مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا

تاسیسات و انرژی سبز در سکونتگاه های انسانی

مولفان:
مجتبی ولی بیگی، احمد محمدی، فاطمه آقائی

به نام خداوند جان و خرد

تأسیسات و انرژی سبز
در سکونتگاه انسانی

مؤلفان:

دکتر مجتبی ولی بیگی (استادیار مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا)

دکتر احمد محمدی (استادیار مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا)

خانم فاطمه آقائی (مدرس دانشگاه)

۱۳۹۹

سرشناسه	:	ولی‌بیگی، مجتبی، ۱۳۶۳-
عنوان و نام پدیدآور	:	تاسیسات و انرژی سبز در سکونتگاه‌های انسانی/ مولفان مجتبی ولی‌بیگی، احمد محمدی، فاطمه آقائی؛ ویراستار مژگان ولی‌بیگی؛ [برای] مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین‌زهرا.
مشخصات نشر	:	کرج: مهر سمان، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	:	ح،۱۹۳ص.: مصور (بخشی رنگی)، جدول (بخشی رنگی)، نمودار (بخشی رنگی).
شابک	:	۹۷۸۶۲۲۹۶۲۱۶۹۱
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	پشت جلد به انگلیسی : Mojtaba Valibeigi,Ahmad Mohammadi,Fateme Aghaei.Green installation & energy in human settlements.
یادداشت	:	کتابنامه : ص. [۱۸۸] - ۱۹۳ ؛ همچنین به صورت زیرنویس.
موضوع	:	پمپ‌های خورشیدی
موضوع	:	Solar pumps
موضوع	:	انرژی بادی
موضوع	:	Wind power
موضوع	:	انرژی بادی -- ایران
موضوع	:	Wind power-- Iran
موضوع	:	انرژی‌های پایان‌ناپذیر
موضوع	:	Renewable energy sources
شناسه افزوده	:	محمدی، احمد، ۱۳۵۵ شهریور -
شناسه افزوده	:	آقایی، فاطمه، ۱۳۷۲-
شناسه افزوده	:	مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بویین‌زهرا
رده بندی کنگره	:	TJ۹۱۲
رده بندی دیویی	:	۶۲۷/۵۲
شماره کتابشناسی ملی	:	۶۱۳۸۵۹۵

نام کتاب: تأسیسات و انرژی سبز در سکونتگاه انسانی

مولف: مجتبی ولی بیگی، احمد محمدی، فاطمه آقائی

ویراستار:مژگان ولی بیگی

ناشر:مهرسمان

چاپ اول: اردیبهشت ۱۳۹۹

تیراژ:۳۰۰

قطع:وزیری

چاپ:اول

قیمت: ۵۰۰۰۰۰ ریال

شابک: ۱-۹-۹۶۲۱۶-۶۲۲-۹۷۸

کلیه حقوق این اثر برای مولفان و ناشر محفوظ است.

نشانی: فردیس،خیابان ۲۵ غربی،شماره ۷۰. نمابر: ۹۸۲۱۸۹۷۷۰۶۵۹

درآمد

اقلیم زمین ســـریعتر از هر زمانی در تاریخ تمدن مدرن در حال تغییر اســـت، که علت اصلی اش در نتیجه فعالیت های انسان است. تغییر اقلیم جهانی طیف وسیعی از تاثیرات را بر مناطق مختلف جهان و بخش های اقتصـــادی در دهه های آتی خواهد گذارد. یکی از عوامل تغییر اقلیم، احتراق سوخت های فـسیلی برای تولید انرژی ا ست. با پیـشرفت های صورت گرفته در حوزه تکنولوژی های پایدار و سبز، هر روز استفاده از سوخت های جایگزین تجدیدپذیر بیـشتر رایج می شود و ا ستفاده از آنها بجای سوخت های فـسیلی معمول بیـشتر توجیح اقتـصادی پیدا می کند. آ شنایی بیـشتر مردم با این سوخت های تجدیدپذیر از یک ســو و ارائه مشــوق هایی برای ترغیب عموم جهت اســتفاده از انها می تواند گامی در این مسیر باشد. تاسیسات شهری و روستایی بایستی به سمت بکارگیری انرژی های ســـبز و پایدار حرکت کنند. دولت ها و نهادهای عمومی در این حوزه باید پیشـــرو باشـــند. آموزش و اگاهی عمومی در زمینه بکارگیری انرژی های ســـبز، ســـرمایه گذاری در پژوهش هایی در این حوزه و ارائه مشـــوق ها به مردم برای بکارگیری چنین تکنولوژی هایی بخشـــی از این کارهاســـت. نهادهای عمومی و دولتی خود نیز باید در هنگام ایجاد تاسیسات در سکونتگاه های انسانی، چنین راهکارهای بهینه مصرف کردن انرژی و تکنولوژی های ســـبز را در نظرگرفته و به صـــورت فعالانه ای آنها را بکار گیرند. شـــاید از اولین ســـوالهایی که ذهن یک فرد را برای انتخاب بکارگیری چنین تکنولوژی هایی به خود مشـــغول می دارد، توجیح پذیری مالی آن و میزان هزینه های بکارگیری اش باشد. بر این ا ساس کتاب تا سیسات و انرژی سبز در سکونتگاهای انـسانی با هدف ترغیب مردم، نهادهای عمومی و دولتی جهت بکارگیری تکنولوژی های سبز و پایدار، به صـــورت گام به گام و ســـاده تلاش می کند تا نحوه بکارگیری چنین تکنولوژی هایی

ارزیابی شـــود. از آنجا که یکی از رســـالت ها و اهداف مهم انجمن تغذیه طبیعی و گیاهخواری آذربایجان شــرقی، حفاظت از ســیاره عزیزمان و توســعه و ترویج بکارگیری روش های پایدار در استفاده از محیط زیست ارزشمندمان است؛ اعضای انجمن کتاب حاضر را تهیه کرده و با همکاری با انتشارات مهرسمان اقدام به نشر و چاپ آن نمودند. امید هر روز به سمت سیاره ای سبزتر و پایدارتر برای همه حرکت کنیم.

با احترام

خردادماه ۱۳۹۹

رحیمه عزیززاده

مدیر انجمن تغذیه طبیعی و گیاهخواری آذربایجان شرقی

پیشگفتار مؤلفان

امروزه دانش و تکنولوژی‌های در دسترس به حدی از پیشرفت رسیده‌اند که بتوانیم ساختمان‌ها، روستاها و شهرهایی که از منابع پاک استفاده می‌کنند را طراحی کنیم. در کشورهایی چون آلمان و ژاپن بعضی از تکنولوژی‌های پاک مانند یکپارچه‌سازی فوتوولتائیک ساختمان‌ها پیش‌ازاین محبوبیت قابل قبولی را به دست آورده‌اند. برای حرکت به سمت محیط‌های زندگی پایدارتر و سبزتر، بایستی در مطالعات تأسیسات و زیرساخت‌های شهری، مطالعات امکان‌سنجی به‌کارگیری چنین تکنولوژی‌هایی لحاظ شود.

مطالعات پیش امکان‌سنجی و امکان‌سنجی به‌کارگیری تکنولوژی‌های انرژی پاک در محیط زندگی‌مان راهکاری است تا بدان وسیله با هزینه بسیار کم، توجیه‌پذیری اقتصادی و زیست‌محیطی به‌کارگیری چنین فناوری‌هایی موردبررسی، مقایسه و تحلیل قرار گیرد که یکی از ابزارهای آن نرم‌افزار ریت اسکرین می‌باشد. این نرم‌افزار به میزان قابل‌ملاحظه‌ای هزینه‌های مالی و زمانی مرتبط با شناسایی و ارزیابی پروژه‌های بالقوه انرژی را کاهش می‌دهد. این نرم‌افزار جامع‌ترین محصول در نوع خود بوده و اجازه می‌دهد تا هرگونه پروژه انرژی پاک مدل‌سازی و تحلیل شود. وجود چنین ویژگی‌هایی در این نرم‌افزار، آن را به ابزاری ضروری جهت بررسی ریسک تبدیل می‌کند.

هدف اصلی این کتاب کمک به مردم و سازمان‌ها برای توسعه انرژی پایدار و راه‌اندازی برنامه‌ها و پروژه‌های مربوطه می‌باشد و با استفاده از نرم‌افزار ریت اسکرین به بررسی و تحلیل امکان‌سنجی به‌کارگیری انرژی‌های پاک با تأکید بر انرژی خورشیدی و بادی می‌پردازد.

این کتاب که در چهار فصل تهیه‌شده است در فصل اول به بررسی تکنولوژی‌های انرژی پاک و فرایند و مراحل مطالعات امکان‌سنجی یک پروژه نمونه انرژی پاک می‌پردازد. در

فصل دوم نرم‌افزار تحلیل پروژه انرژی پاک ریت اسکرین، نحوه کار با این نرم‌افزار و پایه‌های مدل‌سازی‌های انرژی، مالی و تحلیل ریسک و حساسیت در این نرم‌افزار موردبررسی و تحلیل قرار می‌گیرد در فصل سوم به بررسی سیستم‌های فوتوولتائیک و پایه‌های نظری مدل‌سازی استفاده‌شده از انرژی خورشیدی، اعتبارسنجی محاسبات و الگوریتم‌های استفاده‌شده به‌وسیله مدل پروژه فتوولتائیک ریت اسکرین پرداخته می‌شود. درنهایت به تحلیل چند نمونه از پروژه‌های فوتوولتائیک با استفاده از نرم‌افزار ریت اسکرین در داخل و خارج از ایران می‌پردازیم. فصل چهارم پایه‌های نظری مدل‌سازی استفاده‌شده برای تحلیل پروژه انرژی بادی و الگوریتم‌های استفاده‌شده مدل پروژه انرژی بادی ریت اسکرین موردمطالعه قرار می‌گیرد و به تحلیل و بررسی نمونه پروژه‌های انرژی بادی در داخل و خارج از ایران می‌پردازد.

در پایان بر خود لازم می‌دانیم که از تمامی دوستان و همکارانی که در طول سال‌های گذشته با کمک‌های فکری خود به ما در تدوین این کتاب یاری رسانده‌اند، تشکر نماییم و امیدواریم این کتاب بتواند سهمی هرچند کوچک در پیشبرد ترویج و به‌کارگیری انرژی‌های پاک در ایران داشته باشد.

فهرست مطالب

فصل اول: انرژی‌های پاک **۱**
۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ تکنولوژی‌های انرژی پاک ۳
۱-۲-۱ دلایل توجه روزافزون به تکنولوژی‌های انرژی پاک ۵
۱-۲-۲ مشخصات عمومی تکنولوژی‌های انرژی پاک ۹
۱-۲-۳ تکنولوژی‌های تولیدکننده الکتریسیته با انرژی پاک ۱۱
۱-۳ مطالعات امکان‌سنجی اولیه ۱۷
۱-۳-۱ شرایط مطلوب پروژه ۲۰
۱-۳-۲ عوامل حیاتی پروژه ۲۱
فصل دوم:نرم‌افزار تحلیل پروژه انرژی پاک ریت اسکرین **۲۳**
۲-۱ مقدمه ۲۴
۲-۲ پلت فرم مشترک برای ارزیابی و توسعه پروژه ۲۷
۲-۳ مدل‌های تکنولوژی انرژی پاک ۲۹
۲-۴ پایگاه داده بین‌المللی مرتبط با انرژی پاک ۲۹
۲-۴-۱ داده‌های هواشناسی زمینی ۳۰
۲-۴-۲ مجموعه داده‌های هواشناسی مستخرج از ماهواره ناسا ۳۲
۲-۵ پایگاه داده محصول ۳۵
۲-۶ داده‌های هزینه ۳۷
۲-۷ مواد آموزشی و کتابچه راهنمای آنلاین کاربران ۳۷
۲-۸ مدل تحلیل مالی ۳۹
۲-۸-۱ پرداخت وام ۳۹
۲-۸-۲ استهلاک دارایی ۴۰

۲-۹ شاخص‌های امکان‌سنجی مالی ۴۰
۲-۱۰ مدل‌های تحلیل حساسیت و ریسک ۴۱
۲-۱۰-۱ کار برگ تحلیل حساسیت و ریسک ۴۲
۲-۱۰-۲ شبیه‌سازی مونت‌کارلو ۴۲
۲-۱۰-۳ گراف میزان تأثیر ۴۳
۲-۱۰-۴ میانه و بازه اطمینان ۴۵
فصل سوم:سیستم‌های فوتوولتائیک ۴۶
۳-۱ مقدمه ۴۷
۳-۲ سیستم‌های فوتوولتائیک ۴۸
۳-۲-۱ ماژول PV ۴۹
۳-۲-۲ باتری‌ها ۵۰
۳-۲-۳ تهویه قدرت ۵۱
۳-۲-۴ ژنراتورها ۵۱
۳-۲-۵ پمپ‌ها ۵۲
۳-۳ بازار سیستم‌های فوتوولتائیک ۵۳
۳-۳-۱ کاربردهای متصل به شبکه ۵۳
۳-۳-۲ کاربردهای منفصل از شبکه ۵۵
۳-۳-۳ کاربردهای پمپاژ آب ۵۷
۳-۴ تحلیل پروژه فوتوولتائیک در نرم‌افزار ریت اسکرین ۵۸
۳-۴-۱ مدل متصل به شبکه ۶۱
۳-۴-۲ مدل منفصل از شبکه ۶۲
۳-۴-۳ مدل پمپ آب ۶۲
۳-۵ انواع بارها ۶۴

۳-۵-۱ انرژی ارسالی از طریق باتری ۶۶
۳-۶ آرایه، باتری و اندازه ژنراتور ۷۰
۳-۷ اعتبارسنجی ۷۱
۳-۷-۱ اعتبارسنجی محاسبه زاویه تابش در مقایسه با مدل ساعتی ۷۱
۳-۷-۲ نتایج اعتبارسنجی ۷۳
۳-۷-۳ اعتبارسنجی مدل منفصل از شبکه در مقایسه با مدل ساعتی ۷۹
۳-۸ نمونه پروژه گرمایش خورشیدی (آبگرم کن خورشیدی روستایی) ۸۲
۳-۸-۱ شرح وظیفه ۸۲
۳-۸-۳ اطلاعات مالی پروژه ۸۵
۳-۸-۴ تحلیل پروژه نمونه ۸۶
۳-۸-۵ نتایج ۹۷
۳-۹ پروژه سیستم روشنایی خورشیدی در پارک‌های شهری ۹۹
۳-۹-۱ اطلاعات مکانی سایت ۹۹
۳-۹-۲ اطلاعات مالی پروژه ۱۰۰
۳-۹-۳ تحلیل مالی: ۱۰۵
۳-۹-۴ تحلیل نتایج به‌دست‌آمده ۱۰۶
۳-۱۰ تأمین برق مدرسه در منطقه‌ای دورافتاده در آرژانتین ۱۰۷
۳-۱۰-۱ شرح وظیفه ۱۰۸
۳-۱۰-۲ اطلاعات مکانی ۱۰۸
۳-۱۰-۳ اطلاعات مالی ۱۰۹
۳-۱۰-۴ نتایج ۱۱۷
۳-۱۱ نمونه پروژه فوتوولتائیک پمپ آب محلی ۱۱۸
۳-۱۱-۱ شرح وظیفه ۱۱۸

۳-۱۱-۲ اطلاعات مکانی سایت ۱۱۸
۳-۱۱-۳ اطلاعات مالی ۱۱۹
۳-۱۱-۴ نتایج ۱۲۶
۳-۱۲ نمونه پروژه سیستم PV مخابراتی بریتیش کلمبیا کانادا ۱۲۷
۳-۱۲-۱ شرح وظیفه ۱۲۸
۳-۱۲-۲ اطلاعات مکانی ۱۲۸
۳-۱۲-۳ اطلاعات مالی ۱۲۹
۳-۱۲-۴ نتایج ۱۳۷
۳-۱۳ نتیجه‌گیری ۱۳۸
فصل چهارم:تحلیل پروژه انرژی بادی ۱۳۹
۴-۱ مقدمه ۱۴۰
۴-۲ توصیف توربین‌های بادی ۱۴۱
۴-۳ بازارهای کاربرد انرژی بادی ۱۴۲
۴-۳-۱ کاربردهای منفصل از شبکه ۱۴۳
۴-۳-۲ کاربردهای متصل به شبکه ۱۴۳
۴-۴ مدل پروژه انرژی بادی ریت اسکرین ۱۴۵
۴-۴-۱ تولید انرژی تعدیل نشده ۱۴۷
۴-۴-۲ توزیع سرعت باد ۱۴۸
۴-۴-۳ منحنی انرژی ۱۴۹
۴-۴-۴ انرژی تعدیل نشده ۱۵۰
۴-۴-۵ تعیین انرژی خام ۱۵۱
۴-۴-۶ انرژی تجدید پذیر دریافتی ۱۵۱
۴-۴-۶-۱ مجموع انرژی تجدید پذیر ۱۵۲

۲-۶-۴-۴ میزان جذب و انرژی تجدید پذیر دریافتی ۱۵۲
۳-۶-۴-۴ انرژی تجدید پذیر مازاد در دسترس ۱۵۴
۷-۴-۴ بازده ویژه ۱۵۴
۸-۴-۴ عامل ظرفیت نیروگاه بادی ۱۵۴
۹-۴-۴ اعتبار ۱۵۵
۱-۹-۴-۴ اعتبارسنجی مدل انرژی بادی در مقایسه با مدل ساعتی ۱۵۵
۲-۹-۴-۴ اعتبارسنجی مدل انرژی بادی در مقایسه با داده‌های مشاهده‌شده ۱۶۰
۵-۴ توصیف پروژه ۱۶۲
۱-۵-۴ شرح وظایف ۱۶۲
۶-۴ پروژه انرژی بادی مقایسه سیستم هیبرید بادی-دیزلی در چند شهر نمونه ایران ۱۶۳
۱-۶-۴ شهر مشهد ۱۶۳
۲-۶-۴ شهر ایلام ۱۶۷
۳-۶-۴ شهر تبریز ۱۷۱
۷-۴ تولید انرژی سبز، پروژه انرژی بادی در آلبرتای کانادا ۱۷۵
۱-۷-۴ اطلاعات مکانی ۱۷۵
۲-۷-۴ اطلاعات مالی ۱۷۶
۳-۷-۴ مراحل کار در نسخه ریت اسکرین ۳ ۱۷۶
۴-۷-۴ توصیف سیستم ۱۸۴
۵-۷-۴ درس‌های گرفته‌شده از این پروژه ۱۸۵

منابع ۱۸۶

فصل اول

انرژی‌های پاک

۱-۱ مقدمه

استفاده از تکنولوژی‌های انرژی پاک به‌طور گسترده‌ای در چند دهه گذشته گسترش‌یافته است. تکنولوژی‌هایی که زمانی نامتعارف و بیگانه می‌نمودند و هم‌اکنون واقعیتی تجاری هستند، روش‌هایی به لحاظ هزینه‌ای کارآمد را به نسبت روش‌های متداول ارائه می‌کنند و مشکلات مرتبط با این سیستم‌ها را همانند انتشار گازهای گلخانه‌ای، هزینه‌های استخراج بالا و آلودگی زیست‌محیطی را ندارند.

نرم‌افزار تحلیل پروژه انرژی پاک ریت اسکرین، ابزاری ویژه در جهت تسهیل پیش امکان‌سنجی و امکان‌سنجی تکنولوژی‌های انرژی پاک می‌باشد. هسته این ابزار شامل نرم‌افزار تحلیل پروژه جامع و استانداردشده‌ای می‌باشد. همه مدل‌های تکنولوژی انرژی پاک در ریت اسکرین، نگاه یکسانی دارند و از یک رهیافت استاندارد برای تسهیل کار تصمیم گیران با نتایج قابل‌اتکا تبعیت می‌کنند. هر یک از این مدل‌ها همچنین شامل پایگاه داده‌های تولید، هزینه و آب‌وهوایی یکپارچه و دستورالعمل آنلاین تفضیلی برای کاربران می‌باشند که به‌شدت در کاهش زمان و هزینه‌های مرتبط با مطالعات پیش امکان‌سنجی مؤثرند.

همچنین ریت اسکرین بین‌المللی اطلاعات و خصوصیاتی را فراسوی یک ارزیابی پیش امکان‌سنجی و امکان‌سنجی در اختیار کاربران قرار می‌دهد. کسانی که هیچ دانش اولیه‌ای برای مثال در مورد انرژی خورشیدی ندارند، می‌توانند درک خوبی از قابلیت‌های این تکنولوژی با خواندن بخش راهنما به دست آورند. یک مهندس برای اینکه خیلی سریع با به‌کارگیری محاسبات منبع انرژی خورشیدی، ارزش به‌کارگیری آن را بسنجد، نیاز به دانستن میزان انرژی خورشیدی ماهانه‌ای دارد که بر روی یک سطح شیب‌دار در یک سایت ساختمانی می‌افتد. یک سرمایه‌گذار می‌تواند با به‌کارگیری قابلیت‌های تحلیل ریسک و حساسیت موجود در مدل به ارزیابی ریسک مرتبط با سرمایه‌گذاری در یک پروژه خاص بپردازد.

نرم‌افزار ریت اسکرین، نرم‌افزاری با انعطاف‌پذیری بالا برای کاربران مختلفی که نیازهای متنوع دارند، می‌باشد؛ که کاربران با توجه حوزه‌ای که بدان علاقه‌مندند می‌توانند آن را به‌کارگیرند. این کتاب خوانندگان را با تأکید بر پروژه تحلیل انرژی پاک خورشیدی فتوولتائیک که می‌تواند با تغییراتی در مورد سایر پروژه‌های تحلیل انرژی نیز بکار گرفته شود یاری می‌رساند.

این کتاب از یک مرور کلی بر تکنولوژی‌های انرژی پاک آغاز می‌شود؛ سپس نحوه عمل هرکدام از مدل‌های انرژی پاک در ریت اسکرین شرح داده می‌شود و درنهایت به بررسی تفضیلی‌تری از یک پروژه فوتوولتائیک و پروژه‌های انرژی بادی در ریت اسکرین می‌پردازد.

۱-۲ تکنولوژی‌های انرژی پاک

این بخش تکنولوژی‌های انرژی پاک را در ابتدا با مقایسه تکنولوژی‌های انرژی تجدید پذیر با شاخص‌های بهره‌وری انرژی معرفی می‌کند سپس، دلایل کنونی علاقه روزافزون جهانی به این تکنولوژی‌ها با توصیف مشخصات کلی متداولشان را موردبررسی قرار می‌دهد. مروری بر بعضی از تکنولوژی‌های انرژی پاک که مستقیماً مدنظر نرم‌افزار تحلیل پروژه انرژی پاک بین‌المللی ریت اسکرین بوده‌اند، در ادامه صورت می‌گیرد.

این فصل در ادامه با بحث در مورد اهمیت تحلیل پیش امکان‌سنجی و امکان‌سنجی در چرخه به‌کارگیری پروژه ادامه می‌یابد. درنهایت روش‌های متداول در همه مدل‌های تکنولوژی انرژی پاک در ریت اسکرین همانند استفاده از داده‌های مرجع اقلیمی و انرژی تجدید پذیر، محاسبات مرتبط با میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تحلیل مالی و تحلیل ریسک و حساسیت توصیف می‌شود.

تکنولوژی‌های انرژی پاک شامل تکنولوژی‌هایی با بهره‌وری انرژی و انرژی‌های تجدید پذیر[۱] می‌شود. هر دو شکل این تکنولوژی‌ها، استفاده از انرژی به شکل معمول (استفاده از سوخت‌های فسیلی) را کاهش می‌دهد، اما از جهاتی باهم متفاوت‌اند.

[۱]- renewable energy technologies (RETs)

معمولاً برنامه‌ریز پروژه بایستی ابتدا شاخص‌های هزینه-منفعت بهره‌وری انرژی را مشخص کند و سپس سیستم‌های تکنولوژی انرژی پاک را مدنظر قرار دهد. معمولاً در یک سرمایه‌گذاری بیان اینکه چنین پروژه‌ای، مثلاً حداقل سرمایه را نیاز دارد، باعث کاهش معنادار در مصرف انرژی می‌شود و ... ناکافی و غیردقیق است. علاوه بر این با کاهش انرژی که باید به‌وسیله سیستم‌های تکنولوژی انرژی تجدید پذیر تأمین شود، شاخص بهره‌وری، استفاده از سیستم‌های انرژی تجدید پذیر کوچک‌تر را امکان‌پذیر می‌داند. ازآنجاکه سیستم‌های تکنولوژی انرژی تجدید پذیر معمولاً هزینه‌های اولیه بالا دارند، سرمایه‌گذاری در بهره‌وری می‌تواند سیستم‌های تکنولوژی انرژی تجدید پذیر را به لحاظ مالی جذاب‌تر سازد.

به‌عنوان‌مثال، خانه‌ای را در یک اقلیم سرد که متصل به شبکه برق می‌باشد، مانند شکل ۱-۱ در نظر بگیرید. اگر هدف کاهش مصرف انرژی متداول است، اولین ملاحظه، بایستی عایق ساختمان باشد: سطح بالایی از ایزولاسیون، حداقل پل حرارتی و نفوذناپذیر ساختن هوا، هدر رفت گرما را در طول زمستان کاهش می‌دهد. سپس سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی باید طراحی شوند و وسایل به‌گونه‌ای انتخاب شوند که مصرف انرژی را به حداقل برساند. در انتها تکنولوژی‌های انرژی تجدید پذیر همچون سیستم فتوولتائیک خورشیدی یا سیستم گرمایش آب خورشیدی در نظر گرفته شود.

یک سیستم فتوولتائیک نصب‌شده بر روی پشت‌بام این خانه، هزینه نصب و نگهداری بیشتری را نسبت به عایق ساختمانی آن می‌طلبد و درعین‌حال کمک بسیار کمتری را به هدف کاهش مصرف انرژی می‌کند. در بسیاری از پروژه‌ها، شاخص‌های بهره‌وری تجاری موجود، مصرف انرژی را می‌تواند نسبت به شیوه‌های معمول و استاندارد تا میزان ۵۰٪ کاهش دهد. آنگاه استفاده از تکنولوژی‌های انرژی تجدید پذیر می‌تواند مصرف انرژی موردنیاز را جوابگو باشد و توجیه اقتصادی نیز داشته باشد.

شکل ۱-۱: شاخص‌های بهره‌وری انرژی، مدل خورشیدی غیرعامل، گرمایش آب خورشیدی در کاربرد مسکونی در کانادا

گاهی اوقات تمییز بین تکنولوژی‌های انرژی تجدید پذیر و تکنولوژی‌های بهره‌وری انرژی مبهم می‌شود. می‌توان با مثالی در مورد یک خانه این موضوع را روشن‌تر بیان کرد. فرضاً کارایی بالاتر پنجره‌ها (مانند هدر رفت انرژی حداقلی) بایستی بخشی از ایزولاسیون خانه در نظر گرفته شود و درنتیجه یک تکنولوژی بهره‌وری انرژی است؛ اما اگر این پنجره‌ها به‌سوی خط استوا جهت‌گیری کنند و به شکل صحیحی سایه‌دار شوند تا از گرمایش بیش‌ازحد تابستان درون خانه جلوگیری کند، این پنجره‌ها به نور خورشید در زمستان اجازه ورود می‌دهند و سبب گرمایش خانه با نور خورشید در زمستان می‌شوند و حالت دیگر حل این مسئله با استفاده از تکنولوژی انرژی تجدید پذیر سیستم گرمایش منفعل هستند. خوشبختانه درهرصورت تمایز بین این دو مهم نیست: زیرا هدف یکی است؛ هدف کاهش هزینه، پول و مصرف انرژی‌های متداول می‌باشد که صرف‌نظر از هرکدام از این دو، طبیعت هر دو یکی است.

۱-۲-۱ دلایل توجه روزافزون به تکنولوژی‌های انرژی پاک

امروزه به دلیل افزایش آگاه‌سازی‌های اجتماعی، مزایای اقتصادی و نیز دلایل زیست‌محیطی توجه ویژه‌ای به تکنولوژی‌های انرژی پاک توسط دولت‌ها، صنایع و مردم می‌شود.

الف-دلایل زیست‌محیطی

نگرانی‌های جامعه بشری در مورد گرمایش جهانی و آلودگی محلی انگیزه اولیه بسیاری از تکنولوژی‌های انرژی پاک در قرن ۲۱ است. پدیده افزایش متوسط میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن، متان، اکسید نیتروژن، بخارآب، ازن و مشتقات هالو کربن (ترکیبات حاوی کربن در ترکیب با فلوئور، برم و / یا کلر)، در سال‌های اخیر، موجبات افزایش متوسط دمای زمین یا به عبارتی گرمایش زمین در سال‌های اخیر شده است. این گازها بدان خاطر گازهای گلخانه‌ای نامیده می‌شوند که مانند یک گلخانه عمل می‌کنند یعنی جلوی نور خورشید به‌سوی سطح زمین را نمی‌گیرند اما خروج گرمای زمین را کند می‌کنند. درنتیجه گرما نمی‌تواند خارج شود و درجه حرارت افزایش می‌یابد. گرمایش جهانی می‌تواند فجایع انسانی و اکولوژیکی وسیعی را موجب شود. درگذشته، تغییرات سریع و شدید در اقلیم موجب انقراض تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی و جانوری شده است. سطح دریاها، به خاطر ذوب کوه‌های یخی افزایش می‌یابد و مناطق کم ارتفاع جهان به زیر آب می‌روند

اجماع قوی بین دانشمندان اقلیم‌شناس وجود دارد که علت پدیده گرمایش جهانی کنونی را فعالیت‌های انسانی به‌ویژه به خاطر احتراق سوخت‌های فسیلی می‌داند. وقتی بنزین، گاز یا زغال‌سنگ برای حرکت ماشین‌های مردم یا تولید الکتریسیته یا گرما و ... می‌سوزد، محصول سوخت آن‌ها دی‌اکسید کربن، نیترات اکسید و متان است؛ بنابراین سیستم‌های متداول انرژی در حجم بزرگ مسئول این معضل محیطی قریب‌الوقوع می‌باشند (IPCC, 2001). تکنولوژی‌های انرژی پاک، به کاهش این معضل با کاهش میزان احتراق سوخت‌های فسیلی می‌نگرند. نرم‌افزار تحلیل پروژه انرژی پاک ریت اسکرین به کاربران

اجازه می‌دهد تا کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با به‌کارگیری تکنولوژی انرژی پاک به‌جای تکنولوژی رایج را موردبررسی قرار دهند.

گرمایش جهانی تنها نگرانی جامعه بشری نیست که منجر به توسعه تکنولوژی‌های انرژی پاک‌شده است. سیستم‌های انرژی رایج، علاوه بر مقیاس جهانی، آلوده‌کننده محیط محلی نیز هستند. به‌عنوان‌مثال در احتراق، عناصر و ذراتی آزاد می‌شوند که شرایط تنفسی را حاد می‌کنند، همچون دود که بسیاری از شهرها را در برگرفته است. زغال حاوی گوگرد وقتی می‌سوزد، موجب ایجاد باران اسیدی و ... می‌شود. به‌علاوه آلودگی زیست‌محیطی تنها به انتشار گازهای ناشی از سوختن محدود نمی‌شود؛ برای سیستم‌های کوچک، سروصدا و آلودگی‌های صوتی می‌تواند به شکل معنادار زندگی مردم و نواحی کار اطراف را متأثر کند و نشت سوخت، آسیب جدی به محیط‌زیست محلی وارد می‌سازد و هزینه‌های زیادی جهت پاک‌سازی آن را تحمیل می‌کند.

ب-دلایل اقتصادی

بخش اعظم درآمد مربوط به فروش تکنولوژی‌های انرژی پاک به مشتریانی که انگیزه اصلی آن‌ها نگرانی‌های زیست‌محیطی است، مرتبط نبوده است. در حقیقت انگیزه اصلی بسیاری از خریداران، صرفه‌جویی در هزینه‌ها به دلیل طول عمر چنین تکنولوژی‌هایی است. همان‌طور که در بخش بعدی در مورد آن صحبت می‌شود، در یک دوره بلندمدت وقتی تکنولوژی‌های انرژی پاک با تکنولوژی‌های رایج مقایسه می‌شوند، اغلب به لحاظ اقتصادی رقابت‌پذیر و یا حتی کم‌هزینه‌تر هم هستند. هزینه‌های مرتبط با انرژی‌های رایج، تنها دلیل عدم جذابیت آن‌ها نیست؛ بلکه اغلب عدم وجود اطمینان مرتبط با این هزینه‌ها است که موجبات عدم استقبال عموم را به وجود آورده است. قیمت انرژی‌های رایج مطابق با شرایط محلی، ملی، قاره‌ای و جهانی عرضه و تقاضا دچار نوسان است. در طول چند دهه گذشته افت‌وخیزهای پیش‌بینی‌شده در قیمت انرژی‌های رایج (مانند الکتریسیته، گاز و بنزین) مشکلات جدی را برای افراد، صنایع و ... به وجود آورده است. این موضوع نه‌فقط در مورد مصرف‌کنندگان بلکه شامل حال دولت‌ها که پاسخگوی وضعیت اقتصادی هستند، هم می‌شود.

دلایل خوبی در مورد اینکه افزایش هزینه‌های مرتبط با انرژی‌های رایج در دهه‌های آتی بالا می‌رود، وجود دارد. در بیشتر قسمت‌های جهان هزینه‌های کشف ذخایر نفتی جدید در حال کاهش است، درحالی‌که در همان حال تقاضا در حال افزایش است. ذخایر باقیمانده معمول باوجود وسعت زیاد، در چند کشور محدود متمرکز است. ذخایر غیرمتعارف نفتی همچون شن‌های نفتی در کانادا، ونزوئلا و دیگر مناطق وجود دارد اما تولید سوخت قابل‌استفاده از این منابع گران‌تر از روش‌های رایج است و گازهای گلخانه‌ای بیشتری را وارد اتمسفر می‌کند. افزایش قیمت‌های انرژی و ریسک شوک‌های قیمتی، تکنولوژی‌های انرژی پاک را جذاب‌تر می‌سازد.

بخش جدانشدنی نرم‌افزار ریت اسکرین، متخصصین هستند؛ اما آسانی استفاده از نرم‌افزار جهت تحلیل مالی و ریسک و حساسیت در برگه‌های مربوطه که امکان‌سنجی مالی و ریسک پروژه را مشخص می‌سازد، استفاده عمومی را امکان‌پذیر می‌سازد. کاربر می‌تواند تأثیر تعدادی از پارامترهای مالی شامل نرخ‌هایی که قیمت انرژی را ممکن است تشدید کند را موردبررسی قرار می‌دهد.

ج- دلایل اجتماعی

تکنولوژی‌های انرژی پاک مجموعه‌ای از مزایای اجتماعی را در برمی‌گیرند که سبب علاقه خاص دولت‌ها به آن‌ها می‌شود. اول آنکه تکنولوژی‌های انرژی پاک به نیروی کار بیشتر در واحد انرژی تولیدشده نسبت به تکنولوژی‌های رایج نیاز دارند؛ بنابراین موجبات اشتغال‌زایی بیشتری را فراهم می‌کند. دوما، تکنولوژی‌های رایج انرژی، دارای منابع تأمین متمرکزی هستند و با شیوه‌های سرمایه‌گذاری وسیع استخراج می‌شوند و همچنین منابع جدید آن با شیوه‌های سرمایه‌گذاری وسیع کشف و استخراج می‌شوند؛ و این در حالی است که شاخص‌های بهره‌وری انرژی بر حداکثر سازی استفاده از منابع موجود تمرکز دارد و با توجه به اینکه منابع انرژی‌های تجدید پذیر در مناطق مختلف پراکنده‌اند و درنتیجه از قدرت کمی برخوردار می‌باشند. همچنین چنین تکنولوژی‌هایی به دخالت انسانی بیشتر و به‌کارگیری تکنولوژی یا ساخت و ارائه خدمات تجهیز بیشتر نیاز دارند. هزینه اضافی

مربوط به نیروی کار موردنیاز تکنولوژی انرژی پاک، با هزینه‌های پایین منابع انرژی جبران می‌شود

سوخت فسیلی موجب خروج پول از اقتصاد محلی می‌شود و استفاده از شاخص‌های بهره‌وری انرژی و تکنولوژی‌های انرژی تجدید پذیر موجب استفاده از منابع محلی می‌شود؛ بنابراین تراکنش‌ها و معاملات بین ارگان‌ها و سازمان‌های محلی در گردش است... وقتی پول در نواحی محلی باقی بماند، تأثیرات فزاینده‌اش درون آن ناحیه افزایش می‌یابد.

دلیل اقتصادی- اجتماعی دیگر علاقه به تکنولوژی‌های انرژی پاک، تقاضای روزافزون به انرژی است. آژانس بین‌المللی انرژی پیش‌بینی کرده است که رشد اقتصادی و تقاضای انرژی جهانی تا سال ۲۰۵۰ سه برابر می‌شود (IEA, 2003). به نظر می‌رسد، صنایع قابلیت این گسترش را دارند و دولت‌ها نیاز به تکنولوژی‌های جدید دارند و سوخت‌ها این تقاضا را برآورده می‌کنند. این موضوع گرایش مردم را به تکنولوژی‌های پاک زیاد کرده است.

۲-۲-۱ مشخصات عمومی تکنولوژی‌های انرژی پاک

چندین مشخصه بین تکنولوژی‌های مرتبط با انرژی‌های پاک مشترک است که موجبات تمایز آن‌ها را با تکنولوژی‌های رایج فراهم می‌کند. برخی از این مشخصات به شرح زیر می‌باشند:

۱. در تکنولوژی‌های مرتبط با انرژی پاک، ملاحظات محیطی بیشتر از تکنولوژی‌های رایج در نظر گرفته می‌شود. این به معنای عدم تأثیرات محیطی این تکنولوژی‌ها یا استفاده بدون ملاحظه از آن‌ها نیست. به‌عنوان‌مثال همه سیستم‌های گرمایشی، موتورهای قدرت و یا ملحقاتشان و مصرف‌کنندگان انرژی بعضی تأثیرات محیطی را دارند. با در نظر گرفتن این امر که نمی‌توان استفاده از این تکنولوژی‌ها را کنار گذاشت، لذا می‌بایست تمهیداتی در نظر گرفت که این تأثیرات محیطی علی‌الخصوص در مورد تکنولوژی‌هایی که با سوخت‌های فسیلی سروکار دارند، به حداقل رسانده شوند.

۲. تکنولوژی‌های انرژی پاک معمولاً هزینه اولیه بالاتری از (هزینه اجباری در آغاز پروژه) از تکنولوژی‌های رایج رقیب دارند؛ و این امر باعث می‌شود که استفاده از تکنولوژی‌های انرژی پاک بسیار گران‌تر به نظر برسند که در این دیدگاه، هزینه‌های اجباری در طول عملیات اجرا و نگهداری سیستم‌های پاک مورد غفلت واقع می‌شوند.

۳. هزینه‌های عملیاتی کردن تکنولوژی‌های مربوط به انرژی‌های پاک معمولاً پایین‌تر از هزینه‌های مربوط به عملیاتی کردن تکنولوژی‌های رایج می‌باشد و در تکنولوژی‌های مربوط به انرژی‌های تجدید پذیر، استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر را اغلب بدون هزینه حاشیه‌ای یا با هزینه حاشیه‌ای اندک میسر می‌سازد.

اما چطور می‌توان هزینه‌های اولیه بالا و هزینه عملیاتی پایین تکنولوژی‌های انرژی پاک را با هزینه اولیه پایین و هزینه عملیاتی بالا تکنولوژی مرسوم مورد مقایسه قرارداد؟ نکته کلیدی این امر، در نظر گرفتن تمامی هزینه‌های مربوط به طول عمر محصول حاصل از به‌کارگیری تکنولوژی می‌باشد. این هزینه‌ها شامل هزینه اولیه (ارزیابی امکان‌سنجی، خرید تجهیزات، مهندسی، توسعه و نصب)، هزینه اولیه مربوط به سوخت، عملیاتی کردن و تعمیر و نگهداری و هزینه‌های پاک‌سازی پروژه که می‌تواند برای تکنولوژی‌هایی که سایت را به خاطر نشت سوخت برای مثال آلوده می‌کنند، هزینه‌بردار باشد.

نکته مهمی که باید در اینجا در نظر گرفت، این است که جهت محاسبه هزینه کل صرف شده در طول عمر یک محصول، می‌بایست ارزش پول را در آن مقطع زمانی در نظر گرفت.

بنابراین با در نظر گرفتن موارد ذکرشده در بالا می‌توان نتیجه گرفت که در خصوص تکنولوژی‌های انرژی پاک، علی‌رغم هزینه‌های اولیه بالاتر، میزان هزینه‌های مصرفی بر اساس طول عمر، به‌مراتب مقرون‌به‌صرفه تر از تکنولوژی‌های مرسوم است. تعیین و جدول‌بندی همه هزینه‌های جاری و چرخه عمر پروژه توسعه پیداکرده است. بدان خاطر که فقط یک مقایسه می‌تواند مشخص کند آیا تکنولوژی انرژی پاک برای یک پروژه عرضه‌شده، می‌تواند انگیزه ایجاد کند.

۳-۲-۱ تکنولوژی‌های تولیدکننده الکتریسیته با انرژی پاک

چهار تکنولوژی بسیار پرکاربرد اینجا موردبحث قرار می‌گیرند که عبارت‌اند از: انرژی باد، فتوولتائیک، هیدرولیک کوچک و زیست‌توده.

الف-سیستم‌های انرژی بادی

سیستم‌های انرژی بادی، انرژی جنبشی حاصل از حرکت هوا را به الکتریسیته یا قدرت مکانیکی تبدیل می‌کنند. انرژی حاصل از باد هم می‌تواند جهت تأمین برق شبکه‌های مرکزی یا شبکه‌های منفصل به‌کاربرده شود؛ و هم به‌عنوان منبع تأمین انرژی از راه دور برای پمپ آب به کار گرفته شوند. توربین‌های بادی به شکل تجاری در اندازه‌های مختلف در بازار موجودند. معمولاً از توربین‌های کوچک (۵۰ وات تا ۱۰ کیلووات) جهت تأمین انرژی باتری و پمپ آب و برای کاربردهای منفصل از شبکه از توربین‌های بزرگ‌تر (۱۰ - ۲۰۰ کیلووات) استفاده می‌کنند. بزرگ‌ترین توربین‌های بکار گرفته‌شده بر روی شبکه‌های مرکزی عموماً در طیف بین ۱ تا ۲ مگاوات هستند؛ اما نمونه‌های آزمایشی طراحی‌شده برای استفاده در آب‌های کم‌عمق ساحلی ظرفیتی تا ۵ مگاوات هم دارند. استفاده از منابع خوب انرژی بادی برای موفقیت یک سیستم بادی حیاتی است. انرژی نهفته در باد در رابطه مستقیم با مکعب سرعت باد و ارتفاع زمین می‌باشد. حداقل متوسط سرعت سالیانه باد برای یک پروژه بادی در ارتفاع ۱۰ متری سطح زمین می‌بایست بیش از ۴m/s باشد. نواحی مستعد نصب توربین‌های بادی که باعث سرعت باد می‌شوند، مکان‌هایی همچون نوک قله‌ها، دامنه‌های با شیب ملایم (اما نه صخره‌ها)، گذرگاه بین کوه‌ها یا تپه‌ها و دره‌ها که کانال‌های بادی هستند و همچنین نواحی که موانع جزئی را بر سر راه باد قرار می‌دهند، همچون مجاور سطح دریا به مناطق ساحلی و فلات، دشت‌های گیاهی را در برمی‌گیرند (شکل ۱-۲).

شکل ۱-۲: سیستم انرژی بادی

از اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی که تکنولوژی انرژی بادی به‌عنوان سریع‌ترین تکنولوژی تولید الکتریسیته در جهان ظهور پیدا کرد، شاهد روند ثابتی در کاهش هزینه تولید برق از انرژی بادی هستیم که همین امر موجب بلوغ تکنولوژی و صنعت مرتبط با آن در زمان حال شده است؛ که در اینجا منبع بادی خوب و مناسب و تقاطع شبکه مرکزی داشته باشیم، انرژی بادی را می‌توان ارزان‌ترین منبع نسبت به سایر منابع تأمین‌کننده الکتریسیته دانست.

ب-سیستم‌های کوچک آبی

در سیستم‌های آبی کوچک با به‌کارگیری توربینی که یک ژنراتور را می‌چرخاند، می‌توان انرژی‌های جنبشی و پتانسیل آب در حال حرکت و یا آب ذخیره‌شده در استخرهای آبی را به انرژی الکتریسیته تبدیل کرد. همان‌طور که آب در ارتفاعات بالا و پایین حرکت می‌کند مثل رودخانه‌ها یا آبشارها، آب درواقع انرژی را با خود حمل می‌کند؛ این انرژی می‌تواند با سیستم آبی کوچک مهار شود. از آنکه در اینجا تکنولوژی مورداستفاده در این

سیستم‌ها، قابلیت اطمینان بالایی دارد، در حدود ۱۰۰ سال است که جهت تولید انرژی الکتریکی متصل به شبکه و یا منفصل از شبکه مورداستفاده قرار می‌گیرد. قسمت اعظم برق‌آبی جهان، از پروژه‌های بزرگ چندین گیگاواتی (GW) که حجم وسیعی از آن از آب پشت سد به دست می‌آید، تأمین می‌شود. پروژه‌های آبی کوچک نیز در ظرفیت‌های کمتر از ۵۰ مگاوات جهت تزریق برق به شبکه و در ظرفیت‌های کمتر از ۱ کیلووات برای کاربردهای کوچک منفصل از شبکه نیز استفاده می‌شوند.

شکل ۱-۳: سیستم هیدرولیکی کوچک

نکته مهم آنکه، وجود جریان ثابت و مؤثر در آب جاری، در اقتصادی و نتیجه‌بخش بودن یک پروژه هیدرولیکی لازم و ضروری است. انرژی خروجی از یک توربین آبی متناسب با مقدار آب در حال حرکت نسبت به زمان است (جریان) و میزان فاصله فی‌مابین توربین و سطح آب (ارتفاع فشاری) می‌باشد. ازآنجاکه قسمت اعظم هزینه یک پروژه آبی به‌خصوص در مورد پروژه‌های آبی کوچک ناشی از مخارج ساخت و خرید تجهیزات می‌باشد، یک پروژه آبی می‌تواند مقادیر عظیمی از الکتریسیته را با هزینه‌های اجرایی پایین و مخارج نگهداری نسبتاً کم برای ۵۰ سال یا بیشتر تولید کند.

در بسیاری از کشورهای جهان مانند چین، ساخت و توسعه سیستم‌های هیدرولیکی بزرگ در حال کاهش و سایت‌های کوچک‌تر به‌عنوان جایگزین در بازار تولید برق هیدرولیکی در حال گسترش هستند.

ج-سیستم‌های فوتوولتائیکی

سیستم‌های فوتوولتائیکی انرژی تابشی خورشید را به‌طور مستقیم به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. سلول‌های فوتوولتائیکی، کوچک‌ترین جزء تشکیل‌دهنده در سیستم‌های فوتوولتائیکی هستند. این سلول‌ها معمولاً ویفر یا نوار نازک از مواد نیمه‌هادی هستند که وقتی نور خورشید به آن‌ها برخورد می‌کند جریان کوچک الکتریسیته تولید می‌کنند. سلول‌های فوتوولتائیکی در ماژول‌هایی که در کنار هم آرایه‌های فوتوولتائیکی با سایزهای مختلف را تشکیل می‌دهند، می‌توانند مونتاژ گردند. از نمونه‌های آرایه‌های فوتوولتائیکی کوچک می‌توان به سیستم‌های فوتوولتائیکی بکار گیری شده در ساعت مچی و ماشین‌حساب و از نمونه‌های بزرگ آن می‌توان به آرایه‌های فوتوولتائیکی به‌کارگیری شده در نیروگاه‌های خورشیدی با ظرفیت بیش از ۵ مگاوات اشاره کرد. از سیستم‌های فوتوولتائیکی در کاربردهای منفصل از شبکه، جهت تولید و تأمین برق موردنیاز اماکن دور از دسترس و یا صعب‌العبور و یا جهت ایجاد ارتباطات راه دور در سیستم‌های نظارت و کنترل در سراسر جهان، استفاده می‌گردد. همچنین از این شبکه‌ها در جهت تأمین انرژی موردنیاز پمپ آب مورداستفاده در روستاها استفاده می‌شود.

این سیستم‌های تولید انرژی الکتریکی نسبتاً ساده، ماژولار و قابل‌اطمینان هستند. سیستم فوتوولتائیکی را می‌توان با ژنراتورهای پایه فسیلی در مواردی که به انرژی بالاتر نیاز است و یا در اقلیم‌هایی که با مشخصه نور کم آفتاب در دوره‌هایی از سال مواجه‌اند (مانند عرض‌های بالا یا زمستان‌ها) ترکیب شوند تا سیستم‌های هیبریدی را شکل دهند.

شکل ۱-۴: سیستم فتوولتائیک در آبرلین کالج مرکز لوئیز جوزف برای مطالعات محیطی (آمریکا)؛ این پنل ها ۴۶۸۲ مترمربع از پشت‌بام رو به جنوب ساختمان‌ها را پوشش می‌دهد.

سیستم‌های فوتوولتائیکی متصل به شبکه سراسری و یا منفصل از آن از طریق مبدل‌های پیکربندی‌شده خاص به هم متصل می‌شوند. متأسفانه به خاطر هزینه‌های بالای ساخت و نصب ماژول‌های فوتوولتائیکی کاربری آن‌ها بدون کمک مالی حاصل از کاربردهای اتصال به شبکه سراسری و یا اتصال به شبکه مرکزی کمتر مقرون‌به‌صرفه می‌باشد. همچنین به علت پایین بودن هزینه‌های نگهداری سیستم‌های فوتوولتائیکی، ساخت و تولید گسترده آن‌ها برای کاربردهای متصل به شبکه، استفاده از این شبکه‌ها در درازمدت مقرون‌به‌صرفه می‌باشد. در تولید پراکنده برق، سیستم‌های فوتوولتائیکی کوچک می‌بایست به‌طور گسترده‌ای در سراسر شبکه و به شکل وسیعی بر روی ساختمان‌ها و دیگر ساختارها پراکنده شود که به‌موجب آن هزینه‌های بهره یا خرید زمین از هزینه نصب این سیستم‌ها حذف می‌گردد. چنین کاربردهایی با توسعه تکنولوژی‌ها و شیوه‌های تجمیع سیستم‌های فوتوولتائیکی در پوشش ساختمان‌ها تسهیل شده است که به‌این‌ترتیب هزینه مواد مورداستفاده و یا هزینه‌های مرتبط با نیروی انسانی، جبران می‌گردد.

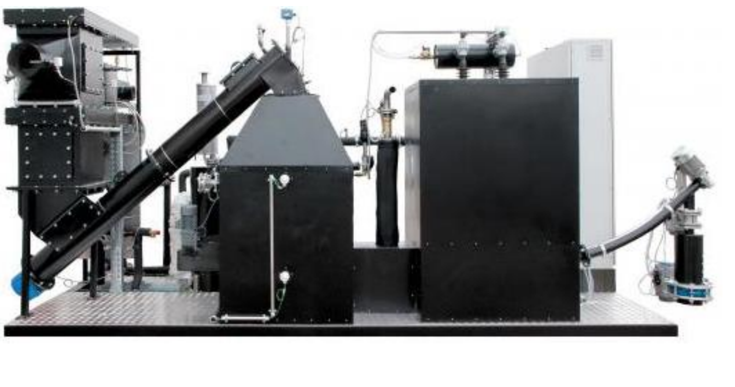
سیستم‌های فوتوولتائیکی نیز همانند توربین‌های بادی نرخ رشد ناگهانی استفاده را تجربه کرده‌اند. برای مثال ظرفیت فوتوولتائیکی نصب‌شده جهانی در سال ۲۰۰۳ در حدود ۳۰۰ مگاوات بود که کمتر از ۱۰٪ ظرفیت نصب‌شده توربین‌های بادی بوده است.

د-سیستم گرمایش زیست‌توده

در سیستم‌های زیست‌توده مواد ارگانیک شامل: زباله‌های چوب یا باقی‌مانده‌های کشاورزی یا حتی زباله‌های شهری را جهت گرمایش ساختمان‌ها یا فرایندهای صنعتی می‌سوزاند. مکانیسم عملکردی این سیستم‌ها به‌مانند اجاق‌های چوب عادی می‌باشد، اما به لحاظ مأموریت پیچیده‌تر سیستم آن‌ها تخصصی‌تر طراحی‌شده‌اند که به همین جهت موادی که از آن‌ها به‌عنوان سوخت استفاده می‌شود، با کنترل دبی ورودی هوا و نیز کنترل نسبت سوخت به هوا موجبات یک احتراق کامل را برای سوخت فراهم می‌کنند.

سیستم گرمایشی زیست‌توده شامل یک واحد صنعتی گرمایش، سیستم توزیع گرما و عملیات تأمین سوخت می‌شود. واحدهای گرمایشی صنعتی به‌طورمعمول از منابع گرمایشی متعدد استفاده می‌کنند که شامل سیستم‌های احتراق زیست‌توده‌ها (زباله‌ها)، سیستم گرمایش پیک بار و سیستم گرمایش پشتیبان می‌شود. سیستم توزیع گرما، آب داغ یا بخار را از واحد صنعتی گرمایش به قسمت‌های دیگر هدایت می‌کند و در مواردی این سیستم توزیعی در مجاورت واحد صنعتی گرمایش قرار می‌گیرد.

سوخت‌های زیست‌توده شامل طیف وسیعی از مواد می‌شود که در کیفیت و غلظت بسیار متفاوتی از سوخت‌های مایع فسیلی‌اند. سیستم‌های گرمایشی زیست‌توده هزینه‌های سرمایه‌ای بالاتری را جهت ساخت، نصب و نگهداری از دیگ‌های بخار مرسوم دارند و نیاز به اپراتورهای سخت‌کوشی نیز دارند. نکته مهم و حائز اهمیت آنکه، از طریق این روش می‌توان مقادیر عظیمی از گرما را با هزینه پایین عرضه کرد.



شکل ۱-۵: سیستم گرمایش زیست‌توده

۱-۳ مطالعات امکان‌سنجی اولیه

طرفداران پروژه‌های انرژی، سرمایه‌گذاران، تأمین‌کنندگان مالی، پیوسته با مسائلی همچون برآورد هزینه‌ها و میزان صرفه‌جویی و همچنین میزان انرژی تولیدشده و نیز صحت آن‌ها، هزینه‌های احتمالی، میزان رقابت‌پذیری آن‌ها مواجه است. جواب به چنین سؤالاتی با درجه اطمینان بالا، بسیار سخت و دشوار است؛ و این به آن خاطر است جهت انجام این برآوردها می‌بایست دو مورد را در نظر گرفت:

- پایین نگه‌داشتن هزینه‌های توسعه پروژه در صورت ناامن بودن سرمایه‌گذاری و یا اثبات اقتصادی نبودن پروژه
- صرف هزینه و زمان لازم جهت بررسی فنی و اقتصادی پروژه‌ها

راه‌حل مواجهه با این مشکل در شکل ۱-۶ نشان داده‌شده است؛ که پس از پایان هر مرحله، مجری پروژه می‌تواند در مورد ادامه و یا توقف پروژه تصمیم‌گیری نماید. مطالعات پیش امکان‌سنجی و امکان‌سنجی جهت کمک به مقامات مسئول پروژه برای ارائه تصویری از مباحث مالی پروژه‌ی در پیش رو بسیار مهم و حیاتی است. بعلاوه چنین مطالعاتی به تمرکز بر اقدامات مهندسی و توسعه پروژه پیش از عملیات ساخت کمک می‌کند.

