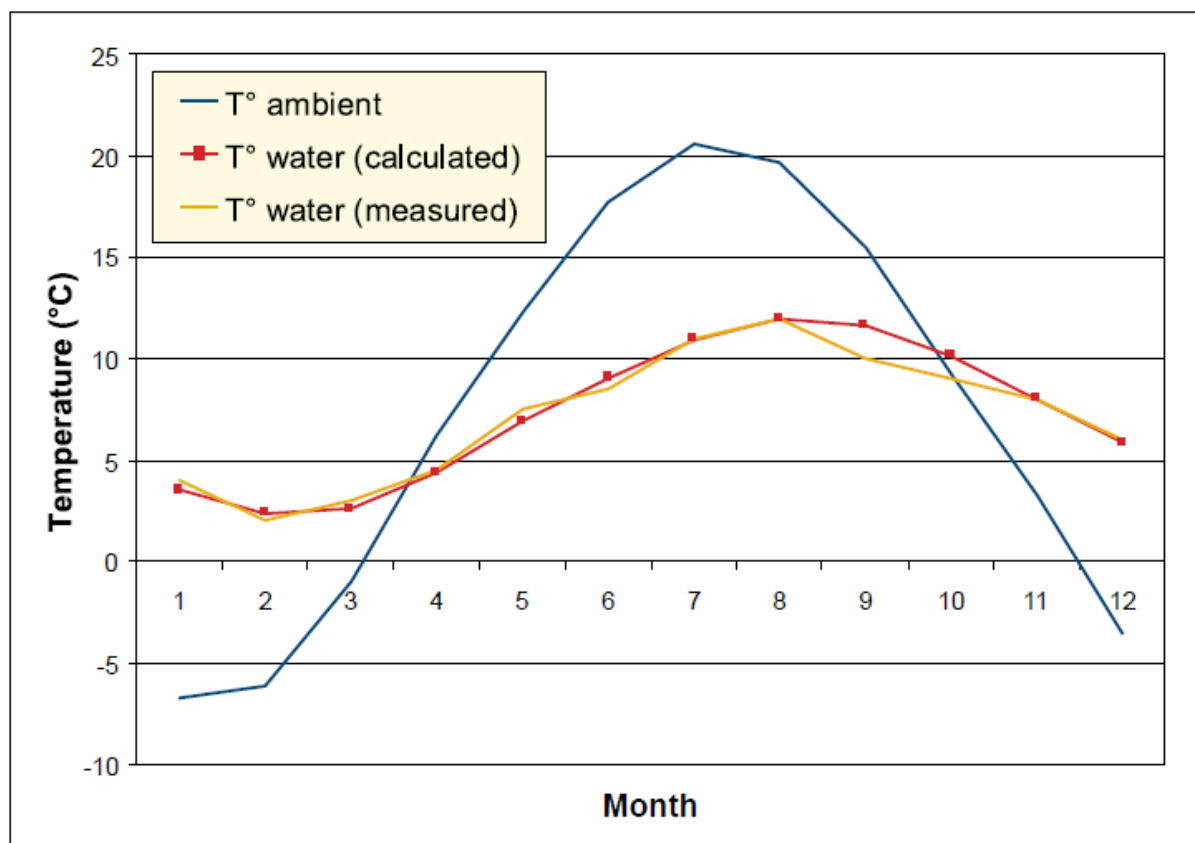
$$\sigma = 2.28 \text{ m} \quad (3-34)$$

$$\Delta T(z) = \Delta T(0) \times 0.42 \quad (3-35)$$

$$\Delta t = 51 \text{ days} \quad \square \quad 2 \text{ months} \quad (3-36)$$

از این مدل تئوری برای یک کتر آزمایشگاهی در شهر تورنتو کشور کانادا استفاده شده است. در این آزمایش ملاحظه شده که به جای عدد 0,42 در معادله ۳-۳۵ بهتر است از 0,35 استفاده شود. و تاخیر ۱ ماهه نیز از تاخیر ۲ ماهه محاسبه شده بهتر با سیستم هماهنگ می شود. مدلی که در بالا عنوان شد، قادر است دمای آب سرد ورودی به آب گرمکن خورشیدی را در هر موقع از سال محاسبه کند. در جدول ۳-۲ و نمودار ۳-۱ نتایج محاسبه شده توسط الگوریتم فوق و مقادیر آزمایشگاهی با هم مقایسه شده اند.

نمودار ۳-۱ مقایسه دمای آب سرد محاسبه شده توسط الگوریتم با مقادیر آزمایشگاهی





جدول ۳-۲ مقایسه مقادیر آزمایشگاهی و محاسبه شده برای دمای آب سرد

Month	T ambient [°C]	T water (calculated) [°C]	T water (measured) [°C]
1	-6, 7	3, 5	4, 0
2	-6, 1	2, 4	2, 0
3	-1, 0	2, 6	3, 0
4	6, 2	4, 4	4, 5
5	12, 3	6, 9	7, 5
6	17, 7	9, 0	8, 5
7	20, 6	10, 9	11, 0
8	19, 7	11, 9	12, 0
9	15, 5	11, 6	10, 0
10	9, 3	10, 2	9, 0
11	3, 3	8, 0	8, 0
12	-3, 5	5, 9	6, 0
Yearly average	7, 28	7, 30	7, 12

۳-۵-۲-۲ محاسبه دستی دمای آب سرد

با استفاده از یک پروفیل دمای سینوسی که بر حسب دماهای بیشینه و کمینه برای شرایط هوای خارج

بدست آمده می توان دمای خاک را بدست آورد. این معادله به صورت زیر می باشد:

$$T_s = \frac{T_{\min} + T_{\max}}{2} - \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} h \cos\left(2\pi \frac{n-2}{12}\right) \quad (3-37)$$



در معادله فوق h در نیم کره شمالی برابر ۱ و در نیم کره جنوبی برابر ۱- می باشد، n شماره ماه، $T_{\min}$ و $T_{\max}$ به ترتیب دمای کمینه و بیشینه سالانه می باشد و T_s دمای خاک می باشد.

۳-۵-۳ محاسبه بار حرارتی آب گرم مصرفی

محاسبه بار حرارتی برای مدل سازی آب گرمکن خورشیدی امری ضروری می باشد. محاسبه و تخمین آب گرم مصرفی از روی جداول هند بوک ASHREA، [45] صورت می گیرد. بار واقعی محاسبه شده برابر با انرژی مورد نیاز برای گرم کردن آب گرم مصرفی تا دمای مشخص شده می باشد. اگر V_l مقدار آب گرم مورد تقاضا باشد و T_h دمای آب گرم باشد، Q_{load} که همان میزان بار حرارتی است از رابطه زیر بدست می آید:

$$Q_{load} = C_p \rho V_l (T_h - T_c) \quad (3-38)$$

که C_p در معادله فوق ظرفیت ویژه آب می باشد و برابر: $C_p = 4,200 \text{ (J/Kg)} / ^\circ\text{C}$ است. ρ چگالی آب می باشد. T_c دمای آب سرد ورودی از شبکه شهری می باشد و Q_{load} به نسبت روزهایی از هفته که از سیستم استفاده می شود محاسبه می شود.

۳-۶ کلکتور های خورشیدی

کلکتور های خورشیدی توسط معادله بازده خود تعریف می شوند. سه مدل کلکتور خورشیدی در نرم افزار RETScreen موجود است:

۱- کلکتور صفحه تخت شیشه ای

۲- کلکتور لوله خلا

۳- کلکتور بدون شیشه



کلکتورهای شیشه ای . لوله خلا بر یک اساس کار می کنند و مستقل از وزش باد است. اما معادله بازده کلکتورهای بدون شیشه به وزش باد نیز وابسته می باشد. تاثیر زاویه تابش، تلفات حرارتی ناشی از بارش برف و کثیف شدن کلکتورها و تافات گرمایی در لوله و مخزن ذخیره به صورت جداگانه مورد محاسبه قرار می گیرند.

۳-۶-۱ کلکتورهای شیشه ای و لوله خلا

این دو مدل کلکتور توسط معادله زیر تعریف می شوند، [41]:

$$\dot{Q}_{coll} = F_R (\tau\alpha) G - F_R U_L \Delta T \quad (3-39)$$

در معادله فوق $\dot{Q}_{coll}$ انرژی است که توسط واحد سطح کلکتور در واحد زمان جذب شده است، F_R ضریب برداشت حرارت کلکتور، τ ضریب عبور انرژی سطح پوشاننده می باشد و معرف قسمتی از انرژی است که بدون جذب توسط ماده از آن عبور می کند، α ضریب جذب امواج با طول موج کوتاه توسط جاذب می باشد، G تابش کلی خورشیدی بر سطح کلکتور می باشد، U_L ضریب کلی تلفات حرارتی و ΔT اختلاف دمای ورودی و خروجی سیال عامل از کلکتور می باشد.

مقادیر $F_R (\tau\alpha)$ و $F_R U_L$ توسط کارخانه سازنده کلکتور تحت شرایط آزمایشگاهی تعیین می شود و در پایگاه داده نرم افزار RETScreen برای برندهای معتبر جهانی در دسترس می باشد. برای کلکتورهای شیشه ای و لوله خلا هر دو پارامتر $F_R (\tau\alpha)$ و $F_R U_L$ مستقل از وزش باد هستند. بر اساس تست ترمودینامیکی کلکتور ها مقادیر پارامترهای فوق برای کلکتورهای شیشه ای به قرار زیر می باشد، [46]:

$$F_R U_L = 4.90 (\text{W/m}^2) / ^\circ\text{C}$$

$$F_R (\tau\alpha) = 0.68$$



برای کلکتورهای لوله خلاء Fournelle نیز مقادیر این پارامترها به شرح زیر عنوان شده است، [47]:

$$F_R U_L = 0.70 (\text{W/m}^2) / ^\circ\text{C}$$

$$F_R (\tau\alpha) = 0.58$$

۳-۶-۲ کلکتورهای بدون شیشه

کلکتورهای بدون شیشه توسط معادله زیر تعریف می شوند، [48]:

$$\dot{Q}_{coll} = (F_R \alpha) \left(G + \left(\frac{\varepsilon}{\alpha} \right) L \right) - F_R U_L \Delta T \quad (40-3)$$

که در این معادله ε قابلیت انتشار امواج با طول موج بلند توسط جاذب می باشد.

پارامتر L به عنوان: نسبت تابش امواج با طول موج بلند آسمان، معرفی می شود و از رابطه زیر بدست می آید:

$$L = L_{sky} - \sigma (T_a - 273.2)^4 \quad (41-3)$$

که L_{sky} همان تابش امواج بلند آسمانی می باشد و قبلا راجع به آن بحث شده است و T_a دمای محیط بیرون بر حسب $^\circ\text{C}$ می باشد.

مقادیر $F_R \alpha$ و $F_R U_L$ تابعی از سرعت باد (V) بر روی کلکتور می باشند. این پارامترها نیز توسط شرکت سازنده تعیین می شوند. تابع سرعت باد بر روی کلکتورها معمولا ۲۰ درصد سرعت باد در جریان آزاد در نظر گرفته می شود و همچنین مقدار نسبت ε/α برابر ۰,۹۶ می باشد.



به علت در دسترس نبودن اندازه گیری عملکرد کلکتورهای بدون شیشه باید روابط جنرال زیر برای این نوع کلکتورها در نظر گرفته شود:

$$F_R \alpha = 0.85 - 0.04V \quad (42-3)$$

$$F_R U_L = 11.56 + 4.37V \quad (43-3)$$

مقادیر فوق توسط اندازه گیری و متوسط گیری بین عملکرد چندین کلکتور بدست آمده است، [49].

۳-۶-۳ هم ارزی بین کلکتورهای شیشه ای و بدون شیشه

همانطوری که در معادلات ۳-۳۹ و ۳-۴۰ برای کلکتورهای شیشه ای و بدون شیشه ملاحظه شد این دو کلکتور از نظر کارایی با هم فرق می کنند، هنگامی که از متد f -Chart و یا متد $utilisability$ برای مدل سازی استفاده می شود مشکلات نمایان می شوند زیرا هر دوی این متد ها به طور خاص برای کلکتورهای شیشه ای توسعه داده شده اند. رویه ای که در نرم افزار RETScreen در پیش گرفته شده بر این مشکل با بازنویسی معادله ۳-۴۰، غلبه می کند و این کار با تعریف پارامتر G_{eff} (تشنع مؤثر بر کلکتور) به صورت زیر انجام می پذیرد:

$$G_{eff} = G + \frac{\varepsilon}{\alpha} L \quad (44-3)$$

که در معادله اخیر G همان تابش کلی خورشیدی بر صفحه کلکتور می باشد α ضریب جذب امواج کوتاه توسط جاذب، ε ضریب انتشار امواج طول بلند و L نسبت تابش امواج بلند آسمانی می باشند. در الگوریتم نرم افزار RETScreen تابش مؤثر جای تابش را در تمام معادلات کلکتور، وقتی از یک کلکتور بدون شیشه استفاده می شود، می گیرد.



۳-۶-۴ بهینه سازی زاویه تابش

قسمتی از تابش خورشیدی که بر سطح کلکتور می‌تابد، ممکن است به بیرون منعکس شود، به ویژه در هنگامی که اشعه خورشید با زاویه تابش بالا به سطح کلکتور برخورد می‌کند. تا قبل از مرحله امکان سنجی انجام پروژه، لازم نیست به بررسی چنین پدیده ای با جزئیات کامل پرداخته شود در عوض برای دخیل کردن اثرات این پدیده، متوسط زاویه تابش بر سطح کلکتور از طریق شبیه سازی با تقریب ۵ درصد تخمین زده می‌شود، بنابراین پارامتر $F_R(\tau\alpha)$ در یک ضریب ثابت که برابر با 0,95 می‌باشد ضرب می‌شود.

۳-۶-۵ تلفات لوله کشی و مخزن ذخیره آب گرم

آبی که در لوله ها و تانک ذخیره در گردش است دمای بالایی دارد و هنگامی که لوله های ارتباطی و تانک ذخیره به طور کامل عایق کاری نشوند، گرما از طریق این اجزا به محیط بیرون انتقال پیدا می‌کند و به هدر می‌رود. برای سیستم های دارای تانک ذخیره و بدون تانک این تلفات به صورت جداگانه بررسی و محاسبه می‌شود. در سیستم بدون منبع ذخیره انرژی که توسط کلکتورهای خورشیدی تحویل داده می‌شود Q_{dld} ، برابر با انرژی دریافت شده توسط کلکتورها Q_{act} منهای تلفات لوله ها که با نماد f_{los} نشان داده می‌شود.

$$Q_{dld} = Q_{act} (1 - f_{los}) \quad (۴۵-۳)$$

برای یک سیستم با مخزن ذخیره شرایط کمی متفاوت خواهد بود. در برخی موارد برای جبران تلفات ناشی از لوله ها و مخزن، به عنوان مثال در متد f -Chart بار حرارتی $Q_{load,tot}$ برای جبران تلفات ذکر شده به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Q_{load,tot} = Q_{load} (1 + f_{los}) \quad (۴۶-۳)$$



۳-۶-۶ تلفات ناشی از بارش برف و کثیفی کلکتورها

برف و کثیفی بر میزان دریافت تشعشعات خورشیدی تاثیر می گذارد، بنابراین ترم $F_R(\tau\alpha)$ در ترم $(1 - f_{dirt})$ ضرب می شود که f_{dirt} نماد فاکتور تلفات ناشی از برف و کثیفی می باشد.

۳-۷-۷ متد f -Chart برای آب گرم مصرفی

عملکرد سیستم تولید آب گرم مصرفی به همراه مخزن ذخیره توسط متد f -Chart تخمین زده شده، هدف این روش این است که بتواند f را محاسبه کند. پارامتر f آن بخش از بار گرمایی است که برای تولید آب گرم نیاز می باشد و توسط کلکتورهای خورشیدی تامین می شود. وقتی که f محاسبه شد، مقدار انرژی تجدیدپذیر که جایگزین انرژی های معمول مانند گاز طبیعی، برای تولید آب گرم می شود، مشخص خواهد شد. این متد در فصل ۲۰ مرجع [41]، به صورت کامل شرح داده شده است، در اینجا به ارائه خلاصه ای از آن بسنده می شود.

این متد قادر است تا مقدار انرژی که توسط سیستم تولید آب گرم، در هر ماه تحویل داده می شود را محاسبه کند دو پارامتر بی بعد X و Y به صورت زیر تعریف می شوند:

$$X = \frac{A_c F'_R U_L (T_{ref} - T_a)}{L} \quad (3-47)$$

$$Y = \frac{A_c F'_R (\overline{\tau\alpha}) H_T N}{L} \quad (3-48)$$



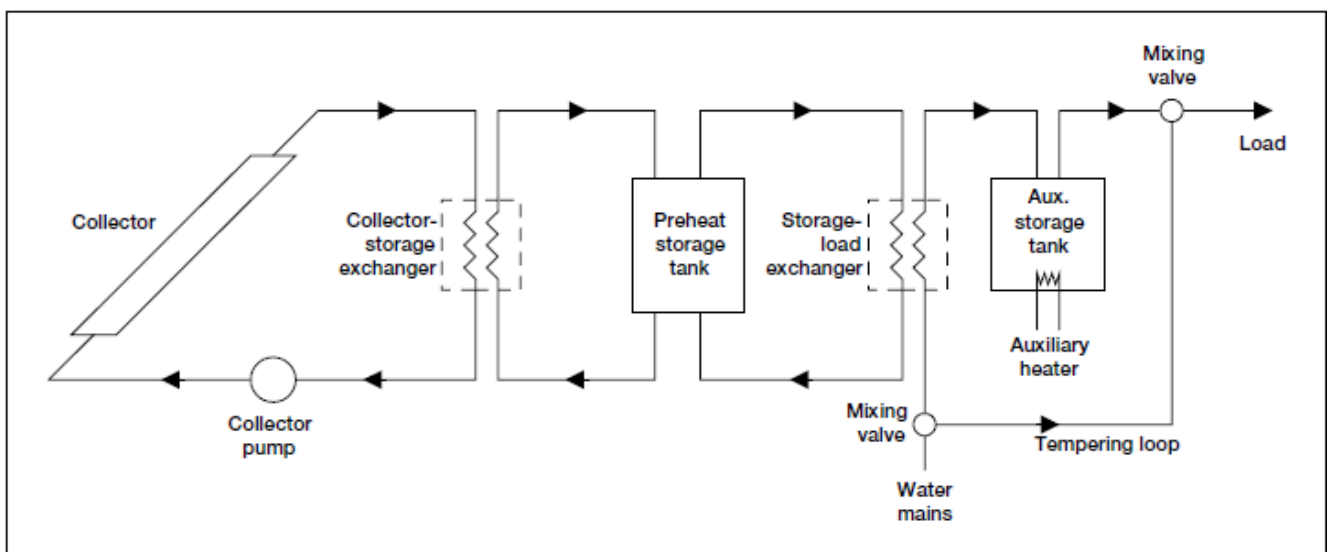
که در معادله اخیر A_c مساحت کلکتور، F'_R ضریب اصلاح شده برداشت گرما از کلکتور، U_L ضریب کلی تلفات حرارتی کلکتور، T_{ref} دمای مرجع تجربی و برابر 100°C است، T_a شرایط دمایی متوسط ماهانه، L کل بار گرمایشی ماهانه، $(\bar{\tau}\alpha)$ متوسط ماهانه ضریب جذب و پراکندگی، H_T متوسط ماهانه تابش خورشیدی روزانه بر واحد سطح کلکتور و N شماره روز در سال می باشد.

F'_R برای دخیل کردن تاثیر وجود مبدل حرارتی در سیستم آب گرمکن خورشیدی محاسبه می شود. نسبت F'_R/F_R تابعی از ε که همان ضریب کارایی مبدل حرارتی است، می باشد، بخش ۱۰-۲ مرجع: [41].

$$\frac{F'_R}{F_R} = \left[1 + \left(\frac{A_c F_R U_L}{(\dot{m} C_p)_c} \right) \left(\frac{(\dot{m} C_p)_c}{\varepsilon (\dot{m} C_p)_{\min}} - 1 \right) \right]^{-1} \quad (3-49)$$

که در معادله بالا $\dot{m}$ نرخ جریان و C_p حرارت ویژه می باشد. اندیس c به سمت کلکتور و اندیس $\min$ به حداقل ضرب دبی جرمی در گرمای ویژه برای مبدل حرارتی سمت کلکتور و مخزن اشاره دارد. شکل زیر.

