بسمه تعالی

پروژه نظام وظیفه تحت نظارت بنیاد ملی نخبگان

عنوان پروژه:

بررسی تکنولوژی‌های استفاده از انرژی‌های بادی و خورشیدی و کاربرد آن‌ها در چاه‌های کشاورزی

عنوان گزارش چهارم:

سیستم پمپاژ خورشیدی و کاربرد آن در چاه های کشاورزی

توسط:

سعید عینی

اساتید راهنما:

مهندس مهدی شریف

(مدیر بهینه‌سازی انرژی در بخش صنعت)

مهندس ساسان صفری

(رئیس بهینه‌سازی انرژی در تجهیزات و تأسیسات احتراقی)

تاریخ تحویل: ۱۳۹۵/۰۲/۰۵

شناسنامه پروژه

عنوان پروژه

بررسی تکنولوژی‌های استفاده از انرژی‌های بادی و خورشیدی و کاربرد آن‌ها در چاه‌های کشاورزی

نوع پروژه

پروژه نظام وظیفه، تحت نظارت بنیاد ملی نخبگان

محل اجرای پروژه

شرکت ملی نفت ایران، شرکت بهینه سازی مصرف سوخت، مدیریت بهینه‌سازی مصرف سوخت در صنعت

مجری

سعید عینی

اساتید راهنما

مهندس مهدی شریف (مدیر بهینه‌سازی انرژی در بخش صنعت)
مهندس ساسان صفری (رئیس بهینه‌سازی انرژی در تجهیزات و تأسیسات احتراقی)

شماره گزارش

چهارم

عنوان گزارش

سیستم پمپاژ خورشیدی و کاربرد آن در چاه های کشاورزی

درصد پیشرفت پروژه با این گزارش

۱۰۰

۱. مقدمه گزارش

انرژی ستاره خورشید یکی از منابع عمده ی انرژی در منظومه شمسی می‌باشد. طبق آخرین برآوردهای رسمی اعلام شده عمر این منبع انرژی بیش از ۱۴ میلیارد سال می‌باشد. در هر ثانیه ۴/۲ میلیون تن از جرم خورشید به انرژی تبدیل می‌شود. با توجه به جرم خورشید که حدود ۳۳۳ هزار برابر جرم زمین است. این کره نورانی را می‌توان به‌عنوان منبع عظیم انرژی تا ۵ میلیارد سال آینده به حساب آورد. انرژی خورشیدی منحصر به فردترین منبع انرژی تجدیدپذیر در جهان است و منبع اصلی تمامی انرژی‌های موجود در زمین می‌باشد. انرژی خورشیدی به صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند به اشکال دیگر انرژی تبدیل گردد. ذکر این نکته جالب است که مساحت سطح زمین به اندازه‌ای هست که بتوان از انرژی خورشیدی ۶۰۰۰ برابر کل انرژی مورد نیاز جهان را تولید کرد. از دیرباز تا کنون از انرژی خورشیدی به طرق مختلفی بهره برداری شده است. با وجود آنکه انرژی خورشید و مزایای آن در قرون گذشته به خوبی شناخته شده بود ولی بالا بودن هزینه اولیه چنین سیستم‌هایی از یک طرف و عرضه نفت و گاز ارزان از طرف دیگر سد راه پیشرفت این سیستم‌ها شده بود تا اینکه افزایش قیمت نفت در سال ۱۹۷۳ باعث شد که کشورهای پیشرفته صنعتی مجبور شدند به مسئله تولید انرژی از راه‌های دیگر (غیر از استفاده سوختهای فسیلی) توجه جدی‌تری نمایند. در عصر حاضر از انرژی خورشیدی توسط سیستم‌های مختلف استفاده می‌شود که عبارت‌اند از:

- ✓ استفاده از انرژی حرارتی خورشید برای مصارف خانگی، صنعتی و نیروگاهی.
- ✓ تبدیل مستقیم پرتوهای خورشید به الکتریسیته بوسیله تجهیزاتی به نام سلول های فوتوولتاییک.

در این گزارش تمرکز بر استفاده از انرژی خورشیدی توسط سلول های فوتو ولتاییک است. سلول های فوتو ولتاییک (PV)[۱] تجهیزاتی هستند که نور خورشید را به صورت مستقیم به الکتریسیته تبدیل می کنند. نور خورشید را به صورت فوتون های انرژی در نظر می گیرند که هر فوتون از نور خورشید که طول موجی به اندازه کافی کوتاه داشته باشد و دارای حداقل سطحی از انرژی باشد می تواند یک الکترون را از اتم های ماده تشکیل دهنده PV جدا کرده. اگر مداری در این سیستم بسته شود الکترون ها با حرکت در مدار می توانند جریان الکتریکی را ایجاد کنند. ابتدایی ترین سلول های PV در سال ۱۸۷۶ حدود ۲ درصد بازدهی داشتند و تا سال ۲۰۰۵ بازدهی این محصولات به حدود ۱۷ درصد رسیده است [۱].

[۱] Photovoltaics

ایران با داشتن حدود ۳۰۰ روز آفتابی در سال جزو بهترین کشورهای دنیا در زمینه پتانسیل انرژی خورشیدی در جهان می‌باشد. با توجه به موقعیت جغرافیای ایران و پراکندگی روستای در کشور، استفاده از انرژی خورشیدی یکی از مهمترین عواملی است که باید مورد توجه قرار گیرد. استفاده از انرژی خورشیدی یکی از بهترین راه‌های برق رسانی و تولید انرژی در مقایسه با دیگر مدل‌های انتقال انرژی به روستاها و نقاط دور افتاده در کشور از نظر هزینه، حمل‌نقل، نگهداری و عوامل مشابه می‌باشد .با توجه به استانداردهای بین‌المللی اگر میانگین انرژی تابشی خورشید در روز بالاتر از ۳/۵ کیلووات ساعت در مترمربع (۳۵۰۰ وات/ساعت) باشد استفاده از مدلهای انرژی خورشیدی نظیر کلکتورهای خورشیدی یا سیستم‌های فتوولتائیک بسیار اقتصادی و مقرون به صرفه است. در بسیاری از قسمتهای ایران انرژی تابشی خورشید بسیار بالاتر از این میانگین بین‌المللی می‌باشد و در برخی از نقاط حتی بالاتر از ۷ تا ۸ کیلو وات ساعت بر مترمربع اندازه‌گیری شده است ولی بطور متوسط انرژی تابشی خورشید بر سطح سرزمین ایران حدود ۴/۵ کیلو وات ساعت بر مترمربع است [۲].

در ادامه، ابتدا در مورد استفاده از انرژی خورشیدی در کاربری های کشاورزی (به طور خاص استفاده از پنل های فوتوولتاییک)، اجزاء این سیستم ها، روش های ذخیره سازی و تجربیات برخی کشور ها در این زمینه در بخش دوم بحث خواهد شد. پس از آن، در بخش سوم در مورد روند طراحی این سیستم ها توضیحاتی ارائه خواهد شد. در بخش چهارم اجزاء قیمتی سیستم های پمپاژ فوتوولتاییک و مسائل اقتصادی مربوط به این سیستم ها ارائه خواهند شد. مسائل زیست محیطی و قابلیت اطمینان این سیستم ها به ترتیب در بخش های پنجم و ششم بحث خواهند شد. در نهایت نیز در بخش هفتم برندهای سیستم های پمپاژ فوتوولتاییک متداول در ایران و نیز در سطح بین الملل معرفی خواهند شد.

۲. روش های بهره برداری از انرژی خورشیدی برای چاه های کشاورزی

بنابر ترازنامه انرژی ایران در سال ۹۱ [۳] مصرف برق در بخش کشاورزی حدود ۳۱/۷ تراوات ساعت بوده است که این مقدار سهمی معادل ۱۶/۳ درصد از مصرف برق کل را به خود اختصاص داده است. این میزان مصرف تقریباً معادل نصف مقدار مصرف بخش صنعت و همینطور نصف مقدار مصرف بخش خانگی بوده است. متوسط مصرف هر مشترک در این بخش معادل ۱۰۲۹۷۳/۲ کیلووات ساعت بوده است. تا پایان سال ۱۳۹۱ حدود ۲۰۲/۵ هزار حلقه چاه کشاورزی به پمپ‌های برقی مجهز گردیده‌اند که متوسط دیماند آنها ۳۵ کیلووات است [۳].

طبق همین گزارش سرانه مصرف نهایی در بخش کشاورزی حدود ۳/۳ برابر متوسط جهانی است [۳]. براین اساس پتانسیل بهینه سازی مصرف انرژی در این بخش به وضوح دیده می‌شود. لازم به ذکر است که حدود ۸۵ درصد از کل هزینه های طول عمر یک پمپ را انرژی مصرفی آن ایجاد می کند. این موضوع نه تنها لزوم انتخاب بهینه پمپ را مشخص می‌کند بلکه بر بهینه سازی مصرف انرژی پمپ‌های در حال کار نیز تأکید می‌نماید. بر این اساس استفاده از منابع تجدید پذیر همانند انرژی خورشیدی نه تنها هزینه های عملیاتی (مرتبط با انرژی مصرفی) را به طرز قابل ملاحظه ای کاهش می دهد بلکه امنیت انرژی، حفاظت از محیط زیست و توسعه پایدار در بخش کشاورزی را نیز در پی خواهد داشت. جدول (۱) میان روش های امکانپذیر برای تولید انرژی مورد نیاز سیستم های پمپاژ را با هم مقایسه کرده است [۴].

تا کنون روش های مختلفی برای استفاده از انرژی خورشیدی در بخش های مختلف صنعت کشاورزی به کار رفته است. از این جمله می توان استفاده از انرژی گرمایی خورشید برای خشک کردن علوفه و دانه ها، استفاده از انرژی گرمایی برای پمپاژ آب (سیکل های حرارتی) و نیز استفاده از پنل های PV در سیستم های پمپاژ نام برد.

اولین مورد استفاده از سیستم های PV در پمپاژ آب به سال ۱۹۶۴ در شوروی سابق بر می گردد. اگر چه دبی و هد سیستم مذکور بسیار پایین بود اما مطالعات مربوط به آن کمک درخور توجهی به پیشرفت های بعدی در این زمینه کرد. امروزه استفاده از پنل های PV برای تبدیل انرژی خورشیدی به منظور پمپاژ آب بسیار مورد توجه است. این تکنولوژی می تواند در ابعاد بزرگ استفاده شود و از نقطه نظر زیست محیطی جایگزینی بسیار مناسب برای سیستم های پمپاژ فسیلی (دیزلی یا الکتریسیته) می باشد. از طرف دیگر استفاده از این تکنولوژی

با توجه به شیب تند کاهش منابع فسیلی (با توجه به شیب تند افزایش مصرف)، توزیع غیر یکنواخت شبکه برق، و افزایش قیمت حامل های انرژی برای بسیاری از کشورها پر اهمیت به نظر می رسد. این تکنولوژی می تواند در مناطق دور افتاده از شبکه سراسری برق، یا در مناطقی که استحصال از انرژی خورشیدی به عنوان یک جایگزین توجیه پذیر می تواند باشد، قابل استفاده است [۱].

با توجه به تحقیق صورت گرفته در برخی ایالات متحده آمریکا توسط [۵] برای سیستم های با سایز کوچک و در نواحی که فاصله از خط سراسری بیشتر از ۱ کیلومتر باشد استفاده از سیستم پمپاژ PV کاملاً اقتصادی بوده است. زیرا بر اساس گزارشات ارائه شده در این تحقیق هزینه گسترش شبکه سراسری برق بین ۱۰۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰ دلار به ازای هر کیلومتر است در صورتی که هزینه سیستم پمپاژ PV کوچک مقیاس بین ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ دلار بوده است [۵]. همچنین یکی دیگر از ویژگی های مناسب سیستم های پمپاژ PV قابل حمل و نقل بودن آن هاست که در مناطق مختلف که مقاطع آبیاری متفاوتی دارند قابل استفاده هستند.

