اکوهیدرولوژی
دورهٔ ۸، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۹۲۳-۹۰۷

تحلیل روند مصرف انرژی و تکنولوژی‌های استحصال آب کشور و بررسی جایگزینی برق خورشیدی

امیرعلی محجوب[۱]، یونس نوراللهی[۲*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، گروه انرژی‌های نو و تجدیدپذیر، دانشکدهٔ علوم و فنون، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. دانشیار، گروه انرژی‌های نو و تجدیدپذیر، دانشکدهٔ علوم و فنون، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۹/۲۸؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۰۸/۱۵)

چکیده

کشور ایران سالیان زیادی است که از مشکل کم‌آبی و باران‌های ناکافی رنج می‌برد. با توجه به این موضوع، ایرانیان برای دستیابی به آب مناسب برای کشاورزی، به احداث چاه‌های کشاورزی روی آورده‌اند. با پیشرفت تکنولوژی و پیدایش برق و موتورهای برقی، استفاده و حفر چاه‌های کشاورزی شکل تازه‌ای به خود گرفته است. امروزه در سراسر ایران مشاهده می‌شود که با استفاده از تکنولوژی‌های مختلف، چاه‌هایی با عمق‌های عمیق و نیمه‌عمیق فراوانی در سراسر کشور حفر شده که در کنار مزایای آن، برای کشاورزان مشکلات زیادی نیز از منظر اثرات زیست‌محیطی بر سفره‌های آب زیرزمینی به بار می‌آورند. در سال ۱۳۹۶ مصرف برق در این حوزه چیزی حدود ۳۷۲۸۵ گیگاوات ساعت و ۱۵ درصد از برق کل کشور است که مقدار زیادی را نشان می‌دهد. نکتهٔ مهم دیگر، اینکه این مقدار در سال‌های اخیر رشد زیادی داشته، به صورتی که این عدد از ۱۱۰۷۹ گیگاوات ساعت یا ۱۰/۸ درصد در سال ۱۳۸۰ به ۳۷۲۸۵ در سال ۱۳۹۶ رسیده است. با توجه به این موضوع، در پژوهش حاضر به چگونگی وضعیت چاه‌های کشاورزی ایران و پیشنهادهایی برای کاهش این میزان انرژی مصرفی پرداخته شده است. در این راستا، روش‌های کاهش مصرف سیستم‌های آبیاری کشاورزی، بهبود عملکرد و یا استفاده از پمپ دیزلی و یا برق خورشیدی به کمک نرم‌افزار PVsyst بررسی می‌شود. این تحلیل بر اساس ۵ حوضهٔ اصلی آبخیز کشور صورت می‌گیرد.

کلیدواژگان: برق فتوولتاییک، پمپ دیزلی، چاه کشاورزی، مصرف برق.

* نویسندهٔ مسئول

Email: amirali.mahjoob@ut.ac.ir

مقدمه

بسیاری از بخش‌ها برای تولید محصول به انرژی به عنوان ورودی متکی هستند. حتی اگر استفاده از انرژی در بخش کشاورزی به اندازهٔ سایر بخش‌ها زیاد نیست، مطالعهٔ آن بسیار مهم است، زیرا در کشور ما بخش بزرگی از تلفات انرژی در این بخش رخ می‌دهد. دهه‌هاست که بخش کشاورزی یکی از ارکان اقتصادی کشور است و نقش خود را به عنوان ابزاری برای توسعهٔ مناطق دورافتاده و روستایی ایفا می‌کند. کشاورزی مادهٔ غذایی را برای جمعیت در حال افزایش تأمین می‌کند، از وابستگی به واردات برای مواد غذایی از خارج می‌کاهد و در عین حال، از طریق صادرات، به نوعی منبع درآمد ملی تبدیل می‌شود. بیشتر کشورهای در حال توسعه سهم فزایندهٔ بخش کشاورزی را در رشد اقتصادی تجربه می‌کنند، زیرا تمرکز آنها بر بهبود عملکرد بخش‌های تولیدی و خدماتی به عنوان اصلی‌ترین عامل در توسعهٔ اقتصادی است [۱].

کشاورزی به عنوان منبع مهمی برای تولید به انرژی نیاز دارد. مصرف انرژی توسط بخش کشاورزی را می‌توان به طور گسترده‌ای در مصرف مستقیم و غیرمستقیم انرژی طبقه‌بندی کرد. کشاورزی برای بهره‌برداری از ماشین‌آلات و تجهیزات، گرم کردن یا خنک کردن ساختمان‌ها و برای روشنایی در مزرعه و به طور غیر مستقیم، در کودها و مواد شیمیایی تولیدشده در مزرعه، مستقیم به عنوان سوخت یا برق از انرژی استفاده می‌کند [۲ و ۳]. سهم انرژی در تولید کشاورزی با توجه به نوع فعالیت‌ها، شیوه‌های تولیدی اعمال‌شده، موقعیت جغرافیایی منطقهٔ تولید و شرایط محیطی مانند عوامل خاک و اقلیم متفاوت است [۴]. به خلاف انرژی مستقیم، سهم کشاورزی از دو مصرف مهم انرژی غیرمستقیم - کود و سموم دفع آفات - به طور قابل توجهی بیشتر است [۲]. در ایران به دلیل اقلیم بیابانی و نیمه‌بیابانی در بخش بزرگی از کشور، مقدار زیادی از مصرف انرژی در بخش کشاورزی برای تأمین انرژی چاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که این بخش از انرژی به دلیل استفاده از سیستم‌هایی با بازده کم، با میزان زیادی هدررفت پایان می‌یابد. بخش کشاورزی یکی از بخش‌های مهم تولیدی و مصرف‌کنندهٔ انرژی در هر کشور است. بخش کشاورزی در ایران سهم زیادی از مصرف انرژی الکتریکی کشور را به خود اختصاص داده است، به طوری که در سال ۱۳۹۶ بر اساس آمار در این حوزه چیزی حدود ۳۷۲۸۵ گیگاوات ساعت، یعنی ۱۵ درصد از برق کل کشور، بوده است [۵]. مصرف کلی انرژی در بخش کشاورزی در ایران معادل ۵۸/۶ میلیون بشکه نفت خام بوده که برابر ۴/۳ مصرف کل انرژی در کشور است. در حالی که در کشوری مثل آمریکا که کشاورزی بسیار خوبی دارد، این میزان کمتر از ۲ درصد است [۲]. همچنین، پیک مصرف این انرژی در فصل تابستان اتفاق می‌افتد که پیک مصرف انرژی بخش خانگی و کلی کشوری نیز در همان زمان اتفاق می‌افتد و سبب ایجاد فشار روی شبکهٔ برق و بروز مشکلات فراوان می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد مصرف انرژی در بخش کشاورزی طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۶۷ در مصرف فرآورده‌های نفتی روندی کاهشی داشته، در حالی که این امر برای حامل‌های برق و گاز طبیعی و در مجموع، میزان کل مصرف انرژی به عکس بوده است [۶]. در سال ۱۳۹۶، ۳۹ درصد از مصرف انرژی در بخش کشاورزی، از طریق برق؛ ۳۷ درصد، از طریق فرآورده‌های نفتی و ۲۴ درصد، توسط گاز طبیعی تأمین شده است [۵]. در سال ۱۳۹۳، ۷۰ درصد از برق مصرفی در بخش کشاورزی ایران برای چاه‌های کشاورزی به مصرف رسید [۷].

بخش کشاورزی ایران یکی از بخش‌های اصلی اقتصاد کشور بوده و سهم آن از تولید ناخالص داخلی طی چند سال اخیر، حدود ۱۴ درصد و سهم آن از اشتغال ملی، حدود ۱۹/۵ درصد است [۸]. سرانهٔ کل مصرف نهایی بخش کشاورزی، معادل ۰/۰۹ تن معادل نفت خام بر نفر بوده که ۳ برابر متوسط جهانی است که این موضوع خود یکی از چالش‌های بزرگ بخش کشاورزی کشور است.

براساس تازه‌ترین آمار [۹] در حال حاضر بیش از یک میلیون حلقه چاه آب شامل عمیق و نیمه‌عمیق در کشور وجود دارد که این چاه‌ها با دریافت مجوز قانونی حفر شده‌اند. براساس آمار رسمی، تعداد چاه‌های عمیق حفرشده در کشور حدود ۲۰۰ هزار حلقه است و تعداد چاه‌های نیمه‌عمیق به حدود ۶۰۰ هزار حلقه می‌رسد [۱۰]. از سوی دیگر، با افزایش تعداد چاه‌های حفرشده در ایران، نقش و تعداد قنات‌ها و چشمه‌ها که روزگاری تنها منبع تأمین آب ایران بودند نیز کاهش یافته است، به‌طوری که هم‌اکنون در کل کشور ۵۰ هزار و ۸۳۹ رشته

قنات وجود دارد که البته بسیاری از آنها رو به نابودی هستند. تعداد چشمه‌های موجود در ایران نیز به ۲۵۴ هزار و ۵۵۴ رشته می‌رسد که به‌دلیل افت آب‌های زیرزمینی، تعداد آنها رو به کاهش است.

با توجه به شرایط آب‌وهوایی و خشک شدن بسیاری از آب‌های سطحی در کشور، استفاده از چاه‌های کشاورزی در نقاط مختلف کشور در حال افزایش است. بهره‌برداری از این چاه‌های کشاورزی نیاز به تأمین انرژی برای پمپ‌ها دارد. از این‌رو، یکی از مسائل مهم دیگر، مسئلهٔ تأمین انرژی مورد نیاز چاه‌های جدید و همچنین، بهبود کارکرد سیستم‌های قدیمی است. تأمین انرژی برای چاه‌های جدید می‌تواند با استفاده از توسعهٔ شبکهٔ برق تا منطقهٔ مورد نظر، استفاده کردن از پمپ‌های دیزل یا ژنراتور و یا استفاده کردن از سیستم‌های خورشیدی باشد. سیستم‌های برق خورشیدی یا فتوولتاییک امروزه از متداول‌ترین روش‌های تولید برق هستند که علاوه بر قیمت مناسب، با توجه به وجود خورشید در تمامی نقاط جهان، در هر نقطه از زمین امکان استفاده را دارند. در مکان‌هایی که برق در دسترس نیست، برای پمپاژ آب برای مصرف، وسایل دیگری لازم است. یک گزینه، سیستم پمپاژ فتوولتاییک است. مزایای استفاده از سیستم‌های پمپاژ فتوولتاییک شامل هزینهٔ عملیاتی کم، عملکرد بدون مراقبت، نگهداری کم، نصب آسان و عمر طولانی است. این‌ها همه در مکان‌های دورافتاده که ممکن است برق در دسترس نباشد، مهم هستند. هر یک از این روش‌ها می‌تواند با توجه به شرایط منطقه‌ای پروژه و شرایط قیمتی سوخت و برق در کشور، روش مناسبی برای تأمین انرژی چاه‌ها باشد. در این گزارش به بررسی و مقایسهٔ این روش‌ها با توجه به شرایط منطقه‌ای پروژه و قیمت‌ها پرداخته خواهد شد.