شکل ۳-۳ دیاگرام سیستم تولید آب گرم مصرفی





اگر از مبدل گرمایی استفاده نشود F'_R برابر با F_R خواهد بود و اگر از مبدل گرمایی استفاده شود متد مذکور فرض را بر این می گیرد که نرخ جریان در هر دو سمت مبدل حرارتی یکسان است. گرمای ویژه آب برابر $4.2 \text{ (kJ/kg)/}^\circ\text{C}$ و گرمای ویژه گلیکول $3.85 \text{ (kJ/kg)/}^\circ\text{C}$ در نظر گرفته شده است. نهایتاً این متد نسبت $A_c/\dot{m}$ را برابر $140 \text{ m}^2 \text{ s/kg}$ در فرض می کند. که این مقدار از داده های تست ترمودینامیکی کلکتور بدست آمده است. (مساحت 2.97 m^2 ، دبی جریان 0.0214 kg/s ؛ [46]).

پارامتر بی بعد X باید برای سائز مخزن و دمای آب سرد ورودی تصحیح شود. متد f -Chart حجم مخزن را 75 لیتر برای یک متر مربع کلکتور در نظر می گیرد. برای ظرفیت هایی غیر از مقدار ذکر شده X در یک فاکتور تصحیح به صورت زیر ضرب می شود:

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{\text{Actual storage capacity}}{\text{Standard storage capacity}} \right)^{-0.25} \quad (50-3)$$

این معادله برای مقادیر نسبت ظرفیت مخزن واقعی به استاندارد، برابر 0.5 الی 4 صادق می باشد. نهایتاً برای دخیل کردن تاثیر نوسانات دمای آب ورودی از شبکه شهری T_m و کمترین دمای قابل قبول برای آب گرم خروجی از سیستم T_w که هر دوی این پارامترها بر عملکرد نهایی سیستم تاثیر خواهند داشت، X باید در ضریب تصحیح دیگری که به صورت زیر تعریف می شود، ضرب شود:

$$\frac{X_{cc}}{X} = \frac{11.6 + 1.18T_w + 3.86T_m - 2.32T_a}{100 - T_a} \quad (51-3)$$

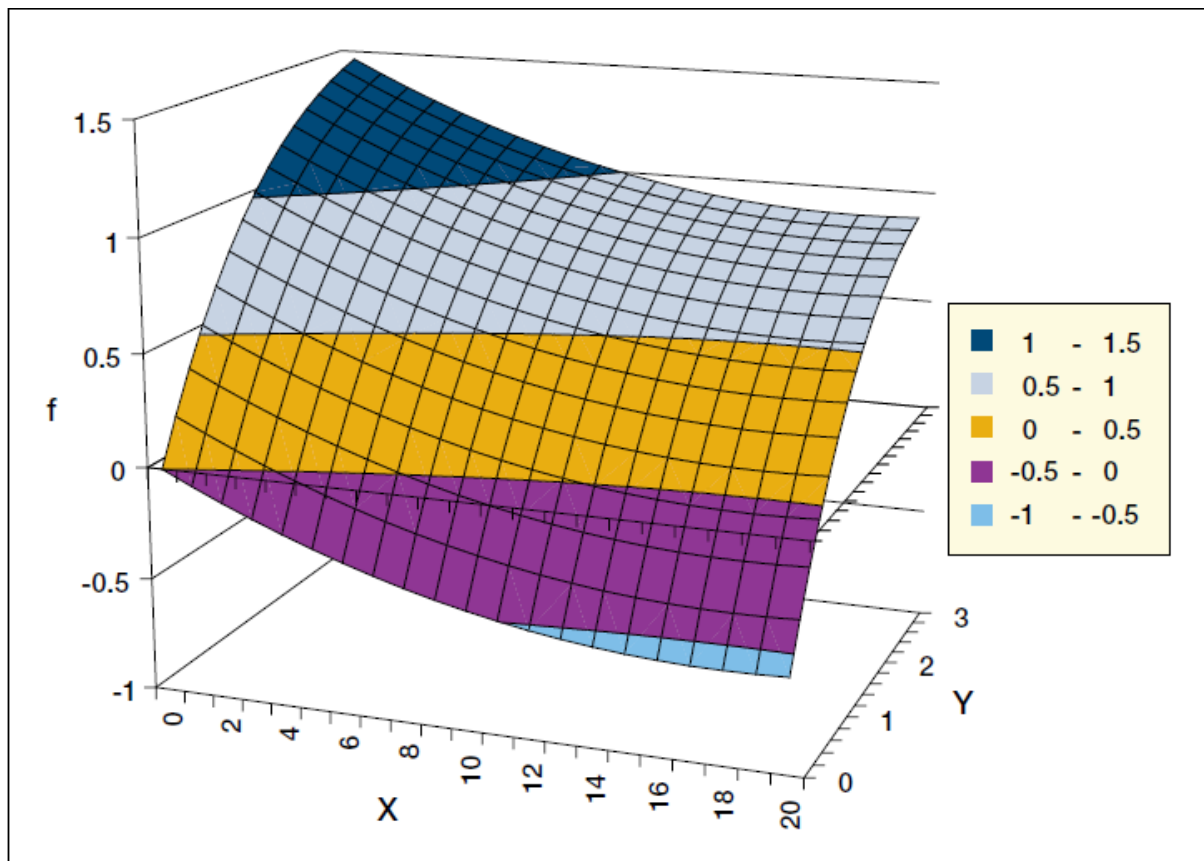
که T_a متوسط ماهانه دمای محیط خارج است.

تابع f که همان سهم انرژی خورشیدی در تامین بار حرارتی سیستم آب گرمکن خورشیدی می باشد، از طریق رابطه زیر که بر حسب X و Y می باشد، بدست می آید:



$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3 \quad (52-3)$$

در اینجا چندین محدودیت سخت گیرانه برای صحت نتایج حاصل از تابع f وجود دارد. در نمودار زیر نتایج محاسبه تابع f برای مقادیر مختلف X و Y نشان داده شده است و می توان در این نمودار از برون یابی بهره گرفت. اگر مقادیر تخمین زده شده توسط تابع f کمتر از صفر باشد همان عدد صفر در نظر گرفته می شود و هم چنین اگر مقادیر بیشتر از یک باشند همان ۱ در نظر گرفته می شود.

نمودار ۲-۳ نتایج متد f -Chart



۳-۸ متد Utilisability

عملکرد سیستم آبگرمکن خورشیدی بدون مخزن ذخیره توسط متد Utilisability تخمین زده می شود این نوع از سیستم ها که بدون مخزن ذخیره می باشند برای گرم کردن آب استخر های شنا طراحی شده اند. متد مذکور در فصل ۲ و ۲۱ از مرجع: [41] به صورت جزئی توضیح داده شده در اینجا به علت عدم کاربر در ساختمان مورد بررسی از ارائه جزئیات این متد خودداری می شود.



۳-۹ معادلات حاکم بر سیستم های بادی

۳-۹-۱ انرژی تصحیح نشده

انرژی تصحیح نشده برابر با انرژی تولید شده توسط یک یا چند توربین بادی در شرایط دما و فشار استاندارد می باشد، که باید این انرژی توسط شرایطی که در زیر توضیح داده می شود به انرژی تولید شده واقعی تبدیل شود.

۳-۹-۱-۱ معادله توزیع سرعت باد

در نرم افزار RETScreen با استفاده از معادله چگالی احتمال ویبول توزیع سرعت باد مشخص می شود. این توزیع اغلب در مهندسی انرژی باد استفاده می شود. در برخی موارد نیز مدل سازی از طریق معادله توزیع سرعت باد رایلی انجام می شود که حالت خاصی از معادله توزیع ویبول می باشد وقتی که ضریب شکل برابر ۲ است.

تابع چگالی احتمال ویبول احتمال رخ داد سرعت باد را در طول سال توسط معادله زیر بیان می کند. که در آن $p(x)$ احتمال رخ داد باد با سرعت x است:

$$p(x) = \left(\frac{k}{C}\right) \left(\frac{x}{C}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{C}\right)^k\right] \quad (۵۳-۳)$$

این بیان برای مقادیر $k > 1$ ، $x \geq 0$ و $C > 0$ صادق است. پارامتر k فاکتور شکل می باشد، که توسط کاربر به برنامه داده می شود و معمولاً بین ۱ الی ۳ تغییر می کند. مقادیر کم فاکتور شکل نشان دهنده



دامنه زیاد توزیع سرعت حول سرعت میانگین می باشد و مقادیر بالای فاکتور شکل نشان دهنده نزدیک بودن توزیع سرعت به سرعت میانگین می باشد. مقادیر پایین فاکتور شکل برای یک متوسط سرعت، به صورت معمول منجر به تولید انرژی بیشتری خواهد شد. پارامتر C معرف فاکتور مقیاس می باشد، که از طریق معادله زیر حساب می شود، [50]:

$$C = \frac{\bar{x}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (54-3)$$

که $\bar{x}$ متوسط سرعت باد و Γ تابع گاما می باشد.

در برخی موارد، مدل سازی توزیع سرعت باد به جای سرعت متوسط از طریق چگالی قدرت باد در سایت پروژه انجام می گیرد. ارتباط بین چگالی قدرت باد (WPD) و متوسط سرعت باد ($\bar{v}$) به صورت زیر می باشد:

$$WPD = \sum_{x=0}^{x=25} 0.5 \rho x^3 p(x) \quad (55-3)$$

$$\bar{v} = \sum_{x=0}^{x=25} x p(x) \quad (56-3)$$

در روابط بالا ρ چگالی هوا و $p(x)$ احتمال رخ داد سرعت باد x طی طول سال است.



۳-۹-۱-۲ منحنی انرژی توربین

داده های منحنی انرژی، مقدار انرژی سالانه تولید شده توسط توربین بادی را در دامنه سرعت متوسط مشخص می کند. در نرم افزار RETScreen منحنی انرژی، در دامنه بین ۳ الی ۱۵ متر بر ثانیه مشخص شده است.

منحنی انرژی از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$E_{\bar{v}} = 8760 \sum_{x=0}^{x=25} P_x p(x) \quad (57-3)$$

در معادله بالا $\bar{v}$ سرعت متوسط است ($\bar{v}=3,4,...,15 \text{ m/s}$)، P_x قدرت توربین در سرعت x است، $p(x)$ تابع چگالی احتمال ویبول است که برای سرعت متوسط $\bar{v}$ محاسبه شده است.

۳-۹-۱-۳ تولید انرژی تصحیح نشده

تولید انرژی تصحیح نشده، انرژی تولید شده توسط توربین ها در شرایط استاندارد دمایی و فشار اتمسفریک می باشد. محاسبات بر اساس سرعت متوسط در ارتفاع مرکز پروانه های توربین انجام می شوند. سرعت باد در ارتفاع مرکز پروانه ها معمولاً به صورت قابل ملاحظه ای بیش از سرعت باد اندازه گیری شده توسط باد سنج زمینی است. مدل مذکور با استفاده از معادله توانی زیر متوسط سرعت باد در ارتفاع مرکز پروانه ها را حساب می کند، [51]:

$$\frac{\bar{V}}{\bar{V}_0} = \left(\frac{H}{H_0} \right)^\alpha \quad (58-3)$$



که $\bar{V}$ سرعت متوسط در ارتفاع مرکز پره ها (H) می باشد، $\bar{V}_0$ سرعت متوسط در ارتفاع بادنچ (H_0) است و α توان برشی باد می باشد.

هنگامی که $\bar{V}$ حساب شد، تولید انرژی تصحیح نشده E_U به سادگی از درونیایی منحنی انرژی در مقدار $\bar{V}$ بدست می آید.

۳-۹-۲ انرژی خالص تولیدی

انرژی خالص تولید شده برابر با انرژی تولید شده توسط توربین بادی در یک سال بدون هیچ تلفاتی می باشد، و از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$E_G = E_U c_H c_T \quad (۵۹-۳)$$

که E_U تولید انرژی تصحیح نشده، و c_H و c_T ضریب سازگاری دما و فشار می باشند:

$$c_H = \frac{P}{P_0} \quad (۶۰-۳)$$

$$c_T = \frac{T_0}{T} \quad (۶۱-۳)$$

که P متوسط فشار اتمسفریک سالانه، P_0 فشار استاندارد و برابر 101.3 kPa ، T متوسط دمای مطلق سالانه و T_0 دمای استاندارد مطلق و برابر 288.1 K می باشد.

۳-۹-۳ انرژی تجدیدپذیر تحویل داده شده

انرژی تحویل داده شده با احتساب تلفات مختلف سیستم محاسبه می شود و قطعا کمتر از انرژی تصحیح نشده می باشد.

**۳-۹-۱ انرژی تجدیدپذیر جمع آوری شده**

انرژی تجدیدپذیر جمع آوری شده برابر با مقدار خالص انرژی تولیدی توسط توربین بادی می باشد:

$$E_C = E_G c_L \quad (۶۲-۳)$$

که E_G انرژی خالص تولیدی و c_L ضریب تلفات می باشد که داریم:

$$c_L = (1 - \lambda_a)(1 - \lambda_{s\&i})(1 - \lambda_d)(1 - \lambda_m) \quad (۶۳-۳)$$

که در معادله فوق λ_a تلفات ردیفی می باشد، $\lambda_{s\&i}$ تلفات کشیفی و یخ زدگی ایرفویل، λ_d تلفات زمان توقف، و λ_m تلفات متفرقه می باشد.

۳-۹-۲ نرخ جذب و تحویل انرژی تجدیدپذیر

مطابق با رابطه زیر انرژی باد تحویل داده شده E_D از رابطه زیر بدست می آید:

$$E_D = E_C \mu \quad (۶۴-۳)$$

که در معادله اخیر E_C انرژی تجدیدپذیر جمع آوری شده می باشد که در قسمت قبل توضیح داده شد، و μ نرخ جذب انرژی باد می باشد.

نرخ جذب انرژی باد درصدی از انرژی جمع آوری شده است، که توسط شبکه محلی یا یک سیستم جدا از شبکه می تواند جذب شود، بدیهی است اگر سیستم تولید انرژی به شبکه سراسری متصل باشد این درصد برابر ۱۰۰ خواهد بود.



برای شبکه کوچک محلی و سیستم های جدا از شبکه، مدل مذکور به محاسبه نرخ انرژی باد جذب شده پیشنهادی می پردازد. این کار از طریق درونیابی داده های جدول ۳-۳ و تعریف پارامتر سطح نفوذ باد (WPL)، به صورت زیر انجام می گیرد:

$$WPL = \frac{WPC}{PL} 100 \quad (3-65)$$

که WPC ظرفیت نیروگاه بادی و PL پیک بار مصرفی می باشد. WPC توسط ضرب تعداد توربین های بادی در ظرفیت نامی آنها بدست می آید.

جدول ۳-۳ نرخ جذب انرژی باد پیشنهادی

Average Wind Speed (m/s)	Wind Penetration Level (WPL)			
	0%	10%	20%	30%
0	100%	100%	100%	100%
4, 9	100%	98%	96%	93%
5, 6	100%	98%	94%	90%
6, 3	100%	98%	93%	87%
6, 9	100%	97%	92%	84%
8, 3	100%	96%	90%	82%

همانطوری که در جدول ۳-۳ مشخص است، نرخ پیشنهادی برای جذب انرژی باد با متغیر های سرعت متوسط باد و سطح نفوذ باد تغییر می کند. باید توجه داشت که مقادیر این جدول از شبیه سازی مقدار انرژی تحویل گرفته شده از نیروگاه بادی که در جایی دور از شبکه احداث شده بدست آمده اند. این شبیه سازی ترکیبی از رژیم جریان باد، پروفیل بار و منحنی عملکرد لوازم برقی، می باشد. برای جزئیات بیشتر به مرجع: [6]، مراجعه شود.



این مدل فقط برای مقادیر سطح نفوذ باد کمتر از ۳۰ درصد صادق می باشد و برای مقادیر سرعت باد بیشتر از 8,3 متر بر ثانیه و سطح نفوذ باد بیشتر از ۳۰ درصد هیچ کاربردی ندارد.

۳-۳-۹-۳ مازاد انرژی تجدیدپذیر در دسترس

مازاد انرژی تجدیدپذیر در دسترس که با نماد E_X نشان داده می شود، اختلاف بین انرژی باد جمع آوری شده E_C با انرژی باد تحویل داده شده E_D می باشد:

$$E_X = E_C - E_D \quad (۶۶-۳)$$

۴-۳-۹-۳ عملکرد خالص

عملکرد خالص (Y) توسط تقسیم انرژی جمع آوری شده، E_C ، بر مساحت جاروب شده توسط توربین بدست می آید:

$$Y = \frac{E_C}{N A} \quad (۶۷-۳)$$

N تعداد توربین ها و A مساحت جاروب شده توسط توربین می باشد.

۵-۳-۹-۳ فاکتور ظرفیت نیروگاه بادی

فاکتور ظرفیت نیروگاه بادی (PCF) معرف نسبت متوسط تولید قدرت توسط نیروگاه به ظرفیت اسمی نیروگاه در یک سال است. و از رابطه زیر پیروی می کند، [52]:

$$PCF = \left(\frac{E_C}{WPC h_Y} \right) 100 \quad (۶۸-۳)$$



که در رابطه اخیر E_C انرژی تجدیدپذیر جمع آوری شده بر حسب kWh ، WPC ظرفیت نیروگاه بادی بر حسب kW ، و h_Y ساعات کاری در سال می باشد.

در این فصل به شرح کامل روابط استحصال انرژی تجدیدپذیر با نگاه ویژه بر سیستم های فتوولتائیک، آب گرمکن خورشیدی و توربین های بادی، پرداخته شد. در فصل آینده با استفاده از این روابط و نرم افزار RETScreen برای سیستم های انرژی پاک و همچنین نرم افزار Carrier به منظور محاسبه بار های حرارتی و سائز زنی سیستم های تاسیساتی ساختمان، به ارائه نتایج حاصله پرداخته خواهد شد.



فصل چهارم: ارائه نتایج



۴-۱ مقدمه

در این فصل ساختمان مجموعه ورزشی شرکت گاز استان خراسان جنوبی که در شهر بیرجند واقع شده از نظر مصرف انرژی و راه کارهای کاهش مصرف انرژی و رسیدن به ساختمانی با مصرف انرژی خالص صفر بررسی خواهد شد. در ابتدا شرایط اقلیمی و آب هوایی شهر بیرجند معرفی می شود.

۴-۲ شرایط آب و هوایی شهر بیرجند

۴-۲-۱ معرفی اقلیم

شهرستان بیرجند با ۱۴۰ کیلومتر مرز مشترک با کشور افغانستان در جنوب استان خراسان واقع شده است. شهرستان بیرجند از شمال به شهرستان قاینات، از شرق به کشور افغانستان، از جنوب به شهرستان نهبندان و استان کرمان و از مغرب به شهرستان های فردوس و طبس محدود است. وسعت این شهرستان ۳۴۸۹۳ کیلومترمربع و مرکز آن شهر بیرجند می باشد که در ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه عرض جغرافیایی و در ارتفاع ۱۴۹۱ متری از سطح دریا قرار گرفته است . فاصله شهر بیرجند تا مرکز استان خراسان ۴۸۱ کیلومتر، تا مرکز استان سیستان و بلوچستان ۴۵۸ کیلومتر و تا مرکز استان کرمان ۵۸۶ کیلومتر می باشد. بیرجند شهرستانی کوهستانی است و در آن کوهها و دره های عمیق و حاصلخیزی وجود دارد کوه های عمده شهرستان عبارتند از: رشته کوه باقران در جنوب کوه شاه در غرب (حاشیه کویر) ، رشته کوه مؤمن آباد. آب و هوای این شهرستان بیابانی و نیمه بیابانی است. در شهرستان بیرجند رودخانه عمده ای وجود ندارد و رودها که به «کال» معروفند، عموماً فصلی و مسیل می باشند.