جدول (۱): مقایسه میان تولید انرژی خورشیدی، دیزلی و بادی در سیستم های پمپاژ [۴]

System Type	Advantages	Disadvantages
PV Powered System	• Low maintenance • Unattended operation • Reliable long life • No fuel and no fumes • Easy to install • Low recurrent costs • System is modular and closely matched to need	• Relatively high initial cost • Low output in cloudy weather
Diesel (or Gas) Powered System	• Moderate capital costs • Easy to install • Can be portable • Extensive experience available	• Needs maintenance and replacement • Site visits necessary • Noise, fume, dirt problems • Fuel often expensive and supply intermittent
Windmill	• No fuel and no fumes • Potentially long-lasting • Works well in windy sites	• High maintenance • Seasonal disadvantages • Difficult find parts thus costly repair • Installation is labor intensive and needs special tools

علاوه بر مسائل ذکر شده نکته جالب توجه دیگر که استفاده از انرژی خورشید برای پمپاژ آب کشاورزی را توجیه پذیر می کند این است که تطابق، هماهنگی و همزمانی خوبی میان فصل آبیاری و نیز فصل در دسترس بودن تابش خورشید وجود دارد.

هزینه تولید انرژی سیستم های پمپاژ PV تقریباً حدود ۱۵ سنت به ازای هر کیلو وات ساعت است که در مقایسه با پمپ های دیزلی که هزینه ای سه برابر این مقدار را دارند بسیار مقرون به صرفه هستند. لازم به ذکر است که تا امروزه بازه کاربری سیستم های پمپاژ PV در تا حدود ۲۵ کیلووات است. البته انتظار می رود در آینده ای نزدیک این بازه تا تقاضای حدود ۱۰۰ کیلو وات نیز گسترش یابد. همچنین در صنعت کشاورزی با گسترش و به بلوغ رسیدن پمپ های حلزونی[۲]، استفاده از این پمپ ها به کارایی بیشتر این سیستم ها کمک خواهد کرد. عمده سیستم های پمپاژ PV نوین از این نوع پمپ ها استفاده می کنند [۶].

۲-۱. سیستم های فوتوولتاییک پمپاژ آب[۳] [۶]

به طور کلی این سیستم ها از اجزاء زیر تشکیل شده اند:

- آرایه ی سلول های PV[۴]
- کنترل کننده شارژ[۵]
- کنترل کننده پمپ[۶]
- باتری
- اینورتر[۷]
- پمپ/ موتور
- زیرساخت های مورد نیاز
- کنترلر سطح آب تانک ذخیره سازی
- سیم کشی ها، لوله های تخلیه و لوله کشی های دیگر
- تانک ذخیره سازی

---

[۲] Helical rotor water pump
[۳] Solar photovoltaic water pumping system (SPVWPS)
[۴] Solar PV array
[۵] Charge controller
[۶] Pump controller
[۷] Inventer

❖ فنس امنیتی

با توجه به اجزایی که در این سیستم ها به کار می رود می توان این سیستم ها به دسته های مختلفی تقسیم بندی کرد:

❖ بر اساس نوع ذخیره سازی انرژی
  ✓ همراه با باتری
  ✓ یک سره[۸]
❖ بر اساس نوع توان ورودی به موتور
  ✓ موتورهای DC
  ✓ موتورهای AC
❖ بر اساس نوع پمپ
  ✓ پمپ های روی سطحی
  ✓ پمپ های چاه های عمیق
❖ بر اساس نوع ردیابی منبع انرژی در پنل ها
  ✓ پنل های ثابت
  ✓ پنل های همراه با سیستم ردیابی

تمامی این موارد دارای مزایا و معایبی هستند که انتخاب نهایی بسته به کاربری خاص دارد که لازم فاکتورهای زیادی در نظر گرفته شوند.

❖ بر اساس نوع ذخیره سازی انرژی

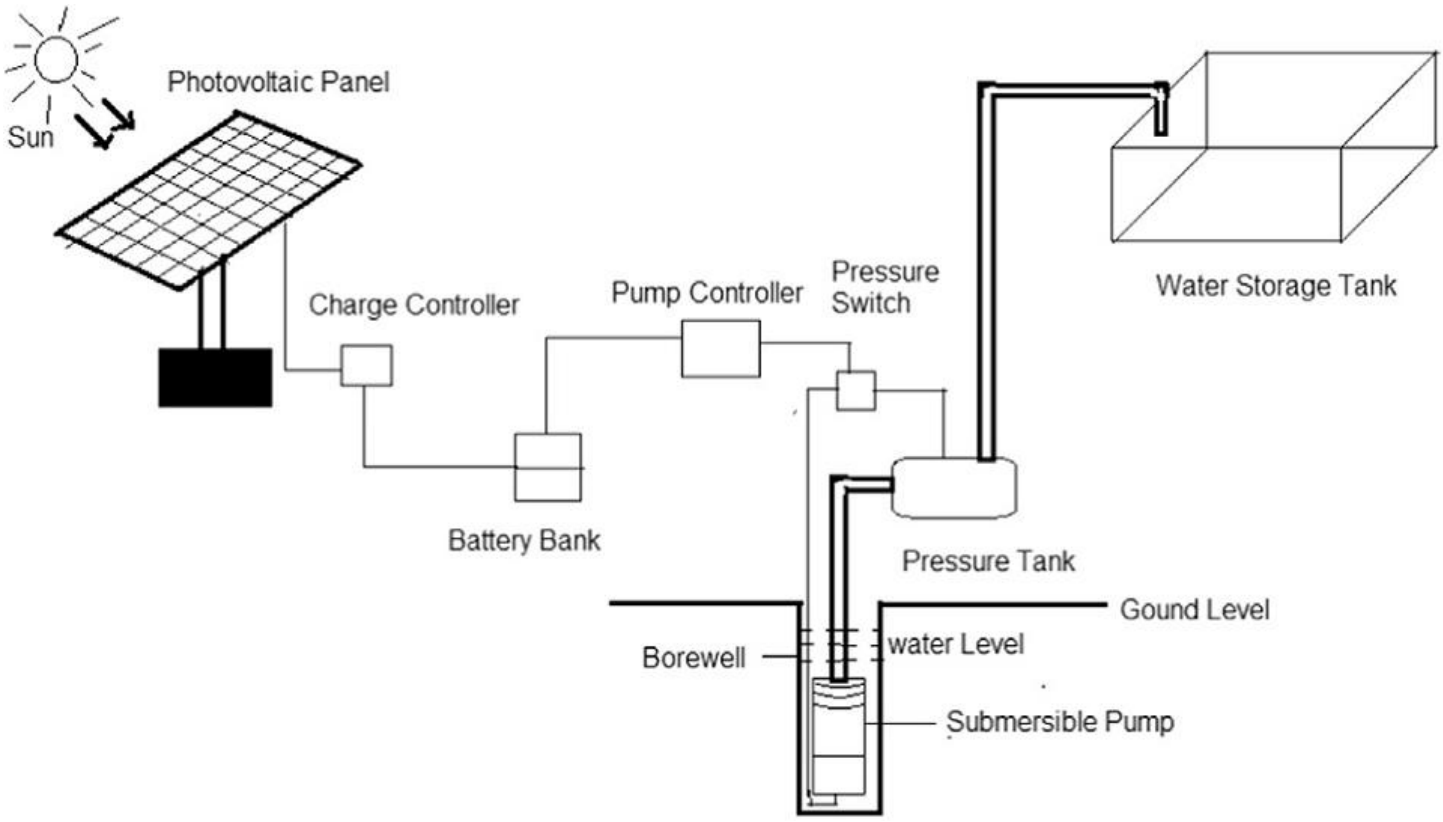
در این دسته، می تواند به صورت مستقیم از پنل به موتور انرژی منتقل شود یا اینکه از باتری برای ذخیره سازی انرژی استفاده شود.

✓ همراه با باتری

این سیستم ها همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است از پنل خورشیدی، کنترلر شارژ، باتری، کنترلر پمپ، سوییچ فشار، تانک ذخیره سازی و پمپ DC تشکیل شده است. هنگامی

[۸] Direct driven

که تابش خورشید داشته باشیم انرژی تولید شده می تواند در باتری ها ذخیره شود و در هنگام نیاز از آن برای راه اندازی پمپ استفاده شود. در صورت پـر بـودن بـاتری مـی تـوان آب را بـه مخازن ذخیره سازی منتقل نمود. در این صورت در هنگام کم بودن تابش، ابـری بـودن هـوا و حتی در شب نیز می توان از سیستم پمپاژ استفاده نمود. با این حال استفاده از بـاتری موجـب پیچیدگی سیستم، افزایش هزینه ها و کاهش بازدهی کل سیستم شود.

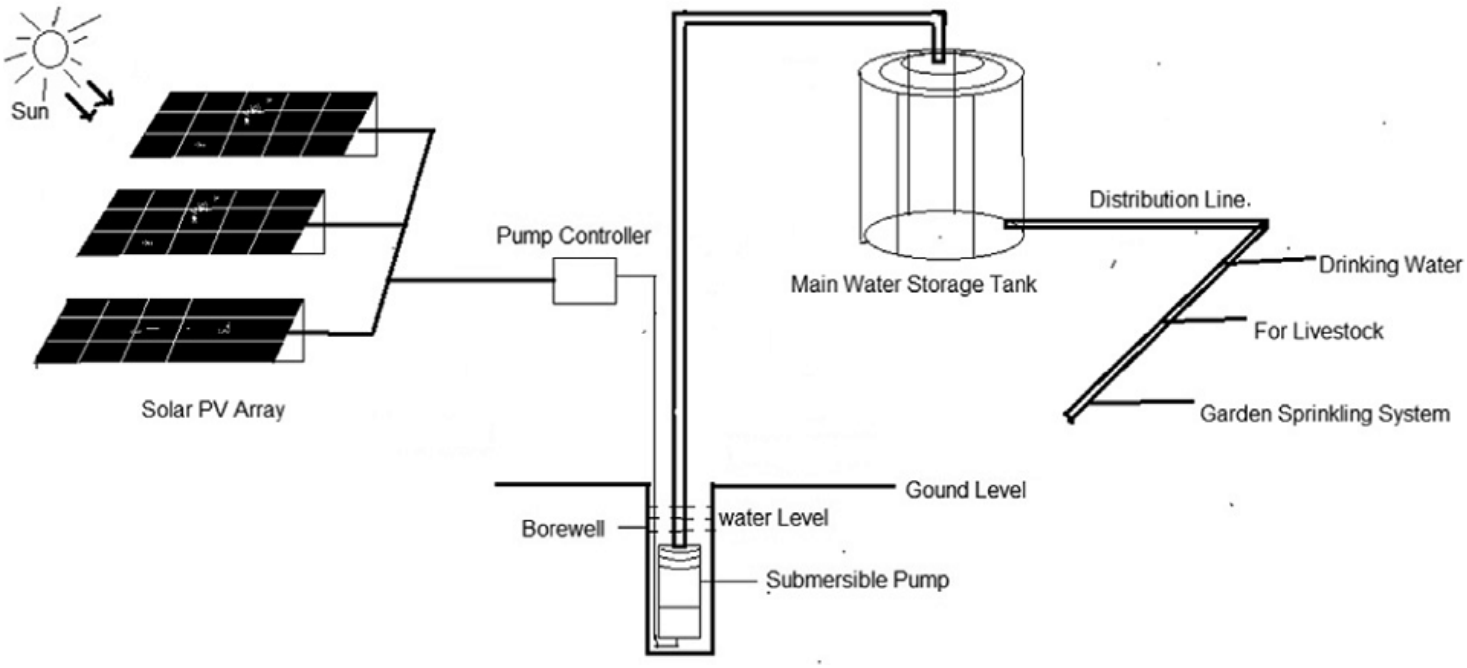


شکل (۱): سیتم پمپاژ با کمک PV همراه با باتری (برای پمپ های شناور) [۶]

- ✓ یک سره

سیستم های یک سره در شکل (۲) نشان داده شده است. در این سیستم ها انرژی تولید شـده مستقیماً به پمپ منتقل می شود. اگر چه این سیستم ها ساده تـر و ارزان تـر هسـتند امـا در صورتی که از استخر های ذخیره سازی بزرگ یا سیستم طراحی شده برای پمپاژ مقادیر بیشتر آب استفاده نشود امکان پمپاژ در زمان نبود تابش خورشید را ندارند. از طرف دیگر با توجه بـه تغییر میزان تابش خورشید در ساعت مختلف روز، میزان تولید آب این سیستم هـا نیـز متغیـر

است (در ابتدا و انتهای روز کم و در حوالی ظهر حداکثر تولید را دارد). انتخاب و تطابق صحیح پمپ با سیستم خورشیدی برای فعالیت بهینه سیستم ضروری است. استفاده از مخازن (استخر) ذخیره سازی در این سیستم ها توصیه می شود. با این حال اندازه بهینه استخر نیز موضوع قابل تأملی است. به صورت معمول سایز استخر برای ۲ تا ۵ روز آب مناسب است.