در این پژوهش میزان آب مصرفی از چاه‌های ایران در حوضه‌های مختلف آبخیز بررسی شد که نتایج نشان داد حدود ۵۱ درصد برداشت از آب‌های زیرزمینی ایران به‌تنهایی در حوضهٔ آبخیز مرکزی انجام می‌شود که این موضوع به دلیل پهناور بودن و در کنار آن، خشک و کم‌بارش بودن مناطق این حوضهٔ آبخیز است. با توجه به این میزان مصرف، کنترل آن امری ضروری به نظر می‌رسد. هر چاه عمیق در ایران حدود ۱۶۹ هزار متر مکعب سالانه آب از زیر زمین بالا می‌کشد که این میزان در چاه‌های نیمه‌عمیق ۲۰ هزار متر مکعب است. با توجه به تعداد زیاد این دسته چاه‌ها، باید برای بهبود کارکرد و کاهش این میزان آب بررسی‌هایی انجام شود. اما برای کاهش مصرف برق در حوزهٔ کشاورزی و یا کاهش آن در زمان اوج مصرف، طرح‌های متعددی مانند استفاده از پمپ و سیستم‌ها با بازده بیشتر، برنامه‌ریزی استفاده از برق و... بررسی شد. همچنین، جایگزینی استفاده از برق شبکه با سیستم دیزلی و خورشیدی بررسی شد که به نظر می‌رسد سیستم دیزلی برای مناطق دور از شبکهٔ سراسری برق، بسیار به‌صرفه است، حال آنکه سیستم خورشیدی بدون در نظر گرفتن مشوق‌ها، با توجه به قیمت کم برق و سوخت در ایران به‌صرفه نخواهد بود.

پیشینهٔ تحقیق

حمزه نور (۱۳۹۵) [۱۱] طی پژوهشی به بررسی روند و وضعیت آب‌های زیرزمینی ایران پرداخت. در این گزارش ایشان به بررسی عوامل تأثیرگذار روی وضعیت چاه‌ها مانند میزان بارش سالانه، نوسان‌های حجمی و وضعیت بهره‌برداری به صورت آزاد و ممنوعه پرداخت. نتایج پژوهش ایشان نشان‌دهندهٔ کاهش در تمامی سفره‌های آب‌های زیرزمینی کشور با توجه به روند زیاد برداشت از آنها بود. زراعت‌زاده و همکاران [۱۲] طی پژوهشی در شهر کرمان به بررسی برق‌دار کردن چاه‌ها و تأثیر آن پرداختند. باقرزاده (۱۳۹۶) [۷] طی مطالعه‌ای، به مرور روند مصرف برق در بخش کشاورزی در ایران پرداخت. ایشان بر اساس یافته‌ها نتیجه گرفت که استان‌های مازندران، فارس و شیراز در سال ۱۳۹۳ بیشترین میزان برخورداری چاه‌های برق‌دار را به‌ترتیب به مقدار ۱۵، ۱۵ و ۱۱ درصد به خود اختصاص دادند. در بررسی یادشده توصیه شده که با توجه به استفاده از پمپ‌های فرسودهٔ دیزلی در بخش کشاورزی، جایگزینی این پمپ‌ها با الکتروموتورها با بازده زیاد می‌تواند بسیار مفید باشد.

وزارت کشاورزی سریلانکا [۱۳] در گزارشی به بررسی میزان برداشت از آب زیرزمینی، کیفیت آب، امکانات برداشت، مسائل اقتصادی، اجتماعی برداشت و آیندهٔ این روند پرداخت. طی پژوهشی کالیسر [۱۴] به بررسی عمق چاه‌ها در مصرف انرژی آنها پرداخت. در مطالعهٔ یادشده چاه‌ها با توجه به عمق و باقی شرایط مانند اندازهٔ لوله،

حجم آب، فشار و... بررسی شدند. ملدن و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی عوامل مختلف کارکرد چاه‌ها پرداختند [۱۵]. در گزارش یادشده شاخص‌های مختلف و تجربهٔ استفاده از آنها بر اساس کاربرد چندین سیستم آبیاری ارائه شده است. در این مرحله این فرضیه مطرح می‌شود که با استفاده از این شاخص‌ها، می‌توان ویژگی‌های کلیدی عملکرد سیستم‌های آبیاری را مستند و مقایسه کرد. اگر چنین است، پس می‌توان عملکردها را در چندین سیستم آبیاری در تعدادی تنظیمات مقایسه کرد تا درک شود که در حال حاضر بهره‌وری تولیدی از زمین و آب چگونه است و با مقایسهٔ عملکرد نسبی سیستم‌ها و شناسایی اینکه کجا می‌توان عملکرد را بهبود بخشید، بهره‌وری را افزایش داد. رایت و بنسون (۱۹۸۱) به مقایسهٔ انواع روش‌های برداشت آب از چاه‌های کشاورزی پرداختند و عوامل مختلف این روش‌ها مانند هزینه، توان مکش یعنی دبی و هد و... را مقایسه کردند [۱۶]. کسول و زیلبرمن (۱۹۸۶) به بررسی عمق چاه و کیفیت زمین در انتخاب تکنولوژی برداشت از چاه‌ها پرداختند [۱۷].

با توجه به روند رو به رشد استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک یا برق خورشیدی، استفاده از این سیستم‌ها در بخش کشاورزی طی سالیان اخیر محبوبیت فراوانی یافته است. اکر (۲۰۰۵) طی پژوهشی توضیح داد که سیستم پمپاژ آب خورشیدی چگونه کار می‌کند و چه تفاوتی با منابع انرژی دیگر دارد [۱۸]. در گزارش الاسماعیران (۲۰۱۲) بسیاری از متغیرها از جمله قیمت سوخت و سرمایه‌گذاری‌های مورد نیاز در نظر گرفته شد [۱۹]. این مقایسه برای طیف گسترده‌ای از مقادیر متغیر، کل سر، ظرفیت مخزن، قدرت اوج آرایهٔ فتوولتاییک و نیازهای پمپاژ انجام شد. مطالعهٔ موردی در ایستگاهی در اردن برای تجزیه‌وتحلیل دو سیستم پمپاژ منبع تغذیه که برای تأمین آب آشامیدنی طراحی شده‌اند، انجام شده است. نتایج به‌دست‌آمده برای انتخاب بهترین جایگزین برای منبع تغذیهٔ سیستم‌های پمپاژ در چاه‌های شمال بدیا در اردن مفید است. ابوعلی گاه (۲۰۱۱) طی تحقیقی، تمرکز بر برآورد تابش موجود در یک مکان خاص روی سطح زمین و سپس، تجزیه‌وتحلیل ویژگی‌های یک ژنراتور فتوولتاییک و یک شبکهٔ فتوولتاییک را بررسی کرد [۲۰]. هدف از تحقیق یادشده، بررسی کلیهٔ مراحل لازم و مؤلفه‌های اصلی مورد نیاز برای طراحی و ساخت پمپ با استفاده از سیستم فتوولتاییک بود. همچنین، در پژوهش یادشده استفاده از سیستم‌های دیزلی نیز با سیستم فتوولتاییک مقایسه شد. یونس و همکاران (۲۰۱۶) به منظور تعیین امکان‌سنجی اقتصادی پمپاژ آب خورشیدی و آب‌شیرین‌کن برای کشاورزی، نوعی مدل سیستم مهندسی طراحی کردند که شبیه‌سازی ساعتی سیستم‌های پمپاژ و نمک‌زدایی فتوولتاییک با سرعت متغیر را انجام می‌دهد و با سرعت متغیر و بدون ذخیرهٔ انرژی الکتریکی کار می‌کند [۲۱]. با توجه به ورودی‌های منابع و نیاز سیستم، معماری بهینه با شبیه‌سازی سه نوع منبع تغذیه (فتوولتاییک، دیزل، شبکه) با آرایش‌های مختلف بررسی می‌شود. نتایج اقتصادی پمپاژ آب نسبت به سیستم‌های مبتنی بر دیزل و شبکه، مزیت آشکاری برای سیستم‌های مبتنی بر فتوولتاییک را نشان می‌دهد. الزامات فراوان برای برآوردن تقاضای آب در کشاورزی منفی بر اقتصاد سیستم نمک‌زدایی فتوولتاییک مدل شده است. نتایج نشان می‌دهد نیاز به مکان‌های مطلوب از نظر منابع آب و انتخاب محصول برای اجرای سیستم الزامی است. تیواری و کلمکار (۲۰۱۷) تأثیر میزان تابش و رابطه آن با هد مطلوب پمپ را بررسی کردند [۲۲]. رحمان و شاهین (۲۰۱۴) پیکربندی بهینهٔ سیستم تولید انرژی خورشیدی فتوولتاییک برای دستیابی به حداقل هزینهٔ انرژی (COE) را در ۵ مکان جغرافیایی مختلف در عربستان سعودی انجام دادند [۲۳]. هدف اصلی مطالعهٔ یادشده، بررسی و مقایسهٔ عملکرد سیستم‌های تولید برق مستقل دیزل و خورشیدی فتوولتاییک برای اهداف پمپاژ آب زیرزمینی بود. نتیجه اینکه سیستم تولید برق فتوولتاییک خورشیدی نه تنها به کاهش انتشار کربن به جو کمک می‌کند، بلکه در واحد حداقل هزینهٔ انرژی با سیستم دیزلی فقط در بسیاری از سایت‌ها قابل مقایسه است، حتی اگر قیمت واحد سوخت دیزل بسیار کم باشد. کلوساس و رپ (۲۰۱۷) طی پژوهشی بیان کردند که تقاضای فزاینده برای سیستم‌های آبیاری با انرژی خورشیدی در کشاورزی باعث ایجاد رقابت در پروژه‌ها شده است، زیرا به طور بالقوه می‌تواند یک راه حل انرژی به‌صرفه و پایدار را برای کشاورزان خارج از شبکه فراهم کند و در عین حال، به تولید مواد غذایی و تأمین معیشت نیز یاری رساند. در نتیجه، کشورهایی مانند مراکش و یمن در حال ترویج این فناوری برای کشاورزان

بوده‌اند و برنامه‌های ملی با بودجهٔ متغیر و طرح‌های یارانه‌ای مانند هندوستان مطرح شده‌اند. روبلین (۲۰۱۶) طی پژوهشی به بررسی استفاده از انرژی خورشیدی در کشاورزی پرداخت. ایشان در نتیجهٔ پژوهش خود توضیح داد که چرا انرژی خورشیدی می‌تواند راه حل ایده‌آلی برای آبیاری در کشورهای در حال توسعه باشد [۲۴].