آب و هوای بیرجند نیمه بیابانی بوده و دارای زمستانهای سرد و تابستانهای خشک و گرم است. میزان بارش در این شهر با توجه به آب و هوای آن، کم بوده و بیشترین میزان آن، از آذر تا اردیبهشت رخ می‌دهد که در فصل زمستان اغلب به صورت بارش برف است. ایستگاه هواشناسی بیرجند در سال ۱۳۳۴ خورشیدی (۱۹۵۵ میلادی) راه اندازی گردید. بر اساس اطلاعات این ایستگاه، میانگین سالیانه بیشترین و کمترین درجه حرارت این شهر برابر با ۲۴ و ۸ درجه سانتیگراد است. کمترین دمای ثبت شده در این شهر در ۱۶ ژانویه ۱۹۹۳ و برابر با ۵/۲۱ - درجه سانتیگراد و بیشترین آن در تاریخ ۱۱ جولای ۱۹۶۷ و برابر با ۴۴ درجه سانتیگراد بوده است. شهر بیرجند، به طور میانگین در ۷۶ روز از سال دارای دمای زیر صفر درجه و در ۱۴۲ روز از سال دارای دمای بالای ۳۰ درجه سانتیگراد است. مجموع بارش سالیانه در شهر بیرجند به طور میانگین برابر با ۱۷۱ میلی متر در سال است. بیشترین میزان بارش در یک روز، در دوم ماه می ۱۹۵۷ رخ داد و ۵۲ میلیمتر باران در این شهر بارید. همچنین میانگین سالیانه رطوبت نسبی در این شهر، ۳۶٪ است و به طور میانگین ۳۰ روز از سال، آسمان این شهر کاملاً ابری است. هوای بیرجند به طور میانگین در ۱۲ روز از سال، با طوفان و گرد و خاک شدید همراه است. جدول ۴-۱ مشخصات اقلیمی و شرایط طرح خارج را برای محاسبه بارهای حرارتی و برودتی نشان می‌دهد:

جدول ۴-۱ مشخصات اقلیمی و شرایط طراحی بیرجند

	Unit	Climate data location
Latitude	°N	32.9
Longitude	°E	59.2
Elevation	m	1,491
Heating design temperature	°C	-5.2
Cooling design temperature	°C	36.6
Earth temperature amplitude	°C	25.7



فصل چهارم: ارائه نتایج

در جدول ۲-۴ شرایط آب و هوایی، رطوبت نسبی، سرعت باد، دمای زمین، فشار اتمسفر، روز درجه گرمایش و روز درجه گرمایش را در ماه های مختلف سال و هم چنین میانگین سالانه را نشان می دهد:

جدول ۲-۴ داده های آب و هوایی برای ماه های سال و متوسط سالانه شهر بیرجند

Month	Air temperature	Relative humidity	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	4.3	58.1	85.6	4.0	3.8	425	0
February	6.4	49.6	85.2	4.7	6.4	325	0
March	11.6	43.6	84.9	5.4	12.7	198	50
April	17.1	34.8	84.5	5.8	21.3	27	213
May	22.2	25.3	84.2	6.1	27.7	0	378
June	26.5	20.2	83.7	7.2	31.7	0	495
July	27.7	21.9	83.6	8.7	32.7	0	549
August	25.7	20.0	83.8	7.6	30.5	0	487
September	21.9	20.3	84.4	5.6	25.6	0	357
October	17.0	27.8	85.0	4.3	18.9	31	217
November	10.9	37.4	85.5	3.6	12.5	213	27
December	6.1	52.2	85.6	3.7	6.1	369	0
Annual	16.5	34.2	84.7	5.6	19.2	1,588	2,772

۲-۲-۴ تابش خورشیدی

انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع تولید انرژی حرارتی توسط کلکتور خورشیدی و هم چنین انرژی الکتریکی توسط سلول های الکترو ولتایی که در اکثر مناطق کشور خصوصا مناطق شرقی و جنوب شرقی در دسترس است، می باشد که روابط چگونگی استحصال انرژی توسط آنها در فصل قبل ارائه شد. جدول ۳-۴ تابش خورشیدی بر واحد سطح در زوایای ۹۰ درجه و ۳۳ درجه نسبت به افق و رو به آسمان جنوبی را نشان می دهد:



فصل چهارم: ارائه نتایج

جدول ۳-۴ تابش خورشیدی روزانه بر واحد سطح با زوایای ۹۰ و ۳۳ نسبت به افق

Month	Daily solar radiation - horizontal	Daily solar radiation - tilted
	kWh/m ² /d	kWh/m ² /d
January	2.75	3.96
February	3.56	4.49
March	4.47	5.03
April	5.56	5.59
May	6.78	6.22
June	7.64	6.67
July	7.72	6.87
August	7.08	6.88
September	6.14	6.78
October	4.72	6.04
November	3.25	4.66
December	2.67	4.05
Annual	5.20	5.61

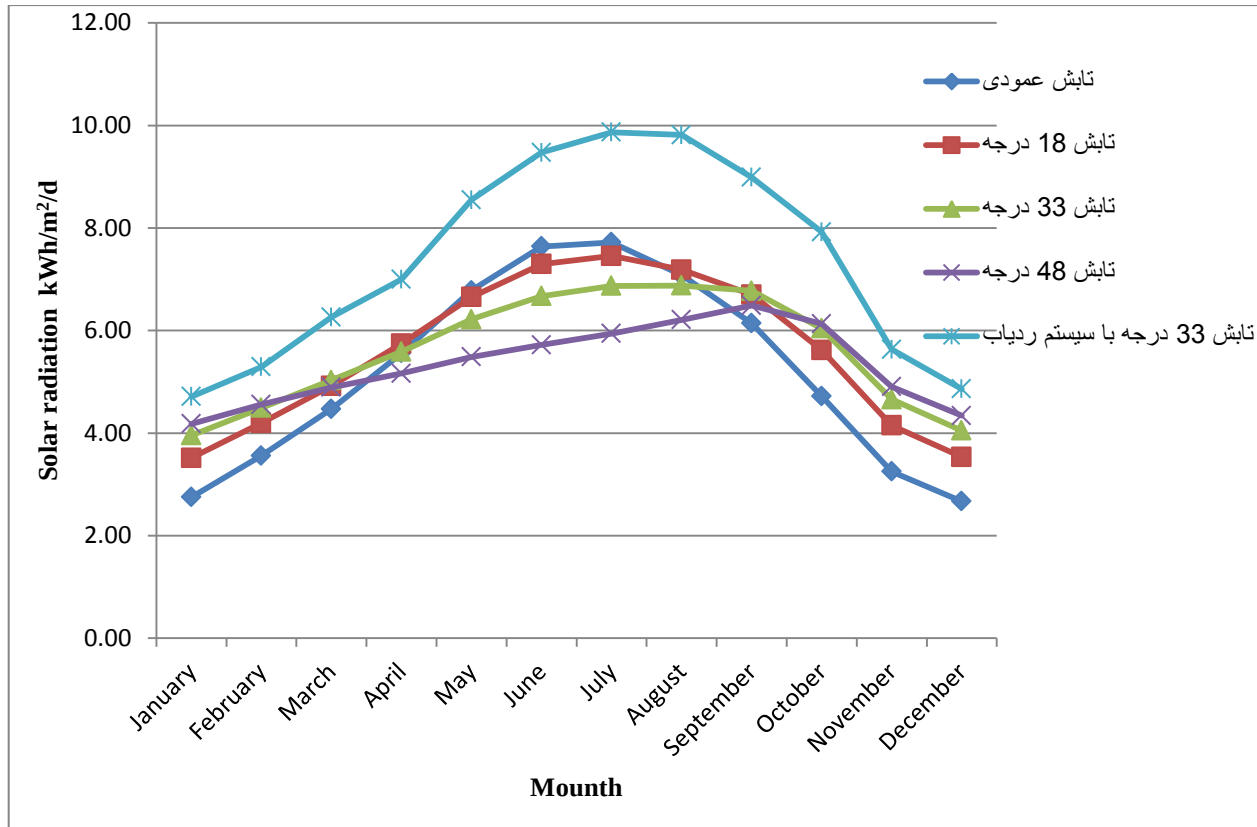
تابش خورشیدی برای شهر بیرجند را در ماه های مختلف سال برای زوایای مختلف نصب پنل های خورشیدی نشان می دهد هم چنین شدت تابش دریافتی در صورت نصب ردیاب خورشیدی نیز مشاهده می

شود:



فصل چهارم: ارائه نتایج

نمودار ۱-۴ شدت تابش خورشیدی برای ماه های سال در زوایای مختلف نسبت به افق



با توجه به نمودار ۱-۴ بهترین و بهینه ترین زاویه نصب پنل خورشیدی بدون در نظر گرفتن سیستم ردیاب برای زاویه ۳۳ درجه که برابر عرض جغرافیایی محل اندازه گیری می باشد، حاصل شده است.



۴-۳ معرفی ساختمان مجموعه ورزشی بیرجند

مجموعه ورزشی شرکت گاز استان خراسان جنوبی در شهر بیرجند واقع شده است، پلان ساختمان به صورت چند ضلعی منتظم شکل می باشد. در مجموعه ورزشی یک سوله به ارتفاع 14 متر وجود دارد که زیر بنای کل آن 1844 متر مربع بوده و شامل یک ساختمان 2 طبقه و یک سالن ورزشی می باشد، کاربری ساختمانها اداری و ورزشی می باشد و حداکثر 150 نفر در آنها مستقر می باشند. نمای ساختمان ترکیبی از سنگ و آلومینیوم می باشد و ضخامت دیوارهای بیرونی آن 35 cm می باشد. سیستم گرمایش آن توسط موتورخانه مرکزی و یک دستگاه هوا ساز برای سالن ورزشهای تویی و ۱۹ عدد فن کوئل برای ساختمان اداری تامین می شود و سرمایش نیز توسط یک عدد چیلر جذبی به ظرفیت ۵۰ تن تبرید تامین میشود.

میزان کل برق مصرفی ساختمان بر طبق محاسبه از روی ظرفیت تجهیزات الکتریکی برابر 136502 kWh/year و میزان گاز مصرفی آن به دلیل نبودن قبض گاز برای ۶ ماه از سال به طور دقیق مشخص نیست اما با توجه به الگوی مصرف ساختمان و تجهیزات انرژی بر آن مقدار 58601 m^3 برای مصرف گاز ساختمان در نظر گرفته شده است. با توجه به مساحت زیر بنای ساختمان نسبت انرژی الکتریکی سالیانه 74 kWh/m^2 برای برق مصرفی و مقدار $31 \text{ m}^3/\text{m}^2$ که اگر این مقدار را به واحد انرژی یعنی کیلووات ساعت تبدیل کنیم (با ضریب تبدیل 9.5 kWh برای یک متر مکعب گاز طبیعی) برابر 295 kWh/m^2 برای مصرف گاز طبیعی ساختمان می باشد. سرمایش گرمایش و آب گرم مصرفی ساختمان توسط گاز طبیعی انجام می شود و از انرژی الکتریکی برای مصارف روشنایی و تجهیزاتی استفاده می شود. پوسته خارجی ساختمان الزامات مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان را که در مورد صرفه جویی مصرف انرژی است را رعایت کرده و دیوار های خارجی دارای عایق حرارتی می باشند و پنجره های آن دو جداره از جنس UPVC است، که خود باعث جلوگیری از هدر رفت مقادیر زیادی از انرژی می شود.



فصل چهارم: ارائه نتایج

در جدول ۴-۴ مصرف سالیانه انرژی ساختمان ملاحظه می شود:

جدول ۴-۴ میزان مصرف برق و گاز مجموعه ورزشی

میزان مصرف		حامل انرژی
136502 kWh		برق
556709 kWh	58601 m ³	گاز

یکی از مهمترین پارامترها در میزان مصرف انرژی تعیین ضریب انتقال حرارت پوسته خارجی ساختمان مورد بررسی می باشد. برای تعیین چنین ضریبی باید در ابتدا به بررسی اجزای مختلف پوسته خارجی و ضرایب انتقال حرارت هر بخش پرداخت. مشخصات ضرایب انتقال حرارت اجزای مختلف پوسته خارجی مجموعه ورزشی شرکت گاز شهرستان بیرجند را میتوان در جدول ۴-۵ مشاهده نمود:

جدول ۴-۵ ضریب انتقال حرارت اجزای مختلف پوسته خارجی مجموعه ورزشی بیرجند

ضرایب انتقال حرارت W/m^2k		تیپ جداره	عنوان
مقدار مجاز	مقدار واقعی		
1,34	0,8	W-a1	دیوار بیرونی
0,67	0,5	R-a1	بام
4,14	2,5	Win-a1	پنجره
1,95	1,2	F-a1	کف
4,26	3,2	M-D-a1	درب

همچنین در ادامه میتوان مساحت هر بخش از پوسته خارجی این ساختمان را در

جدول ۴-۶ مشاهده نمود:



فصل چهارم: ارائه نتایج

جدول ۴-۶ مشخصات هندسی اجزای پوسته خارجی مجموعه ورزشی بیرجند

عنوان	مساحت (m^2)
بام	۱۵۲۸
دیوارهای خارجی	۱۹۱۶
پنجره ها	۱۱۳
درب ها	۱۲
کف	۱۵۱۶

در این ساختمان، از برق جهت تامین روشنایی و انرژی مصرفی تجهیزات استفاده می شود و از گاز طبیعی جهت تامین سرمایش، گرمایش و آب گرم مصرفی استفاده می شود. میزان مصرف انرژی در بخشهای مختلف محاسبه گردیده و در جدول ۴-۸ ارائه شده است و تجهیزات موجود در ساختمان نیز در جدول ۴-۷ ملاحظه می شود:



فصل چهارم: ارائه نتایج

جدول ۴-۷ تجهیزات برقی ساختمان

تجهیزات روشنایی			ردیف
نوع	تعداد	مصرف به وات	۱
فلورسنت	40	1600	۲
فلورسنت	260	5200	۳
فلورسنت	30	750	۴
فلورسنت	65	845	۵
بخار هلیوم	35	14000	۶
LED	4	80	۷
تجهیزات الکتریکی			
آب سرد کن	2	1060	۸
یخچال فریزر	2	1340	۹
کامپیوتر	1	400	۱۰
پرینتر	1	660	۱۱
کفشور	1	1550	۱۲
دست خشک کن	5	9000	۱۳
دستگاه بدن سازی	۵	1060	۱۴
تجهیزات موتورخانه			
موتور پمپ سه فاز	4	30000	۱۵
موتور گیربکس تک فاز	2	2400	۱۶
موتور پمپ سه فاز	4	12000	۱۷
موتور پمپ سه فاز	2	3000	۱۸
موتور پمپ سه فاز	6	4500	۱۹
موتور پمپ سه فاز	2	11000	۲۰
موتور پمپ تک فاز	2	1100	۲۱
موتور پمپ تک فاز	2	740	۲۲
چیلر جذبی	1	6400	۲۳
مشعل دیگ	2	740	۲۴
فن کویل	۱۹	۲۸۶۹	۲۵



جدول ۴-۸ میزان مصرف انرژی در بخشهای مختلف مجموعه ورزشی

برق <i>kWh/year</i>			گاز <i>m³/year</i>		
تجهیزات		روشنایی	سرمایش	گرمایش و آبگرم	
مکانیکی	اداری				
74052	5417	۵۷۰۲۶	۱۷۹۰۰	۴۰۷۰۱	انرژی مصرفی
54	4	42	30	70	درصد از کل

۴-۴ ارائه راهکارهای کاهش مصرف انرژی

در این قسمت به ارائه راهکارهای قابل اجرا در ساختمان مجموعه ورزشی بیرجند پرداخته شده است و میزان صرفه جویی در مصرف انرژی برای هر کدام به طور جدا گانه بررسی می شود و هم چنین قیمت تمام شده آن راهکارها بر حسب قیمت های داخلی و بین المللی بررسی می شود. از جمله راهکار هایی که می توان در این ساختمان به کار برد تا مصرف انرژی کاهش یابد میتوان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. تنظیم دمای داخل فضاها برای تابستان
۲. تنظیم دمای داخل فضاها برای زمستان
۳. تنظیم و سرویس مشعل ها
۴. پرده هوایی
۵. نصب سیستم آبگرمکن خورشیدی
۶. تعویض بالاست القایی با الکترونیکی
۷. نصب سایه بان برای پنجره ها
۸. نصب سلول های فتوولتاییک
۹. نصب سیستم کنترل هوشمند موتور خانه



۱۰. نصب توربین بادی

در جدول ۹-۴ اقدامات بالا به تفکیک هزینه هر اقدام و میزان صرفه جویی انرژی ارائه شده است:

جدول ۹-۴ اقدامات صورت گرفته جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان مجموعه ورزشی بیرجند

نوع فعالیت	میزان هزینه اجرا (هزار ریال)	درصد صرفه جویی نسبت به مصرف هر بخش	میزان صرفه جویی انرژی $kwh/year$	دوره بازگشت
تنظیم دمای داخل فضاها برای تابستان	-	5	۹۷۰۴	-
تنظیم دمای داخل فضاها برای زمستان	-	8	۳۸۸۵۲	-
تنظیم و سرویس مشعل ها	-	۲	8995	-
پرده هوایی	۱۵۰۰۰	-	-	-
آبگرمکن خورشیدی	162000	۶۰	52582	12,4
تعویض بالاست القایی با الکترونیکی	7200	۲۰	11405	0,5
نصب سایه بان برای پنجره ها	7500	۳	5934	7
نصب سلول های الکترو ولتایی	2700000	91	124600	4,5
نصب سیستم کنترل هوشمند موتور خانه	۱۰۰۰۰	20	110522	0,7
نصب توربین بادی	۱۰۰۰۰۰	۱۴	19000	3

با توجه به جدول ۹-۴ جدول ۱۰-۴ می توان میزان صرفه جویی را در جدول ۱۰-۴ خلاصه نمود:

جدول ۱۰-۴ میزان صرفه جویی در مصرف حامل های انرژی در ساختمان مجموعه ورزشی بیرجند

میزان سرمایه گذاری (هزار ریال)	میزان صرفه جویی		دوره بازگشت سرمایه (سال)
	گاز طبیعی $m^3/year$	برق $kWh/year$	
3901700	23037	155005	11



با توجه به مصرف قبل و بعد از ارائه راهکار های صرفه جویی درصد کاهش مصرف در ساختمان به قرار زیر می باشد:

صرفه جویی در مصرف گاز طبیعی : ۴۰ درصد

صرفه جویی در مصرف برق: 114 درصد

۴-۵ بررسی جز به جز راهکار های ارائه شده

ممیزی انرژی ساختمان ها محدود وسیعی از بررسی میان گذر تاسیسات تا تجزیه و تحلیل تفصیلی و شبیه سازی دینامیکی ساختمان با تمامی اجزا آن را شامل میشود و به عبارت ساده تر شامل یک سری اقدامات و فعالیت هایی است که در نهایت منتج به کاهش مصرف انرژی می شود. به طور کلی می توان چهار روش ممیزی را در ساختمان بیان کرد که عبارتند از :

۱- ممیزی انرژی میان گذر

۲- ممیزی انرژی بر اساس تجزیه و تحلیل هزینه های بهره برداری

۳- ممیزی انرژی استاندارد

۴- ممیزی انرژی تفصیلی

آنچه در این گزارش ارائه می شود، ممیزی انرژی به روش تفصیلی می باشد. در این روش کنترل ضوابط و مشخصات یک ساختمان به روش کارکردی انجام می پذیرد، بعلاوه سعی بر این است تا با استفاده از ابزار لازم و شبیه سازی مصرف انرژی ساختمان با کمک نرم افزار Carrier و هم چنین تحلیل استفاده از انرژی های تجدید پذیر با استفاده از نرم افزار Retscreen که دولت کانادا در اختیار محققین و مهندسين قرار داده، ساختمان ورزشی بیرجند از نظر رسیدن به یک ساختمان با مصرف انرژی خالص صفر بررسی شود. در ابتدا به بررسی جز به جز راهکارهایی که در قسمت قبل عنوان شد پرداخته می شود و سپس به بررسی فنی و اقتصادی نزدیک شدن به شرایط یک ساختمان انرژی صفر پرداخته خواهد شد.



۴-۵-۱ راه کارهای معماری

معماری یک ساختمان نقش مهمی در مصرف انرژی آن بازی می کند. جهت گیری مناسب ساختمان نسبت به باد های غالب منطقه، ایجاد سیستم های گرمایش خورشیدی غیر فعال مانند فضای آفتاب گیر به منظور گرم کردن هوا و انتقال آن به سایر قسمت ها یا ایجاد جرم حرارتی در ساختمان، استفاده از روشهای نوین طراحی به منظور حداکثر استفاده از نور خورشید برای روشنایی فضا ها، ایجاد سایه مناسب با استفاده از سایه بان های ثابت و یا مکانیکی یا با استفاده از پوشش گیاهی و مهمتر از همه عایق کاری مناسب جدار های بیرونی و قسمت هایی که مجاور فضای کنترل نشده می باشد، همه جزئی از راهکارهای معماری جهت کاهش هر چه بیشتر مصرف انرژی می باشد. در ساختمان مجموعه ورزشی بیرجند ساختمان از نظر عایق کاری جدار های خارجی شرایط مطلوبی دارد و جدار های نور گذر ساختمان نیز از نوع UPVC دوجداره می باشد، با این تفاسیر تنها راه کار معماری که می توان مورد بررسی قرار داد نقش سایه بان برای جدار های نور گذر ساختمان است.