شکل (۲): سیستم های یک سره [۶]

- بر اساس نوع توان ورودی به موتور

جریان تولیدی توسط پنل های PV به صورت مستقیم (DC) است. این جریان مستقیم را می توان با استفاده از اینورتر به جریان متناوب (AC) تبدیل نمود. بنا براین سیستم های پمپاژ فوتوولتاییک به دو دسته جریان مستقیم و جریان متناوب تقسیم می شوند.

- ✓ موتورهای DC

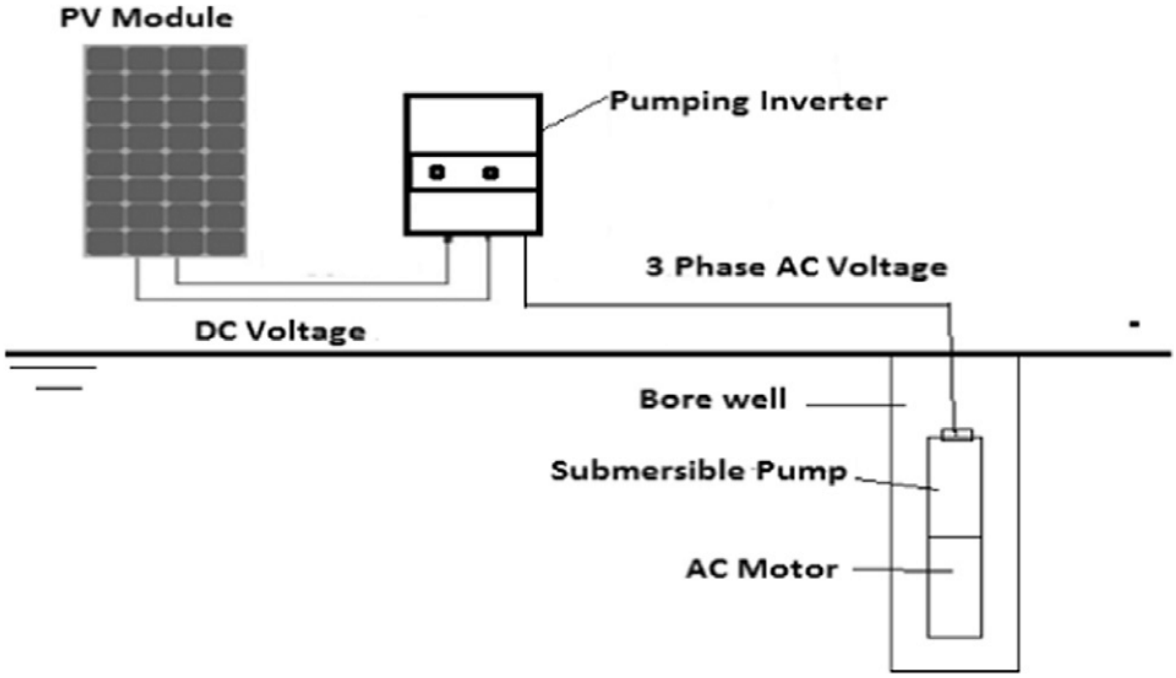
در این نوع، از موتور DC برای پمپ استفاده می شود. موتورهای DC به دو گونه هستند: موتور های DC سنتی با بروش[۹] و موتوهای بدون بروش. نوع اول از بروش های کربنی برای انتقال توان الکتریکی از پنل ها به شفت موتور استفاده می کند. این اجزاء کربنی به مرور فرسوده می

[۹] Brush

شوند و لازم است به طور متناوب تعویض شوند. بنابراین ایـن مسـئله هزینـه هـای عملیـاتی و نگهداری را افزایش می دهد. نوع دوم دستگاه هایی خود-همزمان[۱۰] هستند. این نـوع از القـایی مغناطیسی برای انتقال توان الکتریکی استفاده می کند. موتورهای DC بدون بـروش دائمـی[۱۱]، به علت عدم استفاده از بروش، بازدهی بالا، عملیات کم صدا، اندازه کوچـک، قابلیـت اطمینـان بالا، و نیازمندی های نگهداری پایین، از متداول ترین و محبوب ترین موتورها در سیستم هـای DC هستند. سیستم ها DC می توانند به همراه باتری و یا بدون آن باشند.

- ✓ موتورهای AC

این دسته از یک موتور AC همانگونه که در شکل (۳) نشان داده شده است استفاده می کنـد. در این سیستم ها برای تبدیل جریان مستقیم به متناوب از اینورتر استفاده می کنند. بنـابراین بازدهی کلی سیستم به علت وجود اینورتر پایین تر خواهد آمد. از مزایای این نوع سیسـتم هـا امکان اتصال آن به شبکه سراسری برق در صورت عدم تولید انرژی از سیستم خورشیدی (طی شب یا در اوقات ابری) است.



شکل (۳): سیستم پمپاژ فوتوولتاییک با استفاده از موتور AC [۶]

[۱۰] self-synchronous machine

[۱۱] Permanent brushless DC motor (PMBLDC)

به منظور انتخاب میان الکتروپمپ های DC و AC لازم است ارزیابی اقتصادی و نیز امنیت تأمین آب (با توجه به اینکه سیستم های DC امکان اتصال به شبکه سراسری را ندارند) را لحاظ نمود.

- ❖ بر اساس نوع پمپ

با توجه به مکانی که قرار است پمپ با توجه به سطح آب نصب شود، پمپ ها به دو دسته سطحی و عمیق تقسیم می شوند.

- ❖ بر اساس نوع ردیابی منبع انرژی در پنل ها

این دسته بندی بر اساس وجود ردیاب مکان خورشید در طول روز است.

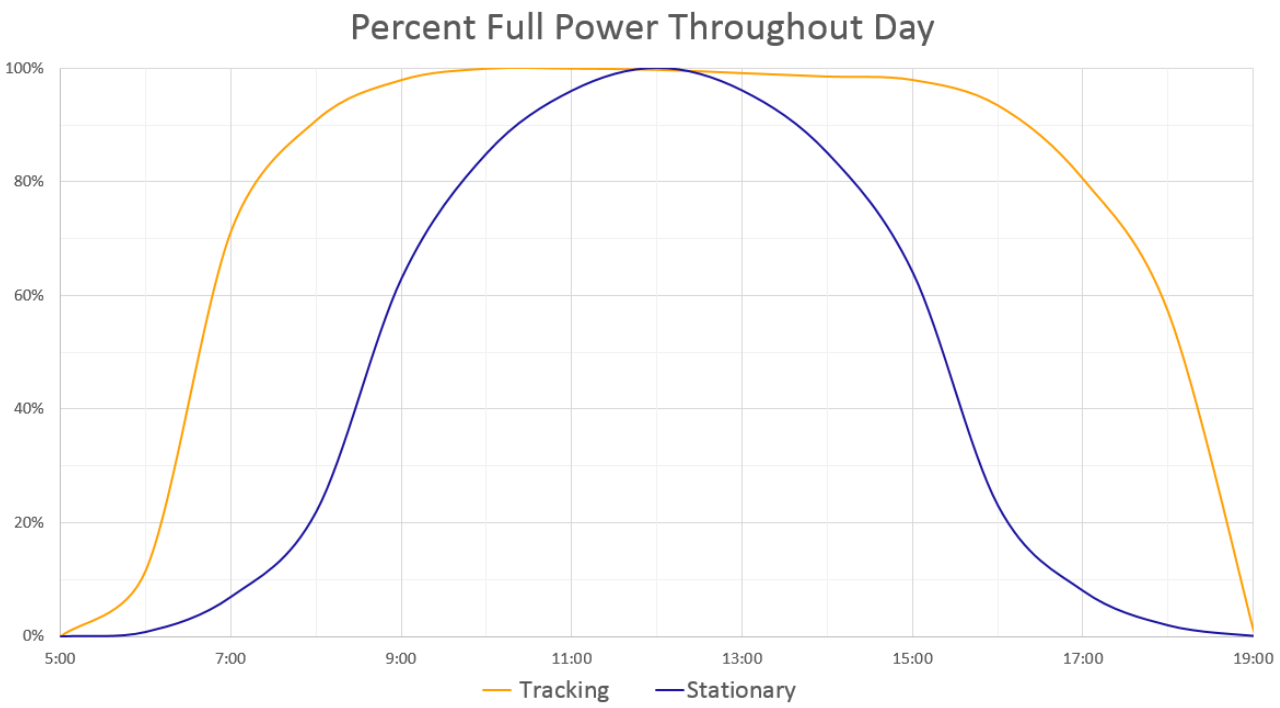
- ✓ پنل های ثابت

در این سیستم ها پنل خورشیدی به طور ثابت و در یک زاویه مشخص در یک جهت ثابت نصب می شود. زاویه نصب معادل زاویه عرض جغرافیایی مکان نصب است. هزینه این سیستم ها پایین است. با این حال بازدهی تولید و پمپاژ آب آنها کم است.

- ✓ پنل های همراه با سیستم ردیابی

برای بهبود بازدهی کل سیستم مناسب تر است که از ردیاب های خورشیدی استفاده کرد. سه نوع ردیاب به نام های دستی، غیرعامل، و اتوماتیک وجود دارد. زیرساخت این سیستم ها باید از استحکام کافی برخوردار باشد. در صورت تنظیم بهینه زاویه و جهت پنل ها در طول روز بازدهی کلی سیستم می تواند بالاتر از ۲۵ درصد (حتی نزدیک به ۵۰ درصد) باشد.