به دلیل وابستگی برق خورشیدی به شرایط منطقه، در هر منطقه نتایج آزمایش مختص به خود خواهد بود. در منطقهٔ خاورمیانه برای استفاده از این سیستم خورشیدی برای پمپ‌ها بررسی‌های زیادی انجام شده است. رحمان و شاهین [۲۳] در مقالهٔ خود به بررسی مقایسهٔ این دو سیستم در کشور عربستان پرداختند. آنها ۵ منطقه در عربستان را بررسی کردند و دریافتند که سیستم تولید برق خورشیدی نه تنها به کاهش انتشار کربن به جو کمک می‌کند، بلکه در هزینه‌های طول عمر با سیستم دیزلی، در بسیاری از سایت‌ها قابل مقایسه است و اگر قیمت واحد سوخت دیزل کم نباشد، به‌صرفه‌تر نیز هست. در این بررسی که طول چاه ۵۰ متر و میزان آب ۱۷ مترمکعب در روز در نظر گرفته شده بود، به این نتیجه رسیدند که فقط سیستم دیزلی پیشنهادی سالانه حدود ۲۴/۰۶۹ تن گازهای گلخانه‌ای تولید می‌کند که در مقابل، این میزان در سیستم خورشیدی صفر است. همچنین، اعلام کردند که سیستم خورشیدی در مقایسه با سیستم دیزلی، در محدودهٔ هزینه قابل مقایسه است که قیمت سوخت دیزل ۰/۶ $ / L یا بیشتر باشد. محمود و ال نادر (۲۰۰۳) در مقایسه با استفاده از واحدهای دیزل امکان‌سنجی اقتصادی استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک برای پمپاژ آب زیرزمینی را بررسی کردند [۲۵]. آنها نشان دادند سیستم‌های باتری فتوولتاییک می‌توانند برای پمپاژ آب کارآمد باشند و هزینهٔ آب نسبت به دوره‌های عمر آنها نسبت به قیمت‌های سلول‌های فتوولتاییک حساس‌تر است. پروهیت و کندپال (۲۰۱۵) چارچوبی برای ارزیابی عملکرد مالی پمپ آب خورشیدی فتوولتاییک خورشیدی ارائه دادند [۲۶]. آنها تأثیر افزایش قیمت سوخت را بر شاخص‌های عملکرد مالی و برآورد قیمت‌های بی‌نظیر دیزل و برق ارزیابی کردند. اوده و همکاران (۲۰۰۶) دوام اقتصادی سیستم‌های پمپاژ آب فتوولتاییک و دیزل را برای اندازهٔ سیستم در محدودهٔ ۲/۸ کیلووات تا ۱۵ کیلووات ساعت مقایسه کردند [۲۷]. آنها اثرات بیش از اندازهٔ سیستم را به دلیل عدم تطابق الگوهای آب‌رسانی و تقاضا روی دوام اقتصادی سیستم پمپاژ آب فتوولتاییک نشان دادند. کرداب (۲۰۰۷) سه گزینه برای تأمین برق به سیستم پمپاژ آب، یعنی گسترش ملی را بررسی کرد: شبکهٔ الکتریکی، مجموعه دیزل و سیستم فتوولتاییک [۲۸]. وی نتیجه گرفت که سیستم‌های فتوولتاییک هنگامی که هزینهٔ کل سیستم فتوولتاییک کمتر یا معادل 7US$/ Wp باشد، نسبت به سایر گزینه‌ها صلاحیت دارد. مه و همکاران (۲۰۰۸) طراحی، نصب، انتخاب سایت و نظارت بر عملکرد منظومهٔ شمسی را برای پمپاژ آب از راه دور در مقیاس کوچک بررسی کردند [۲۹]. آنها همچنین در مورد مزایای فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی سیستم پمپاژ آب در مقایسه با مولد مستقل و ابزار برقی توضیح دادند.

روش کار (مواد و روش‌ها)

در این گزارش تلاش خواهد شد با توجه به شرایط محیطی ایران، روش‌های بهبود بهره‌وری از انرژی در بخش کشاورزی در ایران مقایسه شود. در این راستا، ابتدا به بررسی میزان آب مصرفی از آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف ایران پرداخته خواهد شد و انواع چاه‌ها و مصارفشان مورد بررسی قرار خواهد گرفت. پس از آن، به روند برق‌دار شدن چاه‌ها در ایران پرداخته خواهد شد. سپس، نیاز به انتخاب روش‌هایی به منظور بهبود مصرف برق پمپ‌ها است که شامل استفاده از فناوری‌ها یا طرح‌های بهبوددهنده می‌شود. برای این امر، به مرور بررسی‌های پیشین پرداخته شده و در ادامه، با بررسی سیستم‌های جایگزین، بهترین طرح برای اجرا در مناطق مختلف کشور بحث خواهد شد. در این بین، با توجه به رونق روزافزون برق خورشیدی و استفادهٔ فراوان آن در سطح جهان، استفاده از این تکنولوژی در اقلیم‌های مختلف ایران بررسی خواهد شد. سیستم‌های فتوولتاییک به دلیل وابستگی به شرایط آب‌وهوایی در اقلیم‌های مختلف کارکرد متفاوتی خواهند داشت و ممکن است در مکانی استفاده از آنها منطقی، و در بخشی دیگر، غیرمنطقی باشد. کشور ایران، دارای اقلیم‌های آب‌وهوایی مختلف است که هر یک از این اقلیم‌ها شرایط متفاوتی را در صورت استفاده از سیستم برق خورشیدی خواهند

داشت. در ایران به دلیل بهره‌وری از منابع بی‌شمار نفت و گاز، استفاده از سوخت دیزل نیز در مناطق دوردست می‌تواند گزینهٔ مناسبی برای چاه‌های کشاورزی باشد که این امر نیز در این گزارش بررسی خواهد شد.

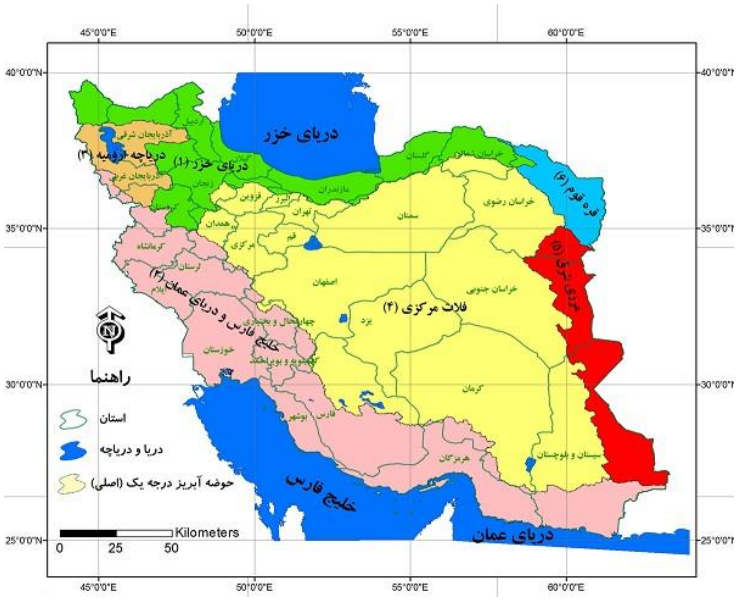
برای بررسی و مقایسهٔ استفاده از برترین تکنولوژی در میان استفاده از برق شبکه، سیستم دیزلی و سیستم برق خورشیدی یا فتوولتاییک باید به چندین مسئله دقت کرد. مهم‌ترین مسئله در این بحث، محل قرارگیری پمپ است، به طوری که این امر در هزینهٔ اولیهٔ استفاده از برق شبکه و سیستم خورشیدی تأثیر زیادی خواهد داشت، چرا که قیمت احداث شبکه برای مناطق دوردست زیاد بوده و همچنین، اندازهٔ سیستم فتوولتاییک به شرایط آب‌وهوایی منطقه وابسته است. علاوه بر این، قیمت برق شبکه و همچنین، قیمت سوخت نیز در این بررسی بسیار مهم خواهد بود و به دلیل پیچیدگی این عوامل، دست یافتن به بهترین سیستم، امری دشوار است. به همین دلیل، در پژوهش حاضر این تکنولوژی‌ها با یکدیگر مقایسه خواهند شد.

یافته‌ها

بررسی وضعیت و چگونگی مصرف چاه‌های کشاورزی در ایران

با توجه به وضعیت نیمه‌بیابانی ایران در بسیاری از مناطق، امر کشاورزی فقط با استفاده از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق امکان‌پذیر است. چاه‌ها بر اساس نوع و عمق و دبی متفاوتی که دارند، میزان انرژی متفاوتی را مصرف خواهند کرد. برای بررسی دقیق مصرف چاه‌ها، ابتدا به بررسی چاه‌های موجود در کشور پرداخته خواهد شد.