۴-۵-۱-۱ سایه بان

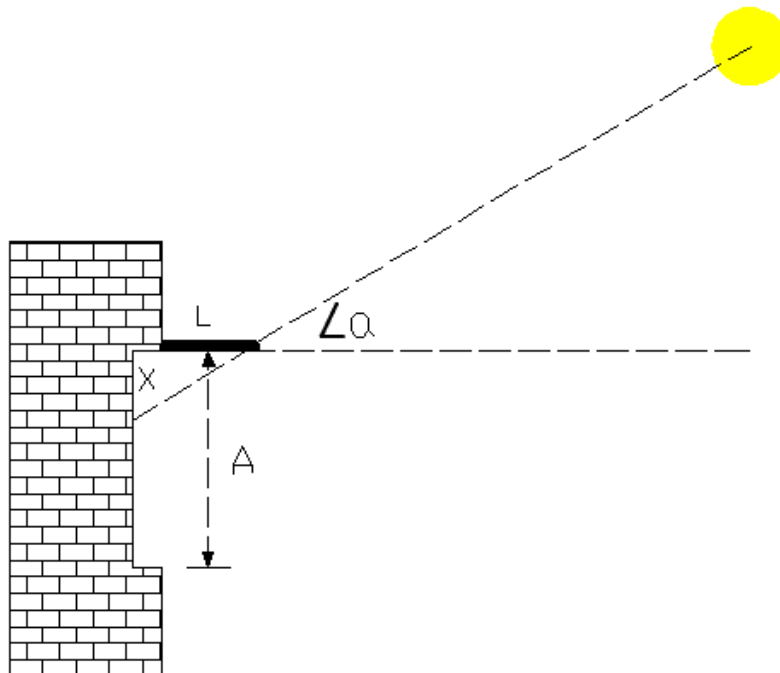
سایه بان از اجزای مهم پوسته خارجی بشمار می آید که نقش مهمی در میزان بار سرمایشی و شرایط آسایشی داخل و کاهش مصرف انرژی ایفا می کند. در مناطق گرم و با تابش آفتاب زیاد؛ مانند مناطق شرقی کشور استفاده از سایه بان ضروری بوده و طراحی آن بایستی بصورت مناسب و دقیق صورت گیرد. طراحی مناسب سایه بان بایستی با توجه به نوع اقلیم منطقه، مطالعات خورشیدی صورت گرفته، موقعیت جغرافیایی، میزان کسب حرارت خورشیدی، جهت گیری پنجره و ابعاد پنجره انجام شود. سایه بان مناسب سایه بانی است که در زمان تعیین شده سایه مناسبی بر روی پنجره ایجاد نماید و هم چنین در فصول سرد اجازه ورود تابش خورشیدی به داخل ساختمان به منظور بهره مندی از گرمای خورشیدی را بدهد. در



مجموعه ورزشی نیز نصب سایه بان برای پنجره ها توصیه می شود تا از بار سرمایش ساختمان در فصول گرم بکاهد و هم چنین مانع گرمای زمستانی تابش خورشیدی نشود.

۴-۵-۱-۱ بررسی عرض سایه بان بهینه برای پنجره های رو به آسمان جنوب

برای اینکه بتوان در فصل گرم تا حد ممکن از تابش خورشید بر روی جدار های نور گذر ساختمان کاهید باید یک عرض بهینه را برای سایه بانی که به صورت افقی بالای پنجره نصب می شود یافت. برای این کار ابتدا باید روزی را که خورشید در آسمان بیشترین ارتفاع را در آسمان دارد در نظر گرفت و سپس برای عرض جغرافیایی آن منطقه خاص روابط محاسبه ای برای پیدا کردن بیشترین و کمترین زاویه در آسمان را به کار برد تا زاویه ای بهینه برای محاسبه عرض سایه بان بدست آورد. (شکل ۴-۱)



شکل ۴-۱ شماتیک زاویه تابش خورشید بر پنجره ساختمان



برای پیدا کردن زاویه α باید عواملی که این زاویه به آن بستگی دارد شناسایی شوند:

۱- عرض جغرافیایی محل که برای شهر بیرجند این عدد 32,9 درجه می باشد.

۲- فصل یا ماهی که در آن هستیم یا به عبارت دقیق تر عدد روزی که مورد بررسی ما می باشد.

۳- ساعت محلی که در مورد شهر بیرجند همان ساعت رسمی کشور در نظر گرفته می شود.

قبل از بررسی موارد فوق به چند سوال باید پاسخ داده شود:

۱- بدست آوردن δ : زاویه بین شعاع خورشید با صفحه استوا که در فصل ۳ ارائه شد.

۲- زاویه ساعتی خورشید ω : زاویه ساعتی خورشید به این صورت تعریف می شود که: زاویه ساعتی

خورشید در ۶ صبح در ۹۰ - درجه و در ۱۲ ظهر صفر درجه و در ۶ غروب ۹۰ درجه می باشد. که از رابطه

زیر به دست می آید:

$$\omega = 15 \times (12 - \text{Hour}) \quad (1-4)$$

با توجه به مطالب گفته شده و با استفاده از رابطه زیر زاویه α بدست می آید:

$$\alpha = \sin^{-1} \left[\sin(23.5 \times \sin\left(\frac{n \times 360}{365}\right) \times \sin(\phi) + \cos(23.5 \times \sin\left(\frac{n \times 360}{365}\right) \times \cos(\omega) \times \cos(\phi)) \right] \quad (2-4)$$

که:

n شماره روز در سال است.

ω زاویه ساعت خورشیدی می باشد.

ϕ عرض جغرافیایی محل مورد محاسبه است.

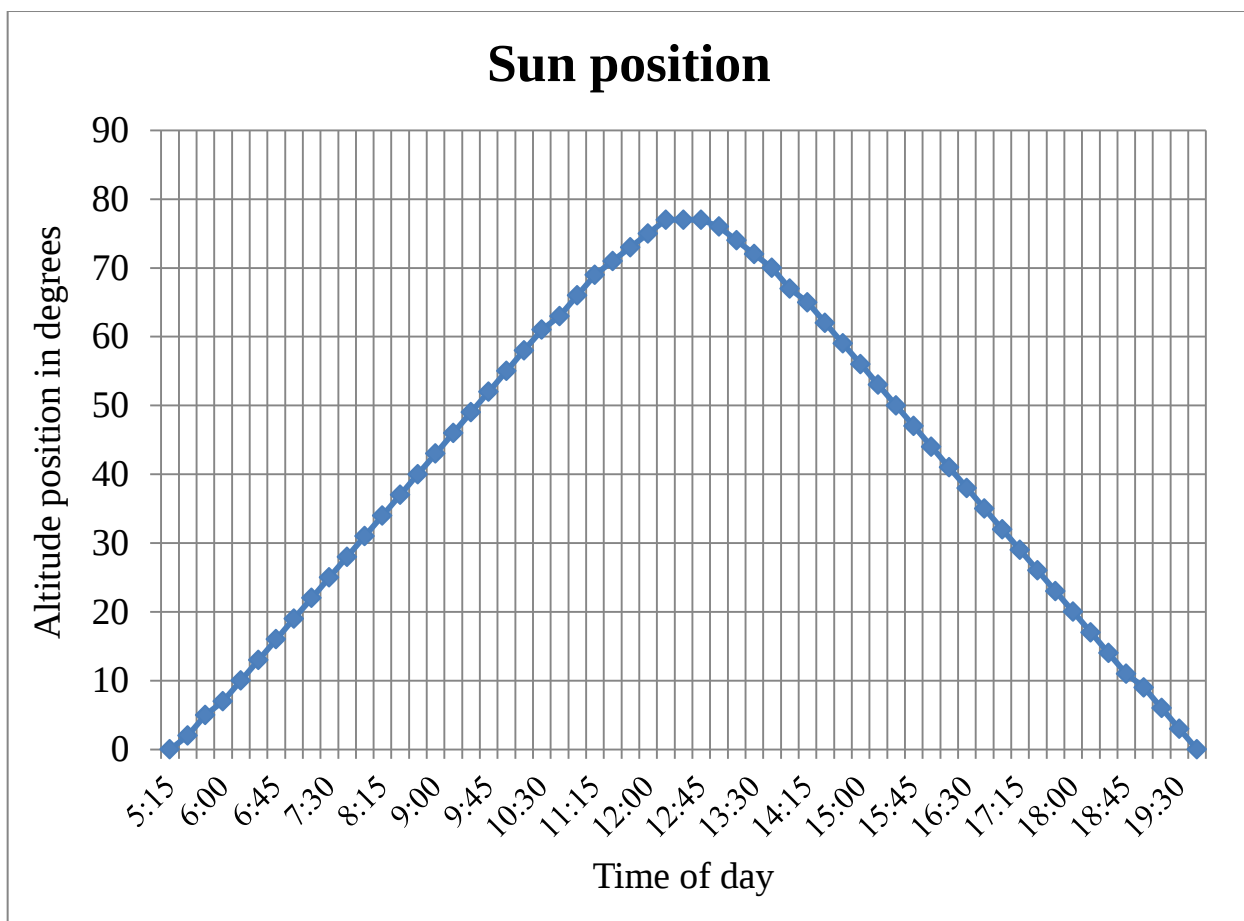
با توجه به هندسه شکل ۴-۱ طول سایه از رابطه زیر بدست می آید:



$$x = L \times \tan(\alpha)$$

(۳-۴)

در نمودار ۲-۴ مقادیر مختلف محاسبه شده برای زاویه α در روز ۳۱ خرداد ملاحظه می شود:

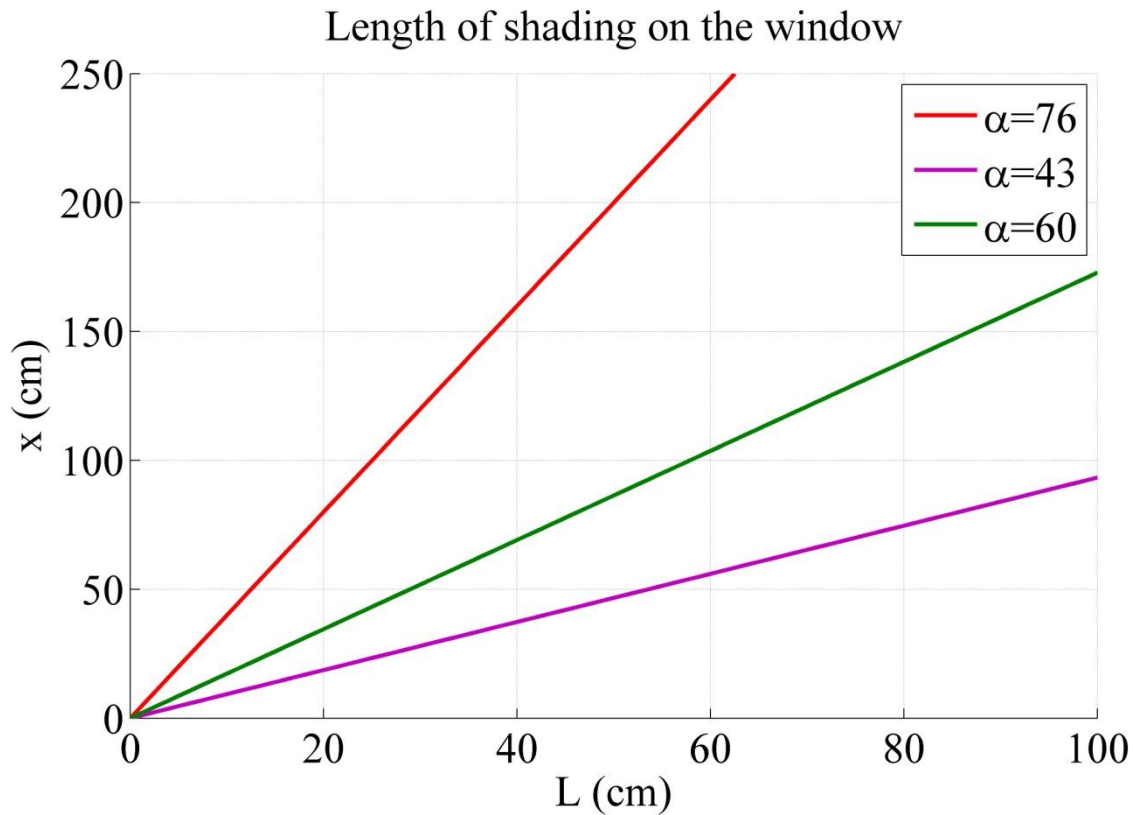


نمودار ۲-۴ موقعیت خورشید در آسمان در روز ۳۱ خرداد

همانطور که از نمودار نمودار ۲-۴ مشخص است بیشترین زاویه α بابر با ۷۶ درجه می باشد که در حدود

ساعت ۱۳ رخ داده است، نمودار ۳-۴ برای تعیین عرض بهینه سایه بان به جهت دارا بودن بیشترین سایه در

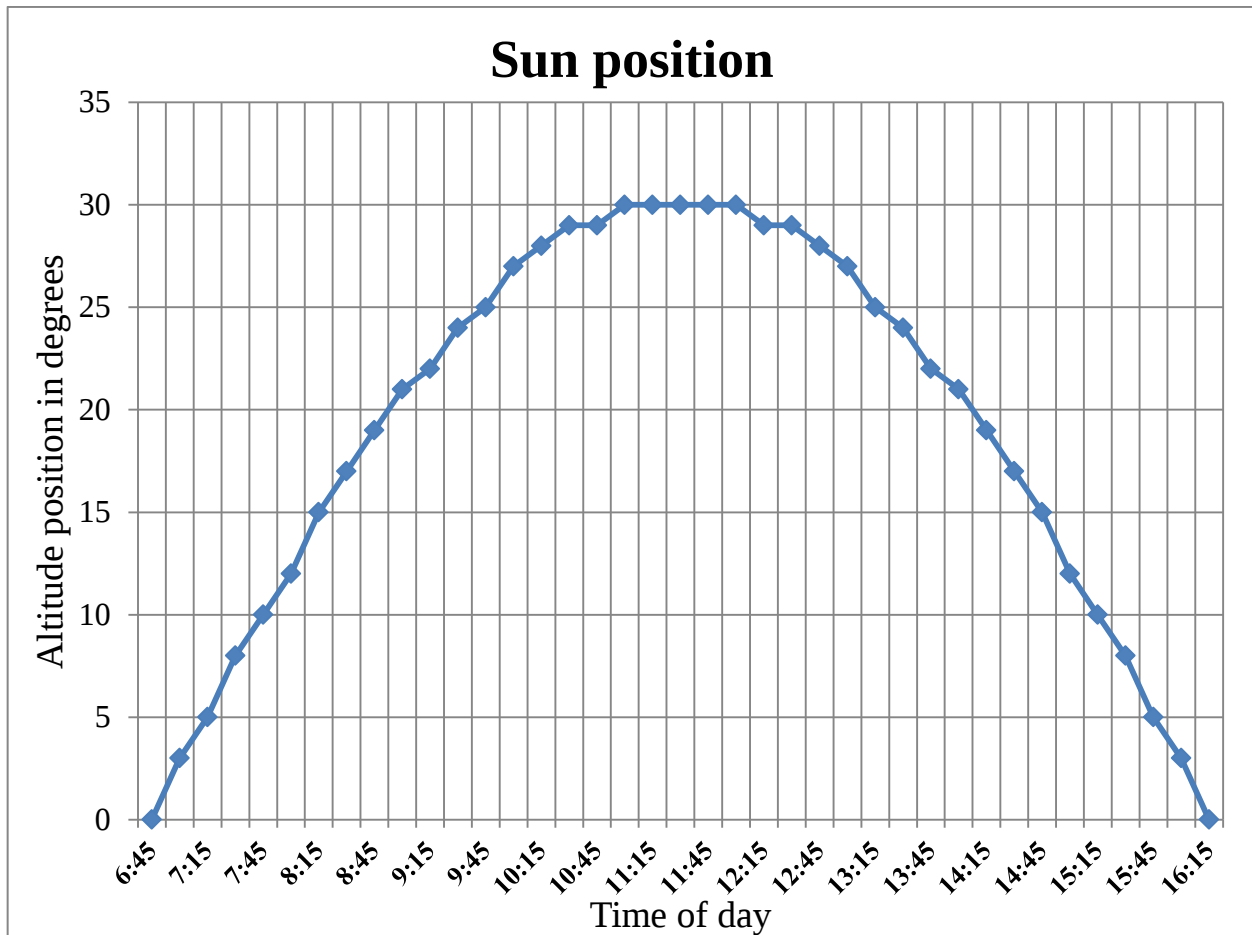
هنگام تابستان و کمترین سایه در زمستان رسم شده است :



نمودار ۳-۴ طول سایه ایجاد شده بر روی پنجره نسبت به تغییرات زاویه تابش و عرض سایه بان

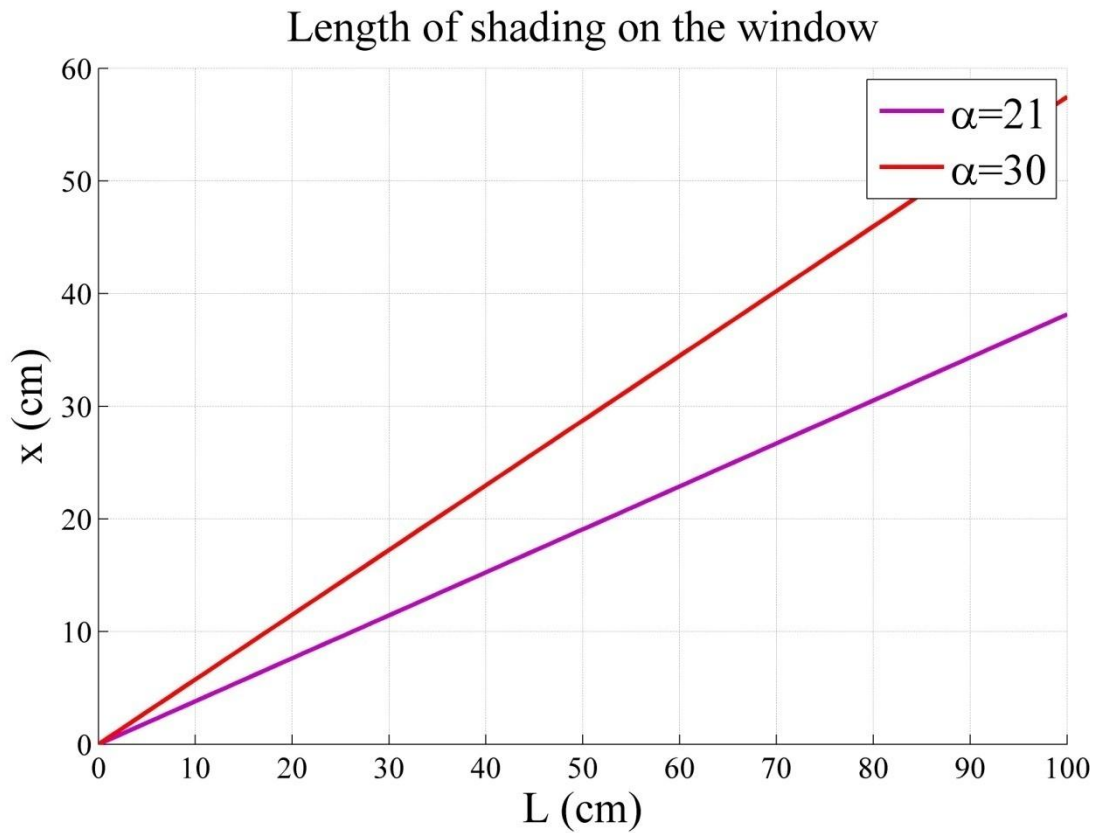
نمودار ۳-۴ برای زوایای ۷۶، ۶۰ و ۴۳ درجه رسم شده و همانطور که مشخص است برای پنجره ای که ارتفاع آن ۲۰۰ سانتی متر می باشد سایه بانی به عرض ۵۰ سانتی متر بهترین گزینه است یعنی در ساعت ۱۳ که شدت تابش خورشیدی در بیشینه خود قرار دارد و در آن زمان به بیشترین سایه بر روی پنجره احتیاج می باشد، این امر به راحتی با یک سایه بان ۵۰ سانتی متری ممکن می شود.