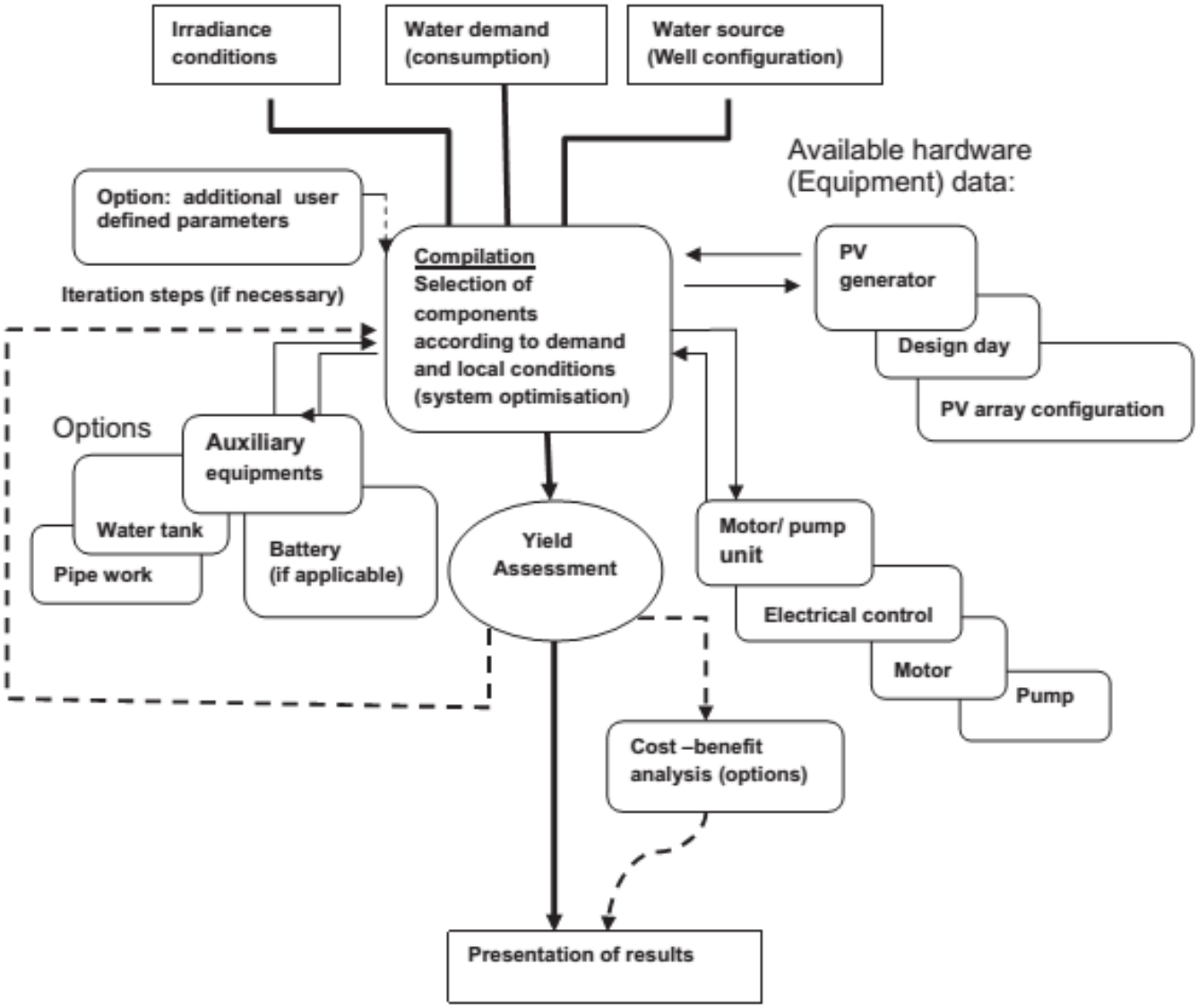
در صورت استفاده از ردیباب ها تعداد ساعات بیشتری از روز را می توان از حداکثر نور خورشید استفاده کرد. شکل (۴) این مسئله را به خوبی به نمایش می گذارد [۸]. با توجه به این شکل می توان یافت که پنل های ثابت و بدون ردیاب از کل ساعات روز سهمی کمتر را می توانند به تولید الکتریسیته بپردازند.



شکل (۴): درصدی از کل تابش که جذب پنل خورشیدی در دو حالت پنل ثابت و پنل متحرک می شود [۸]

اجزاء پایه ای سیستم های پمپاژ فوتوولتاییک به زمینه های مختلفی از مهندسی ارتباط دارند. پمپ و سیستم ردیابی در ارتباط با مهندسی مکانیک، پنل های فوتوولتاییک، اینورترها، کنترلرها، و باتری در ارتباط با مهندسی برق، و الگوریتم های متفاوت برای جستجوی نقطه توان حداکثر[۱۲] مرتبط با علوم کامپیوتر است. بنابراین متخصصین هر یک از این حوزه ها لازم است در طراحی موارد مرتبط با خود برای بدست آوردن سیستمی با بازدهی حداکثری، با حداقل هزینه و بدون ملزومات نگه داری اهتمام ویژه ای داشته باشند. مطالعات گسترده ای در زمینه سیستم های پمپاژ فوتوولتاییک از نقطه نظرهای گونان انجام شده است که توسط سونتاک و همکارانش [۷] و چاندل و همکارانش [۷] به طور کامل مرور شده است. در پیوست (الف) به طور خلاصه نتایج مطالعات مروری توسط سونتاک و همکارانش [۷] ارائه شده است. شکل (۴) پارامترهای موثر بر طراحی یک سیستم پمپاژ فوتوولتاییک را نشان می دهد.

[۱۲] Maximum power point tracking (MPPT)



شکل (۵): پارامترهای سیستمی موثر در طراحی سیستم پمپاژ فوتوولتاییک [۷]

۲-۲. روش های ذخیره کردن انرژی خورشیدی در کاربرد های کشاورزی

در صورتی که از مواد سوختی به عنوان تأمین کننده انرژی استفاده شود، ذخیره سازی آن ها معادل استفاده بهینه از آن ها است. اما در مورد انرژی های تجدید پذیر که ماهیتی نوسانی و مقطعی دارند ذخیره سازی انرژی امری حیاتی به شمار می آید. همانگونه که واضح است پنل های خورشیدی صرفاً مواقعی که نور خورشید در دسترس باشد امکان تولید برق را دارا هستند. بنابراین سیستم های مستقل از شبکه لازم است به نحوی یک

سیستم پشتیبان برای ذخیره سازی انرژی را داشته باشند که در مواقع مورد نیاز انرژی سیستم پمپاژ را تأمین کند.

در میان بسیاری از سیستم های ذخیره سازی ممکن، باتری های اسیدی به عنوان یکی از ارزان ترین روش ها شناخته می شوند. علامه بر ذخیره سازی انرژی، باتری می توانند جریان هایی بالاتر ازجریان مستقیم تولیدی از پنل را تولید کند. اگر چه باتری های به نظر روش مناسبی برای ذخیره سازی هستند، معایبی نیز با خود به همراه دارند. باتری هایی که برای پنل های PV استفاده میشوند از نوع deep-cycle هستند که از باتری های مورد استفاده در اتومبیل ها گران قیمت تر هستند و گسترش و در دسترس بودن آنها محدود تر است. عمر این گونه باتری ها بین ۳ تا ۸ سال متغیر است که این مقدار در آب و هواهای گرم به ۲ تا ۶ سال کاهش می یابد (زیرا نرخ خوردگی داخلی باتری در دماهای بالاتر افزایش می یابد). همچنین باتری ها به بازرسی های منظم نیاز دارند. آن ها بازده کلی سیستم را، به علت اتلاف توان حین شارژ و تخلیه، کاهش می دهند. بازده این باتری ها حدود ۸۵ درصد است که در آب و هوای گرم به ۷۵ درصد نیز افت می یابد. با توجه به همه این موارد، طراحان معمولاً و در صورت امکان از استفاده از باتری ها برای ذخیره سازی انرژی خورشیدی اجتناب می کنند [۴].

در سیستم های پمپاژ آب، استخر و مخازن نگهداری و ذخیره سازی آب (اگر به صورت بهینه سایز و تعبیه شده باشند) می توانند نیاز به آب را تأمین کنند. هزینه های اضافی مربوط به ساخت استخر به مراتب پایین تر از هزینه های باتری می باشد. تنها ۵ درصد سیستم های پمپاژ آب خورشیدی از باتری به عنوان ذخیره ساز استفاده می کنند [۷].

البته لازم به ذکر است در صورتی که سطح آب استخر از سطح زمین و لوله های آبیاری پایین تر باشد، برای استفاده از آب داخل آن لازم است انرژی خارجی دیگری نیز صرف شود. این مشکل را معمولاً با احداث استخرها و یا مخازنی با ارتفاع بهینه از سطح زمین رفع می کنند. توجه به این نکته نیز الزامی است که استفاده از مخزنی در ارتفاعی بالاتر از سطح زمین نیاز مند صرف انرژی بیشتر در پمپاژ است بنابراین بهینه سازی این ارتفاع یکی از موارد بسیار ضروری در طراحی سیستم پمپاژ و ذخیره سازی است.

کاپالی و کومار [۱۰] روش نوین را به نام «روش ذخیره سازی روی سطحی منفرد[۱۳]» در ساختمان ها ارائه کرده اند. در این روش آب به ارتفاع مورد نیاز بهینه ای پمپ می شود مه از اتلاف انرژی جلوگیری شود. بنابراین برای یک مقدار مشخصی از آب پمپ شده انرژی کمتری مورد نیاز است و متعاقباً پنل خورشیدی کوچکتر و کم

[۱۳] Individual Floor Storage Method

هزینه تری استفاده خواهد شد. بر اساس روش ارائه شده توسط آن ها، اندازه پنل ها در یک کاربرد مشخص ۱۳ درصد کوچک تر و هزینه آن ۱۲ درصد پایین تر آمده است.

علاوه بر روش های ذکر شده روش های دیگری نیز برای ذخیره سازی انرژی وجود دارند که عمدتاً گران قیمت هستند و در کاربرد های صنعتی و کشاورزی استفاده نمی شوند. از این روش ها می توان موارد زیر را نام برد [۱۱]:

- باتری های نوین با چگالی انرژی بالا (همانند باتری های لیتیومی)
- تولید مواد دارای انرژی شیمیایی (مانند هیدروژن)
- استفاده از مواد با ظرفیت گرمایی بالا
- استفاده از مواد تغییر فاز
- سیم پیچ ابر رسانا[۱۴]
- ذخیره سازی گاز تحت فشار
- استفاده از چرخ لنگر[۱۵]

۲-۳. تجربیات برخی از کشورها در استفاده از سیستم پمپاژ آب فوتوولتاییک

استفاده از این سیستم ها در بسیاری از کشور ها از سال ها قبل در سطح کلان شروع شده است. اطلاعات موارد از این کاربرد ها در مورد کشورهای مکزیک، هند و نامبیا موجود است که خلاصه ای از آن در ادامه شرح داده خواهد شد [۱۲].

- مکزیک

بین سال های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۰ حدود ۲۰۶ سیستم در مکزیک به عنوان بخشی از برنامه انرژی های تجدیدپذیر مکزیک[۱۶] نصب شده است. بیشتر آن ها در مناطق روستایی شمال مکزیک نصب شده است. یکی از اهداف این طرح جایگزینی پمپ های قدیمی با سیستم پمپاژ آب فوتوولتاییک برای کاهش هزینه های کلی و هزینه های عملیاتی بوده است. سیستم های نصب شده به طور متوسط دارای توان ۵۰۰ وات بوده اند.