حوضه‌های آبریز کشور شامل ۶ ابرحوضه (بر اساس تقسیمات تمآب، وزارت نیرو) برابر با مساحت کل کشور است، که هر یک از این حوضه‌ها خود به حوضه‌های کوچک و تا چندین رده نیز کوچک‌تر تقسیم می‌شوند. این ۶ ابرحوضه عبارت‌اند از: ۱- حوضهٔ آبریز دریای خزر با ۷ حوضهٔ کوچک‌تر؛ ۲- حوضهٔ آبریز خلیج فارس و دریای عمان با ۹ حوضهٔ کوچک‌تر؛ ۳- حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه؛ ۴- حوضهٔ آبریز فلات مرکزی با ۹ حوضهٔ کوچک‌تر؛ ۵- حوضهٔ آبریز مرزی شرق با ۳ حوضهٔ کوچک‌تر؛ ۶- حوضهٔ آبریز قره‌قوم. بر اساس تقسیمات آبخیزداری، عرصهٔ حوضه‌های آبخیزداری حدود ۱۲۵ میلیون هکتار از مساحت کشور را در بر می‌گیرد. حدود ۳۹ میلیون هکتار باقی‌مانده از سطح کشور را مناطق بیابانی، کویری، باتلاق‌ها، دریاچه‌ها، شهرها و... تشکیل داده است [۳۰]. در جدول ۱ تعداد و تخلیه از منابع آب زیرزمینی به تفکیک حوضه‌های اصلی کشور در سال آبی ۱۳۹۳ـ ۱۳۹۴ به نمایش درآمده است. همچنین، تصویر حوضه‌های مختلف آبریز کشور در شکل ۱ به نمایش درآمده است.



شکل ۱. وضعیت حوضه‌های آبریز کشور

جدول ۱. تعداد و تخلیه از منابع آب زیرزمینی به تفکیک حوضه‌های اصلی کشور در سال آبی ۱۳۹۳ـ ۱۳۹۴

نام حوضه	چاه عمیق		چاه نیمه‌عمیق		قنات		چشمه		تخلیهٔ
	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	کل سالانه
دریای مازندران	۳۶۲۷۸	۲۵۷۶/۷	۲۳۵۷۲۲	۱۵۴۴/۴	۲۶۲۴	۲۳۱/۶	۷۶۴۱۴	۲۳۷۱/۲	۶۷۲۳/۹
خلیج فارس و دریای عمان	۴۳۷۷۴	۶۳۹۹/۸	۱۰۵۵۴۷	۳۶۸۲/۴	۴۸۳۳	۵۰۸/۳	۵۵۱۲۱	۶۵۵۴/۴	۱۷۱۴۴/۸
دریاچهٔ ارومیه	۷۴۵۷	۸۹۱/۴	۹۱۹۰۹	۱۱۳۷/۹	۱۸۰۹	۱۲۶/۵	۹۹۰۸	۱۵۴/۹	۲۳۱۰/۶
مرکزی	۱۰۰۶۵۲	۲۰۴۸۸/۳	۱۴۶۹۹۴	۵۴۰۸/۱	۲۶۷۱۴	۳۳۲۵/۱	۲۷۶۴۵	۱۶۵۳/۹	۳۰۸۷۵/۴
مرزی شرق	۱۸۶۲	۷۲۵/۱	۸۷۰۰	۳۳۸/۲	۳۱۱۱	۳۰۰	۱۴۲۸	۵۰/۵	۱۴۱۳/۷
قره‌قوم	۵۹۸۷	۲۰۴۴/۱	۴۲۹۲	۹۱	۲۰۶۳	۲۲۵/۹	۲۷۸۰	۲۶۴/۴	۲۶۲۵/۳
جمع کل کشور	۱۹۶۰۱۰	۳۳۱۲۵/۳	۵۹۳۱۶۴	۱۲۲۰۱/۹	۴۱۱۵۴	۴۷۱۷/۳	۱۷۳۲۹۶	۱۱۰۴۹/۲	۶۱۰۹۳/۶

توجه: تمام تخلیه‌ها برحسب میلیون مترمکعب در سال است

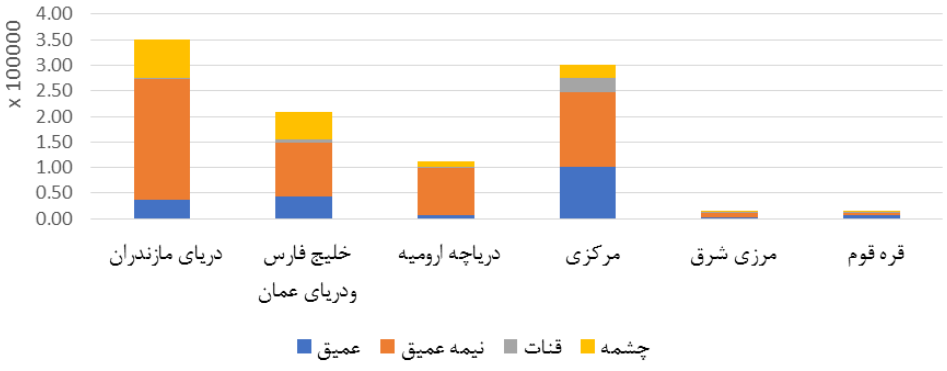
حوضه‌های آبریز مختلف کشور، در مناطق با ویژگی‌های آب‌وهوایی مختلفی قرار دارند. به همین دلیل، هر یک از حوضه‌ها ویژگی‌های مختص به خود را دارند. در شکل ۲ تعداد چاه‌ها در هر یک از این مناطق به نمایش درآمده است. مشاهده می‌شود که بیشتر مصرف آب کشور از حوضه‌های آب زیرزمینی از حوضچه‌های دریای مازندران، مرکزی، خلیج فارس و دریاچهٔ ارومیه است. در این شکل باید به این امر دقت شود که در حوضچهٔ مرکزی با وجود بارش کم و نبود رودخانه‌های پرآب در این منطقه، چاه‌های فراوانی به‌خصوص به صورت عمیق در این منطقه حفر شده است. در مقایسه در حوضچهٔ دریاچهٔ ارومیه، به دلایل شرایط آب‌وهوایی و محیطی، تعداد این چاه‌ها بسیار کم بوده است.

اگر جدول تخلیهٔ آب‌های زیرزمینی با جدول تعداد چاه‌های کشاورزی مقایسه شود، به نکات درخور توجهی دست خواهیم یافت. با وجود تعداد زیاد چاه در مازندران، به طوری که تعداد چاه‌ها در این منطقه بیشتر از تعداد چاه در حوضهٔ آب مرکزی است، در شکل ۳ دیده می‌شود که مصرف آب در این منطقه کمتر از مصرف آب در مرکزی و خلیج فارس و دریای عمان است.

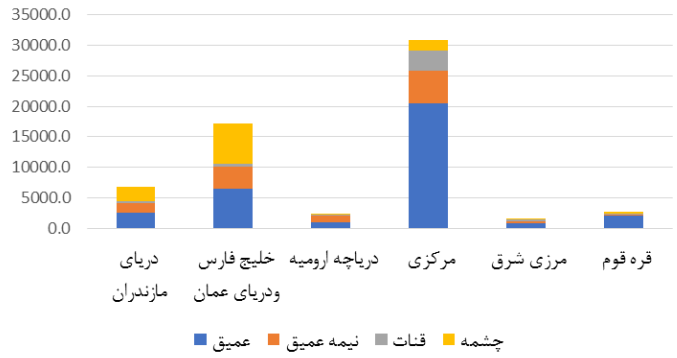
برداشت از حوضچهٔ مرکزی همان‌طور که در شکل ۳ نیز مشخص است، چیزی حدود ۵۱ درصد کل مصرف آب زیرزمینی کشور را به خود اختصاص می‌دهد. پس از آن، خلیج فارس و عمان و دریای خزر با ۲۸ و ۱۱ درصد، بیشترین مصرف آب را از حوضه‌های آب زیرزمینی دارند. در جدول ۲ میزان برداشت هر نوع چاه از منابع آب کشاورزی بر اساس اطلاعات محاسبه شده است.

برق‌رسانی چاه‌های کشاورزی

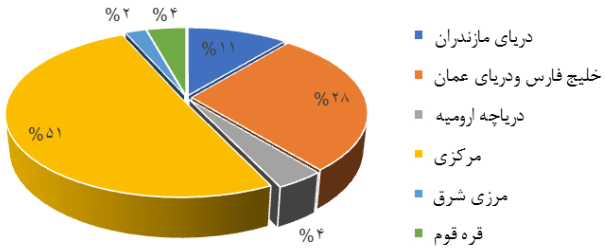
در ابتدای پیروزی انقلاب اسلامی، فقط ۲ هزار حلقه چاه برق‌دار شده بود، اما این آمار پس از انقلاب اسلامی، رشد چشم‌گیری داشت و طی سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۳ این عدد از ۲۲ هزار به بیش از ۲۳۰ هزار حلقه چاه افزایش یافت [۷] که رشد چشم‌گیری را نشان می‌دهد. روند رشد بین سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۴ رشد بسیار زیادی داشته است (شکل ۵) [۷].