در نمودار ۴-۴ موقعیت خورشید (زاویه α) در آسمان برای ۱ دی ماه محاسبه شده است:



نمودار ۴-۴ موقعیت خورشید در آسمان در روز ۱ دی

همانطور که از نمودار ۴-۴ مشخص است بیشترین زاویه ۳۰ درجه است که مربوط به ساعت ۱۲ ظهر می باشد. در نمودار ۵-۴ که برای زوایای بیشینه و کمینه خورشید در آسمان در فصل زمستان تهیه شده است به بررسی طول سایه ایجاد شده بر پنجره در فصل زمستان پرداخته می شود تا مشخص شود سایه بان انتخاب شده در فصل زمستان تا چه میزان به پرتوهای خورشید اجازه ورود می دهد تا ساختمان از گرمای خورشید به منظور کاهش بار حرارتی در زمستان برخوردار شود.



نمودار ۴-۵ طول سایه ایجاد شده بر روی پنجره نسبت به تغییرات زاویه تابش و عرض سایه بان

در نمودار ۴-۵ ملاحظه می شود که عرض ۵۰ سانتی متری انتخاب شده برای سایه بان در زمستان برای $\alpha = 30$ سایه ای به طول ۲۸ سانتی متر بر روی پنجره ایجاد می کند که برای یک پنجره استاندارد به ارتفاع ۱۷۰ الی ۲۰۰ سانتی متری قابل قبول می باشد و تابش خورشید به میزان لازم از پنجره به داخل ساختمان نفوذ می کند.

در جدول ۴-۱۱ نتایج مربوط به استفاده از سایه بان برای ساختمان مجموعه ورزشی بیرجند ارائه شده است:



جدول ۴-۱۱ ارزیابی نصب سایه بان بر جدار های نور گذر در مجموعه ورزشی بیرجند

دوره بازگشت سرمایه (سال)	میزان کاهش سوخت m^3	درصد کاهش بار کلی	بار سرمایی پنجره kW		میزان هزینه اجرا (هزار ریال)	
۷	۵۳۷	۳	قبل	بعد	۷۵۰۰	قبل از نصب
			۱۴	۱۰,۵		

در جدول ۴-۱۱ ملاحظه می شود با وجود اینکه سایه بان چیزی در حدود ۳۰ درصد از حرارت ورودی ناشی از تابش خورشید را کم کرده است اما بار سرمایشی کلی ساختمان فقط به مقدار ۳ درصد کمتر شده و این به دلیل آن است که نسبت مساحت پنجره ها به کل مساحت جدار نور گذر کمتر از ۶ درصد می باشد و در نتیجه سهم آن در افزایش و یا کاهش بار ساختمان اندک می باشد.

۴-۵-۲ فرصت های صرفه جویی در ارتباط با تاسیسات ساختمان

مواردی که با توجه به تاسیسات ساختمان می توان از آن به عنوان فرصت صرفه جویی نام برد عبارت اند از:

- ۱- استفاده از آبگرمکن خورشیدی
- ۲- تنظیم دمای فضا ها برای تابستان
- ۳- تنظیم دمای فضا ها برای زمستان
- ۴- تنظیم و سرویس مشعل ها
- ۵- نصب پرده هوایی
- ۶- نصب سیستم کنترل هوشمند موتور خانه



۴-۵-۲-۱ استفاده از آبگرمکن خورشیدی

استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع تجدید پذیر انرژی، نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی ساختمان دارد. با استفاده از انرژی خورشیدی در یک ساختمان مسکونی معمولی، به راحتی می توان درصد بالایی از آب گرم مصرفی مورد نیاز ساختمان را تامین نموده و در بعضی موارد جهت پیش گرم کردن آب تغذیه بویلر نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

به علاوه شرایط اقلیمی نیز به نوعی است که آب گرمکن خورشیدی از پتانسیل بالایی جهت اجرا برخوردار است، آبگرمکن های خورشیدی دارای یک منبع تامین انرژی جانبی مانند کویل آب گرم از بویلر و یا المنت برقی هستند که می تواند نیاز آب گرم را در روزهای ابری و یا روزهایی با تابش کم بر طرف نماید، در ساختمان موجود مصرف آب گرم دارای حساسیت کمتری نسبت به ساختمان مسکونی بوده و می توان تمامی آب گرم مصرفی را از طریق آبگرمکن خورشیدی تامین نمود. با توجه به وضعیت تابش آفتاب در منطقه انرژی خورشیدی می تواند تا ۴۰ الی ۸۰ درصد از نیاز آب گرم را تامین نماید. استفاده از آب گرم کن خورشیدی اگرچه هزینه اجرای اولیه بیشتری دارد اما مصرف انرژی را در این قسمت کاهش می دهد که موجب کاهش هزینه سالیانه ساختمان و هم چنین بازگشت سرمایه اولیه طی چند سال می گردد. با توجه به میزان صرفه جویی در گاز مصرفی و هزینه های ساختمان، استفاده از آب گرم کن خورشیدی روشی مناسب در تامین آب گرم مصرفی می باشد.

آب گرمکن خورشیدی در ساختمان مجموعه ورزشی به کمک نرم افزار Retscreen مدل سازی و طراحی شده است. نحوه مدل سازی و روابط حاکم در فصل قبل ارائه شده است در زیر نتایج مربوط به نرم افزار مشاهده می شود:

ابتدا نیاز آب گرم مصرفی ساختمان را طبق استاندارد هند بوک ASHREA محاسبه می کنیم:



فصل چهارم: ارائه نتایج

جدول ۴-۱۲ نوع و تعداد واحد های مصرف آب گرم مجموعه ورزشی بیرجند

نوع وسیله بهداشتی	حداکثر مصرف G.P.H	تعداد	مصرف کل G.P.H
توالت	8	10	80
دستشویی	8	7	56
سینک ظرف شویی	20	1	20
دوش	225	6	1350

با توجه به جدول ۴-۱۲ مصرف کل آب گرم برابر ۱۵۰۶ G.P.H می باشد و داریم:

$$\begin{aligned} \text{مصرف کل آب گرم} &: 1506 \text{ G.P.H} \\ \text{مقدار واقعی مصرف آب گرم} &: 1506 \times 0,4 = 602,4 \text{ G.P.H} \end{aligned}$$

با در نظر گرفتن ضریب ذخیره منبع به مقدار ۱ حجم منبع آب گرم قابل محاسبه است:

$$V = 1506 \times 0,4 \times 1 = 602,4 \text{ G.P.H} = 2280 \text{ Lit} \times 1,25 = 2846 \text{ Lit}$$

لذا از دو دستگاه منبع آب گرم کویل دار با ظرفیت ۳۰۰۰ لیتر انتخاب می شود.

- محاسبه مقدار بار حرارتی مورد نیاز برای آب گرم مصرفی:

$$Q = 602,4 \times 8,33 \times (140 - 40) = 501799,2 \text{ Btu/h}$$

$$\frac{501799,2}{3,968} = 126461 \text{ kcal/h}$$

- محاسبه سطح کویل منبع آب گرم:



فصل چهارم: ارائه نتایج

$$Q = k \times S \times T_m$$

$$T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\log \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{70 - 20}{\log \frac{70}{20}} = 40^\circ\text{C}$$

$$S = \frac{Q}{40k} \quad \text{if } k = 400 \xrightarrow{\text{برای کوئل مسی}} S = \frac{126461}{40 \times 400} = 7,9 \text{ m}^2 = 85 \text{ ft}^2$$

با توجه به محاسبات بالا و حجم ۳۰۰۰ لیتر برای منبع ذخیره آب گرم اقدام به طراحی آب گرم کن خورشیدی می کنیم:

ابتدا تابش خورشیدی باید اندازه گیری شود و همانطوری که در جدول ۴-۱۳ مشاهده می شود مقادیر برای تابش بر روی سطح افقی زمین و هم چنین زاویه ۳۳ درجه که برابر با عرض جغرافیایی محل می باشد ارائه شده است:

جدول ۴-۱۳ شدت تابش خورشیدی برای شهر بیرجند در زاویه ۹۰ و ۳۳ درجه نسبت به افق

	Daily solar radiation - horizontal	Daily solar radiation 33°	Daily solar radiation 18°	Daily solar radiation 48°
Month	kWh/m²/d	kWh/m²/d	kWh/m²/d	kWh/m²/d
January	2.75	3.96	3.52	4.18
February	3.56	4.49	4.20	4.56
March	4.47	5.03	4.92	4.89
April	5.56	5.59	5.74	5.16
May	6.78	6.22	6.65	5.48
June	7.64	6.67	7.30	5.72
July	7.72	6.87	7.45	5.94
August	7.08	6.88	7.19	6.21
September	6.14	6.78	6.70	6.49
October	4.72	6.04	5.62	6.13
November	3.25	4.66	4.15	4.91
December	2.67	4.05	3.54	4.34
Annual	5.20	5.61	5.59	5.34



فصل چهارم: ارائه نتایج

دو ستون مربوط به زوایای ۴۸ درجه و ۱۸ درجه به ترتیب مربوط به زاویه مناسب نصب در فصل زمستان و تابستان می باشد و همانطوری هم که در جدول ۴-۱۳ مشخص شده هر کدام از این درجات برای ماههای مشخصی از سال نسبت به زاویه نصب ۳۳ درجه و حالت افقی تابش بیشتری جذب می کنند.

همانطوری که در جدول ۴-۱۳ ملاحظه می شود نصب کلکتورها با زاویه ۳۳ درجه که برابر عرض جغرافیایی شهر بیرجند می باشد از نظر دریافت انرژی خورشیدی در تمام طول سال بهتر بوده و انرژی بیشتری در واحد سطح، جذب کلکتور خواهد شد.

در جدول ۴-۱۴ مشخصات آب گرمکن خورشیدی طراحی شده توسط نرم افزار Retscreen، از قبیل سطح کلکتورها، نوع آب گرمکن و ظرفیت حرارتی ارائه شده است:

جدول ۴-۱۴ مشخصات آبگرمکن خورشیدی مجموعه ورزشی بیرجند

Solar water heater		
Type	Glazed	
Manufacturer	Alternate Energy Technologies	
Model	Morning Star MSC-21E	
Gross area per solar collector	m ²	2.00
Aperture area per solar collector	m ²	1.75
Fr (tau alpha) coefficient	-	0.66
Fr UL coefficient	(W/m ²)/°C	6.37
Temperature coefficient for Fr UL	(W/m ²)/°C ²	0.000
Number of collectors	-	12
Solar collector area	m ²	23.99
Capacity	kW	14.68
Miscellaneous losses	%	2.0



فصل چهارم: ارائه نتایج

همانطور که از جدول ۴-۱۴ مشخص می باشد مساحت کلکتور های مجموعه ورزشی بیرجند ۲۴ متر مربع بوده و ظرفیت حرارتی برابر 14.7 kW را دارا می باشند. و با احتساب قیمت هر متر مربع کلکتور برابر با ۶۷۵۰ هزار ریال، قیمت کل آن برابر با ۱۶۲۰۰۰ هزار ریال خواهد شد.

در زیر بالانس مربوط به قسمت های مختلف آب گرمکن خورشیدی ملاحظه می شود:

جدول ۴-۱۵ بالانس سیستم آب گرم کن خورشیدی مجموعه ورزشی بیرجند

Balance of system & miscellaneous		
Storage	Yes	
Storage capacity / solar collector area	L/m ²	100
Storage capacity	L	2,097.6
Heat exchanger		Yes
Heat exchanger efficiency	%	80.0
Miscellaneous losses	%	4.0
Pump power / solar collector area	W/m ²	8.00
Electricity rate	IRR/kWh	2000
Summary		
Electricity - pump	MWh	0.4
Heating delivered	MWh	15.8
Solar fraction	%	52

در قسمت summery عبارت solar fraction به سهم انرژی خورشیدی در تولید آب گرم مصرفی دارد یعنی ۵۳ درصد از انرژی مورد نیاز برای آب گرم مصرفی ساختمان از انرژی خورشیدی تامین شده است و هم چنین انرژی تحویل گرفته شده از کلکتورها برابر 15.8 MWh می باشد.

جدول ۴-۱۶ ارزیابی استفاده از آبگرمکن خورشیدی ارائه شده است:



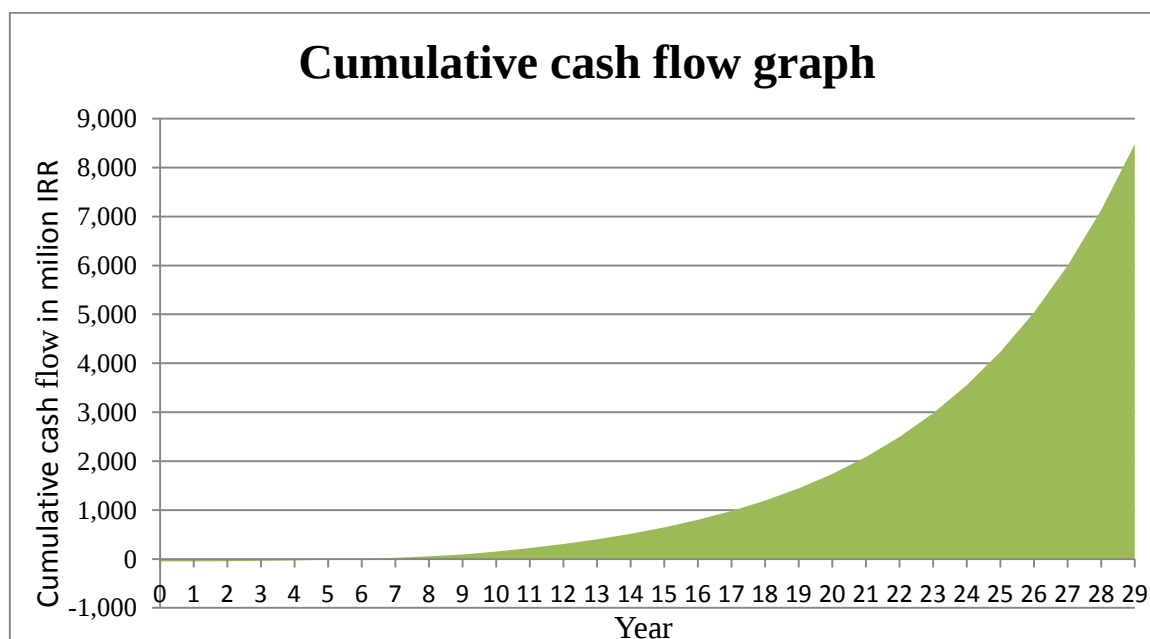
جدول ۴-۱۶ ارزیابی استفاده از آبگرمکن خورشیدی در مجموعه ورزشی بیرجند

نوع فعالیت	میزان هزینه اجرا (هزار ریال)	میزان کاهش مصرف		درصد صرفه جویی		دوره بازگشت (سال)
		سرمایش m^3	گرمایش m^3	سرمایش	گرمایش	
نصب آبگرمکن خورشیدی	۱۶۲۰۰۰	-	۵۵۷۱	-	۵۲	۱۲,۴

۴-۵-۲-۱-۱ آنالیز اقتصادی نصب آبگرمکن

در این قسمت به ارزیابی عملکرد اقتصادی بهره برداری از آب گرم کن خورشیدی پرداخته خواهد شد. و گزارش مفصلی از هزینه های صرف شده و درآمد های کسب شده از پارامتر های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. در نمودار ۴-۶ دوره بازگشت سرمایه و سود انباشته در مدت طول عمر آب گرمکن خورشیدی ارائه شده است:

نمودار ۴-۶ دوره بازگشت سرمایه و سود انباشته حاصل از نصب آبگرمکن خورشیدی در ۳۰ سال





فصل چهارم: ارائه نتایج

همانطوری که از نمودار ۴-۶ مشخص می باشد دوره بازگشت سرمایه به روش Equity payback برابر ۷

سال می باشد و به روش Simple payback برابر ۱۲,۴ سال می باشد.

در جدول ۴-۱۷ پارامترهای استفاده شده در آنالیز اقتصادی آب گرم کن خورشیدی ارائه شده است:

جدول ۴-۱۷ پارامترهای اقتصادی

Financial parameters		
General		
Fuel cost escalation rate	%	20
Project life	yr	30
Finance		
Debt ratio	%	70
Debt	IRR	113,400,000
Equity	IRR	48,600,000
Debt interest rate	%	7
Debt term	yr	10
Debt payments	IRR/yr	16,145,609

در جدول ۴-۱۷ پارامترهای اقتصادی مانند تورم برای نرخ سوخت، عمر پروژه و پارامترهای مربوط به وام ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می شود میزان وام دریافتی برابر ۱۱۳۴۰۰ هزار ریال می باشد، که برابر ۷۰ درصد کل سرمایه گذاری لازم می باشد و تنها مبلغ ۴۸۶۰۰ هزار ریال توسط مالک ساختمان هزینه می شود و سالانه در حدود ۱۶۱۴۵ هزار ریال بابت باز پرداخت وام باید پرداخت شود.

جدول ۴-۱۸ قیمت تمام شده و سرمایه صرفه جویی شده و کسب شده

Project costs and savings/income summary			
Initial costs			
Heating system	100.0%	IRR	162,000,000
Balance of system & misc.	0.0%	IRR	0
Total initial costs	100.0%	IRR	162,000,000
Annual costs and debt payments			
O&M		IRR	0
Fuel cost - proposed case		IRR	5,189,352
Debt payments - 10 yrs		IRR	16,145,609
Total annual costs		IRR	21,334,960
Annual savings and income			
Fuel cost - base case		IRR	9,962,740
GHG reduction income - 30 yrs		IRR	148,379
CE production income - 30 yrs		IRR	8,191,842
Total annual savings and income		IRR	18,302,962



در جدول ۴-۱۸ مقادیر هزینه اولیه برای اجرای سیستم آب گرمکن خورشیدی و هم چنین عواید دریافتی سالانه و هزینه های پرداختی سالانه مشاهده می شود. چنانچه مشخص است مبلغ پرداختی سالانه چیزی در حدود ۲۱۳۳۴ هزار ریال و مبلغ درآمد سالیانه و میزان صرفه جویی مالی پروژه در حدود ۱۸۳۰۲ هزار ریال می باشد.

جدول ۴-۱۹ درآمد سالانه به تفکیک هر پارامتر

Annual income		
GHG reduction income		
Net GHG reduction	tCO ₂ /yr	5
Net GHG reduction - 30 yrs	tCO ₂	148
GHG reduction credit rate	IRR/tCO ₂	30,000
GHG reduction income	IRR	148,379
GHG reduction credit duration	yr	30
Net GHG reduction - 30 yrs	Litres gasoline	63640
GHG reduction credit escalation rate	%	20
Clean Energy (CE) production income		
CE production	MWh	37
CE production credit rate	IRR/kWh	220
CE production income	IRR	8,191,842
CE production credit duration	yr	30
CE production credit escalation rate	%	10

در جدول ۴-۱۹ در آمد های سالانه به تفکیک پارامتر های درآمد را ملاحظه می شود. در اینجا دو پارامتر مورد بررسی قرار گرفته است یکی درآمد ناشی از کاهش انتشار گازهای گلخانه ای می باشد که بر اساس مطالعات و آزمایش های انجام گرفته توسط موسسه اروپایی :

European Union Greenhouse Gas Emission Trading Scheme (EU ETS)

در سال ۲۰۰۵ برای هر تن گاز CO₂ مبلغ ۱ الی ۳۵ دلار ایالات متحده در نظر گرفته شده است و مشخص کردن دقیق این مبلغ به نوع تکنولوژی های مورد استفاده و منطقه جغرافیایی بستگی خواهد داشت که در این پژوهش با وجود قدیمی تر بودن تکنولوژی های مورد استفاده در کشور ایران نسبت به کشورهای



اروپایی و غربی و در نتیجه بالا تر بودن هزینه انتشار گازهای گل خانه ای، همان مبلغ کمینه برای انتشار گازهای گلخانه ای لحاظ شده است که برابر با ۱ دلار ایالات متحده می باشد و با نرخ میانگین ۳۰۰۰۰ ریال برای هر دلار و با توجه به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای به میزان ۱۴۸ تن در ۳۰ سال مبلغ ۴۴۴۰ هزار ریال درآمد کسب خواهد شد البته اگر میزان سوخت صرفه جویی شده که معادل کاهش این مقدار گاز گلخانه ای می باشد را مد نظر قرار دهیم، بر اساس مطالعات انجام شده توسط موسسه امریکایی Environmental Protection Agency (EPA) در سال ۲۰۰۹ و مطابق با الگوی مصرف منطقه امریکای شمالی، به ازای هر تن کاهش انتشار CO_2 ۴۳۰ لیتر بنزین نمی سوزد و با احتساب ۷۰۰۰ ریال برای هر لیتر بنزین، مبلغ ۴۴۵۴۸۰ هزار ریال (بدون در نظر گرفتن نرخ تورم و با فرض ثابت بودن نرخ بنزین در ۳۰ سال آینده) درآمد کسب خواهد شد.