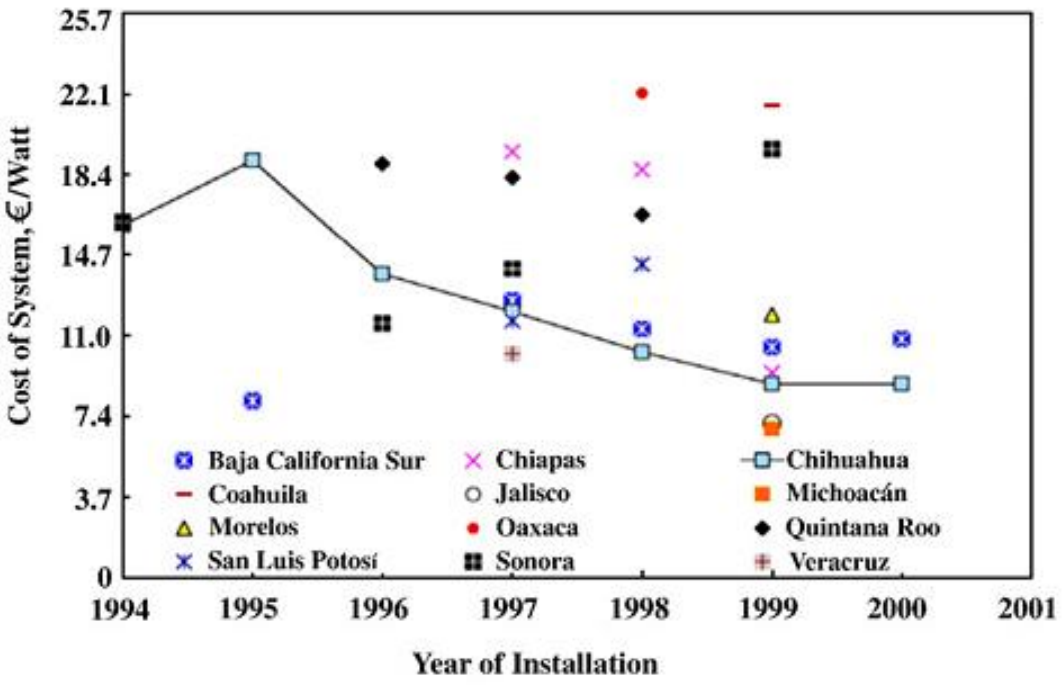
[۱۴] Superconducting coil

[۱۵] Flywheel

[۱۶] Mexican Renewable Energy Program (MREP)

۱۰ ساب بعد از نصب این سیستم ها مطالعاتی برای مشخص کردن مسائل و عملکرد آن ها انجام شد. این مطالعات نشان داده اند که ۵۵ درصد استفاده کنندگان بیان داشته اند که این سیستم ها بسیار اقتصادی هستند. ۳۹ درصد آنها را اقتصادی و ۶ درصد اثرات اقتصادی این سیستم ها را مشهود و ندانسته اند. در مورد قابلیت اطمینان این سیستم ها ۴۹ درصد استفاده کنندگان این سیستم ها را بسیار قابل اطمینان، ۳۷ درصد قابل اطمینان و ۲ درصد غیر قابل اطمینان دانسته اند. در خصوص تولید آب این سیستم ها، ۴۸ درصد تولید آب را بسیار خوب، ۴۶ درصد خوب دانسته اند و ۲ درصد آن را رضایت بخش ندانسته اند.

بنابراین به طور کلی می توان این سیستم ها را مطلوب و رضایت بخش تلقی کرد. در سال ۱۹۹۴ وقتی که این برنامه شروع شد دولت ۸۰ درصد هزینه ها را خود پرداخت کرده است. بعد از ۲ سال عمده مصرف کنندگان در مورد کارایی بالای این پمپ ها متقاعد گشتند و دولت سهم خود را تا سال ۲۰۰۰ به ۱۵ درصد هزینه کاهش داد. شکل (۶) هزینه پمپاژ خورشیدی به ازای هر وات را برای ایالت های مختلف مکزیک نشان می دهد. در برخی از ایالت ها این هزینه کاملاً پایین است. مطالعات نشان داده است که هزینه بالا در برخی از ایالت ها به علت عدم بلوغ استفاده از PV در زمان نصب آن ها بوده است. جدول (۲) روند تغییرات هزینه ها را در بازه زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۰ نشان می دهد.



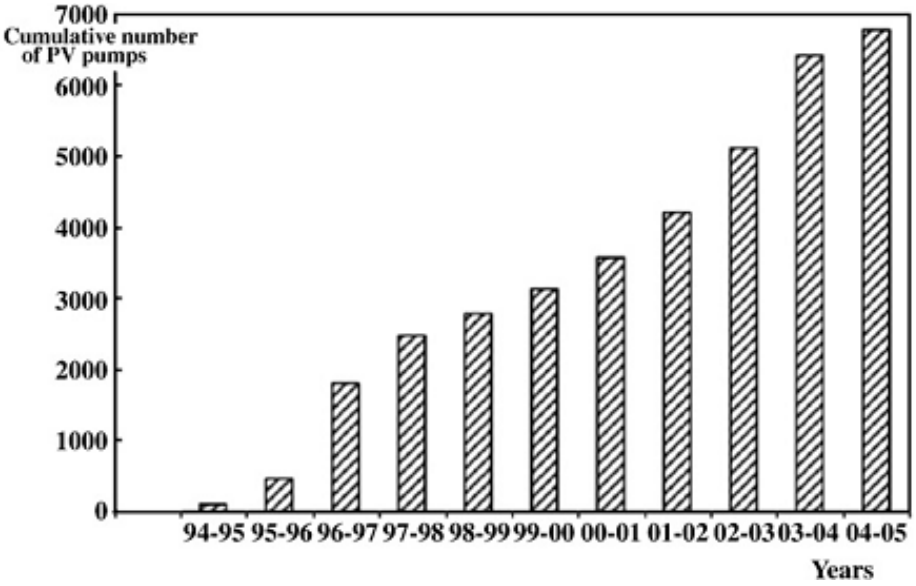
شکل (۶): هزینه هر وات انرژی تولید شده در سیستم ها پمپاژ در مکزیک [۱۲]

جدول (۲): روند تغییرات چند پارامتر در خصوص برنامه خورشیدی کردن پمپ ها در مکزیک [۱۲]

	1994	1996	1998	2000	Total
	Total per year				
kW installed	1.8	16.9	26.4	2.6	101.1
Number of system	6	24	59	5	206
Direct beneficiaries	482	1511	3009	37	9389
	Average per year				Average
System size, Wp	300	704	446	514	491
€/W	16.18	13.94	14.57	10.86	14.69
MREP Cost-Share	78.1%	82.9%	41.9%	15.0%	57.6%
Mexican Cost-Share	21.9%	17.1%	58.1%	85.0%	42.5%

❖ هند

آب های زیرزمینی منبع عمده آب شرب و آبیاری در هند است. در سال ۲۰۰۲ تعداد کل پمپ های متصل به شبکه سراسری برق حدود ۱۳ میلیون بوده است (با پتانسیل اضافه شدن ۷ میلیون دیگر). بیشتر آن ها در چاه ها نصب شده اند. بر اساس مطالعات انجام شده در هند، توسعه شبکه برای استفاده برق در پمپ های جدید نصب بسیار غیر اقتصادی بوده است. بنابر این آن ها به این نتیجه رسیدند که برای پمپ های جدید از پنل های PV استفاده کنند. استفاده از پمپ های DC در میان کشاورزان خرد این کشور بسیار رواج یافته است. شکل (۷) روند تعداد سیستم های پمپاژ PV نصب شده در هند را از سال ۱۹۹۴ تا سال ۲۰۰۵ نشان می دهد.

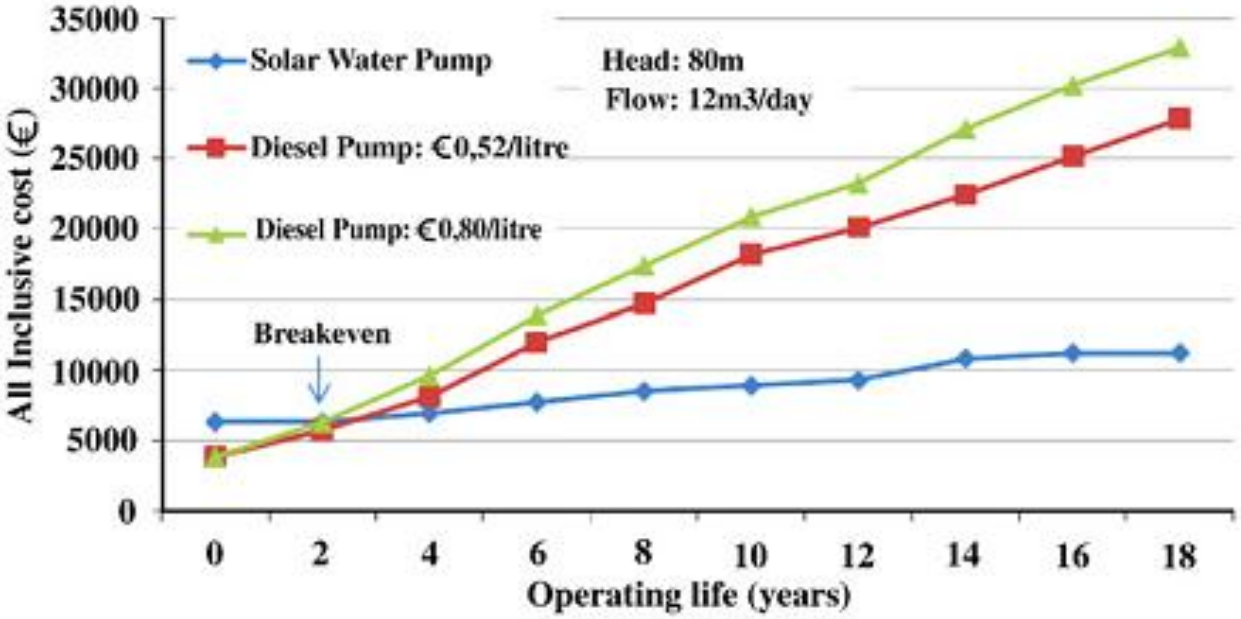


شکل (۷): تعداد تجمعی استفاده کنندگان از سیستم پمپاژ PV در هند [۱۲]

❖ نامبیا

حدود ۴۰۰۰۰ چاه آب در نامبیا به منظور تأمین آب کشاورزی آب آشامیدنی وجود دارد. مطالعـاتی در این کشور برای مقایسه هزینه سیستم پمپاژ دیزلی با سیتم پمپاژ PV بـرای مصـارف در بـازه ۳ تـا ۵۰ مترمکعب در روز و هد ۱۰ تا ۲۰۰ متر انجام شده است. ترم هزینه در این مطالعات تمامی موارد هزینه های سرمایه گذاری، عملیاتی نگهداری و جایگزینی را شامل شده است. این تحلیل برای چرخه عمر ۲۰ ساله که عمر حداقلی یک پنل خورشیدی است در نظر گرفته شده است. بـه عـلاوه در ایـن مطالعـات معیار دیگری به عنوان سال سر به سری (تعداد سالی که استفاده از یک تکنولوژی ارزان تـر از دیگـری خواهد شد) نیز استفاده شده است.

شکل (۸) یک نمونه از این مطالعات را برای سیستمی با هد ۸۰ متر و دبی ۱۲ مترمکعب در سال نشان میدهد. همانگونه که از این شکل پیداست سال سربه سری در این مورد بین ۲ تا ۳ سال است (با توجه به قیمت دیزل).



شکل (۸): هزینه ی کل سیستم پمپاژ PV و مقایسه آن با سیستم دیزلی [۱۲]

همچنین جدول (۳) برای سایر شرایط عملیاتی (هد و دبی) تعداد سال های سر به سری سیستم پمپـاژ خورشیدی را در قیاس با نوع دیزلی نمایش می دهد.

جدول (۳): تعداد سال سربه سری سیستم پمپاژ خورشیدی را در مقایسه با نوع دیزلی [۱۲]

Head [m]	Daily water [m^3/day]							
	3	5	8	10	13	17	25	50
20	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.6	1.3	2.8
40	0.0	0.0	0.4	0.9	1.0	1.1	2.6	4.1
60	0.0	0.0	0.9	1.2	1.7	2.6	3.5	5.1
80	0.0	0.0	1.3	1.6	2.3	3.7	4.6	7.1
100	0.0	0.1	2.3	3.1	3.7	4.6	6.1	Diesel
120	0.0	0.1	2.4	3.9	4.4	5.7	6.5	Diesel
160	0.0	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
200	0.0	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel

The Diesel refers to flow rates and heads that are not yet available for PV pumps. For higher heads or higher flows, the diesel pump is the better choice.