تحلیل پیش امکان‌سنجی: تحلیل پیش امکان‌سنجی، بررسی اولیه کم‌خرج و سریع است که تعیین می‌کند که آیا پروژه پیشنهادی به لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر است؟ چنین تحلیلی با استفاده از داده‌های پایه و سایت‌های در دسترس و برآورد هزینه‌های درشت و محاسبات و داوری‌های ساده که اغلب قوانین یکسانی دارد، امکان‌پذیر می‌شود. حتی برای پروژه‌های بزرگ بازدید از سایت نیز ممکن است، نیاز باشد.

تحلیل امکان‌سنجی: مطالعه امکان‌سنجی مطالعه‌ای عمیق‌تر از دورنمای پروژه است. در این تحلیل می‌بایست اطلاعاتی در مورد مشخصه‌های فیزیکی، سوددهی مالی و تأثیرات محیطی-اجتماعی یا دیگر تأثیرات پروژه ارائه گردد. به‌گونه‌ای که مسئولان بتوانند در مورد ادامه و یا توقف پروژه تصمیم‌گیری کنند. تحلیل امکان‌سنجی از طریق جمع‌آوری داده‌های مربوط به هزینه، تجهیزات و منابع مالی صورت می‌گیرد. این تحلیل شامل بازدید از سایت، مانیتور کردن منابع، ممیزی انرژی، شبیه‌سازی‌های

کامپیوتر تفضیلی‌تر و تقاضای اطلاعاتی در مورد قیمت تجهیزات موردنیاز از تأمین‌کنندگان تجهیزات می‌باشد.

مهندسی و توسعه: اگر بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مرحله تحلیل پیش امکان‌سنجی و امکان‌سنجی، مسئولان پروژه تصمیم بگیرند که این پروژه را ادامه دهند، آنگاه ایشان می‌بایست به بررسی فنی و توسعه آن اقدام نمایند. بررسی فنی شامل بررسی ارزیابی فیزیکی-فنی پروژه است. دیگر ابعاد فعالیت‌های توسعه‌ای همچون آموزش، ارتباط با مشتریان، مشاوره‌های اجتماعی در مراحل ثانویه پروژه اجرا صورت می‌گیرد.

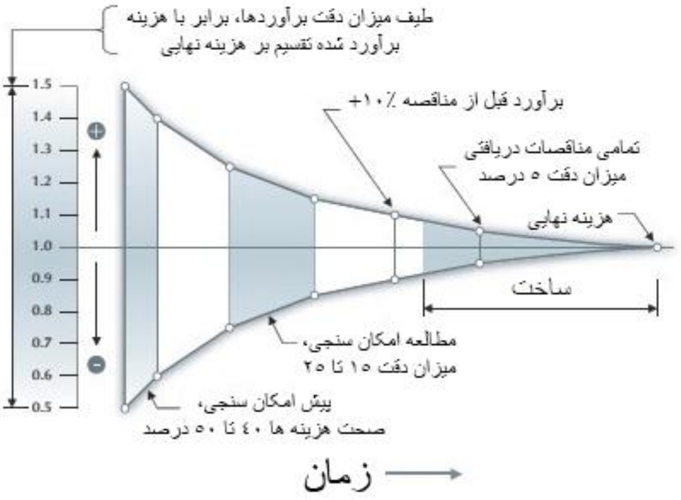
پروژه ممکن است به دلایل مختلفی ازجمله عدم تأمین مالی پروژه از سوی سازمان، عدم در نظر گرفتن هزینه‌های مهم در تحلیل‌های پیش امکان‌سنجی و امکان‌سنجی در مراحل پیش از ساخت متوقف گردد.

ساخت و راه‌اندازی: درنهایت پروژه ساخته‌شده و شروع به خدمات‌رسانی می‌کند. فعالیت‌های مرتبط با ساخت‌وساز می‌تواند پیش از تکمیل مراحل توسعه و مهندسی شروع‌شده و به‌طور موازی ادامه یابد.

شکل ۱- ۶: مراحل انجام پروژه‌های انرژی

با توجه به عدم قطعیت موجود در برآورد میزان سرمایه‌گذاری، مخارج مربوط به هر مرحله می‌تواند بسته به نحوه عملکرد، افزایش و یا کاهش یابد. به‌عبارت‌دیگر، با پیشروی پروژه انرژی از مراحل پیش امکان‌سنجی تا ساخت و راه‌اندازی، میزان عدم قطعیت در برآورد هزینه‌ها از ۰-۵۰ درصد در نوسان است. در شکل ۱-۷ میزان صحت پیش‌بینی‌های صورت گرفته در مقایسه با نتایج تجربی فاز ساخت و راه‌اندازی پروژه‌های آبی مورد ارزیابی قرارگرفته است.

نرم‌افزار تحلیل پروژه انرژی پاک ریت اسکرین با قابلیت به‌کارگیری در بخش پیش امکان‌سنجی و امکان‌سنجی، نتایج معتبر و کم‌هزینه‌تری را به مجریان پروژه جهت تصمیم‌گیری در مورد ادامه و یا توقف پروژه می‌دهد.



شکل ۱-۷: میزان صحت برآورد هزینه پروژه در برابر هزینه‌های واقعی (گوردون، ۱۹۸۹)

۱-۳-۱ شرایط مطلوب پروژه

از آنکه در اینجا مسئولین عموماً با پروژه‌های مربوط به انرژی‌های پاک آشنا نیستند، ازاین‌رو انجام تحلیل پیش امکان‌سنجی جهت آشنایی و رویارویی با وضعیت‌های در پیش رو جهت به‌کارگیری آن انرژی لازم و ضروری می‌باشد. مواردی که در آن ضرورت به‌کارگیری انرژی پاک وجود دارد، شامل:

- **نیاز به سیستم انرژی:** پیشنهاد یک سیستم انرژی به‌منظور به‌کارگیری در محلی که به انرژی نیاز و زیرساخت‌های لازم جهت راه‌اندازی هر نوع پروژه انرژی هم وجود دارد. در خصوص پروژه‌های انرژی پاک انجام مطالعات پیش امکان‌سنجی ضروری می‌باشد که آن‌هم به آن دلیل است که مهم‌ترین مانع عدم به‌کارگیری این نوع پروژه‌ها، عدم شناخت روی این‌گونه انرژی‌ها است.

- **ساخت جدید یا نوسازی برنامه‌ریزی‌شده:** معمولاً تجهیز ساختمان‌ها و دیگر تأسیسات از همان ابتدا با تکنولوژی‌های انرژی پاک مقرون‌به‌صرفه تر می‌باشد. هزینه‌های

اولیه تکنولوژی انرژی پاک را می‌توان با هزینه تجهیز یا موادی که در این تکنولوژی تغییر می‌کند، جبران کرد. این موضوع باعث جبران برخی هزینه‌ها و برنامه‌ریزی اولیه جهت سهولت تجمیع تکنولوژی‌های انرژی پاک می‌شود.

- **هزینه‌های بالای انرژی متعارف:** وقتی هزینه‌های لازم جهت استفاده از منابع رایج انرژی مانند سوخت‌های فسیلی بالا باشد، استفاده از منابع انرژی پاک با هزینه اولیه بالاتر و هزینه مصرفی پایین‌تر (در طول دوره مصرف) رواج بیشتری خواهد یافت.

- **علاقه‌مندی سهامداران کلیدی:** از دیدگاه مجریان و عوامل دخیل در پروژه، فرایند تکمیل پروژه‌ها، فرایندی دشوار و زمان‌گیر است که این مسئله در بعضی مواقع موجبات مخالفت برخی عوامل را فراهم می‌آورد.

- **فرایند اخذ مجوز:** هزینه‌های مرتبط با توسعه پروژه با تصویب سریع و آسان جزئیات آن تا حد قابل قبولی کاهش می‌یابد و این در حالی است که قوانین و سیاست‌گذاری‌های محلی، منطقه‌ای یا ملی ممکن است به تفاوت بین تکنولوژی‌های مرسوم و تکنولوژی‌های انرژی پاک حساس نباشد و به همین دلیل تکنولوژی‌های مرتبط با انرژی پاک نامساعد و بی‌فایده تشخیص داده شوند.

- **تأمین آسان و به‌موقع منابع مالی:** در حال حاضر یکی از موانع پیشرفت تکنولوژی‌های مرتبط با انرژی‌های پاک، هزینه‌های اولیه بالای موردنیاز آن‌ها می‌باشد.

- **منابع انرژی پاک محلی:** ارزیابی شرایط محیطی می‌تواند معیار ارزشمند برای شناسایی انرژی پاک مطلوب جهت به‌کارگیری در آن محیط می‌باشد.

۲-۳-۱ عوامل حیاتی پروژه

در نظر گرفتن عوامل کلیدی که موجبات توجیه اقتصادی پروژه انرژی‌های پاک را فراهم می‌آورد، می‌تواند باعث صرفه‌جویی در زمان و پول در زمان اجرای پروژه گردد. بعضی از

این عوامل کلیدی مرتبط با انرژی پاک با مثالی برای یک پروژه بادی در زیر لیست شده است:

- منابع انرژی در دسترس در سایت پروژه (مانند سرعت باد)
- کارایی تجهیزات (مانند قدرت توربین بادی)
- هزینه‌های اولیه پروژه (مانند توربین‌ها، برج‌ها و مهندسی باد)
- اعتبارات «مورد پایه»
- هزینه‌های دوره‌ای و کنونی پروژه (مانند پاک‌سازی لبه‌های توربین بادی)
- اجتناب از هزینه انرژی (مانند قیمت عمده الکتریسیته)
- تأمین مالی (مانند نرخ بهره و مدت برخورداری از منافع و نرخ سود)
- مالیات تجهیزات و درآمد (صرفه‌جوئی)
- مشخصات محیطی انرژی جانشین شده (مانند گاز طبیعی یا زغال‌سنگ، بنزین، هیدرولیک بزرگ و هسته‌ای)
- اعتبارات محیطی و / یا کمک‌های مالی
- محدوده تصمیم‌گیری مقرون‌به‌صرفه بودن (مانند دوره بازپرداخت، IRR، NPV، هزینه‌های تولید انرژی)

نرم‌افزار تحلیل پروژه انرژی پاک ریت اسکرین همان‌طور که در بخش بعدی شرح داده می‌شود، شامل مجموعه‌ای از خصوصیاتی است که تمرکز بر روی این عوامل کلیدی را به شکل نسبتاً آسان میسر می‌سازد.

فصل دوم

نرم‌افزار تحلیل پروژه انرژی پاک ریت اسکرین

۱-۲ مقدمه

نرم‌افزار تحلیل پروژه انرژی پاک ریت اسکرین[۱] باهدف ارزیابی میزان بهره‌برداری انرژی، هزینه‌های دوره عمر پروژه (تعمیر و نگهداری)، کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای انواع مختلف تکنولوژی‌های انرژی‌های تجدید پذیر[۲] بکار گرفته می‌شود.

این نرم‌افزار، جهت رفع موانع امکان‌سنجی اولیه و به‌کارگیری تکنولوژی انرژی پاک توسعه پیدا کرده است، مبتنی بر روش‌شناسی استدلالی برای مقایسه تکنولوژی‌های متداول و انرژی پاک می‌باشد. با استفاده از این نرم‌افزار و بانک‌های اطلاعاتی مرتبط با آب‌وهوای مکان موردنظر و نیز داده‌های ورودی، تحلیلگر می‌تواند بر مطالعه امکان‌سنجی مقدماتی تمرکز کند. این امر موجب تحلیل‌های سریع و دقیق و کم‌هزینه می‌شود؛ که این تحلیل‌ها به اشتراک گذاشتن اطلاعات را به‌صورت یک پایگاه یک‌شکل و بین‌المللی تسهیل می‌کند.

ریت اسکرین با هدف جهت‌دهی به پروژه و نیز فراهم آوردن اطلاعات مفید در خصوص تکنولوژی‌های انرژی پاک طراحی شده است. این اهداف کاربردی، ریت اسکرین را منبع مناسبی برای آموزش و انتشار اطلاعات می‌سازد (Natural Resource Canada, 2011).

در حقیقت نرم‌افزار ریت اسکرین، شامل رهیافت تحلیل پروژه و بعضی از مدل‌های تکنولوژی انرژی پاک، پایگاه داده‌ها و منابع اطلاعاتی تکمیلی که با این نرم‌افزار ارائه می‌شود. در این نرم‌افزار الگوریتم‌ها و نرم‌افزارهایی که شامل تحلیل‌های مالی و روش‌شناسی تحلیل ریسک و حساسیت می‌باشد، ارائه‌شده است.

پایه و اساس نرم‌افزار ریت اسکرین مقایسه‌ی بین یک نمونه پایه (تکنولوژی با شاخص‌های متداول) و یک نمونه پیشنهادی تکنولوژی انرژی پاک است. این موضوع برای کاربر درزمینه نحوه تخصیص هزینه‌ها کاربردهای مهمی دارد؛ اما مزیت ریت اسکرین فقط در خصوص هزینه‌ها مطرح نمی‌گردد، چنانکه در این نرم‌افزار هزینه‌ها به حالت افزایشی نشان

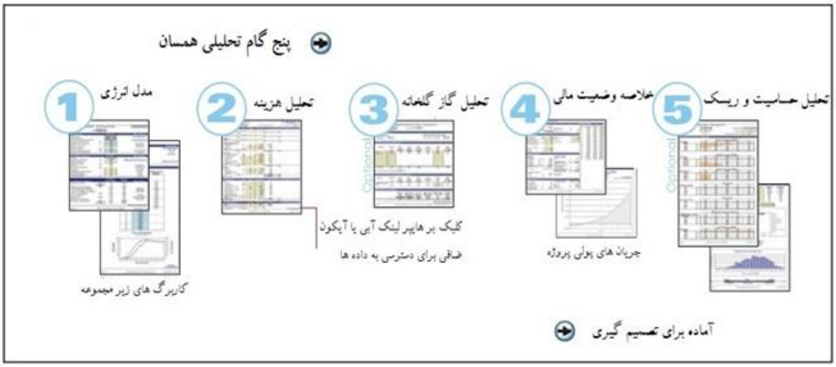
[۱]- RETScreen

[۲]- renewable energy technologies (RETs)

دارند، به‌عبارت‌دیگر، هزینه‌های مربوط به نمونه‌های پیشنهادی، نسبت به نمونه‌های پایه بیشتر نشان داده می‌شوند. همچنین کاربر می‌تواند مقادیر مربوط به هزینه‌ها را اعم از هزینه کامل مربوط به نمونه پیشنهادی و اعتبارات زایل شده همراه با آن را که ناشی از اختلاف هزینه بین نمونه پیشنهادی و نمونه ساخته‌شده است را به‌طور مستقیم وارد نرم‌افزار نماید.

در ریت اسکرین ترازهای بهره‌برداری انرژی برای هر دو نمونه یکسان در نظر گرفته می‌شود، برای مثال اگر از یک شبکه بادی پیشنهادی قرار باشد که سالانه MW ۵۰۰۰۰ الکتریسیته تولید شود، آنگاه این میزان با همان مقدار الکتریسیته به‌دست‌آمده از منابع معمول در دسترس، مقایسه می‌گردد. نکته قابل‌توجه آنکه، این هزینه‌ها در کل، برای نمونه پایه و پیشنهادی مشابه نخواهد بود و نمونه‌های پیشنهادی، به‌طورمعمول هزینه‌های اولیه بالاتر و هزینه‌های سالیانه پایین‌تر خواهد داشت؛ بنابراین با تحلیل ریت اسکرین می‌توان در خصوص این موضوع که «آیا در طول اجرای پروژه میان هزینه‌ها و صرفه‌جویی‌های مالی پروژه تعادلی به وجود خواهد آمد که به‌موجب آن این پروژه تبدیل به یک پروژه جذاب شود» پی برد.

به‌طور خلاصه پروسه انجام هر پروژه استاندارد در نرم‌افزار ریت اسکرین، شامل ۵ مرحله می‌باشد. بر همین اساس، بسته به نحوه کار نرم‌افزار ریت اسکرین، کاربر می‌تواند از این نرم‌افزار در مورد تکنولوژی‌های مختلف استفاده کند. ازآنجاکه ریت اسکرین در محیط مایکروسافت اکسل بسط می‌یابد، باید هرکدام از این پنج گام در یک رویه تحلیلی همسان با یک یا چند کار برگ در اکسل همراه شود. شکل ۲-۱ زیر شمای عملیاتی پنج مرحله‌ای تحلیل پروژه استاندارد در مدل نرم‌افزار ریت اسکرین را نشان می‌دهد (Ibid):



شکل ۲-۱ شمای عملیاتی پنج مرحله‌ای تحلیل پروژه استاندارد در مدل نرم‌افزار ریت اسکرین

گام اول (مدل انرژی و کار برگ‌های زیرمجموعه): در این کار برگ، کاربر، پارامترهایی مرتبط با مکان پروژه، نوع سیستم استفاده‌شده در نمونه پایه، تکنولوژی موردنظر در خصوص نمونه پیشنهادی، میزان بار تولیدی مدنظر و منبع انرژی تجدید پذیر را در نرم‌افزار مشخص می‌کند. بدین ترتیب، نرم‌افزار، میزان تولید سالیانه انرژی و یا میزان صرفه‌جویی انرژی را محاسبه می‌کند.

گام دوم (تحلیل هزینه): در این کار برگ، کاربر هزینه‌های اولیه، سالیانه و دوره‌ای را برای سیستم نمونه پیشنهادی به‌علاوه اعتباراتی که بایستی در نمونه پایه مصرف می‌شده است و از مصرف آن به خاطر به‌کارگیری نمونه پیشنهادی جلوگیری شده است، وارد می‌کند، همچنین به‌صورت بالعکس، می‌بایست هزینه‌های افزایشی حاصل از ایجاد نمونه پیشنهادی را به این نرم‌افزار وارد کرد. کاربر، انتخابی بین اجرای یک مطالعه پیش امکان‌سنجی (امکان‌سنجی اولیه) و امکان‌سنجی دارد. برای تحلیل «پیش امکان‌سنجی»، به‌طورمعمول حداقل اطلاعات تفضیلی و حداقل دقت موردقبول، نیاز است؛ درحالی‌که برای مطالعه امکان‌سنجی، اطلاعات تفضیلی‌تر و با دقت بالاتر معمولاً نیاز است. ازاین‌رو محاسبات انجام‌شده به‌وسیله نرم‌افزار برای این گام به نسبت ساده (جمع و ضرب) و واضح هستند، همچنین اطلاعاتی که در کتابچه راهنمای کاربر آنلاین برای هر خانه ورودی و خروجی ارائه‌شده درک کاملی را از این برگه به دست می‌دهد.

گام سوم- تحلیل گاز گلخانه‌ای (تحلیل انتخابی): این کار برگ انتخابی، به تعیین میزان کاهش سالیانه انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از جایگزینی تکنولوژی پیشنهادی با تکنولوژی نمونه پایه کمک می‌کند.

در حقیقت کاربر، در اجرای بین تحلیل‌های ساده، استاندارد و تحلیل سفارشی، قدرت انتخاب دارد. همچنین می‌تواند مشخص کند که آیا مدنظر می‌بایست به‌عنوان یک پروژه با پتانسیل «در جهت عمل در زمینه توسعه پاک» باید در نظر گرفته شود یا خیر. نرم‌افزار ریت اسکرین به‌طور خودکار به ارزیابی این مسئله که آیا پروژه مدنظر می‌تواند به‌عنوان یک پروژه کوچک‌مقیاس با پتانسیل در جهت کار درزمینه توسعه پاک عمل کند یا خیر می‌پردازد.

گام چهارم- صورت‌وضعیت مالی: در این کار برگ، کاربر، پارامترهای مالی مرتبط با هزینه اجتناب شده از انرژی، میزان اعتبارات مربوط به تولید، اعتبارات مربوط به کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای، مشوق‌ها، تورم، نرخ بهره، وام و مالیات‌ها را معین می‌کند. در این مرحله، ریت اسکرین تنوعی از شاخص‌های مالی را (به‌عنوان‌مثال ارزش از پیش تعیین‌شده خالص و غیره) جهت ارزیابی عملی بودن پروژه ارائه می‌دهد. همچنین نمودار تجمعی گردش مالی در برگه صورت‌وضعیت مالی گنجانده‌شده است.

گام پنجم- تحلیل‌های ریسک و حساسیت (اختیاری): کاربر را در تعیین میزان عدم قطعیت در برآورد پارامترهای کلیدی مختلف که در عملی بودن پروژه تأثیرگذار است، یاری می‌کند. همچنین امکان تحلیل حساسیت و یا ریسک را فراهم می‌آورد.

۲-۲ پلت فرم مشترک برای ارزیابی و توسعه پروژه

ریت اسکرین، با فراهم کردن بسته نرم‌افزاری مشترک جهت ارزیابی و توسعه پروژه، اجرای پروژه را برای همه مشارکت‌کنندگان درگیر در پروژه تسهیل می‌کند. برای مثال بسیاری از مردم در سراسر جهان، ریت اسکرین را برای اهداف مختلف شامل: مطالعات

[1]- Clean Development Mechanism (CDM)

امکان‌سنجی، مطالعات بازار، تحلیل سیاست‌ها، گسترش اطلاعات، آموزش، فروش محصولات و خدمات، مدیریت و توسعه پروژه و توسعه محصول بکار می‌برند و این پلت فرم مشترک تا حد زیادی نیاز همه این مشارکت‌کنندگان مختلف را برآورده می‌سازد.

برای مثال یک مشاور ممکن است بخواهد از ریت اسکرین، جهت بررسی پروژه تولید برق شخصی استفاده کند. این تولیدکننده برق ممکن است بخواهد ارقام ورودی را به‌عنوان بخشی از تحلیل حساسیت پارامترهای کلیدی مانند برگشت سرمایه به‌دلخواه خود تغییر دهد. ممکن است از همین فرد خواسته شود تا جهت اخذ وام، فایل توجیهی را برای وام‌دهندگان بفرستد تا آن‌ها بتوانند قبل از اعطای وام به‌مرور جزئیات کار، عملی بودن آن و صندوق تأمینی آن بپردازند. همچنین ممکن است ناظر بخواهد فایل پروژه را برای تأیید کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای و مانند آن درخواست کند. این مشارکت‌کنندگان نیز به‌نوبه خود ممکن است در ارقام ورودی تحلیل صورت‌وضعیت مالی، متناسب با شاخص‌های مهم مدنظرشان تغییراتی را بدهند.

۲-۲ استفاده‌کنندگان نرم‌افزار ریت اسکرین

۲-۳ مدل‌های تکنولوژی انرژی پاک

نرم‌افزار ریت اسکرین می‌تواند برای ارزیابی صنعتی، تجاری، خصوصی، اجتماعی، مسکونی و همگانی استفاده شود. در زیر به بیان برخی مدل‌های مهم تکنولوژی انرژی پاک ریت اسکرین می‌پردازیم:

- **مدل پروژه تولید برق:** برای کاربردهای متصل به شبکه[۱](سیستم‌های PV شبکه مرکزی و شبکه مستقل)؛ برای کاربردهای منفصل از شبکه[۲]مانند (PV باتری) و سیستم‌های هیبریدی (ژنراتور و PV باتری)؛ و کاربردهای پمپ آب (سیستم‌های PV پمپی)؛
- **مدل پروژه انرژی بادی:** برای پروژه‌های بادی متصل به شبکه و منفصل از آن، مزارع توربین‌های بادی مقیاس بزرگ تا سیستم‌های تک توربینی هیبریدی بادی- دیزلی مقیاس کوچک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۴ پایگاه داده بین‌المللی مرتبط با انرژی پاک

جهت کمک به تعیین میزان انرژی ورودی که به‌وسیله پروژه می‌تواند به دست آید، یا کمک به محاسبه پارامترهای کلیدی مهم همچون بارهای گرمایشی، نرم‌افزار ریت اسکرین هم از داده‌های هواشناسی و هم از داده‌های نشان‌دهنده بازدهی یک محصول به‌عنوان ورودی به مدل‌های گوناگون تکنولوژی، استفاده می‌کند. سایر داده‌های دیگر برای تعیین جنبه‌های مالی مختلف پروژه، برای تحلیل هزینه‌ها و سایر پارامترهای مالی لازم‌اند. به دست آوردن اطلاعاتی از این نوع برای یک پروژه شخصی ممکن است بسیار زمان‌بر و پرهزینه باشد (Maycock, 2003). نرم‌افزار ریت اسکرین مجموعه‌ای از پایگاه داده‌ها را برای کمک به حل این مشکل و تسهیل کاربرد پروژه‌های انرژی پاک در سراسر جهان یکی می‌کند. هرچند کاربر می‌تواند در هرزمانی داده‌هایی را از منابع دیگری که موردنیاز است، وارد کند.

---

[۱] - کاربردهای متصل به شبکه ((on-grid

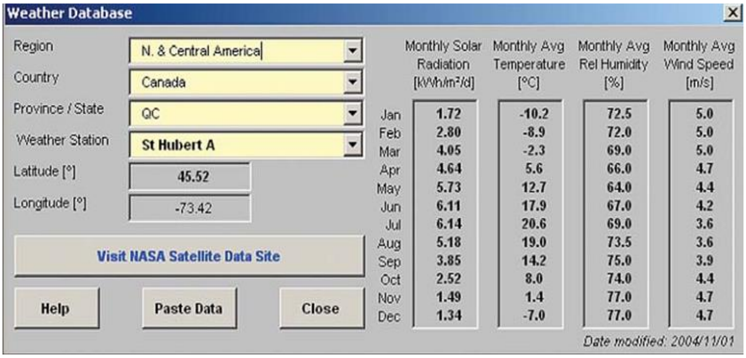
[۲] - کاربردهای منفصل از شبکه (off-grid)

این بخش به معرفی منبع داده‌های هواشناسی استفاده‌شده در نرم‌افزار می‌پردازد. این منابع هواشناسی هم شامل داده‌های هواشناسی زمینی و هم مجموعه داده‌های هواشناسی مستخرج از ماهواره ناسا می‌باشد؛ که هر دو، داده‌های آب‌وهوایی را برای کل سطح سیاره فراهم می‌کنند. داده‌های مرتبط با یک محصول که در این نرم‌افزار گنجانده‌شده است، به‌تفصیل در زیر آمده است.

۱-۴-۲ داده‌های هواشناسی زمینی

از داده‌های هواشناسی به‌عنوان داده‌های ورودی در نرم‌افزار ریت اسکرین استفاده می‌گردد. پایگاه آنلاین داده آب‌وهوایی بین‌المللی ریت اسکرین شامل میانگین‌های برداشت‌شده زمینی برای بیش از ۴۷۰۰ مکان در سراسر جهان (که از بیش از ۲۰ منبع مختلف) در دوره زمانی ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ تکمیل‌شده، می‌باشد. نقشه ایستگاه‌های هوایی زمینی استفاده‌شده در نرم‌افزار در شکل زیر نمایش داده‌شده است؛ و مثالی از پایگاه داده آب‌وهوایی جامع در شکل بعدی ارائه می‌شود.

شکل ۲-۳



شکل ۲-۴ پایگاه داده هوایی مورداستفاده ریت اسکرین

داده‌های اصلی ورودی به این نرم‌افزار تنها از یک منبع نمی‌باشد بلکه داده‌ها حاصل تلفیق اطلاعات متعدد به‌دست‌آمده از منابع مختلف می‌باشند. همچنین بسته به ایستگاه، بعضی از متغیرها با کمیت‌های دیگر محاسبه می‌شوند؛ برای مثال رطوبت نسبی ممکن است با حداقل و حداکثر سطح رطوبت محاسبه شود.

بیش از ۲۰ منبع برای تکمیل این پایگاه داده استفاده شد؛ البته از همه این منابع به دلایل محدود بودن پوشش فضایی (پوشش یک منطقه خاص) و عدم قابلیت تعمیم به مکان‌ها و کشورهای مشابه، به‌طور یکسان استفاده‌نشده است. پراهمیت‌ترین منابع عبارت‌اند از:

۱- سازمان هواشناسی جهانی[۱] (۱۹۶۱). پارامترهای اقلیمی برای دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰. ژنو: دبیرخانه سازمان جهانی هواشناسی. این سند بسیار بزرگ حاوی اطلاعاتی است که توسط کشورهای عضو در زمینه پارامترهای مختلف اقلیمی تهیه می‌شود. تعداد پارامترهای گزارش‌شده، بستگی به کشورهای گزارش دهنده دارد (the National Climatic Data Centre, 2014).

۱- World Meteorological Organization

۲- محیط‌زیست کانادا (۱۹۹۳). شاخص‌های اقلیمی کانادا ۱۹۶۱-۱۹۹۰.[۱] کتاب شش‌جلدی شامل تعداد زیادی اطلاعات هواشناسی برای کانادا و برای اکثر ایستگاه‌های کانادا استفاده شد (به‌جز داده‌های مرتبط با انرژی‌های بادی و تابش خورشیدی)(Environment Canada, 1993)

۳- محیط‌زیست کانادا (۱۹۹۸). انرژی تجدید پذیر بادی و منبع خورشیدی کانادا.[۲] اطلاعات شامل اطلاعات تابش خورشیدی و سرعت باد برای همه مکان‌های کانادا می‌باشد (Natural Resources Canada's CETC-Varennes, 2004).

۴- شرکت منطق عددی (۱۹۹۸).[۳] میانگین‌های ماهانه تابش خورشیدی و ساعات آفتابی، مستخرج از آرشیو آنلاین مرکز داده‌های تابش جهانی (WRDC)(۱۹۹۳-۱۹۶۴).[۴] میانگین‌های برای تابش خورشیدی از داده‌های ذخیره‌شده در WRDC محاسبه می‌شود؛ تنها ایستگاه‌هایی که بیش از ۵ سال اطلاعات در مورد آن‌ها موجود بود در نرم‌افزار موردنظر قرار گرفتند (Eliasson, 1998).

۵- مرکز داده‌های اقلیمی ملی و لابراتوار انرژی تجدید پذیر ملی (۱۹۹۳). شبکه مشاهدات سطحی هواشناسی (SAMSON) (۱۹۹۰-۱۹۶۹). شامل تابش خورشیدی برای مکان‌هایی در ایالات‌متحده آمریکا. (Laboratory (CEDRL), 1999).

۲-۴-۲ مجموعه داده‌های هواشناسی مستخرج از ماهواره ناسا

مجموعه داده‌های هواشناسی مستخرج از ماهواره ناسا برای هر مکانی بر روی زمین برای استفاده در نرم‌افزار ریت اسکرین از طریق هواشناسی سطحی و انرژی خورشیدی (SSE)

۱- Ottawa: Minister of Supply and Services Canada

۲- The Canadian renewable energy wind and solar resource (CERES). Ottawa: Minister of Supply and Services Canada.

۳- Numerical Logics Inc. (1998).

۴- the World Radiation Data Centre (WRDC) Online Archive (1964-1993)

ناسا فراهم می‌شود. این مجموعه داده‌های ارائه‌شده به‌وسیله ناسا در انطباق با ریت اسکرین بین‌الملل، ابزاری مفید برای دستیابی به اطلاعات و نقشه‌های مرجع پروژه‌هایی است که نقشه آن‌ها در دسترس نیست. نکته قابل‌توجه آنکه کاربر به‌سادگی می‌تواند لینک مستقیمی از وب‌سایت را در این نرم‌افزار ایجاد کند و درنتیجه می‌تواند داده‌های مربوطه را از وب‌سایت کپی کنند و آن را در برگه نرم‌افزار وارد کند (NASA, 2005).

داده‌های انرژی خورشیدی (SSE)، مستقیماً از چند پایگاه داده دیگر توسعه‌یافته توسط ناسا شامل سیستم‌های مشاهده زمینی گودارد نسخه ۱[۱] و برای داده‌های تابش خورشیدی، پروژه اقلیم‌شناسی ابری ماهواره بین‌الملل نسخهٔ D[۲] ، با به‌کارگیری مدل اتمسفری اضافه‌شده به ماهواره و مشاهدات صوتی جمع‌آوری می‌شود. این مجموعه داده‌ها، به‌نوبه خود، از تحلیل مشاهدات انجام‌شده به‌وسیله ماهواره‌های زمین مدار (GOES[۳]، POES[۴]) از سازمان ملی اقیانوسی و جوی آمریکا[۵]، ماهواره‌های هواشناسی (Meteosat)[۶] به‌وسیله آژانس فضایی اروپا[۷] و ماهواره‌های GMS[۸] به‌وسیله آژانس هواشناسی ژاپن[۹] به دست می‌آیند (National Renewable Energy Laboratory, 2005& European Network of Energy Agencies ATLAS, 2005).

داده‌های ماهواره‌ای، گستره وسیعی از اطلاعات را نسبت به دادهای زمین مبنا در اختیار کاربر می‌گذارد. برخلاف بانک اطلاعات هواشناسی زمینی ریت اسکرین، بانک اطلاعات سطحی و خورشیدی ناسا (SSE)، محدود به هیچ ایستگاه خاصی نبوده و امکان فراهم

۱- the Goddard Earth Observing Systems Version 1 (GEOS-1)

۲- the International Satellite Cloud Climatology Project Version D (ISCCP D-1)

۳- the Geostationary Operational Environmen-tal Satellites (GOES)

۴Polar-Orbiting Environmental Satellites (POES)

۵US National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA)

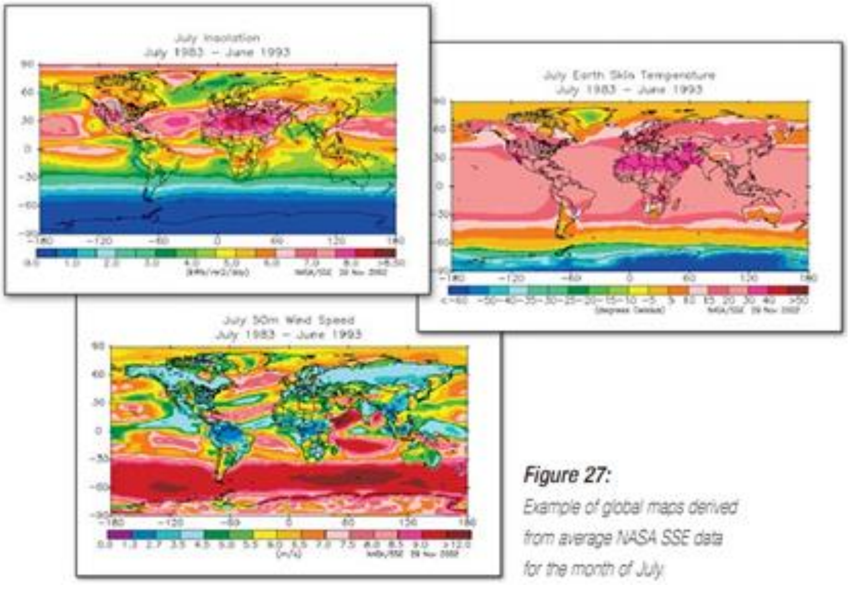
۶the Meteorological Satellites (Meteosat)

۷the European Space Agency

۸the Geostationary Meteorological Satellites (GMS)

۹the Japan Meteorological Agency

آوردن متغیرهای اقلیمی برای هر نقطه از سطح زمین وجود دارد. این زمانی اهمیت پیدا می‌کند که ایستگاه‌های اندازه‌گیری زمینی بسیاری نزدیک مراکز پرجمعیت باشند و SSE گاهی تنها منبع در دسترس برای مناطق دورافتاده و دوردست باشد. از سوی دیگر، توان تفکیک شبکه مورداستفاده توسط SSE ممکن است برای به دست آوردن ویژگی‌های محلی اقلیم ناکافی باشد؛ به‌عنوان‌مثال میکرو اقلیم انسانی یا طبیعی مثلاً تأثیر شهری در این نرم‌افزار موردتوجه قرار نگرفته است؛ و داده‌های SSE به‌تنهایی برای که در اینجا عوارض توپوگرافی وسیعی درون یک سلول شبکه قرار می‌گیرد، مناسب نیست. پارامترهای آب‌وهوایی اقلیمی ممکن است در یک منطقه نسبت به برخی پارامترها مانند سرعت باد حساس باشند و در خصوص برخی پارامترها نیز مانند میزان تابش خورشید حساسیت خاصی وجود نداشته باشد. توان تفکیک بالاتر بر روی نتیجه نهایی کم تأثیر و یا بی‌تأثیرند. مثال‌هایی از نقشه‌های مستخرج از متوسط (۱۹۸۳-۱۹۹۲) داده‌های SSE برای ماه جولای در شکل زیر نشان داده می‌شود.

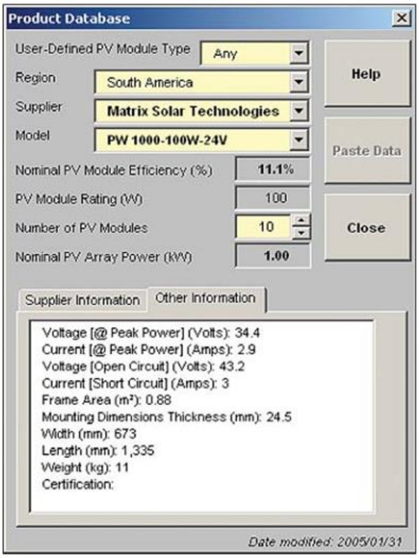


شکل ۲-۵ نقشه آب‌وهوایی ناسا

مجموعه داده SSE ناسا، از داده‌های جمع‌آوری‌شده برای دوره ۱۰ ساله از جولای ۱۹۸۳ تا ژوئن ۱۹۹۳ فرمول‌بندی می‌شود. داده‌های ماهواره اصلی و geos-1 با به به‌کارگیری degree grid size-1 که کل زمین را پوشش می‌دهند، محاسبه می‌شوند. در عرض‌های میانی ۴۵ درجه اندازه سلول حدوداً ۸۰×۱۱۰ کیلومتر می‌باشد.

۵-۲ پایگاه داده محصول

پایگاه داده محصولات در نرم‌افزار به‌طور مستقیم دسترسی به بیش از ۶۰۰۰ هزار محصول مرتبط را فراهم می‌کند. داده‌های تخصصی و اجرایی مطروحه جهت توصیف عملکرد سیستم انرژی پاک پیشنهادی، در اولین گام تحلیل نرم‌افزار لازم و ضروری می‌باشد. داده‌های این محصولات همان‌طور که در شکل ۲-۶ نشان داده‌شده است را می‌توان به‌طور مستقیم در برگه‌های مربوط به مدل تکنولوژی انرژی پاک، کپی کرد. این شکل نمونه‌ای از پایگاه داده جامع محصولات است که برای یک مدل پروژه فتوولتائیک در نرم‌افزار ریت اسکرین ارائه‌شده است.



۶-۲ داده‌های ورودی به ریت اسکرین

پایگاه داده محصولات ریت اسکرین، داده‌ها را برای سیستم‌های قدرت، سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی لیست شده در شکل ۲-۷ ارائه می‌کند.

Power Systems	
Wind turbines	Gas turbines
Hydro turbines	Gas turbines – combined cycle
Photovoltaic modules	Reciprocating engines
Geothermal systems	Steam turbines
Fuel cells	Other
Heating Systems	
Biomass heating systems	Boilers
Solar air heating systems (e.g. Solarwall®)	Furnaces
Solar water heaters (including pool heaters)	Heaters
Windows for passive solar heating	Heat pumps (air and ground-source)
Cooling Systems	
Heat pumps (air and ground-source)	Desiccant wheels
Absorption chillers	Free cooling
Compressors	Other

شکل ۲- ۷ اطلاعات ورودی نوع سیستم

به‌علاوه، دسترسی به پایگاه داده‌ها از طریق لینک‌های وب‌سایت به نرم‌افزار فراهم می‌شود تا بستر اطلاعاتی در خصوص سازندگان تکنولوژی انرژی پاک در سراسر جهان را برای کاربر نرم‌افزار فراهم کند. به‌گونه‌ای که در صورت تمایل و علاقه کاربر به گرفتن اطلاعات بیشتر (مانند قیمت بازار) بتواند مستقیماً با تأمین‌کننده محصول ارتباط پیدا کند.

مکمل این بانک اطلاعاتی جامع در زمینه محصول در نرم‌افزار ریت اسکرین، یک افزونه مبتنی بر فروش اینترنتی می‌باشد که اطلاعات مرتبط با تأمین‌کنندگان تجهیزات، ارائه‌کنندگان خدمات و دیگر منابع اطلاعاتی مرتبط با انرژی‌های پاک در سراسر جهان را ارائه می‌کند. قسمت فروش کالای ریت اسکرین در وب‌سایت آن موجبات تسهیل گری به اشتراک گذاشتن اطلاعات میان تأمین‌کنندگان خدمات و محصول و مشتریان و کاربران ریت اسکرین می‌شود؛ و همچنین شامل پایگاه داده‌ای قابل جستجو از تأمین‌کنندگان و انجمن‌های آنلاین می‌باشد؛ محلی که کاربران می‌توانند نظراتشان را ارسال کرده و سؤالاتشان را بپرسند.

۲-۶ داده‌های هزینه

هر مدل تکنولوژی انرژی پاک ریت اسکرین، داده‌هایی را در مورد کمیت‌ها و هزینه‌های متداول برای بسیاری از اقلام ذکرشده در برگه تحلیل هزینه در برمی‌گیرد (گام دوم). داده‌های هزینه‌ای به‌دست‌آمده در ستون سمت راست با عنوان «میزان دامنه تغییرات هزینه» همان‌طور که در شکل زیر نشان داده‌شده، نمایش داده می‌شود. کاربر همچنین می‌تواند ستون‌های سفارشی از مقادیر و داده‌های هزینه را با انتخاب، گزینه‌های مختلف زیر خانه «مرجع هزینه» وارد کند.

RETScreen Cost Analysis - Combined heating & power project

Settings - Apartment building - Toronto, Canada

Pre-feasibility analysis / Feasibility analysis — Cost reference / Second currency — Cost reference: Canada - 2005 — Canada - 2005

Initial costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount	Relative costs	Quantity range	Unit cost range
Feasibility study							
Site investigation	p-d	1	$ 400	$ 400		1 - 5	$300 - $1,000
Resource assessment	p-d	2	$ 400	$ 800		1 - 5	$300 - $1,000
Environmental assessment	p-d	2	$ 400	$ 800		1 - 8	$300 - $1,000
Preliminary design	p-d	2	$ 400	$ 800		2 - 20	$300 - $1,000
Detailed cost estimate	p-d	2	$ 400	$ 800		3 - 100	$300 - $1,000
GHG baseline study & MP	project	2	$ 400	$ 800			$40,000 - $60,000
Report preparation	p-d	2	$ 400	$ 800		2 - 15	$300 - $1,000
Project management	p-d	2	$ 400	$ 800		2 - 8	$300 - $1,000
Travel & accommodation	p-trip	1	$ 2,000	$ 2,000			
Custom	cost	1	$ 5,000	$ 5,000			
				$ -			
Sub-total				$ 13,000	3.0%		

شکل ۲-۸ تحلیل هزینه در ریت اسکرین

۲-۷ مواد آموزشی و کتابچه راهنمای آنلاین کاربران

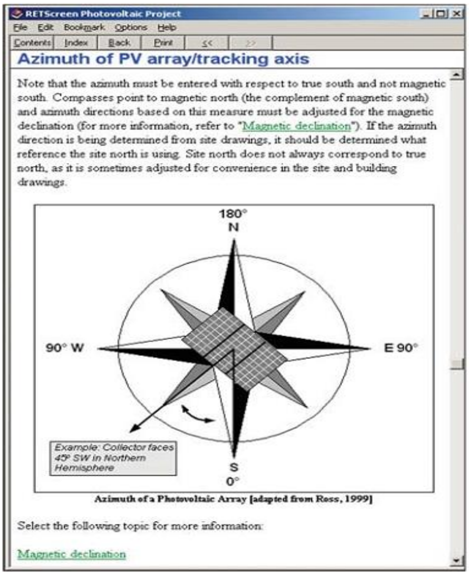
یکسری از منابع اضافی برای کمک به یادگیری کاربران که چطور با ریت اسکرین خیلی سریع، مؤثر و با دقت بالا کار کنند، تولیدشده است. این منابع عبارت‌اند از:

کتابچه راهنمای آنلاین کاربران: در نرم‌افزار ریت اسکرین، کتابچه راهنمای آنلاین جامعی وجود دارد. برای هر سلولی که یک خروجی یا ورودی موردنیاز کاربر را نشان داده، صفحه پیوست شده‌ای در کتابچه راهنما وجود دارد که آنچه این خانه انجام می‌دهد را توضیح

[1]- Unit Cost Range

[2]- Cost reference

می‌دهد. این برای کاربران جدید و متخصصان به یک اندازه کمک‌کننده است. کاربران جدید می‌توانند از طریق این صفحه گسترده گام بردارند و اطلاعاتی را از کتابچه برای هر خانه ورودی که آن‌ها با آن مواجه می‌شوند را جستجو کنند. کاربران متخصص می‌توانند به کتابچه برای شفاف‌سازی قراردادها و در به خاطر سپاری قیمت، اندازه و دیگر جزئیات اتکا کنند. این راهنما همچنین، پیش‌زمینه‌ای را هم برای تکنولوژی‌های انرژی پاک و هم روش‌شناسی ریت اسکرین فراهم می‌کند. به‌علاوه این راهنما، باعث افزایش انتشار اطلاعات در مورد این نرم‌افزار و تبیین میزان سودمندی آن است. این کتابچه همچنین با فرمت pdf برای کسانی که می‌خواهند کتابچه را به‌طور کامل چاپ کنند و نیز برای دانلود از وب‌سایت ریت اسکرین قابل‌دسترس می‌باشد.



شکل ۲-۹ کتابچه راهنما ریت اسکرین

مواد آموزشی: مواد آموزشی برای یک دوره تحلیل انرژی پاک مبتنی بر یک نمونه موردی ماژولار، برای استفاده توسط مراکز آموزشی در سراسر جهان و نیز جهت استفاده توسط

متخصصان و دانشجویان در مطالعه شخصی‌شان در قالب آموزش از راه دور ایجادشده است.

۲-۸ مدل تحلیل مالی

مدل تحلیل مالی ریت اسکرین در برگه صورت‌وضعیت مالی نرم‌افزار ریت اسکرین پایه‌ریزی شده و به کاربر اجازه می‌دهد تا پارامترهای مختلف مالی همچون میزان تخفیف و ... را وارد کند و به‌طور خودکار شاخص‌های کلیدی اجرایی بودن به لحاظ مالی، همچون نرخ بازده داخلی، بازگشت سرمایه، ارزش خالص فعلی و ... را محاسبه می‌کند.

این بخش معادلات استفاده‌شده در مدل تحلیل مالی ریت اسکرین را ارائه می‌دهد. فرمول‌های استفاده‌شده مبتنی بر اصطلاحات و مباحثی است که در اکثر کتاب‌های مالی همچون بریلی و مایرز (۱۹۹۱) یا گریسون و همکاران (۱۹۹۰) پایه‌گذاری شده است. این مدل فرضیات زیر را در برمی‌گیرد (Langcake, 2003):

- سال سرمایه‌گذاری اولیه سال صفر است؛
- هزینه‌ها و اعتبارات داده‌شده در شرایط سال صفر ارائه می‌شود، ازاین‌رو نرخ تورم (نرخ افزایش) از سال ۱ به بعد اعمال می‌شود؛
- زمان گردش پولی در انتهای سال رخ می‌دهد.

۲-۸-۱ پرداخت وام

پرداخت وام‌ها، جریان ثابت پرداخت‌های منظمی که تعداد سال‌های مشخصی طول می‌کشد (که با اصطلاح وام (debt) شناخته می‌شود). پرداخت سالانه وام D با به‌کارگیری فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$D = C.f_d \frac{i_d}{1-\left(\frac{1}{1+i_d}\right)^N} \qquad (۲-۱)$$

که در اینجا C هزینه کل اولیه پروژه می‌باشد، f_d نرخ وام، i_d نرخ مؤثر بهره اوراق قرضه سالانه و N شرایط وام در سال‌ها می‌باشد. پرداخت وام سالانه، همان‌طور که در معادله ۱ ارائه‌شده می‌تواند به پرداخت نسبت به اصل $D_{p,n}$ و پرداخت مؤثر $D_{i,n}$ شکسته شود:

$$D = D_{p,n} + D_{I,n} \quad (۲-۲)$$

هم $D_{p,n}$ و هم $D_{i,n}$ از سالی به سال دیگر فرق می‌کنند؛ و به‌وسیله تابع استاندارد ساخته‌شده در مایکروسافت اکسل محاسبه می‌شود.

۲-۸-۲ استهلاک دارایی

محاسبه استهلاک دارایی (حد مجاز هزینه سرمایه) بستگی به روش محاسبه استهلاک در برگه صورت‌وضعیت مالی دارد: انتخاب‌ها عبارت‌اند از: استهلاک صفر، تعادل نزولی دارایی، یا روند خطی استهلاک. استهلاک سالانه دارایی‌ها، در مدل محاسبه مالیات‌های درآمدی و شاخص‌های مالی بعد از کسر مالیات استفاده می‌شود. کاربر بایستی روشی که بیش‌ترین مشابهت را با روش استفاده‌شده به‌وسیله گروه‌های مالیاتی در حوزه مطالعاتی پروژه دارد، انتخاب کند. در پایان عمر پروژه، تفاوت بین ارزش «انتهایی عمر پروژه» و «هزینه‌های سرمایه‌ای بدون استهلاک»، به‌عنوان درآمد اگر مثبت باشد و به‌عنوان زیان و ضرر اگر منفی باشد، تلقی می‌شود.

وقتی هیچ استهلاکی (استهلاک صفر) وجود نداشته، مدل فرض می‌کند که پروژه به‌طور کامل از ابتدای شروع به کار سرمایه می‌شود و در طول سال‌ها مستهلک نمی‌شود و بنابراین ارزش غیر استهلاکی‌اش را در مدت‌زمان حیاتش حفظ می‌کند. در این صورت در پایان عمر پروژه، استهلاک صفر برابر با کل دارایی‌های مستهلک نشده یا ارزش کل دارایی‌ها می‌باشد. در خصوص تعادل نزولی و روند خطی استهلاک، مدل فرض می‌کند که کل استهلاک مجاز برای یک سال همیشه داده می‌شود.

۲-۹ شاخص‌های امکان‌سنجی مالی

نرم‌افزار ریت اسکرین به‌طور خودکار در برگه صورت‌وضعیت مالی مبتنی بر داده‌های ورودی کاربر، شاخص‌های مالی را برای پروژه مورد تحلیل ارائه می‌دهد. این امر فرایند ارزیابی را برای برنامه‌ریزان تسهیل می‌کند این شاخص‌ها عبارت‌اند از (Newcastle Photovoltaics Applications Centre, 1998):

- نرخ بازده داخلی و بازگشت سرمایه[1]
- بازگشت سرمایه
- سال گردش پولی مثبت (همچنین بازپرداخت نقدینگی)
- ارزش خالص فعلی
- صرفه‌جوئی‌های چرخه کاری سالانه
- نرخ هزینه- بهره
- پوشش بدهی خدمات
- هزینه تولید انرژی
- هزینه کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای

۲-۱۰ مدل‌های تحلیل حساسیت و ریسک

مدل‌های تحلیل حساسیت و ریسک ریت اسکرین، در برگه تحلیل ریسک و حساسیت نرم‌افزار ریت اسکرین پایه‌ریزی می‌شود و به کاربر کمک می‌کند تا حساسیت شاخص‌های مالی مهم را در ارتباط با پارامترهای کلیدی مالی و تکنیکی برآورد کند. این برگه شامل دو بخش اصلی می‌شود: تحلیل حساسیت و تحلیل ریسک. هر تحلیلی اطلاعاتی که در مورد ارتباط بین پارامترهای مالی و تکنیکی و شاخص‌های مالی برقرار می‌شود. نشان می‌دهد کدام پارامتر بالاترین تأثیر را بر شاخص‌های مالی دارد. هم تحلیل‌های ریسک و هم حساسیت، انتخابی هستند و ورودی‌ها یا خروجی‌ها مرتبط با آن تأثیری بر نتایج دیگر برگه‌ها ندارند.

[1]- Internal rate of return (IRR) and return on investment (ROI)

۲-۱۰-۱ کار برگ تحلیل حساسیت و ریسک

ازآنجاکه پارامترهای کلیدی که برای هر تکنولوژی مهم‌اند و این پارامترها برای هر تکنولوژی متفاوت هستند، بنابراین مدل‌های مرتبط با هرکدام از انرژی‌های پاک نسبت به دیگری متفاوت می‌باشد. بااین‌وجود، همه یک الگوریتم مشابه را که در زیر شرح داده می‌شود، به کار می‌برند. بخش تحلیل حساسیت این مدل شامل مجموعه‌ای از جداول، مشابه با شکل ۲-۱۰ می‌باشد که تأثیر مختلف یک جفت از پارامترهای ورودی را بر شاخص‌های امکان‌سنجی مالی نشان می‌دهد. این مدل نسبتاً ساده است و در اینجا با تفضیل شرح داده نمی‌شود.

RE delivered (MWh)		Avoided cost of energy ($/kWh) 0.0760 -20%	0.0855 -10%	**0.0950** 0%	0.1045 10%	0.1140 20%
32,546	-20%	7.2%	9.8%	12.4%	14.9%	17.6%
36,614	-10%	10.2%	13.1%	16.1%	19.2%	22.3%
40,682	0%	13.3%	16.7%	**20.1%**	23.7%	27.4%
44,750	10%	16.6%	20.4%	24.4%	28.5%	32.8%
48,619	20%	20.0%	24.4%	28.9%	33.6%	38.4%

۲-۱۰ داده‌های ورودی جهت امکان‌سنجی مالی یک پروژه انرژی بادی

تحلیل در مورد نرخ بازده داخلی (IRR) و بازگشت سرمایه (ROI) با حساسیت ۲۰٪ و آستانه ۱۵٪ بعد از اخذ مالیات می‌باشد. سه ارزش اصلی استفاده‌شده در این تحلیل، برجسته شده است.

۲-۱۰-۲ شبیه‌سازی مونت‌کارلو

مدل تحلیل ریسک در ریت اسکرین بر مبنای شبیه‌سازی مونت‌کارلو پایه‌ریزی شده است. روشی که در آن توزیع نتایج شاخص مالی احتمالی به‌وسیله به‌کارگیری تصادفی

مجموعه‌های انتخابی ارزش‌ها به‌عنوان پارامترهای ورودی، در محدوده از پیش تعیین‌شده، برای شبیه‌سازی نتایج احتمالی می‌باشد.