دیگر پارامتر درآمد زا، درآمد ناشی از تولید انرژی پاک می باشد، که در اینجا با توجه به قیمت ۲۰۰۰ ریال برای هر متر مکعب گاز طبیعی و ضریب تبدیل ۹,۵ کیلووات ساعت برای هر متر مکعب گاز طبیعی، درآمد تولید هر کیلووات ساعت انرژی از گاز طبیعی برابر ۲۲۰ ریال بدست می آید. باتوجه به مقادیر ذکر شده و تولید ۳۷ مگا- وات انرژی در سال، درآمد ناشی از تولید انرژی پاک برابر ۸۱۹۱ هزار ریال در سال می باشد.

جدول ۴-۲۰ امکان سرمایه گذاری

Financial Viability		
Simple payback	yr	12.4
Equity payback	yr	7.0
Net Present Value (NPV)	IRR	8,252,540,360
Annual life cycle savings	IRR/yr	275,084,679
Benefit-Cost (B-C) ratio	-	170.81
Debt service coverage	-	0.92



در جدول ۴-۲۰ امکان سرمایه گذاری بررسی شده است که نشان دهنده مفید یا غیر مفید بودن سرمایه گذاری در این پروژه تولید انرژی پاک می باشد. دو عبارت Simple payback و Equity payback اشاره به مدت زمان بازگشت سرمایه بر حسب سال دارند که در روش Simple payback فقط قیمت سوخت صرفه جویی شده در سال مد نظر قرار می گیرد ولی در حالت Equity payback علاوه بر قیمت سوخت صرفه جویی شده سایر پارامترهای درآمد زای دیگر که در بالا ذکر شد در نظر گرفته می شود و هم چنین پارامترهای وام دریافتی هم در معادله دخیل می شوند، با این تفاسیر روش دوم یعنی Equity payback برای محاسبه دوره بازگشت سرمایه منطقی تر به نظر می رسد. عبارت Net Present Value به درآمد کل پارامترها در طول عمر پروژه که در این پژوهش ۳۰ سال در نظر گرفته شده است اشاره دارد که برابر با ۸۲۵۲۵۴۰ هزار ریال می باشد، این درآمد مبلغ بسیار زیاد و قابل توجهی برای چنین پروژه ای می باشد. عبارت Benefit-Cost Ratio نیز نسبتی است که نشان دهنده نسبت سود آوری به سرمایه گذاری در یک پروژه تولید انرژی پاک می باشد و اگر این نسبت بیشتر از ۱ باشد، یعنی پروژه از سود آوری لازم برای سرمایه گذاری و اجرا برخوردار می باشد. عبارت Debt service coverage نیز نسبت کارکرد مزایای پروژه به باز پرداخت وام می باشد. این مقدار منعکس کننده ظرفیت تولید ثروت قابل تبدیل به پول نقد توسط پروژه برای سر شکن شدن وام پرداختی در هر سال می باشد. این بدین معنا می باشد که اگر این نسبت برابر عدد ۱ باشد یعنی پروژه تمام هزینه های وام دریافتی خود را پوشش می دهد و مالک لازم نیست هزینه اضافی برای باز پرداخت وام بدهد پس نتیجه میگیریم که هر چقدر این مقدار به ۱ نزدیکتر باشد میزان هزینه مالک پروژه در سال برای باز پرداخت وام کاهش می یابد و در این پروژه این مقدار برابر 0,92 می باشد که مقدار خیلی منطقی و خوبی است.

**۴-۵-۲ تنظیم دمای فضاها برای تابستان**

ایجاد شرایط آسایش از نقطه نظر دمایی در راندمان و عملکرد افراد بسیار حائز اهمیت می باشد و از نظر مصرف انرژی نیز شرایط بهینه ای را فراهم میکند. بنابراین در مجموعه ورزشی بیرجند با تنظیم دمای داخل برای فصول مختلف (با توجه به اینکه سیستم سرمایش و گرمایش فن کویل است و قابلیت تنظیم را خود به خود و بدون هیچ هزینه ای دارا می باشد) می توان از هدر رفت مقداری انرژی جلوگیری کرد. در جدول ۴-۲۱ ارزیابی این اقدام ملاحظه می شود:

جدول ۴-۲۱ ارزیابی تنظیم دمای فضاها برای تابستان در مجموعه ورزشی بیرجند

دوره بازگشت (سال)	درصد صرفه جویی		میزان کاهش مصرف		میزان هزینه اجرا (هزار ریال)	نوع فعالیت
	گرمایش	سرمایش	گرمایش m^3	سرمایش m^3		
-	-	۵	-	۸۷۹	-	تنظیم دمای فضاها برای تابستان

۴-۵-۳ تنظیم دمای فضاها برای زمستان

همانند قسمت قبلی در زمستان هم میتوان با تنظیم دمای فن کویل ها و جلوگیری از باز شدن پنجره ها در مصرف انرژی و انتشار آلاینده های زیست محیطی جلوگیری نمود. در جدول ۴-۲۲ اطلاعات مربوط به ارزیابی تنظیم دمای فضاها برای زمستان ملاحظه می شود:

جدول ۴-۲۲ ارزیابی تنظیم دمای فضاها برای زمستان در مجموعه ورزشی بیرجند

دوره بازگشت (سال)	درصد صرفه جویی		میزان کاهش مصرف		میزان هزینه اجرا (هزار ریال)	نوع فعالیت
	گرمایش	سرمایش	گرمایش m^3	سرمایش m^3		
-	۸	-	۳۵۱۶	-	-	تنظیم دمای فضاها برای زمستان



۴-۲-۵-۴ تنظیم و سرویس مشعل ها

سوختن بهینه سوخت در مشعل ها میتواند باعث کاهش مصرف سوخت گردد لذا با تنظیم و سرویس به موقع مشعل ها می توان راندمان آنها را در حد مطلوب نگه داشت، این کار توسط آنالیز گازهای حاصل از احتراق صورت می گیرد تا مشخص شود راندمان مشعل در حد مطلوب می باشد یا خیر. چرا که بالا بودن راندمان مشعل باعث مصرف سوخت کمتر می شود. در جدول ۴-۲۳ مربوط به ارزیابی تنظیم مشعل ارائه شده است:

جدول ۴-۲۳ ارزیابی تنظیم مشعل بویلر در مجموعه ورزشی بیرجند

دوره بازگشت (سال)	درصد صرفه جویی		میزان کاهش مصرف		میزان هزینه اجرا (هزار ریال)	نوع فعالیت
	گرمایش	سرمایش	گرمایش m^3	سرمایش m^3		
-	2	-	۸۱۴	-	-	تنظیم و سرویس مشعل ها

۴-۲-۵-۵ نصب پرده هوایی

با نصب پرده هوایی در مدخل ورودی ساختمان می توان نفوذ هوا که خود عاملی برای ایجاد بار حرارتی و سرمایشی است را کاهش داد و هم چنین از ورود هوای آلوده به ساختمان و حشرات نیز جلوگیری کرد. در جدول ۴-۲۴ اطلاعات مربوط به ارزیابی نصب پرده هوایی مشاهده می شود:

جدول ۴-۲۴ ارزیابی نصب پرده هوایی در مجموعه ورزشی بیرجند

دوره بازگشت (سال)	درصد صرفه جویی		میزان کاهش مصرف		میزان هزینه اجرا (هزار ریال)	نوع فعالیت
	گرمایش	سرمایش	گرمایش m^3	سرمایش m^3		
-	-	-	-	-	۱۵۰۰۰	پرده هوایی



۴-۵-۲-۶ نصب سیستم کنترل هوشمند موتورخانه

در حال حاضر جهت تنظیم دمای آب مورد نیاز گرمایش و مصرفی ساختمان در موتورخانه از ترموستات‌های معمولی استفاده می‌شود که قابلیت تنظیم توسط متصدی موتورخانه بر روی دمای دلخواه را دارند و بر اساس نقطه تنظیم شده نسبت به خاموش و راه اندازی کردن مشعل‌ها اقدام می‌کنند، از معایب اصلی این ترموستات‌ها عدم واکنش در اثر تغییرات هوای بیرون و همچنین وضعیت عملکردی در ساعات مختلف شبانه روز می‌باشد.

در صورت افزایش دمای هوای محیط -که مسلماً گرمای مورد نیاز ساختمان کاهش می‌یابد- موتورخانه با دمای بالا کار می‌کند و گرمای بیشتر از حد مورد نیاز وارد ساختمان می‌شود که عملاً بدون استفاده به هدر می‌رود. همچنین در ساختمان‌های اداری در هنگام شب نیز موتورخانه به فعالیت خود و تولید گرما ادامه می‌دهد. جهت رفع این مشکل، استفاده از سیستم‌های کنترل هوشمند موتورخانه با قابلیت برنامه‌ریزی ساعتی و هفتگی و همچنین مجهز به حسگر دمای محیط، توصیه می‌گردد.

در حال حاضر جهت تنظیم دمای آب مورد نیاز گرمایش و مصرفی ساختمان در موتورخانه از ترموستات‌های معمولی استفاده می‌شود که قابلیت تنظیم توسط متصدی موتورخانه بر روی دمای دلخواه را دارند و بر اساس نقطه تنظیم شده نسبت به خاموش و راه اندازی کردن مشعل‌ها اقدام می‌کنند، از معایب اصلی این ترموستات‌ها عدم واکنش در اثر تغییرات هوای بیرون و همچنین وضعیت عملکردی در ساعات مختلف شبانه روز می‌باشد.

این سیستم که دارای چند حسگر در محیط خارج، لوله خارجی آب از دیگ، مشعل‌ها و دیگ‌ها می‌باشد، با اندازه‌گیری دمای محیط، دمای آب گرم مورد نیاز ساختمان را (با خاموش یا روشن کردن مشعل‌ها) طوری تنظیم می‌کند که آب گرم مورد نیاز ساختمان تامین شود. در حقیقت با این روش، انرژی گرمایی متناسب با نیاز ساختمان تولید می‌شود و از تولید گرمای اضافی جلوگیری می‌گردد. از مزایای دیگر سیستم‌های کنترل هوشمند موتورخانه قابلیت برنامه‌ریزی آن‌ها می‌باشد و می‌توان از این طریق برنامه کاری ساختمان را



مشخص کرد و در این صورت موتورخانه فقط در مواردی که افراد در ساختمان حضور دارند و یا مواردی که نیاز است، راه اندازی می شود. در این صورت در روزها و در زمان هایی که ساختمان (معمولاً ساختمان های اداری و تجاری) خالی از سکنه است، موتورخانه خاموش بوده و صرفه جویی قابل ملاحظه ای در مصرف سوخت و هزینه های مربوطه ایجاد می شود.

۴-۵-۲-۶-۱ مزایای استفاده از سیستم های کنترل هوشمند موتورخانه:

- هزینه کم و دوره بازگشت سرمایه کوتاه مدت به دلیل صرفه جویی چشمگیر در مصرف سوخت
- کاهش استهلاک اجزای موتورخانه و افزایش راندمان و ضریب ایمنی تاسیسات مکانیکی
- تامین شرایط آسایش ساکنین، متناسب با دمای محیط خارج ساختمان
- امکان تنظیم برنامه نرم افزاری سیستم بر حسب نوع کاربری ساختمان
- کاهش مصرف سوخت و هزینه ها تا ۴۰ درصد در ساختمان های غیر مسکونی (اداری و تجاری) و تا ۱۵ درصد در ساختمان های مسکونی

در جدول ۴-۲۵ اطلاعات مربوط به صرفه جویی انرژی بابت نصب سیستم کنترل هوشمند ارائه شده است:

جدول ۴-۲۵ ارزیابی نصب سیستم کنترل هوشمند موتورخانه در مجموعه ورزشی بیرجند

دوره بازگشت (سال)	درصد صرفه جویی		میزان کاهش مصرف		میزان هزینه اجرا (هزار ریال)	نوع فعالیت
	گرمایش	سرمایش	گرمایش m^3	سرمایش m^3		
0,5	۲۰	۲۰	۶۱۴۰	۳۵۸۰	10000	سیستم کنترل هوشمند موتورخانه

با توجه به اینکه سیستم کنترل هوشمند برای ساختمان های مسکونی تا ۱۵ درصد و اداری تا ۴۰ درصد باعث صرفه جویی می شود، در این پژوهش برای جلوگیری از ایجاد خطا در محاسبات و به علت تجاری



بودن اعداد ذکر شده برای میزان صرفه جویی، عدد ۲۰ درصد به عنوان میزان صرفه جویی این سیستم در نظر گرفته شده است.

۴-۵-۳ فرصت های صرفه جویی در ارتباط با تجهیزات و روشنایی ساختمان

مواردی که با توجه به تجهیزات و روشنایی ساختمان می توان از آنها به عنوان فرصت صرفه جویی نام برد عبارتست از:

۱- استفاده از بالاست دیجیتال (الکترونیکی)

۲- نصب سیستم تولید برق با استفاده از سلول های فتوولتائیک

۴-۵-۳-۱ بالاست های الکترونیکی

در ابتدا نیاز می باشد در مورد راه اندازهای لامپ های گازی (فلورسنت) توضیحی داده شود، لامپ های گازی بدون راه انداز قادر به روشن شدن نیستند. راه اندازها بر دو نوع هستند :

۱- راه اندازهای نسل قدیمی یا چک استارتر

۲- راه اندازهای نسل جدید یا بالاست الکترونیکی

راه اندازهای نسل قدیمی مجموعه ای از قطعات و دستگاه های الکتریکی هستند که شامل دو جز می باشند:

۱- چک (کوئل و بالاست القایی)

۲- استارتر (اگنیتور)

بالات های الکترونیکی برای مدت زمانی در حدود ۱ ثانیه، جریان کافی و استاندارد از فیلامانهای لامپ عبور می دهد. این نوع پیش گرمایش سبب می شود که فیلامانهای لامپ به حد کافی گرم شده و لامپ با ولتاژی کمتر از حالت قبلی راه اندازی شود، پیش گرمایش مناسب سبب می شود که کمترین آسیب به



فیلامانهای لامپ وارد گردد و طول عمر کلید زنی لامپ افزایش یابد، با افزایش طول عمر کلید زنی، لامپ می تواند به طول عمر روشنایی استاندارد خود دست یابد.

بالاستهای الکترونیک، از نوع بالاستهای الکترونیکی نسل جدید برای راه اندازی لامپ های فلورسنت (مهمتایی) و فلورسنت فشرده (کم مصرف) می باشد. این نسل از بالاستها با توجه به مزایایی که درباره آنها سخن گفتیم گزینه مناسبی برای جایگزینی با بالاستهای القایی (چک و استارتر) و الکترونیکی نسل قدیم می باشد.

۴-۵-۳-۱- مزایای بالاست های الکترونیک:

✓ کاهش مصرف انرژی: حذف و کاهش سه عامل startup جریان القایی و گرما در چک و استارتر و خازن جبرانی باعث صرفه جویی بیش از ۳۰ درصد در مصرف برق و افزایش عمر لامپ مهمتایی به مقدار بسیار قابل ملاحظه، گاهی چند برابر در مقایسه با بالاستهای القایی، می باشد.

✓ راه اندازی نرم: ولتاژ راه اندازی اولیه در لامپ های تخلیه گازی بسیار بیشتر از ولتاژ کار عادی آنها می باشد. روشن کردن لامپ با اعمال فشار الکترونیکی بالا همواره ممکن است اما این کار کاهش جدی عمر لامپ را در پی خواهد داشت. بالاست الکترونیکی با استفاده از توانایی تغییر فرکانس، ولتاژ را کم کم افزایش داده و لامپ را با کمترین ولتاژ ممکن روشن می نماید.

✓ تشخیص پایان عمر لامپ: این مدار دارای قابلیت تشخیص لامپ های پیر می باشد، پس از تشخیص پیری یک لامپ، بالاست لامپ را دوباره پیش گرمایش کرده تا اثر پیری را جبران کند این امر کمک موثری به افزایش طول عمر لامپ می کند.

✓ شار نوری استاندارد: با توجه به لامپی که بالاست برای آن طراحی گردیده است، بالاست الکترونیکی به صورتی لامپ را روشن می نماید که شار نوری استاندارد از آن لامپ گرفته می شود. لامپ های تخلیه در گاز در فرکانسهای بالا دارای بهره نوری بیشتری نسبت به فرکانس ۵۰ هرتز



می باشند، بنابر این بالاست الکتریکی به علت فرکانس کار بالاتر (۴۰ کیلو هرتز) حداقل ۱۰ درصد بهره وری بیشتر در شار نوری ایجاد می نماید.

✓ **مدارات مجتمع :** در طراحی و ساخت این بالاست از تکنولوژی مدارات مجتمع (IC) استفاده گردیده است. این المان به ما توانایی را می دهد تا بتوانیم بالاست الکترونیکی را برای شرایط مختلف به نحو موثریطراحی بنماییم.

✓ **روشن کردن چند لامپ موازی :** برای راحتی هر چه بیشتر مصرف کننده، انواع مختلف بالاست الکترونیکی می توانند یک تا چهار لامپ را به صورت موازی روشن نمایند، این امر سبب کاهش چشمگیر هزینه، زمان و احتمال خطای انسانی در زمان نصب می گردد.

✓ **خستگی چشم :** ترانسهای القایی به علت فرکانس کار پایین (۵۰ هرتز) چشم را اذیت می کنند و به اصطلاح اثرات استربوسکوپیک دارند، این مشکل در ادارات و محیط های کاری دفتری، محیط های آموزشی و سالن های تولید در طولانی مدت باعث خستگی چشم سر درد و پایین آمدن راندمان کاری می شود.

✓ **نحوه روشن شدن :** به علت اینکه ترانسهای القایی دارای استارت سریع می باشند، طول عمر کلید-زنی لامپ را به شدت کاهش می دهند(در حدود ۲۰۰۰ مرتبه) حال آنکه بالاست الکترونیکی با داشتن پیش گرمایش مناسب و استاندارد سبب افزایش عمر لامپ می گردد(در حدود ۱۰۰۰۰۰ مرتبه)

در جدول ۴-۲۶ اطلاعات مربوط به صرفه جویی در مصرف برق از طریق تعویض بالاست القایی با بالاست الکترونیکی ارائه شده است:



فصل چهارم: ارائه نتایج

جدول ۴-۲۶ ارزیابی استفاده از بالاست الکترونیکی در مجموعه ورزشی بیرجند

نوع فعالیت	وات لامپ موجود	تعداد	میزان هزینه اجرا (هزار ریال)	میزان کاهش مصرف برق در یک سال (kwh)	دوره بازگشت (سال)	درصد صرفه جویی
تعویض بالاست القایی با بالاست الکترونیکی	۸۳۹۵	۳۹۵	۷۲۰۰	۱۱۴۰۵	۰,۵	۲۰

همانطوری که از جدول ۴-۲۶ ملاحظه می شود با هزینه خیلی پایینی می توان صرفه جویی قابل ملاحظه ای در مصرف برق روشنایی ساختمان انجام داد.

۴-۵-۳ استفاده از سلول های الکترو ولتایی

ساختمان و نحوه عملکرد و هم چنین روابط حاکم بر سلول های خورشیدی در فصول قبل به طور مفصل شرح داده شد، در اینجا به ارائه نتایج حاصل از نصب این سلول ها و بررسی اقتصادی پروژه می پردازیم:

در جدول ۴-۲۷ میزان تابش بر سطح افقی و با زاویه ۳۳ درجه نسبت به افق ملاحظه می شود البته در این سیستم از یک دنبال کننده تابش خورشیدی تک محوره نیز به منظور افزایش جذب تابش خورشیدی استفاده شده است.