همانطور که از این جدول مشخص است سیستم PV سال سر به سری کمتر از ۷ سال دارد. هـر چقـدر که سایز پمپ و شرایط عملیاتی کمتر باشد این شاخص نیز پایین تر خواهد بود. اگر تقاضای دبی و هـد بسیار کوچک باشند این شاخص در حد چند ماه خواهد بود.

۳. طراحی سیستم پمپاژ فوتوولتاییک [۴، ۱۳، ۱۴]

مرحله اول پیاده سازی یک سیستم پمپاژ PV انتخاب سایت مناسب برای نصب سیسـتم اسـت. انتخـاب سـایت یکی از حیاتی ترین مراحل پیاده سنجی سیستم است. منطقه باید به دارای تعداد روز آفتابی کافی و دمـایی تـا حد ممکن پایین باشد.

هدف نهایی از طراحی این سیستم تأمین آب کافی برای مصارف مختلف مدنظر است. برای طراحی صحیح نیـاز به دانستن مقدار دقیق تقاضای آب، مشخصات چاه و استخر ذخیره سازی آب می باشـد. اسـاس طراحـی نبایـد صرفاً تأمین آب مورد نیاز در حین فعالیت سیستم باشد بلکه بایستی مقدار کافی نیـز آب بـرای مصـارف آینـده (هنگامی که سیستم قابلیت فعالیت را ندارد) ذخیره سازی شود. دبی بیشتر از حد نیاز مصرف، باید توسـط یـک کنترلر به ذخیره سازی فرستاده شود و در صورت تکمیل ظرفیت ذخیره ساز این مسیر بسته شود. طراحی شامل سایزینگ پنل های خورشیدی، سایزینگ پمپ، و انتخاب کنترلر مناسب است. سیستم باید بـه نحـوی طراحـی شود که برای تمامی طول سال قابلیت استفاده داشته باشد. بنابراین بدترین سناریو را برای طراحی باید انتخـاب

کرد (زمستان یا پاییز). برای سایزینگ پمپ سه مقدار لازم است مشخص باشد: تقاضای آب (مقدار حجم بر زمان)، هد کلی سیستم و نرخ شارژ مجدد چاه. در حین طراحی پمپ لازم است تعداد روزهای ابری نیز با ۵ درصد ضریب اطمینان (Over design) در نظر گرفته شوند. بنابراین به ذخیره سازی با اندازه بزرگتر نیاز است. انتخاب پمپ با استفاده از دبی آب مورد نیاز و هد سیستم انجام می شود اما باید توجه داشت که این دبی از دبی شارژ مجدد چاه بیشتر نباشد. بنابراین لازم است یک سنسور خشکی چاه در چاه در نظر گرفته شود. کل توان مورد نیاز را باید برای توان مورد نیاز سیستم پمپاژ با ۲۰ درصد ضریب اطمینان در نظر گرفت. همچنین علاوه بر بازده تمامی اجزاء سیستم لازم است بازدهی اینورتر در صورتی که از پمپ AC استفاده می شود نیز در نظر گرفته شود. همچینین می توان سناریو های مختلف در مورد سیستم پنل ها در نظر گرفت. به این صورت که آیا لازم است از سیستم ردیاب استفاده کرد یا خیر و ارزیابی های اقتصادی این سناریوها را انجام داد.

برای یافتن توان هیدرولیک مورد نیاز برای تولید دبی مشخصی آب با هد خاص از رابطه زیر استفاده می شود:

$$E_w = \rho_w g V H$$

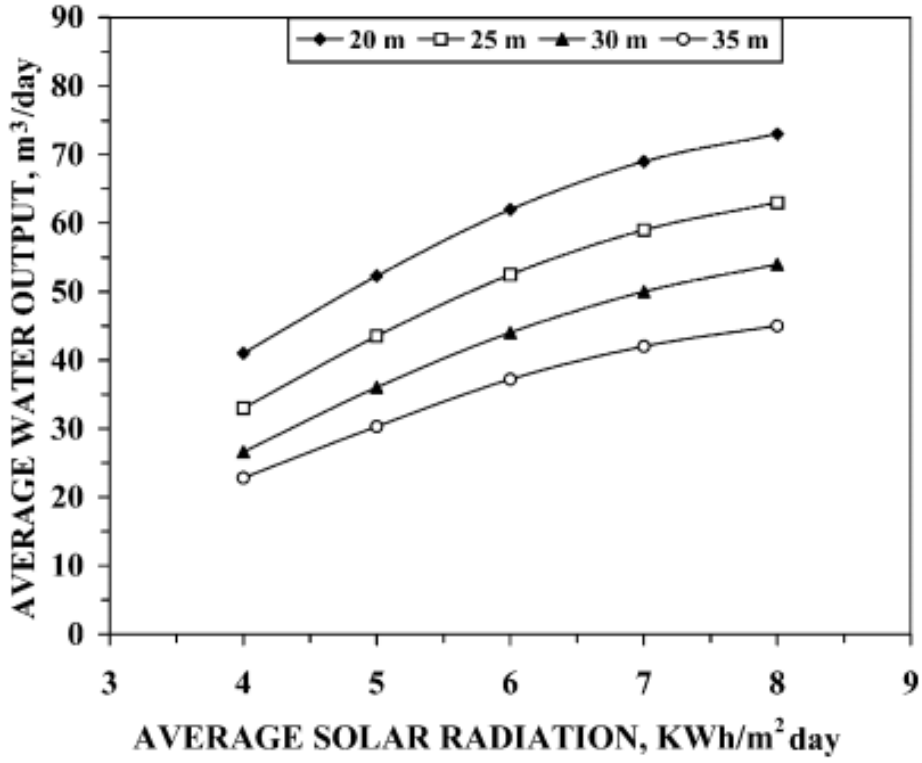
در این رابطه E_W توان مورد نیاز (kW h/day)، ρ_w چگالی آب و g ثابت گرانش، V دبی آب (m^3/day) و H هد آب (m) است.

توان مورد برای آرایه خورشیدی با رابطه زیر به دست می آید:

$$P_{sa} = \frac{E_w}{E_{sr}.\eta.F}$$

که در این رابطه P_{sa} توان آرایه خورشیدی (kW)، E_{sr} تابش متوسط روزانه (kW h/m^2day)، F ضریب ظرفیت و η بازده کلی سیستم است.

خروجی این محاسبات برای یک سیستم مشخص به صورت شکل زیر خواهد بود. در این شکل می توان برای هر سیستم مشخص با توجه به تابش متوسط و هد مورد نظر میزان دبی تولیدی سیستم قابل محاسبه است.



شکل (۹): نمونه ای از منحنی عملکردی در سیستم های پمپاژ PV

تولید کنندگان و فروشندگان سیستم های پمپاژ خورشیدی لازم است نمودار هایی مشابه با نمودار نشان داده شده در بالا را در اختیار مصرف کنندگان برای ارزیابی های اقتصادی قرار دهند.

برای یافتن سطح مورد نیاز از یک نوع پنل مشخص (بازده مشخص) لازم است پس از یافتن توان هیدرولیک مورد نیاز برای پمپاژ آب (E_w) و نیز پس از محاسبه توان تابشی به ازای سطح در منطقه (E_{sr}) از رابطه زیر سطح مورد نیاز را می توان بدست آورد:

$$A = \frac{E_w}{E_{sr}\eta_{pv}}$$

η_{pv} بازده کلی سیستم خورشیدی و سیستم پمپاژ است.

۴. اجزای قیمتی و اقتصاد یک سیستم برق خورشیدی

پنل های PV حدود ۵۰ تا ۷۵ درصد از قیمت کلی سیستم پمپاژ PV را تشکیل می دهد. قیمت این آرایه ها به طور مستقیم به بازده آن ها مرتبط است که حدوداً برای سلول های سیلیکن کریستالین۲۴/۷ درصد و ۲۰/۳

درصد برای سلول های سیلیکن مولتی کریستالین تحت شرایط استاندارد تست (تابش ۱۰۰۰ وات بر متر مربع و دمای ۲۵ درجه سانتی گراد) می باشد. اما به طور معمول شرایط دمایی آرایه در سایتمتفاوت است و بازده حدود ۲ تا ۳ درصد پایین تر از این مقدار است. به طور متداول می توان بازده نوعی ماژول های خورشیدی صنعتی را حدود ۱۵ درصد در نظر گرفت. هزینه نصب این تجهیزات نیز بخش قابل توجهی از هزینه ها را تشکیل می دهند زیرا معمولاً افراد خبره (گاهی در سطح بین المللی) برای این کار نیاز است. اما در صورتی که از نیروهای آموزش دیده محلی استفاده شود این هزینه ها به طور چشم گیری کاهش می یابد. بسیاری از مواد را می توان در همان منطقه نصب تهیه کرد؛ همانند ساختارهای نگهدارنده، لوله کشی و تجهیزات برقی. در کشور های در حال توسعه بخشی از هزینه خرید و راه اندازی این سیستم ها توسط دولت پرداخت می شود [۱۵].

در جدول (۴) به صورت نوعی درصد هزینه های خرید، نصب و راه اندازی سیستم پمپاژ PV (۱ کیلووات و ۵۰ متر هد آب) در دو کشور آمریکا (توسعه یافته) و بنگلادش(در حال توسعه) را نشان می دهد. همانطور که مشخص است به خاطر توسعه تکنولوژی ساخت سلول های PV این تجهیز سهم کمتری را در آمریکا به خود اختصاص داده است. هزینه مواد و نیروی کار در بنگلادش به مراتب پایین تر از آمریکا است [۱۵].

جدول (۴): درصد هزینه های خرید، نصب و راه اندازی سیستم پمپاژ PV در دو کشور آمریکا (توسعه یافته) و بنگلادش(در حال توسعه) [۱۵]

	USA (Developed country)	Banglades (Developing country)
PV module	64.5	77.3
Support structure	2.9	0.9
Controller	2.9	3.4
Transportation (per year)	1.1	0.3
Motor/pump	10.8	12.9
Installation	14.3	3.4
O&M (per year)	0.7	0.2
Accessories	2.9	1.7
Total Cost (US $)	6980	5830