شکل ۲. تعداد چاه‌های کشور به تفکیک حوضه



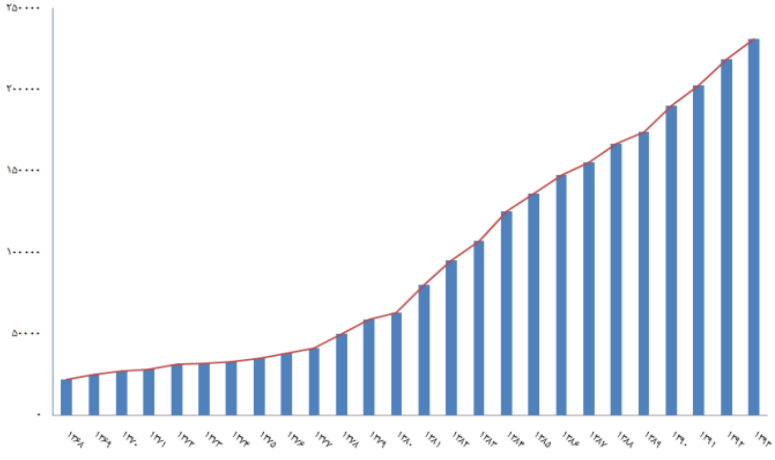
شکل ۳. تخلیهٔ آب‌های زیرزمینی کشور (متر مکعب در سال)



شکل ۴. میزان درصد تخلیهٔ آب حوضه‌ها

جدول ۲. میانگین مصرف به ازای واحد (میلیون مترمکعب در سال) به ازای واحد

نوع	مصرف به ازای واحد چاه
عمیق	۰/۱۶۸۹۹۸
نیمه‌عمیق	۰/۰۲۰۵۷۱
قنات	۰/۱۱۴۶۲۴
چشمه	۰/۰۶۳۷۵۹



شکل ۵. نمودار روند برق‌دار شدن چاه‌های کشاورزی [۷]

تکنولوژی‌های بهبود استحصال آب کشاورزی

مصرف انرژی الکتریکی به منظور برداشت آب از منابع زیرزمینی برای کشاورزی، میزان حدود ۸/۶ درصدی رشد آمار چاه‌های برقی‌شدهٔ کشاورزی طی سالیان اخیر و پرداخت بیشترین یارانه‌های انرژی الکتریکی به این مصرف‌کنندگان را نشان می‌دهد. همچنین، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی که میزان آن در چاه‌های برقی‌شده چشم‌گیرتر است و بازنگری در این روند و بهبود آن را به امری ضروری تبدیل کرده است. در این بخش سعی شده برای بهبود برق مصرفی چاه‌های یادشده، سناریوهای مختلفی در نظر گرفت تا تصمیم‌گیری در خصوص ادامهٔ برقی کردن چاه‌های کشاورزی آسان‌تر شود. پیش از این، بررسی‌هایی برای بهسازی مصرف چاه‌های کشاورزی انجام شده است. در این بخش پس از بررسی پیشنهادها در گزارش‌های چاپ‌شدهٔ پیشین، از آیین و همکاران [۳۱] و اکبری و همکاران [۳۲] به بررسی طرح‌های بررسی‌نشده مانند استفاده از پمپ‌های خورشیدی و یا سیستم دیزلی پرداخته خواهد شد.

استفاده از تأسیسات و تجهیزات با بازده زیاد شامل افزایش راندمان چاه‌های کشاورزی

بیش از ۹۵ درصد برق مصرفی بخش کشاورزی به مصرف چاه‌های کشاورزی می‌رسد. ضمن اینکه بیش از ۹۰ درصد آب کشور نیز صرف امور کشاورزی و زیرمجموعهٔ آن می‌شود. پمپ شفت و غلاف پمپاژ معمولاً در چاه‌هایی که پیش‌تر دیزلی بوده و سپس، برق‌دار شده، استفاده می‌شود. در این روش، دیزل برداشته شده و پس از برق‌رسانی، نصب ترانس، نصب تابلوی راه‌اندازی، نصب یک عدد الکتروپمپ و احیاناً یک جعبه دنده، سیستم راه‌اندازی می‌شود.

الف) استفاده از پمپ‌های شناور

سیستم پمپ شفت و غلافی با الکتروموتور عمودی یا الکتروموتور افقی، معمول‌ترین روش‌های برداشت آب از چاه‌های برق‌دارشدهٔ کشاورزی در ایران است، اما سیستم‌ها لزوماً بازدهی مناسبی ندارند. استفاده از الکتروموتورپمپ‌های شناور نسبت به الکتروپمپ‌های شفت و غلافی حداکثر ۳۰ درصد راندمان تأسیسات بیشتر شده و همین میزان در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌شود.

ب) استفاده از الکتروموتورهای عمودی

در چاه‌هایی‌که به دلیل شرایط خاص سفره‌های آب، امکان استفاده از پمپ‌های شناور موجود نیست، استفاده از الکتروموتورهای عمودی مزایای ذیل را دارد: راندمان حداکثر ۲۰ درصد بیشتر از الکتروموتورهای افقی و به همین میزان، صرفه‌جویی در مصرف سرمایه‌گذری و انرژی هزینهٔ کمتر به دلیل نداشتن تأسیسات گیربکس انتقالی قدرت افقی به عمودی و کاهش در هزینه‌های کشاورزان.

ج) استفاده از خازن در تأسیسات برق کشاورزان

استفاده از خازن مقدار اندکی هزینه‌های کشاورز را افزایش می‌دهد، اما موجب ۳۰ تا ۳۵ درصد اصلاح ضریب قدرت می‌شود.

د) تطبیق تأسیسات استحصال آب با الکتروپمپ

تأسیسات استحصال آب در چاه‌های دیزلی بر اساس دور دیزل طراحی و نصب می‌شود و با تعویض دیزل و نصب الکتروپمپ، باید پمپ دوباره طراحی شود. به دلیل تغییر دور الکتروپمپ نسبت به دیزل، پمپ موجود در نقطهٔ بهینه کار نمی‌کند. به دلیل هزینهٔ خارج کردن پمپ و طراحی مجدد، اغلب این آگاهی به کشاورزان داده نمی‌شود و با کم شدن بازده پمپ، بخش زیادی انرژی به هدر می‌رود.

ه) واقعی کردن تعرفهٔ انرژی برق

الف) پیشنهاد تعرفهٔ فصلی برای کشاورزی به دلیل کم بودن نرخ فروش انرژی و رایگان بودن آب‌بها، در بخش کشاورزی اغلب کشاورزان رعایت الگوی مصرف در آب و انرژی را نمی‌کنند. اغلب پمپ‌های برقی کشاورزی تقریباً در تمامی شبانه‌روز و حتی در فصل‌های غیر زراعی نیز روشن هستند. با واقعی‌تر شدن نرخ فروش، مصرف این‌گونه چاه‌های کشاورزی کمتر خواهد شد.

و) پیشنهاد تعرفهٔ پلکانی و افزایش در ساعت‌های پیک و کاهش در ساعت‌های غیر پیک: با حفظ متوسط نرخ مصوب، نرخ ساعت‌های کم‌باری و عادی را بسیار کم در نظر بگیریم و ساعت‌های پیک را افزایش دهیم.

ز) کنترل ساعت کارکرد سالانهٔ چاه‌های کشاورزی

در این طرح برای چاه‌ها حدی برای مصرف در نظر گرفته شود و پس از آن، مصرف‌کننده باید با قیمتی بیشتر از برق استفاده کند.

- با برقی شدن چاه‌های کشاورزی؛ امکان محاسبهٔ مصرف انرژی مازاد بر پروانهٔ بهره‌برداری به‌راحتی امکان‌پذیر است.
- برای مصارف انرژی مازاد بر پروانهٔ بهره‌برداری نرخ تعرفه آزاد محاسبه شود.

ح) خروج چاه‌های کشاورزی در ساعت‌های پیک (توافقی)

با توجه به مشکلات صنعت برق در ساعت‌های اوج بار و از طرفی، سرمایه‌گذاری بسیار زیاد برای تولید و انتقال انرژی در این طرح در صورت امکان با کشاورزان توافق شده و معادل عدم مصرف انرژی در ساعت پیک، به قیمت تمام‌شده از آنها خریداری شود. کنترل ساعت‌های کارکرد چاه‌ها مانند استفاده از برق در ساعت‌های کم‌مصرفی شب برای پر کردن مخزن و پس از آن، در روز به جای استفاده از پمپ در ساعت‌های اوج مصرف، می‌تواند روشی مناسب برای بهبود مصرف برق در بخش کشاورزی باشد.

ط) کنترل بار چاه‌های کشاورزی

برای مدیریت و کنترل بار و انرژی چاه‌های کشاورزی، بهتر است تأمین برق چاه‌های کشاورزی از فیدرهای مستقل و جداگانه انجام شود. به این‌ترتیب، برای مدیریت بار چاه‌های کشاورزی در ساعت‌های اوج مصرف، امکان برنامه‌ریزی با شرایط بهتری فراهم خواهد شد.

استفاده از سیستم‌های جایگزین شامل سیستم دیزلی و سیستم برق خورشیدی

یکی دیگر از روش‌هایی که ممکن است سبب بهبود شرایط استفاده از برق در بخش کشاورزی شود، تولید برق به صورت مستقل برای هر سیستم است. بسیاری از چاه‌های کشاورزی در مقاطعی دور از دسترس و بدون شبکهٔ برق سراسری قرار دارند. یکی از مسائل مطرح این است که تأمین برق برای هر چاه کشاورزی از شبکه، خود هزینهٔ اولیهٔ زیادی را سبب می‌شود. برق‌کشی تا محل زمین کشاورزی و چاه نه نیاز به توسعهٔ شبکه در منطقه دارد که در صورت نبود زیرساخت‌های لازم، هزینهٔ این امر افزایش چشم‌گیری نیز خواهد داشت. این در حالی است که در صورت مستقل‌سازی پمپ‌های جدید از شبکه، نه تنها هزینه‌های توسعه را کاهش خواهد داد، بلکه باعث جلوگیری از افزایش فشار روی شبکه به‌خصوص در زمان اوج مصرف در ایران که مربوط به فصل تابستان است، خواهد شد. علاوه بر این، با این کار از تلفات حاصل از خط انتقال کاسته خواهد شد. بنابراین، استفاده از فناوری‌های جایگزین به جای هزینه برای کابل‌کشی برق تا منطقهٔ چاه، امری منطقی به نظر می‌رسد. برای همین امر، در جهان عموماً از دو فناوری پمپ دیزلی و سیستم برق خورشیدی به عنوان جایگزین استفاده می‌شود. اما صرفهٔ اقتصادی استفاده از هر یک از سیستم‌های دیزلی و خورشیدی با توجه به شرایط قیمتی باید بررسی شود. در همین راستا، ابتدا به بررسی جداگانهٔ هر یک از این فناوری‌ها پرداخته شده و در ادامه، به بررسی اقتصادی آنها پرداخته خواهد شد.