فصل چهارم: ارائه نتایج

جدول ۴-۲۷ تابش خورشیدی و الکتریسیته تولیدی توسط سلول های خورشیدی

Month	Daily solar radiation - horizontal	Daily solar radiation 33°	Electricity exported to grid
	kWh/m ² /d	kWh/m ² /d	MWh
January	2.75	4.71	0,522
February	3.56	5.29	0,523
March	4.47	6.26	0,670
April	5.56	7.00	0,707
May	6.78	8.55	0,870
June	7.64	9.47	0,912
July	7.72	9.87	0,974
August	7.08	9.82	0,974
September	6.14	8.99	0,876
October	4.72	7.92	0,819
November	3.25	5.63	0,585
December	2.67	4.86	0,535
Annual	5.20	7.38	8,966

همانطوری که از جدول ۴-۲۷ مشخص می باشد میزان تولید الکتریسیته تزریق شده به شبکه برق سراسری توسط سلول ها برابر ۹ مگاوات می باشد.

در ادامه به ذکر مشخصات دقیق ماژول های نصب شده می پردازیم:

سلول های نصب شده از نوع پلی کریستال با بازده 10,4 درصد که ساخت شرکت BP Solar می باشد

در جدول ۴-۲۸ مشخصات کامل سلول خورشیدی مشاهده می شود:



فصل چهارم: ارائه نتایج

جدول ۴-۲۸ مشخصات سیستم فتوولتائیک و اینورتر مجموعه ورزشی بیرجند

Photovoltaic		
Type	poly-Si	
Power capacity	kW	60
Manufacturer	BP SOLAR	
Model	Poly-si-ac power wall	
Efficiency	%	10.4
Nominal operating cell temperature	°C	45
Temperature coefficient	% / °C	0.40
Solar collector area	m ²	577
Miscellaneous losses	%	2.0
Inverter		
Efficiency	%	90
Capacity	kW	60
Summary		
Capacity factor	%	25.4
Electricity delivered to load	MWh	124.613
Electricity exported to grid	MWh	8.966

همانطور که از جدول ۴-۲۸ مشخص است ظرفیت انتخاب شده برای سلول های فتوولتائیک مجموعه ورزشی بیرجند برابر ۶۰ کیلو وات می باشد، که مساحتی بالغ بر ۵۷۷ متر مربع را اشغال کرده است، هم چنین مشخصات اینورتر نیز ملاحظه می شود. در قسمت Summary الکتریسیته تحویل داده شده به بار های داخلی ساختمان و هم چنین الکتریسیته تزریق شده به شبکه ملاحظه می شود. عبارت Capacity factor اشاره به نسبت انرژی تولید شده توسط ماژول ها و ظرفیت اسمی آنها دارد و این مقدار برای سیستم فتوولتائیک بین ۵ الی ۳۰ درصد می باشد که در اینجا برابر با 25,4 می باشد. در جدول ۴-۲۹ ارزیابی استفاده از سلول های خورشیدی در مجموعه ورزشی بیرجند ارائه شده است:

جدول ۴-۲۹ ارزیابی استفاده از سلول خورشیدی برای مجموعه ورزشی بیرجند

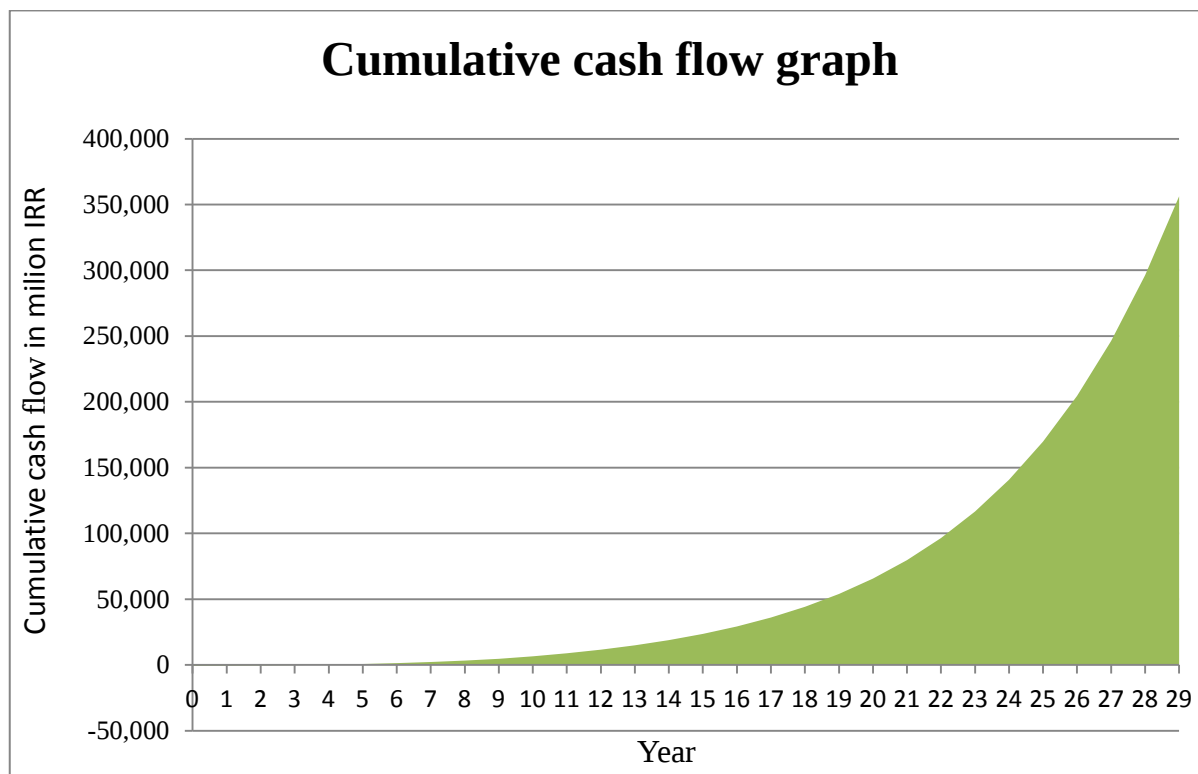
نوع فعالیت	ظرفیت اسمی kw	میزان هزینه اجرا کل (هزار ریال)	میزان کاهش مصرف برق در یک سال (Mwh)	درصد صرفه جویی نسبت به کل	دوره بازگشت (سال)
سلول خورشیدی	۶۰	2700000	124,6	91	4,5



۴-۵-۳-۲-۱ آنالیز اقتصادی استفاده از سلول های فتوولتائیک:

در این قسمت به بررسی عملکرد مالی نصب و بهره برداری سلول های خورشیدی در ساختمان مجموعه ورزشی بیرجند پرداخته خواهد شد و گزارش کامل و مفصلی از نحوه عملکرد پارامترهای مالی به صورت جداگانه و هم چنین با در نظر گرفتن تاثیر کل پارامترهای مالی بر میزان سود آوری و یا عدم وجود توجیه اقتصادی برای اجرای پروژه ارائه خواهد شد.

نمودار ۴-۷ دوره بازگشت سرمایه و سود انباشته شده حاصل از نصب سلول های خورشیدی در ۳۰ سال



همانطوری که از نمودار ۴-۷ نمودار ۴-۶ مشخص می باشد دوره بازگشت سرمایه به روش Equity payback

برابر 4,5 سال می باشد و به روش Simple payback برابر 10 سال می باشد. در جدول ۴-۳۰



فصل چهارم: ارائه نتایج

جدول ۴-۱۷ پارامترهای استفاده شده در آنالیز اقتصادی سلول های خورشیدی ارائه شده است.

جدول ۴-۳۰ پارامترهای اقتصادی نصب ماژول های خورشیدی

Financial parameters		
General		
Fuel cost escalation rate	%	20
Project life	yr	30
Finance		
Debt ratio	%	50
Debt	IRR	1,350,000,000
Equity	IRR	1,350,000,000
Debt interest rate	%	7
Debt term	yr	10
Debt payments	IRR/yr	192,209,629

در جدول ۴-۳۰ پارامترهای اقتصادی مانند تورم برای نرخ سوخت، عمر پروژه و پارامترهای مربوط به وام ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می شود میزان وام دریافتی برابر 1350000 هزار ریال می باشد، که برابر 50 درصد کل سرمایه گذاری لازم می باشد و مبلغ 1350000 هزار ریال نیز توسط مالک ساختمان هزینه می شود و سالانه در حدود 192209 هزار ریال بابت باز پرداخت وام باید توسط مالک پرداخت شود.

جدول ۴-۳۱ قیمت تمام شده و سرمایه صرفه جویی شده و کسب شده

Project costs and savings/income summary			
Initial costs			
Power system	100.0%	IRR	2,700,000,000
Balance of system & misc.	0.0%	IRR	0
Total initial costs	100.0%	IRR	2,700,000,000
Annual costs and debt payments			
O&M		IRR	0
Fuel cost - proposed case		IRR	0
Debt payments - 10 yrs		IRR	269,093,480
Total annual costs		IRR	269,093,480
Annual savings and income			
Fuel cost - base case		IRR	249,226,000
Electricity export income		IRR	17,932,315
GHG reduction income - 30 yrs		IRR	2,150,357
Total annual savings and income		IRR	269,308,672



فصل چهارم: ارائه نتایج

در جدول ۴-۳۱ مقادیر هزینه اولیه برای اجرای سیستم تولید برق خورشیدی و هم چنین عواید دریافتی سالانه و هزینه های پرداختی سالانه مشاهده می شود. چنانچه مشخص است مبلغ پرداختی سالانه چیزی در حدود ۲۶۹۰۹۳ هزار ریال و مبلغ درآمد سالانه و میزان صرفه جویی مالی پروژه در حدود ۲۶۹۳۰۸ هزار ریال می باشد. که اندکی بیشتر از هزینه های سالانه می باشد.

جدول ۴-۳۲ درآمد سالانه به تفکیک هر پارامتر

Annual income		
Electricity export income		
Electricity exported to grid	MWh	9
Electricity export rate	IRR/MWh	2,000,000
Electricity export income	IRR	17,932,315
CE production	MWh	125
CE production income	IRR	249,226,000
CE production credit rate	IRR/MWh	200,000
Electricity export escalation rate	%	10
GHG reduction income		
Net GHG reduction	tCO ₂ /yr	72
Net GHG reduction - 30 yrs	tCO ₂	2,150
GHG reduction credit rate	IRR/tCO ₂	30,000
GHG reduction income	IRR	2,150,357
GHG reduction credit duration	yr	30
Net GHG reduction - 30 yrs	Litres gasoline	924210
GHG reduction credit escalation rate	%	20

در جدول ۴-۳۲ در آمد های سالانه به تفکیک پارامتر های درآمد را ملاحظه می شود. در اینجا دو پارامتر مورد بررسی قرار گرفته است یکی درآمد ناشی از کاهش انتشار گازهای گلخانه ای می باشد که بر اساس مطالعات و آزمایش های انجام گرفته توسط موسسه اروپایی :

European Union Greenhouse Gas Emission Trading Scheme (EU ETS)

در سال ۲۰۰۵ برای هر تن گاز CO₂ مبلغ ۱ الی ۳۵ دلار ایالات متحده در نظر گرفته شده است و مشخص کردن دقیق این مبلغ به نوع تکنولوژی های مورد استفاده و منطقه جغرافیایی بستگی خواهد داشت که در



این پژوهش با وجود قدیمی تر بودن تکنولوژی های مورد استفاده در کشور ایران نسبت به کشورهای اروپایی و غربی و در نتیجه بالا تر بودن هزینه انتشار گازهای گل خانه ای، همان مبلغ کمینه برای انتشار گازهای گلخانه ای لحاظ شده است که برابر با ۱ دلار ایالات متحده می باشد و با نرخ میانگین ۳۰۰۰۰ ریال برای هر دلار و با توجه به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای به میزان 2150 تن در ۳۰ سال مبلغ 64500 هزار ریال درآمد کسب خواهد شد البته اگر میزان سوخت صرفه جویی شده که معادل کاهش این مقدار گاز گلخانه ای می باشد را مد نظر قرار دهیم، بر اساس مطالعات انجام شده توسط موسسه امریکایی Environmental Protection Agency (EPA) در سال ۲۰۰۹ و مطابق با الگوی مصرف منطقه امریکای شمالی، به ازای هر تن کاهش انتشار CO_2 ۴۳۰ لیتر بنزین نمی سوزد و با احتساب ۷۰۰۰ ریال برای هر لیتر بنزین، مبلغ 6469470 هزار ریال (بدون در نظر گرفتن نرخ تورم و با فرض ثابت بودن نرخ بنزین در ۳۰ سال آینده) درآمد کسب خواهد شد. البته این مبلغ که مبلغ بسیار قابل توجه ای است در محاسبات مربوط به بازگشت سرمایه در این پروژه لحاظ نشده است، در واقع این مبلغ هزینه ای است که از سرمایه ملی کشور صرفه جویی می شود و عواید عمومی نصب چنین سیستم های تولید انرژی پاک می باشد.

دیگر پارامتر درآمد زا، درآمد ناشی از تولید انرژی پاک می باشد، که در اینجا با توجه به قیمت متوسط ۲۰۰۰ ریال برای هر کیلو وات ساعت برق و باتوجه به مقادیر ذکر شده و تولید ۹ مگاوات انرژی اضافی که به شبکه برق تزریق شده درآمدی برابر با ۱۷۹۳۲ هزار ریال در سال نصیب مالک پروژه می کند این مبلغ درآمدی است که مالک به صورت نقدی از شرکت توزیع برق دریافت می کند در صورتی که بخواهیم قیمت 124,6 مگاوات برق تولید شده و تحویل داده شده به بارهای ساختمان نیز محاسبه شود باید مبلغ ۲۴۹۲۲۶ هزار ریال به مبلغ اخیر اضافه شود.



جدول ۴-۳ امکان سرمایه گذاری

Financial Viability		
Simple payback	yr	10
Equity payback	yr	4.5
Net Present Value (NPV)	IRR	356,260,300,503
Annual life cycle savings	IRR/yr	11,875,343,350
Benefit-Cost (B-C) ratio	-	440.83
Debt service coverage	-	1.19

در جدول ۴-۳ امکان سرمایه گذاری بررسی شده است که نشان دهنده مفید یا غیر مفید بودن سرمایه گذاری در این پروژه تولید انرژی پاک می باشد. دو عبارت Simple payback و Equity payback اشاره به مدت زمان بازگشت سرمایه بر حسب سال دارند که در روش Simple payback فقط قیمت سوخت صرفه جویی شده در سال مد نظر قرار می گیرد ولی در حالت Equity payback علاوه بر قیمت سوخت صرفه جویی شده سایر پارامترهای درآمد زای دیگر که در بالا ذکر شد در نظر گرفته می شود و هم چنین پارامترهای وام دریافتی هم در معادله دخیل می شوند، با این تفاسیر روش دوم یعنی Equity payback برای محاسبه دوره بازگشت سرمایه منطقی تر به نظر می رسد. عبارت Net Present Value به درآمد کل پارامترها در طول عمر پروژه که در این پژوهش ۳۰ سال در نظر گرفته شده است اشاره دارد که برابر ۳۵۶ میلیارد ریال می باشد، این درآمد مبلغ بسیار زیاد و قابل توجهی برای چنین پروژه ای می باشد. عبارت Benefit-Cost Ratio نیز نسبتی است که نشان دهنده نسبت سود آوری به سرمایه گذاری در یک پروژه تولید انرژی پاک می باشد و اگر این نسبت بیشتر از ۱ باشد، یعنی پروژه از سود آوری لازم برای سرمایه گذاری و اجرا برخوردار می باشد. عبارت Debt service coverage نیز نسبت کارکرد مزایای پروژه به باز پرداخت وام می باشد. این مقدار منعکس کننده ظرفیت تولید ثروت قابل تبدیل به پول نقد توسط پروژه برای سر شکن شدن وام پرداختی در هر سال می باشد. این بدین معنا می باشد که اگر این نسبت برابر عدد ۱ باشد یعنی پروژه تمام هزینه های وام دریافتی خود را پوشش می دهد و مالک لازم نیست هزینه اضافی



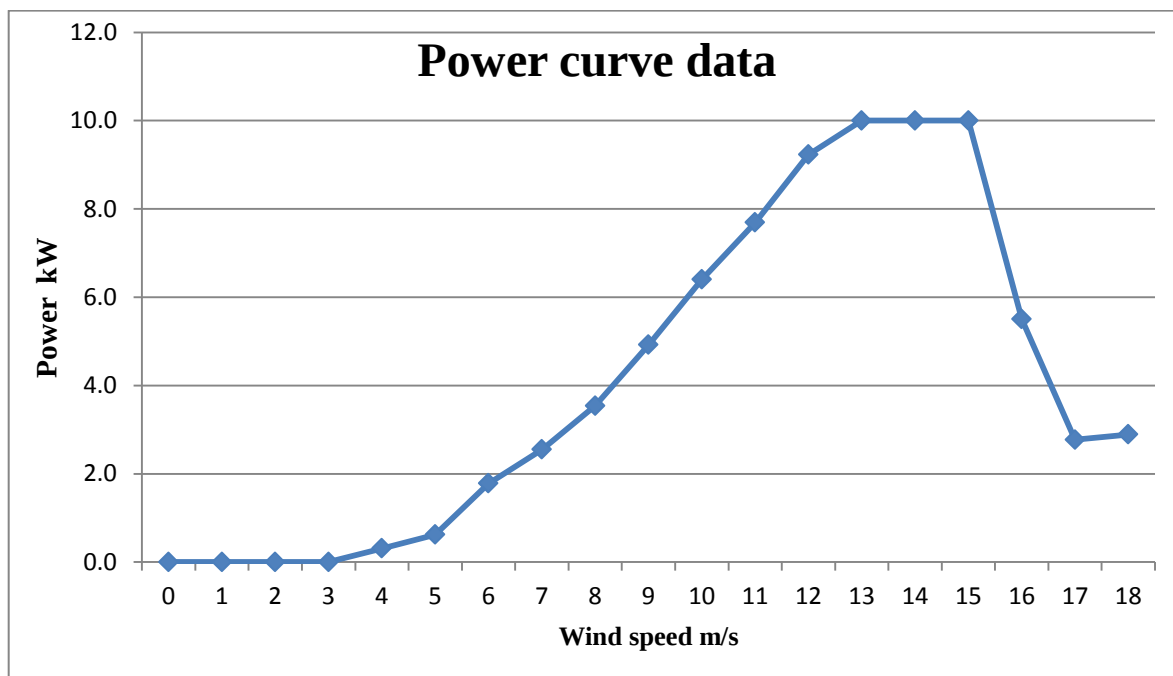
برای باز پرداخت وام بدهد پس نتیجه می‌گیریم که هر چقدر این مقدار به ۱ نزدیکتر باشد میزان هزینه مالک پروژه در سال برای باز پرداخت وام کاهش می‌یابد و در این پروژه این مقدار برابر 1,19 می‌باشد که یعنی علاوه بر پوشش مبلغ وام درآمدی هم نصیب مالک پروژه تولید انرژی پاک خواهد کرد.

۳-۳-۵-۴ انرژی باد

انرژی باد یکی دیگر از گزینه های تامین انرژی از منابع تجدید پذیر می‌باشد. که به صورت نسبی در شهر بیرجند در دسترس می‌باشد با توجه به جدول ۴-۳۴ میانگین وزش سالیانه باد در شهر بیرجند در ارتفاع ۱۰ متری 5.6 m/s می‌باشد در صورتی که برای اینکه توربین بادی بتواند در حداکثر توان خروجی خود عمل نماید طبق نمودار ۴-۸ که منحنی قدرت خروجی بر حسب سرعت باد برای یک مدل توربین نمونه می‌باشد به وزش 12 m/s احتیاج دارد.

