ارزیابی زیست‌محیطی استخراج منابع آب‌های زیرزمینی با رویکرد رابطه آب و انرژی

سمیه جنت‌رستمی* و هیدی محمودپور[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۲۴)

چکیده

یکی از منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای، مصرف انرژی برای پمپاژ آب‌های زیرزمینی است. برای رسیدن به پایداری زیست‌محیطی و کاهش اثرات تغییر اقلیم، کاهش مصرف انرژی از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مطالعه، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی در آبخوان‌های استان گیلان بررسی شد. بعد از بررسی وضعیت استخراج آب‌های زیرزمینی و انواع پمپ‌های استخراج آب در هر یک از آبخوان‌ها، مقادیر انرژی مصرفی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و شاخص پدیده تغییر اقلیم مربوط به آن محاسبه شد. بررسی‌های اولیه نشان داد که ۵۵ درصد از چاه‌های واقع در منطقه دیزلی هستند، درحالی که، ۵۱/۳ درصد انرژی مورد نیاز برای استخراج آب‌های زیرزمینی از طریق پمپ‌های الکتریکی تأمین می‌شود. همچنین مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای و مقدار شاخص تغییر اقلیم در وضعیت موجود ۸/۹۸ و ۷/۵۹ میلیون کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل براورد شد. در راستای رسیدن به پایداری زیست‌محیطی و امنیت انرژی، سناریوهای برقی کردن چاه‌های دیزلی و استفاده از انرژی خورشیدی بررسی شد. نتایج حاصل از سناریوها نشان داد که برقی کردن چاه‌های دیزلی، تأثیر زیادی بر کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ندارد، درحالی که، استفاده از انرژی خورشیدی تأثیر قابل توجهی در کاهش گازهای گلخانه‌ای دارد، به‌طوری که، با اجرای سناریوی استفاده از پمپ‌های خورشیدی در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد در بخش کشاورزی، باعث کاهش ۴۴/۴ درصدی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. بنابراین بهتر است در برنامه‌ریزی‌های آینده، سیاست‌هایی اتخاذ شود تا استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیری مانند انرژی خورشیدی معمول شود.

واژه‌های کلیدی: انتشار گازهای گلخانه‌ای، انرژی خورشیدی، تغییر اقلیم، پمپ‌های آب

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، ایران

*: مسئول مکاتبات: janatrostami@guilan.ac.ir

مقدمه

در طول چند دهه گذشته، تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به یکی از نگرانی‌های زیست‌محیطی تبدیل شده است، به‌طوری که در حوضه مدیریت منابع آب، بررسی پدیده تغییر اقلیم و وضعیت زیست‌محیطی یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت پایدار شده است. بسیاری از دانشمندان معتقدند که افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌طور قابل توجهی باعث گرم شدن جهانی و تغییر اقلیم می‌شود (۸). تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای باعث تغییراتی در دمای هوا، رژیم بارش، سرعت باد و تابش ورودی به سطح زمین می‌شود (۲۶).

با توجه به آمار سال ۲۰۱۵، در یک رتبه‌بندی جهانی، ایران هشتمین کشور در تولید گازهای گلخانه‌ای است. بر اساس بررسی‌های انجام شده در پایتخت ایران، مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2 به‌صورت نمودار شکل (۱) آورده شده است (۱۳). در این نمودار، مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال‌های ۱۹۹۷، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۷ به‌ترتیب ۴/۷۹ ton CO_2 eq، ۶/۹۲ و ۸ تخمین زده شده است که بیانگر افزایش ۴۵ درصدی در دهه ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۷ و افزایش ۱۵/۶ درصدی در دهه ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ است. بر این اساس، توافق‌نامه پاریس ۲۰۱۵ با هدف کاهش سریع انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان تصویب شد که ایران نیز با امضای این توافق‌نامه، کاهش ۱/۳ درصدی گازهای گلخانه‌ای را تعهد کرده است (۲۸). برای رسیدن به این هدف در کشور، لازم است منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌دقت بررسی شود.