پمپ دیزل

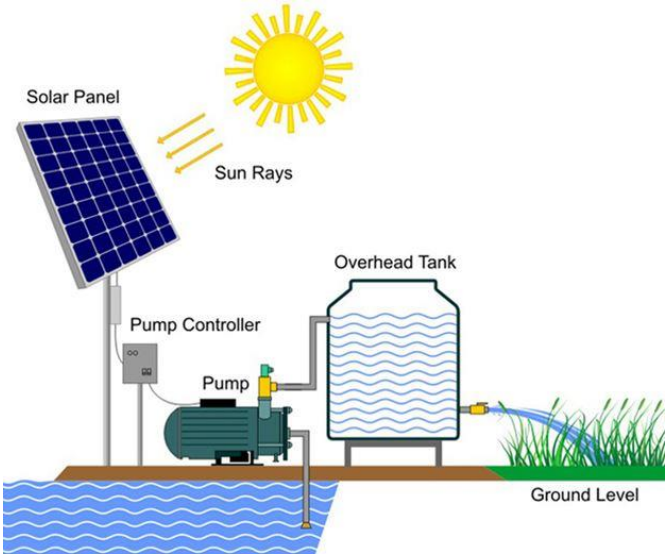
موتور پمپ یا پمپ آب‌های دیزلی به دسته‌ای از پمپ‌ها گفته می‌شود که پمپ با سوزاندن مستقیم سوخت دیزل به کار می‌افتد و آب را مکش می‌کند. یک موتورپمپ گازوییلی می‌تواند حجم زیادی از آب (تا ۱۶۰ گالن در هر دقیقه برای یک مدل معمولی) را به جریان بیندازد که پر کردن یا خالی کردن آب مخزن برای آبیاری یک زمین کشاورزی بسیار مناسب است. موتورپمپ‌های دیزلی فقط می‌توانند در خارج از منزل استفاده شوند، زیرا موتورها منوکسید کربن تولید می‌کنند. مدل‌های قوی‌تر سروصدای بیشتری نیز دارند.

شکل ۶. پمپ دیزلی

پمپ خورشیدی

در مکان‌هایی که برق در دسترس نیست، برای پمپاژ آب برای مصرف، وسایل دیگری لازم است. یک گزینه، سیستم پمپاژ فتوولتاییک است. مزایای استفاده از سیستم‌های پمپاژ فتوولتاییک شامل هزینهٔ عملیاتی کم، کارکرد بدون مراقبت،

نگهداری کم، نصب آسان و عمر طولانی است. این‌ها همه در مکان‌های دورافتاده که ممکن است برق در دسترس نباشد، اهمیت دارد. تا کنون، در توسعهٔ این تحقیق، تمرکز بر برآورد تابش موجود در یک مکان خاص روی سطح زمین و سپس، تجزیه‌وتحلیل ویژگی‌های یک ژنراتور فتوولتاییک و یک شبکهٔ فتوولتاییک است. هدف از این تحقیق، بررسی کلیهٔ مراحل لازم و مؤلفه‌های اصلی مورد نیاز برای طراحی و ساخت پمپ با استفاده از سیستم فتوولتاییک است [۲۰]. در این تکنولوژی از نور خورشید به همراه صفحات فتوولتاییک کمک گرفته می‌شود تا برق مورد نیاز برای آبیاری زمین کشاورزی تأمین شود. در این روش عموماً آب مورد نیاز برای آبیاری در زمان اوج تابش خورشید در تانکر یا حوضچه‌هایی ذخیره شده تا در زمان مورد نظر برای آبیاری زمین استفاده شود. در این سیستم‌ها پنل خورشیدی شامل ۸۰ درصد هزینهٔ سیستم می‌شود، اندازهٔ سیستم فتوولتاییک به طور مستقیم به اندازهٔ پمپ، مقدار آبی که لازم است و شدت تابش خورشید بستگی دارد. سیستم پمپ فتوولتاییک دارای سه بخش است:



شکل ۷. اجزای سیستم پمپ خورشیدی

- پنل خورشیدی
- کنترل‌کننده
- پمپ

به دو دلیل از کنترل‌کننده استفاده می‌شود. اول اینکه توان خروجی مورد نیاز پمپ با توان ورودی پنل‌های خورشیدی برابر باشد. دوم اینکه کنترل‌کننده معمولاً یک حفاظت ولتاژ کم را ایجاد می‌کند، که در آن صورت سیستم خاموش می‌شود. این باعث می‌شود که طول عمر پمپ زیاد شود و نیاز به نگهداری را نیز کاهش می‌دهد. در این سیستم‌ها عموماً از باتری استفاده نمی‌شود و به جای آن، آب بیشتر از مقدار مورد نیاز روزانه در مخزن‌هایی ذخیره می‌شود و به مصرف می‌رسد. باید به این امر دقت کرد که سیستم فتوولتاییک پیک تولید در فصول گرم تابستانی دارد که مشابه زمان نیاز به مصرف آب از منابع زیرزمینی است.

مقایسهٔ استفاده از پمپ دیزل و خورشیدی

تابش خورشیدی به عنوان منبع انرژی است. به‌جز بقایای احتمالی ناشی از ساخت قطعهٔ خورشیدی (برای مثال، نیمه‌هادی‌ها)، فناوری خورشیدی اثرات زیست‌محیطی بسیار کمی دارد. تأثیرات زیست‌محیطی سیستم خورشیدی در حال کار بسیار کم بوده و منبع غیر قابل توصیف است. در عین حال، استفاده از سیستم دیزلی اجزای ساده‌تری دارد و قیمت اولیهٔ اجرای آن بسیار کمتر از سیستم خورشیدی است. در جدول ۳ به مقایسهٔ مهم‌ترین ویژگی‌های هر یک از این فناوری‌ها پرداخته شده است.

جدول ۳. مقایسهٔ سیستم خورشیدی و دیزلی

نوع	مزایا	معایب
پمپ خورشیدی	کارکرد بدون مراقبت نگهداری کم نصب آسان عمر طولانی	هزینهٔ اولیهٔ زیاد نیاز به ذخیره‌سازی برای روزهای کم‌تابش نیاز به حضور متخصص در تعمیرات
پمپ دیزلی	نصب آسان و سریع هزینهٔ اولیهٔ کم استفادهٔ گسترده و آسان قابلیت حمل‌ونقل	هزینهٔ ثانویه سوخت هزینهٔ تعمیرات زیاد طول عمر کوتاه تولید صدا و آلودگی

محاسبات مصرف انرژی چاه‌ها

برای بررسی استفاده از هر یک از سیستم‌های خورشیدی و یا دیزلی به جای استفاده از برق شبکه، باید یک مبنا برای مقایسه در نظر گرفته شود. برای همین امر از روش متوسط آبدهی و ارتفاع چاه‌ها در گزارش [۳۳] استفاده شده که این اعداد در چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق به‌ترتیب به اعداد ۲۳/۵ لیتر بر ثانیه، ۷۵ متر، ۱۱ لیتر بر ثانیه و ۲۰ متر نزدیک است. همچنین، این پمپ‌ها به‌ترتیب ۲۷۰۰ و ۱۰۰۰ ساعت در سال در حالت کارکرد قرار دارند [۳۴]. پس از آن، با استفاده از رابطهٔ ۱ توان مورد نیاز برای هر پمپ محاسبه می‌شود. سپس، با استفاده از رابطهٔ ۲ انرژی مورد نیاز الکتریکی و سوخت هر یک محاسبه می‌شود.

$$P_{pump} = \frac{0.001^{*}\ \gamma Q H_{sys}}{\eta_{pump}} \quad (۱)$$

$$H_{an} \times 3600 \times P_{pump} = LHV \times C_{an} \times \eta_{motor} \quad (۲)$$

با فرض ۳۰ درصد برای بازدهی موتور دیزلی، ۹۰ درصد برای بازدهی انتقال نیروی جعبه‌دنده و ۷۰ درصد بازده برای پمپ و در کنار فرض بازدهی ۹۰ درصدی برای الکتروموتور در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، اطلاعات میزان انرژی و سوخت مصرفی در جدول ۴ آمده است.

استراتژی ۱: بدون در نظر گرفتن قیمت اولیهٔ سیستم ژنراتوری برای نرخ برابری قیمت تمام‌شدهٔ سوخت در برابر کیلووات برق مصرفی باید ۶/۸ برابر باشد. برای مثال، در صورت قیمت ۱۰۰ تومانی کیلووات ساعت برق مصرفی، هزینهٔ سوخت باید ۶۸۰ تومان باشد. به این معنا که اگر در محلی سیستم پمپ دیزلی وجود دارد، در صورت بیشتر بودن قیمت سوخت نسبت به حاشیهٔ قیمت یادشده جایگزین این سیستم با برق شبکهٔ منطقی به نظر می‌رسد.

استراتژی ۲: در صورت در نظر گرفتن ۲ میلیون تومان به ازای هر کیلووات سیستم دیزلی با توجه به میانگین بازار ایران، با در نظر گرفتن دورهٔ ۵ سالهٔ عمر مفید سیستم ژنراتور قیمت سوخت در برابر برق بدون در نظر گرفتن تورم، در صورت فرض قیمت ۱۰۰ تومانی برق شبکه به ازای هر کیلووات استفاده از سیستم دیزلی هیچ‌گاه به‌صرفه نخواهد بود.

جدول ۴. محاسبات مصرف برق و سوخت چاه عمیق و نیمه‌عمیق

نوع چاه	قدرت مورد نیاز		شدت مصرف انرژی		انرژی مورد نیاز در سال	
	موتور الکتریکی	موتور دیزلی	برق	نفت گاز	برق	سوخت
	کیلووات	کیلووات	کیلوات ساعت بر متر مکعب	لیتر بر متر مکعب	کیلووات ساعت	لیتر
عمیق	۲۹/۸۹	۶۵/۲۷	۰/۳۳۰۶۸۸	۰/۰۵۴۸۱۵	۸۰/۹۴۶	۵۲۰/۱۲
نیمه‌عمیق	۳/۴۹	۸/۱۴	۰/۰۸۸۱۸۳	۰/۰۱۴۵۹۵	۳۴۹۰	۹۶/۵۷۷

استراتژی ۳: با توجه به هزینهٔ ایجاد نیروگاه و برق‌کشی ۱۰ میلیون تومانی به ازای هر کیلومتر توسعهٔ شبکه و قیمت ژنراتور استفاده از انرژی برق شبکه برای منطقه‌ای بدون دسترسی به انرژی برق شبکه، کاملاً غیر منطقی و غیر اقتصادی خواهد بود.