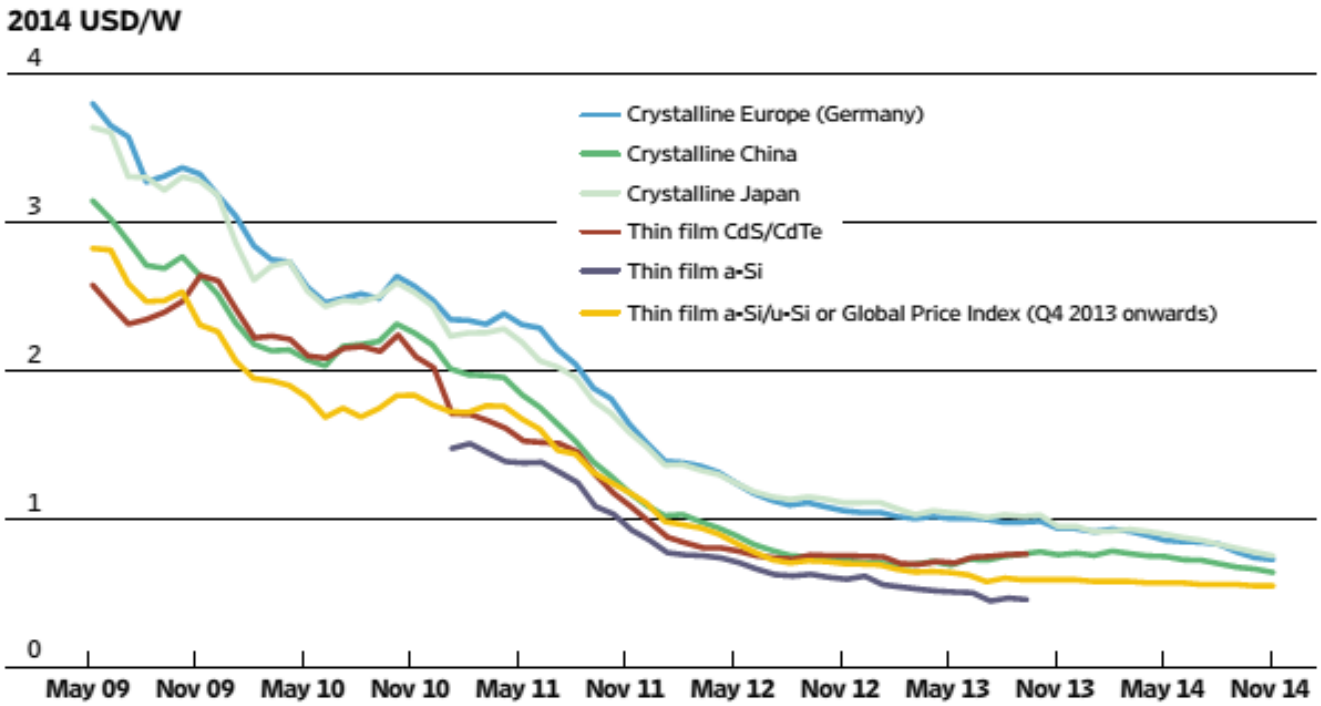
در قیاس سه سنایو تأمین انرژی برای سیستم پمپاژ، سیستم PV از پنل های خورشیدی، سیستم برقی از خط انتقال برق و سیستم دیزلی از موتور دیزلی استفاده می کنند و سایر تجهیزات در این سه سناریو مشابه هم می باشند [۴].

هزینه جاری سیستم PV بسیار ناچیز است (کمتر از یک درصد کل هزینه ها) در صورتی که هزینه برق بین ۵ تا ۱۳ سنت و و هزینه دیزل ترتیب حدود ۰/۶ دلار به ازای هر کیلووات ساعت است. همچنین هزینه های نگهداری این دو سیستم بسیار بالاتر است. جدول (۵) مقایسه ای کامل تر بین این سه سناریو برای سیستم پمپاژ (برای مناطق دور افتاده) را ارائه کرده است [۴].

جدول (۵): مقایسه سه سناریو تأمین انرژی برای سیستم پمپاژ [۴]

Energy source	Estimated capital cost	Operation cost	Maintenance	Life span (year)
PV system	$6.8/Wp	None	Low	10–15
Electric utility	$22/W	5–13 ¢/kWh	Low	N/A
Gasoline Generator	$2.5/W	$0.6/kWh	High	5–10

قیمت متوسط پنل های خورشیدی از سال ۲۰۰۹ تا سال ۲۰۱۴ حدود ۷۵ درصد کاهش داشته است. این روند کاهش در شکل زیر برای انواع پنل ها فروخته شده در اروپا نمایش داده شده است [۱۶].



شکل (۱۰): متوسط قیمت ماژول PV خورشیدی در اروپا بر اساس تکنولوژی [۱۶]

جدول (۶) نیز روند تغییرات قیمت پنل های خورشیدی را بر اساس اندازه نشان می دهد. همانطور که از این جدول پیداست این روند کاهشی بوده است.

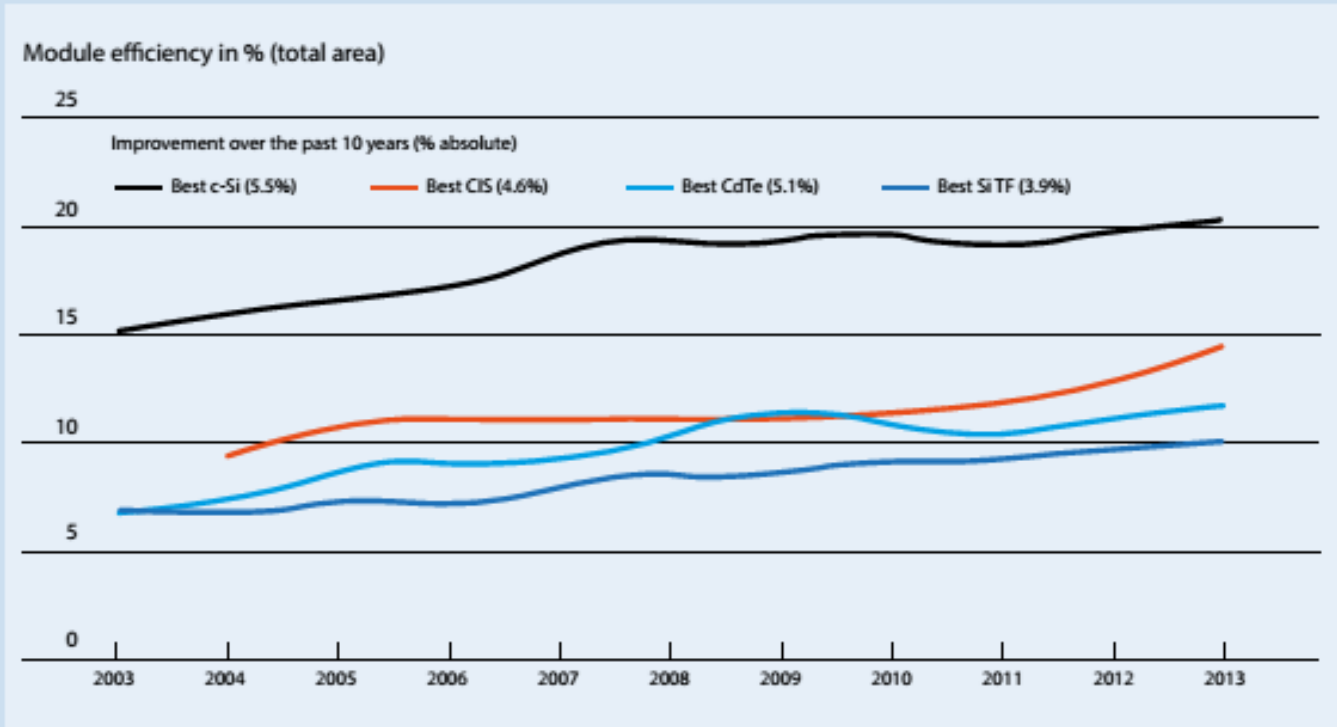
جدول (۶): قیمت ماژول PV خورشیدی بر اساس سایز در سالهای مختلف (فروخته شده در ایتالیا) [۱۶]

	Module price by size (2014 USD/W)				
	Rooftop			Ground-mount	
	1-3 kW	3-20 kW	20-200 kW	200-1000 kW	>1000 kW
2008	6.6	6.4	5.8	5.0	4.5
2009	5.6	5.4	4.7	4.1	3.5
2010	4.0	3.7	3.1	2.8	2.4
2011	3.2	3.1	2.6	2.2	2.2
2012	2.0	1.7	1.5	1.2	1.1
2013	1.8	1.5	1.1	0.9	0.8
Decline, 2009 to 2013	-69%	-73%	-77%	-77%	-77%

اساسی ترین عوامل کاهش قیمت ماژول های PV را می توان به صورت زیر نام برد [۱۶]:

- ✓ بهبود بازدهی: این مسئله در دو زمینه رخ می دهد. اول در بهبود بازده مواد (کاهش مواد مورد استفاده و نتیجتاً کاهش قیمت) و بهبود بازده تبدیل انرژی خورشیدی به برق (کاهش قیمت با کاهش سطح مورد میاز به ازای هر وات)
- ✓ اقتصاد در ارتباط با ابعاد: با افزایش ابعاد قیمت به ازای هر وات تولیدی کاهش می یابد
- ✓ بهینه سازی فرآیند تولید: کاهش هزینه های تولید مواد و پنل ها

شکل (۱۱) روند افزایشی بازده سلول های PV را در بازه زمانی سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ نشان می دهد.

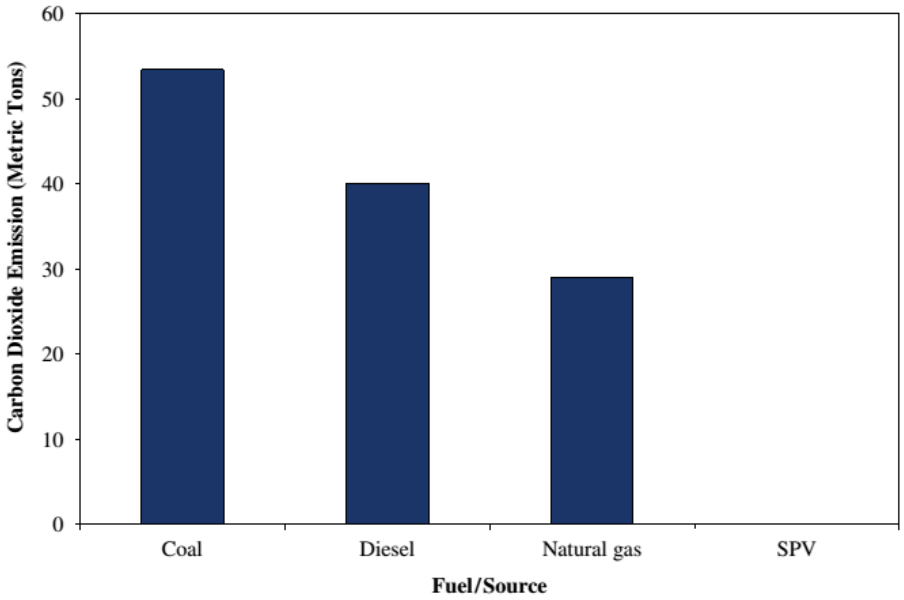


شکل (۱۱): روند تغییرات بازده سلول های PV بین سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ [۱۶]

۵. مسائل زیست محیطی استفاده از سیستم پمپاژ PV [۴]

کربن دی اکسید تولیدی ناشی از سوختن زغال، دیزل و گاز طبیعی به ترتیب برابر ۹۷۶، ۷۳۳ و ۵۳۱ گرم به ازای هر کیلووات ساعت تولیدی است. شکل (۱۲) کربن دی اکسید تولیدی ناشی از تولید ۱۰۰۰ وات توان در طی ۲۵ سال را برای منابع مختلف انرژی نشان می دهد. محاسبات مربوط به این شکل بر اساس ضریب ظرفیت ۲۵ درصد، به علت ضریب ظرفیت پایین سیستم پمپاژ PV انجام شده است.

در میان منابع مختلف انرژی برای سیستم پمپاژ، توربین های بادی و انرژی خورشیدی اثرات منفی زیست محیطی ندارند. در این میان توربین های بادی دو اثر منفی در طبیعت دارند که عبارتند از ایجاد صدای زیاد و نیز تأثیرات بصری. بنابراین استفاده از سلول های خورشیدی نه تنها اثرات آلایندگی شیمیایی ندارد بلکه اثرات صدایی نیز ندارد.