در شبیه‌سازی مونت‌کارلو در نرم‌افزار ریت اسکرین، پارامترهای ورودی به چندین پارامترهای مالی و تکنیکی از پیش تعیین‌شده ارتباط می‌یابد و شاخص‌های خروجی به شاخص‌های مالی کلیدی ارتباط می‌یابند. شبیه‌سازی دو مرحله را در برمی‌گیرد:

- برای هر پارامتر ورودی، ۵۰۰ ارزش احتمالی با به‌کارگیری یک توزیع نرمال با میانگین صفر و انحراف استاندارد ۰,۳۳ تولید می‌شود. زمانی که این ارزش‌ها تولید شدند، این اعداد ثابت می‌شوند.
- هر ارزش تصادفی، آنگاه بر درصد مربوط به تغییرپذیری (دامنه) که توسط کاربر در برگه تحلیل حساسیت و ریسک مشخص‌شده ضرب می‌شود. نتیجه یک ماتریس شامل درصدهای متغیری است که بر مقادیر اولیه پارامترهای ورودی به‌منظور به دست آوردن ۵۰۰ نتیجه برای شاخص‌های مالی خروجی اعمال می‌شود.

زمانی که مجموعه‌ای از اعداد تصادفی ثابت می‌شوند و هر موقع پارامترهای ورودی در مدل پروژه ریت اسکرین مشخص می‌شوند و دامنه‌های مشابه تغییرات بکار گرفته می‌شوند، کاربر دقیقاً نتایج مشابهی را از مدل تحلیل ریسک به دست می‌آورد.

۳-۱۰-۲ گراف میزان تأثیر

تأثیر هر پارامتر ورودی بر شاخص مالی با به‌کارگیری رگرسیون خطی چندگانه بر شاخص مالی ارزیابی می‌شود. ضریب تأثیرگذاری پارامتر ورودی محاسبه‌شده به‌وسیله روش حداقل مربعات، ارزش‌های رسم شده در گراف میزان تأثیرات هستند. رگرسیون خطی چندگانه با به‌کارگیری مدل پروژه انرژی بادی به‌عنوان یک مثال به شکل زیر به کار گرفته می‌شود.

که در اینجا y متغیر وابسته شاخص مالی می‌باشد و متغیر مستقل X پارامتر ورودی به شکل زیر می‌باشد:

X_1 هزینه اجتناب شده در رابطه با انرژی می‌باشد؛

X_2 انرژی تجدید پذیر (RE) ارائه‌شده؛

X_3 هزینه‌های اولیه می‌باشد؛

X_4 هزینه‌های سالیانه می‌باشد؛

X_5 نرخ وام می‌باشد؛

X_6 نرخ بهره وام می‌باشد؛

X_7 مدت بازپرداخت وام می‌باشد؛

X_8 اعتبار میزان کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای؛ و

X_9 اعتبار انرژی تجدید می‌باشد.

آنگاه مدل رگرسیون خطی چندگانه عبارت است از:

$$Y=\beta_1 X_1+\beta_2 X_2+\beta_3 X_3+\beta_4 X_4+\beta_5 X_5+\beta_6 X_6+\beta_7 X_7+\beta_8 X_8+\beta_9 X_9+\varepsilon \quad (۲-۳)$$

که در اینجا β_k ضریب تأثیر برای هر پارامتر K و ε ، میزان خطای مدل باشد. برای ساختن مدل داده‌های خروجی از شبیه‌سازی مونت‌کارلو استفاده می‌شود. ۵۰۰ مقدار عددی برای Y همراه با ۵۰۰ مقدار عددی برای X وجود دارد. تابع LINEREG در مایکروسافت اکسل، بکار رفته برای بردار Y و ماتریکس X، ضرایب تأثیر را با به‌کارگیری روش حداقل مربعات محاسبه می‌کنند.

سپس این ضرایب با به‌کارگیری فرمول زیر استانداردسازی می‌شوند:

$$b_k = \frac{S_k}{S_y} \beta_k \qquad (۲-۴)$$

که در اینجا S_k انحراف استانداردی از ارزش‌های Xk ۵۰۰ و S_y انحراف استانداردی از 500y می‌باشد. آنگاه مقادیر b_k، بر گراف تأثیر رسم می‌شوند.

۴-۱۰-۲ میانه و بازه اطمینان

میانه یک شاخص مالی، درصد ۵۰ از ۵۰۰ میزان تولیدشده توسط شبیه‌سازی مونت‌کارلو می‌باشد. میانه به‌وسیله تابع میانه MEDIAN مایکروسافت اکسل داده می‌شود و به‌وسیله مرتب کردن ۵۰۰ پارامتر مربوط به شاخص مالی از کوچک‌ترین به بزرگ‌ترین محاسبه می‌شود.

بازه اطمینان، مجموعه‌ای از مقادیر می‌باشد که در درون شبیه‌ساز مونت‌کارلو قرار می‌گیرد. یک بازه اطمینان ۹۰ درصد نشان می‌دهد که ۹۰ درصد از ۵۰۰ مقدار شاخص مالی در یک طیف معین قرار دارند. کاربر سطح ریسک را مشخص می‌کند یا درصد مقادیری را که بیرون بازه اطمینان قرار گیرد (برای مثال ۹۰ درصد بازه اطمینان، ۱۰ درصد سطح ریسک دارد) را مشخص می‌کند.

حداقل سطح اطمینان برای شاخص مالی به‌وسیله تطابق درصدی با نیمی از سطح خطر تعریف‌شده به‌وسیله کاربر ارائه می‌شود. این درصد به‌وسیله تابع PERCENTILE در مایکروسافت اکسل ارائه می‌شود. برای مثال، برای یک سطح ریسک ۱۰ درصد، حداقل سطح اطمینان پنجمین درصد از ۵۰۰ مقدار تولیدشده به‌وسیله شبیه‌ساز مونت‌کارلو می‌باشد که از طریق مرتب کردن ۵۰۰ مقدار شاخص مالی در یک نظم صعودی محاسبه می‌شود. پنجمین درصد، متوسطی از ۲۵ امین و ۲۶ امین مقدار می‌باشد. به‌طور مشابه، حداکثر سطح اطمینان، درصد متناظر با یک منهای نیم سطح ریسک می‌باشد. با به‌کارگیری مثال بالا، سطح حداکثر اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد که با در نظر گرفتن متوسط مقادیر ۴۷۵ ام و ۴۷۶ ام حاصل شده است (Natural Resource Canada, 2011).

فصل سوم

سیستم‌های فوتوولتائیک

۳-۱ مقدمه

تقاضای جهانی برای سیستم‌های نیروی الکتریسیته خورشیدی به شکل ثابتی در ۳۰ سال گذشته در حال رشد بوده است. امروز نیاز به نیروی الکتریسیته ثابت و با هزینه کم در نواحی دورافتاده جهان محرک اولیه پیش راننده صنعت فوتوولتائیک جهان (PV) است. کاربردهای معمول مورداستفادهPV امروزه شامل سیستم‌های تأمین برق مستقل برای خانه‌ها و مناطق مسکونی دورافتاده، اهداف ناوبری، اهداف مخابراتی نظامی در مناطق دوردست و خدمات رفاهی، پمپاژ آب برای کشاورزان و سیستم‌های تأمین انرژی اضطراری در بزرگراه‌ها و اماکن عمومی، تنها چند نمونه از آن هستند. مثالی از سیستم فتوولتائیک هیبریدی متمرکز در شکل ۳-۱ نشان داده‌شده است.

شکل ۳-۱: سیستم فوتوولتائیک آبی مرکزی در اسکوئین (آراگون اسپانیا)

این فصل سیستم‌های فتوولتائیک (ماژول‌های PV، باتری‌ها، تهویه قدرت، ژنراتور و پمپ‌ها) را توصیف می‌کند و بازارهای فتوولتائیک را شامل کاربردهای متصل و منفصل از شبکه و پمپاژ آب را مورد بررسی قرار می‌دهد.

۲-۳ سیستم‌های فوتوولتائیک

بر اساس انرژی الکتریکی تولیدشده در شرایط استاندارد (STC) و در درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی‌گراد برابر با ۱ kW/m^2 می‌باشد. نکته قابل‌توجه آنکه در حال حاضر کارخانه‌ها ماژول‌های فوتوولتائیک با قدرت تولید انرژی الکتریکی با ظرفیت اسمی ۱۶۵ MW در شرایط STC با درجه حرارت سلولی ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۱,۵MA تولید می‌کنند.

سلول‌های PV برای سیستم‌های که برای کاربردهای خاصی طراحی‌شده‌اند. این قطعات در ماژولی جمع می‌شوند که توازن سیستم یا BOS را تشکیل می‌دهند. توازن عناصر سیستم را می‌توان در چهار دسته طبقه‌بندی کرد:

- **باتری‌ها**: انرژی الکتریکی را برای آن‌که انرژی موردنیاز را در شب یا در روزهای ابری عرضه کند، ذخیره می‌کند؛
- **اینورتور (مبدل)**: برای تبدیل نیروی DC تولیدشده به‌وسیله ماژول PV به نیروی AC موردنیاز است؛
- **کنترلرها**: مدیریت ذخیره‌سازی انرژی به باتری را و رساندن نیرو به بار را انجام می‌دهد؛
- **ساختار**: جهت ثابت کردن یا نصب ماژول‌های PV و دیگر اجزا موردنیاز است.

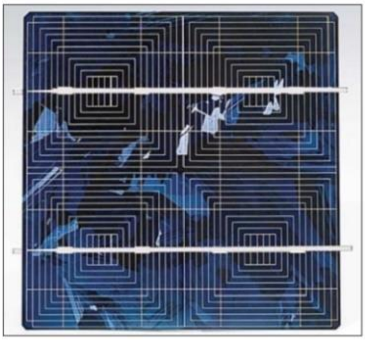
همه سیستم‌ها به این اجزا نیاز ندارند. به‌طور مثال در سیستم‌های که جریان AC به کار نمی‌گیرند؛ اینورتور نیازی نیست. برای سیستم‌های متصل به شبکه، شبکه برق به‌عنوان واسطه ذخیره‌سازی عمل می‌کند و به باتری نیازی نیست. معمولاً در سیستم‌های پمپاژ آب که با سیستم‌های فتوولتائیک کار می‌کنند به باتری نیازی نمی‌باشد که آن‌هم به آن دلیل است که تانکر مابه‌التفاوت عرضه و تقاضای کوتاه‌مدت را با استفاده از میان‌گیر برطرف می‌کند. بعضی از سیستم‌های نیز به دیگر اجزا نیاز ندارند که مشخصاً به

سیستم‌های فوتوولتائیک مربوط نیستند. بعضی از سیستم‌های مستقل مانند یک ژنراتور سوخت فسیلی هستند که الکتریسیته را وقتی باتری‌ها خالی شدند، فراهم می‌کنند. سیستم‌های پمپاژ آب نیاز به یک پمپ DC یا AC دارند.

انواع مختلفی از شرکت‌ها در صنعت فوتوولتائیک درگیرند. معمول‌ترین شرکت شامل کارخانه‌های ساخت ماژول یا سلول‌های PV، کارخانه‌های BOS، توزیع‌کنندگان تولیدات و فروشندگان و مونتاژ کنندگان سیستم می‌باشند.

۱-۲-۳ ماژول PV

برای ساختن ماژول‌ها، کارخانه‌های PV، قطعات یا تکنولوژی‌های پیشرفته فیلم نازک سیلیکون کریستالی را استفاده می‌کنند. پیش‌ازاین، قطعه‌های سیلیکون تک کریستال (single- si)، سیلیکون پلی کریستال (Poly-si) یا سیلیکون نواری (Ribbon-si) در درون سلول‌های خورشیدی در خطوط تولید با استفاده از فرایندها و ماشین‌آلات معمول در صنعت نیمه‌هادی سیلیکون کار گذاشته می‌شد. در ادامه کارخانه‌های ساخت سلول‌های خورشیدی این سلول‌ها را درون ماژول‌ها مونتاژ می‌کردند، یا آن‌ها را برای کارخانه‌های ساخت ماژول جهت مونتاژ می‌فرستادند. این بدان دلیل بود که در اولین کاربری PV، شارژ باتری درگیر می‌شود. اکثر ماژول‌ها در بازار برای رساندن جریان مستقیم (DC) در مقداری بیشتر از ۱۲ ولت طراحی می‌شوند.



شکل ۳-۲: سلول خورشیدی سیلیکون کریستال

یک ماژول سیلیکون کریستالی معمولی، یکسری مدار ۳۶ سلولی، در بسته پلاستیکی و شیشه‌ای جهت محافظت در برابر محیط را در برمی‌گیرد. این بسته با یک محفظه اتصال الکتریکی یا جعبه اتصال قاب‌بندی و عرضه می‌شود. راندمان تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریسیته برای ماژول‌های سیلیکون کریستال معمول حدود ۱۱ تا ۱۵ درصد است.

چهار تکنولوژی لایه‌نازک که اسمشان از مواد سلولی فعالشان گرفته‌شده وجود دارد: کادمیوم تلوراید (CdTe)، مس ایتدیوم دی سلنید (CIS)، سیلیکون آمورف (a-si) و سیلیکون لایه‌نازک (thin film-si). سیلیکون آمورف در شکل تجاری وجود دارد؛ درحالی‌که سه تکنولوژی دیگر به هنوز به حالت تجاری وارد بازار نشده‌اند. ماژول‌های لایه‌نازک بدون نیاز به مرحله میانی، به‌طور مستقیم بر روی بستر لایه نشانی می‌شوند.

بعضی کارخانه‌ها ماژول‌های PV را ساختند که نور خورشید را با به‌کارگیری لنزهایی در قسمت‌هایی از ماژول، با متمرکز کردن نور بر روی سلول‌های PV باعث افزایش راندمان سلول و درنهایت ماژول می‌شوند. راهکار استفاده‌شده در اینجا به خاطر این است که مواد بکار گرفته‌شده در لنزها نسبت به ماژول‌های سیلیکونی معمول در واحد سطح ارزان‌ترند. برای اطمینان از اینکه این لنزها همیشه بر روی سلول‌های PV متمرکزند؛ این ماژول‌ها باید همیشه به سمت خورشید هدایت شوند و ازاین‌رو باید متصل به یک تعقیب‌کننده خورشیدی باشند. استفاده از ماژول‌ها به قسمت‌هایی از جهان که در آن مکان‌ها مقدار قابل‌توجهی از نور خورشیدی مانند مناطق بیابانی دنیا وجود دارد، محدود می‌باشد.

۲-۲-۳ باتری‌ها

اگر PV در یک شبکه منفصل انرژی موردنیاز را عرضه کند به باتری به‌عنوان وسیله ذخیره انرژی در هنگامی‌که خورشید نمی‌تابد، نیاز است. معمول‌ترین انواع باتری‌ها، باتری سرب کلسیم، سرب- آنتیموان می‌باشد. باتری‌ها نیکل کادمیوم نیز در موارد خاصی وقتی باتری در معرض محدوده وسیعی از درجه حرارت‌ها قرار گیرد، استفاده می‌شود. به خاطر طبیعت

متغیر تابش خورشیدی، باتری‌ها باید این توانایی را داشته باشند تا چرخه‌های زیاد شارژ و دشارژ را بدون آسیب پشت سر بگذارند. میزان ظرفیت باتری که می‌تواند بدون آسیب به آن دشارژ شود، بستگی به نوع باتری دارد. باتری‌ها با ولتاژشان مشخص می‌شوند که در اکثر کاربردها ضریبی از ۱۲V است و ظرفیتشان برحسب آمپرساعت (Ah) بیان می‌شود. برای مثال یک باتری ۵۰Ah و ۴۸V ظرفیتی در حدود 50*48=2400Wh الکتریسیته برحسب وضعیت اسمی دارد.

۳-۲-۳ تهویه قدرت

چند دستگاه الکترونیکی برای کنترل و اصلاح قدرت نیروی الکتریسیته تولیدشده به‌وسیله آرایه فوتوولتائیک استفاده می‌شود. آن‌ها شامل:

- کنترلرها شارژ باتری: به‌طور منظم چرخه‌های شارژ و دشارژ باتری را تنظیم می‌کند؛
- رهگیرهای نقطه حداکثر قدرت (NPPT): حفظ اختلاف‌پتانسیل الکتریکی آرایه به میزان حداکثر خروجی آرایه؛
- مبدل: جریان مستقیم (DC) خروجی از آرایه یا باتری را به جریان جایگزین (AC) تبدیل می‌کند. بسیاری از کاربردها و موتورها به جریان (AC) نیاز دارند؛ همچنین نوع نیروی استفاده‌شده به‌وسیله شبکه‌های برق (AC) است و ازاین‌رو در سیستمی متصل به شبکه همیشه نیاز به مبدل وجود دارد.
- شارژ کننده‌های باتری (یکسو کننده‌ها): جریان AC تولیدشده به‌وسیله ژنراتور را به جریان DC موردنیاز برای شارژ باتری‌ها تبدیل می‌کند.

۳-۲-۴ ژنراتورها

برای کاربردهای منفصل از شبکه، ممکن است هم سیستم فوتوولتائیک و هم ژنراتوری با سوخت فسیلی به‌طور هم‌زمان بکار گرفته‌شده باشند. استفاده از یک ژنراتور باعث می‌شود نیاز به یک آرایه فوتوولتائیک با اندازه‌ای بزرگ موردنیاز نباشد و اندازه باتری برحسب انرژی موردنیاز در طول دوره‌های با نور کم مشخص می‌شود. سیستم‌های فوتوولتائیک و

ژنراتورها می‌توانند مکمل هم باشند. آرایه PV استفاده از سوخت فسیلی و هزینه نگهداری از ژنراتور را کاهش می‌دهد و ژنراتور بخشی از گلوگاه‌های مرتبط با سیستم‌های فتوولتائیک را که مربوط به اطمینان از عرضه بدون وقفه نیرو می‌باشد و منجر به بیش‌ازاندازه بزرگ شدن سیستم فتوولتائیک می‌شود را برطرف می‌کند.

ژنراتورها می‌توانند تنوعی از سوخت‌های فسیلی مانند گازوئیل، گاز طبیعی، بنزین و پروپان را استفاده کنند. تأمین بار به‌وسیله سیستم فوتوولتائیک و ژنراتور بسته به عوامل بسیار مانند هزینه سرمایه آرایه PV، هزینه‌های فعالیت ژنراتور، پایایی سیستم و ملاحظات محیطی (مانند صدای ژنراتور، پخش دود و ...) می‌باشد.

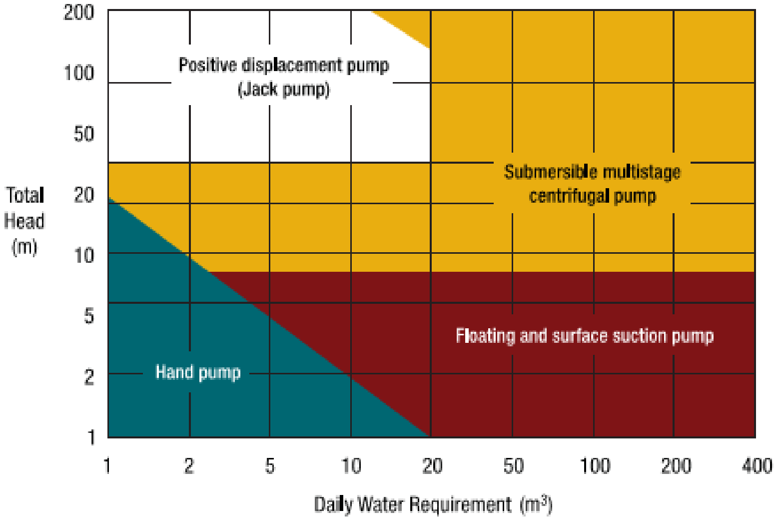
۵-۲-۳ پمپ‌ها

جهت پمپاژ آب، انواع مختلفی از پمپ‌ها می‌تواند استفاده شود؛ که بر اساس نوعشان (پمپ‌های با چرخش یا جابجایی مثبت)، بر اساس مکانشان (بر روی سطح یا به‌صورت شناور)، یا بسته به نوع موتوری که استفاده می‌کنند (AC یا DC) می‌توان آن‌ها را طبقه‌بندی کرد.

پمپ‌های چرخشی (مانند پمپ‌های گریز از مرکز) معمولاً برای چاه‌های عمیق و ملزومات بزرگ آبی بکار گرفته می‌شوند. استفاده از پمپ‌های جابه‌جاشونده معمولاً به تعداد کم محدود می‌شود. پمپ‌های جابه‌جاشونده مثبت (مانند پمپ‌های دیافراگمی، پمپ‌های پیستونی و پمپ‌های حفره‌ای پیش‌رونده) معمولاً قابلیت‌های بالا آورنده خوبی دارند اما نسبت به پمپ‌های سطحی کمتر در دسترس‌اند و حساسیت بیشتری به کثیفی آب دارند. شکل ۳-۳ که از کار تحقیقی بارلو و همکاران (۱۹۹۳) گرفته‌شده انتخاب نوع پمپ را بسته به عملکرد دهنه آن‌ها (ارتفاع کل آبی که باید بیرون کشیده شود) و نیاز روزانه‌ی آب پیشنهاد می‌دهد.

سرانجام انتخاب بین موتور AC و DC برای فعالیت پمپ بستگی به عوامل زیادی دارد، عواملی چون قیمت، پایایی و خدمات فنی پس از فروش موجود. موتورهای DC معمولاً

بهره‌وری بسیار بالایی دارند و راحت‌تر با آرایه‌های فتوولتائیک منطبق می‌شوند. موتورهای AC از سوی دیگر ارزان‌تر و سهل‌الوصول‌ترند، اما نیاز به یک مبدل برای در ارتباط بودن با آرایه دارند.



شکل ۳-۳: انتخاب نوع پمپ

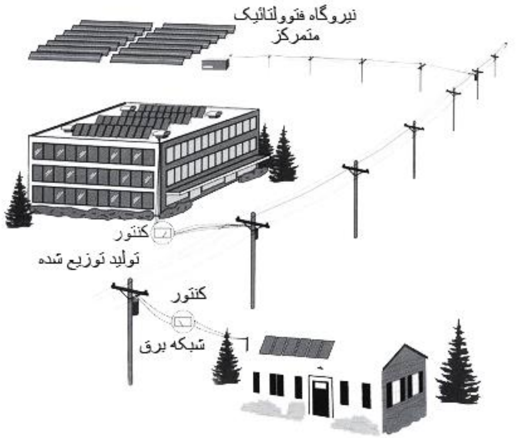
۳-۳ بازار سیستم‌های فوتوولتائیک

سیستم‌های فتوولتائیک بسته به کاربرد نهایی تکنولوژی طبقه‌بندی می‌شود. اکثر پروژه‌های PV رایج، کاربردهای منفصل‌اند. پمپاژ آب نیز کاربرد مهمی از PV به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه است. بزرگ‌ترین بازار بلندمدت با پتانسیل برای PV جهت فروش مربوط به کاربردهای متصل به شبکه است.

۳-۳-۱ کاربردهای متصل به شبکه

در کاربردهای متصل به شبکه، سیستم PV، انرژی الکتریکی را به‌طور مستقیم به شبکه برق (که شامل شبکه مرکزی و شبکه‌های مجزاست) وارد می‌کند. دو نوع کاربرد شامل نیروگاه متمرکز و توزیع نیرو می‌تواند از هم متمایز شود. مثالی از کاربرد متصل به شبکه

توزیعی، شامل استفاده از سیستم‌های PV در ساختمان‌های تجاری یا مجموعه‌های مسکونی می‌باشد. وقتی سیستم به شبکه متصل می‌شود، نیاز به باتری از بین می‌رود. در کاربرد دیگر، نصب سیستم‌های PV با تجهیزات مرتبط با آن در پست‌های برق و انتهای خط برق می‌باشد. در این کاربرد میزان رقابت‌پذیری هزینه‌ها برای PV بسته به مکان می‌باشد. برای مثال بخش انرژی شهرداری ساکرامنتو در کالیفرنیا طرحی را برای نصب سیستم‌های PV توزیعی با ظرفیت تولیدی بیش از MWp۱ در سال در ناحیه خدماتی‌اش ارائه کرده است. سیستم‌های PV متصل به شبکه توزیعی و نیروگاه PV متمرکز در شکل ۴-۳ نشان داده‌شده است که برگرفته از کار رأس و رویر[۱] (۱۹۹۹) می‌باشد.



شکل ۳-۴: تصویر شماتیکی از سیستم PV متصل به شبکه

مزایای تولید برق از سیستم‌های PV متصل به شبکه به‌طورکلی بر اساس قابلیتش در کاهش هزینه‌های تولید انرژی و ظرفیت تولید به‌علاوه مزایای محیطی‌شان ارزیابی می‌شود. در مصادیق تولید توزیعی ژنراتورهای الکتریکی PV یا سایر ژنراتورها در نزدیکی محل مصرف قرار می‌گیرند. این امر به کاهش هدر رفت انرژیkWh و ظرفیت kW در شبکه توزیعی نیرو کمک می‌کند. بعلاوه در که در اینجا خروجی متوسط روزانه سیستم

[۱]- Ross and Royer

PV برابر با دوره‌ی اوج مصرف شبکه است (مانند پیک مصرفی بعدازظهر در طول ماه‌های تابستان به علت بارهای تهویه هوا) این شبکه می‌تواند جلوی به‌روزرسانی‌ها به شبکه توزیع و انتقال را بگیرد یا به تأخیر بی اندازد (طبق نظریه لینگ و مارتین[۱] (۱۹۹۴)). کارخانه‌های PV همچنین ماژول‌هایی را تولید می‌کنند که می‌توانند در ساختمان‌ها مانند اجزای استاندارد ساختمان مانند کاشی‌ها و نماها عمل کنند که به کاهش هزینه نسبی سیستم PV از طریق کاهش هزینه مواد ساختمانی معمول کمک می‌کند و اجازه می‌دهد شبکه و یا صاحبان ساختمان از مزایای تولید توزیعی بهره‌مند شوند.

استفاده از PV در محیط ساختمان در کشورهای صنعتی با پروژه‌های آزمایشی رو به گسترش است. در حال حاضر تولید سیستم‌های PV جهت کاربری در نیروگاه‌های مرکزی، مقرون‌به‌صرفه نیستند. چندین سیستم جهت تولید نیروگاهی با ظرفیت چند مگاوات به‌عنوان پروژه‌های آزمایشی نصب‌شده‌اند و برای کمک به تجربه موردنیاز در مدیریت نیروگاه‌های PV مرکزی طراحی‌شده‌اند. تأسیسات تولید برق PV مرکزی، مانند PV متصل به شبکه توزیعی، نشان‌دهنده استراتژی بلندمدت دولت‌ها و سازمان‌های ارائه‌دهنده خدمات برای حمایت از توسعه PV به‌عنوان یک انرژی پاک با منبع سوخت تضمینی می‌باشند.

۲-۳-۳ کاربردهای منفصل از شبکه

در حال حاضر استفاده از سیستم‌های PV، برای مکان‌های دورافتاده و دور از شبکه برق و مناطقی که به میزان نسبتاً پایین از برق (کمتر از ۱۰ کیلووات) نیاز دارند، بیش‌ترین قدرت رقابت را دارد. در این کاربردهای منفصل از شبکه، PV اکثراً برای شارژ باتری‌ها استفاده می‌شود، بنابراین انرژی الکتریسیته تولیدشده به‌وسیله ماژول‌ها را ذخیره می‌کند و بدین‌وسیله انرژی موردنیاز کاربر را فراهم می‌کند.

[۱]- Leng and Martin

شکل ۳-۵ تصویری از سیستم PV منفصل از شبکه مستقل

شکل ۳-۶: تصویری از سیستم منفصل از شبکه هیبریدی

مکان‌های رقابتی جهت استفاده از سیستم‌های PV به‌صورت منفصل از شبکه، در تضاد با توسعه شبکه برق؛ باتری‌های یک‌بارمصرف؛ یا ژنراتورهای دیزلی، گازوئیلی و ترموالکتریک هستند. هزینه توسعه شبکه برق در آمریکا که به‌وسیله گروه خدمات فتوولتائیک برآورد شده از ۲۰ تا ۸۰ هزار دلار در هر مایل می‌باشد؛ بنابراین استفاده از سیستم‌های PV به‌خصوص در برابر گسترش شبکه برق برای مصارف کم انرژی، در مناطق دور از شبکه توزیع برق به‌خوبی دارای مزیت رقابتی است. در مقایسه با ژنراتورهای با سوخت فسیلی و باتری‌های یک‌بارمصرف مزایای کلیدی سیستم‌های PV در کاهش هزینه‌های جابه‌جایی، نگهداری و فعالیت می‌باشد؛ این موارد همه درنتیجه هزینه‌های پایین‌تر چرخه عمر

سیستم‌های PV است.

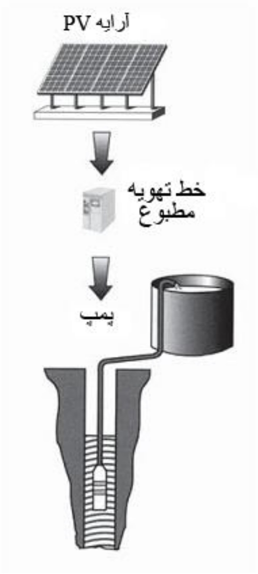
کاربردهای منفصل از شبکه شامل هم سیستم‌های مستقل همان‌طور که در شکل ۳-۵ نشان داده‌شده و هم سیستم‌های هیبریدی می‌شود که مشابه سیستم‌های مستقل عمل می‌کنند. در این سیستم‌ها از یک ژنراتور با سوخت فسیلی نیز جهت برطرف کردن برخی نیازها و پایایی بیشتر استفاده می‌گردد.

۳-۳-۳ کاربردهای پمپاژ آب

پمپاژ آب به‌وسیله سیستم‌های فوتوولتائیک یکی از معمول‌ترین کاربردهای PV در سراسر جهان با هزاران پمپ آب فوتوولتائیکی نصب‌شده هم در کشورهای صنعتی و هم در کشورهای درحال‌توسعه است. معمول‌ترین کاربردهای پمپاژ آب PV شامل آب محلی، آب برای اردوگاه‌ها، کشاورزی، منابع آب روستایی و آب چهارپایان است. پمپ‌های PV به‌طور روزافزونی برای کاربردهای پمپاژ با اندازه متوسط جهت پر کردن شکاف بین پمپ‌های کوچک، دستی و موتورهای بزرگ بکار گرفته می‌شوند و در حال جایگزینی با پمپ‌های بادی مکانیکی هستند.

در کاربردهای پمپاژ آب، آب پمپاژ شده در طول تابش می‌تواند در تانکر برای استفاده‌های آتی ذخیره شود که این امر استفاده از باتری‌ها را غیرضروری می‌سازد. تصویری از سیستم پمپاژ آب در شکل ۳-۷ نشان داده‌شده است. سیستم‌های پمپاژ آب به نسبت ساده، با نیاز به نگهداری کم و بی‌نیاز از سوخت‌های فسیلی هستند. این سیستم‌ها اغلب در مکان‌های دور از شبکه برق مانند مراتع یا مکان‌هایی که متصل به شبکه برق نیستند، استفاده می‌شود. همچنین هماهنگی خوبی بین آبیاری کشاورزی و سیستم‌های پمپاژ خورشیدی آب وجود دارد، به‌عنوان‌مثال نیازهای آب گیاهان با تابش خورشیدی در

دسترس مرتبط است (مانند فصل بارانی که گیاهان به آب نیاز ندارند و تابش خورشید کم است و فصول آبیاری که تابش خورشید در حداکثر خود می‌باشد).



شکل ۳-۷: تصویر سیستم PV پمپاژ آب

۳-۴ تحلیل پروژه فوتوولتائیک در نرم‌افزار ریت اسکرین

مدل پروژه فوتوولتائیک در نرم‌افزار ریت اسکرین می‌تواند برای ارزیابی تولید انرژی و بهره‌وری مالی پروژه‌های فوتوولتائیک از سیستم‌های پمپ آب کوچک‌مقیاس تا سیستم‌های منفصل از شبکه متوسط تا سیستم‌های متصل بزرگ‌مقیاس در هرجایی از جهان مورداستفاده قرار گیرد.

مدارک و کار برگ‌های مربوط به شش ارزیابی شامل مدل انرژی، منبع انرژی (SR) و محاسبه بار سیستم (SLC)، تحلیل هزینه، تحلیل کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای (GHC)، صورت‌وضعیت مالی و تحلیل حساسیت، در فایل دستورالعمل پروژه فوتوولتائیک فراهم می‌شود. کار برگ منبع انرژی و محاسبه بار سیستم برای تشخیص نوع سیستم موردنظر

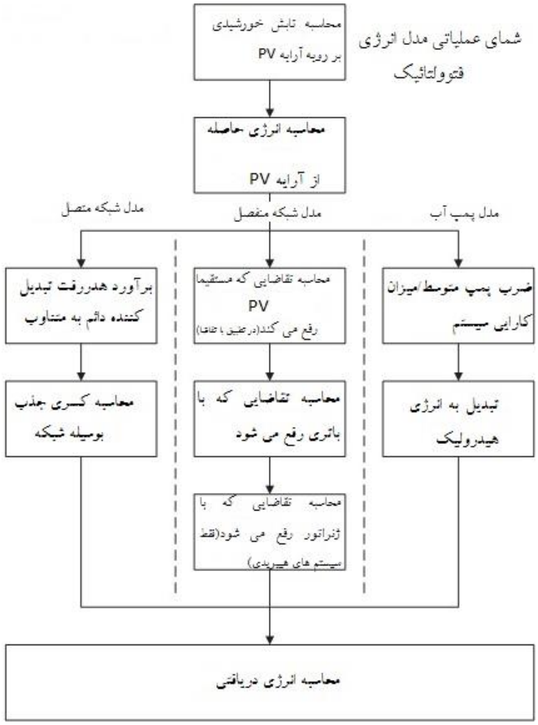
و محاسبه ماهانه بار سیستم بکار گرفته می‌شود. این کار برگ همچنین تابش خورشیدی سالیانه بر آرایه فوتوولتائیک مایل برای هر جهت آرایه را، با به‌کارگیری مقادیر ماهانه تابش خورشیدی بر یک سطح افقی، محاسبه می‌کند.

برای کمک به کاربر در جهت اینکه سیستم فوتوولتائیکی را پیش از ارزیابی هزینه و عملکرد انرژی‌اش مشخص کند، بعضی مقادیر برای اندازه اجزا (برای مثال قدرت آرایه PV اسمی) پیشنهاد می‌شود. مقادیر پیشنهادی یا برآورد شده پایه‌ای برای پارامترهای ورودی مطرح می‌شوند و می‌توانند به‌عنوان نخستین گام در تحلیل استفاده شوند ولی لزوماً مقادیر بهینه نیستند.

در ابتدای کار می‌بایست انرژی و کار برگ SR&SLC کامل می‌شوند. پس‌ازآن برگه تحلیل هزینه آنگاه باید تکمیل و درنهایت برگه صورت‌وضعیت مالی باید کامل شود. تحلیل GHC و تحلیل ریسک و حساسیت تحلیل‌های انتخابی هستند. برگه تحلیل GHC برای کمک به کاربر برای برآورد کاهش بالقوه گاز گلخانه‌ای پروژه پیشنهادی ارائه می‌شود. برگه تحلیل حساسیت و ریسک برای کمک به کاربر برای برآورد حساسیت شاخص‌های مالی مهم در ارتباط با پارامترهای مالی و تکنیکی کلیدی ارائه می‌شود. در کل، کاربر از بالا به پایین برای هر برگه کار می‌کند. این فرایند می‌تواند چندین بار در جهت کمک به بهینه‌سازی طراحی پروژه فتوولتائیک از نقطه‌نظر استفاده انرژی و هزینه تکرار شود.

این بخش الگوریتم‌های مختلف مورداستفاده برای محاسبه تولید انرژی از سیستم‌های PV بر یک پایه ماهانه، در ریت اسکرین را توصیف می‌کند. شمای عملیاتی الگوریتم‌ها در شکل ۳-۸ نشان داده‌شده است. پایه‌های انرژی خورشیدی، الگوریتم محاسبه تابش مایل را که برای همه سه مدل کاربردی (کاربردهای پمپ آب، متصل و منفصل از شبکه) کاربرد دارد، در ادامه شرح می‌دهد. الگوریتم محاسبه تابش مایل برای محاسبه تابش خورشیدی در صفحه آرایه PV، به‌عنوان تابع جهت تابش، با فرض میانگین ماهانه تابش خورشیدی روزانه بر یک سطح افقی، مورداستفاده قرار می‌گیرد. سپس مدل آرایه PV که تولید انرژی آرایه PV را با فرض تابش خورشیدی موجود و درجه حرارت محدوده اطراف محاسبه می‌کند، تشریح می‌شود. این الگوریتم‌ها همچنین برای همه سه مدل کاربردی معمول

است. این سه کاربرد متفاوت برای ارزیابی تعامل مؤلفه‌های مختلف سیستم PV و پیش‌بینی میزان انرژی که می‌توان از سیستم PV بر یک پایه سالانه انتظار داشت که تولید شود، موردبررسی قرار می‌گیرد. اعتبار مدل پروژه فتوولتائیک ریت اسکرین در انتها ارائه می‌شود.



۸-۳ شمای عملیاتی مدل انرژی فوتوولتائیک

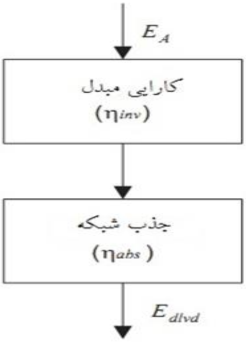
در مدل‌های پمپ آب متصل به شبکه، الگوریتم‌های ساده مبتنی بر بازده متوسط فرضی می‌باشند. مدل منفصل از شبکه بیشتر از قبلی پیچیده است. از مفهوم قابلیت استفاده روزانه برای یافتن بخشی از بار که می‌تواند به‌طور مستقیم توسط آرایه PV دریافت شود، استفاده می‌کند. همبستگی‌های به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی کامپیوتری ساعتی برای تعیین اینکه چگونه باتری می‌تواند مابقی بار را مورداستفاده را تأمین کند. درنهایت، تعادل در

انرژی، مقدار باری را که از طریق ژنراتور تأمین می‌شود (در صورت وجود ژنراتور) را تأمین می‌کند.

دو محدودیت اصلی در انتخاب روش عبارت‌اند از اینکه سیستم‌های متمرکز کننده خورشیدی نمی‌توانند ارزیابی شوند و آنکه در این مدل احتمال از دست رفتن بار را برای سیستم‌های منفصل از شبکه در نظر گرفته نمی‌شود. برای اکثریت کاربردها، این محدودیت‌ها پیامد خاصی ندارند.

۳-۴-۱ مدل متصل به شبکه

مدل متصل به شبکه، ساده‌ترین سیستم است (شکل ۳-۹ را ببینید). به‌طور خاص، هیچ باری مشخص نمی‌شود و هیچ اندازه آرایه‌ای پیشنهاد نمی‌شود. در عوض، این اندازه توسط کاربر مشخص می‌شود. قدرت اسمی آرایه با قدرت مبدل پیشنهادی برابر است. انرژی در دسترس برای شبکه عبارت است ازآنچه به‌وسیله آرایه تولید می‌شود که به‌وسیله هدر رفت های مبدل کاهش می‌یابد.



شکل ۳-۹ مدل متصل به شبکه

$$E_{grid} = E_A \eta_{inv} \quad (۳-۱)$$

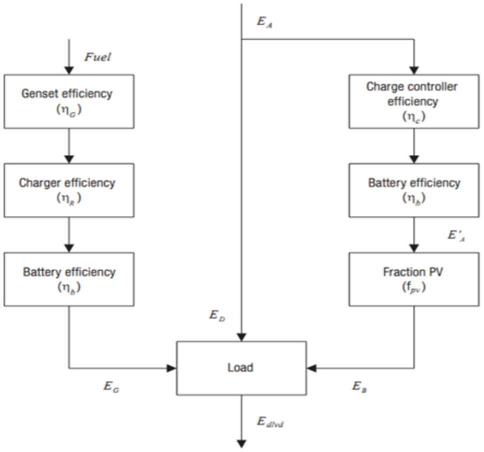
در اینجا η_{inv} کارایی مبدل می‌باشد. بسته به پیکربندی شبکه ممکن است تمام انرژی به‌وسیله شبکه جذب نشود. انرژی واقعی دریافتی عبارت است از:

$$E_{dlvd} = E_{grid}\eta_{abs}$$ (۳-۲)

جایی که η_{abs}، نرخ جذب انرژی PV می‌باشد.

۳-۴-۲ مدل منفصل از شبکه

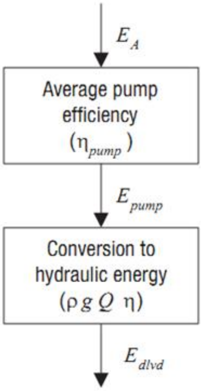
مدل منفصل از شبکه سیستم‌های مستقلی را با پشتیبانی باتری با و یا بدون ژنراتور اضافی ارائه می‌دهد. پیکربندی مفهومی این مدل در شکل ۳-۱۰ نشان داده می‌شود. انرژی مستخرج از آرایه PV به‌طور مستقیم به‌وسیله بار همچنین استفاده می‌شود یا اینکه پیش از آنکه از طریق مصرف‌کننده مصرف شود، در باتری ذخیره می‌شود. میزان اضافی از بار موردنیاز به‌وسیله ژنراتور-اگر ژنراتوری باشد- تهیه می‌شود.



شکل ۳-۱۰ شمای عملیاتی از مدل منفصل از شبکه PV

۳-۴-۳ مدل پمپ آب

مدل پمپ آب بر اساس معادله ساده‌ای از رویر[1] و همکاران (۱۹۹۸) می‌باشد که صورت شماتیک در شکل ۳-۱۱ نشان داده‌شده است.



شکل ۳-۱۱ شمای عملیاتی برای پمپ آب فوتوولتائیکی

انرژی هیدرولیک موردنیاز در روز E_{hydr} برحسب واحد j، مطابق است با پمپاژ آب به ارتفاع h برحسب m متر با حجم روزانه Q برحسب m^3/d می‌باشد:

$$E_{hydr} = 86400 \rho g Q h (1 + \eta_f) \qquad (۳-۳)$$

که در اینجا g شتاب گرانش ($9.81\ m\ s^{-2}$) ρ تراکم آب (۱۰۰۰ kg/m^3) و η_f عاملی برای محاسبه بخشی از هدر رفت انرژی درنتیجه لوله‌کشی می‌باشد. این انرژی هیدرولیک در درون انرژی الکترونیکی موردنیاز E_{pump} انتقال می‌یابد:

$$E_{pump} = \frac{E_{hydr}}{\eta_{pump}} \qquad (۳-۴)$$

که در اینجا η_{pump} کارایی سیستم پمپ آب می‌باشد. اگر پمپ، AC می‌باشد، این معادله با در نظر گرفتن مقداری برای کارایی مبدل η_{inv} به شکل زیر تعریف می‌شود:

---

[1]- Royer

$$E_{pump}=\frac{E_{hydr}}{\eta_{pump}\eta_{inv}}$$ (۳-۵

انرژی دریافتی عبارت است از:

$$E_{dlvd}=\eta_{pump}\min(E_{pump},E_A)$$ (۳-۶

که در اینجا E_A انرژی در دسترس از آرایه می‌باشد (این کمیت بایستی در η_{inv} در نمونه AC پمپ ضرب گردد) که آب روزانه دریافتی از این رابطه حاصل می‌شود:

$$Q_{dlvd}=\frac{E_{dlvd}}{86400\rho gh(1+\eta_f)}$$ (۳-۷

اندازه آرایه پیشنهادی با معکوس کردن رابطه بالا محاسبه می‌شود که مساوی است با E_{pump}'/η_A که در اینجا η_A بازدهی آرایه می‌باشد. مبنای این محاسبات ماهانه می‌باشد و حداکثر ابعاد مورداستفاده مطابق ابعاد آرایه مورد پیشنهاد می‌باشد.

در مورد پمپ AC، ظرفیت مبدل پیشنهادی برابر با قدرت آرایه اسمی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به نامعلوم بودن قدرت پمپ، این روش تنها روش ممکن و در دسترس می‌باشد که در آن فقط مقدار انرژی موردنیاز معلوم می‌باشد.

۳-۵ انواع بارها

ریت اسکرین به‌دقت رابطه بین منبع خورشیدی و بار را موردبررسی قرار می‌دهد. در بعضی موارد، بخشی از انرژی موردنیاز می‌تواند مستقیماً به‌وسیله سیستم فتوولتائیک بدون هیچ استفاده‌ای از جریان انرژی از طریق باتری تأمین شود (این امر تااندازه‌ای برحسب انرژی دریافتی به‌وسیله سیستم پیامد مهمی دارد؛ زیرا عدم کارایی در مخزن باتری می‌تواند نادیده گرفته شود). اینکه چه مقدار انرژی موردنیاز می‌تواند مستقیماً از

طریق سیستم فوتوولتائیک تأمین شود بستگی به رابطه بار-خورشید تعیین‌شده توسط کاربر دارد.

- **مثبت**: چنانچه نمونه‌ای از پنکه که مستقیماً به یک ماژول PV متصل می‌باشد در نظر بگیریم؛ این پنکه تنها زمانی کار می‌کند که آنجا یک منبع خورشیدی برای قدرت دادن به آن باشد (پمپ آب همچنین در این طبقه‌بندی به مشکل برمی‌خورد، هرچند مدلی مجزا استفاده شود).
- **صفر**: در ریت اسکرین به‌عنوان نمونه‌ای از بار ثابت تلقی می‌شود مانند باری که مقدار مشابهی را در سرتاسر روز دارد. البته در چنین مواردی نیاز به استفاده از باتری می‌باشد. سیستم حفاظت کاتدیک و یا سیستم‌های پایش گری نمونه‌ای از سیستم‌های استفاده‌کننده از این نوع بار هستند.
- **منفی**: این نوع بار پیش از آن‌که به‌صورت بار دریافت شود، همه انرژی موردنیاز از طریق باتری تأمین می‌شود. این مورد مطابق با همه مواردی است که در دسته‌بندی مثبت و صفر قرار نمی‌گیرند. توجه کنید که مصرف‌کننده‌های بار در طول روز مانند یخچال در این دسته قرار می‌گیرند.

نتیجه نهایی این محاسبه تقسیمی از تقاضای الکترونیکی معادل جریان مستقیم در بخش می‌باشد:

$$D_{DC,equ} = D_{matched} + D_{continouous} + D_{battery} \quad (۳-۸$$

که در اینجا: $D_{matched}$ بخشی از تقاضا می‌باشد که به‌طور مستقیم به‌وسیله ماژول‌های PV تأمین می‌شود هر موقع که انرژی به‌قدر کافی تولید شود. $D_{continouous}$ بخشی از تقاضا می‌باشد که در طول روز ثابت است $D_{battery}$ بخشی از تقاضاست که به‌طور ثابت به‌وسیله باتری تأمین می‌شود. به این نکته توجه داشته باشید که $D_{continouous}$ نیز به‌طور مستقیم به‌وسیله ماژول‌های PV(در طول روز وقتی به‌قدر کافی آفتاب باشد) یا از طریق باتری (در طول شب وقتی آفتاب به‌قدر کافی نباشد) تأمین می‌شوند (روش استفاده‌شده برای

محاسبه در بخش بعدی توصیف می‌شود) که از سطح جذب PV انتقالی (P_{crlt}) که به‌عنوان بار مطابق با تقاضای انرژی ثابت تعریف‌شده استفاده می‌کند.

$$P_{crlt} = \frac{D_{cont\ln ouous}}{24} \qquad (۳-۹)$$

که در اینجا $D_{cont\ln ouous}$ برحسب Wh بیان می‌شود، P_{crlt} برحسب W بیان می‌شود.

۳-۵-۱ انرژی ارسالی از طریق باتری

بخشی از بار که یک سیستم با پشتیبانی باتری فراهم می‌کند، بستگی به دو متغیر دارد: اندازه آرایه و اندازه باتری. احتمال آنکه سیستم برای تأمین بارها با مشکل روبه‌رو شود، احتمال هدر رفت بار[۱]نامیده می‌شود.

چندین دلیل برای احتمال هدر رفت بار در این حوزه وجود دارد، به‌خصوص در نمونه‌های بوسایرلی[۲](۱۹۸۶) و کلین و همکاران[۳](۱۹۸۷). متأسفانه هیچ‌کدام از این موارد برای ریت اسکرین مناسب نیستند. پارامتر مهمی برای روش بوسایرلی نیاز است، انحراف استاندارد از خروجی آرایه که به سهولت در دسترس نیست. روش کلین و همکاران به‌شدت محاسباتی است. ازاین‌رو جهت حل آن رهیافت ساده‌ای در نظر گرفته شد. مجموعه‌ای از شبیه‌سازی‌های کامپیوتری برای سیستم مستقل دامی[۴]با بار شبانه صرف، اجرا شد. برنامه استفاده‌شده در این خصوص برنامه WATSUN-PV برنامه شبیه‌ساز ساعتی استاندارد برای سیستم‌های فتوولتائیک که به‌وسیله دانشگاه واترلو توسعه داده‌شده است- می‌باشد برای مطالعات بیشتر به واتسون[۵](۱۹۹۹) مراجعه شود. فایل‌های شش‌ساله هواشناسی (TMY; Watsun, 1993) مطابق با مجموعه‌ای از اقلیم‌ها استفاده شدند. آرایه‌هایی در

۱- the loss of load probability (LOLP)

۲- Bucciarelli

۳- Klein et al

۴- a dummy stand-alone system

۵- Watsun

اندازه‌های مختلف استفاده شد و ظرفیت باتری از یک تا شش روز ذخیره تغییر کرد. خروجی شبیه‌سازی‌ها، بر پایه ماهانه، کسری از بار را که به‌وسیله سیستم PV تأمین می‌شود را فراهم می‌کند؛ ارائه‌کننده ذخیره/نرخ بار و آرایه/ نرخ بار (نرخ بار بر پایه ماهانه وابسته به خروجی آرایه PV تغییر می‌کند). پارامترهای اصلی مناسب شبیه‌سازی عبارت‌اند از:

- Load=2400Wh/day,night only;
- PV array=from 4 to 20 modules rated at72 W; and
- Batteries= from 4 to 24 batteries rated at 12 V, 50 Ah and maintainedat a constant temperature.

متوسط کارایی باتری در طول شبیه‌سازی- مبتنی بر تحلیل‌های به‌دست‌آمده از تمام نتایج شبیه‌سازی- ۸۵ درصد بود. نرخ‌های آرایه/ بار بر مقداری که هدر رفت انرژی را در باتری‌ها نشان می‌دهد، ضرب شد؛ ایده‌ای که اینجا لحاظ شده است، بدان خاطر است که وقتی تمام انرژی دریافتی از بار نخست از طریق باتری جریان می‌یابد (بار شبانه صرف)، کارایی انرژی تولیدی به‌وسیله آرایه به‌وسیله عدم کارایی باتری کاهش می‌یابد.

شکل ۳-۱۲ شکل گرافیکی خروجی شبیه‌سازی تهیه‌شده از طریق یک پایه ماهانه را نشان می‌دهد. کسری از بار تأمین‌شده به‌وسیله سیستم PV، f_{pv} ، ارائه‌کننده نرخ ذخیره/ بار SLR و نرخ آرایه/ باتری ALR می‌باشد که به‌صورت ریاضی بدین شکل تعریف می‌شود:

$$ALR = \frac{E'_A}{L'} \qquad (۳-۱۰)$$

$$SLR = \frac{Q_U}{L'} \qquad (۳-۱۱)$$

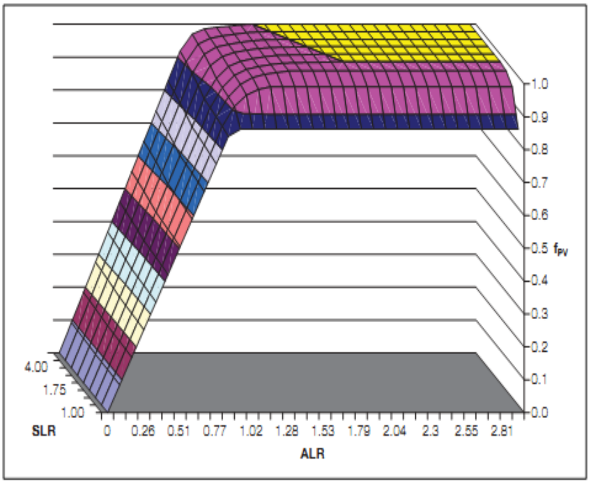
که در اینجا L' بخشی از بار است که به‌طور مستقیم به‌وسیله سیستم PV تأمین نمی‌شود:

$$L' = L - E_D \qquad (۳-۱۲)$$

و E'_A خروجی آرایه در دسترس است با کم کردن انرژی دریافتی مستقیم از بار و سپس با ضریب کنترل‌کننده شارژ η_c و ضریب باتری η_b:

$$E'_A = (E_A - E_D)\eta_c\eta_b \tag{۳-۱۳}$$

سطح مقطعی از سطح در شکل ۳-۱۲ ارائه می‌شود.



شکل ۳-۱۲ سطح مقطعی از سطح

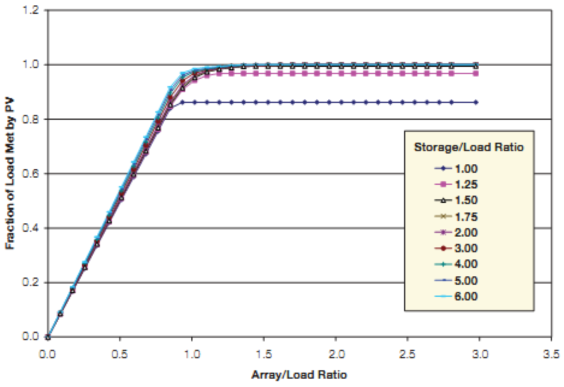
کسری از بار ذخیره‌شده به‌وسیله PV، ارائه‌کننده نرخ‌های آرایه / بار و ذخیره/بار

نسخه جدول‌بندی شده‌ای از سطوح شکل ۳-۱۲ در ریت اسکرین ثبت می‌شود. تناسب خطی برای محاسبه کسر بار L که توسط سیستم تهیه می‌شود.

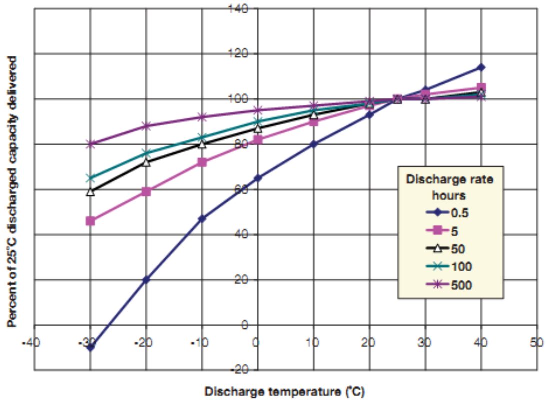
ظرفیت باتری قابل‌استفاده Q_U با ظرفیت اسمی Q_B مرتبط می‌شود:

$$Q_U = Q_B f_B \tag{۳-۱۴}$$

که در اینجا $f_B(T_B, r)$ ، بخش قابل‌استفاده از ظرفیت در دسترس است که به درجه حرارت باتری T_R و میزان دشارژ r بستگی دارد همان‌طور که در شکل ۳-۱۳ نشان داده‌شده است (استخراج‌شده از CANMENT(1991) می‌باشد).