برای اندازه‌گیری دقیق اندازهٔ سیستم خورشیدی نیاز به اطلاعات هواشناسی و پروفیل دقیق مصرف برق در پمپ چاه‌ها داریم تا سیستم خورشیدی با کمترین اندازه بر حسب بیشترین توان در سال طراحی شود. به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات دقیق با فرض‌های سیستمی قابل قبول برای منطقهٔ مورد نظر طراحی می‌شود. در این طراحی میزان تولید مشخصه[1] سیستم خورشیدی را $2000KWh/W_p$ در نظر می‌گیریم. همچنین، در نظر گرفته می‌شود که میزان تابش خورشید در روزهای تابستان که زمان اوج مصرف پمپ‌های کشاورزی است، معادل با ۵ ساعت تابش در شرایط استاندارد ($1000W/m^2$,25C, 1/5AM) باشد. در محاسبات میزان بازده اینورتر را ۰/۹ در نظر گرفته و ضریب بالانس انرژی که به منظور تأمین ضریب اطمینان در نظر گرفته می‌شود ۰/۸ در نظر می‌گیریم.

با توجه به شرایط فعلی بازار ایران، قیمت سیستم خورشیدی ۸ هزار تومان به ازای وات سیستم می‌تواند مقداری منطقی به نظر برسد. سیستم خورشیدی با وجود هزینهٔ اولیه بیشتر هزینه‌های جانبی دیگر کمی دارد که می‌توان از آنها صرف نظر کرد. با توجه به قیمت بسیار کم برق و سوخت به دلیل یارانهٔ زیاد این سیستم‌ها، استفاده از سیستم خورشیدی بدون طرح تشویقی به‌هیچ‌وجه اقتصادی نخواهد بود.

استراتژی ۱: بدون در نظر گرفتن تورم استفاده از سیستم خورشیدی زمانی به‌صرفه خواهد بود که قیمت هر کیلووات برق شبکه بیشتر از ۲۸۰۰ تومان باشد.

استراتژی ۲: در صورت عدم تغییر قیمت برق شبکه، استفاده از سیستم خورشیدی زمانی به‌صرفه خواهد بود که به احداث سیستم خورشیدی برای چاه عمیق، مبلغی بیش از ۳۵۰ میلیون و برای چاه نیمه‌عمیق، بیش از ۱۶ میلیون تحصیص داده شود.

1. Specific Production

محاسبات سیستم خورشیدی

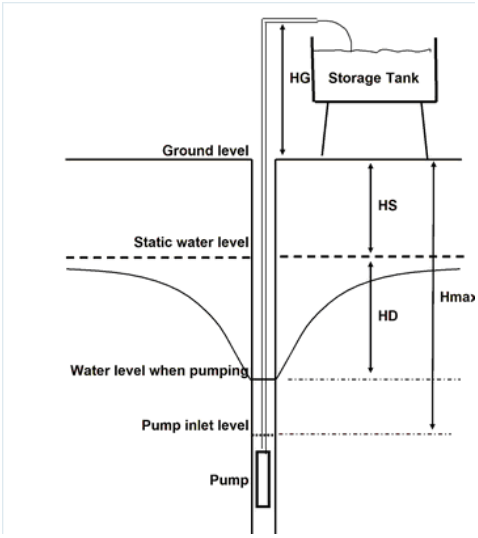
بررسی اقتصادی و فنی سیستم‌های خورشیدی وابسته به منطقه‌ای که قرار است سیستم در آن اجرا شود، بستگی دارد. به خلاف استفاده از سوخت فسیلی به عنوان سوختی که در تمامی مناطق ارزش حرارتی یکسانی دارد و دما و شرایط هوا فقط روی بازده کارکرد نیروگاه یا ژنراتور به میزان قابل چشم‌پوشی تفاوت دارد، سیستم‌های خورشیدی بسیار حساس به شرایط هستند. با توجه به اینکه شرایط آب‌وهوایی مانند میزان تابش آفتاب، ارتباط، دما و... در مناطق و شهرهای مختلف متفاوت است، میزان تولید سیستم خورشیدی نیز برای مناطق مختلف میزان متفاوتی خواهد داشت. در مجموع، در مکان‌هایی که تابش خورشید میزان زیادی دارد و در عین حال، هوای منطقه خنک‌تر است، سیستم خورشیدی خروجی بیشتری خواهد داشت. کشور ایران دارای اقلیم‌های مختلف آب‌وهوایی است. به منظور بررسی سیستم برق خورشیدی برای برق چاه‌ها، در این بخش شهری به نمایندگی هر یک از ۶ حوضهٔ آبریز کشور انتخاب شدند. برای حوضهٔ آبریز دریای خزر، شهر رامسر؛ حوضهٔ آبریز خلیج فارس و دریای عمان، شهر اهواز؛ حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه، شهر ارومیه؛ حوضهٔ آبریز مرکزی، شهر تهران؛ حوضهٔ آبریز مرزی شرق، شهر زابل و حوضهٔ آبریز قره‌قوم، شهر بجنورد انتخاب شد. برای هر یک از شهرهای مناطق یادشده اندازهٔ سیستم خورشیدی و سایز پمپ مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزار PVsyst انتخاب شد. برای این کار ابتدا باید یک سیستم با پروفیل نیاز به آب واحد برای تمامی مناطق در نظر گرفته شود. برای این کار مفروضاتی به صورت شکل ۸ در نظر گرفته شد. اطلاعات هواشناسی مربوطه با استفاده از نرم‌افزار متئونورم[2] حاصل شده‌اند.

همچنین، از پمپ نوع سانتریفیوژ و سیستم تأمین برق به صورت اینورتر MPPT فرض شده‌اند. با توجه به فرضیات یادشده نتایج اولیه در جدول ۷ به نمایش درآمده است.

2. Meteonorm

جدول ۵. محاسبات ظرفیت سیستم خورشیدی مربوطه

نوع چاه	محاسبات										
	موتور الکتریکی		میزان ساعت کارکرد در سال		تولید مشخصه		بازده اینورتر و تلفات		اندازهٔ ظرفیت سیستم خورشیدی		
	کیلووات	×	h	/	kWh/kW$_p$	/		=	kW$_p$		
عمیق	۲۹/۸۹	×	۲۷۰۰	/	۲۰۰۰	/	۰/۸ × ۰/۹	=	۵۶/۲۱		
نیمه‌عمیق	۳/۴۹	×	۱۰۰۰	/	۲۰۰۰	/	/۸ × ۰/۹	=	۲/۴۲		



شکل ۸. شکل سیستم انتخابی در نرم‌افزار PVsyst

جدول ۶. فرضیات چاه بررسی‌شده

عنوان	واحد	مقدار
اندازهٔ مخزن	متر مکعب	۱۴۰
ارتفاع (هد)	متر	۳۰
میزان نیاز آب روزانه	متر مکعب	۷۰
لوله‌کشی	متر	۵۰
سایز لوله	میلی‌متر	۱۰

جدول ۷. ظرفیت سیستم فتوولتاییک و پمپ

حوضهٔ آبخیز	شهر	حداقل ظرفیت پنل خورشیدی (W$_p$)	حداقل اندازه پمپ (W)
مرکزی	تهران	۵۵۶۲	۴۴۰۳
قره‌قوم	بجنورد	۵۵۴۵	۴۳۹۰
دریای خزر	رامسر	۸۳۰۹	۶۵۷۸
خلیج فارس	اهواز	۵۹۷۷	۴۷۳۲
دریاچهٔ ارومیه	ارومیه	۵۳۵۲	۴۲۳۷
مرزی شرقی	زابل	۴۹۰۴	۳۸۸۲

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی جدول ۲ نشان می‌دهد هر چاه عمیق حجم بسیار بیشتری از آب‌های زیرزمینی را نسبت به چاه نیمه‌عمیق برداشت می‌کند. برداشت این حجم زیاد آب به وسیلهٔ این چاه‌ها اثرات زیست‌محیطی برگشت‌ناپذیری خواهد داشت، چرا که با توجه به کمبود باران در سال‌های اخیر و خشکسالی نسبی ایران، این کار باعث خشک شدن سفره‌های آب زیرزمینی و از بین رفتن حالت اسفنجی و ویژگی حفظ آب آنها خواهد شد. با خالی شدن این سفره‌ها، بافت‌های اسفنجی آن که طی هزاران سال ایجاد شده است، از بین خواهد رفت و حتی در صورت باران کافی در سال‌های آینده، دیگر این سفره‌ها توانایی ذخیرهٔ آب مانند قبل را نخواهند داشت.

با بررسی شکل‌های ۲ و ۳ می‌توان دریافت که با توجه به تعداد زیاد چاه در حوضه‌های آبریز مازندران، مرکزی و خلیج فارس، میزان کشاورزی در این مناطق بیشتر از باقی مناطق بوده. اما با وجود تعداد زیاد چاه در حوضهٔ مازندران، میزان برداشت از این آبریز زیاد نیست که می‌تواند به دلیل بارش‌های فراوان در اوقات مختلف سال در این منطقه باشد. در عین حال، در حوضهٔ آبریز مرکزی میزان برداشت از چاه‌های عمیق بسیار زیاد است و این موضوع می‌تواند تأثیر زیاد چاه‌های عمیق در مصرف زیاد از مصارف زیرزمینی را نشان دهد. همچنین، با بررسی جدول ۲ می‌توان تأثیر نوع برداشت از منابع آب زیرزمینی را مطالعه کرد که به طور واضح تأثیر برداشت از چاه‌های عمیق بیشتر از انواع دیگر برداشت است. شکل ۵ نشان می‌دهد افزایش تعداد چاه‌های برق‌دار به‌خصوص پس از دههٔ ۱۳۸۰ با سرعت زیادی انجام گرفته است، در حالی که در دههٔ قبلی این روند سرعت رشد بسیار کمتری داشت. در بخش تکنولوژی‌های بهبود استحصال آب کشاورزی با مطالعهٔ روش‌های مختلف بهبود برداشت آب کشاورزی دیده شد که تصمیم‌های مختلف و استفاده از تجهیزات و یا قوانین مرتبط با ساعت‌های مصرف می‌تواند بر کاهش مصرف برق در بخش کشاورزی به‌خصوص در ساعت‌های اوج مصرف تأثیر زیادی داشته باشد.