شکل (۱۲): دی اکسید کربن تولیدی در ۲۵ سال تولید توان ۱۰۰ وات برای منابع انرژی مختلف

۶. ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم پمپاژ PV [۱۵]

چرخه عمر سیستم های پمپاژ PV می تواند با نگهداری مناسب و در دسترس بودن اجزاء یدکی افزایش یابد. تحقیقاتی که در مورد قابلیت اطمینان این سیستم ها در تایلند انجام شده است نشان داده است که حدود ۴۵ درصد از سیستم های نصب شده در چرخه عمر خود به نحوی دچار خرابی شده اند که دیگر قابل استفاده نبوده اند. از این مقدار حدود ۸۸ درصد در ۷ سال اول فعالیت خود به این وضعیت رسیده اند. دلایل عمده خرابی به صورت زیر است:

- ✓ ۳۰ درصد شکستگی شیر آب
- ✓ ۲۷ درصد خرابی موتور / پمپ
- ✓ ۱۸ درصد نشتی لوله کشی
- ✓ ۱۷ درصد خرابی اینورتر

خرابی لوله و پمپ به علت گرفتگی در سیستم به علت مواد جامدی که به سیستم وارد شده اند رخ داده است.

با توجه به سناریو های خرابی بررسی شده در مطالعات مختلف، میتوان به این نتیجه رسید که بسیاری از سیستم های پمپاژ PV با جایگزینی ساده پمپ / موتور، کنترلر و سایز اجزاء جزیی دیگر قابلیت بازیابی و وارد شدن به چرخه فعالیت را دارند.

۷. شرکت های داخلی و خارجی در حوزه پمپ های خورشیدی

شرکت های وارد کننده داخلی عمدتاً از سیستم های پمپاژ خورشیدی تولید چین استفاده می کنند. عمدتاً محصولات چینی وارداتی، تولید شرکت های Solartech (آدرس وبسایت: http://www.solartech.cn)، شرکت Wenling JT Pump Factory (آدرس وبسایت: http://www.pumps-in-china.com) می باشد. همچنین برخی از شرکت های پمپهای خورشیدی شرکت Lorentz (آدرس وبسایت: https://www.lorentz.de) وارد می کنند.

در ادامه در جدول (۷) لیست برخی از شرکت های تولید کننده پمپ های خورشیدی معتبر در سطح بین المللی (در اروپا و ایالات متحده) که کاتالوگ و اطلاعات عملکردی آن ها در ارائه شده است معرفی شده اند.

جدول (۷): برخی از شرکت های تولید کننده پمپ های خورشیدی معتبر در سطح بین المللی (در اروپا و ایالات متحده)

کشور	نام شرکت
آلمان	✓ Lorentz آدرس وبسایت: https://www.lorentz.de
	✓ Sun Stream UG mbH آدرس وبسایت: http://www.sun-stream-shop.de
انگلیس	✓ Sollatek (UK) Ltd. آدرس وبسایت: http://www.sollatek.com
دانمارک	✓ Grundfos Management A/S آدرس وبسایت: http://www.grundfos.com
ایالات متحده	✓ SunPumps Inc. آدرس وبسایت: http://www.sunpumps.com
	✓ Solar Integrated Systems آدرس وبسایت: https://www.solaropia.com/
	✓ Franklin Electric آدرس وبسایت: https://franklin-electric.com

پیوست (الف)

جدول (الف-۱): خلاصه تحقیقات انجام شده بر عملکرد سیستم های پمپاژ فوتوولتاییک [۷]

Country	Purview of work	Conclusion
India	Studied performance of 7 solar PV pumps installed at 7 different locations	Solar PV pumps can replace hand pumps to meet water demand at all Installation site
Sudan	Conducted long term and short-term test on SPVWPS to check their suitability to meet water demand for drinking and irrigation	Solar pumps found suitable and reliable for meeting water demands in the village of Sudan
Australia	Investigation of efficiency and performance of SPVWPS experimentally and numerically.	For optimal performance of the system, quality of load and PV array size should be properly matched
Nigeria	Conventional AC water pump was replaced by solar PV pump and it is suitability evaluated	Solar PV pump's performance was found satisfactory to meet water demand of 20 m^3 /day
Germany	Pilot project by GTZ Germany to demonstrate capability and technical maturity of PVP systems and to increase their costeffectiveness	Solar PVP system can suitably replace diesel engine based water pumping systems for Community drinking water supply system
U.S.A	Performance study of 02 identical solar PVP systems with and without tracking system	Cost of tracking system did not justify increase in quantity of water pumped at given head
Brazil	Investigation of performance of SPVWPS withfixed, tracking and tracking with concentrating byVtrough generator	Cost of water pumped (m^3 /day) by tracking system reduced by ٪۱۹ and with that concentrating system by 48% compared to fixed system.
Algeria	Comparison of performance of single stage and multistage centrifugal solar PV pumps	Single stage PV pumps showed high efficiency for low head application whereas multistage pump had high efficiency for high head application
Fiji	Development and testing of model to predict daily volumeflow rate from PV pump	٪۸deviation found betweenflow rate predicted by this model and experimentally measured value
Brazil	Application of utilizability method to predict daily volumeflow by solar PV pump	Maximum deviation of only 1.7% observed between pumped volumeflow and that from long simulated 10-year solar radiation time series

Sudan	investigation of the technical and economic feasibility of solar PV water pumping system to meet the water requirements for drinking, livestock feeding and irrigation purpose	SPVWPS was the most feasible solution to meet water requirements considering meteorological conditions of the Sudan
Spain	Investigation of effect of installing SPV pumps in the 18 villages of south Morocco	Solar PV water pumping system is most effective and sustainable mean to meet water requirements
India	Design and testing of SPVWPS to supply water to an orchard	Excellent performance of the system reported. Payback period of 6 years reported
Tunisia	Investigation of the effect of solar radiation on the performance of standalone SPVWPS, both theoretically and experimentally	Under constant solar radiation condition, pump performance dependence was more on radiation
Tunisia	Studied the economic viability of SPVWPS to fulfill water requirement of nomadic of deserts of Tunisia	Nomadic could get water at one place and settled.
India	Investigation of impact of employing SPVWPS in every household of city	use of solar water pumps in domestic applications lead to energy savings, reduced peak power, reduced losses and hence improved efficiency of transmission and Distribution of electrical energy
India	Study to establish the relation between the discharge rate and radiation and the relation between efficiency and the output of SPVWPS	discharge increases with radiation and vice versa in same pattern. Furthermore, with the increase of output the efficiency also increases but does not follow any regular pattern
Nigeria	Development of an empirical model for SPVWPS	This model reduced the data acquisition and computation period and could be used to estimate the cost of owning SPVWPS in poor developing countries like India, Bhutan and Nepal
Egypt	Feasibility and economic study of SPVWPS for remote areas of Egypt	SPVWPS used efficiently for water pumping in agricultural sectors. Their operating cost is also low compared to like diesel engine water pumping system
Algeria	Suitability for irrigation of crops like wheat potatoes etc	SPVWPS could easily pump sufficient water for small-scale irrigation with an area smaller than 2 ha

جدول (الف-۲): خلاصه نتایج مطالعات در خصوص اثر استفاده از انواع مختلف پمپ [۷]

Country	Types of motor used	Conclusion
Australia	Brushless DC motor.	Improvement in efficiency of SPVWPS reported.
Oldenburg	Asynchronous AC motor and Brushless DC motor	SPVWPS using brushless DC motor was superior and more efficient than the system using conventional ASM.
India	Permanent Magnet Brushless DC (PMBLDC)	Cost of drive system to drive SPV pump has reduced using PMBLDC. Efficiency of SPVWPS was more even at low value of solar radiation.
India	DC motor and permanent magnet DC motor.	PMDC motor base SPVWPS was more efficient than the conventional DC motor based water pumping system.
Egypt	DC motor and induction motor.	Induction motor gave more mechanical power by drawing more power from PV array and hence efficient compare to DC motor.
India	Permanent Magnet Brushless DC (PMBLDC)	PMBLDC motor is more efficient and less costly.
Tanzania	Permanent magnet DC induction motor and AC induction motor.	Pumping system using permanent magnet DC (PMDC) motor had more efficiency than the system using induction motor (IM).
Algeria	ASM	SPVWPS using asynchronous motor found suitable to fulfill drinking water demand and irrigation water requirement of small crops in Sahara region.
India	Permanent magnet DC motor	PMDC motors performance is affected by variation in solar intensity and cell temperature.
Jordan	Induction motor	Overall efficiency of SPVWPS found to increase more than 3% by using induction motor.
Algeria	Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) and ASM	ASM machine drive and speed controller had shown good transient and steady state performance.

جدول (الف-۳): اثرات اقتصادی و زیست محیطی استفاده از سیستم های پمپاژ فوتوولتاییک [۹]

Country	**Study type**	**Research findings**
Ireland	Economic viability	Mismatch between water demand and supply patterns have a major effect on economic viability of the PV pumping.
India	Techno-economic analysis	Payback period of less than 4 years with huge savings over 16 years.
Algeria	Economic analysis	PV surface pumps to supply water can contribute to socio-economic development in remote Sahara regions.
Greece	Economic and environmental analysis	PV pumping systems are economical viable options for water consumption needs of remote communities.
India	Financial evaluation	PV pumping systems are viable option when sufficient incentives are provided by government.
Mexico	Economic analysis	Economically viable PV water pumping systems gained foot hold and changing the face of water pumping in Mexico.
India	Environmental and economic analysis	Capital cost of PV pump, its useful life, price of fuel substituted, and discount rate on the unit cost of CO_2 emission mitigation are of importantance for solar pumping promotion
Iran	Economic analysis	Considerable savings are observed in PV water pumping system as compared to conventional systems.
USA	Rural water supply	Investment payback for PV water pumping systems is averaged about 5–6 years
Brazil	Irrigation	Negligence of local specificities and technology transfer methods cause PV water pumping systems failure.
USA	Rural water supply	PV water pumping systems reduce CO_2 emission considerably over its 25-year life span.

منابع

[1] Masters, Gilbert M. Renewable and efficient electric power systems. John Wiley & Sons, 2013.

[2] https://wikipedia.org.

[۳] معاونت امور برق وانرژی دفتر برنامه ریزی کلان برق و انـرژی ۱۳۹۲ ترازنامه ی انـرژی سـال ۱۳۹۱ تهـران: وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی.

[4] Oi, Akihiro. *Design and simulation of photovoltaic water pumping system*. Diss. California Polytechnic State University, San Luis Obispo, 2005.

[5] Meah, Kala, Steven Fletcher, and Sadrul Ula. "Solar photovoltaic water pumping for remote locations." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12.2 (2008): 472-487.

[6] Foster, Robert, and Alma Cota. "Solar water pumping advances and comparative economics." *Energy Procedia* 57 (2014): 1431-1436.

[7] Sontake, Vimal Chand, and Vilas R. Kalamkar. "Solar photovoltaic water pumping system-A comprehensive review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59 (2016): 1038-1067.

[8] http://www.lauritzen.biz.

[9] Chandel, S. S., M. Nagaraju Naik, and Rahul Chandel. "Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49 (2015): 1084-1099.

[10] Kappali, Mrityunjaya, and Uday RY Kumar. "An approach to reduce the size and cost of PV panel in solar water pumping." *Industrial and Information Systems (ICIIS), 2010 International Conference on*. IEEE, 2010.

[11] Patel, Mukund R. *Wind and solar power systems: design, analysis, and operation*. CRC press, 2005.

[12] Ramos, J. S., and Helena M. Ramos. "Solar powered pumps to supply water for rural or isolated zones: a case study." *Energy for Sustainable Development* 13.3 (2009): 151-158.

[13] Haque, Mohammed Mozammel. "Photovoltaic water pumping system for irrigation." *4th International Conference on Mechanical Engineering, December*. 2001.

[14] Narvarte, L., E. Lorenzo, and E. Caamaño. "PV pumping analytical design and characteristics of boreholes." *Solar Energy* 68.1 (2000): 49-56.

[15] Meah, Kala, Sadrul Ula, and Steven Barrett. "Solar photovoltaic water pumping—opportunities and challenges." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12.4 (2008): 1162-1175.

[16] Taylor, Michael, et al. "Renewable Power Generation Costs in 2014." *International Renewable Energy Agency, January* (2015).