شکل ۳-۱۳ بخشی از بار تولیدشده و ذخیره‌شده در باتری (سطح مقطع)



شکل ۳-۱۴ ظرفیت باتری قابل‌استفاده به‌عنوان تابعی از نرخ دشارژ و درجه حرارت

میزان دشارژ متوسط، 24n در نظر گرفته می‌شود که n تعداد روزهای کارکرد باتری می‌باشد.

انرژی دریافتی به‌وسیله ژنراتور به‌سادگی از تفاوت بین بار و آنچه می‌تواند به‌وسیله آرایه PV چه به‌طور مستقیم یا از طریق باتری فراهم شود، به دست می‌آید:

$$E_G = L - E_D - E_B \quad (۳-۱۵)$$

۳-۶ آرایه، باتری و اندازه ژنراتور

ریت اسکرین، مقادیر آرایه، باتری و اندازه ژنراتور را برای کاربر پیشنهاد می‌دهد.[۱] روش‌های اندازه‌گیری پایه به نسبت خام می‌باشد و برای فراهم کردن نقطه شروعی برای کاربر که بتواند کار را شروع کند، در نظر گرفته‌شده است.

برای سیستم‌های مستقل، آرایه بدان خاطر اندازه‌گیری می‌شود که خروجی‌اش بنا به تعریف بزرگ‌تر از ۱/۲ زمان‌های بار برای همه ماه‌های سال باشد. برای سیستم هیبریدی، اندازه آرایه پیشنهادی، ۲۵٪ کل اندازه آرایه برای سیستم مستقل می‌باشد؛ به‌علاوه این اندازه بدان خاطر هم رأس می‌شود که آرایه هرگز بیش از ۷۵ درصد بار را فراهم نمی‌کند.

اندازه باتری مبتنی بر تعداد روزهای موردنظر برای کار باتری در نظر گرفته می‌شود. اگر L معادل بار DC می‌باشد، n تعداد روزهای کار و d عمق حداکثری دشارژ می‌باشد که در این صورت ظرفیت قابل‌استفاده باتری می‌بایست باشد:

$$Q_U = \frac{L_n}{d\eta_B} \qquad (۳-۱۶)$$

که در اینجا η_B کارایی باتری است. همان‌طور که پیش‌ازاین دیدید بخش قابل‌استفاده از ظرفیت در دسترس بستگی به درجه حرارت باتری T_B و میزان دشارژ r دارد. اگر $f_{\mathbf{B}}(T_B, r)$ بخش قابل‌استفاده از ظرفیت در دسترس باشد آنگاه ظرفیت طراحی باتری عبارت است از:

$$Q_B = \frac{Q_U}{f_B} \qquad (۳-۱۷)$$

[۱] - ریت اسکرین همچنین مقادیری را برای اندازه مبدل پیشنهاد می‌دهد که رأس بار AC (در واحد kW) را که به‌وسیله کاربر مشخص می‌شود بیان می‌کند.

این کمیت بر یک پایه ماهانه محاسبه می‌شود و حداکثر این کمیت در طول سال به‌عنوان اندازه باتری پیشنهادی در نظر گرفته می‌شود.

درنهایت، ظرفیت ژنراتور پیشنهادی متناسب با حداکثر تقاضای AC در نظر گرفته می‌شود و:

$$\frac{1}{8}\frac{Q_B}{\eta_R} \qquad (۳-۱۸$$

که در اینجا η_R، کارایی شارژر می‌باشد. فرمول ارائه‌شده متناسب با قدرت موردنیاز برای شارژ باتری در ۸ ساعت می‌باشد.

۳-۷ اعتبارسنجی

متخصصان بسیاری برای توسعه، آزمایش و اعتبارسنجی مدل پروژه فوتوولتائیک ریت اسکرین مشارکت کردند. متخصصانی شامل مدل‌سازان PV، کارشناسان مهندسی هزینه، مدل‌سازان گاز گلخانه‌ای، متخصصان تحلیل مالی و دانشمندان پایگاه داده آب‌وهوایی ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی بودند.

این قسمت دو مثال از اعتبارسنجی را در برابر سایر مدل‌ها عرضه می‌کند. مثال اول اختصاص به مدل محاسبه زاویه تابش مربوط است. مثال دوم، نمونه آزمایش سیستمی می‌باشد و تولید انرژی پیش‌بینی‌شده یک سیستمPV هیبریدی /دیزلی با مدل ریت اسکرین را با نتایجی از برنامه شبیه‌ساز ساعتی مقایسه می‌کند.

۳-۷-۱ اعتبارسنجی محاسبه زاویه تابش در مقایسه با مدل ساعتی

در فصل قبل به بررسی الگوریتم به چندین روش پرداخته شد. ابتدا، محاسبات ساعتی برای آرایش‌های رهگیری مختلف با داده‌های آب‌وهوایی بر اساس سال هواشناسی نمونه

(TMY) به‌عنوان ورودی اجرا شد.[1] شش مکان در نظر گرفته شد: ایکالویت (63.75°N)، ونکور (49.20°N)، تورنتو (43.67°N)، دنور (39.8°N)، فینیکس (33.43°N) و سنگاپور (1.37°N).

میانگین ماهانه‌ی زاویه تابش روزانه محاسبه‌شده از مقادیر ساعتی با میانگین ماهانه‌ی زاویه تابش محاسبه‌شده با الگوریتم ریت اسکرین مقایسه شد. آرایش‌های فضایی که در نظر گرفته شدند، عبارت بودند از:

۱- آرایه ثابت رو به جنوب که مطابق با عرض جغرافیایی شیب‌دار شده‌اند. (شکل ۱۵-۳ الف را ببینید.)
۲- آرایه عمودی ثابت‌شده رو به جنوب (شکل ۳-۱۵ ب را ببینید.)
۳- آرایه عمودی ثابت‌شده رو به غرب (شکل ۳-۱۵ ج را ببینید)
۴- آرایه عمودی ثابت‌شده رو به شرق (شکل ۳-۱۵ د را ببینید)
۵- رهگیری یک محوره با محور افقی N-S(شکل ۳-۱۶ الف را ببینید)
۶- رهگیری یک محوره با محور شیب داده‌شده‌ی N-S شیب‌دار شده مطابق با عرض جغرافیایی (شکل ۳-۱۶ ب را ببینید).
۷- ردیاب خورشیدی دومحوره (شکل ۳-۱۶ ج را ببینید)
۸- ردیاب خورشیدی آزیموت با آرایه شیب‌دار در عرض جغرافیایی (شکل ۳-۱۶ د را ببینید)

در گام دوم برای سطوح ثابت، الگوریتم ریت اسکرین با الگوریتم لیو و جردن[2]که در بخش قبلی مدل PV ریت اسکرین استفاده‌شده و هنوز در مدل گرمایش آب خورشیدی ریت اسکرین استفاده می‌شود، مورد مقایسه قرار گرفت.

---

[1] - همه فایل‌های (TMY) از آزمایشگاه‌های شبیه‌سازی واتسون می‌باشد، به‌جز سنگاپور که یک فایل جایگزین می‌باشد که با برنامه (WATGEN) ایجادشده است. برای اطلاعات بیشتر به واتسون (۱۹۹۲، ۱۹۹۳) رجوع کنید.

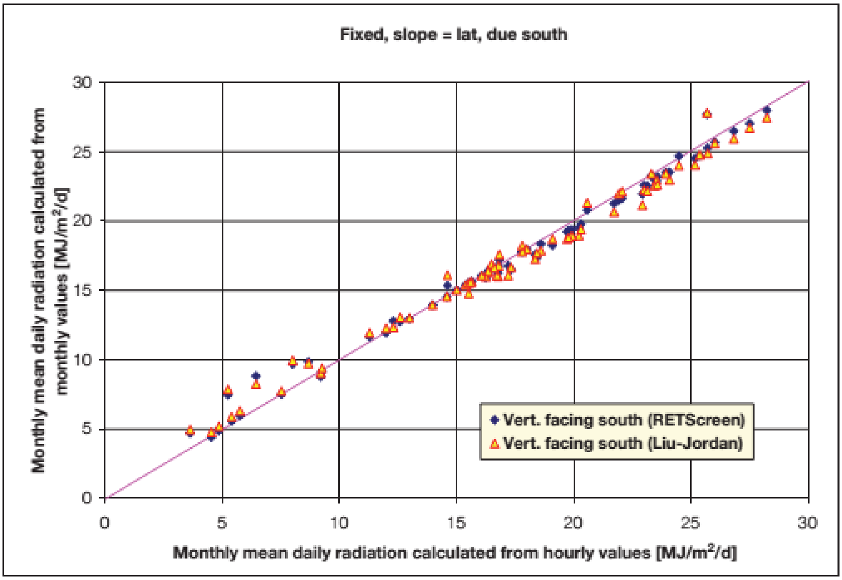
[2]- Lio & Jordan

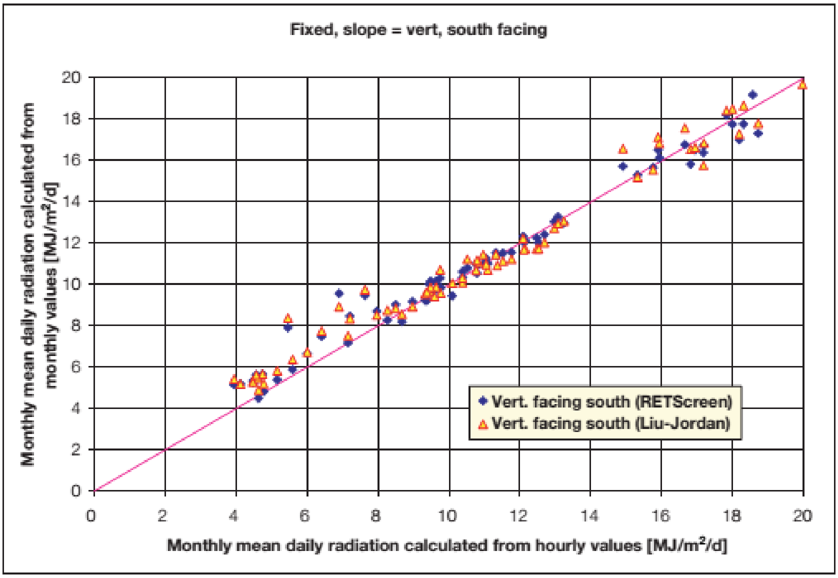
درنهایت محاسباتی که در نیمکره شمالی صورت گرفت، در نیمکره جنوبی نیز تکرار شد؛ محاسبات انجام‌شده در نیمکره جنوبی با به‌کارگیری داده‌های ورودی یکسان مانند مکان‌های نیمکره‌ی شمالی است با این تفاوت که به شش ماه تغییر پیداکرده بود.

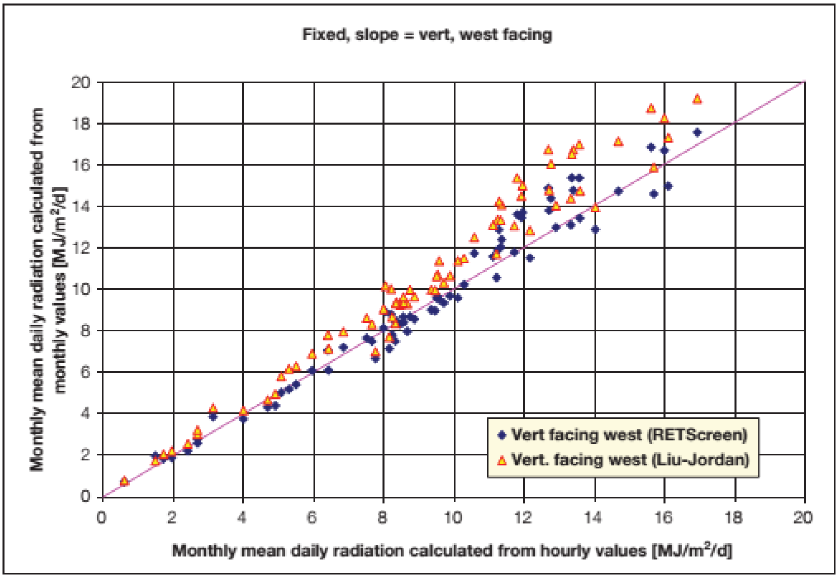
۳-۷-۲ نتایج اعتبارسنجی

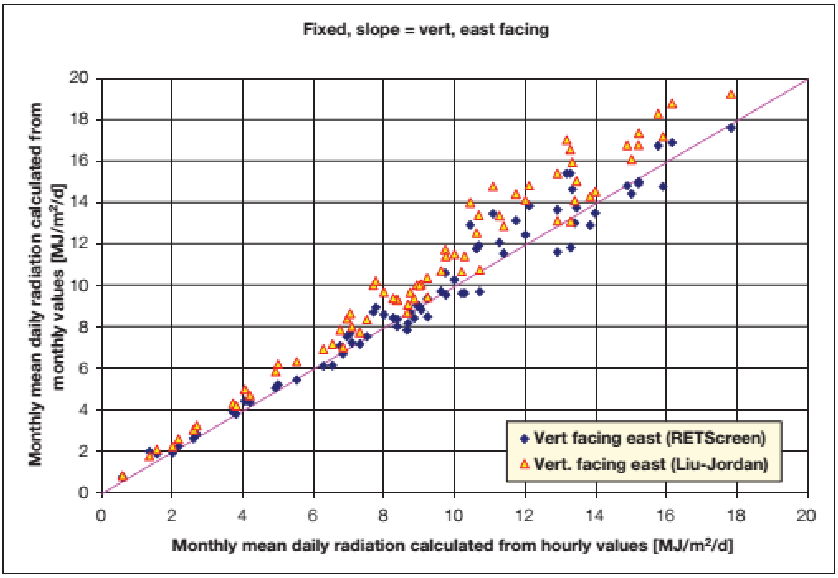
شکل ۳-۱۵ و ۳-۱۶ نتایج به‌دست‌آمده از ریت اسکرین را با محاسبات ساعتی نشان می‌دهد. سازگاری بین مقادیر به‌دست‌آمده قابل‌قبول است. برای سطوح ثابت، الگوریتم ریت اسکرین عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم لیو و جردن نشان می‌دهد. شکل ۳-۱۷ با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده از محاسبات ساعتی (نتایج همه ایستگاه‌ها با یکدیگر جمع شده است)، خطای روش میانگین و ریشه میانگین مربعات خطا را خلاصه می‌کند. این جدول تأیید می‌کند که همه آرایش‌های این مدل (مقایسه با محاسبات ساعتی) به شکل خوبی عمل می‌کنند و الگوریتم ریت اسکرین برای سطوح ثابت علی‌الخصوص برای سطوح رو به شرق به شکل بهتری نسبت الگوریتم لیو و جردن عمل کرده‌اند.

درنهایت شکل ۳-۱۸، محاسبات در نیمکره شمالی و جنوبی را مورد بررسی قرار می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، به‌جز نقاط بسیار کمی که تفاوت بین آن‌ها به تفاوت‌های جزئی در تابش فرازمینی یا زاویه انحراف برمی‌گردد، (زمستان در نیمکره جنوبی به لحاظ ریاضی کاملاً معادل تابستان در نیمکره شمالی نیست که باعث می‌شود تفاوت‌های کوچکی در معادلات مدل تقویت شود.) نتایج یکسان‌اند.

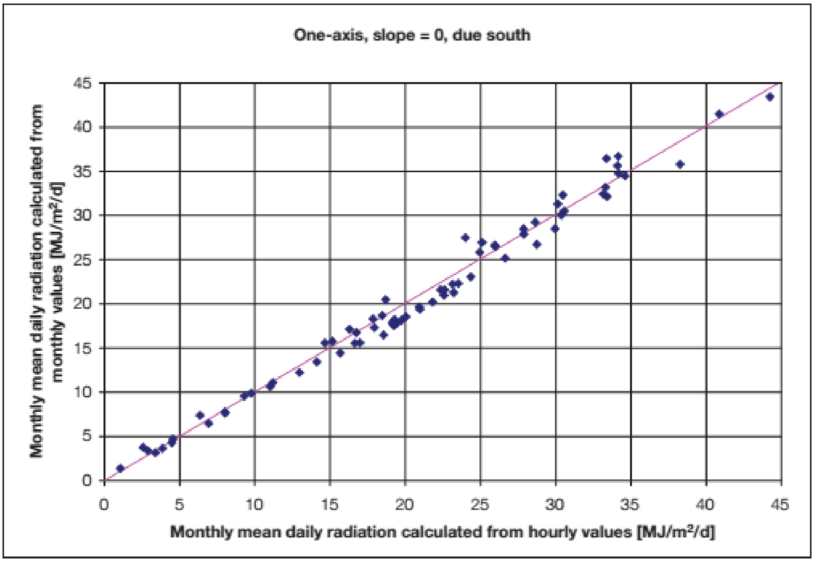

Fixed, slope = lat, due south
Monthly mean daily radiation calculated from monthly values [MJ/m²/d]
Monthly mean daily radiation calculated from hourly values [MJ/m²/d]
Vert. facing south (RETScreen)
Vert. facing south (Liu-Jordan)
0
5
10
15
20
25
30

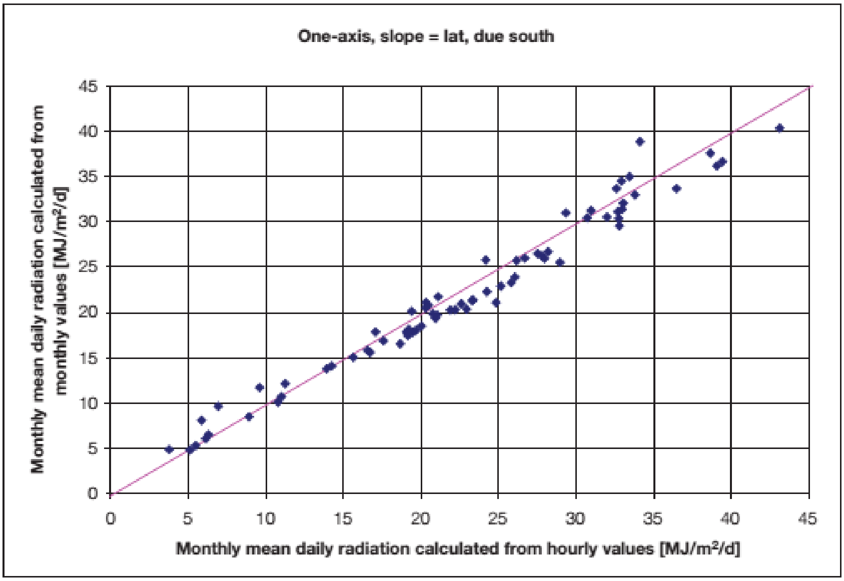

Fixed, slope = vert, south facing
Monthly mean daily radiation calculated from monthly values [MJ/m²/d]
Monthly mean daily radiation calculated from hourly values [MJ/m²/d]
Vert. facing south (RETScreen)
Vert. facing south (Liu-Jordan)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

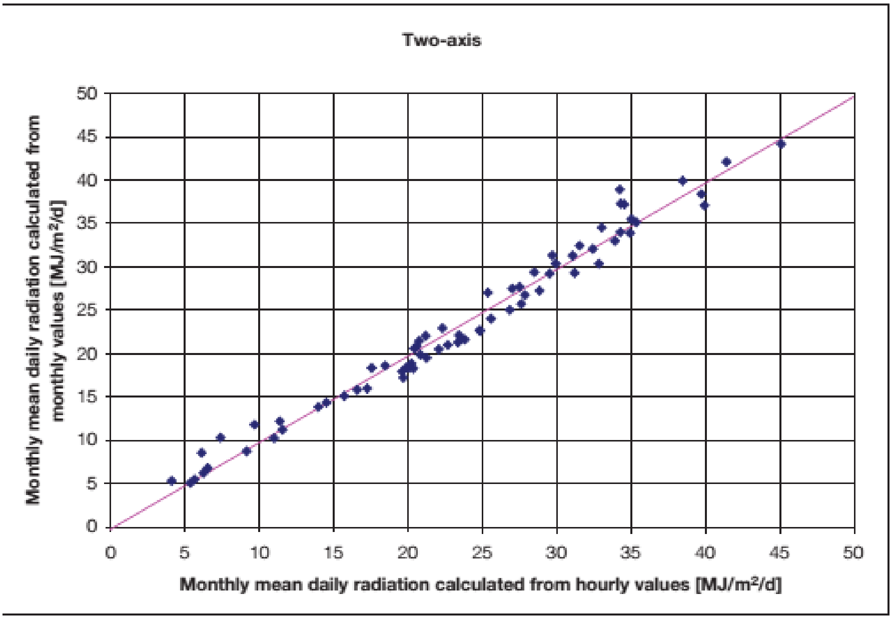


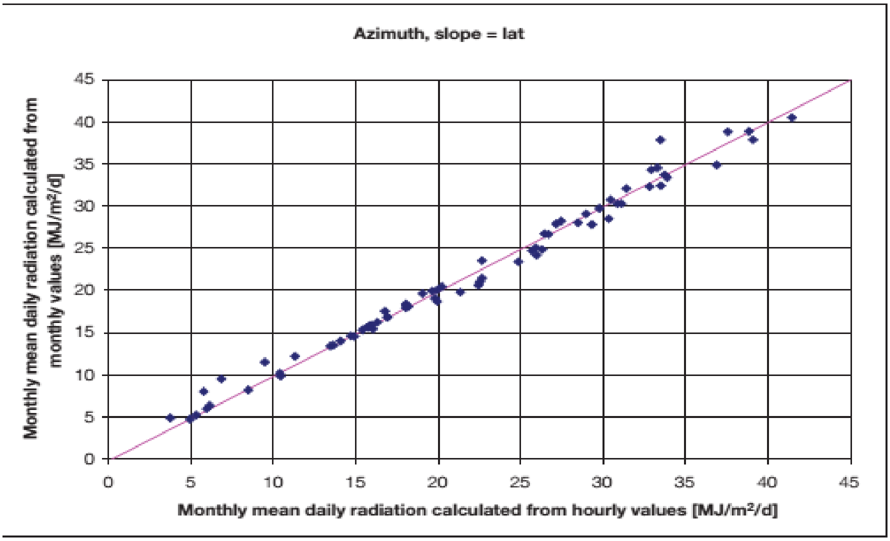


شکل ۳-۱۵ عملکرد الگوریتم تابش ریت اسکرین برای سطوح ثابت


One-axis, slope = 0, due south
Monthly mean daily radiation calculated from monthly values [MJ/m²/d]
Monthly mean daily radiation calculated from hourly values [MJ/m²/d]
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45


One-axis, slope = lat, due south
Monthly mean daily radiation calculated from monthly values [MJ/m²/d]
Monthly mean daily radiation calculated from hourly values [MJ/m²/d]
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45



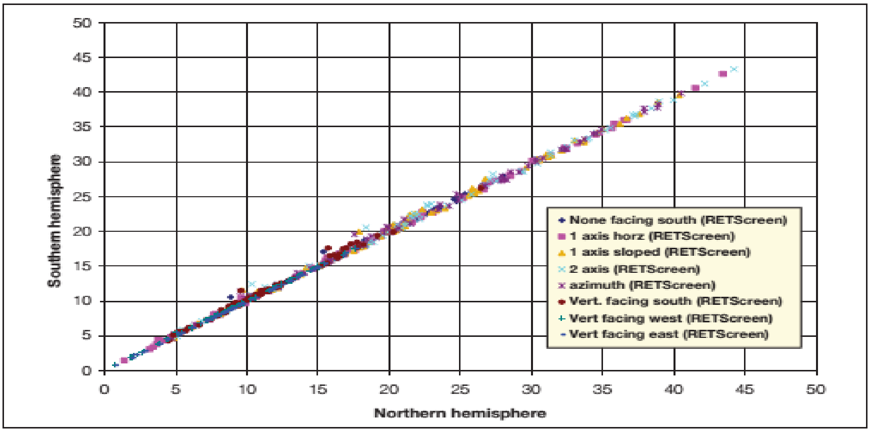


شکل ۳-۱۶: عملکرد الگوریتم تابش ریت اسکرین برای سطوح متحرک

Configuration	1		2		3		4	
Algorithm	RETScreen	Liu-Jordan	RETScreen	Liu-Jordan	RETScreen	Liu-Jordan	RETScreen	Liu-Jordan
MBE [MJ/m²]	-0.04	-0.10	0.25	0.32	0.22	1.30	0.20	1.28
MBE [% of average]	-0.24	-0.61	2.22	2.92	2.43	14.09	2.16	13.78
RMSE [MJ/m²]	0.66	0.85	0.46	0.86	0.82	1.68	0.83	1.59
RMSE [% of average]	3.85	4.93	6.88	7.76	8.91	18.15	8.89	17.14

Configuration	5	6	7	8
Algorithm	RETScreen	RETScreen	RETScreen	RETScreen
MBE [MJ/m²]	-0.21	-0.72	-0.25	-0.06
MBE [% of average]	-1.03	-3.18	1.05	-0.26
RMSE [MJ/m²]	1.25	1.73	1.52	1.07
RMSE [% of average]	5.99	7.62	6.50	4.96

شکل ۳- ۱۷: عملکرد آماری الگوریتم محاسبه تابش زاویه‌دار



شکل ۳-۱۸: مقایسه محاسبات در نیمکره شمالی و جنوبی

۳-۷-۳ اعتبارسنجی مدل منفصل از شبکه در مقایسه با مدل ساعتی

در این قسمت پیش‌بینی مدل منفصل از شبکه ریت اسکرین در مقایسه محاسبات صورت گرفته با مدل ساعتی آزمایش می‌شود. مدل ساعتی مورداستفاده (مدل هومر[۱])، مدل بهینه‌سازی برای طراحی سیستم‌های نیروی الکتریسیته مستقل می‌باشد (جهت مطالعه بیشتر به NREL, 2001 رجوع شود). هومر شبیه‌ساز ساعتی را برای بهینه کردن طراحی سیستم‌های نیروی هیبریدی استفاده می‌کند.

هومر می‌تواند ترکیبات توربین‌های بادی، پنلهای فتوولتائیک، ژنراتورهای دیزلی و ذخیره‌سازی باتری را مدل کند. این برنامه تنها به‌عنوان ابزار شبیه‌سازی بکار رفته است.

آرایش سیستم به پیش‌فرض نمونه منفصل از شبکه PV/ باتری‌ها/ کارایی موتور برمی‌گردد، مانند حالتی که وقتی مدل PV ریت اسکرین را باز می‌کنید، می‌بینید. سیستمی که مدل‌سازی شد ایستگاهی مخابراتی بود که در نزدیکی نیوکوئین آرژانتین (عرض ۳۹ درجه جنوبی) قرار داشت. تابش افقی خورشید و متوسط درجه حرارت هوا در شکل ۳-۱۹ نشان داده‌شده است. پارامترهای اصلی سیستم عبارت‌اند از:

- بار: ۵۰W، پیوسته، بار AC(انتخاب بار AC مقایسه با هومر را آسان‌تر می‌سازد؛ چون هومر تنها برای بار AC است).
- آرایه PV: آرایه 1kWp سیلیکون مونوکریستال؛ اتلاف انرژی در این آرایه‌های مختلف تا ۱۰ درصد تنظیم می‌شود. زاویه آرایه در ۵۰ درجه رو به شمال است.
- باتری: ۲۴V، ۲۵۰۰Ah ظرفیت اسمی با ۸۰ درصد بهره‌وری دو سر و ۴۰ درصد عمق دشارژ. شبیه‌ساز هومر استفاده از گزینه چرخه شارژ را فعال کرده بود که بدان معناست که هر وقت موتور نیاز داشت تا با حداکثر ظرفیت عمل کند، قدرت اضافی موردنیاز از شارژ باتری بگیرد. در این شبیه‌سازی، فعال بودن آخرین حالت شارژ به آن معناست که موتور شارژ ذخیره باتری را نمی‌تواند متوقف کند تا وقتی‌که به وضعیت خاصی از دشارژ برسد.
- مبدل: 1kW، ۹۰ درصد بهره‌وری

[۱]- HOMER

- موتور: 7/5 kW، با مصرف سوخت ویژه 0.46L/kWh
- بهره‌وری شارژ: ۹۵ درصد است.

برای هومر، نتایج ماهانه با ورود داده‌های شبیه‌سازی ساعتی و مجموع‌یابی (سیگما) انجام می‌شود؛ اما انجام این محاسبات در ریت اسکرین سخت‌تر است و برای آن بایستی کسر کل ماه‌های استفاده‌شده به صفر به‌استثنای یک ماه را به دست آورد و سپس آن را برای همه ماه‌های سال تکرار کرد.[1]

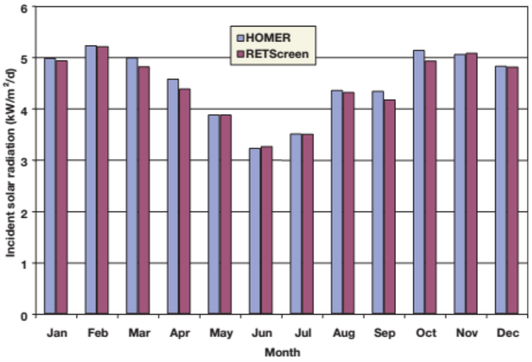
	Global solar KW/m²/d	Average Temp. °C	Incident Solar Radiation kW/m²/d		PV Energy Production kWh		Genset Fuel Consumption L	
			HOMER	RETScreen	HOMER	RETScreen	HOMER	RETScreen
Jan	6.33	23.3	4.98	4.94	139	129	164	172
Feb	5.89	22.0	5.23	5.21	132	123	141	152
Mar	4.58	18.3	4.99	4.82	139	127	172	173
Apr	3.36	13.2	4.58	4.39	124	114	170	173
May	2.33	9.2	3.88	3.88	108	106	187	186
Jun	1.78	6.1	3.23	3.27	87	88	191	189
Jul	2.00	5.6	3.51	3.51	98	98	195	191
Aug	2.93	8.0	4.36	4.32	122	119	175	178
Sep	3.72	11.2	4.34	4.17	117	110	176	176
Oct	5.28	15.3	5.14	4.93	143	132	169	170
Nov	6.33	19.3	5.06	5.08	137	130	166	163
Dec	6.36	22.2	4.83	4.81	135	127	174	174
Year	4.23	14.5	4.51	4.44	1,480	1,404	2,079	2,096

شکل ۳-۱۹: خلاصه‌ای از نتایج محاسبه با ریت اسکرین و هومر

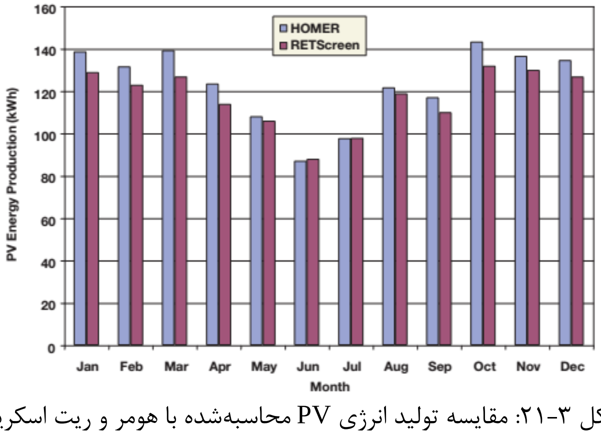
نتایج مقایسه در شکل ۳-۱۹ خلاصه شد. محاسبات صورت گرفته بر پایه سالانه با نرم‌افزار ریت اسکرین، تولید انرژی PV را کمی کمتر از مقادیر به‌دست‌آمده با نرم‌افزار هومر پیش‌بینی می‌کند. (۱,۴۰۴ kWh در مقابل ۱,۴۸۰kWh یا تفاوتی ۵ درصدی). بخشی از

[1] – درون ریت اسکرین، تمام محاسبات انرژی بر پایه ماهانه پیش از آنکه به شکل سالانه جمع بسته شود، عمل می‌کند. ازاین‌رو در راهکار در نظر گرفته‌شده در اینجا تنها حالاتی را که به‌طور درونی با این برنامه محاسبه‌شده است (نسبت به مجموع‌یابی موارد سالیانه نمایش داده‌شده در برگه مدل انرژی ترجیح داده می‌شوند). از منظر اعتبارسنجی تمایل به استفاده از داده‌های ماهانه وجود دارد؛ چون مجموعه‌های سالیانه می‌توانند تغییرات فصلی در عملکرد مدل را بپوشانند.

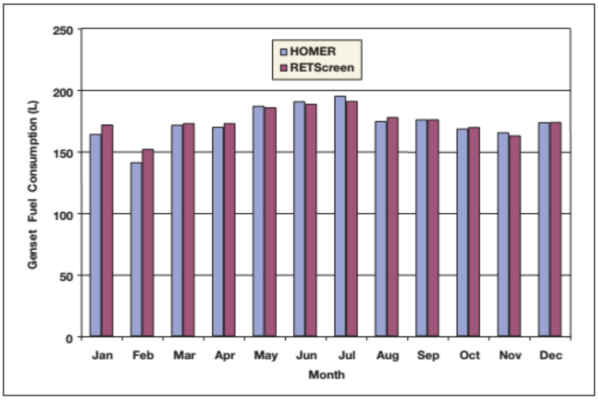
این تفاوت (در حدود ۲ درصد) مربوط به تفاوت در محاسبات تابش خورشیدی اتفاقی، همان‌طور که در این جدول نشان داده‌شده، می‌شود. سهم ژنراتور، گزارش‌شده به‌عنوان مصرف سوخت، واقعاً برابر است (۲,۰۹۶L در مقابل L ۲,۰۷۹). به‌طورکلی این تفاوت‌ها بی‌اهمیت‌اند و نشان می‌دهند که مدل PV ریت اسکرین برای مطالعات پیش امکان‌سنجی به‌قدر کافی مناسب است. مقایسه‌ای گرافیکی از نتایج در شکل ۳-۲۰ تا ۳-۲۲ نشان داده‌شده است.



شکل ۳-۲۰: مقایسه تابش خورشید حادث‌شده با محاسبات ریت اسکرین و هومر



شکل ۳-۲۱: مقایسه تولید انرژی PV محاسبه‌شده با هومر و ریت اسکرین



شکل ۳-۲۲: مقایسه مصرف سوخت موتور محاسبه‌شده با ریت اسکرین و هومر

نتیجه گیری: تا اینجا الگوریتم‌های استفاده‌شده به‌وسیله مدل پروژه فوتوولتائیک ریت اسکرین به تفضیل نشان داده شد. الگوریتم محاسبه تابش زاویه‌دار و مدل آرایه PV برای همه کاربردها مشترک‌اند. مدل متصل به شبکه و مدل پمپاژ آب به نسبت مدل‌های ساده‌ای هستند که مبتنی بر بهره‌وری‌های متوسط فرضی می‌باشند. مدل منفصل از شبکه پیچیدگی بیشتری دارند.

در ادامه این فصل با تحلیل پروژه‌های فوتوولتائیک نمونه، مطالعه‌ای موردی را برای متخصصان و دانشجویانی فراهم می‌آورد که نحوه بهتر تحلیل امکان‌سنجی مالی و تکنیکی پروژه‌های احتمالی انرژی پاک را بهتر می‌خواهند، یاد بگیرند.

۳-۸ نمونه پروژه گرمایش خورشیدی (آبگرم کن خورشیدی روستایی)

۳-۸-۱ شرح وظیفه

قسمت تحقیقات و توسعه وزارت نیرو از شما خواسته است تا امکان‌سنجی مالی نصب حمام عمومی خورشیدی در روستای رکن‌آباد در استان سمنان را مورد بررسی قرار دهید و دو حالت مختلف را مدنظر قرار دهید که شامل:

- حالت اول: نوع سوخت پایه حمام عمومی را در صورت عدم راه‌اندازی سیستم گرمایش خورشیدی یک‌بار با گاز طبیعی و بار دیگر با گازوئیل مورد بررسی قرار دهید.
- حالت دوم: به بررسی تأثیر مشوق ۳۰ درصدی یا عدم ارائه آن برای راه‌اندازی سیستم حمام عمومی خورشیدی بپردازید و گزارش مربوطه را ارائه دهید.

گزارش تحلیلی خود را در نرم‌افزار ریت اسکرین آماده کنید و به‌طور مستند به تحلیل هزینه-منفعت به‌کارگیری چنین سیستمی در روستای موردنظر بپردازید.

۲-۸-۳ اطلاعات مکانی سایت

روستای رکن‌آباد دارای ۳۰ خانوار می‌باشد و حمام عمومی خورشیدی با ۵ عدد دوش، موردنیاز اهالی روستاست. این روستا با اقلیمی گرم و خشک در موقعیت جغرافیایی 28o 23’ 18 N و 55o 54’ 20 E قرارگرفته است و نزدیک‌ترین پایگاه داده هوایی به آن پایگاه داده هواشناسی سمنان می‌باشد که اطلاعات این پایگاه داده در پایگاه داده هواشناسی ریت اسکرین در جدول ۳-۱ نمایش داده‌شده است.

میزان آب گرم مصرفی روزانه یک روستای ۱۰۰ الی ۱۲۰ نفره، مقدار ۶۰۰ گالن (۲۵۸۰ لیتر)[۱]و دمای آبگرم مصرفی حدود ۱۴۰ درجه فارنهایت[۲]یا ۶۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته‌شده است. حجم منبع در نظر گرفته‌شده برای این روستا ۲۵۰۰ لیتر می‌باشد و کل بار آبگرم مصرفی سالانه بر حسب کیلوکالری در سال (kcal/year) برابر با ۴۲×۱۰^{۶}kcal/year است.

جدول ۳-۱: اطلاعات آب‌وهوایی روستای رکن‌آباد

[۱]- میزان آب گرم مصرفی روزانه به عواملی از قبیل تعداد ساکنین ساختمان، نوع و تعداد وسایل بهداشتی موجود در ساختمان و کاربری ساختمان بستگی دارد. با توجه به جداول استاندارد، حجم آبگرم مصرفی یک خانوار پنج نفره بین ۲۲۰ تا ۳۴۰ لیتردر یک روز در نظر گرفته می‌شود.

۲ - تعیین دمای آبگرم مصرفی برای مصارف مختلف متفاوت است با بالاتر رفتن دمای آب گرم مصرفی میزان تلفات حرارتی از لوله های حامل آن بیشتر می‌شود و لذا اصولا دمای بیشتر از ۱۶۰ درجه فارنهایت برای آب گرم مصرفی به کار نمی‌رود، مگر در موارد خاص.

ماه	درجه حرارت هوا	رطوبت نسبی	اشعه خورشید به‌صورت افقی	فشار اتمسفر	سرعت باد	دمای زمین	درجات گرمایشی	درجات سرمایشی
	°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
ژانویه	1.2	77.4%	2.78	88.8	3.7	1.9	520	0
فوریه	2.5	72.2%	3.61	88.7	3.8	3.7	435	0
مارس	6.7	63.9%	4.44	88.6	3.8	8.7	351	0
آوریل	14.2	48.9%	5.61	88.5	3.6	17.5	115	125
مه	19.3	39.8%	6.40	88.5	4.0	24.0	0	289
ژوئن	24.1	34.6%	7.15	88.2	4.6	29.2	0	422
ژوئیه	26.8	32.6%	6.74	88.2	4.9	32.1	0	519
اوت	26.3	32.5%	6.26	88.3	4.7	31.0	0	504
سپتامبر	21.8	35.2%	5.22	88.6	4.2	25.6	0	353
اکتبر	15.3	46.4%	3.89	88.9	3.7	17.8	84	164
نوامبر	8.9	59.4%	2.90	89.0	3.6	10.1	272	0
دسامبر	3.4	73.4%	2.39	88.9	3.7	4.0	452	0
سالانه	14.3	51.3%	4.79	88.6	4.0	17.2	2,230	2,376

محاسبه کل بار آبگرم مصرفی سالانه برحسب کیلوکالری در سال (kcal/year) بدین شکل صورت گرفته است (مهندس طباطبایی،۱۳۸۹):

$$Q_1 = V \times 8.33 \times (t_2 - t_1)$$ (۳-۱۹

که در آن:

میزان آبگرم مصرفی (Btu/d) =Q۱

مقدار واقعی آبگرم مصرفی در روز برحسب گالن = V

وزن مخصوص آب برحسب پوند بر گالن= ۸/۳۳

دمای آب ورودی به آبگرم کن (60°F یا 15.5° C) = t_1

دمای آبگرم مصرفی خروجی از آبگرم کن (140° F یا 60° C) = t_2

این محاسبات به ترتیب زیر انجام می‌پذیرد:

۶۰۰GPH: مقدار آبگرم مصرفی

Q۱ :۶۰۰ × ۸/۳۳ × (۶۰-۱۴۰) × ۱/۱ = ۴۳۹۸۲۴Btu/d ~۱۱۰۳۹۵ kcal/d

با توجه به اینـــــکه دمـــــای آب ورودی، متوسط سالانه در نظر گرفته‌شده است (15.5° C) پس می‌توان بار آبگرم محاسبه‌شده در یک روز را برای محاسبه بار آبگرم سالانه بکار برد یعنی:

۴۳۹۸۲۴×۳۶۵ =**۱۶۰×۱۰^۶^** Btu/year = ۴۲×**۱۰^۶^**Kcal/year

۳-۸-۳ اطلاعات مالی پروژه

هزینه هر کلکتور تخت شیشه‌ای بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از فروشندگان ۱۵ کلکتور هزینه‌ای معادل ۱۰ هزار دلار درمجموع دارد. درصورتی‌که به‌جای سیستم گرمایش خورشیدی از گاز طبیعی برای راه‌اندازی حمام عمومی استفاده شود. قیمت هر مترمکعب

گاز برای اداره گاز بر اساس اعلام وزارت نیرو حدودا برابر ۰,۱۱۶$ در نظر گرفته شد؛ و درصورتی‌که از ژنراتور دیزلی جهت گرمایش آب استفاده شود، قیمت واقعی هر لیتر گازوییل ۰,۲۵۵ دلار در نظر گرفته شد.

ازآنجایی‌که حدود ۵ ساعت زمان لازم است تا اجزا موردنیاز مرتب‌شده و گرد هم آیند و برای نصب آماده گردند لذا هزینه تجهیزات به همراه هزینه حمل‌ونقل و هزینه سازه نگه‌دارنده کلکتورها و سایر هزینه‌ها حدود ۵۲۰ دلار هزینه دارد. نکته قابل‌توجه آنکه می‌بایست در اینجا میزان تورم را ۳۵٪ در نظر گرفت.

در ادامه مراحل طراحی این آبگرم کن خورشیدی به همراه جزییات آن توضیح داده می‌شود.

۴-۸-۳ تحلیل پروژه نمونه

مرحله اول (برگه آغازین): در این قسمت بایستی اطلاعات مربوط به پروژه و همچنین پایگاه داده هواشناسی موردنظر را وارد نمود.

شکل ۳-۲۳: ورود اطلاعات پروژه

در قسمت اطلاعات مربوط به پروژه مواردی ازجمله نام پروژه، نوع پروژه، تکنولوژی به‌کاررفته، محل پایگاه داده هواشناسی موردنظر و ... مشخص می‌شود. شکل ۳-۲۳ موارد فوق‌الذکر برای یک سیستم آبگرم کن خورشیدی در روستای رکن‌آباد را نشان می‌دهد.

مرحله دوم (وارد نمودن اطلاعات آب‌وهوایی منطقه موردنظر): در این مرحله پس از انتخاب کشور و شهر موردنظر، داده‌های موجود در بانک اطلاعاتی نرم‌افزار برای منطقه مربوطه نمایش داده می‌شود. این داده‌ها که در قالب یک جدول دسته بندی شده‌اند، شامل، درجه حرارت هوا، رطوبت نسبی، تشعشع نرمال خورشید بر صفحه افق، فشار اتمسفر، سرعت باد و دمای زمین که برای ماه‌های مختلف می‌باشند. همچنین اطلاعات دیگری ازجمله طول و عرض جغرافیایی منطقه موردنظر نیز نمایش داده می‌شود. داده‌های فوق‌الذکر برای روستای رکن‌آباد که نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به آن ایستگاه هواشناسی سمنان می‌باشد در شکل ۳-۲۴ نشان داده‌شده است.

	Unit	Climate data location	Project location
Latitude	°N	35.6	35.6
Longitude	°E	53.4	53.4
Elevation	m	1,451	1,451
Heating design temperature	°C	-3.3	
Cooling design temperature	°C	32.3	
Earth temperature amplitude	°C	24.9	

Month		Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
		°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January		1.2	77.4%	2.78	88.8	3.7	1.9	520	0
February		2.5	72.2%	3.61	88.7	3.8	3.7	435	0
March		6.7	63.9%	4.44	88.6	3.8	8.7	351	0
April		14.2	48.9%	5.61	88.5	3.6	17.5	115	125
May		19.3	39.8%	6.40	88.5	4.0	24.0	0	289
June		24.1	34.6%	7.15	88.2	4.6	29.2	0	422
July		26.8	32.6%	6.74	88.2	4.9	32.1	0	519
August		26.3	32.5%	6.26	88.3	4.7	31.0	0	504
September		21.8	35.2%	5.22	88.6	4.2	25.6	0	353
October		15.3	46.4%	3.89	88.9	3.7	17.8	84	164
November		8.9	59.4%	2.90	89.0	3.6	10.1	272	0
December		3.4	73.4%	2.39	88.9	3.7	4.0	452	0
Annual		14.3	51.3%	4.79	88.6	4.0	17.2	2,230	2,376
Measured at	m					10.0	0.0		

Complete Energy Model sheet

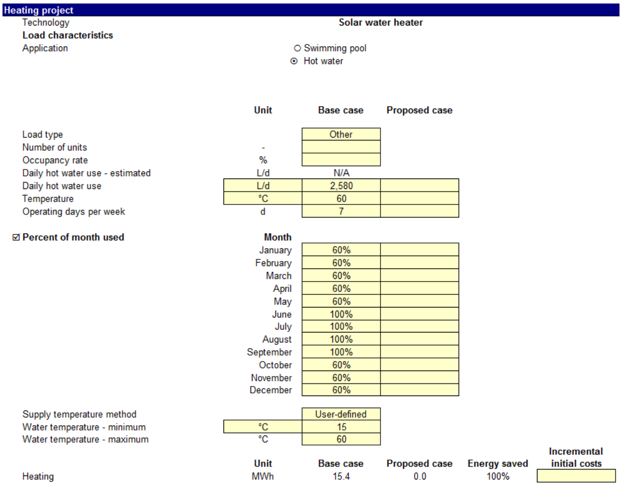
RETScreen4 2013-08-27 © Minister of Natural Resources Canada 1997-2013 NRCan/CanmetENERGY

۳-۲۴: پایگاه داده هواشناسی سمنان

مرحله سوم (برگه مدل انرژی): در برگه مدل انرژی در قسمت وارد نمودن جزییات مربوط به پروژه انتخاب‌شده، بایستی ابتدا جزئیات مربوط به پروژه را وارد نمود که در مورد آبگرم کن‌های خورشیدی بایستی اطلاعات زیر را مرحله‌به‌مرحله وارد نمود:

- کاربرد تکنولوژی به‌کاررفته (در رابطه با آبگرم کن‌های خورشیدی می‌توان مصارفی ازجمله استخر شنا یا آب گرم مصرفی را بررسی نمود).
- نوع مصرف (خانه، حمام روستایی، بیمارستان، هتل، دفتر، رستوران، مدرسه و غیره)
- میزان مصرف آب گرم روزانه
- روزهای عملیاتی هفته
- حداقل و حداکثر دمای آب
- درصد استفاده ماهیانه

پس از وارد نمودن اطلاعات فوق‌الذکر، نرم‌افزار میزان انرژی گرمایشی موردنیاز را برای حالت پایه (حالت بدون استفاده از سیستم خورشیدی) و پیشنهادی (حالتی که سیستم خورشیدی به‌عنوان یک منبع کمکی در امر گرمایش کمک می‌کند) محاسبه می‌نماید و مقدار انرژی صرفه‌جویی شده را نیز نمایش می‌دهد. نمونه‌ای از این محاسبات در شکل ۳-۲۵ نشان داده‌شده است.



Heating project					
Technology		Solar water heater			
Load characteristics					
Application		○ Swimming pool / ⊙ Hot water			
	Unit	**Base case**	**Proposed case**		
Load type		Other			
Number of units	-				
Occupancy rate	%				
Daily hot water use - estimated	L/d	N/A			
Daily hot water use	L/d	2,580			
Temperature	°C	60			
Operating days per week	d	7			
☑ Percent of month used	**Month**				
	January	60%			
	February	60%			
	March	60%			
	April	60%			
	May	60%			
	June	100%			
	July	100%			
	August	100%			
	September	100%			
	October	60%			
	November	60%			
	December	60%			
Supply temperature method		User-defined			
Water temperature - minimum	°C	15			
Water temperature - maximum	°C	60			
	Unit	**Base case**	**Proposed case**	**Energy saved**	**Incremental initial costs**
Heating	MWh	15.4	0.0	100%	

شکل ۳-۲۵: ورود اطلاعات پروژه گرمایشی

در قسمت ارزیابی منابع (Resource assessment) در برگه مدل انرژی می‌توان مقدار تشعشع خورشید را به ازای زوایای مختلف کلکتور طی ماه‌های مختلف محاسبه نمود. برای این منظور بایستی وضعیت تعقیب خورشید (ثابت، تک‌محوری و دومحوری) را مشخص نمود. با توجه به اینکه استفاده از سیستم‌های ردیاب خورشیدی تک‌محوری (حرکت کلکتورها تنها در یک‌جهت) و ردیاب خورشیدی دومحوری (حرکت کلکتورها در دو جهت مختلف) در کلکتورها ازنظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه نیست، معمولاً از کلکتورها با زوایای ثابت استفاده می‌شود. بدین منظور با فرض ثابت قرار گرفتن کلکتورها رو به جنوب و تغییر دادن شیب آن‌ها در طول سال در نرم‌افزار، طی یک عملیات سعی و خطا مقدار بهینه زاویه کلکتورها در طول سال را می‌توان محاسبه کرد که این مقدار برای کلکتورهای رو به جنوب برابر با ۴۵ درجه می‌باشد. این زاویه برای کلکتورهای ثابت، مقدار تشعشع خورشیدی سالیانه‌ای برابر با $۱/۸۹ MWh/m^2$ را نتیجه می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر در این قسمت با توجه به اطلاعات هواشناسی ورودی آغازین و تعیین وضعیت ردیاب خورشیدی، شیب و آزیموت، میزان تشعشع خورشیدی سالیانه برحسب مگاوات ساعت برآورد می‌شود (مانند شکل ۳-۲۶)

Resource assessment

Solar tracking mode	Fixed
Slope	45.0
Azimuth	0.0

☑ **Show data**

Month	**Daily solar radiation - horizontal** (kWh/m²/d)	**Daily solar radiation - tilted** (kWh/m²/d)
January	2.78	4.59
February	3.61	5.02
March	4.44	5.07
April	5.61	5.46
May	6.40	5.48
June	7.15	5.75
July	6.74	5.58
August	6.26	5.77
September	5.22	5.64
October	3.89	5.05
November	2.90	4.52
December	2.39	4.06
Annual	**4.79**	**5.17**

Annual solar radiation - horizontal	MWh/m²	1.75
Annual solar radiation - tilted	MWh/m²	1.89

شکل ۳-۲۶: محاسبه میزان تشعشع خورشیدی سالیانه

در ادامه بایستی در قسمت ورود مشخصات آبگرم کن خورشیدی در برگه مدل انرژی، مشخصات آبگرم کن خورشیدی مربوطه (آبگرم کن شیشه‌ای لعابی) وارد شود. بر اساس کاتالوگ آبگرم کن خورشیدی که در شکل ۳-۲۷ مشاهده می‌شود، مشخصات فنی و سایر اطلاعات موردنیاز در برگه مدل انرژی وارد می‌شود که در شکل ۳-۲۸ ارائه‌شده است.

مشخصات کلکتور	مقدار	مشخصات کلکتور	مقدار
شرکت سازنده کلکتور	Solar Polar	دمای سکون ($^{\circ}C$)	۱۸۰
مدل کلکتور	Optimal	وزن (kg)	۴۲/۹
ابعاد بیرونی (cm)	۲۰۰ × ۹۴	ضخامت عایق پشت کلکتور (mm)	۵۰
سطح جاذب (m^2)	۱/۵۷	ضریب جذب (%)	۹۶
سطح قابل رویت (m^2)	۱/۷۸	جنس قاب	AL6063 اکسترود شده
نوع عایق	پشم سنگ	عرض صفحه جاذب (mm)	۱۴۳
دانسیته عایق حرارتی (kg/m^3)	۸۰	پوشش صفحه جاذب	پاشش یونی در خلأ
نوع شیشه	شیشه مشجر کم آهن	ضریب بازتابش حرارتی صفحه جاذب (%)	۷
ضریب عبور شیشه (%)	۸۶	ابعاد لوله هدر (مس) (mm)	قطر ۲۲، ضخامت ۰/۹
ضخامت شیشه (mm)	۴	لوله اتصال صفحه جاذب به هدر (مس) (mm)	قطر ۱۰، ضخامت ۰/۹
تست‌های انجام شده بر اساس استانداردهای (ISO 9060/9459-I/II, En12975-2)		تست نفوذ آب به کلکتور تست عدم نشت از کلکتور در فشار (۱۱۷/۷ Psi)	
مشخصات آبگرمکن	**مقدار**	**مشخصات آبگرمکن**	**مقدار**
شرکت سازنده آبگرمکن	Tisun	وزن مخزن (kg)	۳۱۰
مدل آبگرمکن	BE-SSPK1500	حداکثر عملکرد فشار (bar)	۱۰
ارتفاع و قطر مخزن (mm)	۲۰۸۰ و ۱۰۰۰	حداکثر عملکرد دما ($^{\circ}C$)	۹۵

افت فشار در کلکتور برای دبی kg/hr ۱۰۸ برابر mbar ۱۲۸/۵ است.

شکل ۳-۲۷: مشخصات فنی، مدل کلکتور و مدل آبگرم کن شیشه‌ای لعابی

بر اساس اطلاعات ورودی، میزان مساحت کلکتورهای موردنیاز (m^2) و ظرفیت آن‌ها مشخص می‌گردد. برای تأمین kW ۱۱,۷۶ انرژی، نیاز به ۱۵ کلکتور می‌باشد (با ورود سایر اطلاعات مربوط به کلکتور خورشیدی موردنظر، با افزایش یا کاهش تعداد کلکتورها در نرم‌افزار، ظرفیت انرژی و مساحت کلکتور موردنظر تغییر می‌کند، بر این اساس می‌توانید به مساحت و ظرفیت موردنظرتان برسید).