مورد بعدی بررسی‌شده، سیستم بهینه برای استفاده به منظور تأمین انرژی مورد نیاز پمپ چاه‌ها بود. این بررسی نشان می‌دهد با توجه به شرایط فعلی و قیمت کم برق شبکه در ایران، برای کشاورزان استفاده از این منبع برای تأمین توان اقتصادی‌ترین راه خواهد بود. هرچند این قیمت غیر واقعی بوده و قیمت برق تولیدی برای کشور بیشتر از این حد است که استفاده از چنین قیمتی در بخش تولیدی باعث بی‌توجهی به بهینه‌سازی مصرف انرژی شده که ناکارآمدی سیستم انرژی در بخش کشاورزی را به همراه داشته است. بررسی قیمت برق و سوخت در سه استراتژی نشان داد در صورت در نظر نگرفتن قیمت ژنراتور و سیستم برق دیزلی این نتیجه را خواهد داشت که استفاده از برق شبکه و سوخت دیزلی می‌تواند به‌صرفه باشد، هرچند که با اعمال قیمت اولیهٔ سیستم دیزلی، این سیستم دیگر صرفهٔ اقتصادی نخواهد داشت. در این‌باره باید گفت که دسترسی داشن یا نداشتن پمپ به برق شبکه امری مهم در تصمیم‌گیری خواهد بود. به گونه‌ای که اگر چاه در محلی دور از برق شبکه باشد، با توجه به هزینهٔ زیاد احداث شبکه در منطقه استفاده از این تکنولوژی‌هایی مانند دیزلی و خورشیدی منطقی‌تر خواهد بود و هزینهٔ کمتری ایجاد خواهد کرد. استفاده از سیستم خورشیدی برای تأمین انرژی چاه‌ها در سال‌های اخیر در جهان محبوبیت زیادی یافته است. اما به دلیل قیمت اولیهٔ زیاد این سیستم‌ها و نبود مشوق دولتی در این حوزه در مقایسه با قیمت برق و سوخت در ایران، استفاده از این تکنولوژی فراموش شده است که در صورت در نظر گرفتن مشوق‌های دولتی به‌خصوص برای مناطق دور از شبکهٔ برق، می‌توان به گسترش این تکنولوژی کمک کرد. همچنین، استفاده از سیستم خورشیدی و سایزینگ آن برای مناطق مختلف و هر یک از حوضه‌های آبخیز انجام شد که حوضهٔ دریاچهٔ خزر نسبت به باقی حوضه‌ها نیاز به سیستم بسیار بزرگ‌تری خواهد داشت که به نظر استفاده از سیستم خورشیدی در آن نسبت به دیگر حوضه‌ها منطقی به نظر نمی‌رسد که البته نمی‌توان به هر یک از این اعداد برای در نظر گرفتن کل منطقهٔ آبخیز بسنده کرد چون هر یک این مناطق قسمت وسیعی را اشغال کرده‌اند و شهرهای فراوانی در هر یک از این بخش‌ها هستند که شرایط آب‌وهوایی خاص خود را دارند. هزینهٔ سیستم خورشیدی برای تأمین سیستم‌های یادشده چیزی حدود ۴ میلیون تومان بدون در نظر پمپ خواهد بود که استفاده از سیستم برقی را به جای برق‌کشی به منطقه منطقی

نشان می‌دهد. به طور کلی، می‌توان گفت که استفاده از این انرژی در مناطقی مثل مناطق شمالی که تعدد روزهای ابری زیادی دارند و یا مناطق سرد کوهستانی مانند اردبیل که تعداد روزهای زمستانی زیادی دارند و در عین حال، میزان خوبی از بارش سالانه و منابع آبی برخوردارند، منطقی نیست. در عین حال، در مناطق خشک ایران استفاده از این سیستم به دلیل همسانی تقریبی میزان آب مورد نیاز و میزان برق تولیدی خورشیدی منطقی به نظر می‌رسد. بررسی دقیق‌تر و مکان‌یابی بهترین نقاط برای حفر چاه به بررسی جغرافیایی مناطق مورد نظر با استفاده از روش‌های جغرافیایی مانند بررسی به کمک نرم‌افزار ArcGIS می‌تواند فهم دقیق‌تری در مورد بهترین نقاط استفاده از برق خورشیدی برای تأمین برق چاه‌ها کشاورزی بدهد.

منابع

[1]. Bekhet HA, Abdullah A. Energy use in agriculture sector: input-output analysis. Int Bus Res. 2010;3(3):111.

[2]. Schnepf RD. Energy use in agriculture: Background and issues. In: Congressional Information Service, Library of Congress; 2004.

[3]. Uhlin H-E. Why energy productivity is increasing: an IO analysis of Swedish agriculture. Agric Syst. 1998;56(4):443-465.

[4]. Esengun K, Erdal G, Gündüz O, Erdal H. An economic analysis and energy use in stake-tomato production in Tokat province of Turkey. Renew energy. 2007;32(11):1873-1881.

[5]. Energy balance sheet, Office of Planning and Macroeconomics of Electricity and Energy of Iran. 1396[Persian]

[6]. Investigating the situation of energy consumption in the agricultural sector. Ministry of Islamic Jihad 1396 [Persian]

[7]. Arezo Bagherzadeh. An overview of electricity consumption trends in the agricultural sector. 1396. [Persian]

[8]. Statistical Yearbook. National Statistics Center. 1395. [Persian]

[9]. Report on the condition of the country's wells. Ministry of Power. [Persian]

[10]. Well condition report. Statistics and reporting system. wrs.wrm.ir › amar[Persian]

[11]. Hanze Noor. Assessing the trend of groundwater consumption and its current situation in Iran. 1395. [Persian]

[12]. Mahboubeh Zeraatzadeh, Mojtaba Samareh Akbar, Seyed Mahmoud Attari, Alireza Bamri ,Investigating the effects of electrification of agricultural wells in the distribution network. [Persian]

[13]. De Silva CS. Regulation of Shallow Groundwater Resources in Hard Rock Areas of Sri Lanka. (Pathmarajah S, ed.). Agricultural Engineering Society of Sri Lanka (AESSL); 2002.

[14]. Çalisir S. The evaluation of performance and energy usage in submersible deep well irrigation pumping plants. Agric Mech ASIA AFRICA Lat Am. 2007;38(1):9.

[15]. David J. Molden, R. Sakthivadivel CJP, Fraiture and C de. Indicators for Comparing Performance of Irrigated Agricultural Systems. Vol 42.; 2005. doi:10.1017/CBO9781107415324.004

[16]. Wright J. Cost Comparison of Alternative Irrigation Systems. 1981:10-11.

[17]. Caswell MF, Zilberman D. The Effects of Well Depth and Land Quality on the Choice of Irrigation Technology. Am J Agric Econ. 1986;68(4):798-811. doi:10.2307/1242126

[18]. Eker B. solar powered water pumping system - Google Search. Trakia J Sci. 2005;3(7):6-11. https://www.google.com.ng/search?q=solar+powered+water+pumping+system&rlz=1C1CHBD_enNG821NG823&oq=Solar+powered+water+pumping+&aqs=chrome.0.0j69i57j0l4.13337j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8.

[19]. Al-Smairan M. Application of photovoltaic array for pumping water as an alternative to diesel engines in Jordan Badia, Tall Hassan station: Case study. Renew Sustain Energy Rev. 2012;16(7):4500-4507. doi:10.1016/j.rser.2012.04.033

[20]. Abu-Aligah M. Design of photovoltaic water pumping system and compare it with diesel powered pump. Jordan J Mech Ind Eng. 2011;5(3):273-280.

[21]. Jones MA, Odeh I, Haddad M, Mohammad AH, Quinn JC. Economic analysis of photovoltaic (PV) powered water pumping and desalination without energy storage for agriculture. Desalination. 2016;387:35-45. doi:10.1016/j.desal.2016.02.035

[22]. Tiwari AK, Kalamkar VR. Effects of total head and solar radiation on the performance of solar water pumping system. Renew Energy. 2018;118:919-927. doi:10.1016/j.renene.2017.11.004

[23]. Rehman S, Sahin AZ. Performance comparison of diesel and solar photovoltaic power systems for water pumping in Saudi Arabia. Int J Green Energy. 2015;12(7):702-71۳/ doi:10.1080/15435075.2014.884498

[24]. Roblin S. Solar-powered irrigation: A solution to water management in agriculture? Renew Energy Focus. 2016;17(5):205-206. doi:10.1016/j.ref.2016.08.013

[25]. Mahmoud E, El Nather H. Renewable energy and sustainable developments in Egypt: photovoltaic water pumping in remote areas. Appl Energy. 2003;74(1-2):141-147.

[26]. Purohit P, Kandpal TC. Solar photovoltaic water pumping in India: a financial evaluation. Int J Ambient Energy. 2005;26(3):135-146.

[27]. Odeh I, Yohanis YG, Norton B. Economic viability of photovoltaic water pumping systems. Sol energy. 2006;80(7):850-860.

[28]. Kordab M. Priority option of photovoltaic systems for water pumping in rural areas in ESCWA member countries. Desalination. 2007;209(1-3):73-77.

[29]. Meah K, Fletcher S, Ula S. Solar photovoltaic water pumping for remote locations. Renew Sustain Energy Rev. 2008;12(2):472-487.

[30]. Journal 310 of the Office of Engineering and Water and ABFA Standards with the title of instructions for classification and coding of catchments and study areas in the country. [Persian]

[31]. Morteza Aeen. Plan to increase the energy efficiency of agricultural wells by using the budget resources of Article 12 of the Constitution to remove barriers to competitive production [Persian]

[32]. Mohsen Jabbar, Mohammad Akbari Sayar, Mehdi Rafiei, Saeed Mahzab Torabi. Review the program of electrification of agricultural wells and present programs to improve energy efficiency [Persian]

[33]. Information and data of agricultural pumps. https://www.energyinformation.ir/energydatas/2014-01-07-16-29-40/2014-01-01-21-13-09/2014-01-01-21-36-41/964-2018-04-25-10-08-29[Persian]

[34]. Energy audit and establishment of energy management unit in agriculture and horticulture, energy consumption optimization management in industry, fuel consumption optimization company. 1385. [Persian]