یکی از منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای، مصرف انرژی برای تخصیص آب در بخش‌های مختلف مصارف است. در دهه‌های اخیر، با افزایش جمعیت و توسعه صنعت، مصارف شرب، صنعت و کشاورزی به‌شدت افزایش یافته است. بنابراین در دسترس بودن منابع آب کافی برای تأمین این مصارف دارای اهمیت زیادی است. علاوه بر این، با توجه به اینکه منابع آب مورد استفاده در فعالیت‌های مختلف، نیاز به مصرف انرژی دارد، مصرف انرژی در بسیاری از نقاط جهان افزایش یافته است (۶). در نقاط مختلف دنیا، رابطه بین آب و انرژی به‌ویژه مصرف انرژی در آب توجه زیادی را به خود جلب کرده است به‌طوری که در بسیاری از مطالعات اخیر، اهمیت انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف انرژی در بخش آب تأکید شده است (۱۸ و ۲۱). به‌عنوان مثال در ایالت متحده آمریکا، پنج درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به استفاده از انرژی در بخش آب است که این مقدار در بسیاری از کشورها به مراتب بیشتر است (۲۲). امروزه، با توجه اینکه در بسیاری از کشورها قوانین جدیدی برای پایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش آب وضع شده است، اما همچنان این مسئله، یکی از نگرانی‌هایی است که در حال افزایش است (۳۰). فردریچ و همکاران (۹)، مصرف انرژی در صنعت آب را با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی بررسی کردند، نتایج بررسی‌های آنها نشان داد که بیشترین مصرف انرژی در بخش پمپاژ آب به وقوع می‌پیوندد. بنابراین در مدیریت تقاضای آب، مقدار مصرف انرژی در استخراج آب‌های زیرزمینی قابل توجه است، به‌طوری که در ایالات متحده امریکا تقریباً یک تا دو درصد از کل برق تولیدی صرف استخراج آب‌های زیرزمینی می‌شود (۱). همچنین، ولف و همکاران (۲۹)، مقدار انرژی موردنیاز برای استخراج هر میلیون گالن آب زیرزمینی در کالیفرنیا را ۲/۳-۰/۵۴ مگاوات ساعت براورد کردند.

انرژی مورد نیاز برای استخراج آب‌های زیرزمینی از اعماق زمین، معمولاً از طریق الکتریسیته یا سوخت‌های دیزلی تأمین می‌شود. سوخت‌های دیزلی از گذشته تا به امروز، یکی از منابع مهم انرژی در موتورپمپ‌ها، برای پمپاژ آب‌های زیرزمینی بوده است که نسبت به موتورپمپ‌های الکتریکی باعث انتشار قابل توجهی از گازهای گلخانه‌ای می‌شود. بنابراین، برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی علاوه بر احتمال شور شدن سفره‌های آب زیرزمینی در اثر پیشروی یا بالا آمدن آب شور و نشست زمین، باعث افزایش مصرف انرژی و به موازات آن افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز می‌شود که در راستای مدیریت

شکل ۱. مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2 در پایتخت ایران

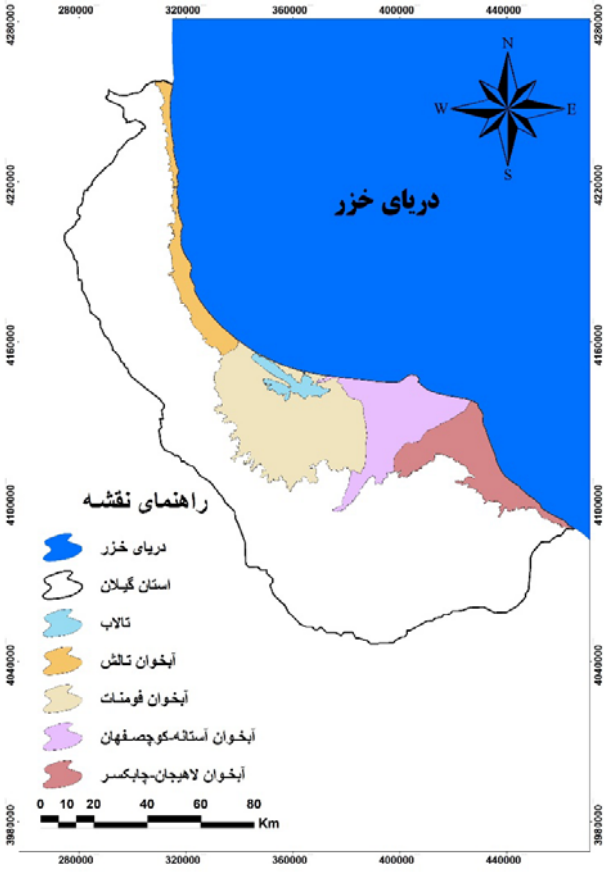
پایدار کشورها و کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، سعی شده است پمپ‌های الکتریکی جایگزین پمپ‌های دیزلی شود. استفاده از پمپ‌های الکتریکی، علاوه بر کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، باعث افزایش راندمان انرژی نیز می‌شود (۲۵). در کشور ایران نیز شورای اقتصاد در سال ۱۳۹۳، با توجه به غالب بودن استفاده از سوخت‌های دیزلی در بخش کشاورزی، طرحی را با هدف کاهش مصرف دیزل و بهبود شرایط اقتصادی و زیست‌محیطی در چاه‌های کشاورزی به تصویب رساند که در این طرح، انرژی‌های تجدیدپذیر (خورشید و باد)، شبکه برق سراسری و موتورهای گازسوز جایگزین سوخت‌های دیزلی در چاه‌های کشاورزی خواهد شد. بررسی‌های آماری انجام شده در آبخوان‌های کشور بیانگر این مطلب است که با توجه به اجرایی شدن سیاست برقی کردن چاه‌ها، هنوز هم تعداد قابل‌توجهی از چاه‌های بهره‌برداری از آب زیرزمینی به‌صورت دیزلی هستند. برق مورد استفاده در موتور پمپ‌های الکتریکی معمولاً از طریق شبکه برق سراسری تأمین می‌شود. بنابراین، در مناطق دوردست که امکان اتصال به شبکه برق سراسری وجود ندارد، برقی کردن چاه‌ها با مشکل مواجه می‌شود (۱۵). از طرفی، با توجه به اثرات منفی زیست‌محیطی استفاده از سوخت‌های فسیلی، پژوهشگران زیادی به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر روی آوردند (۳). برای پمپاژ آب می‌توان از چند منبع انرژی تجدیدپذیر استفاده کرد که انرژی فتوولتائیک خورشیدی یکی از این موارد است (۲).