Solar water heater			
Type	Glazed		
Manufacturer	Solar Polar		
Model			
Gross area per solar collector	m²	1.54	
Aperture area per solar collector	m²	1.12	
Fr (tau alpha) coefficient		0.53	
Fr UL coefficient	(W/m²)/°C	1.21	
Temperature coefficient for Fr UL	(W/m²)/°C²	0.000	
Number of collectors		15	-
Solar collector area	m²	23.10	
Capacity	kW	11.76	
Miscellaneous losses	%	5.0%	

شکل ۳-۲۸: محاسبه ظرفیت و مساحت کلکتور موردنیاز

همچنین در همین قسمت در سلول (*See product database*) می‌توانید از موارد پیش‌فرض نرم‌افزار برای انتخاب کلکتور موردنظر خود استفاده کنید![1]

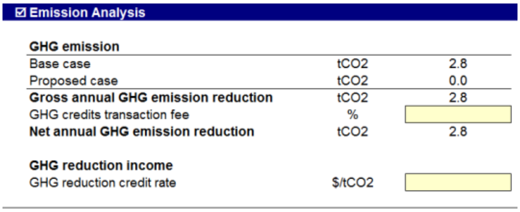
در ادامه به ورود اطلاعات هزینه‌های اولیه پروژه پرداخته می‌شود؛ در حالت اول سوخت سیستم پایه را گاز طبیعی و هزینه هر مترمکعب گاز را$ ۰,۱۱۶ و میزان بهره‌وری فصلی آن را ۱۰۰ درصد در نظر می‌گیریم. میانگین بهره‌وری سیستم پیشنهادی گرمایش خورشیدی را به خاطر اینکه ممکن است در بعضی فصول به خاطر سرما گرمایش لازم را نداشته باشد برابر ۷۰ درصد و هزینه سوخت آن را برابر صفر در نظر می‌گیریم، بر این اساس نرم‌افزار ریت اسکرین میزان مصرف سوخت سالیانه و هزینه سوخت را برای سیستم پیشنهادی و پایه محاسبه خواهد کرد (مانند شکل ۳-۲۹).

Heating system		Base case	Proposed case	
Project verification				
Fuel type		Natural gas - m³	Natural gas - m³	
Seasonal efficiency		100%	70%	
Fuel consumption - annual	m³	1,476.2	0.0	m³
Fuel rate	$/m³	0.166	0.000	$/m³
Fuel cost	$	245	0	

شکل ۳-۲۹: محاسبه هزینه سوخت سیستم گرمایشی

[1] - ریت اسکرین دسترسی به انواع مختلفی از محصولات را به همراه مشخصات آن‌ها در پایگاه داده محصولات خود فراهم آورده تا کاربران با راحتی بیشتری بتوانند با انتخاب محصول موردنظر در این پایگاه داده به اطلاعات آن محصول دست یابند و به ارزیابی‌های موردنظرشان و مقایسه محصولات بپردازند.

در قسمت تحلیل کاهش گاز گلخانه بر اساس نوع سوخت مصرفی و میزان آن در نمونه پایه و پیشنهادی، میزان انتشار گازهای گلخانه برحسب تناژ دی‌اکسید کربن در سال (tCO_2/year) محاسبه می‌شود (مانند شکل ۳-۳۰)؛ همچنین درصورتی‌که بابت کاهش گازهای گلخانه برحسب (tCO_2/year) در نمونه پیشنهادی اعتباری در نظر گرفته‌شده باشد با ورود آن، در برگه مالی مورد حساب قرار خواهد گرفت.



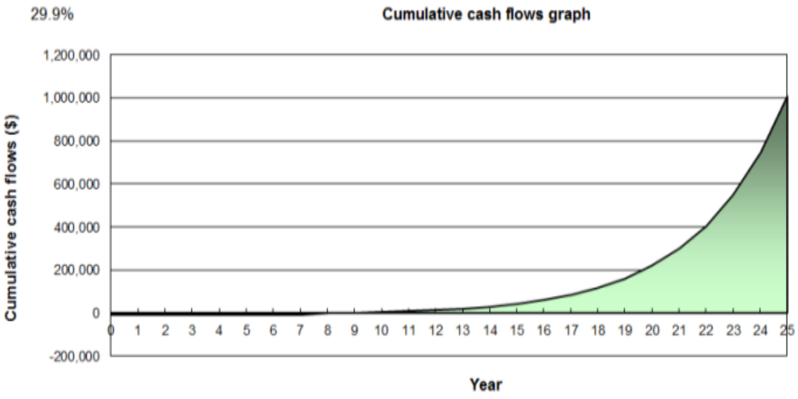
شکل ۳-۳۰: تحلیل کاهش گاز گلخانه‌ای در پروژه

با ورود پارامترهای مالی پروژه، محاسبه هزینه منفعت برای سناریوی سوخت گاز طبیعی و مشوق ۳۰ درصدی انجام می‌گیرد و نمودار تجمعی جریان نقدینگی ترسیم می‌شود (اشکال ۳-۳۱ و ۳-۳۲) که بر این اساس سال بازگشت سرمایه در نرم‌افزار ریت اسکرین مشاهده می‌شود که در سناریوی اول با استفاده کردن از مشوق ۳۰ درصدی و سوخت گاز طبیعی برای نمونه پایه دوره بازپرداخت ارزش ویژه[1] ۸٫۸ سال، بازپرداخت ساده ۵۰ سال و نرخ بازده داخلی (IRR) ۲۸ درصد می‌باشد.

[1] - بخشی از اثر تأمین مالی با بازپرداخت ارزش ویژه (Equity Payback) اندازه‌گیری می‌شود که اشاره به زمان موردنیاز برای جبران پول سرمایه‌گذاری شده با توجه به تورم و پرداخت اوراق قرضه، پیش از جریان نقدی کسر مالیات دارد.

Initial costs		
Heating system	$	0
Other	$	10,520
Total initial costs	$	10,520
Incentives and grants	$	3,150
Annual costs and debt payments		
O&M (savings) costs	$	100
Fuel cost - proposed case	$	0
Other	$	
Total annual costs	$	100
Annual savings and income		
Fuel cost - base case	$	245
Other	$	
Total annual savings and income	$	245
Financial viability		
Pre-tax IRR - assets	%	28.5%
Simple payback	yr	50.8
Equity payback	yr	8.8

شکل ۳-۳۱: تحلیل مالی پروژه



شکل ۳-۳۲: نمودار تجمعی جریان نقدینگی

بر اساس حالت دوم با سوخت گازوئیل (Diesel (oil) - L) و مشوق ۳۰ درصدی؛ میزان هزینه سالیانه صرفه‌جویی شده برابر با ۳۶۸ دلار در سال، میزان کاهش انتشار گاز گلخانه برابر با ۳,۹(tCO_2/y) و دوره بازگشت سرمایه ۷ سال می‌باشد (اشکال ۳-۳۴ تا ۳-۳۳).

Heating system

		Base case	Proposed case
Project verification			
Fuel type		Diesel (#2 oil) - L	Natural gas - m³
Seasonal efficiency		100%	70%
Fuel consumption - annual	L	1,442.0	0.0
Fuel rate	$/L	0.255	0.000
Fuel cost	$	368	0

شکل ۳-۳۳: هزینه سوخت پروژه

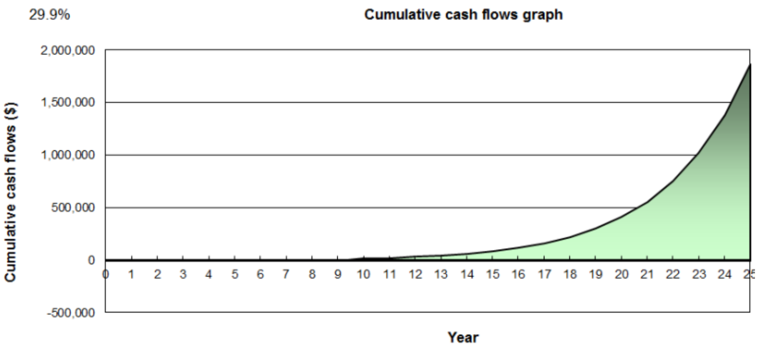
Emission Analysis

GHG emission		
Base case	tCO2	3.9
Proposed case	tCO2	0.0
Gross annual GHG emission reduction	tCO2	3.9
GHG credits transaction fee	%	
Net annual GHG emission reduction	tCO2	3.9
GHG reduction income		
GHG reduction credit rate	$/tCO2	

شکل ۳-۳۴: تحلیل کاهش گاز گلخانه‌ای

Financial parameters		
Inflation rate	%	35.0%
Project life	yr	25
Debt ratio	%	0%
Initial costs		
Heating system	$	0
Other	$	10,520
Total initial costs	$	10,520
Incentives and grants	$	3,150
Annual costs and debt payments		
O&M (savings) costs	$	100
Fuel cost - proposed case	$	0
Other	$	
Total annual costs	$	100
Annual savings and income		
Fuel cost - base case	$	368
Other	$	
Total annual savings and income	$	368
Financial viability		
Pre-tax IRR - assets	%	34.0%
Simple payback	yr	27.5
Equity payback	yr	7.0

شکل ۳-۳۵: تحلیل مالی



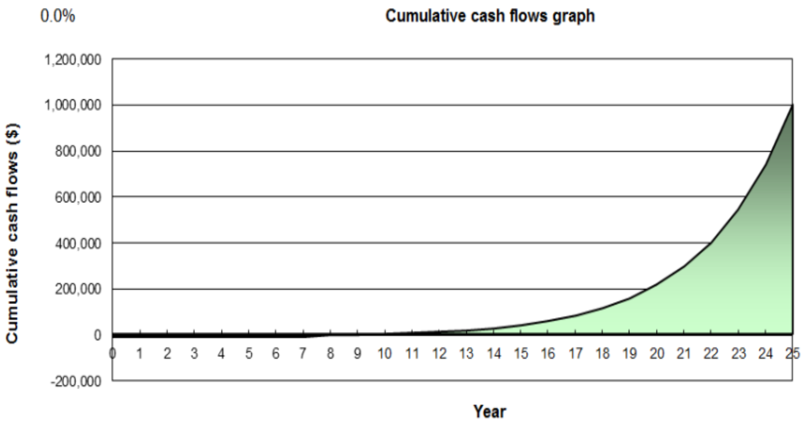
شکل ۳-۳۶: نمودار تجمعی جریان نقدینگی

در حالت‌های گاز طبیعی و گازوئیل بدون مشوق مالی نیز دوره بازگشت سرمایه به ترتیب برابر با ۱۰ سال و بازپرداخت ساده ۷۲ سال و ۸ سال با بازپرداخت ساده ۳۹ ساله می‌باشد (اشکال ۳-۳۷ تا ۳-۴۰).

Financial Analysis

Financial parameters		
Inflation rate	%	35.0%
Project life	yr	25
Debt ratio	%	0%
Initial costs		
Heating system	$	0
Other	$	10,520
Total initial costs	$	10,520
Incentives and grants	$	0
Annual costs and debt payments		
O&M (savings) costs	$	100
Fuel cost - proposed case	$	0
Other	$	
Total annual costs	$	100
Annual savings and income		
Fuel cost - base case	$	245
Other	$	
Total annual savings and income	$	245
Financial viability		
Pre-tax IRR - assets	%	25.6%
Simple payback	yr	72.5
Equity payback	yr	9.9

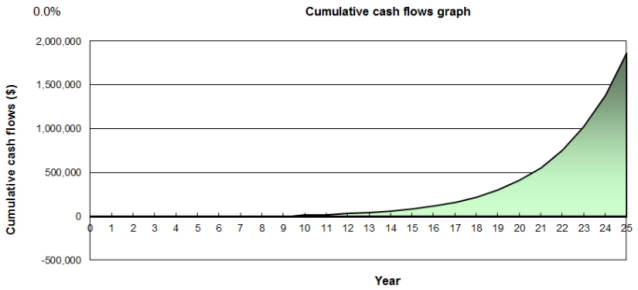
شکل ۳-۳۷: تحلیل مالی بدون مشوق با سوخت پایه گاز طبیعی



شکل ۳-۳۸: نمودار تجمعی جریان نقدینگی بدون مشوق با سوخت پایه گاز طبیعی

Financial Analysis		
Financial parameters		
Inflation rate	%	35.0%
Project life	yr	25
Debt ratio	%	0%
Initial costs		
Heating system	$	0
Other	$	10,520
Total initial costs	$	10,520
Incentives and grants	$	0
Annual costs and debt payments		
O&M (savings) costs	$	100
Fuel cost - proposed case	$	0
Other	$	
Total annual costs	$	100
Annual savings and income		
Fuel cost - base case	$	368
Other	$	
Total annual savings and income	$	368
Financial viability		
Pre-tax IRR - assets	%	30.7%
Simple payback	yr	39.3
Equity payback	yr	8.0

شکل ۳-۳۹: تحلیل مالی با سوخت پایه گازوئیل



شکل ۳-۴۰: نمودار تجمعی جریان نقدینگی با سوخت پایه گازوئیل

۳-۸-۵ نتایج

استفاده از گرمایش خورشیدی برای تأمین آبگرم مصرفی در ایران از طریق راه‌اندازی دو نوع سیستم آبگرم کن‌های خانگی خورشیدی و حمام‌های عمومی خورشیدی صورت گرفته است. در زمینه نصب آبگرم کن ها و حمام‌های خورشیدی، دو وزارتخانه نیرو و نفت اقداماتی را انجام داده‌اند. تا قبل از سال ۱۳۸۵، وزارت نیرو تعداد ۱۰۴۱ آبگرم کن خورشیدی نصب نموده است. وزارت نفت نیز طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ درمجموع در حدود ۲۳۰۰ آبگرم کن خورشیدی و حدود ۶۰۰ حمام خورشیدی نصب و راه‌اندازی کرده است.

- اکثر آبگرم کن‌های خورشیدی به‌سادگی بر روی بام حمام‌ها قابل‌نصب بوده و با لوله‌کشی و اتصال تانک ذخیره به سیستم آبگرم کن داخلی قابل‌استفاده می‌باشند.
- استفاده از آبگرم کن خورشیدی برای حمام‌ها حدود ۸۰٪ از میزان هزینه‌های انرژی را جهت تأمین آبگرم مصرفی می‌کاهد.
- به دلیل بهره‌مندی از انرژی خورشیدی، خطرات مسمومیت، آتش‌سوزی و برق‌گرفتگی که ناشی از مصرف گاز و سوخت‌های مایع، جامد و برق است حذف می‌شود.
- حمام خورشیدی روستایی سازگار با محیط‌زیست است.

- در صورت تمایل می‌توان حتی پمپی که برای گردش مایع گرم‌کننده از کلکتور های خورشیدی به مبدل حرارتی بکار می‌رود با انرژی خورشیدی فعال کرد. در این صورت کل سیستم بی‌نیاز از اتصال به برق شبکه می‌باشد.
- یک دستگاه آبگرم کن خورشیدی بیش از ۲ تن از آلودگی دی‌اکسید کربن را در سال کاهش می‌دهد.
- هزینه کم انرژی در ایران سبب شده که هنوز گرمایش با موتورهای دیزلی و یا گاز طبیعی مقرون‌به‌صرفه‌تر باشد و زمان بازگشت سرمایه حدود ده سال طول بکشد.

شکل ۳-۴۱: نمونه‌ای از حمام خورشیدی از یکی از روستاهای کشور

شکل ۴-۴۲: نمونه‌ای از حمام خورشیدی از یکی از روستاهای کشور

۳-۹ پروژه سیستم روشنایی خورشیدی در پارک‌های شهری

فرض کنید که شهرداری تهران در نظر دارد تا هزینه منفعت تأمین روشنایی پارک‌های شهر تهران را با انرژی خورشیدی بجای سیستم روشنایی معمول مورد بررسی قرار دهد؛ بدین منظور پارک در حال احداثی در منطقه ۲۱ را به‌صورت پایلوت انتخاب کرده است و از شما خواسته است تا هزینه منفعت به‌کارگیری سیستم روشنایی خورشیدی را در این پارک مورد ارزیابی قرار دهید.

۳-۹-۱ اطلاعات مکانی سایت

پارک موردنظر در منطقه ۲۱ شهرداری تهران در عرض "11 ́42 ̊35 شمالی و طول"51̊15'48 شرقی قرارگرفته است که از سمت شرق به فرودگاه مهرآباد، از سمت شمال به جاده مخصوص تهران-کرج(شهید لشکری)، از سمت غرب به کمربندی آزادگان و از سمت جنوب به بزرگراه فتح مشرف می‌باشد. نزدیک‌ترین پایگاه داده هواشناسی در مجاورت آن در فرودگاه مهرآباد قرار گرفته است. کلکتور به‌صورت ثابت رو به جنوب و شیب مناسب کلکتور خورشیدی برابر ۳۰ درجه و آزیموت صفر درجه تعیین گردیده است.و تعداد لامپ‌های بکار گرفته‌شده جهت تأمین روشنایی این سایت در جدول ۳-۲ مشخص‌شده است.

جدول ۳-۲: نوع لامپ‌ها بکار گرفته‌شده

ارتفاع پایه	تعداد	میزان بار kW
لامپLED	۲۸	۰,۳۶
پروژکتورLED	۴	۰,۵

چراغ های روشنایی جهت تشخیص زمان مناسب روشن و خاموش شدن، مجهز به دستگاه سنجش نور (فوتوسل) و یا ساعت نجومی می‌باشند؛ بنابراین مدت‌زمان کار چراغ‌های روشنایی در طی سال متغیر بوده اما به‌طور میانگین این زمان حدود ۱۰ ساعت در روز برآورد شده است و توان مصرفی چراغ های روشنایی خورشیدی در صورت به‌کارگیری در سایت به ازای ۱۰ ساعت کار در روز ۱۱,۵۲ کیلووات محاسبه گردید.

نوع باطری مورداستفاده سرب اسید V ۱۲ و ضریب عمق تخلیه ۸۰ درصد بوده، عمق تخلیه (دشارژ) ۵۰ درصد و روزهای مستقل سیستم برابر ۴ می‌باشد.

۲-۹-۳ اطلاعات مالی پروژه

بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده و مشاهدات میدانی صورت گرفته از سایت، هزینه‌های یک سیستم روشنایی خورشیدی با یک سیستم معمول را به دست آورده‌اید؛ که در جدول ۳-۳ و ۳-۴ این هزینه‌ها آمده است. نرخ تورم را ۲۵ درصد و هزینه هر کیلووات ساعت برق را ۲۲۰ تومان در نظر گرفته‌اید.

جدول ۳-۳: برآورد هزینه ساخت تأمین برق روشنایی پایگاه ویژه مدیریت بحران ریما به روش معمولی

موضوع	مدت اجرا (روز)	مقدار/ تعداد	فی (هزارریال)	جمع کل (میلیون ریال)
کابل ۱۶+۲۵*۳	-	۲۱۰۰ کیلومتر	۸۰	۱۶۸
کابل ۱۶+۳۵*۳		۶۰۰ کیلومتر	۹۲	۵۵,۲
لوله پلی‌اتیلن ۳ اینچ فشارقوی جهت عبور کابل فشارقوی	-	۲۰۰۰ کیلومتر	۴۰	۸۰
هزینه حفاری جهت لوله و کابل اندازی توسط بکهو لودر	۲۵	۲۰۰۰ کیلومتر	۸۵	۱۷۰
هزینه کابل اندازی توسط دستگاه و ماشین وینچ	۱۵	۲۷۰۰ کیلومتر	۱۲	۳۲,۴
هزینه لوله‌گذاری	۷	۲۲۰۰ کیلومتر	۱۱	۲۴,۲
هزینه تسطیح خاک و بازسازی پس از عملیات کابل اندازی و لوله‌گذاری	۲۰	۲۰۰۰ کیلومتر	۴۵	۹۰
هزینه نصب پایه و بتن‌ریزی پایه‌های ۴ متری	۱۵	۳۲	۳۵۰	۱۱,۲
هد لامپ‌ها به همراه لامپ	-	۳۲	۳۱۶۶	۸۹,۹۳
پایه ۴ متری چندوجهی با رنگ استاتیکی	-	۳۲	۱۳۵۰	۴۳,۲

تهیه و نصب تابلو برق جهت تأمین برق	۵	۱	۲۰۰۰۰	۲۰
تهیه تجهیزات و حفر و احداث چاه ارت	۱	۱	۳۰۰۰	۳
	۷۳	جمع کل		۷۸۷,۱۳

جدول ۳-۴: برآورد هزینه ساخت تأمین برق روشنایی پایگاه ویژه مدیریت بحران ریما (در منطقه ۲۱ شهرداری تهران) به روش خورشیدی

موضوع	مدت اجرا	مقدار/ تعداد	فی (هزارریال)	جمع کل (میلیون ریال)
هزینه نصب پایه و بتن‌ریزی پایه‌های ۴ متری	۱۵	۳۲	۳۵۰	۲.۱۱
هد لامپ‌ها به همراه لامپ		۳۲	۱۳۰۱۲,۵	۵۵.۳۰۹
ماژول خورشیدی و پروژکتور ۷۲ وات LED به همراه تجهیزات موردنیاز	-	۴	۱۴۶۱۰	۴۴.۵۸
پایه ۴ متری چندوجهی با رنگ استاتیکی	-	۳۲	۱۳۵۰	۴۳.۲
تهیه و نصب باطری ۱۵۰ Ah و شارژر کنترلر A۹	۲ روز	۳۲	۶۴۰۰	۲۰۴.۸
	۱۷ روز	جمع کل		۶۲۷.۱۹

مطالعه ریت اسکرین خود را آماده کرده و به مقایسه دو سیستم باهم بپردازید.

در برگه آغازین، نام و عنوان پروژه را به همراه پایگاه داده هوایی موردنظر، مشخص می‌کنیم (شکل ۳-۴۳ و ۳-۴۴).

Project information — *See project database*

Project name	SolaLighting
Project location	Tehran
Prepared for	power Research Institute
Prepared by	Shahraki Et. Al
Project type	Power
Technology	Photovoltaic
Grid type	Off-grid
Analysis type	Method 1
Heating value reference	Higher heating value (HHV)
Show settings	☑
Language - Langue	English - Anglais
User manual	English - Anglais
Currency	User-defined
Symbol	Toman
Units	Metric units

Site reference conditions — *Select climate data location*

Climate data location	Tehran/Mehrabad AFB

شکل ۳-۴۳

	Unit	Climate data location	Project location
Latitude	˚N	35.7	35.7
Longitude	˚E	51.3	51.3
Elevation	m	1,191	1,191
Heating design temperature	°C	-1.3	
Cooling design temperature	°C	37.2	
Earth temperature amplitude	°C	23.9	

Month		Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
		°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January		3.0	60.1%	2.44	88.5	3.5	1.0	465	0
February		5.3	51.6%	3.33	88.3	5.0	2.5	356	0
March		10.3	46.4%	4.08	87.9	6.4	7.3	239	9
April		16.4	41.6%	5.42	87.5	7.1	15.7	48	192
May		22.1	34.2%	6.42	87.3	7.2	21.9	0	375
June		27.5	27.6%	7.64	86.8	6.7	26.9	0	525
July		30.4	29.8%	7.50	86.5	5.5	29.1	0	632
August		29.2	29.0%	6.92	86.8	4.9	28.1	0	595
September		25.3	31.6%	5.75	87.3	4.7	23.1	0	459
October		18.5	39.2%	4.25	87.9	4.7	16.0	0	264
November		11.6	49.8%	2.92	88.3	3.9	8.7	192	48
December		5.6	61.2%	2.25	88.5	3.5	2.9	384	0
Annual		17.2	41.8%	4.92	87.6	5.3	15.3	1,684	3,100
Measured at	m					10.0	0.0		

شکل ۳-۴۴

نوع سیستم پایه به همراه هزینه برق را وارد کرده و در ادامه بارهای موردنظر را مشخص می‌کنیم تا بر این اساس میزان انرژی الکتریکی موردنیاز را نرم‌افزار محاسبه کند (شکل ۳-۴۶ و ۳-۴۵).

RETScreen Energy Model - Power project

Power project

Base case power system

Grid type		Off-grid
Technology		Grid electricity
Fuel rate	Tom/kWh	300.000
Capacity	kW	
Annual O&M cost	Tom	
Electricity rate - base case	Tom/kWh	300.000
Total electricity cost	Tom	1,322,760

Load characteristics

○ Method 1
⦿ Method 2

Description	AC/DC	Intermittent resource-load correlation	Base case load W	Hours of use per day h/d	Days of use per week d/w	Proposed case load reduction %	Proposed case usage time reduction %
projectionLED(50W*4)	AC	Negative	200.00	10.00	7	100%	
lightingLED(36W*28)	AC	Negative	1,008.00	10.00	7	100%	

	Unit	Base case	Proposed case
Electricity - daily - DC	kWh	0.00	0.00
Electricity - daily - AC	kWh	12.08	0.00

شکل ۳-۴۵

☑ **Percent of month used**

Month		
January	100%	
February	100%	
March	100%	
April	100%	
May	100%	
June	100%	
July	100%	
August	100%	
September	100%	
October	100%	
November	100%	
December	100%	

		Base case	Proposed case	Energy saved
Electricity - annual - DC	MWh	0.000	0.000	
Electricity - annual - AC	MWh	4.409	0.000	100%
Peak load - annual	kW			

شکل ۳-۴۶

اطلاعات سیستم قدرت پروژه پیشنهادی، مانند روزهای مستقل سیستم، ولتاژ، مبدل و ... را وارد می‌نماییم (شکل ۳-۴۷ و ۳-۴۸)

Proposed case power system

Inverter			
Capacity	kW	0.5	Peak load - annual - AC
Efficiency	%	80%	
Miscellaneous losses	%	0%	
Battery			
Days of autonomy	d	4.0	
Voltage	V	12.0	
Efficiency	%	80%	
Maximum depth of discharge	%	50%	
Charge controller efficiency	%	95%	
Temperature control method		Ambient	
Average battery temperature derating	%	#DIV/0!	
Capacity	Ah	176	0
Battery	kWh	2	
Technology		Photovoltaic	

شکل ۳-۴۷

در قسمت ارزیابی منابع با مشخص کردن حالت ردیاب و شیب و آزیموت، میزان تابش خورشید سالیانه محاسبه می‌شود.

Resource assessment

Solar tracking mode		Fixed
Slope	°	30.0
Azimuth	°	0.0

☑ Show data

Month	Daily solar radiation - horizontal kWh/m²/d	Daily solar radiation - tilted kWh/m²/d	Electricity delivered to load MWh
January	2.44	3.56	0.00
February	3.33	4.36	0.00
March	4.08	4.65	0.00
April	5.42	5.59	0.00
May	6.42	6.09	0.00
June	7.64	6.94	0.00
July	7.50	6.94	0.00
August	6.92	6.93	0.00
September	5.75	6.47	0.00
October	4.25	5.49	0.00
November	2.92	4.25	0.00
December	2.25	3.42	0.00
Annual	**4.92**	**5.40**	**0.00**

Annual solar radiation - horizontal	MWh/m²	1.79
Annual solar radiation - tilted	MWh/m²	1.97

شکل ۳-۴۸

در ادامه نوع و مشخصات سیستم خورشیدی پیشنهادی را وارد می‌کنیم (مانند شکل ۳-۴۹).

Photovoltaic			
Type		mono-Si	
Power capacity	kW	4.48	
Manufacturer		BP Solar	
Model		mono-Si - BP 2140 S	32 unit(s)
Efficiency	%	11.1%	
Nominal operating cell temperature	°C	45	
Temperature coefficient	% / °C	0.40%	
Solar collector area	m²	40.4	
Control method		Maximum power point tracker	
Miscellaneous losses	%	0.5%	

شکل ۳-۴۹

تحلیل میزان کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای:

Emission Analysis

Base case electricity system (Baseline) Country - region	Fuel type	GHG emission factor (excl. T&D) tCO2/MWh	T&D losses %	GHG emission factor tCO2/MWh
Iran, Islamic Rep. of	All types	0.565		0.565

GHG emission					
Base case	tCO2	2.5			
Proposed case	tCO2	0.0			
Gross annual GHG emission reduction	tCO2	2.5			
GHG credits transaction fee	%				
Net annual GHG emission reduction	tCO2	2.5	is equivalent to	2.5	tCO2
GHG reduction income					
GHG reduction credit rate	Tom/tCO2				

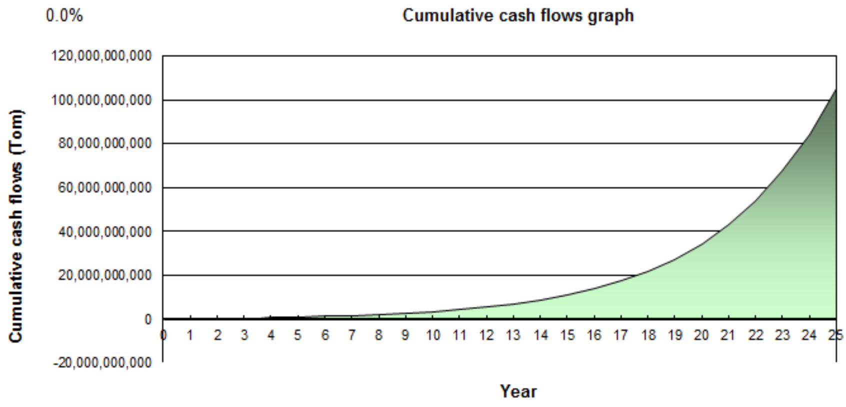
شکل ۳-۵۰

۳-۹-۳ تحلیل مالی:

Financial Analysis

Financial parameters		
Inflation rate	%	25.0%
Project life	yr	25
Debt ratio	%	0%
Initial costs		
Power system	Tom	0
Other	Tom	62,719,000
Total initial costs	Tom	62,719,000
Incentives and grants	Tom	0
Annual costs and debt payments		
O&M (savings) costs	Tom	0
Fuel cost - proposed case	Tom	0
Other	Tom	0
Total annual costs	Tom	0
Annual savings and income		
Fuel cost - base case	Tom	1,322,760
Other	Tom	78,713,000
Total annual savings and income	Tom	80,035,760
Financial viability		
Pre-tax IRR - assets	%	184.5%
Simple payback	yr	0.8
Equity payback	yr	0.6

شکل ۳-۵۱



شکل ۳-۵۲

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده شاهد آن هستیم که هزینه راه‌اندازی سیستم روشنایی خورشیدی کمتر از سیستم روشنایی معمول می‌باشد و با محاسبه هزینه برق نرخ بازده داخلی (IRR) برابر ۱۸۴,۵ درصد می‌باشد.

۴-۹-۳ تحلیل نتایج به‌دست‌آمده

- شهر تهران از میانگین تابشی خوبی به‌ویژه برای مصارفی چون تأمین روشنایی خورشیدی پارک‌ها و مسیرهای شهری و بین‌شهری برخوردار است.
- هزینه راه‌اندازی و طراحی سیستم روشنایی خورشیدی نسبت به سیستم روشنایی معمول دارای توجیه اقتصادی است و علاوه بر اینکه از بار شبکه در مواقع اوج مصرف می‌کاهد، هزینه راه‌اندازی آن نیز قابل‌قبول و دارای صرفه اقتصادی است.
- چنین سیستمی می‌تواند در بهینه کردن مصرف انرژی کمک کند.
- تغیر سیستم روشنایی پارک‌های مورداستفاده ازآنجاکه طراحی سیستم روشنایی آن‌ها به‌صورت معمول صورت گرفته، با توجه به هزینه راه‌اندازی سیستم روشنایی خورشیدی و هزینه برق به نظر توجیه اقتصادی ندارد، اما حداقل گام ضروری در چنین سایت‌های

بهینه‌سازی مصرف انرژی و آزادسازی بخشی از توان شبکه با استفاده از لامپ‌های کم‌مصرف که به‌خصوص در مواقع بحرانی از اهمیت بسیار بیشتری برخوردار می‌باشد.

- به نظر می‌رسد برای پارک‌ها و راه‌های شهری که هنوز سیستم روشنایی آن‌ها راه‌اندازی نشده، طراحی سیستم روشنایی خورشیدی هم به لحاظ بهره‌برداری دارای صرفه اقتصادی است و هم به لحاظ صرفه‌جویی در مصرف انرژی.

- با توجه به سیاست‌های دولت در واقعی کردن قیمت‌های انرژی ازجمله برق، صرفه اقتصادی چنین طرح‌هایی در چند سال آینده خود را بهتر نشان می‌دهد. بر این اساس با توجه به نتایج بالا، می‌توان بیان داشت که به نظر می‌رسد حرکتی تدریجی به سمت واقعی‌تر شدن قیمت انرژی، بهینه‌سازی مصرف انرژی و ارائه مشوق‌های دولتی، به‌کارگیری سیستم‌های روشنایی خورشیدی را از الزام اقتصادی بیشتری برخوردار خواهد کرد و می‌توان طرح روشنایی خورشیدی را برای پارک‌ها و راه‌های شهری در حال ساخت - به‌خصوص اگر تفاهم‌نامه‌هایی بین شهرداری تهران و وزارت نیرو جهت ارائه مشوق‌ها جهت تأمین روشنایی خورشیدی چنین سایت‌هایی صورت گیرد- قابل‌اجرا دانست.

۱۰-۳ تأمین برق مدرسه در منطقه‌ای دورافتاده در آرژانتین

اداره برق محلی بخش نکوئین در ایالت نکوئین در شمال پاتاگونیا در آرژنتین، برنامه برق‌رسانی به مدارس روستایی را از ۱۹۸۷ آغاز کرد. قبل از ۱۹۹۷ سیستم‌های PV در ۲۷ مدرسه دورافتاده نصب‌شده‌اند. علت اصلی برای برق‌رسانی PV نیاز به بهبود وضعیت آموزشی و فراهم کردن استفاده از امکانات آموزشی جدید (مانند روشنایی، تلویزیون، کامپیوتر و ...) برای دانش‌آموزان روستایی و همچنین بهبود وضعیت زندگی برای معلمان و افرادی که اغلب از شهر به آنجا می‌روند، بوده است. درحالی‌که ژنراتورهای دیزلی در بعضی مدارس نصب شدند به خاطر عواملی چون استفاده‌کنندگان بی‌تجربه، نگهداری کم، خاموشی بلندمدت در زمستان و طوفان گردوغبار کارکردشان آن‌چنان رضایت‌بخش نبوده است. اگرچه نگهداری مسئله مهمی در سیستم‌های PV می‌باشد، اما به نظر می‌رسد هزینه به نسبت کمتر و قابل مدیریت‌تر نسبت به موتورهای دیزلی دارند.

مدرسه ۳۰۶ در روستای ناهیل ماپی[۱] یکی از همین روستاها بود که در سال ۱۹۹۴ سیستم PV اش را دریافت کرد. بررسی این و سایر سیستم‌های PV نتایج رضایت‌بخش و قابل قبولی را نشان داده است، در زیر مدرسه ۳۰۶ را به‌عنوان نمونه مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۳-۱۰-۱ شرح وظیفه

سازمان مدیریت انرژی محلی، برنامه برق‌رسانی را برای مدارس روستایی در ایالت نئوکوئین[۲] در منطقه کوهستانی دورافتاده پاتاگونیا[۳] آرژانتین تصویب کرده است. این مدارس در کل دور از شبکه برق سراسری می‌باشند و دو گزینه برای برق‌رسانی به آن‌ها در نظر گرفته‌شده است؛ گزینه اول برق‌رسانی با موتور دیزلی و گزینه دوم سیستم فتوولتائیک مستقل. در این نمونه تلاش می‌کنیم تا امکان‌پذیری مالی به‌کارگیری PV برای تأمین الکتریسیته در محیطی خاص را ارزیابی کنیم.

۳-۱۰-۲ اطلاعات مکانی

این مدرسه در کوهپایه‌های آند (39°S, 71°W) در زمین‌های آیوکاپان مردم ماپوچی[۴] یکی از جمعیت‌های بومی منطقه واقع‌شده است. نزدیک‌ترین شهر اصلی مرکز ایالت نئوکاپان نزدیک حدود ۴۳۰ کیلومتری شمال شرق قرار دارد.

مدرسه موردمطالعه دارای کلاس و آپارتمان برای اقامت معلمانی که معمولاً از مرکز شهر می‌آیند، می‌باشد. منطقه دارای اقلیمی خشن است- گرم و خشک در تابستان و سرد با ریزش برف فراوان در زمستان- می‌باشد. به خاطر آن‌که برف دسترسی را به مدرسه سخت می‌کند، تعطیلات مدرسه در هنگام زمستان از ژوئن تا آگوست می‌باشد و ساختمان

۱- Nahuel Mapi

۲- province of Neuquén

۳- Patagonia

۴- the Aucapan reservation of the Mapuche people

مدرسه در آن زمان خالی است. وقتی مدرسه باز است، بارهای الکتریکی آن به شرح زیر تخمین زده می‌شود (روشنایی و تلفن رادیویی، برق DC دارند و سایر بارها از جریان AC استفاده می‌کنند):

جدول ۳-۵

شرح اقلام	بار (kW)	نوع کاربرد (hrs/day)	روزها/هفته
روشنایی مدرسه (15×17W)	۰,۲۵۵	۲	۵
روشنایی آپارتمان (4×15W)	۰,۰۶۰	۲	۷
TV	۰,۰۸۰	۲	۷
VCR	۰,۰۲۷	۰,۵	۷
رادیو و ضبط	۰,۰۲۵	۱	۷
تلفن رادیویی (انتقال‌دهنده)	۰,۱۲۰	۰,۵	۷
تلفن رادیویی (دریافت‌کننده)	۰,۰۰۶	۸	۷

بر اساس مطالعات و تجربیاتتان تصمیم گرفته‌اید که از ماژول‌های پلی کریستالی PV شرکت BP با $50W_p$ استفاده کنید. به خاطر دوره‌های ابری طولانی در کوهستان تصمیم می‌گیرید تا سیستمتان ۶ روز را به‌طور مستقل بتواند به فعالیتش ادامه دهد. بر این اساس اجزا اصلی سیستم PV در نمونه شامل ۸ ماژول پلی کریستالی با مجموع 408KW، ۷ باتری اسید سرب (Lead-acid)(هرکدام 12V و 110Ah) و یک مبدل 250W می‌باشد. آرایه PV و کنترلر وارداتی هستند اما سایر اجزا و نیروی کار جهت نصب به‌وسیله اداره برق محلی تأمین شدند.

۳-۱۰-۳ اطلاعات مالی

برای پروژه‌های در بازه ۲۵ ساله، ۵ درصد نرخ افزایشی، ۲,۵ درصد نرخ تورم و ۹ درصد نرخ تنزل را فرض گرفته‌ایم.

ماژول‌های PV شهر نئوکوئین با هزینه ۸ هزار دلار برای هر kWp بعلاوه ۱۰,۵ درصد مالیات بر ارزش‌افزوده خریداری می‌شوند. این مالیات بر ارزش‌افزوده برای تجهیزات مربوط

به انرژی تجدید پذیر، نسبت به نرخ کلی که ۲۱ درصد است یک نرخ پایین‌تر می‌باشد. نرخ مبادله‌ای پزوی آرژانتین (ARS) پیش از ۲۰۰۲ عبارت از 1ARS= 1US$.

تجربیات گذشته نشان داده است که باتری‌های سیستم PV حدود ۳ سال در این نوع کاربرد دوام می‌آورند.

کوچک‌ترین موتور دیزل معمول با ظرفیت (2.5-3kW) و محفظه‌ای مناسب، هزینه در حدود ۳۲۰۰ پزوی آرژانتین (ARS) دارد (با ۲۱٪ مالیات بر ارزش‌افزوده). حتی چنین موتور دیزلی کوچکی برای یک مدرسه با بار کم بزرگ است و احتمالاً با ۱۰ تا ۲۰ درصد بار کار می‌کند.[1] هزینه‌های نگهداری موتور دیزلی به خاطر شرایط سخت بهره‌برداری و بی‌تجربگی افراد استفاده‌کننده بالا می‌باشد. بر اساس مطالعه سازمان نیرو از راه‌اندازی موتور دیزلی، هزینه‌های نگهداری به‌طور متوسط ۵۰۰ پزو در هرسال برآورد می‌شود (شامل تعمیر دوره‌ای و هزینه سفر). هزینه سوخت ژنراتور در حدود 0.5ARS/L در شهرهاست، اما برآورد می‌شود در روستای دورافتاده ۵۰ درصد گران‌تر باشد.

حال با توجه به اطلاعات بالا می‌توان مطالعه ریت اسکرین را آماده کرده و فرضیاتتان را مورد آزمون قرار دهید. لازم به ذکر است مراحل انجام تحلیل در نسخه ۲۰۰۰ نرم‌افزار ریت اسکرین که انتشار دوم (Version 2000 - Release 2) آن موجود می‌باشد.

ابتدا در برگه آغازین، اطلاعات‌پایه سایت و پروژه را وارد می‌کنیم (مطابق شکل ۳-۵۳).

---

[1] - مجموع بار الکتریکی مورداستفاده برای این مدرسه حداکثر بین ۰,۲۵-۰,۵ کیلووات می‌باشد. ژنراتورهای دیزلی معمولاً با ۲,۵-۳ کیلووات شروع می‌شوند. بدین خاطر انتظار می‌رود با حداکثر ۱۰ تا ۲۰ درصد ظرفیت عمل کنند که سبب احتراق ضعیف سوخت در حدود 1.5 L/kWh می‌شود.

Project information	
Project name	Remote School
Project location	Neuquen, Argentina
Prepared for	local public utility
Prepared by	*Prepared by*
Description	Sample Studies
Show settings	
Language - Langue	English - Anglais
User manual	English - Anglais
Site reference conditions	*Select climate data location*
Climate data location	Neuquen Airport
Show data	

	Unit	Climate data location	Project location	Source
Latitude	°N	-39.0	-39.0	
Longitude	°E	-68.1	-68.1	
Elevation	m	271	271	Ground
Heating design temperature	°C	-2.3		Ground
Cooling design temperature	°C	33.1		Ground
Earth temperature amplitude	°C	23.3		NASA

شکل ۳-۵۳

در برگه مدل انرژی بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده در پایگاه داده آب‌وهوایی و مشخصات پروژه اطلاعات لازم را در قسمت شرایط مکانی وارد می‌نماییم (مطابق شکل ۳-۵۴).

RETScreen® Energy Model - Photovoltaic Project

Site Conditions		Estimate	Notes/Range
Project name		Remote School	
Project location		Neuquén, Argentina	
Nearest location for weather data	-	Neuquen A	*Complete SR&SL sheet*
Latitude of project location	°N	-39.0	-90.0 to 90.0
Annual solar radiation (tilted surface)	MWh/m²	1.62	
Annual average temperature	°C	14.5	-20.0 to 30.0
DC energy demand for months analysed	MWh	0.162	
AC energy demand for months analysed	MWh	0.054	

شکل ۳-۵۴

سپس مشخصات سیستم PV و سیستم پایه (ژنراتور دیزلی) مطابق شکل ۳-۵۵ وارد می‌شود.

System Characteristics		Estimate	Notes/Range
Application type	-	Off-grid	
PV system configuration	-	PV/battery	
Base Case Power System			
Source	-	Genset	
Fuel type	-	Diesel (#2 oil)	
Specific fuel consumption	L/kWh	1.5000000	
Power Conditioning			
Suggested inverter (DC to AC) capacity	kW (AC)	0.13	
Inverter capacity	kW (AC)	0.3	
Average inverter efficiency	%	80%	80% to 95%
Miscellaneous power conditioning losses	%	0%	0% to 10%
Battery			
Days of autonomy required	d	6.0	1.0 to 15.0
Nominal battery voltage	V	12.0	12.0 to 120.0
Battery efficiency	%	85%	50% to 85%
Maximum depth of discharge	%	60%	20% to 85%
Charge controller (DC to DC) efficiency	%	95%	85% to 95%
Battery temperature control	-	Ambient	
Average battery temperature derating	%	3%	0% to 50%
Suggested nominal battery capacity	Ah	736	
Nominal battery capacity	Ah	770	
PV Array			
PV module type	-	poly-Si	
PV module manufacturer / model #		BP Solar/Solarex/ MSX-50	See Product Database
Nominal PV module efficiency	%	10.6%	4.0% to 15.0%
NOCT	°C	45	40 to 55
PV temperature coefficient	% / °C	0.40%	0.10% to 0.50%
PV array controller	-	Clamped	
Miscellaneous PV array losses	%	5.0%	0.0% to 20.0%
Suggested nominal PV array power	kWp	0.37	
Nominal PV array power	kWp	0.40	
PV array area	m²	3.8	

شکل ۳-۵۵

در ادامه در جدول تولید انرژی سالیانه -بر مبنای ۹ ماه از سال که مدرسه باز است- به برآورد میزان انرژی سالیانه پرداخته می‌شود.

Annual Energy Production (9,00 months analysed)		Estimate	Notes/Range
Equivalent DC energy demand	MWh	0.229	
Equivalent DC demand not met	MWh	0.001	
Specific yield	kWh/m²	60.6	
Overall PV system efficiency	%	4.7%	
Renewable energy delivered	MWh	0.229	
	kWh	229	
			Complete Cost Analysis sheet

شکل ۳-۵۶

سپس در قسمت محاسبه بار سیستم، بر اساس مصارف موردنیاز، نوع جریان و میزان بار مصرفی، تعداد ساعات مصرف روزانه و روزهای مورداستفاده در هفته را مشخص می‌کنیم (مطابق شکل ۴-۵۷).

Load Characteristics		Estimate	Notes/Range
Application type	-	Off-grid	
Use detailed load calculator?	yes/no	Yes	

Description	AC/DC	Solar-load correlation	Load (kW)	Hours of use per day (h/d)	Days of use per week (d/wk)
Lights (school)	DC	Negative	0.255	2.00	5
Lights (apartment)	DC	Negative	0.060	2.00	7
TV	AC	Negative	0.080	2.00	7
VCR	AC	Negative	0.027	0.50	7
Radio & tape recorder	AC	Negative	0.025	1.00	7
Radio telephone (transmit)	DC	Negative	0.120	0.50	7
Radio telephone (standby)	DC	Zero	0.006	8.00	7

		Daily average	*Annual*
DC energy demand	kWh (DC)	0.592	161.7
AC energy demand	kWh (AC)	0.199	54.2
AC peak load	kW (AC)		0.132

Return to Energy Model sheet

شکل ۳-۵۷

همچنین حالت ردیاب، شیب و آزیموت آرایه PV را تعیین می‌کنیم.

Site Latitude and PV Array Orientation		Estimate	Notes/Range
Nearest location for weather data	-	Neuquen A	*See Weather Database*
Latitude of project location	°N	-39.0	-90.0 to 90.0
PV array tracking mode	-	Fixed	
Slope of PV array	°	55.0	0.0 to 90.0
Azimuth of PV array	°	180.0	0.0 to 180.0

شکل ۳-۵۸

با توجه به اطلاعات محدوده آب‌وهوایی، شاخص‌های جغرافیایی آن مانند تابش خورشید بر یک سطح افقی یا تابش خورشید بر سطح تیلت شده برحسب مگاوات ساعت در مترمربع و متوسط درجه حرارت سالیانه و فصول مورداستفاده ارائه می‌شود.

Monthly Inputs

Month	Fraction of month used (0 - 1)	Monthly average daily radiation on horizontal surface (kWh/m²/d)	Monthly average temperature (°C)	Monthly average daily radiation in plane of PV array (kWh/m²/d)	Monthly solar fraction (%)
January	1.00	6.33	23.3	4.94	100%
February	1.00	5.89	22.0	5.21	100%
March	1.00	4.58	18.3	4.82	100%
April	1.00	3.36	13.2	4.39	99%
May	1.00	2.33	9.2	3.88	99%
June	0.00	1.78	6.1	3.27	-
July	0.00	2.00	5.6	3.51	-
August	0.00	2.94	8.0	4.32	-
September	1.00	3.72	11.2	4.17	99%
October	1.00	5.28	15.3	4.93	100%
November	1.00	6.33	19.3	5.08	100%
December	1.00	6.36	22.2	4.81	100%

		Annual	Season of use
Solar radiation (horizontal)	MWh/m²	1.55	1.34
Solar radiation (tilted surface)	MWh/m²	1.62	1.28
Average temperature	°C	14.5	17.1

شکل ۳-۵۹

در برگه تحلیل هزینه (مطالبات) به ورود اطلاعات هزینه‌های راه‌اندازی سیستم PV مانند هزینه‌های نگهداری و راه‌اندازی آن، هزینه‌های متفرقه (مانند آموزش) و هزینه‌های محتمل و همچنین مطالبات یا هزینه‌های راه‌اندازی سیستم پایه، هزینه‌های سوخت آن و انتقال را نیز وارد می‌کنیم (مطابق شکل ۳-۶۰).

Initial Costs (Credits)	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount	Relative Costs	Quantity Range	Unit Cost Range
Feasibility Study							
Feasibility study	Cost	16	ARS 40	ARS 640		-	-
Sub-total :				ARS 640	17.8%		
Development							
				ARS -		-	-
Sub-total :				ARS -	0.0%		
Engineering							
				ARS -		-	-
Sub-total :				ARS -	0.0%		
Renewable Energy (RE) Equipment							
PV module(s)	kWp	0.40	ARS 8,800	ARS 3,520		-	-
Transportation	project			ARS -		-	-
				ARS -		-	-
				ARS -		-	-
Sub-total :				ARS 3,520	97.8%		
Balance of Equipment							
Module support structure	m^2	3.8	ARS 55	ARS 208		-	-
Inverter	kW AC	0.3	ARS 660	ARS 165		-	-
Batteries (770 Ah @ 12 V)	kWh	9	ARS 80	ARS 739		-	-
Other electrical equipment	kWp	0.40	ARS 1,000	ARS 400		-	-
System installation	kWp	0.40	ARS 2,000	ARS 800		-	-
Transportation	project	1	ARS 250	ARS 250		-	-
Genset & shelter	Credit	1	ARS 3,200	ARS (3,200)		-	-
Genset transportation	Credit	1	ARS 250	ARS (250)		-	-
Sub-total :				ARS (888)	-24.7%		
Miscellaneous							
Training	p-h			ARS -		-	-
Contingencies	%	10%	ARS 3,272	ARS 327		-	-
Sub-total :				ARS 327	9.1%		
Initial Costs - Total				ARS 3,599	100.0%		

شکل ۳-۶۰

همچنین در قسمت هزینه‌های سالیانه، هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری سالیانه را برای سیستم پیشنهادی و سیستم پایه را وارد می‌کنیم (مطابق شکل ۳-۶۱).

Annual Costs (Credits)	Unit	Quantity	Unit Cost		Amount		Relative Costs	Quantity Range	Unit Cost Range
O&M									
Property taxes/Insurance	project				ARS	-		-	-
O&M labour	p-h				ARS	-		-	-
Annual inspection	Cost	1	ARS	100	ARS	100		-	-
Genset maintenance	Credit	1	ARS	500	ARS	(500)		-	-
Contingencies	%	0%	ARS	100	ARS	-		-	-
Sub-total :					ARS	(400)	100.0%		
Annual Costs - Total					ARS	(400)	100.0%		

شکل ۳-۶۱

همچنین در قسمت هزینه‌های دوره‌ای جدول زمانی، هزینه‌های دوره‌ای را برای سیستم پیشنهادی و پایه مشخص می‌کنیم (مطابق شکل ۳-۶۲).

Periodic Costs (Credits)		Period	Unit Cost		Amount		Interval Range	Unit Cost Range
Battery replacement	Cost	3 yr	ARS	989	ARS	989	-	-
					ARS	-	-	-
					ARS	-	-	-
End of project life		-			ARS	-		Go to GHG Analysis sheet

شکل ۳-۶۲

در صورت تمایل برای بررسی میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، در صورت به‌کارگیری سیستم پیشنهادی و مقایسه آن با سیستم پایه، اطلاعات مربوط به جدول تحلیل کاهش گازهای گلخانه‌ای را پر می‌کنیم. برای این کار ابتدا میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در نمونه پایه و سیستم نمونه پیشنهادی را مشخص می‌کنیم؛ بر این اساس خلاصه وضعیت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را برحسب میزان انتشار دی‌اکسید کربن برحسب تن در سال خواهیم داشت.

RETScreen® Greenhouse Gas (GHG) Emission Reduction Analysis - Photovoltaic Project

Use GHG analysis sheet? Yes | Type of analysis: Standard

Background Information

Project Information		Global Warming Potential of GHG		
Project name	Remote School	1 ton CH_4 =	21 tons CO_2	(IPCC 1996)
Project location	Neuquén, Argentina	1 ton N_2O =	310 tons CO_2	(IPCC 1996)

Base Case Electricity System (Reference)

Fuel type	Fuel mix (%)	CO_2 emission factor (kg/GJ)	CH_4 emission factor (kg/GJ)	N_2O emission factor (kg/GJ)	Fuel conversion efficiency (%)	GHG emission factor (t_{CO2}/MWh)
Diesel (#2 oil)	100.0%	74.1	0.0020	0.0020	6.2%	4.336

Proposed Case Electricity System (Mitigation)

Fuel type	Fuel mix (%)	CO_2 emission factor (kg/GJ)	CH_4 emission factor (kg/GJ)	N_2O emission factor (kg/GJ)	Fuel conversion efficiency (%)	GHG emission factor (t_{CO2}/MWh)
Electricity system						
Solar	100.0%	0.0	0.0000	0.0000	100.0%	0.000

GHG Emission Reduction Summary

	Base case GHG emission factor (t_{CO2}/MWh)	Proposed case GHG emission factor (t_{CO2}/MWh)	Annual energy delivered (MWh)	Annual GHG emission reduction (t_{CO2})
Electricity system	4.336	0.000	0.229	0.99
			Net GHG emission reduction t_{CO2}/yr	**0.99**

شکل ۳-۶۳

در برگه تحلیل مالی، در قسمت پارامترهای مالی، هزینه انرژی اجتناب شده برحسب لیتر/پزو، نرخ افزایشی، تورم، نرخ تنزیل و طول عمر پروژه را وارد می‌کنیم.

Financial Parameters

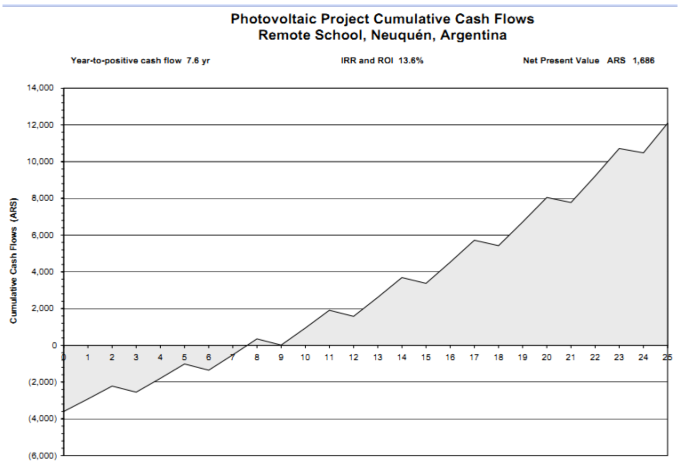
Avoided cost of energy	ARS/L	0.750	Debt ratio	%	0.0%
RE production credit	ARS/kWh	-			
GHG emission reduction credit	ARS/t_{CO2}	-	Income tax analysis?	yes/no	No
Energy cost escalation rate	%	5.0%			
Inflation	%	2.5%			
Discount rate	%	9.0%			
Project life	yr	25			

شکل ۳-۶۴

بر این اساس هزینه‌ها و صرفه‌جویی‌های پروژه تعیین‌شده و نمودار جریان نقدینگی تراکمی ترسیم می‌شود (شکل ۳-۶۶ و ۳-۶۵).