جدول ۴-۳۴ سرعت وزش باد در ارتفاع ۱۰ و ۲۰ متری سطح زمین

Month	m/s	m/s
January	6.0	4.0
February	5.8	4.7
March	6.7	5.4
April	7.0	5.8
May	7.2	6.1
June	8.4	7.2
July	9.9	8.7
August	8.7	7.6
September	6.6	5.6
October	5.5	4.3
November	4.7	3.6
December	5.0	3.7
Annual	6.8	5.6
Measured at	m	
	20.0	10.0



نمودار ۴-۸ منحنی توان تولیدی بر حسب سرعت باد

این منحنی برای توربین با مشخصات زیر می باشد:

جدول ۴-۳ مشخصات فنی یک نمونه توربین بادی

Wind Turbine		
Power capacity per turbine	kW	10
Manufacturer	Endurance Wind Power	
Model	S-343 - 18.3m	
Number of turbines	-	1
Power capacity	kW	10
Hub height	m	20
Rotor diameter per turbine	m	7
Swept area per turbine	m ²	38
Shape factor	-	2.0



فصل چهارم: ارائه نتایج

همانطوری که از جدول ۴-۳۵ مشخص می باشد ظرفیت اسمی توربین ۱۰ کیلووات و ارتفاع آن از سطح زمین ۲۰ متر می باشد و قطر روتور ملخ آن ۷ متر می باشد. در جدول ۴-۳۶ ارزیابی استفاده از توربین بادی ارائه شده است:

جدول ۴-۳۶ ارزیابی نصب توربین بادی در مجموعه ورزشی بیرجند

نوع فعالیت	ظرفیت اسمی <i>kw</i>	میزان هزینه اجرا کل (هزار ریال)	میزان کاهش مصرف برق در یک سال (<i>Mwh</i>)	درصد صرفه جویی نسبت به کل	دوره بازگشت (سال)
توربین بادی	۱۰	۱۰۰۰۰۰	۱۹	۱۴	۳

مطابق با جدول ۴-۳۷ مقادیر انرژی تولید شده ی خالص و تصحیح نشده و ضرایب تصحیح فشار و دما و همچنین ضریب تلفات و ضریب تلفات ارائه شده است:

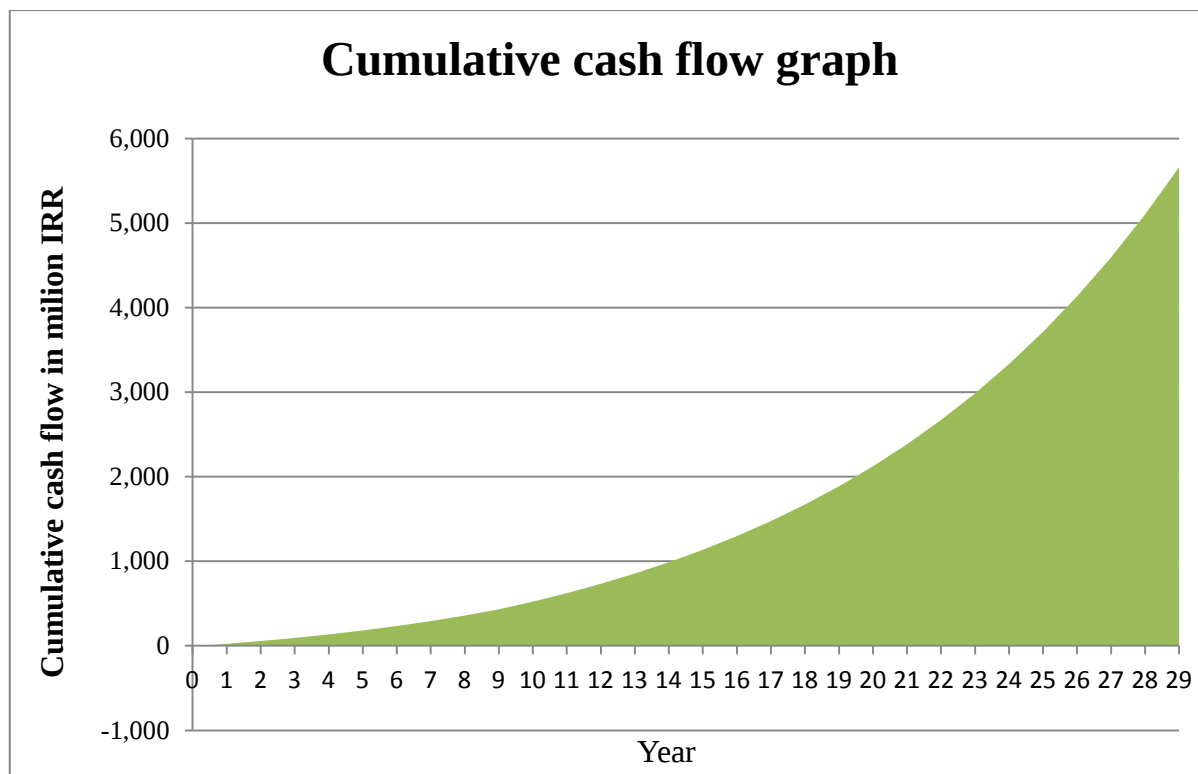
جدول ۴-۳۷ پارامترهای تولید توربین بادی

Unadjusted energy production	MWh	23
Pressure coefficient	-	0.836
Temperature coefficient	-	0.995
Gross energy production	MWh	19
Losses coefficient	-	0.86
Specific yield	kWh/m ²	431

در نمودار ۴-۹ میزان سود انباشته در مدت عمر پروژه نشان داده شده است:



نمودار ۴-۹ دوره بازگشت سرمایه و سود انباشته شده حاصل از نصب توربین بادی در ۳۰ سال



در جدول ۴-۳۸ دوره بازگشت سرمایه و دیگر پارامترهای اقتصادی که قبلاً در مورد آنها مفصل بحث شد،

ملاحظه می‌شود:

جدول ۴-۳۸ امکان سرمایه گذاری

Financial viability		
Simple payback	yr	3.1
Equity payback	yr	1.2
Net Present Value (NPV)	IRR	5,660,525,347
Annual life cycle savings	IRR/yr	188,684,178
Benefit-Cost (B-C) ratio	-	189.68
Debt service coverage	-	3.53



در این فصل به ارائه نتایج محاسبات مربوط به سیستم های انرژی تجدیدپذیر و روشهای کاهش مصرف انرژی در ساختمان مجموعه ورزشی بیرجند پرداخته شد. این محاسبات توسط دو نرم افزار مطرح در این زمینه یعنی *Carrier* و *RETScreen* انجام شده است. در فصل بعدی پکیده ای از نتایج موجود به منظور جمع بندی بحث ارائه خواهد شد.



دانشگاه صنعتی شاهرود

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات



۵-۱ نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی فنی و اقتصادی ایجاد یک ساختمان صفر انرژی پرداخته شد. برای این کار ابتدا ساختمان نمونه‌ای انتخاب و سپس راهکارهای کاهش مصرف انرژی از قبیل ایجاد سایه بان بر روی جدارهای نور گذر، نصب سیستم کنترل هوشمند موتورخانه، تنظیم مشعل ها، تنظیم دمای داخل برای فصول سرد و گرم، تعویض بالاست القایی با الکترونیکی و عایق کاری دیوارهای بیرونی (که از قبل عایق بوده است) ، بر روی ساختمان پیاده شده و سپس با استفاده از نرم افزار Carrier مدل سازی حرارتی ساختمان انجام شده است و مصرف انرژی آن با توجه به نتایج نرم افزار و قبض های مصرف انرژی ساختمان محاسبه شده است. برای تولید انرژی در این ساختمان، با استفاده از نرم افزار RETScreen که نرم افزاری برای مدل سازی پروژه های انرژی پاک می باشد، سه روش تولید انرژی در نظر گرفته شده است یکی از آنها تولید آب گرم مصرفی توسط آب گرمکن های خورشیدی است یکی دیگر تولید برق از سلول های الکترو ولتایی یا همان فتوولتائیک است و دیگری تولید برق از انرژی باد از طریق توربین بادی می باشد. در زیر جدول مربوط به این اقدامات ملاحظه می شود:



جدول ۱-۵ اقدامات صورت گرفته جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان مجموعه ورزشی بیرجند

نوع فعالیت	میزان هزینه اجرا (هزار ریال)	درصد صرفه جویی نسبت به مصرف هر بخش	میزان صرفه جویی انرژی $kwh/year$	دوره بازگشت
تنظیم دمای داخل فضاها برای تابستان	-	5	۹۷۰۴	-
تنظیم دمای داخل فضاها برای زمستان	-	8	۳۸۸۵۲	-
تنظیم و سرویس مشعل ها	-	۲	8995	-
پرده هوایی	۱۵۰۰۰	-	-	-
آبگرمکن خورشیدی	162000	۶۰	52582	14,5
تعویض بالاست القایی با الکترونیکی	7200	۲۰	11405	0,5
نصب سایه بان برای پنجره ها	7500	۳	5934	7
نصب سلول های الکترو ولتایی	2700000	۹۱	۱۲۴۶۰۰	4,5
نصب سیستم کنترل هوشمند موتور خانه	۱۰۰۰۰	20	110522	0,7
نصب توربین بادی	۱۰۰۰۰۰	۱۴	۱۹۰۰۰	۳

با توجه به اینکه هدف در این تحقیق رسیدن به ساختمان صفر انرژی بوده است و مصرف برق ساختمان ۱۳۶ مگاوات ساعت در سال بوده است که با اقدامات بهینه سازی به ۱۲۵ مگاوات ساعت در سال کاهش پیدا کرده است و مجموع برق تولیدی توسط مازول های فتوولتائیک و توربین بادی برابر 143 مگاوات می باشد، مقدار ۱۸ مگاوات ساعت در سال مازاد تولید برق ساختمان می باشد که این انرژی اضافه به شبکه تزریق شده است. با این تفاسیر و با توجه به تعریف یک ساختمان با مصرف خالص انرژی صفر از منظر مصرف برق، ساختمان مجموعه ورزشی به این هدف نائل شده است و می تواند مصرف برق یک سال خود و حتی بیشتر از آن را تولید کند. اما در مصرف گاز ساختمان قضیه کمی متفاوت می باشد، چون در این ساختمان از گاز هم برای گرمایش و هم سرمایش استفاده می شود و تنها آب گرم مصرفی این ساختمان توسط کلکتور های خورشیدی تامین شده است، ساختمان مجموعه ورزشی در این زمینه به مصرف انرژی



صفر دست پیدا نکرده است و تنها ۴۰ درصد از مصرف گاز این ساختمان با اقدامات بهینه سازی و نصب کلکتور های خورشیدی کاسته شده است. لذا برای اینکه ساختمان از نظر مصرف گاز طبیعی نیز به یک ساختمان صفر انرژی تبدیل شود پیشنهادات زیر قابل ارائه می باشد.

۵-۲ پیشنهادات

برای صفر شدن مصرف گاز می توان موارد زیر را در آینده مد نظر قرار داد:

۱- استفاده از کلکتورهای خورشیدی برای پیش گرمایش و یا گرمایش آب داغ تغذیه چیلر و بویلر

۲- استفاده از پمپ حرارتی با منبع حرارتی زیر زمینی برای گرمایش ساختمان

۳- استفاده از زیست توده به عنوان منبع تجدیدپذیر تولید حرارت

۴- استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت و سرما CCHP

قابل ذکر است که هر کدام از موارد بالا به تنهایی می تواند ساختمان را از نظر مصرف گاز طبیعی به یک ساختمان صفر انرژی تبدیل کند البته در مورد ۴ اگر از زیست توده استفاده شود می توان به این هدف دست یافت چون سیستم های تولید همزمان معمولاً از سوخت های فسیلی برای تولید قدرت استفاده می کنند.

- [1] L. Wang, J. Gwilliam, and P. Jones, "Case study of zero energy house design in UK," *Energy and Buildings*, vol. 41, pp. 1215-1222, 2009.
- [2] P. Hernandez and P. Kenny, "From net energy to zero energy buildings: defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB)," *Energy and Buildings* 42, vol. 46, pp. 815-821, 2010.
- [3] S. M. Bambrook, A. B. Sproul, and D. Jacob, "Design optimisation for a low energy home in sydney," *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 1702-1711, 2011.
- [4] G. Leng, L. Dignard-Bailey, J. Bragagnolo, and G. Tamizhmani, "Overview of the Worldwide Photovoltaic Industry," 1996.
- [5] M. Ross and J. Royer, "Photovoltaics in Cold Climates," *James and James Ltd*, 1999.
- [6] R. Rangi, J. Templin, M. Carpentier, and D. Argue, "Canadian Wind Energy Technical and Market Potential," 1992.
- [7] W. P. Monthly, "The Windicator-Operational Wind Power Capacity Worldwide," 2001.
- [8] D. Crawley, S. Pless, and P. Torcellini, "Getting to net zero," *ASHRAE Journal* 51, pp. 18-25, 2009.
- [9] "The Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings," *Official Journal of the European Union*, 2010.
- [10] <http://www.iea-shc.org/task40/index.html>.
- [11] A. J. Marszala, et al., "Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies," *Energy and Buildings*, pp. 971-979, 2011.
- [12] <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CategoryID=19>.
- [13] <http://www.breeam.org/>.

- [14] P. Torcellini, S. Pless, M. Deru, and D. Crawley, "Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition," *ACEEE Summer Stud, Pacific Grove, California, USA*, 2006.
- [15] B. Vale and R. Vale, *The New Autonomous House: Design and Planning for Sustainability*. Thames & Hudson Ltd, 2002.
- [16] S.kilkis, "A New Metric for Net-zero Carbon Buildings," in *Energy Sustainability Conference*, Long Beach, California, 2007.
- [17] M. Noguchi, A. Athienitis, V. Delisle, J. Ayoub, and B. Berneche, "Net Zero Energy Homes of the Future: A Case Study of the ÉcoTerra™ House in Canada," in *Renewable Energy Congress*, Glasgow, Scotland, July, 2008.
- [18] P. A. Torcellini and D. B. Crawley, "Understanding zero-energy buildings," *ASHRAE Journal* 48, vol. 9, pp. 62-69, 2006.
- [19] C. f. t. B. Environment, "Getting to Zero-energy Buildings," in *Centerline*, USA, 2008.
- [20] N. R. Center, "The Potential Impact of Zero Energy Homes," in *NAHB Research Center*, Maryland, USA, 2006.
- [21] G. A. Mertz, G. S. Raffio, and K. Kissock, "Cost Optimization of Net-zero Energy House," in *Energy Sustainability*, California, USA, 2007.
- [22] J.Laustsen, "Energy Efficiency Requirements in Building Codes," in *Energy Efficiency Policies for New Buildings*, Paris, 2008.
- [23] W.Gilijamse, "Zero-energy houses in the Netherlands," in *Building Simulation*, Madison, Wisconsin, USA, 1995.
- [24] T. V. Esbensen and V. Korsgaard, "Dimensioning of the solar heating system in the zero energy house in Denmark," *Solar Energy*, vol. 19, pp. 195-199, 1977.
- [25] S. Rosta, R. Hurt, R. Boehm, and M. J. Hale, "Performance of a zero-energy house," *Journal of Solar Energy Engineering Transactions of the ASME*, vol. 130, pp. 0210061-0210064, 2008.

- [26] M.T.Eqba, "A feasibility study of zero energy home in Newfoundland," *Renewable Energy*, pp. 277-289, 2004.
- [27] "CEN, EN 15603:2008, Energy performance of buildings – overall energy use and definition of energy rating," 2008.
- [28] R. W. Besant, R. S. Dumont, and G. Schoenau, "The Saskatchewan conservation house: some preliminary performance results," *Energy and Buildings*, vol. 2, pp. 163-174, 1979.
- [29] T. Saitoh, H. Matsuhashi, and T. Ono, "An energy-independent house combining solar thermal and sky radiation energies," *Solar Energy*, vol. 35, pp. 541-547, 1985.
- [30] A. J. Marszal, et al., "Net Zero Energy Buildings – Calculation Methodologies versus National Building Codes," in *EuroSun Conference*, Graz, Austria, 2010.
- [31] W.Stahl, K.Voss, and A.Goetzberger, "The self-sufficient solar house Freiburg," *Solar Energy*, vol. 52, no. 1, pp. 111-125, 1994.
- [32] K. Voss, A. Goetzberger, G. Bopp, A. Häberle, and H. Lehmberg, "The self sufficient solar house in Freiburg – results of 3 years of operation," *Solar Energy*, vol. 58, pp. 17-23, 1996.
- [33] P. Platell and D. A. Dudzik, "Zero Energy Houses Geoexchange, Solar CHP, and Low Energy Building Approach," in *Energy Sustainability Conference*, Long Beach, California, 2007.
- [34] J. Kramer, A. Krothapalli, and B. Greska, "The Off-grid Zero Emission Building," in *Energy Sustainability Conference*, Long Beach, California, 2007.
- [35] D. S. Parker, M. Thomas, and T. Merrigan, "On the Path to Zero Energy Homes," 2001.
- [36] T. BOLIG+. <http://www.boligplus.org/>.
- [37] "The Danish Ministry of Economic and Business Affairs Danish Enterprise and Construction Authority," 2007.
- [38] <http://www.activehouse.info/>.

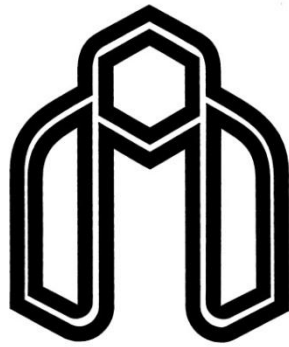
- [39] H. Lund, A. Marszal, and P. Heiselberg, "Zero Energy Buildings and Mismatch Compensation Factors," *Energy and Buildings*, accepted for publication.
- [40] "Office of Energy Efficiency homes. Energy efficient new housing/ R 2000".
- [41] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd Edition*. John Wiley & Sons, 1991.
- [42] J. E. Braun and J. C. Mitchell, "Solar Geometry for Fixed and Tracking Surfaces," *Solar Energy*, vol. 31, pp. 439-444, 1983.
- [43] D. L. Evans, "Simplified Method for Predicting Photovoltaic Array Output," *Solar Energy*, vol. 27, pp. 555-560, 1981.
- [44] W. C. Swinbank, "Long-Wave Radiation from Clear Skies," *Quarterly J. Royal Meteorological Soc*, vol. 89, pp. 339-348, 1963.
- [45] ASHRAE, *Applications Handbook (SI) - Service Water Heating*. 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA, 30329, USA: American Society of Heating Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1995.
- [46] M. Chandrashekar and D. Thevenard, "Comparison of WATSUN 13.1 Simulations with Solar Domestic Hot Water System Test Data from ORTECH/NSTF – Revised Report," 1995.
- [47] P. Hosatte, "Personal Communication," 1998.
- [48] H. Soltan, "Testing the Thermal Performance of Uncovered Solar Collectors," *Solar Energy*, vol. 49, pp. 263-272, 1992.
- [49] NRCAN, "ENERPOOL Program, Version 2.0," 1998.
- [50] T. R. Hiester and W. T. Pennell, *The Siting Handbook for Large Wind Energy Systems*. New York, NY, USA: WindBooks, 1981.
- [51] P. Gipe, *Wind Energy Comes of Age*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1995.

- [52] K. W. Li and A. P. Priddy, *Power Plant System Design*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc, 1985.

Abstract

The concept of Zero Energy Building (ZEB) has gained wide international and is now seen as the future target for the design attention during last few years in the national building of buildings. However, before being fully implemented codes and international standards, the ZEB concept requires clear and consistent definition and a commonly agreed energy calculation methodology. The most new should be given special attention before developing a important issues that (2) the balancing period, (3) definition are: (1) the metric of the balance, ZEB of energy use included in the balance, (4) the type of energy balance, the type (5) the accepted renewable energy supply options, (6) the connection to the (7) the requirements for the energy efficiency, the infrastructure and energy the building-grid and in case of gird connected ZEB for indoor climate interaction. This paper focuses on the review of the most of the existing ZEB and the various approaches towards possible ZEB calculation definitions possible answers to the discusses methodologies. It presents and abovementioned issues in order to facilitate the development of a consistent definition and a robust energy calculation methodology. ZEB Possible solutions for zero energy building design in Birjand are discussed in this paper. Simulation software (Carrier and RETScreen) are employed in this study, where Carrier simulations are applied to enable facade design studies considering building materials, window sizes and orientations and RETScreen is used for the investigation of the feasibility of zero energy houses with renewable electricity, solar hot water system and energy efficient heating systems under Birjand weather conditions. Various design methods are compared and optimal design strategies for typical homes and energy systems are provided.

Keywords: Zero Energy Building , Zero Emission Building , Net Zero Energy Building ,ZEB definition ,Energy calculation methodologies



Shahrood University of Technology
Faculty of Mechanical Engineering

Technical and economic research of using net zero energy buildings to reduce natural gas consumption

Thesis

Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science (M.Sc)

Hamed bakhtiari

Supervisors

Dr. M. Farzaneh-gord

Dr. A. Jabbari moghadam

Date: January 2013