Project Costs and Savings						
Initial Costs				**Annual Costs and Debt**		
Feasibility study	17.8%	ARS	640	O&M	ARS	(400)
Development	0.0%	ARS	-			
Engineering	0.0%	ARS	-			
RE equipment	97.8%	ARS	3,520	**Annual Costs - Total**	**ARS**	**(400)**
Balance of equipment	-24.7%	ARS	(888)			
Miscellaneous	9.1%	ARS	327	**Annual Savings or Income**		
Initial Costs - Total	100.0%	**ARS**	**3,599**	Energy savings/income	ARS	257
				Capacity savings/income	ARS	-
Incentives/Grants		ARS	-			
				Annual Savings - Total	**ARS**	**257**
Periodic Costs (Credits)						
Battery replacement		ARS	989	Schedule yr # 3,6,9,12,15,18,21,24		
		ARS	-			
		ARS	-			
End of project life -		ARS	-			

شکل ۳-۶۵



شکل ۳-۶۶

۴-۱۰-۳ نتایج

- سیستم PV می‌تواند سیستمی قابل‌اتکا، سازگار با محیط‌زیست، باثبات‌تر در طولانی‌مدت باشد و نسبت به گزینه رقیب برای برق‌رسانی روستایی به‌صرفه‌تر است.
- بخش زیادی از صرفه نسبی هرکدام از سیستم‌های PV یا موتورهای دیزلی به نحوه نگهداری و ملزومات تعمیر آن‌ها برمی‌گردد.

- نکات مربوط به نگهداری با توجه ویژه به نحوه مراقبت از باتری باید ارائه شود. بر این اساس می‌بایست مقدمات آموزش دستورالعمل گام‌به‌گام نگهداری به کارکنان مدرسه و تکنسین‌های عیب‌یابی سازمان برق منطقه‌ای فراهم شود.
- نصب سیستم‌های PV می‌تواند از مدارس شروع و سپس در سایر مناطق مسکونی روستایی محل گسترش یابد.

۳-۱۱ نمونه پروژه فوتوولتائیک پمپ آب محلی

یک سیستم پمپ آب محلیPV Wp ۷۶۸ در سال ۱۹۸۴ در روستای اولاد حج مبارک نصب شد. این سیستم به‌طور موفقیت‌آمیز آب شرب و آب موردنیاز احشام روستا را تأمین کرد. هرچند جمعیت روستا و تعداد احشام آن در این سال‌ها رشد چشمگیری داشته است و تقاضا برای آب هم‌اکنون مازاد بر ظرفیت سیستم پمپ PV اصلی می‌باشد. به همین دلیل سیستم PV قدیمی اخیراً با سیستم بزرگ‌تری با ظرفیت اسمی kWp ۱٫۸۹ تعویض شده است.

کشیدن شبکه برق به روستا به خاطر هزینه زیاد آن یا استفاده از انرژی باد به علت رژیم بادی ضعیف مکان مزبور قابل انجام نبود.

۳-۱۱-۱ شرح وظیفه

سازمان دولتی شما را برای ارزیابی امکان‌سنجی مالی نصب سیستم فوتوولتائیک پمپ آب برای برطرف کردن نیاز آب آشامیدنی و آب موردنیاز احشام در روستایی دورافتاده در ایالت الکیلادیس[۱] در مراکش بکار گرفته است.

۳-۱۱-۲ اطلاعات مکانی سایت

۱- El Kelaa des

روستای اولاد حج مبارک[۱] نزدیک شهر مراکش[۲] (چهارمین شهر بزرگ کشور مراکش) - نزدیک‌ترین ایستگاه هوایی به آن نیز می‌باشد- قرارگرفته است. کشیدن شبکه برق از شهر مراکش به این روستا به لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه نیست، به‌خصوص که تقاضای برق روستا کم است. در این حالت‌ها معمولاً پمپ آب دیزلی در کشور مراکش نصب می‌شود.

جمعیت روستا که متأثر از پروژه قرار می‌گیرند، در سال ۲۰۱۱، ۴۸۷ نفر و تعداد احشام به‌خصوص گاو ۱۶۶ رأس بوده است. منبع آب روستا چاهی با عمق ۱۸ متری می‌باشد. این آب به مخزنی با ارتفاع ۳ متر پمپ می‌شود. فروکش سطح آب مورد انتظار ۱ متر است. به نظر می‌رسد که استفاده از ماژول PV مونوکریستال با ظرفیت 70wp بهترین گزینه جهت استفاده در این پروژه باشند.

۳-۱۱-۳ اطلاعات مالی

ماژول‌های PV مناسب موجود در مراکش قیمتی حدود ۵۰۰۰ هزار دلار برای هر kWp دارند. نرخ تورم مراکش ۲ درصد و طول عمر پروژه ۲۰ سال می‌باشد. دولت هزینه پروژه را می‌پردازد و نیاز به تأمین مالی وجود ندارد. نرخ تنزیل را می‌توان ۹ درصد در نظر گرفت. قیمت فعلی دیزل ۰,۲۶ $/L می‌باشد که انتظار می‌رود با نرخ سالیانه ۴ درصد افزایش یابد.

سیستم پمپ PV جدید شامل یک آرایه PV با ظرفیت ۱,۸۹ kWp بر روی سطحی ثابت، پمپ شناور و دو تانکر ذخیره آب استوانه‌ای می‌باشد. این آرایه از ۲۷ ماژول مونوکریستال با ظرفیت هرکدام ۷۰ Wp ساخته می‌شود. این آب از چاه به درون تانکر ذخیره آب پمپ می‌شود و ازآنجا به روستا و محل آبشخور آب احشام هدایت می‌شود.

۱- Oulad Haj Mbarek

۲- Marrakech

مستندات مرتبط با ریت اسکرین را آماده کنید و هر فرضی که نیاز به بررسی آن دارید را به‌طور مستند موردمطالعه قرار داده و نتایج آن را گزارش کنید. همچنین تعیین کنید چقدر قیمت سوخت دیزل باید تعیین شود تا نرخ بازده داخلی آن ۱۰ درصد باشد.

بعد از مشخص کردن نام، عنوان پروژه و محل ایستگاه آب‌وهوایی مبنا، برگه مدل انرژی را پر می‌کنیم (مانند شکل ۳-۶۸ و ۳-۶۷).

Site Conditions		Estimate	Notes/Range
Project name		Community Water Pumping	
Project location		El Kelaa des Sraghna, Morocco	
Nearest location for weather data	-	Marrakech	Complete SR&SL sheet
Latitude of project location	°N	31.6	-90.0 to 90.0
Annual solar radiation (tilted surface)	MWh/m²	2.08	
Annual average temperature	°C	19.6	-20.0 to 30.0
Water demand for months analysed	m³	10,422.6	
Equivalent pumping energy demand	MWh	**0.669**	

System Characteristics		Estimate	Notes/Range
Application type	-	**Water pumping**	
Base Case Power and Pump System			
Source	-	Genset	
Fuel type	-	**Diesel (#2 oil)**	
Specific fuel consumption	L/L	0.0002210	
PV Water Pump			
Motor type	-	DC	
Pump system efficiency	%	20%	15% to 75%
PV Array			
PV module type	-	mono-Si	
PV module manufacturer / model #		BP Solar/Solarex/ BP270F	See Product Database
Nominal PV module efficiency	%	11.1%	4.0% to 15.0%
NOCT	°C	45	40 to 55
PV temperature coefficient	% / °C	0.40%	0.10% to 0.50%
PV array controller	-	MPPT	
Miscellaneous PV array losses	%	0.0%	0.0% to 20.0%
Suggested nominal PV array power	kWp	1.87	
Nominal PV array power	kWp	**1.89**	
PV array area	m²	17.0	
Power Conditioning			
Miscellaneous power conditioning losses	%	0%	0% to 10%

شکل ۳-۶۷

Annual Energy Production (12.00 months analysed)		Estimate	Notes/Range
Water delivered	m³	10,423	
Specific yield	kWh/m²	39.3	
Overall PV system efficiency	%	1.9%	
Renewable energy delivered	MWh	**0.669**	
	kWh	669	
			Complete Cost Analysis sheet

شکل ۳-۶۸

در قسمت محاسبه بار سیستم، ماه‌های مورداستفاده در تحلیل و متوسط تابش روزانه بر سطح آرایه PV به همراه بارهای مصرفی DC یا AC پروژه موردنظر را مشخص می‌کنیم (مانند شکل ۳-۷۰ و ۳-۶۹).

Monthly Inputs

Month	Fraction of month used (0 - 1)	Monthly average daily radiation on horizontal surface (kWh/m²/d)	Monthly average temperature (°C)	Monthly average daily radiation in plane of PV array (kWh/m²/d)	Monthly solar fraction (%)
January	1.00	3.31	12.2	5.13	100%
February	1.00	4.06	13.8	5.26	100%
March	1.00	5.19	15.8	5.79	100%
April	1.00	6.17	17.3	5.80	100%
May	1.00	6.94	20.6	5.71	100%
June	1.00	7.53	23.8	5.78	100%
July	1.00	7.75	28.3	6.09	100%
August	1.00	7.11	28.3	6.32	100%
September	1.00	5.97	25.3	6.27	100%
October	1.00	4.67	21.1	5.92	100%
November	1.00	3.56	16.3	5.32	100%
December	1.00	3.11	12.6	5.08	100%

		Annual	Season of use
Solar radiation (horizontal)	MWh/m²	1.99	1.99
Solar radiation (tilted surface)	MWh/m²	2.08	2.08
Average temperature	°C	19.6	19.6

شکل ۳-۶۹

Load Characteristics — Estimate — Notes/Range

		Estimate
Application type	-	Water pumping
Use detailed load calculator?	yes/no	Yes

Description	Water pumping application	Unit	# of units	Water use per unit		Daily water required (m³/d)
People	Domestic	Person	487.0	L/d/person	45.0	21.92
Livestock	Livestock	Head	166.0	L/d/head	40.0	6.64

	Unit	Estimate		Notes/Range
Daily water requirement	m³/d	28.56		
Suction head	m	0.0		
Drawdown	m	1.0		
Discharge head	m	21.0		
Pressure head	m	0.0		
Friction losses	%	7%		5% to 10%
Total head	m	23.5		
		Daily	*Annual*	
Equivalent energy demand	kWh	1.83	668.57	

Return to Energy Model sheet

شکل ۳-۷۰

در برگه تحلیل، هزینه‌های نمونه پیشنهادی و پایه را مشخص کرده و هزینه اولیه کل مشخص می‌گردد (مطابق شکل)؛ که بر این اساس ۱۰۰۰ دلار هزینه قسمت مطالعات امکان‌سنجی در نظر گرفته‌شده است. هزینه تجهیزات موردنیاز سیستم PV شامل: ماژول‌های PV برای تأمین انرژی با ظرفیت kWp ۱٫۸۹ برابر با ۹۴۵۰ دلار در نظر گرفته‌شده است. هزینه تأمین و تجهیز شامل انتقال تجهیزات، پمپ موردنظر و ... ۷۳۰۹ دلار شده که با کسر از هزینه اولیه سیستم پایه ۶۵۰ دلار که شامل پمپ دیزلی و ... می‌شود برابر با ۶۶۵۹ دلار شده است. مجموع این هزینه‌ها برابر با ۱۷۱۰۹ دلار شده است که درصورتی‌که هزینه‌های محتمل را ۱۰ درصد کل این هزینه در نظر بگیریم؛ هزینه‌های محتمل برابر با ۱۷۱۱ دلار تخمین زده می‌شود که درمجموع هزینه کل اولیه پروژه PV را برابر ۱۸۸۲۰ دلار تعیین کرده‌اند.

Initial Costs (Credits)	Unit	Quantity	Unit Cost		Amount		Relative Costs	Quantity Range	Unit Cost Range
Feasibility Study									
Feasibility study	Cost	1	US$	1,000	US$	1,000		-	-
Sub-total :					US$	1,000	5.3%		
Development									
			US$	-	US$	-		-	-
Sub-total :					US$	-	0.0%		
Engineering									
			US$	-	US$	-		-	-
Sub-total :					US$	-	0.0%		
Renewable Energy (RE) Equipment									
PV module(s)	kWp	1.89	US$	5,000	US$	9,450		-	-
Transportation	project	1	US$	-	US$	-		-	-
			US$	-	US$	-		-	-
			US$	-	US$	-		-	-
Sub-total :					US$	9,450	50.2%		
Balance of Equipment									
Module support structure	m^2	17.0	US$	100	US$	1,703		-	-
Water pump	project	1	US$	1,500	US$	1,500		-	-
Pipes/reservoir	project	1	US$	2,000	US$	2,000		-	-
Other electrical equipment	kWp	1.89	US$	500	US$	945		-	-
System installation	kWp	1.89	US$	350	US$	662		-	-
Transportation	project	1	US$	500	US$	500		-	-
Diesel pump	Credit	1	US$	650	US$	(650)		-	-
			US$	-	US$	-		-	-
Sub-total :					US$	6,659	35.4%		
Miscellaneous									
Training	p-h		US$	-	US$	-		-	-
Contingencies	%	10%	US$	17,109	US$	1,711		-	-
Sub-total :					US$	1,711	9.1%		
Initial Costs - Total					US$	18,820	100.0%		

شکل ۳-۷۱

هزینه‌های نگهداری و راه‌اندازی شامل نیروی کار و. در پروژه پیشنهادی برابر ۲۰۰ دلار و برای نمونه پایه ۱۰۰ دلار در نظر گرفته‌شده است که در کل هزینه کل سالیانه، برابر ۱۰۰

دلار برای نمونه پیشنهادی تعیین‌شده است؛ همچنین می‌بایست هزینه‌های دوره‌ای پروژه پیشنهادی شامل نوسازی پمپ و ... و هزینه‌های نمونه پایه شامل تعویض پمپ دیزلی و جدول زمانی آن را مشخص کرد (مانند شکل ۳-۷۲).

Annual Costs (Credits)	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount	Relative Costs	Quantity Range	Unit Cost Range
O&M							
Property taxes/Insurance	project		US$ -	US$ -		-	-
O&M labour	p-h	1	US$ 200	US$ 200		-	-
Diesel pump O&M	Credit	1	US$ 100	US$ (100)		-	-
			US$ -	US$ -		-	-
Contingencies	%		US$ 100	US$ -		-	-
Sub-total :				US$ 100	100.0%		
Annual Costs - Total				US$ 100	100.0%		

Periodic Costs (Credits)		Period	Unit Cost	Amount	Interval Range	Unit Cost Range
Pump refurbishing	Cost	5 yr	US$ 150	US$ 150	-	-
Diesel pump overhaul	Credit	4 yr	US$ 200	US$ (200)	-	-
				US$ -	-	-
End of project life		-	US$ -	US$ -		Go to GHG Analysis sheet

شکل ۳-۷۲

در برگه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با توجه به راندمان و میزان تولید گازهای گلخانه (برحسب CO_2)[۱] به‌وسیله یک موتور دیزلی برحسب تن بر مگاوات ساعت (در منابع مختلف تحقیقی میزان انتشار گازهای گلخانه برای کاربردهای مختلف موجود است.)، به مقایسه دو سیستم مورد بررسی پرداخته‌شده است.[۲]

[۱] – ضرایب مربوط به سایر گازهای گلخانه مانند متان و دی‌اکسید نیتروژن بر اساس نسخه IPCC 1996 برحسب تن به معادل دی‌اکسید کربن آن تبدیل می‌شود.

$1 ton CH_4 = 21 tons CO_2$ (IPCC, 1996)

$1 ton N_2O = 310 tons CO_2$ (IPCC, 1996)

[۲] – برای اطلاعات بیشتر در مورد تعیین ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای، به راهنمای کارگروه بین‌المللی در مورد تغییر اقلیم (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories) مراجعه کنید. ضریب انتشار CO_2، CH_4 و N_2O برای بسیاری از سوخت‌ها در صفحات دستورالعمل آنلاین IPCC آورده شده است (the IPCC Reference Manual).

Base Case Electricity System (Reference)

Fuel type	Fuel mix (%)	CO_2 emission factor (kg/GJ)	CH_4 emission factor (kg/GJ)	N_2O emission factor (kg/GJ)	Fuel conversion efficiency (%)	GHG emission factor (t_{CO2}/MWh)
Diesel (#2 oil)	100.0%	74.1	0.0020	0.0020	2.7%	9.959

Proposed Case Electricity System (Mitigation)

Fuel type	Fuel mix (%)	CO_2 emission factor (kg/GJ)	CH_4 emission factor (kg/GJ)	N_2O emission factor (kg/GJ)	Fuel conversion efficiency (%)	GHG emission factor (t_{CO2}/MWh)
Electricity system						
Solar	100.0%	0.0	0.0000	0.0000	20.0%	0.000

GHG Emission Reduction Summary

	Base case GHG emission factor (t_{CO2}/MWh)	Proposed case GHG emission factor (t_{CO2}/MWh)	Annual energy delivered (MWh)	Annual GHG emission reduction (t_{CO2})
Electricity system	9.959	0.000	0.669	6.66
		Net GHG emission reduction	t_{CO2}/yr	**6.66**

Complete Financial Summary sheet

شکل ۳-۷۳

در برگه تحلیل مالی، صورت‌وضعیت مالی پروژه بررسی‌شده است. میزان انرژی موردنیاز پمپ آب برحسب مگاوات ساعت (۰,۶۶۹) و پارامترهای مالی پروژه را مشخص می‌کنیم (مانند شکل ۳-۷۴).

RETScreen® Financial Summary - Photovoltaic Project

Annual Energy Balance

Project name		Community Water Pumping			
Project location		El Kelaa des Sraghna, Morocco	Nominal PV array power	kWp	1.89
			Equivalent pumping energy demand	MWh	0.669
Renewable energy delivered	MWh	0.669	GHG analysis sheet used?	yes/no	Yes
			Net GHG emission reduction	t_{CO2}/yr	6.66
Firm RE capacity	kW	-	Net GHG emission reduction - 20 yrs	t_{CO2}	133.16
Application type		Water pumping	Type of fuel displaced		Diesel (#2 oil)

Financial Parameters

Avoided cost of energy	US$/L	0.260	Debt ratio	%	0.0%
RE production credit	US$/kWh	-			
GHG emission reduction credit	US$/$t_{CO2}$	-	Income tax analysis?	yes/no	No
Energy cost escalation rate	%	4.0%			
Inflation	%	2.0%			
Discount rate	%	9.0%			
Project life	yr	20			

شکل ۳-۷۴

با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده در امکان‌سنجی مالی پروژه (مطابق شکل ۳-۷۵) بیش از ۲۰ سال طول می‌کشد تا جریان نقدینگی مثبت را شاهد باشیم و بعد از ۳۷ سال، بازپرداخت ساده هزینه‌های پروژه صورت می‌گیرد.

Project Costs and Savings

Initial Costs				**Annual Costs and Debt**		
Feasibility study	5.3%	US$	1,000	O&M	US$	100
Development	0.0%	US$	-			
Engineering	0.0%	US$	-			
RE equipment	50.2%	US$	9,450	**Annual Costs - Total**	**US$**	**100**
Balance of equipment	35.4%	US$	6,659			
Miscellaneous	9.1%	US$	1,711	**Annual Savings or Income**		
Initial Costs - Total	100.0%	**US$**	**18,820**	Energy savings/income	US$	599
				Capacity savings/income	US$	-
Incentives/Grants		US$	-			
				Annual Savings - Total	**US$**	**599**
Periodic Costs (Credits)						
Pump refurbishing		US$	150	Schedule yr # 5,10,15,20		
Diesel pump overhaul		US$	(200)	Schedule yr # 4,8,12,16,20		
		US$	-			
End of project life -		US$	-			

Financial Feasibility

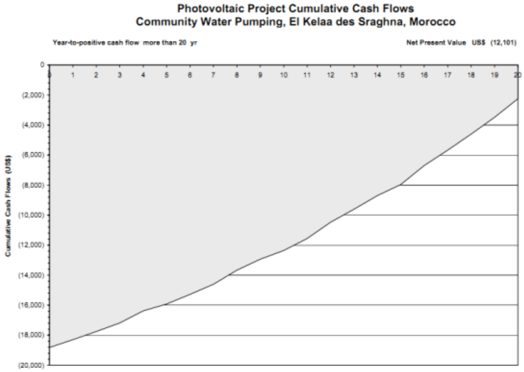
			Calculate RE production cost?	yes/no	No
Pre-tax IRR and ROI	%	-1.0%	Calculate GHG reduction cost?	yes/no	No
After-tax IRR and ROI	%	-1.0%			
Simple Payback	yr	37.7	Project equity	US$	18,820
Year-to-positive cash flow	yr	more than 20			
Net Present Value - NPV	US$	(12,101)			
Annual Life Cycle Savings	US$	(1,326)			
Profitability Index - PI	-	(0.64)			

شکل ۳-۷۵

برای بررسی آن‌که در چه حالتی میزان بازده داخلی (IRR) به ۱۰ درصد می‌رسد، با به‌کارگیری عملگر "Goal Seek" در منوی "what if analysis" در تب "Data" در مایکروسافت اکسل ۲۰۱۰ را مورد بررسی قراردادیم که حاکی از آن می‌باشد که هزینه سوخت دیزل درصورتی‌که از $ ۰,۲۶ به $ ۰,۷۳ در لیتر برسد، بازده داخلی پروژه ۱۰ درصد خواهد شد. نمودار و جدول تجمعی جریان نقدینگی در اشکال ۳-۷۷ و ۳-۷۶ نشان شده است.

Yearly Cash Flows			
Year	Pre-tax	After-tax	Cumulative
#	US$	US$	US$
0	(18,820)	(18,820)	(18,820)
1	521	521	(18,299)
2	544	544	(17,756)
3	568	568	(17,188)
4	809	809	(16,379)
5	453	453	(15,927)
6	645	645	(15,281)
7	673	673	(14,608)
8	937	937	(13,671)
9	733	733	(12,939)
10	582	582	(12,357)
11	798	798	(11,559)
12	1,086	1,086	(10,474)
13	868	868	(9,606)
14	905	905	(8,701)
15	742	742	(7,959)
16	1,259	1,259	(6,700)
17	1,027	1,027	(5,673)
18	1,070	1,070	(4,603)
19	1,116	1,116	(3,487)
20	1,238	1,238	(2,249)

شکل ۳-۷۶

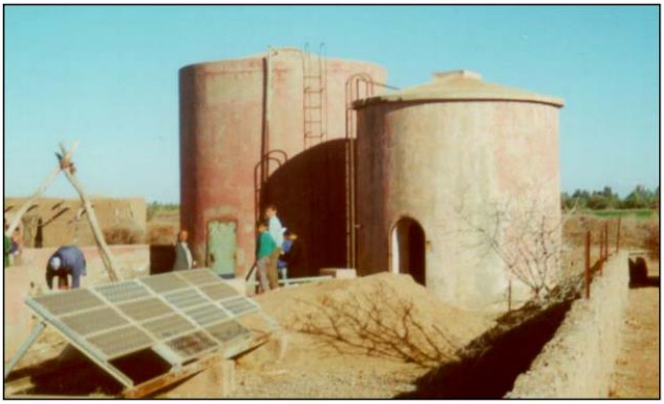


شکل ۳-۷۷

۴-۱۱-۳ نتایج

- یک سیستم پمپ آب PV در محل روستا می‌تواند برای سال‌ها به‌طور قابل قبولی کارکرد داشته باشد.
- سیستم پمپ آب PV برای نیازهای آبی کم و متوسط و کاربردهای باارزش بالا همچون آب آشامیدنی، باغبانی، پرورش گل و ... مناسب است. برای نیازهای آبی بزرگ‌تر، سوخت پمپ‌های دیزلی اغلب به لحاظ مالی مناسب‌تر است.

- ازآنجاکه آب به‌راحتی در تانکر ذخیره‌شده و با کمک گرانش در روستا توزیع می‌شود، سیستم پمپاژ آب PV به ذخیره انرژی نیاز ندارد.



شکل ۳-۷۸

۱۲-۳ نمونه پروژه سیستم PV مخابراتی بریتیش کلمبیا[۱] کانادا

در سال ۱۹۹۴، شرکت مخابراتی نورث ویست[۲] از لابراتوار تحقیق توسعه انرژی کانمنت (CEDRL)[۳] خواست تا مطالعه امکان‌سنجی منبع تغذیه فرستنده‌های VHF متداول[۴] را در شمال کانادا آماده کند. هدف این تحلیل بررسی این موضوع بود که آیا سیستم PV گزینه مقرون‌به‌صرفه‌ای نسبت به سیستم‌های قدرت باتری پتاسیمی[۵] استفاده‌شده در محدوده خدمات مخابراتی نورث ویست هست یا خیر.

مطالعه اصلی آماده‌شده به‌وسیله CEDRL نشان داده که تبدیل منبع قدرت در سایت ارتباط از راه دور فرستنده‌های VHF مخابراتی نورث ویست از سیستم قدرت باتری

۱- BRITISH COLUMBIA

۲- NorthwesTel

۳-t he CANMET Energy Diversification Research Laboratory (CEDRL)

۴- a typical VHF repeater power supply

۵- typical potash battery power systems

پتاسیمی به PV، کاملاً مقرون‌به‌صرفه می‌باشد. با تحقق بخشی از مطالعه صورت گرفته در طول سال‌های ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۷، شرکت نورث ویست تل همراه با همکاری شرکت انرژی خورشیدی سولتک[۱]۹، سایت پتاس باتری را در ۱۱ سایت به PV تغییر داد. سیستم PV تاکنون بدون مشکل کارکرده است.

۳-۱۲-۱ شرح وظیفه

فرض کنید که شما به‌وسیله شرکت خدمات دهنده مخابراتی برای ارائه مطالعه امکان‌سنجی سیستم PV به شرکت مربوطه بکار گرفته‌شده‌اید. به‌عنوان بخشی از شبکه مخابراتی، این شرکت ۱۱ برج فرستنده را برای انتقال سیگنال‌های رادیویی VHF در بخش شمال شرق کانادا بکار می‌گیرد. این فرستنده‌های VHF مقدار به نسبت کمی الکتریسیته را مصرف می‌کنند و همه در مکان‌های کوهستانی دورافتاده که دسترسی به آن‌ها با بالگرد امکان‌پذیر است، واقع‌شده‌اند. باتری‌های پتاسیمی یک‌بارمصرف که ۱ تا ۲ سال باید تعویض شوند الکتریسیته فرستنده‌ها را تأمین می‌کنند. باتری‌های پتاسیمی به تجربه نشان داده‌اند که هزینه کمتری نسبت به ژنراتورهای دیزلی دارند که این بدان سبب است که هزینه‌ی بالای انتقال سوخت و نگهداری از آن‌ها در این مکان‌های دورافتاده زیاد است؛ و این در حالی است که باتری‌های پتاسیمی پرهزینه می‌باشند و می‌بایست هرساله تعویض شوند و به خاطر طبیعت سخت مکان موردنظر، لوازم یک‌بارمصرف مخصوصی دارند. لذا این شرکت تمایل دارد تا مطالعه امکان‌سنجی برای تعیین اینکه آیا سیستم PV به نسبت سیستم موجود به‌صرفه‌تر است، انجام دهد.

۳-۱۲-۲ اطلاعات مکانی

۱۱ سایت در شمال بریتیش کلمبیا و محدوده جنوب غربی نورث ویست کانادا واقع‌شده‌اند. نزدیک‌ترین پایگاه داده هواشناسی در وایت هورس، محدوده یوکون[۲]کانادا قرارگرفته

[۱]- SOLTEK Solar Energy
[۲]- Whitehorse, Yukon Territory

است. بار الکتریکی مصرفی برآورد شده به‌وسیله شرکت مخابراتی برای فرستنده‌های VHF در حدود 100Wh/Day(کل لوازم با VDC ۱۲ کار می‌کنند). به دلیل اجرای این پروژه‌ها در شرایط سخت و خشن، لوازم مورداستفاده در این مکان‌ها می‌بایست قابلیت عملکردی بالایی را داشته باشند و به همین دلیل می‌بایست در همان شرایط محیطی به مدت ۳۰ روز به‌صورت مستقل با سیستم PV و باتری کار کنند.

سیستم‌های PV شامل دو آرایه مونوکریستال 0.2kWp(نوع ماژول‌های 4 Siemens Solar SM-50H 50Watt PV modules)؛ یک پوشش شیشه‌ای جاذب 1.150Ahr، بانک باتری با تعمیر و نگهداری رایگان (GNB ABSOLYTE IIP)؛ تنظیم‌کننده SOLTEK PV-5 و جعبه نگه‌دارنده ماژول Soltek cm-50 Module می‌باشد.

۳-۱۲-۳ اطلاعات مالی

صورت‌های مالی معمول برای تحلیل به‌وسیله شرکت ارائه‌شده‌اند:

نرخ مالیات بر درآمد: ۴۳,۶٪،

تورم: ۲,۵٪،

نرخ وام: ۸۰٪،

بهره وام: ۸٪،

نرخ تنزیل: ۹٪،

مدت‌زمان بازپرداخت: ۱۰ سال.

عمر پروژه ۲۵ سال فرض می‌شود. تعویض ذخیره باتری هر ۱۰ سال فرض می‌شود. به خاطر راه‌حل‌های تکنولوژیکی کوچک و مشابه برای هردوی این‌ها، تحلیل هزینه‌های نگهداری و راه‌اندازی در نظر گرفته نمی‌شود. سیستم‌های باتری پتاس تقریباً عاری از تعمیر و نگهداری هستند درحالی‌که سیستم‌های PV محدود به بررسی دوسالانه می‌شود که به‌عنوان بخشی از سفرهای معمول به سایت در نظر گرفته می‌شود. باتری‌های پتاسیمی به‌طورمعمول هرسال باید تعویض شوند که هزینه آن ۹۸۰۰ دلار می‌باشد. بار 100Wh/day برابر 36.5kWh/year است؛ که این امر هزینه برق نجومی تقریباً 270$/KWh را به وجود می‌آورد.

مطالعه ریت اسکرین خود را آماده کرده و گزارش تحلیل هزینه خود را به شرکت مخابراتی ارائه دهید.

اطلاعات و مشخصات پایه سیستم و مکان موردنظر:

پایگاه داده هوایی استفاده‌شده: Whitehorse A, YT، میزان انرژی DC موردنیاز ماهانه: 0.037MWh،

Site Conditions		Estimate	Notes/Range
Project name		Telecom (Battery)	
Project location		British Columbia, Canada	
Nearest location for weather data	-	Whitehorse A, YT	Complete SR&SL sheet
Latitude of project location	°N	60.7	-90.0 to 90.0
Annual solar radiation (tilted surface)	MWh/m²	1.11	
Annual average temperature	°C	-1.0	-20.0 to 30.0
DC energy demand for months analysed	MWh	0.037	
AC energy demand for months analysed	MWh	0.000	

شکل ۳-۷۹

نوع کاربرد: منفصل از شبکه،

پیکربندی نوع سیستم: PV/ battery،

نوع سیستم پایه: باتری یک‌بارمصرف پتاس باتری؛

روزهای مستقل باتری: ۳۰ روز،

ولتاژ اسمی باتری: 120V،

بهره‌وری باتری: 80%،

حداکثر عمق دشارژ: 50%،

بهره‌وری کنترل شارژ: 95%،

کنترل درجه حرارت باتری: Ambient،

ظرفیت اسمی باتری: 1.150Ah.

بهره‌وری ماژول اسمی PV: 12.5%،

کنترلر آرایه PV: Clamped،

هدر رفت های متفرقه آرایه PV: ۱۵ درصد،

مساحت آرایه PV: $1.6m^2$،

قدرت آرایه اسمی PV: 0.20.

درجه حرارت اسمی سلول NOCT(Nominal operating cell temperature): معمولاً روی ۴۵ درجه و ضریب درجه حرارت روی ۴۰ درصد تنظیم می‌شود.

System Characteristics		Estimate	Notes/Range
Application type	-	Off-grid	
PV system configuration	-	PV/battery	
Base Case Power System			
Source	-	Non-rechargeable batteries	
Power Conditioning			
Suggested inverter (DC to AC) capacity	kW (AC)	0.00	
Inverter capacity	kW (AC)	0.0	
Average inverter efficiency	%	0%	80% to 95%
Miscellaneous power conditioning losses	%	0%	0% to 10%
Battery			
Days of autonomy required	d	30.0	1.0 to 15.0
Nominal battery voltage	V	12.0	12.0 to 120.0
Battery efficiency	%	80%	50% to 85%
Maximum depth of discharge	%	50%	20% to 85%
Charge controller (DC to DC) efficiency	%	95%	85% to 95%
Battery temperature control	-	Ambient	
Average battery temperature derating	%	6%	0% to 50%
Suggested nominal battery capacity	Ah	565	
Nominal battery capacity	Ah	1,150	
PV Array			
PV module type	-	mono-Si	
PV module manufacturer / model #		Siemens/ SM50-H	See Product Database
Nominal PV module efficiency	%	12.5%	4.0% to 15.0%
NOCT	°C	45	40 to 55
PV temperature coefficient	% / °C	0.40%	0.10% to 0.50%
PV array controller	-	Clamped	
Miscellaneous PV array losses	%	15.0%	0.0% to 20.0%
Suggested nominal PV array power	kWp	0.15	
Nominal PV array power	kWp	0.20	
PV array area	m²	1.6	

شکل ۳-۸۰

Annual Energy Production (12.00 months analysed)		Estimate	Notes/Range
Equivalent DC energy demand	MWh	0.037	
Equivalent DC demand not met	MWh	0.000	
Specific yield	kWh/m²	22.8	
Overall PV system efficiency	%	2.0%	
Renewable energy delivered	MWh	0.036	
	GJ	0.131	Complete Cost Analysis sheet

شکل ۳-۸۱

مشخصات بار:

حالت ردیاب PV: ثابت؛

شیب آرایه PV: ۸۵ درجه؛

آزیموت آرایه PV: ۰ درجه؛

ماه‌های استفاده: کل سال؛

انرژی DC موردنیاز: 0.1kWh/day, 36.5kWh/year

Site Latitude and PV Array Orientation		Estimate	Notes/Range
Nearest location for weather data	-	Whitehorse A, YT	See Weather Database
Latitude of project location	°N	60.7	-90.0 to 90.0
PV array tracking mode	-	Fixed	
Slope of PV array	°	85.0	0.0 to 90.0
Azimuth of PV array	°	0.0	0.0 to 180.0

Monthly Inputs

Month	Fraction of month used (0 - 1)	Monthly average daily radiation on horizontal surface (kWh/m²/d)	Monthly average temperature (°C)	Monthly average daily radiation in plane of PV array (kWh/m²/d)	Monthly solar fraction (%)
January	1.00	0.33	-18.7	1.59	100%
February	1.00	1.08	-13.1	3.15	100%
March	1.00	2.53	-7.2	4.69	100%
April	1.00	4.25	0.3	4.29	100%
May	1.00	5.36	6.6	3.95	100%
June	1.00	5.89	11.6	3.85	100%
July	1.00	5.28	14.0	3.63	100%
August	1.00	4.00	12.3	3.39	100%
September	1.00	2.44	7.3	2.92	100%
October	1.00	1.17	0.7	2.34	100%
November	1.00	0.44	-10.0	1.64	100%
December	1.00	0.19	-15.9	1.18	100%

		Annual	Season of use
Solar radiation (horizontal)	MWh/m²	1.01	1.01
Solar radiation (tilted surface)	MWh/m²	1.11	1.11
Average temperature	°C	-1.0	-1.0

شکل ۳-۸۲

Load Characteristics		Estimate		Notes/Range
Application type	-	Off-grid		
Use detailed load calculator?	yes/no	No		
		Daily average	Annual	
DC energy demand	kWh (DC)	0.100	36.5	
AC energy demand	kWh (AC)	0.000	0.0	
AC peak load	kW (AC)		0.000	
Solar-load correlation	-	Zero		
				Return to Energy Model sheet

شکل ۳-۸۳

تحلیل هزینه:

مطالعات مهندسی و سایر موارد: 1500$؛

هزینه تجهیزات شامل ماژول‌های PV و سایر: 2350$.

هزینه تجهیزات تراز سیستم PV: 8320$.

هزینه سیستم پایه: 9800$.

کل هزینه‌های سیستم PV با کسر هزینه سیستم پایه: 2876$.

هزینه نگهداری و راه‌اندازی: هزینه تعویض باتری سیستم پایه: 9800$

هزینه‌های دوره‌ای: تعویض باتری سیستم PV: 5000$ در جدول زمانی ۵ ساله (Schedule/ yrs.)

Initial Costs (Credits)	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount	Relative Costs	Quantity Range	Unit Cost Range
Feasibility Study							
			$ -	$ -			
Sub-total :				$ -	0.0%		
Development							
			$ -	$ -			
Sub-total :				$ -	0.0%		
Engineering							
Other	Cost	1	$ 1,500	$ 1,500			
Sub-total :				**$ 1,500**	52.2%		
Renewable Energy (RE) Equipment							
PV module(s)	kWp	0.20	$ 8,000	$ 1,600			$5,500 - $8,000
Transportation	project	1	$ 500	$ 500			
Module mounting kit	Cost	1	$ 250	$ 250			
			$ -	$ -			
Sub-total :				**$ 2,350**	81.7%		
Balance of Equipment							
Module support structure	m^2	1.6	$ -	$ -			$0 - $200
Inverter	kW AC	0.0	$ -	$ -			
Batteries (1150 Ah @ 12 V)	kWh	14	$ 400	$ 5,520			
Other electrical equipment	kWp	0.20	$ 1,500	$ 300			$700-$1,500
System installation	kWp	0.20	$ 2,500	$ 500			$900-$2,500
Transportation	project	1	$ 2,000	$ 2,000			
Potash batt., install+transport	Credit	1	$ 9,800	$ (9,800)			
			$ -	$ -			
Sub-total :				**$ (1,480)**	-51.5%		
Miscellaneous							
Training	p-h	2	$ 75	$ 150			
Contingencies	%	15%	$ 2,370	$ 356		5-40%	
Sub-total :				**$ 506**	17.6%		
Initial Costs - Total				**$ 2,876**	100.0%		

شکل ۳-۸۴

Annual Costs (Credits)	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount	Relative Costs	Quantity Range	Unit Cost Range
O&M							
Property taxes/Insurance	project	0	$ -	$ -			
O&M labour	p-h	0	$ -	$ -			
Potash batt replacement	Credit	1	$ 9,800	$ (9,800)			
			$ -	$ -			
Contingencies	%	0%	$ (9,800)	$ -		1-5%	
Sub-total :				**$ (9,800)**	100.0%		
Annual Costs - Total				$ (9,800)	100.0%		

Periodic Costs (Credits)		Period	Unit Cost	Amount	Interval Range	Unit Cost Range
Battery replacement	Cost	10 yr	$ 5,000	**$ 5,000**		
				$ -		
				$ -		
End of project life		-	$ -	**$ -**		Go to GHG Analysis sheet

شکل ۳-۸۵

برگه تحلیل گاز گلخانه‌ای:

Background Information

Project Information		Global Warming Potential of GHG		
Project name	Telecom (Battery)	1 ton CH_4 =	21 tons CO_2	(IPCC 1996)
Project location	British Columbia, Canada	1 ton N_2O =	310 tons CO_2	(IPCC 1996)

Base Case Electricity System (Reference)

Fuel type	Fuel mix (%)	CO_2 emission factor (kg/GJ)	CH_4 emission factor (kg/GJ)	N_2O emission factor (kg/GJ)	Fuel conversion efficiency (%)	GHG emission factor (t_{CO2}/MWh)
Other	100.0%	74.1	0.0020	0.0020	100.0%	0.269

Proposed Case Electricity System (Mitigation)

Fuel type	Fuel mix (%)	CO_2 emission factor (kg/GJ)	CH_4 emission factor (kg/GJ)	N_2O emission factor (kg/GJ)	Fuel conversion efficiency (%)	GHG emission factor (t_{CO2}/MWh)
Electricity system						
Solar	100.0%	0.0	0.0000	0.0000	100.0%	0.000

GHG Emission Reduction Summary

	Base case GHG emission factor (t_{CO2}/MWh)	Proposed case GHG emission factor (t_{CO2}/MWh)	Annual energy delivered (MWh)		Annual GHG emission reduction (t_{CO2})
Electricity system	0.269	0.000	0.036		0.01
			Net GHG emission reduction	t_{CO2}/yr	**0.01**

Complete Financial Summary sheet

شکل ۳-۸۶

برگه تحلیل هزینه مالی:

بر اساس موارد زیر که معمولاً در برگه تحلیل هزینه‌ها می‌آید، امکان‌سنجی مالی صورت می‌گیرد:

بر اساس میزان انرژی موردنیاز تأمین‌شده به‌وسیله سیستم PV و با توجه به نرخ افزایش قیمت انرژی: ۲,۵ درصد،

تورم: ۲,۵ درصد،

نرخ تنزیل: ۹ درصد،

عمر پروژه: ۲۵ سال،

میزان وام: ۸۰ درصد کل هزینه پروژه،

بهره وام: ۸ درصد،

مدت‌زمان بازپرداخت: ۱۰ سال،

میزان مالیات بر درآمد: ۴۳,۶ درصد،

روش محاسبه استهلاک: مستقیم،

دوره استهلاک: ۵ سال،

پایه مالیاتی استهلاک[۱]: ۸۵ درصد

بر اساس عوامل اشاره‌شده در بالا و هزینه‌ها و صرفه‌جویی‌های ناشی از سیستم پیشنهادی که در برگه تحلیل هزینه نیز مشخص‌شده بود، امکان‌سنجی مالی صورت می‌گیرد و نمودار و جدول تجمعی جریان نقدینگی ترسیم می‌شود (اشکال ۳-۸۷ تا ۳-۹۰)

بر اساس نمودار تجمعی جریان نقدینگی که بر اساس پیش‌بینی حجم منابع مالی که در طول دوره عمر پروژه صورت گرفته است و سال صفر که در آن سال چنین هزینه‌ای به خاطر صرفه‌جویی‌ها یا درامد پروژه صفر می‌شود و از آن سال به بعد جریان مثبت نقدینگی روی می‌دهد، ترسیم می‌شود. بر این اساس در پروژه PV پیشنهادی از همان سال اول هزینه‌های چنین پروژه‌ای به خاطر صرفه‌جویی‌های ناشی از سیستم پایه جبران می‌شود و تا ۲۵ سال آینده که عمر پروژه پیشنهادی می‌باشد، جریان مثبت نقدینگی نسبت به نمونه پایه به دست خواهد آمد.

Annual Energy Balance					
Project name		Telecom (Battery)			
Project location		British Columbia, Canada	Nominal PV array power	kWp	0.20
			Equivalent DC energy demand	MWh	0.037
Renewable energy delivered	MWh	0.036	GHG analysis sheet used?	yes/no	Yes
			Net GHG emission reduction	t_{CO2}/yr	0.01
Firm RE capacity	kW	-	Net GHG emission reduction - 25 yrs	t_{CO2}	0.25
Application type		Off-grid	Type of fuel displaced		None

Financial Parameters					
			Debt ratio	%	80.0%
RE production credit	$/kWh	-	Debt interest rate	%	8.0%
			Debt term	yr	10
GHG emission reduction credit	$/$t_{CO2}$	-	Income tax analysis?	yes/no	Yes
			Effective income tax rate	%	43.6%
			Loss carryforward?	yes/no	No
			Depreciation method	-	Straight-line
			Depreciation tax basis	%	85.0%
Energy cost escalation rate	%	2.5%			
Inflation	%	2.5%	Depreciation period	yr	5
Discount rate	%	9.0%	Tax holiday available?	yes/no	No
Project life	yr	25			

شکل ۳-۸۷

[۱] – منظور از استهلاک ارزش کاهش‌یافته و عمر کوتاه شده کالاهای سرمایه‌ای است که از فرسایش ناشی می‌شود. در معنای گسترده‌تر اشاره به ارزش کاهش‌یافته و عمر کوتاه شده هر کالای سرمایه‌ای یا دارایی که در طول دوره قابل‌توجهی از زمان منشأ خدماتی قرارگرفته است که بر این اساس می‌تواند سبب کاهش پایه مالیاتی به خاطر استهلاک شود می‌باشد.

Project Costs and Savings

Initial Costs			
Feasibility study	0.0%	$	-
Development	0.0%	$	-
Engineering	52.2%	$	1,500
RE equipment	81.7%	$	2,350
Balance of equipment	-51.5%	$	(1,480)
Miscellaneous	17.6%	$	506
Initial Costs - Total	100.0%	**$**	**2,876**
Incentives/Grants		$	-
Periodic Costs (Credits)			
Battery replacement		$	5,000
		$	-
		$	-
End of project life -		$	-

Annual Costs and Debt		
O&M	$	(9,800)
Debt payments - 10 yrs	$	343
Annual Costs - Total	**$**	**(9,457)**
Annual Savings or Income		
Energy savings/income	$	-
Capacity savings/income	$	-
Annual Savings - Total	**$**	-
Schedule yr # 10,20		

Financial Feasibility

Pre-tax IRR and ROI	%	1689.6%
After-tax IRR and ROI	%	1453.4%
Simple Payback	yr	0.3
Year-to-positive cash flow	yr	0.1
Net Present Value - NPV	$	64,663
Annual Life Cycle Savings	$	6,583
Profitability Index - PI	-	112.44

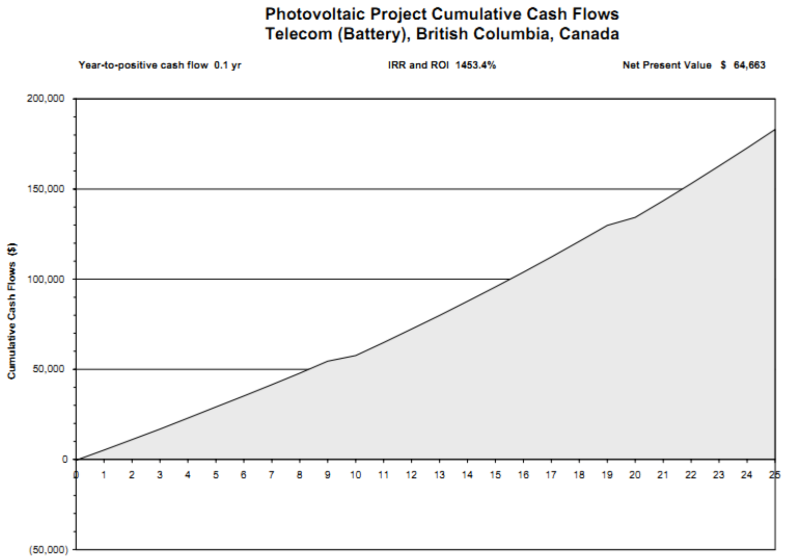
Calculate RE production cost?	yes/no	No
Calculate GHG reduction cost?	yes/no	No
Project equity	$	575
Project debt	$	2,300
Debt payments	$/yr	343
Debt service coverage	-	29.30

شکل ۳-۸۸

Yearly Cash Flows

Year #	Pre-tax $	After-tax $	Cumulative $
0	(575)	(387)	(387)
1	9,702	5,616	5,229
2	9,953	5,752	10,981
3	10,211	5,891	16,872
4	10,475	6,034	22,906
5	10,745	6,179	29,085
6	11,022	6,115	35,200
7	11,306	6,267	41,466
8	11,598	6,422	47,889
9	11,896	6,581	54,470
10	5,802	3,134	57,604
11	12,858	7,252	64,856
12	13,180	7,433	72,289
13	13,509	7,619	79,909
14	13,847	7,810	87,718
15	14,193	8,005	95,723
16	14,548	8,205	103,929
17	14,912	8,410	112,339
18	15,285	8,621	120,959
19	15,667	8,836	129,795
20	7,865	4,436	134,232
21	16,460	9,283	143,515
22	16,871	9,515	153,030
23	17,293	9,753	162,784
24	17,726	9,997	172,781
25	18,169	10,247	183,028

شکل ۳-۸۹



شکل ۳-۹۰

۴-۱۲-۳ نتایج

- هزینه نصب سیستم PV شامل مدت‌زمان پرواز بالگرد، به‌طور متوسط کمتر از ۱۴ هزار دلار (تقریباً ۸ هزار دلار برای اجزا PV) می‌باشد. وقتی این هزینه با سیستم باتری پتاسیمی مقایسه شد که هزینه سالیانه راه‌اندازی آن ۹۸۰۰ دلار می‌باشد، دوره بازپرداخت ساده سیستم PV یک سال ارزیابی می‌گردد. شرکت نورث ویست تل برآورد کرده است که تبدیل همه سایت‌ها به سایت انرژی خورشیدی حدود ۱۰۰ هزار دلار صرفه‌جویی دارد.
- برای کاهش زمان نصب پرهزینه به خاطر استفاده از بالگرد و کارکنان، نیروی کار حاضر در سایت باید به حداقل برسد. مونتاژ اولیه اجزا و سازه به شکل مؤثری به این امر می‌تواند کمک کند.
- در طرح‌ریزی بودجه باید احتمال شرایط نامساعد هوایی را که می‌تواند بر روی هزینه پروژه تأثیرگذار باشد را نیز باید در نظر گرفت.

شکل ۳-۹۱

۳-۱۳ نتیجه‌گیری

- تنها مسئله‌ای که در این مدت به وجود آمده در مورد مبدل‌ها بود؛ و سایر اجزا خوشبختانه عاری از نقص بودند.
- کاهش هزینه در مساحت طراحی و نصب حیاتی است، اما در خصوص طراحی سازه، نگه‌دارنده آرایه مهم‌تر است.
- استفاده از ماژول‌های PV به‌صورت تجمیعی بجای بعضی اجزا ساختمان (مانند پشت‌بام) گام مهمی در کاهش هزینه PV است.
- یکی از اهداف این تأسیسات بررسی قابلیت سیستم PV برای کاهش بارهای ساختمان و ایجاد یک اعتبار ظرفیتی می‌باشد. داده‌های به‌دست‌آمده از این تأسیسات نشان می‌دهد که در طول زمان‌های پیک بار در تابستان، این آرایه‌ها می‌توانند با قابلیت کاهش پیک در حدود ۲۵ درصد از ظرفیت اسمی‌اش معتبر می‌باشند. سایر مطالعات در نقاط دیگر به خاطر شرایط متفاوت هوایی اعتبار ظرفیت بالاتری را نشان می‌دهند. پیک مصرف برق که در روزهای گرم که نیاز به تهویه هوا وجود دارد، اتفاق می‌افتد، ولی همیشه با روزهای اوج تابش آفتاب، منطبق نیستند؛ بنابراین نیروی پیک آرایه لزوماً در طول شرایط پیک باری تابستان در دسترس نیستند. بعلاوه درجه حرارت آرایه در روزهای گرم پایین‌تر از خروجی آرایه می‌باشد.

فصل چهارم

تحلیل پروژه انرژی بادی

۴-۱ مقدمه

انرژی جنبشی باد، منبع امیدبخشی از انرژی تجدید پذیر با قابلیت چشمگیر در بخش‌های بسیاری از جهان می‌باشد. این انرژی که با توربین‌های بادی به دست می‌آید به‌طور وسیعی بستگی به متوسط سرعت باد در محل دارد. مناطقی که معمولاً قابلیت خوبی در این زمینه‌دارند مناطق نزدیک ساحل، مناطق داخلی با عوارض باز یا لبه بدنه‌های آبی می‌باشند. بعضی از کوه‌ها همچنین قابلیت خوبی در این زمینه‌دارند. علیرغم محدودیت‌های جغرافیایی در زمینه مکان پروژه انرژی بادی، سرزمین‌های وسیعی در جهان سهم قابل‌توجهی از نیازهای الکتریسیته محلی خود را با پروژه‌های انرژی بادی تأمین می‌کنند (Rangi et al. 1992).

در طول دهه‌های گذشته بعضی پروژه‌های بادی در مناطق دور از ساحل توسعه‌یافته‌اند و اندازه توربین‌های معمولی آن‌ها از ۱۰۰ کیلووات تا ۱ مگاوات یا ظرفیت تولید بیشتر افزایش داشته‌اند. درنتیجه، پروژه‌های انرژی بادی بزرگ‌مقیاس هم‌اکنون الکتریسیته را با هزینه‌ای قابل‌رقابت با نیروگاه‌های متداول تولید می‌کنند (مانند نیروگاه ای با سوخت فسیلی یا هسته‌ای). علاوه بر چنین پروژه‌های بزرگ‌مقیاسی، یکسری کاربردهای دیگر نیز برای توربین‌های بادی، مانند کاربردهای متوسط مقیاس برای استفاده‌های منفصل از شبکه و مستقل برای پمپاژ آب و کاربردهای کم مقیاس برای کاربردهای با شارژ باتری نیز قابل‌توجه می‌باشد.

پروژه‌های انرژی بادی به‌طورکلی در نواحی بادخیز توجیه اقتصادی دارند و این به خاطر این واقعیت است که نیروی نهفته در باد به توان سوم سرعت باد بستگی دارد. پس مکان پروژه انرژی بادی برای سودآور بودن آن نقش حیاتی دارد. توجه به این نکته مهم است که ادراک حسی انسان از باد معمولاً بر اساس مشاهدات کوتاه‌مدت کرانه‌های اقلیمی مانند طوفان‌های بادی و اثر سرمای باد به‌عنوان سرعت باد می‌باشد که به‌اشتباه می‌تواند به‌عنوان سایت بادی در نظر گرفته شوند. ارزیابی منابع بادی به‌طور صحیح، مؤلفه مهم و استانداردی برای اکثر توسعه‌های پروژه انرژی بادی می‌باشد.

۲-۴ توصیف توربین‌های بادی

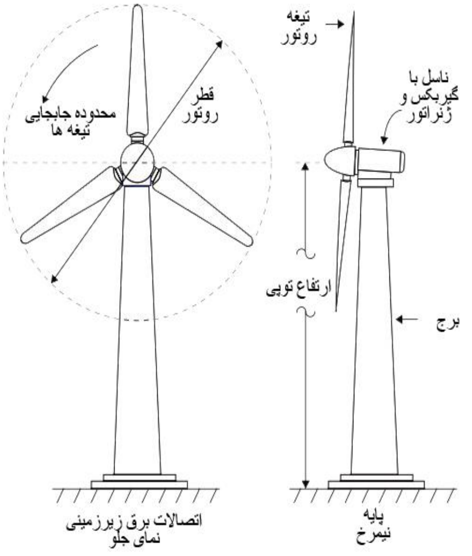
تکنولوژی توربین بادی به بلوغی در طول ۲۰ سال گذشته دست یافته است. این موضوع به خاطر رقابت جهانی تجاری، تولید انبوه و موفقیت‌های تکنیکی پیوسته در تحقیق و توسعه می‌باشد. نگرانی‌های اولیه در خصوص گران و غیرقابل اتکا بودن توربین‌های بادی، تقریباً تا حد زیادی کم شده است.

سیستم‌های توربین بادی مدرن به‌طور خودکار عمل می‌کنند. پره‌های توربین‌های بادی از طریق نیروهای آئرودینامیکی که باعث چرخش بال‌های هواپیما می‌شوند، می‌چرخند. وقتی سرعت باد به‌قدر کافی بالا باشد که بر اصطکاک توربین بادی پیشران غلبه کند، کنترل‌ها اجازه چرخش روتور را می‌دهند، ازاین‌رو مقداری نیرو تولید می‌شود. سرعت پیشروی باد به‌طورمعمول با سرعتی باد آرام حدود ۴ متر در ثانیه می‌باشد و به‌این‌ترتیب خروجی نیرو به‌سرعت با افزایش سرعت باد بالا می‌رود. وقتی خروجی به مقدار حداکثری نیروی ماشین طراحی‌شده می‌رسد، کنترل‌های توربین بادی ناظر بر خروجی نیروی پایه می‌باشند. سرعت بادی که در آن سرعت توربین به نیروی پایه می‌رسد، سرعت بادی پایه توربین نامیده می‌شود و معمولاً به بادی که به حدود سرعت ۱۵ متر بر ثانیه می‌رسد، باد قوی میگویند. درصورتی‌که سرعت باد از سرعت پایه بیشتر شود، سیستم کنترل، توربین بادی را جهت جلوگیری از آسیب به ماشین خاموش می‌کند و این سرعت برش باد معمولاً حدود ۲۵ متر در ثانیه می‌باشد.

مؤلفه‌های اصلی سیستم توربین‌های بادی مدرن به‌طورمعمول شامل:

- روتور، با ۲ یا ۳ لبه که انرژی پیش راننده در باد را به انرژی مکانیکی بر شفت روتور تبدیل می‌کند؛
- گیربکس برای تبدیل آرام روتور شفت به ژنراتور الکتریکی؛
- برج بلندی که روتور بالای زمین را برای دستیابی به‌سرعت بالاتر باد نگه می‌دارد؛
- پایه محکم برای جلوگیری از تورم در طول بادهای تند یا شرایط یخبندان؛
- سیستم کنترل برای شروع و توقف توربین بادی و مشاهده اجرای درست ماشین؛

شکل ۴-۱، ساختار یک توربین بادی محور افقی[۱]یا سیستم انرژی بادی HAWT را نشان می‌دهد. توربین بادی عمودی محور یا VAWT[۲] تا حدی طراحی جایگزین HAWT می‌باشد؛ اگرچه به اندازه طراحی HAWT در پروژه‌های بکار گرفته‌شده در سراسر جهان رایج نیستند.



شکل ۴-۱ نمای سیستم انرژی بادی

۳-۴ بازارهای کاربرد انرژی بادی

بازارهای انرژی بادی می‌تواند بر اساس کاربرد نهایی تکنولوژی طبقه‌بندی شوند. پروژه‌های انرژی بادی برای کاربردهای منفصل از شبکه بیشتر رایج‌اند. هرچند بزرگ‌ترین بازار بالقوه پروژه‌های انرژی بادی با کاربردهای متصل به شبکه می‌باشند.

۱- Horizontal Axis Wind Turbine(HAWT)

۲- A Vertical Axis Wind Turbine(VAWT)

۴-۳-۱ کاربردهای منفصل از شبکه

به شکل تاریخی، انرژی بادی، در مناطق دورافتاده مزیت رقابتی نسبت به شبکه مرکزی برق داشته است و این به دلیل نیاز نسبتاً کم این توربین‌ها به نیرویی در حد KW ۱۰ می‌باشد. نیرو معمولاً کمتر از ۱۰KW دارد. در کاربردهای منفصل از شبکه، انرژی موردنیاز کاربران از طریق توربین‌های بادی به‌دست‌آمده و موجب شارژ باتری‌های متصل می‌شوند (شکل ۴-۲). در خصوص پمپ آب، از توربین بادی جهت ذخیره آب بجای ذخیره انرژی استفاده می‌شود. انرژی بادی در کاربردهای منفصل از شبکه در مقابل توسعه شبکه برق، باتری‌های غیرقابل شارژ، موتورهای دیزلی، گازی و دما برقی و کاربرد پمپاژ آب مزیت رقابتی دارد. (Leng et al. 1996).

۴-۲: توربین بادی منفصل از شبکه 10KW در مکزیک

۴-۳-۲ کاربردهای متصل به شبکه

در کاربردهای متصل به شبکه، سیستم انرژی بادی، انرژی الکتریکی را به‌طور مستقیم وارد شبکه برق می‌کند. در این حالت دو نوع کاربرد را می‌توان تشخیص داد.

۱- تولید الکتریسیته شبکه منفصل: با ظرفیت تولید توربین بادی به‌طورمعمول در اندازه‌هایKW ۱۰-۲۰۰ می‌باشد. شبکه‌های منفصل، در نواحی دورافتاده رایج‌اند در این‌گونه پروژه‌ها انرژی بادی به‌طورمعمول در سیستم‌های هیبریدی دیزل-بادی به‌کارگیری می‌شوند. نقش اولیه سیستم انرژی بادی، کمک به کاهش مقدار مصرف سوخت دیزلی می‌باشد. یک سیستم هیبریدی دیزل-بادی در شکل ۴-۳ نشان داده‌شده است.

۲- تولید الکتریسیته شبکه مرکزی: با ظرفیت تولید توربین بادی از حدودKW ۲۰۰ تاMW ۲ می‌باشد. کاربردهای توربین‌های بادی جهت تأمین برق شبکه‌های مرکزی بسیار رایج است. زمین‌های مزرعه بادی معمولاً برای اهداف دیگر مانند کشاورزی یا جنگلداری استفاده می‌شوند. رهیافت رایج برای توسعه پروژه انرژی بادی شامل نصب یک یا چند توربین بادی بزرگ‌مقیاس تر به‌وسیله افراد، سرمایه‌گذاران یا تعاونی‌ها می‌باشد.

شکل ۴-۳: یک سیستم دیزل – بادی منفصل از شبکهkW ۵۰ در قطب

یک مزرعه بادی همان‌طور که در شکل ۴-۴ ترسیم‌شده شامل مجموعه از توربین‌های بادی، دسترسی به راه‌ها، ارتباط درون الکتریکی و ایستگاه فرعی، سیستم کنترل و مشاهده

و ساختمان نگه‌دارنده برای مزارع بزرگ می‌شود. توسعه پروژه انرژی بادی وابسته به تعیین منبع باد، کسب همه مجوزها و اجازه‌نامه‌ها، طراحی و تخصیص زیرساخت‌های شهری، زیرساخت مکانیکی و الکتریکی، طرح توربین‌های بادی، خرید تجهیزات، ساخت و راه‌اندازی می‌باشد. ساخت این مزارع نیز شامل آماده‌سازی سایت، دانه‌بندی جاده‌ها، پایه‌های ساختمان توربین، نصب خطوط و انتقال‌دهنده‌های الکتریکی مجموعه، برپا کردن توربین‌ها و ساخت ساختمان و ایستگاه فرعی می‌باشد.

شکل ۴-۴: اجزا مزرعه بادی در آمریکا

تشخیص دقیق منابع بادی یکی از مهم‌ترین جنبه‌های توسعه پروژه انرژی بادی به‌عنوان منبع باد در دسترس در سایت پروژه می‌باشد که می‌تواند به شکل چشمگیری هزینه تولید انرژی بادی را متأثر کند. در مطالعات پیش امکان‌سنجی که جهت ارزیابی صرفه اقتصادی در به‌کارگیری پروژه انرژی بادی انجام می‌شود، توسعه‌دهندگان پیشنهاد می‌شود که یک سال به‌طور کامل در مکان موردنظر دقیقاً به اندازه‌گیری باد بپردازند.

برای پروژه‌های بادی دیگر (مانند پمپاژ آب و شارژ باتری منفصل از شبکه) هزینه ارزیابی سرعت باد محلی ممکن است بیشتر از هزینه خرید و نصب یک توربین بادی کوچک باشد. در این موارد ارزیابی تفضیلی منبع باد معمولاً می‌تواند کامل نباشد.

۴-۴ مدل پروژه انرژی بادی ریت اسکرین

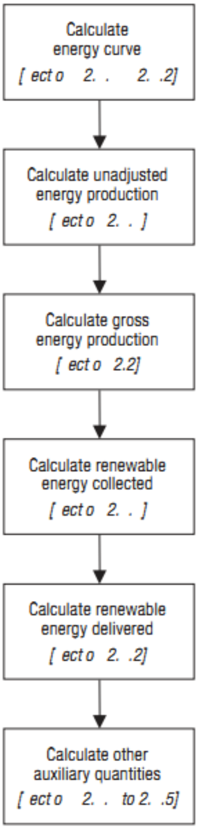
مدل پروژه انرژی بادی ریت اسکرین برای ارزیابی تولید انرژی، هزینه چرخه عمر و کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای در شبکه‌های مرکزی، شبکه‌های منفصل و پروژه‌های انرژی بادی خارج شبکه در اندازه‌های بزرگ‌مقیاس مزرعه‌های بادی تا کوچک‌مقیاس سیستم‌های هیبریدی بادی-دیزلی می‌تواند در سراسر جهان مورداستفاده قرار گیرد.

شش برگه (مدل انرژی، داده‌های تجهیزات، تحلیل هزینه، تحلیل کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای، صورت‌وضعیت مالی و تحلیل‌های ریسک (حساسیت)) در فایل دستورالعمل پروژه انرژی بادی ارائه می‌شود.

در ابتدا برگه‌های مدل انرژی و داده‌های تجهیزات تکمیل‌شده و در ادامه برگه تحلیل هزینه با توجه به برگه‌های صورت‌وضعیت تکمیل می‌گردند. برگه تحلیل گاز گلخانه‌ای و حساسیت، تحلیل‌های انتخابی هستند که به‌دلخواه کاربر تکمیل می‌گردند. برگه تحلیل گاز گلخانه‌ای برای کمک به کاربر جهت برآورد کاهش بالقوه گاز گلخانه‌ای در پروژه پیشنهادی ارائه‌شده است. برگه تحلیل حساسیت برای کمک به کاربر جهت برآورد حساسیت شاخص‌های مالی مهم در ارتباط با پارامترهای مالی و تکنیکی کلیدی قرار داده‌شده است. در کل، کاربر در روندی از بالا به پایین برای هر برگه کار می‌کند. این فرایند چندین بار جهت کمک به بهینه‌سازی طراحی پروژه انرژی بادی می‌تواند تکرار شود.

برای کمک به کاربر جهت مشخص کردن سیستم انرژی بادی پیش از ارزیابی هزینه و کارایی‌اش، بعضی مقادیر، مانند نرخ جذب انرژی بادی پیشنهادی برای پروژه‌های شبکه منفصل پیشنهاد می‌شود. مقادیر پیشنهادی یا برآورد شده مبتنی بر داده‌های ورودی می‌باشند و می‌توانند در گام اول تحلیل استفاده شوند و لزوماً مقادیر بهینه نیستند.

این بخش الگوریتم‌های مختلف استفاده‌شده برای محاسبه تولید انرژی سیستم‌های انرژی بادی در ریت اسکرین را بر اساس پایه سالیانه تشریح می‌کند. نمودار گردش کار این الگوریتم‌ها در شکل ۴-۵ نشان داده‌شده است.



شکل ۴-۵: نمودار گردش کار مدل پروژه انرژی بادی

۱-۴-۴ تولید انرژی تعدیل نشده

ریت اسکرین، میزان انرژی تعدیل نشده از توربین‌های بادی را محاسبه می‌کند. انرژی تعدیل نشده، انرژی است که یک یا چند توربین بادی در شرایط استاندارد درجه حرارت و فشار اتمسفری تولید می‌کنند. این محاسبه بر اساس منحنی تولید انرژی از توربین بادی انتخابی (واردشده در برگه داده‌های تجهیزات) و بر اساس متوسط سرعت باد در ارتفاع هاب[۱] مکان پیشنهادی صورت می‌گیرد.

۱- hub height

۲-۴-۴ توزیع سرعت باد

پارامتر توزیع سرعت باد به‌عنوان یکی از موارد موردنیاز در مدل‌سازی، با عنوان تابع چگالی احتمال وایبل[1]موردمحاسبه قرار می‌گیرد. این تابع به خاطر آنکه به‌خوبی با سرعت‌های میانگین بادی در بلندمدت برای مجموعه‌ای از مکان‌ها مطابقت دارد، اغلب در مهندسی انرژی بادی استفاده می‌شود. در بعضی موارد این مدل‌سازی، از توزیع سرعت باد ریلی[2] نیز استفاده می‌گردد که نمونه ویژه‌ای از تابع وایبل می‌باشد که در اینجا با محاسباتی که در زیر توضیح داده می‌شود، برابر با ۲ می‌باشد.

تابع تراکم احتمالی وایبل، احتمال p(x) را برای داشتن سرعت باد x در طول سال همان‌طور که در زیر آمده، بیان می‌کند (Hiester and Pennell, 1981):

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

این عبارت برای $x \geq 0, k \succ 1, C \succ 0$ معتبر است. K، پارامتر شکل در تابع وایبل (توزیع فراوانی ویبل) است که به‌وسیله کاربر مشخص می‌شود. پارامتر شکل معمولاً بین بازه ۱ تا ۳ قرار می‌گیرد. برای سرعت متوسط بادی ارائه‌شده، پارامتر شکلی پایین‌تر، توزیع به نسبت پهن سرعت باد در توزیع فراوانی ویبل (نزدیک به متوسط) را نشان می‌دهد درحالی‌که عامل شکلی بالاتر، توزیع به نسبت باریک سرعت باد حول متوسط را نشان می‌دهد. عامل شکلی پایین به‌طورمعمول منجر به تولید انرژی بالاتر برای متوسط ارائه‌شده سرعت باد می‌شود. C عامل مقیاس است که از معادله زیر حساب می‌شود (Hiester and Pennell, 1981):

---

[1]- Weibull probability density function

[2]- Rayleigh wind speed distribution

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

که در اینجا $\bar{x}$، مقدار متوسط سرعت باد و Γ تابع گاما است.

در بعضی موارد، در این مدل‌سازی، توزیع سرعت باد را از محاسبه نسبت تراکم قدرت باد به سرعت باد به دست می‌آورند. ارتباط بین تراکم قدرت باد WPD و متوسط سرعت باد $\bar{v}$ عبارت است از:

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

$$\bar{v}=\sum_{x=0}^{x=25} xp(x)$$

که در اینجا ρ، تراکم هوا و $p(x)$ تابع احتمال سرعت باد x در طول سال است.

۳-۴-۴ منحنی انرژی

داده‌های منحنی انرژی، کل مقدار انرژی توربین بادی است که در دامنه متوسط سالیانه سرعت‌های باد تولیدشده باشد. در ریت اسکرین، منحنی انرژی، در دامنه سرعت باد ۳ تا ۱۵ متر بر ثانیه (m/s) - متوسط سالیانه سرعت باد- مشخص شده و به شکل نموداری در برگه داده‌های تجهیزات نمایش داده می‌شود.

کاربر می‌تواند داده‌های منحنی انرژی را با انتخاب در میان سه منبع داده‌ی زیر مشخص کند: استاندارد (Standard)، برحسب عرف (Custom) و تعریف‌شده به‌وسیله کاربر (User-defined). برای نمونه‌های استاندارد و عرفی، در این مدل‌سازی، داده‌های منحنی توان توربین بادی را که به‌وسیله کاربر و تابع احتمال وایبل توصیف‌شده در قسمت ۴-۴-۳ برای محاسبه داده‌های منحنی انرژی واردشده بکار می‌برد. در حالت تعریف‌شده به‌وسیله کاربر، کاربر مستقیماً داده‌های منحنی انرژی را وارد می‌کند.

در حالت‌های استاندارد و عرفی، کاربر، منحنی توان توربین بادی را به‌عنوان تابعی از سرعت باد در افزایش‌هایی از 0m/s تا 25m/s مشخص می‌کند. هر نقطه‌ای در منحنی انرژی، $E_{\bar{v}}$، سپس محاسبه می‌شود مانند:

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

که در اینجا $\bar{v}$ میانگین سرعت باد در نظر گرفته‌شده $\left(\bar{v} = 3,4,...,15 m/s\right)$، P_x توان توربین در سرعت باد x و $p(x)$ تابع تراکم احتمالی وایبل برای سرعت باد x می‌باشد که برای متوسط سرعت باد $\bar{v}$ محاسبه می‌شود.

۴-۴-۴ انرژی تعدیل نشده

انرژی تعدیل نشده، انرژی است که به‌وسیله توربین‌ها در وضعیت استاندارد درجه حرارت و فشار اتمسفر تولید می‌شود. این محاسبه بر اساس متوسط سرعت باد در ارتفاع هاب مکان پیشنهادی است. سرعت باد در ارتفاع هاب معمولاً به‌طور چشمگیری بالاتر از سرعت باد اندازه‌گیری شده در ارتفاع بادسنج به خاطر برش بادی است. این مدل معادله قانون قدرت را به شکل زیر برای محاسبه متوسط سرعت باد در ارتفاع هاب بکار می‌گیرد (Gipe, 1995):

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

که در اینجا $\bar{V}$ متوسط سرعت باد در ارتفاع هاب H، $\bar{V}_0$ سرعت باد در ارتفاع بادسنج H_0 و α توان برش بادی است. مقادیر $\bar{V}_0$، H، H_0 و α به‌وسیله کاربر مشخص می‌شوند.

زمانی که متوسط سالیانه سرعت باد در ارتفاع هاب $\bar{V}$ محاسبه می‌شود، انرژی تعدیل نشده E_U به‌سادگی با درون‌یابی کردن از منحنی انرژی در مقدار $\bar{V}$ محاسبه می‌شود.

۵-۴-۴ تعیین انرژی خام

محاسبه انرژی خام، کل انرژی تولیدشده به‌وسیله تجهیزات انرژی بادی پیش از هر نوع هدر رفتی، در سرعت باد، فشار اتمسفر و وضعیت آب‌وهوایی موجود در سایت می‌باشد. این پارامتر در ریت اسکرین برای تعیین میزان انرژی دریافتی استفاده می‌شود. تولید انرژی خام E_G از این طریق محاسبه می‌شود:

$$E_G = E_U C_H C_T$$

که در اینجا E_U، انرژی تعدیل نشده و C_H و C_T ضرایب میزان فشار و درجه حرارت می‌باشند. C_T و C_H بدین شکل به دست می‌آیند:

$$C_H = \frac{P}{P_0}$$

$$C_T = \frac{T_0}{T}$$

که در اینجا P متوسط سالیانه فشار اتمسفر در سایت می‌باشد، P_0 فشار اتمسفری استاندارد 101.3kPa، T متوسط سالیانه درجه حرارت برحسب در سایت و T_0 درجه حرارت استاندارد برحسب ۲۸۸٫۱K می‌باشد.

۶-۴-۴ انرژی تجدید پذیر دریافتی

در مدل پروژه انرژی بادی ریت اسکرین، انرژی تجدید پذیر دریافتی جهت تزریق به شبکه سراسری برق شبکه برق بدون محاسبه هدر رفت های مختلف حساب می‌شود. در موارد خاص کاربردهای منفصل از شبکه، مقدار انرژی بادی که می‌تواند به‌وسیله شبکه یا بار جذب شود، نیز در نظر گرفته می‌شود.

۱-۶-۴-۴ مجموع انرژی تجدید پذیر

مجموع انرژی تجدید پذیر مساوی با مقدار ویژه انرژی تولیدشده به‌وسیله تجهیزات انرژی بادی می‌باشد:

$$E_C = E_G c_L$$

که در اینجا E_G تولید انرژی خام و c_L ضرایب هدر رفت ها که بدین شکل محاسبه می‌شود:

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

که در اینجا λ_a هدر رفت های آرایه، $\lambda_{s\&i}$ هدر رفت های نشت‌های آئرودینامیکی[۱]و یخزدگی، λ_d هدر رفت های ازکارافتادگی و λ_m هدر رفت های متفرقه می‌باشد. ضرایب λ_d، $\lambda_{s\&i}$، λ_a و λ_m به‌وسیله کاربر در برگه مدل انرژی تعیین می‌شود.

۲-۶-۴-۴ میزان جذب و انرژی تجدید پذیر دریافتی

مدل، انرژی بادی دریافتی E_D بر این اساس حساب می‌کند:

$$E_D = E_C \mu$$

که در اینجا E_C، مجموع انرژی تجدید پذیر و μ میزان جذب انرژی بادی می‌باشد.

میزان جذب انرژی بادی، مجموع میزان انرژی بادی است که می‌تواند به‌وسیله شبکه منفصل یا سیستم خارج از شبکه جذب شود. در خصوص تزریق انرژی تولیدی به شبکه مرکزی، این میزان همیشه برابر با ۱۰۰ درصد و ازآنجا فرض بر آن است که مقیاس شبکه

[۱]- the airfoil soiling

به حدی بزرگ است که بتواند تمام انرژی تولیدشده به‌وسیله انرژی بادی را جذب کند. برای کاربردهای منفصل از شبکه و مجزا کاربر مقدار جذب انرژی را وارد می‌کند.

در کاربردهای منفصل از شبکه، مدل نرخ جذب انرژی بادی پیشنهادی را به دست می‌آورند. این میزان با درون‌یابی در جدول ۱ به دست می‌آید و در اینجا سطح نفوذ باد (WPL) بدین شکل محاسبه می‌شود:

$$WPL = \frac{WPC}{PL}100$$

که در اینجا WPC، ظرفیت نیروگاه بادی و PL پیک بار مشخص‌شده به‌وسیله کاربر است. WPC با ضرب مقدار توربین‌های بادی بر ظرفیت (نیرو) میزان یا پلاک اسمی‌شان می‌باشد.

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%

شکل ۴-۶: نرخ جذب انرژی پیشنهادی برای کاربردهای منفصل از شبکه

همان‌طور که در شکل ۴-۶ دیده می‌شود، میزان جذب انرژی بادی پیشنهادی بر اساس متوسط سرعت باد و سطح نفوذ باد تغییر می‌کند. توجه داشته باشید که این میزان بر اساس سرعت باد در ارتفاع هاب توربین بادی می‌باشد. مقادیر جدول ۵-۹ از شبیه‌سازی‌های اجراشده برای برآورد مقدار انرژی بادی دریافتی از مزارع بادی نصب‌شده در مناطق دورافتاده (مانند کاربردهای مجزا و منفصل از شبکه) می‌باشند. شبیه‌سازی‌ها، ترکیبات رژیم بادی، نیم‌رخ‌های بار و منحنی‌های کارکرد تجهیزات را در نظر گرفت. نتایج

تفضیلی در کار تحقیقی رانگی و همکاران (۱۹۹۲) ارائه‌شده است. در این مدل تنها مقادیر پیشنهادی برای سطوح نفوذ باد کمتر از ۲۵ درصد ا شده است. هرچند، اگر سطح نفوذ باد بیش از ۳ درصد باشد و سرعت باد در ارتفاع هاب m/s ۸,۳ یا بالاتر باشد، آنگاه این مدل مقادیر پیشنهادی را پوشش نمی‌دهد. تحت این شرایط، میزان جذب انرژی بادی به شکل وسیعی بسته به پیکره‌بندی سیستم و استراتژی‌های کنترل تطبیقی فرق می‌کند.

۴-۴-۶-۳ انرژی تجدید پذیر مازاد در دسترس

انرژی تجدید پذیر مازاد در دسترس E_x به‌سادگی از طریق تفاوت بین مجموع انرژی بادی E_c و انرژی بادی رسیده E_D به دست می‌آید:

$$E_x = E_c - E_D$$

۴-۴-۷ بازده ویژه

بازده ویژه Y با تقسیم مجموع انرژی بادی E_C بر مساحت پیچدار توربین‌ها به دست می‌آید:

$$Y = \frac{E_C}{NA}$$

که در اینجا N تعداد توربین‌ها و A مساحت پیچدار روتور یک توربین بادی واحد می‌باشد.

۴-۴-۸ عامل ظرفیت نیروگاه بادی

عامل ظرفیت نیروگاه بادی PCF، میزان نیروی متوسط تولیدشده به‌وسیله نیروگاه در طول یک سال به ظرفیت توان اسمی‌اش را ارائه می‌کند؛ که به شکل زیر محاسبه می‌شود (Li and Priddy, 1985):

$$PCF = \left(\frac{E_C}{WPC \qquad h_Y} \right) 100$$

که در اینجا E_C مجموع انرژی تجدید پذیر است که با kWh بیان می‌شود، WPC ظرفیت نیروگاه بادی است که با kW نشان داده می‌شود و h_Y مقدار ساعت‌ها در یک سال می‌باشد.

۹-۴-۴ اعتبار

کارشناسان فراوانی برای توسعه، آزمون و اعتبارسنجی مدل پروژه انرژی بادی ریت اسکرین شرکت کرده‌اند. این کارشناسان شامل کارشناسان مدل‌سازی انرژی بادی، کارشناسان مهندسی هزینه، متخصصان مدل‌سازی گاز گلخانه‌ای، متخصصان تحلیل مالی و دانشمندان هواشناسی می‌شود.

در این بخش دو نمونه از این اعتبارسنجی‌ها ارائه می‌شود. اول، پیش‌بینی مدل پروژه انرژی بادی ریت اسکرین با نتایج برنامه شبیه‌ساز ساعتی مقایسه می‌شود. سپس پیش‌بینی‌های مدل‌سازی شده با داده‌های سالیانه اندازه‌گیری شده در سایت پروژه انرژی بادی واقعی مقایسه می‌شود.

۱-۹-۴-۴ اعتبارسنجی مدل انرژی بادی در مقایسه با مدل ساعتی

در این بخش پیش‌بینی‌های مدل پروژه انرژی بادی ریت اسکرین با مدل ساعتی مقایسه می‌شود. مدل ساعتی استفاده‌شده، مدل هومر (HOMER) یک مدل بهینه برای طراحی سیستم‌های قدرت الکتریکی مستقل می‌باشد (NREL, 2001).

در شبیه‌سازی هومر از طراحی‌های بهینه سیستم‌های قدرت هیبریدی استفاده می‌شود. در مدل‌سازی هومر می‌توان هر ترکیبی از توربین‌های بادی، پنل های فتوولتائیک، موتور دیزلی و مخزن باتری را مدل‌سازی کرد. در اعتبارسنجی‌های کنونی از قابلیت‌های بهینه‌سازی هومر استفاده نمی‌شود؛ این برنامه تنها به‌عنوان ابزار شبیه‌سازی استفاده می‌شود. دو پیکره‌بندی آزمایش شد: مزرعه بادی کوچک مستقل از شبکه و مزرعه بادی بزرگ متصل به شبکه سراسری برق.

مزرعه بادی کوچک

پیکره‌بندی سیستمی که در اولین آزمایش استفاده شد، بر اساس پروژه بادی واقعی در کوتزنبو[1] آلاسکا، جامعه کوچک ساحلی حدود ۵۰ کیلومتری قطب شمال بود (CADDET, 2001). این سیستم شامل ۱۰ توربین با ظرفیت بازه ترکیبی 500kW می‌شود. این سیستم به شبکه محلی کوچکی با جمعیت کل ۳۵۰۰ نفر خدمات می‌دهد. این سیستم برای برطرف نمودن ۶ درصد کل تقاضای الکتریکی شهر طراحی‌شده است. پیکره‌بندی این سیستم در شکل ۴-۷ خلاصه می‌شود.

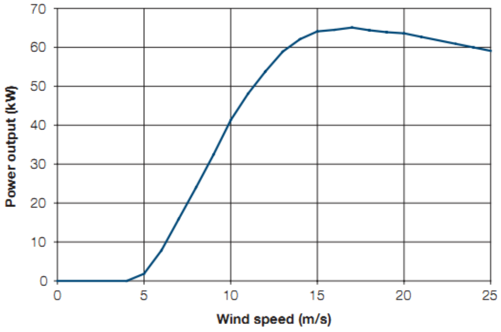
Turbines	Atlantic Orient Corporation AOC 15/50
Number of turbines	10
Rotor diameter	15 m
Swept area	177 m²
Hub height	24 m
Grid type	Isolated local grid
Local grid peak load	3.6 MW

شکل ۴-۷: پیکره‌بندی سیستم بادی کوتزیبو

منحنی خروجی قدرت AOC15/50 در شکل ۴-۸ نشان داده می‌شود. داده‌های مشابهی برای هر دو برنامه نرم‌افزار استفاده شد.

جهت به دست آوردن داده‌های آب‌وهوایی از پایگاه داده آب‌وهوایی آنلاین ریت اسکرین برای کوتزیبو استفاده شد. ریت اسکرین و هومر در نوع سرعت بادی که به داده آن نیاز دارند، متفاوت‌اند. هومر به اطلاعات ماهانه در خصوص مقادیر سرعت باد نیاز دارد (همان‌طور که در شکل ۴-۹ نشان داده‌شده است) و به‌طور تصادفی مقادیر ساعتی را از آن‌ها برآورد می‌کند. ریت اسکرین به‌سادگی به اطلاعات سالانه سرعت باد نیاز دارد که برابر با 5.8 m/s است (همه مقادیر بادها در 9.4m اندازه‌گیری می‌شوند). در هر دو مدل، توزیع باد وایبل با پارامتر شکلی 2.0 متوسط سالیانه فشار اتمسفر 101.1kPa و متوسط سالیانه درجه حرارت ۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

[1]- Kotzebue



شکل ۴-۸: منحنی قدرت توربین AOC15/50

ریت اسکرین به توان برش باد برای محاسبه اتوماتیک سرعت باد در ارتفاع هاب نیاز دارد. مقدار عددی توان به‌کارگیری شده برابر با ۰,۱۴ بوده که در آن صورت سرعت باد در ارتفاع هاب 6.6m/s می‌شود. در روش هومر عامل مقیاس بندی-سرعت باد به شکل دستی وارد می‌شود. مقادیر عددی در ۶,۶/۵,۸ یا ۱,۱۳۸ به‌گونه‌ای تنظیم‌شده‌اند که هم ریت اسکرین و هم هومر متوسط مشابه سرعت باد را در ارتفاع هاب استفاده کنند.

Month	Average Wind Speed (m/s)
Jan	6.5
Feb	5.5
Mar	5.3
Apr	5.4
May	5.1
Jun	5.6
Jul	5.7
Aug	5.8
Sep	6.1
Oct	6.2
Nov	6.7
Dec	6.0
Yearly Average	**5.8**

شکل ۴-۹: سرعت‌های باد متوسط در کوتزبو، آلاسکا

مقایسه بین هومر و ریت اسکرین به کمی قضاوت نیاز دارد؛ زیرا دو برنامه لزوماً نیاز به داده‌های مشابه ندارند و نه لزوماً برای پدیدهای فیزیکی یکسان نتایجی یکسان را به دست می‌دهند. از بسیاری وجوه، ریت اسکرین توضیحات دقیق‌تری از سیستم را ارائه می‌کند. به‌عنوان‌مثال ریت اسکرین به‌طور خودکار، ضریب تنظیم فشار و ضریب تنظیم درجه

حرارت را محاسبه می‌کند اما در روش هومر این مقادیر به‌طور دستی و به شکل پارامتر مقیاسبندی-منحنی قدرت وارد می‌شوند. در ریت اسکرین به کاربر اجازه می‌دهد تا هدر رفت های آرایه ناشی از نشت‌های آئرودینامیکی و یخزدگی و نیز ناشی از ازکارافتادگی را مشخص کند، اما این‌چنین قابلیتی در روش هومر وجود ندارد. درنهایت ریت اسکرین به کاربر اجازه می‌دهد، نرخ جذب انرژی باد را تعیین کند که این قابلیت نیز در روش هومر وجود ندارد. بدین خاطر، این مقایسه زمانی بیشتر معنادار می‌شود که به‌جای انرژی تجدید پذیر دریافتی، مقادیر تولید انرژی تعدیل نشده‌ای که با ریت اسکرین محاسبه می‌شود را مبنا قرار دهیم.

شکل ۴-۱۰ تولیدات انرژی سالیانه پیش‌بینی‌شده به‌وسیله ریت اسکرین و هومر را مقایسه می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مشابهت بین دو برنامه نرم‌افزاری مشهود است. همچنین در بخش بعدی نشان داده می‌شود که زمانی که عوامل مختلف هدر رفت انرژی و تأثیرات درجه حرارت و فشار شناسایی و تنظیم شوند، نتایج حاصل از داده‌های تجربی انرژی‌های تجدید پذیر و نتایج خاص از روش‌های هومر و ریت اسکرین هماهنگی خواهد داشت.

RETScreen Unadjusted Energy Production (MWh)	HOMER Total Energy Production (MWh)	Difference
1,532	1,515	+1.12%

شکل ۴-۱۰: مقایسه تولید انرژی سالیانه پیش‌بینی‌شده- مزرعه بادی کوچک

مزرعه بزرگ بادی

پیکربندی آزمایش دوم، در مزرعه بادی بزرگ متصل به شبکه سراسری برق ارائه می‌شود. پارامترهای اصلی سیستم به شکل زیر ارائه می‌شود:

- توربین‌های 76 Vestas V47-600kW(ارتفاع هاب 55m، قطر 47m)
- متوسط سالیانه سرعت باد: 8.1m/s
- متوسط سالیانه درجه حرارت ۱۲ درجه سانتی‌گراد.
- توزیع سرعت باد: وایبل، پارامتر شکل: 1.8
- توان برش بادی: 0.14

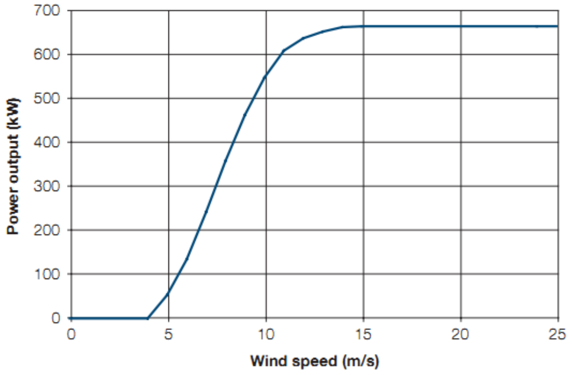
منحنی توان خروجی قدرت توربین ویستاس V47-600kW در شکل ۵-۱۴ نشان داده‌شده است. داده‌های مشابه برای هر دو نرم‌افزار استفاده شد.

بر اساس ریت اسکرین، متوسط سرعت باد در ارتفاع هاب 10.3m/s می‌باشد. همانند مزرعه بادی کوچک، پارامتر مقیاس- سرعت باد برابر با 10.3/8.1 یا 1.272 می‌باشد؛ که به‌طور دستی در هومر وارد شد، به‌گونه‌ای که هر دو برنامه متوسط یکسان سرعت باد را در ارتفاع هاب استفاده می‌کنند.

مانند قسمت قبل، به‌جای انرژی تجدید پذیر واقعی دریافتی، مقادیر انرژی تعدیل نشده محاسبه‌شده به‌وسیله ریت اسکرین استفاده شد تا مقایسه آن را با روش هومر آسان کند. این مقایسه در شکل ۴-۱۱ ارائه شده است. بار دیگر توافق بین دو برنامه نرم‌افزاری عالی بود.

RETScreen Unadjusted Energy Production (GWh)	HOMER Total Energy Production (GWh)	Difference
258.2	265.2	**-2.64%**

شکل ۴-۱۱: مقایسه تولید انرژی سالیانه پیش‌بینی‌شده- مزرعه بادی بزرگ



شکل ۴-۱۲: منحنی قدرت توربین ویستاس V47-600kW

۴-۴-۹-۲ اعتبارسنجی مدل انرژی بادی در مقایسه با داده‌های مشاهده‌شده

سیستمی با ۱۰ توربین در فازهای مختلف نصب شدند. تولید انرژی توربین‌های ۱-۳ در سال‌های ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ در دسترس‌اند؛ و در خصوص توربین‌های ۴-۱۰، تولید انرژی آن‌ها در بازه زمانی جولای ۱۹۹۹ تا ژوئن ۲۰۰۰ موجود است. اشکال تولید الکتریسیته می‌توانند در پژوهش کادیت (۲۰۰۱)[۱]یافت شوند. بیرگی (۲۰۰۰) نیز کارکرد سیستمی برای ۱۰ توربین را گزارش کرده است. در به‌کارگیری این داده‌ها می‌بایست احتیاط کرد و این به دلیل برخی مشکلات مربوط تنظیمات موردنیاز بخصوص در سال‌های اولیه تولید و ... می‌باشد. موضوعی که بایستی وقتی مقایسه زیر خوانده می‌شود، به ذهن سپرد. سرعت‌های مشاهده‌شده از بادهای وزیده همان‌طور که در شکل ۵-۱۶ نشان داده‌شده است، به‌عنوان ورودی‌های ریت اسکرین استفاده شد. در فقدان اطلاعات سایر اطلاعات، برآوردهای عددی زیر در نرم‌افزار وارد شد: ۹۵ درصد جذب انرژی بادی، ۳ درصد هدر رفت های آرایه، ۵ درصد هدر رفت های نشت‌های آئرودینامیکی و یخزدگی و ۵ درصد برای هدر رفت های متفرقه. برآورد، هدر رفت های حاصل ازکارافتادگی مشکل است. بنا بر نظر کادیت (۲۰۰۱) این توربین‌ها ۹۶ درصد از زمان در دسترس‌اند؛ هرچند که شکل

---

[۱]- CADDET (2001)

ازکارافتادگی‌های بسیاری از این توربین‌ها به خاطر خرابی‌های شبکه و برنامه زمانی نگهداری مستثنا شده است که بایستی مقادیرشان در ریت اسکرین استفاده شود. سایر پارامترهای مرتبط با هدر رفت های حاصل از ازکارافتادگی در ریت اسکرین به‌سختی در حدود ده درصد برآورد شده‌اند.

جدول ۵-۱۶، پیش‌بینی‌های ریت اسکرین را در مقابل تولید واقعی انرژی خلاصه می‌کند. ریت اسکرین به شکل منطقی، تولید واقعی الکتریسیته را پیش‌بینی می‌کند و در این خصوص به‌جز اطلاعات مربوط به سال ۱۹۹۹ اطلاعات مربوط به تولید انرژی پروژه‌های مختلف را دارا می‌باشد. برای مثال وقتی تولید توربین‌ها ۱-۳ در سال‌های ۱۹۹۸ و در ۱۹۹۹ مقایسه شد، مشخص شد که ۳ توربین موردنظر در سال ۱۹۹۹ تنها ۲۳ درصد انرژی کمتر در ۱۹۹۹ تولید کردند هرچند که متوسط باد ۱۰ درصد بالاتر از ۱۹۹۸ بود. همچنین تولید متوسط هر توربین با سرعت بادی در حدود 5.4 m/s، 69.5MWh در سال ۱۹۹۹ بنا به گفته کادیت (۲۰۰۱) بایستی می‌بود اما این میزان در واقعیت 117.0MWh بود. در سال ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ میزان انرژی تولیدی در سرعت بادی در حدود 5.4m/s مشابه نظر بیرگی (۲۰۰۰) می‌باشد. همان‌طور که پیش‌ازاین گفته شد این مشکل ممکن است به علت تنظیمات موردنیاز در سیستم انرژی بادی نصب‌شده در سال اول اجرای آن باشد و سپس حل شده است. مقایسه پیش‌بینی‌های ریت اسکرین با داده‌های واقعی بابا در نظر گرفتن این شرایط قابل‌قبول است و این همراه با مقایسه مدل به مدل اعتبارسنجی مدل انرژی بادی با مدل ساعتی به‌قدر کافی و قابل‌قبول اعتبار تحلیل‌های ریت اسکرین را برای مطالعات امکان‌سنجی پروژه‌های انرژی بادی نشان می‌دهد.

Period	Turbines	Average Wind Speed (m/s)	RETScreen Prediction (MWh)	Actual Electricity Production (MWh)	Difference
1998*	1-3	4.9	250	270.9	-8%
1999*	1-3	5.4	317	208.6	+52%
July 1999-June 2000*	4-10	5.1	646	546.9	+18%
1999-2000**	1-10	5.4	1,057	≈1,170	-10%

جدول ۴-۱۳: مقایسه پیش‌بینی‌های ریت اسکرین در مقابل داده‌های مشاهده‌شده در کوتزنبو در آلاسکا
(**From Bergey & *From CADDET)

در این فصل الگوریتم‌های استفاده‌شده در مدل انرژی بادی ریت اسکرین به تفضیل نشان داده شد. در این مدل، منحنی قدرت مخصوص و قدرت تعریف‌شده توسط کاربر و تابع توزیع احتمال سرعت باد وایبل جهت محاسبه منحنی انرژی توربین استفاده می‌شود. میزان تولید انرژی تحت تأثیرات فشار و درجه حرارت بعلاوه برای هدر رفت های مختلف تنظیم می‌شود. در مورد کاربردهای منفصل و مجزا، میزان انرژی باد دریافتی در محاسبه نرخ جذب انرژی باد در نظر گرفته می‌شود. مقایسه پیش‌بینی‌های مدل ریت اسکرین در مقابل نتایج برنامه شبیه‌سازی ساعتی و داده‌های مشاهده‌شده نشان می‌دهد که صحت مدل پروژه انرژی بادی ریت اسکرین برای مطالعات پیش امکان‌سنجی عالی است، به‌خصوص با در نظر گرفتن این واقعیت که ریت اسکرین تنها به یک نقطه از داده‌های سرعت باد در مقابل ۸۶۷۰ نقطه داده برای اکثر مدل‌های شبیه‌سازی ساعتی نیاز دارد.

در ادامه جهت پیش امکان‌سنجی پروژه‌های انرژی بادی و ارزیابی اولیه‌ای از دورنمای انواع مختلف پروژه‌های بادی قابل انجام در مکان‌های مختلف، در ابتدا برای نمونه به تحلیل مقایسه‌ای قابلیت‌های مختلف چندین شهر نمونه در ایران و جهان برای به‌کارگیری انرژی بادی پرداخته می‌شود و سپس به تحلیل چندین نمونه از پروژه‌های بادی در نرم‌افزار ریت اسکرین پرداخته خواهد شد و ازآنجاکه این پروژه‌ها، پروژه‌های واقعی انجام‌شده در مناطق مختلف هستند در انتها، نتایج به‌دست‌آمده از این پروژه‌ها موردبررسی قرار می‌گیرد.

۴-۵ توصیف پروژه

۴-۵-۱ شرح وظایف

شرکت انرژی‌های نو، موسسه‌ای دانش‌بنیان در ایران که در نظر دارد مطالعه‌ای درزمینه مقایسه میزان انرژی بادی در شهرهای نمونه انجام دهد. سیستم هیبرید در نظر گرفته‌شده در این مطالعه شامل یک عدد توربین بادی ۶ کیلووات به همراه دیزل ژنراتور است که به‌صورت مستقل از شبکه جهت نصب در شهرهای نمونه استفاده می‌شود.

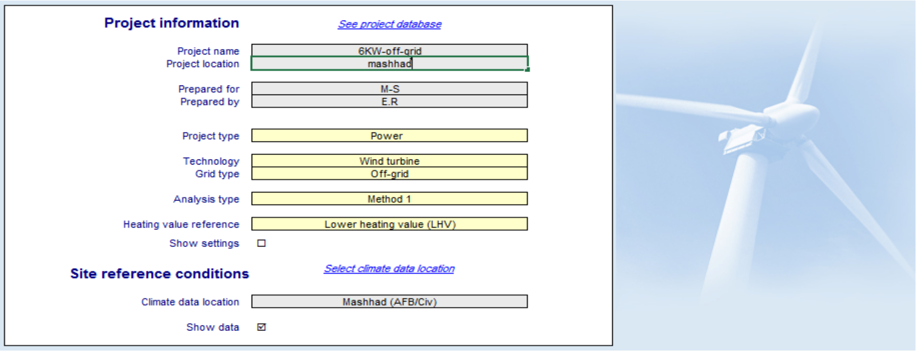
- **اطلاعات مکانی:** شهرهای نمونه موردبررسی عبارت‌اند از: آبادان، مشهد، ایلام، سپیدان، بم، تکاب و تبریز.
- **اطلاعات سایت:** برای هرکدام از شهرها متناسب با محل در گزارش تهیه‌شده ارائه خواهد شد.
- **اطلاعات مالی:** نرخ تورم برابر با ۴ درصد، طول عمر پروژه ۲۰ سال

مطالعه ریت اسکرین پروژه موردنظر را برای شهرهای مختلف آماده کنید و نتایج مهم به‌دست‌آمده را گزارش کنید.

۴-۶ پروژه انرژی بادی مقایسه سیستم هیبرید بادی-دیزلی در چند شهر نمونه ایران

۱-۶-۴ شهر مشهد

سیستم هیبرید در نظر گرفته‌شده در این مطالعه جهت بررسی مدل انرژی و هزینه‌های آن شامل یک عدد توربین بادی ۶ کیلووات به همراه دیزل ژنراتور است که به‌صورت مستقل از شبکه جهت نصب در شهر مشهد می‌باشد اطلاعات پروژه در شکل زیر قابل‌مشاهده است.



شکل ۴-۱۴

در قسمت محل انتخاب آب‌وهوا شهر مشهد انتخاب‌شده است که نرم‌افزار به‌صورت مستقیم اطلاعات را دریافت کرده و نمایش می‌دهد. در شکل زیر اطلاعات مربوط به آب‌وهوا برای شهر مشهد قابل‌مشاهده است.

	Unit	Climate data location	Project location
Latitude	°N	36.3	36.3
Longitude	°E	59.6	59.6
Elevation	m	999	999
Heating design temperature	°C	-5.1	
Cooling design temperature	°C	35.9	
Earth temperature amplitude	°C	25.6	

Month		Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
		°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January		0.8	72.3%	2.33	91.0	2.3	1.5	533	0
February		2.9	67.8%	3.03	90.8	3.1	3.1	423	0
March		8.2	65.7%	3.58	90.4	4.1	8.7	304	0
April		14.4	57.4%	4.92	90.1	4.1	17.8	108	132
May		19.3	45.7%	6.50	89.9	4.1	24.8	0	288
June		24.0	34.7%	7.81	89.4	4.7	30.0	0	420
July		26.1	32.9%	7.64	89.2	5.0	31.8	0	499
August		24.0	30.6%	7.14	89.5	4.4	29.2	0	434
September		19.6	36.1%	5.72	90.0	3.5	24.0	0	288
October		13.7	45.6%	4.11	90.6	2.8	16.6	133	115
November		8.6	63.0%	2.86	90.9	2.0	9.6	282	0
December		3.4	71.6%	2.17	90.9	1.9	3.5	453	0
Annual		13.8	51.9%	4.83	90.2	3.5	16.8	2,236	2,176
Measured at	m					10.0	0.0		

Complete Energy Model sheet

شکل ۴-۱۵

این اطلاعات شامل مختصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) منطقه موردنظر، ارتفاع از سطح دریا، کمترین، بیش‌ترین و میانگین دمای ثبت‌شده و همچنین تمامی اطلاعات آب‌وهوایی به‌صورت میانگین ماهیانه و سالیانه که در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین اندازه‌گیری شده‌اند.

به دلیل استفاده از توربین بادی میزان سرعت باد منطقه موردنظر اهمیت فراوانی دارد؛ همان‌طور که در اطلاعات آب‌وهوایی ملاحظه می‌شود، میانگین سرعت باد در ماه‌های مختلف سال داده‌شده است که در فصول بهار و تابستان سرعت باد بیش‌ترین مقدار خود را دارد و حداکثر سرعت در ماه ژوئن برابر با ۵ متر بر ثانیه و کمترین سرعت مربوط به ماه دسامبر با میانگین ۱٫۹ متر بر ثانیه است و همچنین سرعت میانگین سالانه برابر با ۳٫۵ متر بر ثانیه است.

شکل زیر مربوط به مدل و توان تولیدی برحسب سرعت باد توسط توربین بادی استفاده‌شده در سیستم هیبریدی می‌باشد. سرعت متوسط باد در ارتفاع ۱۸ متری در این منطقه به ۳٫۸ متر بر ثانیه می‌رسد.

Resource method	Month	Unit	Wind speed	Mashhad (AFB/Civ)	Electricity delivered to load	
			m/s	m/s	MWh	
	January		2.3	2.3	0.00	
	February		3.1	3.1	0.23	
	March		4.1	4.1	0.54	
	April		4.1	4.1	0.51	
	May		4.1	4.1	0.51	
	June		4.7	4.7	0.68	
	July		5.0	5.0	0.80	
	August		4.4	4.4	0.60	
	September		3.5	3.5	0.32	
	October		2.8	2.8	0.00	
	November		2.0	2.0	0.00	
	December		1.9	1.9	0.00	
	Annual		**3.5**	**3.5**	**4.18**	
Measured at		m	10	10		
Wind shear exponent			0.15			
Wind turbine						
Power capacity per turbine		kW	6.0			
Manufacturer			Eoltec SAS			
Model			Scirocco E5.6-6 - 18m			
Number of turbines			1			
Power capacity		kW	6.0			$ 5,500
Hub height		m	18	3.8 m/s		
Rotor diameter per turbine		m	6			
Swept area per turbine		m²	25			
Energy curve data			Standard			
Shape factor			2.0			

شکل ۴-۱۶

در جداول زیر، نتایج مربوط به تولید توان توسط منابع تولید انرژی آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود توان تولیدی توسط توربین بادی برابر با ۴٫۲ مگاوات در طول سال است که می‌تواند ۴۷٫۷ درصد از کل بار تأمینی در طی یک سال باشد. توان تولیدی توسط دیزل ژنراتور در مدت یک سال برابر با ۴٫۶ مگاوات است که می‌تواند ۵۲٫۳ درصد از کل بار را تأمین کند، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و مقایسه نسبت‌های تولید توان استفاده از توربین بادی در این منطقه مناسب نمی‌باشد.

Array losses	%	0.0%		☑ Show data		Per turbine
Airfoil losses	%	3.0%				
Miscellaneous losses	%	3.0%				
Availability	%	95.0%				
				Gross energy production	MWh	5
Summary				Losses coefficient		0.89
Capacity factor	%	8.0%		Specific yield	kWh/m²	170
Electricity delivered to load	MWh	4.2	47.7%			
Peak load power system						
Technology		Reciprocating engine				
Fuel type		Diesel (#2 oil) - L				
Fuel rate	$/L	1.000				
Charger efficiency	%	100.0%				
Suggested capacity	kW	1.0				
Capacity	kW	1	100.0%			See product database
Electricity delivered to load	MWh	4.6	52.3%			
Manufacturer						
Model						
Heat rate	kJ/kWh	18,000				

۴-۱۷

اطلاعات مربوط به خروجی گازهای گلخانه‌ای در جداول زیر آمده است، در صورت تأمین کل بار توسط دیزل ژنراتور مقدار ۱۱٫۷ تن گاز گلخانه‌ای CO_2 وارد هوا خواهد شد که با استفاده از توربین بادی مقدار آن به ۶٫۱ تن کاهش‌یافته و این به معنای کاهش مصرف ۲۳۹۳ لیتری گازوییل و کاهش تولید ۵٫۶ تنی در گاز CO_2 توسط دیزل ژنراتور می‌باشد.

Emission Analysis

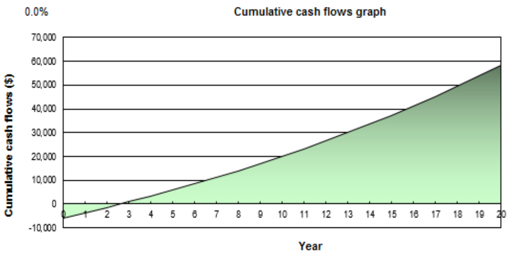
GHG emission					
Base case	tCO2	11.7			
Proposed case	tCO2	6.1			
Gross annual GHG emission reduction	tCO2	5.6			
GHG credits transaction fee	%				
Net annual GHG emission reduction	tCO2	5.6	is equivalent to	2,393	Litres of gasoline not consumed
GHG reduction income					
GHG reduction credit rate	$/tCO2				

شکل ۴-۱۸

نمودار مربوط به هزینه‌های سیستم در طی ۲۰ سال با در نظر گرفتن تورم ۴٪ در سال در شکل زیر آمده است، این نمودار هزینه تجمعی کل سیستم را در طی ۲۰ سال نشان می‌دهد همان‌طور که پیداست تقریباً از سال سوم به بعد هزینه اولیه سیستم جبران شده و باعث صرفه‌جویی هزینه‌ای در حدود ۵۸۰۰۰ دلار در دوره ۲۰ ساله بهره‌برداری خواهد شد.

Financial Analysis

Financial parameters			
Inflation rate	%	4.0%	
Project life	yr	20	
Debt ratio	%		
Initial costs			
Power system	$	5,800	100.0%
Other	$		0.0%
Total initial costs	$	5,800	100.0%
Incentives and grants	$		0.0%
Annual costs and debt payments			
O&M (savings) costs	$	300	
Fuel cost - proposed case	$	2,271	
Other	$		
Total annual costs	$	2,571	
Annual savings and income			
Fuel cost - base case	$	4,645	
Other	$		
Total annual savings and income	$	4,645	
Financial viability			
Pre-tax IRR - assets	%	41.1%	
Simple payback	yr	2.8	
Equity payback	yr	2.6	

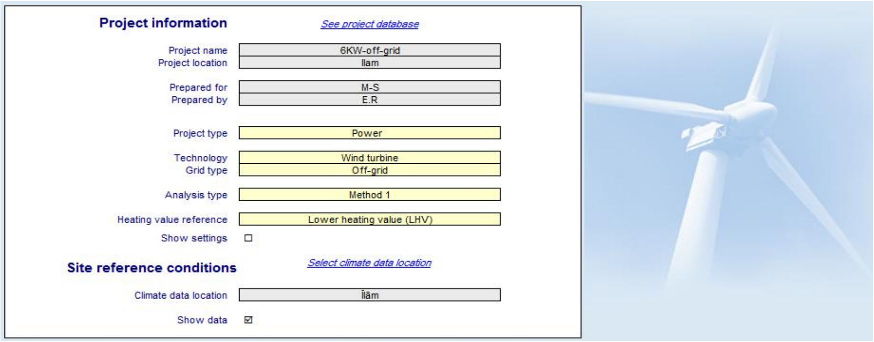


شکل ۴-۱۹

نتیجه‌گیری: استفاده از توربین بادی در این منطقه به دلیل کم بودن شدت وزش باد موجب تأمین حدود نیمی از بار در حدود ۵۲,۳ درصد توسط دیزل ژنراتور می‌شود و موجب مصرف زیاد سوخت و آزادسازی گاز گلخانه‌ای CO_2 به میزان ۵,۶ تن در فضا می‌شود که مقرون‌به‌صرفه نمی‌باشد.

۲-۶-۴ شهر ایلام

سیستم هیبریدی در نظر گرفته‌شده در این مطالعه جهت بررسی مدل انرژی و هزینه‌ها شامل یک عدد توربین بادی ۶ کیلووات به همراه دیزل ژنراتور است که به‌صورت مستقل از شبکه جهت نصب در شهر ایلام می‌باشد اطلاعات پروژه در شکل زیر قابل‌مشاهده است.



شکل ۴-۲۰

در قسمت محل انتخاب آب‌وهوا شهر ایلام انتخاب‌شده است که نرم‌افزار به‌صورت مستقیم اطلاعات را دریافت کرده و نمایش می‌دهد. در شکل زیر اطلاعات مربوط به آب‌وهوا برای شهر ایلام قابل‌مشاهده است.

	Unit	Climate data location	Project location
Latitude	°N	33.6	33.6
Longitude	°E	46.4	46.4
Elevation	m	1,101	1,101
Heating design temperature	°C	1.3	
Cooling design temperature	°C	38.6	
Earth temperature amplitude	°C	27.6	

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	6.3	65.6%	2.96	92.4	3.5	6.8	363	0
February	7.6	56.9%	3.85	92.3	3.7	8.8	291	0
March	12.1	47.0%	4.80	92.1	3.8	14.0	183	65
April	19.0	34.8%	5.48	92.0	4.0	22.0	0	269
May	25.1	23.5%	6.65	91.8	4.3	29.2	0	469
June	30.1	16.4%	7.68	91.4	4.6	34.7	0	603
July	33.1	15.7%	7.24	91.1	4.4	38.3	0	716
August	32.7	16.0%	6.73	91.3	4.3	37.4	0	702
September	28.5	18.4%	5.70	91.7	4.2	32.0	0	555
October	22.4	28.6%	3.93	92.2	4.0	24.4	0	383
November	14.2	46.6%	2.95	92.4	3.7	15.1	114	126
December	8.2	61.4%	2.62	92.5	3.6	8.6	304	0
Annual	20.0	35.8%	5.05	91.9	4.0	22.7	1,256	3,889
Measured at (m)					10.0	0.0		

Complete Energy Model sheet

شکل ۴-۲۱

این اطلاعات شامل مختصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) منطقه موردنظر، ارتفاع از سطح دریا، کمترین، بیش‌ترین و میانگین دمای ثبت‌شده و همچنین تمامی اطلاعات آب‌وهوایی به‌صورت میانگین ماهیانه و سالیانه است که در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین اندازه‌گیری شده‌اند.

به دلیل استفاده از توربین بادی میزان سرعت باد منطقه اهمیت فراوانی دارد. همان‌طور که در اطلاعات آب‌وهوایی ملاحظه می‌شود میانگین سرعت باد در ماه‌های مختلف سال داده‌شده است که در فصول بهار و تابستان سرعت باد بیش‌ترین مقدار خود را دارد و حداکثر سرعت در ماه ژوئن برابر با ۴٫۶ متر بر ثانیه و کمترین سرعت مربوط به ماه ژانویه با میانگین ۳٫۵ متر بر ثانیه است و همچنین سرعت میانگین سالانه برابر با ۴ متر بر ثانیه است.

		Wind speed	Īlām	Electricity delivered to load	
Resource method	Month	m/s	m/s	MWh	
	January	3.5	3.5	0.36	
	February	3.7	3.7	0.37	
	March	3.8	3.8	0.43	
	April	4.0	4.0	0.48	
	May	4.3	4.3	0.58	
	June	4.6	4.6	0.64	
	July	4.4	4.4	0.59	
	August	4.3	4.3	0.56	
	September	4.2	4.2	0.52	
	October	4.0	4.0	0.49	
	November	3.7	3.7	0.39	
	December	3.6	3.6	0.38	
	Annual	**4.0**	**4.0**	**5.78**	
Measured at	m	10	10		
Wind shear exponent		0.15			
Wind turbine					
Power capacity per turbine	kW	6.0			
Manufacturer		Eoltec SAS			
Model		Scirocco E5.6-6 - 18m			
Number of turbines		1			
Power capacity	kW	6.0			$ 5,500
Hub height	m	18	4.4 m/s		
Rotor diameter per turbine	m	6			
Swept area per turbine	m²	25			
Energy curve data		Standard			
Shape factor		2.0			

شکل ۴-۲۲

در جداول زیر نتایج مربوط به تولید توان توسط منابع تولید انرژی آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود توان تولیدی توسط توربین بادی برابر با ۵,۸ مگاوات در طول سال است که می‌تواند ۶۶ درصد از کل بار موردنیاز در طی یک سال باشد.

توان تولیدی توسط دیزل ژنراتور در مدت یک سال برابر با ۳ مگاوات است که می‌تواند ۳۴ درصد از کل بار باشد، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و مقایسه نسبت‌های توان تولیدی استفاده از توربین بادی در این منطقه جهت تأمین دائمی بار مناسب نمی‌باشد.

Array losses	%	0.0%		☑ Show data		Per turbine	
Airfoil losses	%	3.0%					
Miscellaneous losses	%	3.0%					
Availability	%	95.0%					
				Gross energy production	MWh		6
Summary				Losses coefficient			0.89
Capacity factor	%	11.0%		Specific yield	kWh/m²		235
Electricity delivered to load	MWh	5.8	66.0%				
Peak load power system							
Technology		Reciprocating engine					
Fuel type		Diesel (#2 oil) - L					
Fuel rate	$/L	1.000					
Charger efficiency	%	100.0%					
Suggested capacity	kW	1.0					
Capacity	kW	1	100.0%			See product database	
Electricity delivered to load	MWh	3.0	34.0%				
Manufacturer							
Model							
Heat rate	kJ/kWh	18,000					

شکل ۴-۲۳

اطلاعات مربوط به خروجی گازهای گلخانه‌ای در جداول زیر آمده است، در صورت تأمین کل بار توسط دیزل ژنراتور مقدار ۱۱,۷ تن گاز گلخانه‌ای CO_2 وارد هوا خواهد شد که با استفاده از توربین بادی مقدار آن به ۴ تن کاهش‌یافته و این به معنای کاهش مصرف ۳۳۰۹ لیتری گازوییل و کاهش تولید ۷,۷ تن گاز CO_2 توسط دیزل ژنراتور می‌باشد.

Emission Analysis

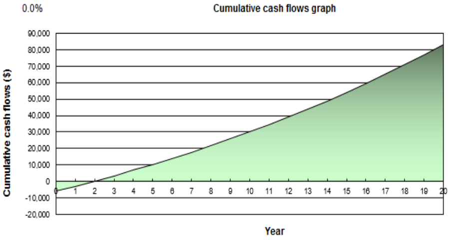
GHG emission					
Base case	tCO2	11.7			
Proposed case	tCO2	4.0			
Gross annual GHG emission reduction	tCO2	7.7			
GHG credits transaction fee	%				
Net annual GHG emission reduction	tCO2	7.7	is equivalent to	3,309	Litres of gasoline not consumed
GHG reduction income					
GHG reduction credit rate	$/tCO2				

شکل ۴-۲۴

نمودار مربوط به هزینه‌های سیستم در طی ۲۰ سال با در نظر گرفتن تورم سالیانه ۴ درصد در شکل زیر آمده است، این نمودار هزینه تجمعی کل سیستم را در طی ۲۰ سال نشان می‌دهد؛ همان‌طور که پیداست تقریباً از سال دوم به بعد هزینه اولیه سیستم جبران شده و باعث صرفه‌جویی هزینه‌ای در حدود ۸۲۰۰۰ دلار در دوره ۲۰ ساله بهره‌برداری خواهد شد.

Financial Analysis

Financial parameters			
Inflation rate	%	4.0%	
Project life	yr	20	
Debt ratio	%		
Initial costs			
Power system	$	5,800	100.0%
Other	$		0.0%
Total initial costs	$	5,800	100.0%
Incentives and grants	$		0.0%
Annual costs and debt payments			
O&M (savings) costs	$	300	
Fuel cost - proposed case	$	1,477	
Other	$		
Total annual costs	$	1,777	
Annual savings and income			
Fuel cost - base case	$	4,645	
Other	$		
Total annual savings and income	$	4,645	
Financial viability			
Pre-tax IRR - assets	%	55.4%	
Simple payback	yr	2.0	
Equity payback	yr	1.9	

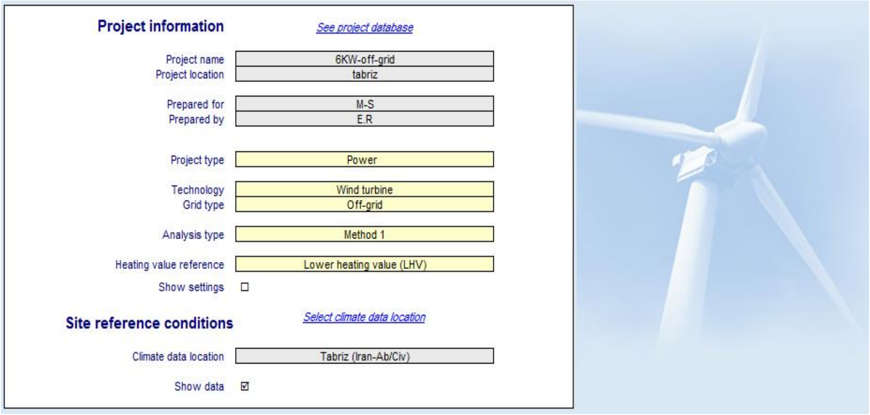


شکل ۴-۲۵

نتیجه‌گیری: استفاده از توربین بادی در این منطقه به دلیل متوسط بودن شدت وزش باد موجب تأمین بخشی از بار در حدود ۳۴ درصد توسط دیزل ژنراتور شده و موجب آزادسازی گاز گلخانه‌ای CO_2 به میزان ۴ تن در فضا می‌شود درصورتی‌که از دست دادن مقدار ۳۴ درصد از بار قابل‌تحمل نباشد، این مکان جهت استفاده از توربین بادی به‌تنهایی جهت تأمین این بار مناسب نمی‌باشد.

۳-۶-۴ شهر تبریز

سیستم هیبریدی در نظر گرفته‌شده در این مطالعه جهت بررسی مدل انرژی و هزینه‌ها شامل یک عدد توربین بادی ۶ کیلووات به همراه دیزل ژنراتور است که به‌صورت مستقل از شبکه جهت نصب در شهر تبریز می‌باشد اطلاعات پروژه در شکل زیر قابل‌مشاهده است.



شکل ۴-۲۶

در قسمت محل انتخاب آب‌وهوا شهر تبریز انتخاب‌شده است که نرم‌افزار به‌صورت مستقیم اطلاعات را دریافت کرده و نمایش می‌دهد. در شکل زیر اطلاعات مربوط به آب‌وهوا برای شهر تبریز قابل‌مشاهده است.

	Unit	Climate data location	Project location
Latitude	°N	38.1	38.1
Longitude	°E	46.3	46.3
Elevation	m	1,361	1,361
Heating design temperature	°C	-8.5	
Cooling design temperature	°C	34.0	
Earth temperature amplitude	°C	23.2	

Month		Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
		°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January		-2.7	70.1%	2.03	87.0	4.2	-3.5	642	0
February		-0.4	61.9%	2.83	86.8	4.6	-2.2	515	0
March		5.2	52.8%	3.75	86.3	5.8	3.4	397	0
April		11.1	52.3%	4.81	86.0	6.7	10.9	207	33
May		16.6	47.2%	6.22	85.8	6.3	16.3	43	205
June		21.9	36.9%	7.72	85.4	7.7	21.9	0	357
July		26.2	35.0%	7.61	85.0	9.7	24.2	0	502
August		25.6	33.1%	6.83	85.2	9.3	22.6	0	484
September		21.2	36.8%	5.56	85.7	6.5	18.0	0	336
October		13.9	45.9%	3.83	86.3	4.7	11.7	127	121
November		7.1	62.7%	2.58	86.7	3.7	4.4	327	0
December		1.0	68.2%	1.94	86.9	3.9	-1.5	527	0
Annual		12.3	50.2%	4.65	86.1	6.1	10.6	2,785	2,037
Measured at	m					10.0	0.0		

Complete Energy Model sheet

شکل ۴-۲۷

این اطلاعات شامل مختصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) منطقه موردنظر، ارتفاع از سطح دریا، کمترین، بیش‌ترین و میانگین دمای ثبت‌شده و همچنین تمامی اطلاعات آب‌وهوایی است به‌صورت میانگین ماهیانه و سالیانه که در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین اندازه‌گیری شده‌اند.

به دلیل استفاده از توربین بادی میزان سرعت باد منطقه موردنظر اهمیت فراوانی دارد همان‌طور که در اطلاعات آب‌وهوایی ملاحظه می‌شود میانگین سرعت باد در ماه‌های مختلف سال داده‌شده است که در فصول بهار و تابستان سرعت باد بیش‌ترین مقدار خود را دارد و حداکثر سرعت در ماه جولای برابر با ۹,۷ متر بر ثانیه و کمترین سرعت مربوط به ماه دسامبر با میانگین ۳,۷ متر بر ثانیه است و همچنین سرعت میانگین سالانه برابر با ۶,۱ متر بر ثانیه است.

Resource method			
Month	**Wind speed m/s**	**Tabriz (Iran-Ab/Civ) m/s**	**Electricity delivered to load MWh**
January	4.2	4.2	0.57
February	4.6	4.6	0.63
March	5.8	5.8	1.13
April	6.7	6.7	1.11
May	6.3	6.3	1.14
June	7.7	7.7	1.11
July	9.7	9.7	1.14
August	9.3	9.3	1.14
September	6.5	6.5	1.11
October	4.7	4.7	0.70
November	3.7	3.7	0.37
December	3.9	3.9	0.46
Annual	**6.1**	**6.1**	**10.62**

Measured at	m	10	10	
Wind shear exponent		0.15		
Wind turbine				
Power capacity per turbine	kW	6.0		
Manufacturer		Eoltec SAS		
Model		Scirocco E5.6-6 - 18m		
Number of turbines		1		
Power capacity	kW	6.0		$ 5,500
Hub height	m	18	6.7 m/s	
Rotor diameter per turbine	m	6		
Swept area per turbine	m²	25		
Energy curve data		Standard		
Shape factor		2.0		

شکل ۴-۲۸

در جداول زیر نتایج مربوط به تولید توان توسط منابع تولید انرژی آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود توان تولیدی توسط توربین بادی برابر با ۱۰,۶ مگاوات در طول سال است که ۲۱,۳ درصد بیشتر از کل بار موردنیاز در طی یک سال باشد.

در این حالت توان تولیدی دیزل ژنراتور صفر بوده و تمام بار توسط توربین تأمین می‌شود و توان اضافی تولیدی توسط توربین می‌تواند به شبکه فروخته شود لذا در این حالت سرعت باد مناسب است.

Array losses	%	0.0%	
Airfoil losses	%	3.0%	
Miscellaneous losses	%	3.0%	
Availability	%	95.0%	
Summary			
Capacity factor	%	20.2%	
Electricity delivered to load	MWh	10.6	121.3%
Peak load power system			
Technology		Reciprocating engine	
Fuel type		Diesel (#2 oil) - L	
Fuel rate	$/L	1.000	
Charger efficiency	%	100.0%	
Suggested capacity	kW	1.0	
Capacity	kW	1	100.0%
Electricity delivered to load	MWh	0.0	0.0%
Manufacturer			
Model			
Heat rate	kJ/kWh	18,000	

☑ Show data		Per turbine
Gross energy production	MWh	15
Losses coefficient		0.89
Specific yield	kWh/m²	544

See product database

شکل ۴-۲۹

اطلاعات مربوط به خروجی گازهای گلخانه‌ای در جداول زیر آمده است، در صورت تأمین کل بار توسط دیزل ژنراتور مقدار ۱۱,۷ تن گاز گلخانه‌ای CO_2 وارد هوا خواهد شد که با استفاده از توربین بادی در این منطقه مقدار آن به ۰ کاهش‌یافته و این به معنای کاهش مصرف ۵۰۱۳ لیتری گازوییل و کاهش تولید ۱۱,۷ تن گاز CO_2 توسط دیزل ژنراتور می‌باشد.

Emission Analysis

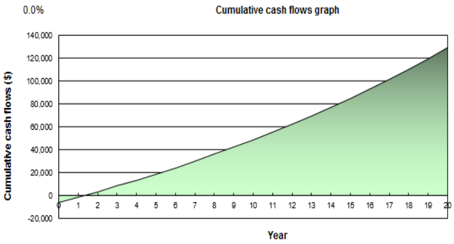
GHG emission					
Base case	tCO2	11.7			
Proposed case	tCO2	0.0			
Gross annual GHG emission reduction	tCO2	11.7			
GHG credits transaction fee	%				
Net annual GHG emission reduction	tCO2	11.7	is equivalent to	5,013	Litres of gasoline not consumed
GHG reduction income					
GHG reduction credit rate	$/tCO2				

شکل ۴-۳۰

نمودار مربوط به هزینه‌های سیستم در طی ۲۰ سال با در نظر گرفتن تورم سالیانه ۴ درصد در شکل زیر آمده است، این نمودار هزینه تجمعی کل سیستم را در طی ۲۰ سال نشان می‌دهد. همان‌طور که پیداست تقریباً از سال اول به بعد هزینه اولیه سیستم جبران شده و باعث صرفه‌جویی هزینه‌ای در حدود ۵۸۰۰۰ دلار در دوره ۲۰ ساله بهره‌برداری خواهد شد.

Financial Analysis

Financial parameters			
Inflation rate	%	4.0%	
Project life	yr	20	
Debt ratio	%		
Initial costs			
Power system	$	5,800	100.0%
Other	$		0.0%
Total initial costs	$	5,800	100.0%
Incentives and grants	$		0.0%
Annual costs and debt payments			
O&M (savings) costs	$	300	
Fuel cost - proposed case	$	0	
Other	$		
Total annual costs	$	300	
Annual savings and income			
Fuel cost - base case	$	4,645	
Other	$		
Total annual savings and income	$	4,645	
Financial viability			
Pre-tax IRR - assets	%	81.9%	
Simple payback	yr	1.3	
Equity payback	yr	1.3	



شکل ۴-۳۱

نتیجه‌گیری: استفاده از این توربین بادی در این منطقه به دلیل مناسب بودن شدت وزش باد موجب تولید توان بیش از تقاضای بار شده است لذا دیزل ژنراتور توانی تولید نکرده و یک سیستم تولید توان تجدید پذیر و کاملاً پاک و بدون آلایندگی خواهیم داشت، همچنین با توجه تولید توان مازاد توسط توربین می‌توان جهت تأمین بار از توربینی با اندازه کوچک‌تر استفاده نمود.

۴-۷ تولید انرژی سبز، پروژه انرژی بادی در آلبرتای کانادا

شما توسط یک شرکت تولیدکننده برق مستقل به منظور مطالعه پیش امکان‌سنجی به شرح ذیل بکار گرفته‌شده‌اید. این شرکت در نظر دارد تا به بازار انرژی الکتریسیته‌ای که مقررات آن به تازگی اصلاح‌شده وارد شود و در حال بررسی نحوه ورود به این بازار است. بدین منظور جهت احتیاط‌های لازم در نظر دارد تا یک توربین بادی را برای شروع نصب و راه‌اندازی کند. این شرکت می‌خواهد یک مدل توربین بادی 600 KW را مورد استفاده قرار دهد.

یکی از چالش‌های نحوه تنظیم هزینه‌های سرمایه‌گذاری مکان توربین بادی، عملکرد صحیح و تجهیزات در برابر منابع عایدی‌های بالقوه می‌باشد. این شرکت دو منبع سود را برای خود مشخص کرده است: طرحی تجاری حاصل ایجاد شرکت برق که به فروش الکتریسیته می‌پردازد و به عنوان بازار نقدی برای طرح‌های تجاری است .

۴-۷-۱ اطلاعات مکانی

مکان این پروژه در جنوب غرب آلبرتا قرار گرفته است. نزدیک‌ترین پایگاه داده هوایی به آن در لیتزبرگ[۱] قرار دارد. با بررسی‌های محلی صورت گرفته، مکان مورد نظر حداقل سرعت باد 0.8 m/s بالاتر از پایگاه داده هوایی لیتزبرگ به خاطر موقعیت مکانی خوب آن

- Lethbridge[۱]

دارد و کمتر از نیم کیلومتر با خطوط برق برای اتصال به آن فاصله دارد و دسترسی خوبی به تجهیزات و لوازم مورد نظر به خاطر نزدیکی به مناطق مسکونی وجود دارد.

۴-۷-۲ اطلاعات مالی

اطلاعات مالی مورد نیاز توسط شرکت بدین شکل ارائه‌شده است: میزان مالیات ۲۸ درصد، نرخ تورم ۲,۵ درصد، میزان وام ۶۰ درصد، میزان بهره وام ۸,۵ درصد، نرخ تنزیل ۹ درصد و مدت زمان بازپرداخت ۱۰ ساله می‌باشد. این پروژه در صورت پذیرفته‌شده به عنوان تولید انرژی سبز مشمول دریافت تسهیلات جدید دولتی ناشی از مقررات جدید می‌شود که می‌تواند هزینه سرمایه‌گذاری توربین بادی، هزینه‌های فعالیت‌های شناسایی و هزینه‌های اتصال فوراً برداشته می‌شود. عمر پروژه ۲۵ سال در نظر گرفته می‌شود. ارزش متوسط قیمت بازار نقدی در سال گذشته حدود 0.044 $/kwh می‌باشد. اضافه ارزش به خاطر برق سبز از 0.035 $/kwh تا 0.040$/kwh می‌باشد.

مطالعه ریت اسکرین مورد نظر را آماده کنید و به سؤالات مورد نظر شرکت پاسخ داده شود.

۴-۷-۳ مراحل کار در نسخه ریت اسکرین ۳

برگه مدل انرژی: پس از ورود مشخصات سایت، پایگاه داده هوایی مبنا و نوع پروژه انرژی بادی در برگه مدل انرژی، وضعیت سایت و مشخصات سیستم را تعیین می‌کنیم؛ که بر این اساس تولید انرژی سالیانه محاسبه می‌شود (شکل ۴-۳۲ و ۴-۳۳).

Units: Metric

Site Conditions		Estimate	Notes/Range
Project name		Green Power Production	See Online Manual
Project location		Alberta, Canada	
Wind data source		Wind speed	
Nearest location for weather data		Lethbridge A, AB	See Weather Database
Annual average wind speed	m/s	6.2	
Height of wind measurement	m	10.0	3.0 to 100.0 m
Wind shear exponent	-	0.17	0.10 to 0.40
Wind speed at 10 m	m/s	6.2	
Average atmospheric pressure	kPa	90.7	60.0 to 103.0 kPa
Annual average temperature	°C	6	-20 to 30 °C

System Characteristics		Estimate	Notes/Range
Grid type	-	Central-grid	
Wind turbine rated power	kW	600	Complete Equipment Data sheet
Number of turbines	-	1	
Wind plant capacity	kW	600	
Hub height	m	40.0	6.0 to 100.0 m
Wind speed at hub height	m/s	7.8	
Array losses	%	0%	0% to 20%
Airfoil soiling and/or icing losses	%	1%	1% to 10%
Other downtime losses	%	2%	2% to 7%
Miscellaneous losses	%	2%	2% to 6%

شکل ۴-۳۲

Annual Energy Production		Estimate Per Turbine	Estimate Total	Notes/Range
Wind plant capacity	kW	600	600	
	MW	0,600	0,600	
Unadjusted energy production	MWh	1,933	1,933	
Pressure adjustment coefficient	-	0.90	0.90	0.59 to 1.02
Temperature adjustment coefficient	-	1.03	1.03	0.98 to 1.15
Gross energy production	MWh	1,792	1,792	
Losses coefficient	-	0.95	0.95	0.75 to 1.00
Specific yield	kWh/m²	1,120	1,120	150 to 1,500 kWh/m²
Wind plant capacity factor	%	32%	32%	20% to 40%
Renewable energy delivered	MWh	1,704	**1,704**	
	GJ	6,134	6,134	
				Complete Cost Analysis sheet

Version 3.0 © Minister of Natural Resources Canada 1997 - 2004. NRCan/CETC - Varennes

شکل ۴-۳۳

در ادامه مشخصات توربین بادی را تعیین می‌کنیم (مانند میزان قدرت بادی توربین بادی، ارتفاع هاب، قطر روتور، شرکت سازنده و نوع دستگاه و ...)؛ و بر اساس اطلاعات ورودی در قسمت مشخصات توربین بادی، منحنی میزان انرژی تولیدی توربین بادی در سرعت‌های مختلف ترسیم می‌شود (اشکال ۴-۳۴ تا ۴-۳۶).

RETScreen® Equipment Data - Wind Energy Project

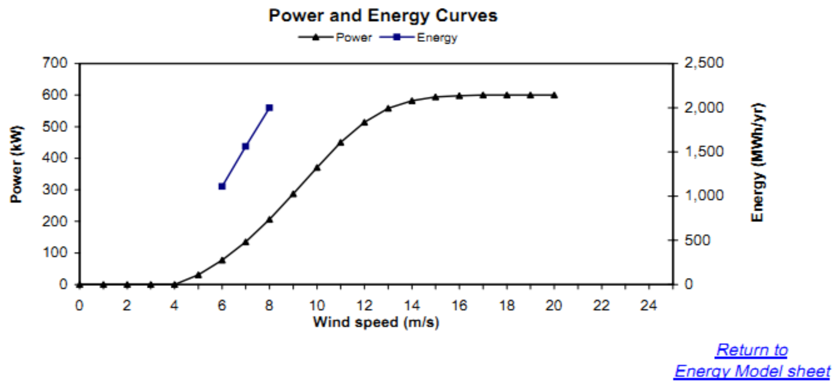
Wind Turbine Characteristics		Estimate	Notes/Range
Wind turbine rated power	kW	600	See Product Database
Hub height	m	40.0	6.0 to 100.0 m
Rotor diameter	m	44	7 to 80 m
Swept area	m²	1,521	35 to 5,027 m²
Wind turbine manufacturer		Vestas Wind Systems	
Wind turbine model		VESTAS V44/600kW	
Energy curve data source	-	User-defined	Site specific

شکل ۴-۳۴

Wind Turbine Production Data

Wind speed (m/s)	Power curve data (kW)	Energy curve data (MWh/yr)
0	0.0	-
1	0.0	-
2	0.0	-
3	0.0	-
4	0.0	-
5	30.4	-
6	77.3	1,108.0
7	135.0	1,562.0
8	206.0	2,000.0
9	287.0	-
10	371.0	-
11	450.0	-
12	514.0	-
13	558.0	-
14	582.0	-
15	594.0	-
16	598.0	-
17	600.0	-
18	600.0	-
19	600.0	-
20	600.0	-
21	-	-
22	-	-
23	-	-
24	-	-
25	-	-

شکل ۴-۳۵



شکل ۴-۳۶

در برگه تحلیل هزینه، ابتدا هزینه‌های امکان‌سنجی، توسعه و مهندسی که پیش از این بدان اشاره‌شده را وارد می‌کنیم (مطابق شکل ۴-۳۷) و در ادامه هزینه‌های تجهیزات، سایر هزینه‌ها و هزینه‌های نگهداری و اجرا را مشخص می‌کنیم (مطابق شکل ۴-۳۸).

Initial Costs (Credits)	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount	Relative Costs	Quantity Range	Unit Cost Range
Feasibility Study							
Site investigation	p-d	3.0	$ 800	$ 2,400		2.0 - 8.0	$200 - $800
Wind resource assessment	met tower	1	$ 18,000	$ 18,000			$10K - $25K
Environmental assessment	p-d	5.0	$ 800	$ 4,000		1.0 - 8.0	$200 - $800
Preliminary design	p-d	2.0	$ 800	$ 1,600		2.0 - 20.0	$200 - $800
Detailed cost estimate	p-d	4.0	$ 800	$ 3,200		3.0 - 20.0	$200 - $800
GHG baseline study and MP	project		$ -	$ -			$40K - $60K
Report preparation	p-d	1.0	$ 800	$ 800		2.0 - 15.0	$200 - $800
Project management	p-d	2.0	$ 800	$ 1,600		2.0 - 11.0	$300 - $800
Travel and accommodation	p-trip	4	$ 300	$ 1,200			
Other - Feasibility study	Cost	1	$ 2,500	$ 2,500			
Sub-total:				$ 35,300	2.9%		
Development							
PPA negotiation	p-d	1.0	$ 800	$ 800		0.0 - 30.0	$300 - $1,500
Permits and approvals	p-d	3.0	$ 800	$ 2,400		0.0 - 400.0	$200 - $800
Land rights	project	1	$ 5,000	$ 5,000			
Land survey	p-d	4.0	$ 600	$ 2,400		0.0 - 100.0	$400 - $600
GHG validation and registration	project		$ -	$ -			$40K - $100K
Project financing	p-d	10.0	$ 1,500	$ 15,000		3.0 - 100.0	$500 - $1,500
Legal and accounting	p-d	10.0	$ 1,200	$ 12,000		3.0 - 100.0	$300 - $1,500
Project management	p-yr	0.10	$ 130,000	$ 13,000		0.20 - 4.00	$130K - $180K
Travel and accommodation	p-trip	6	$ 300	$ 1,800			
Other - Development	Cost	1	$ 2,500	$ 2,500			
Sub-total:				$ 54,900	4.5%		
Engineering							
Wind turbine(s) micro-siting	p-d	1.0	$ 800	$ 800		0.0 - 300.0	$200 - $800
Mechanical design	p-d	1.0	$ 800	$ 800		2.0 - 150.0	$200 - $800
Electrical design	p-d	10.0	$ 800	$ 8,000		3.0 - 300.0	$200 - $800
Civil design	p-d	10.0	$ 800	$ 8,000		3.0 - 300.0	$200 - $800
Tenders and contracting	p-d	5.0	$ 800	$ 4,000		4.0 - 300.0	$200 - $800
Construction supervision	p-yr	0.20	$ 130,000	$ 26,000		0.00 - 2.00	$130K - $180K
Other - Engineering	Cost	2	$ 3,500	$ 7,000			
Sub-total:				$ 54,600	4.5%		
Energy Equipment							
Wind turbine(s)	kW	600	$ 1,200	$ 720,000			$1,000 - 3,000
Spare parts	%	1.0%	$ 720,000	$ 7,200		0.0% - 30.0%	
Transportation	turbine	1	$ 50,000	$ 50,000			
Other - Energy equipment	Cost	1	$ 5,000	$ 5,000			
Sub-total:				$ 782,200	63.9%		
Balance of Plant							
Wind turbine(s) foundation(s)	turbine	1	$ 60,000	$ 60,000			
Wind turbine(s) erection	turbine	1	$ 75,000	$ 75,000			
Road construction	km		$ -	$ -			$0K - $80K/km
Transmission line	km	4.00	$ 12,500	$ 50,000			
Substation	project		$ -	$ -			
Control and O&M building(s)	building	1	$ 5,000	$ 5,000		0 - 2	
Transportation	project	1	$ 5,000	$ 5,000			
Other - Balance of plant	Cost	1	$ 5,000	$ 5,000			
Sub-total:				$ 200,000	16.3%		
Miscellaneous							
Training	p-d	4.0	$ 800	$ 3,200			$200 - $800
Commissioning	p-d	4.0	$ 800	$ 3,200			$200 - $800
Contingencies	%	3%	$ 1,133,400	$ 34,002		5% - 40%	
Interest during construction	9.6%	12 month(s)	$ 1,167,402	$ 56,035		3.0% - 15.0%	
Sub-total:				$ 96,437	7.9%		
Initial Costs - Total				$ 1,223,437	100.0%		

شکل ۴-۳۷

Annual Costs (Credits)	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount	Relative Costs	Quantity Range	Unit Cost Range
O&M							
Land lease	project	1	$ 1,300	$ 1,300			
Property taxes	project	1	$ 3,000	$ 3,000			
Insurance premium	project	1	$ 12,950	$ 12,950			
Transmission line maintenance	%	3.0%	$ 50,000	$ 1,500		3.0% - 6.0%	
Parts and labour	kWh	1,703,977	$ 0.010	$ 17,040			$0.007 - $0.024
GHG monitoring and verification	project		$ -	$ -			
Community benefits	-		$ -	$ -			
Travel and accommodation	p-trip	12	$ 300	$ 3,600			
General and administrative	%	10%	$ 39,390	$ 3,939		1% - 20%	
			$ -	$ -		-	
Contingencies	%	10%	$ 43,329	$ 4,333		10% - 20%	
Annual Costs - Total				$ 47,662	100.0%		

Periodic Costs (Credits)	Unit	Period	Unit Cost	Amount	Interval Range	Unit Cost Range
Major Component Repair	Cost	15 yr	$ 150,000	$ 150,000		
			$ -	$ -		
			$ -	$ -		
End of project life		-	$ -	$ -		

Go to GHG Analysis sheet

شکل ۴-۳۸

در برگه تحلیل کاهش گاز گلخانه‌ای، ابتدا مشخصات سوخت (سوخت‌های) سیستم پایه که سیستم کنونی جایگزین آن می‌شود را وارد می‌کنیم تا بر اساس IPCC میزان کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای توسط نرم‌افزار با راه‌اندازی سیستم پروژه بادی مشخص شود (شکل ۴-۳۹)

RETScreen® Greenhouse Gas (GHG) Emission Reduction Analysis - Wind Energy Project

Use GHG analysis sheet?	Yes	Type of analysis:	Standard
Potential CDM project?	No		

Background Information

Project Information				Global Warming Potential of GHG			
Project name	Green Power Production	Project capacity	0.60 MW	21	tonnes CO_2 =	1 tonne CH_4	(IPCC 1996)
Project location	Alberta, Canada	Grid type	Central-grid	310	tonnes CO_2 =	1 tonne N_2O	(IPCC 1996)

Base Case Electricity System (Baseline)

Fuel type	Fuel mix (%)	CO_2 emission factor (kg/GJ)	CH_4 emission factor (kg/GJ)	N_2O emission factor (kg/GJ)	Fuel conversion efficiency (%)	T & D losses (%)	GHG emission factor (t_{CO2}/MWh)
Natural gas	100.0%	56.1	0.0030	0.0010	45.0%	8.0%	0.491
Electricity mix	100%	135.5	0.0072	0.0024		8.0%	0.491

Does baseline change during project life? No

Proposed Case Electricity System (Wind Energy Project)

Fuel type	Fuel mix (%)	CO_2 emission factor (kg/GJ)	CH_4 emission factor (kg/GJ)	N_2O emission factor (kg/GJ)	Fuel conversion efficiency (%)	T & D losses (%)	GHG emission factor (t_{CO2}/MWh)
Electricity system							
Wind	100.0%	0.0	0.0000	0.0000	100.0%	8.0%	0.000

شکل ۴-۳۹

GHG Emission Reduction Summary

	Base case GHG emission factor (tCO2/MWh)	Proposed case GHG emission factor (tCO2/MWh)	End-use annual energy delivered (MWh)	Gross annual GHG emission reduction (t_{CO2})	GHG credits transaction fee (%)	Net annual GHG emission reduction (t_{CO2})
Electricity system	0.491	0.000	1,568	770	0.0%	770

Complete Financial Summary sheet

شکل ۴-۴۰

در برگه صورت وضعیت مالی نخست هزینه‌های پروژه و صرفه‌جویی ها محاسبه می‌شود و امکان‌سنجی مالی پروژه و نرخ بازگشت ساده و سالی که جریان نقدینگی مثبت می‌شود محاسبه می‌گردد و نمودار تجمعی جریان نقدینگی ترسیم می‌گردد (مطابق اشکال ۴-۴۱ و ۴-۴۲).

RETScreen® Financial Summary - Wind Energy Project

Annual Energy Balance					
Project name		Green Power Production			
Project location		Alberta, Canada			
Renewable energy delivered	MWh	1,704	Net GHG reduction	t_{CO2}/yr	770
Excess RE available	MWh	-			
Firm RE capacity	kW	-			
Grid type		Central-grid	Net GHG emission reduction - 25 yrs	t_{CO2}	19,246

Financial Parameters					
Avoided cost of energy	$/kWh	0.0800	Debt ratio	%	60.0%
RE production credit	$/kWh	-	Debt interest rate	%	8.5%
			Debt term	yr	10
GHG emission reduction credit	$/$t_{CO2}$	-	Income tax analysis?	yes/no	Yes
			Effective income tax rate	%	28.0%
			Loss carryforward?	yes/no	Flow-through
			Depreciation method	-	Declining balance
			Depreciation tax basis	%	0.0%
Energy cost escalation rate	%	3.0%	Depreciation rate	%	30.0%
Inflation	%	2.5%			
Discount rate	%	9.0%	Tax holiday available?	yes/no	No
Project life	yr	25			

شکل ۴-۴۱

Project Costs and Savings						
Initial Costs				**Annual Costs and Debt**		
Feasibility study	2.9%	$	35,300	O&M	$	47,662
Development	4.5%	$	54,900			
Engineering	4.5%	$	54,600	Debt payments - 10 yrs	$	111,877
Energy equipment	63.9%	$	782,200	**Annual Costs and Debt - Total**	**$**	**159,538**
Balance of plant	16.3%	$	200,000			
Miscellaneous	7.9%	$	96,437	**Annual Savings or Income**		
Initial Costs - Total	100.0%	**$**	**1,223,437**	Energy savings/income	$	136,318
				Capacity savings/income	$	-
Incentives/Grants		$	-			
				Annual Savings - Total	**$**	**136,318**
Periodic Costs (Credits)						
Major Component Repair		$	150,000	Schedule yr # 15		
		$	-			
		$	-			
End of project life -		$	-			

Financial Feasibility					
			Calculate energy production cost?	yes/no	No
Pre-tax IRR and ROI	%	7.9%			
After-tax IRR and ROI	%	9.5%	Calculate GHG reduction cost?	yes/no	No
Simple Payback	yr	13.8			
Year-to-positive cash flow	yr	15.6	Project equity	$	489,375
Net Present Value - NPV	$	19,763	Project debt	$	734,062
Annual Life Cycle Savings	$	2,012	Debt payments	$/yr	111,877
Benefit-Cost (B-C) ratio	-	1.04	Debt service coverage	-	0.82

شکل ۴-۴۲

با توجه به اضافه ارزش برق سبز، توجیه مالی پروژه به طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد اگرچه هنوز زیر ارزش نرخ حداقلی بازگشت سرمایه‌گذاری تجاری متداول به اندازه ۱۲,۵ درصد نرخ بازده داخلی ارزش ویژه است. برای ده سال اول پروژه درآمد حاصله نمی‌تواند خدمات تسهیلات ارائه‌شده را پوشش دهد.

Yearly Cash Flows			
Year	Pre-tax	After-tax	Cumulative
#	$	$	$
0	(489,375)	(146,812)	(146,812)
1	(20,322)	(28,487)	(175,299)
2	(17,331)	(27,511)	(202,810)
3	(14,245)	(26,566)	(229,377)
4	(11,059)	(25,659)	(255,036)
5	(7,771)	(24,796)	(279,832)
6	(4,379)	(23,985)	(303,817)
7	(877)	(23,235)	(327,053)
8	2,736	(22,555)	(349,608)
9	6,465	(21,955)	(371,563)
10	10,313	(21,446)	(393,009)
11	126,160	90,835	(302,174)
12	130,258	93,785	(208,388)
13	134,486	96,830	(111,559)
14	138,849	99,971	(11,588)
15	(73,894)	(53,203)	(64,791)
16	147,997	106,558	41,767
17	152,790	110,009	151,776
18	157,737	113,570	265,346
19	162,840	117,245	382,591
20	168,107	121,037	503,628
21	173,540	124,949	628,577
22	179,147	128,986	757,563
23	184,931	133,151	890,713
24	190,900	137,448	1,028,161
25	197,058	141,882	1,170,043

شکل ۴-۴۳

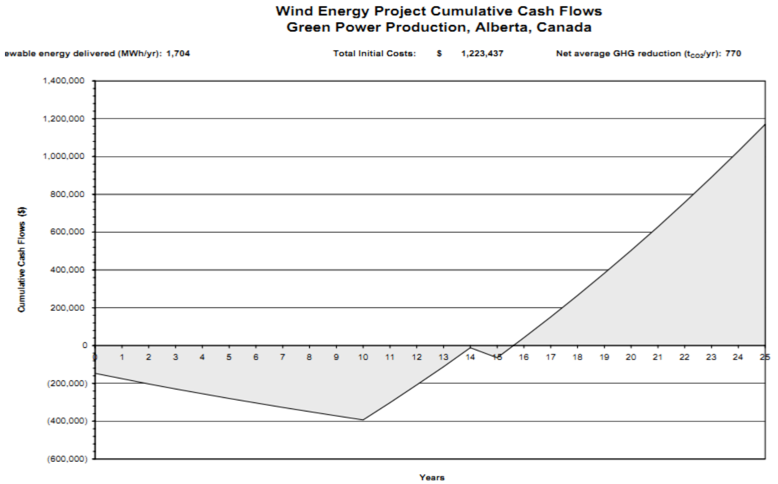
توجیه مالی پروژه به وسیله موارد زیر می‌تواند ارتقا یابد:

۱- گرفتن مزایای اعتباری تولید انرژی تجدید پذیر در صورت وجود

۲- فروش اعتبارات مالی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در صورت وجود

در طول فعالیت پروژه بعضی از اجزا اصلی مانند تیغه‌ها بایستی تعویض شوند یا هزینه‌های استهلاک اجزا باید در نظر گرفته شود. مجموعه‌ای از تیغه‌ها یا هزینه‌های استهلاک تقریباً ۲۰ تا ۲۵ درصد هزینه خرید توربین می‌باشد؛ که این هزینه در هزینه‌های دوره‌ای لحاظ شده است.

اضافه ارزش برق سبز در هزینه‌های اجتنابی انرژی لحاظ شده است. اگر به عنوان اعتبار تولید انرژی تجدید پذیر در نظر گرفته می‌شد آنگاه این هزینه‌های سالیانه که بر حسب پایه عایدی‌های سالیانه انرژی (به استثنای اعتبار تولید انرژی تجدید پذیر) محاسبه می‌شود نیاز به تنظیم بر این اساس داشت.



شکل ۴-۴۴

در سال ۱۹۹۶ شرکت چشم‌انداز تلاش الکترونیک بادی[1]در بازار الکتریسیته جدیدی در آلبرتا سرمایه‌گذاری کرد. این شرکت در تصمیم برای اینکه چطور وارد این بازار شود،

---

[1] - Vision Quest Windelectric Inc.

مطالعه درونی برای مقایسه فعالیت‌ها به عنوان طرحی تجاری و فعالیت‌ها به عنوان تأمین‌کننده الکتریسیته سبز انجام شد. این شرکت همچنین این موضوع را بررسی کرد که چطور خود را با قوانین جدید برای سرمایه‌گذاری جاری اعلام‌شده در بودجه ۱۹۹۶ تحت نام هزینه‌های حفاظت و انرژی تجدید پذیر کانادا منطبق کند.

این مطالعه نشان داد که در جهت توجیه مالی، این پروژه بایستی از تسهیلات ارائه‌شده در بودجه تحت عنوان هزینه‌های حفاظت و انرژی تجدید پذیر کانادا بهره برد تا مزیت‌های احتمالی کاهش هزینه‌های ممکن برای آن معنادار باشد.

بر این اساس قراردادی مبتنی بر انرژی سبز مورد نظر قرار گرفت و تهیه شد، توربین بادی در ۱۹۹۷ نصب شد و اولین نیروگاه برقی جدید در آلبرتا بعد از مقررات زدایی سال ۱۹۹۶ شد.

۴-۷-۴ توصیف سیستم

مدل توربین بادی ویستا V44/600 با خروجی حداکثر 600 kw می‌باشد. این توربین الکتریسیته‌ای در 480 VAC، سه فاز تولید می‌کند. انرژی تا ۲۵۰۰۰ ولت با انتقال‌دهنده‌ای در مجاورت توربین انتقال می‌یابد و از طریق خطوط برق هدف ۳۰۰ متری به شبکه برق می‌رسد.

اطلاعات عمومی در دسترس از وب‌سایت شرکت برق آلبرتا نشان می‌دهد که توربین بادی حدود 1800MWh در سال تولید می‌کند. پروژه‌هایی در این مقیاس شامل تنها یک توربین هستند که به طور متداول هزینه‌ای حدود 2000$/kw دارند. نزدیک‌ترین پایگاه داده بادی عمومی برای اطمینان از داده‌های ارائه‌شده جهت نصب توربین بسیار دور بود؛ بنابراین

داده‌های باد در حوالی ۱۰ متری محل جمع‌آوری شد که برابر با سرعت باد 6.2 m/s بود. انرژی تولیدی تحت عنوان انرژی سبز به شرکت توزیع برق فروخته می‌شد.

۵-۷-۴ درس‌های گرفته‌شده از این پروژه

چنین پروژه‌های توسعه‌ای در چنین سطحی به خاطر کوچک بودن پروژه نمی‌توان انتظار بازار و سود بلندمدت بسیار زیاد از آن‌ها را داشت بلکه چنین پروژه‌هایی برای جلب توجه و تأیید ارزش انرژی بادی لازم و ضروری هستند.

هزینه سرمایه‌ای بعلاوه منابع انرژی بادی در سایت برای توجیه مالی یک پروژه حیاتی هستند.

منابع

- Al Homoud, M.S., Variable-Base Heating and Cooling Degree-Day Data for 24 Saudi Arabian Cities, ASHRAE Transactions, 104-2, 1998.
- American Wind Energy Association (AWEA), Global Wind Power Growth Continues to Strengthen, 2005.
- ASHRAE, Handbook of Fundamentals, SI Edition,American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329, USA, 1997.
- Barlow, R., McNelis, B. and Derrick, A., Solar Pumping: An Introduction and Update on the Technology, Performance, Costs and Economics, Intermediate Technology Publications and The World Bank, Washington, DC, USA, 1993.
- Beaumert, K. and Selman, M., Data Note: Heating and Cooling Degree Days, World Resources Institute, 2003.
- Belotserkovsky, V., “Personal communication,” GPCo Inc., 2003.
- Bergey, M., Small Wind Systems for Rural Energy Supply, Village Power 2000, Washington, DC, USA, 2000.
- Boone, Simon, “Personal Communication,” Generation Solar Renewable Energy Systems Inc, 2000.
- Braun, J.E. and Mitchell, J.C., Solar Geometry for Fixed and Tracking Surfaces, Solar Energy 31,5, 439-444, 1983.
- Brothers, C., Wind Generation Systems for Remote Communities - Market Assessment and Guidelines for Wind Turbines Selection, Canadian Electrical Association, Project no. 9123 G 880, 1993.
- Bucciarelli, L., “Personal communication,” 1999.
- CADDET, Technical Bulletin no. 143, 2001.
- Canadian Wind Energy Association (CanWEA), Wind Energy Basic Information, Backgrounder Published with Support from CANMET, 1996.
- CANMET, Photovoltaic Systems Design Manual, Available from Natural Resources Canada, CANMET, 580 Booth Street, Ottawa, ON, Canada, K1A 0E4, 1991.
- Conover, K., Wind Energy Financial Due Diligence, R. Lynette & Associates, Seminar on Opportunities for Finance and Investment in Wind Energy, 1994.
- Danish Wind Industry Association, 2004.
- Duffie, J.A. and Beckman, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, 2ndEdition,John Wiley & Sons, 1991.
- ECOTEC Research and Consulting Limited, ECD Energy and Environment, Newcastle Photovoltaics Applications Centre, The

Potential Market for PV Building Products, Report no. ETSU: S/P2/00277/00/00, 1998.

- Eliasson, B., Renewable Energy: Status and Prospects 1998, Baden-Dättwil, Switzerland: ABB Corporate Research, Ltd., 1998.
- Elliot, D. et al., Wind Energy Resource Atlas of the United States, SERI, 1986.
- Environment Canada, Canadian Weather Energy and Engineering Data Sets (CWEEDS), 1993.
- ESTIF, A Solar Thermal Strategy: Sun in Action II, Renewable Energy World, pp. 200-209, July-August 2003.
- European Commission, European Network of Energy Agencies ATLAS, 2005.
- European Wind Energy Association (EWEA), Wind Power Installed In Europe by end of 2003, 2005.
- Evans, D.L., Simplified Method for Predicting Photovoltaic Array Output, Solar Energy 27,6, 555-560, 1981.
- Gipe, P., The BTM Wind Report: World Market Update, Renewable Energy World, pp. 66-83, July-August 2003.
- Gipe, P., Wind Energy Comes of Age, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 1995.
- Hiester, T.R. and Pennell, W.T., The Siting Handbook for Large Wind Energy Systems, WindBooks, New York, NY, USA, 1981.
- IEA Photovoltaic Power Systems Programme, Case Studies website: http://www.oja-services.nl/iea-pvps/cases/index.htm.
- IEA Statistics, Renewables Information, IEA, Paris, France, 2003.
- IEA, Energy to 2050—Scenarios for a Sustainable Future, International Energy Agency (IEA), Paris, France, 2003.
- International Small Hydro Atlas,Small-Scale Hydro Annex of the International Energy Agency (IEA)'s Implementing Agreement for Hydropower Technologies & Programmes, 2004.
- IPCC, IPCC Third Assessment Report—Climate Change 2001: Summary for Policy Makers, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland, 2001.
- Klein, S.A. and Beckman, W.A., Loss-of-load Probabilities for Stand-Alone Photovoltaic Systems, Solar Energy 39, 6, 499-512, 1987.
- Krause, "Personal communication," Scheuten Solar Technology GmBH, 2003.

- Langcake, P., Getting a Clear View: Strategic Perspectives for Renewable Energy Companies, Renewable Energy World, pp. 29-37, March-April 2003.
- Lapp, Steve, “Personal communication,” SGA Energy, 2000.
- Le Gouriérès, D., Wind Power Plants: Theory and Design, Pergamon Press, 1982.
- Lee, Korean Institute for Energy Research (KIER) and Korean Solar Energy society (KSES), “Personal Communications,” 2003.
- Leng, G., Dignard-Bailey, L., Bragagnolo, J., Tamizhmani, G. and Usher, E., Overview of the Worldwide Photovoltaic Industry, Report no. 96-41-A1 (TR), CANMET Energy Diversification Research Laboratory, Natural Resources Canada, Varennes, QC, Canada, J3X 1S6, 1996.
- Leng, G., Dignard-Bailey, L., Bragagnolo, J., Tamizhmani, G. and Usher, E., Overview of the Worldwide Photovoltaic Industry, Report no. 96-41-A1 (TR), CANMET Energy Diversification Research Laboratory, Natural Resources Canada, Varennes, QC, Canada, June 1996.
- Leng, G., Monarque, A., Graham, S., Higgins, S., and Cleghorn, H., RETScreen®International: Results and Impacts 1996-2012, Natural Resources Canada’s CETC-Varennes, ISBN 0-662-11903-7, Cat. M39 106/2004F-PDF, 44 pp, 2004.
- Li, K.W. and Priddy, A.P., Power Plant System Design, John Wiley & Sons, Inc.,New York,NY, USA, 1985.
- Lund, J., Ground-source Heat Pumps: A World Overview, Renewable Energy World, pp. 218-227, July-August 2003.
- Lynette, R. and Ass. Technical and Economic Potential for Wind Energy Development in Ontario, Prepared for Independent Power Producers’ Society of Ontario, 1992.
- Marine Current Turbines, Bristol, UK, 2005.
- Markvart, T. (ed.), Solar Electricity, 2ndEdition, John Wiley & Sons, 2000.
- Maycock, P., Boomer, PVNews, May 2004.
- Maycock, P., PV Market Update, Renewable Energy World, pp. 84-101, July-August 2003.
- Maycock, P.D., Photovoltaic News, February 2000.
- Microsoft Online Help and Support, Microsoft, 2005.
- Mletzko, L. (Ed.), “Impressum: Akademie Mont-Cenis Herne,” Susa-Verlag, 1999.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA), USA, 2005.

- National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO, USA, 2005.
- NCDC, International Surface Weather Observations (ISWO), Available from the National Climatic Data Centre, 151 Patton Ave., Asheville, NC, 28801-5001, USA, 1997.
- NREL, HOMER, The Hybrid Optimization Model for Electric Renewables, Available from National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401-3393, USA, 2001.
- NREL, HOMER, The Hybrid Optimization Model for Electric Renewables, Available from National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401-3393, USA, 2001.
- Rangi, R., Templin, J., Carpentier, M. and Argue, D., Canadian Wind Energy Technical and Market Potential, EAETB, Energy, Mines and Resources Canada, 1992.
- Reid, R., Application de l’éolien aux réseaux non-reliés, Hydro-Québec, Congrès de l’ACFAS, Montreal, QC, Canada, 1996.
- Ross, M. and Royer, J., Photovoltaics in Cold Climates, James and James Ltd., 1999.
- Royer, J., “Personal Communication,” Solener Inc., 1999.
- Royer, J., Djiako, T., Schiller, E. and Sy, B.S., Le pompage photovoltaïque: manuel de cours à l’intention des ingénieurs et des techniciens, Institut de l’Énergie des Pays ayant en commun l’usage du Français, 56, rue Saint-Pierre, 3 e étage, Québec, QC, Canada, G1K 4A1, 1998.
- Strahler, A.H. and Strahler, A.N., Modern physical geography, New York: John Wiley and Sons, 1992.
- SunMedia GmbH, Wind Turbine Market: Types, Technical Characteristics, Prices, 1999.
- Swenson, A., Energy Consumption by End Use, Energy Information Administration, U.S. Department of Energy, USA, 1998.
- Thevenard, D.J. and Brunger, A.P., The Development of Typical Weather Years for International Locations: Part I, Algorithms, and Part II: Production,ASHRAE Transactions, 108, 2, 376-383 and 480-486, 2002.
- United Nations Population Information Network, Population and Water Resources, Web Site.
- Vesterdal, J., the Potential of Wind Farms, ELSAM, 1992.

- Watsun, Typical Meteorological Year (TMY) Weather Files for the WATSUN Family of Programs, Watsun Simulation Laboratory, University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada, N2L 3G1, 1993.
- Watsun, WATGEN - A Synthetic Radiation Data Generator, User's Manual and Program Documentation, Version 1.0, Watsun Simulation Laboratory, University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada, N2L 3G1, 1992.
- Watsun, WATSUN-PV - A Computer Program for Simulation of Solar Photovoltaic Systems, User's Manual and Program Documentation, Version 6.1, Watsun Simulation Laboratory, University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada, N2L 3G1, 1999.
- WECTEC, Évaluation du potentiel éolien du Québec, Report Prepared for the Ministère des Ressources naturelles du Québec, 1996.
- Wind Power Monthly, The Windicator-Operational Wind Power Capacity Worldwide, 2001.
- Windpower Monthly News Magazine, the Windicator, Windpower Monthly, January 2004.
- Winkra-Recom, Wind Turbine Market - Types, Technical Characteristics, Prices, 1995/96.
- World Resources Institute, Earth Trends: Energy Consumption by Economic Sector, 2003.

Zond, Wind Power Economics, Seminar on Opportunities for Finance and Investment in Wind Energy, 1994.

Buein Zahra Technical University

Green Installation & Energy in Human Settlements

By:
Mojtaba Valibeigi
Ahmad Mohammadi
Fateme Aghaei