در حال حاضر، با افزایش آگاهی‌ها درباره بحران‌های زیست‌محیطی و انرژی موجود در جهان، سیستم‌های پمپاژ انرژی خورشیدی توجه بسیاری از برنامه‌ریزان و قانون‌گذاران را به خود جلب کرده است (۲). به‌طوری که در چند سال اخیر مطالعات زیادی در زمینه طراحی و توسعه سیستم‌های پمپاژ آب خورشیدی انجام شده است (۴، ۱۰، ۱۶، ۱۷ و ۳۲). این سیستم‌ها حتی در مناطقی با شرایط آب‌وهوایی برفی نیز قابل استفاده هستند (۳۰). با توجه به موارد ذکر شده و کمبود منبع انرژی در ماه‌های گرم سال، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور ضرورت دارد که در این مطالعه، وضعیت موجود استان گیلان از نظر میزان تخلیه آب‌های زیرزمینی و همچنین مقادیر مصرف انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و مقدار شاخص پدیده تغییر اقلیم ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی ارزیابی می‌شود. در ادامه نیز با توجه به شرایط آب‌وهوایی استان گیلان، سناریوهایی در راستای سیاست برقی کردن چاه‌های دیزلی و استفاده از انرژی تجدیدپذیر خورشیدی تعریف و بررسی می‌شود.

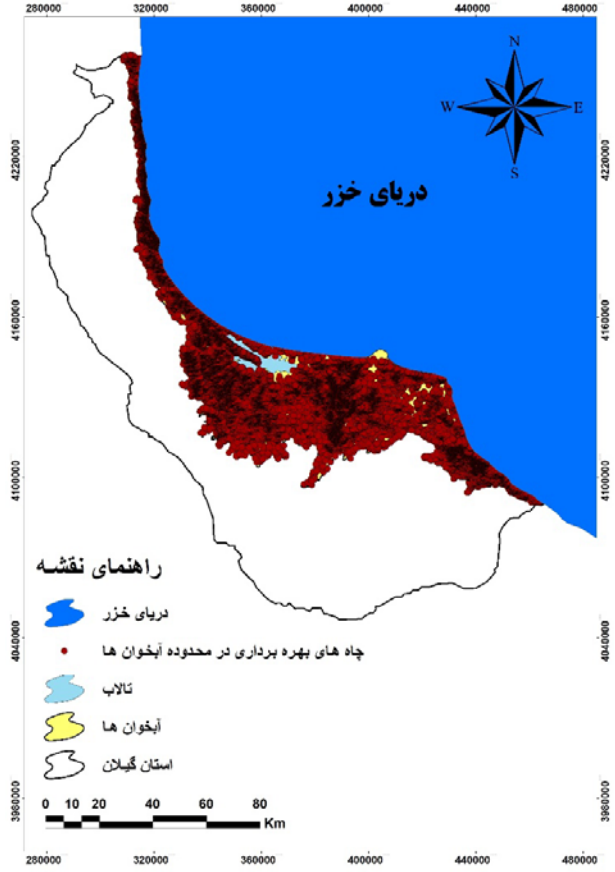
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان گیلان با مساحت حدود ۱۴۷۰۹ کیلومترمربع در شمال ایران واقع شده است، این استان از شمال به دریای خزر متصل بوده و از غرب به استان اردبیل، از جنوب به استان زنجان و قزوین و از شرق به استان مازندران محدود می‌شود. با توجه به گزارش شرکت آب منطقه‌ای استان گیلان، سهم آب زیرزمینی و



شکل ۲. موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۳. پراکنش چاه‌های بهره‌برداری از آبخوان‌ها

سطحی از منابع آب تجدیدپذیر استان به‌ترتیب ۴۷۳ و ۶۶۶۷ میلیون مترمکعب است. بخش عمده نیازهای آبی استان از طریق منابع آب سطحی تأمین می‌شود و تنها درصد کمی از مصارف از طریق منابع آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. به‌طور کلی، آب‌های زیرزمینی استان گیلان از طریق چهار آبخوان تالش، فومنات، آستانه- کوچصفهان و لاهیجان- چابکسر تأمین می‌شود (شکل ۲). در شکل (۳)، چاه‌های بهره‌برداری از چهار آبخوان استان گیلان ارائه شده است

مصرف انرژی در پمپاژ از آب زیرزمینی

انرژی مورد نیاز برای پمپاژ آب زیرزمینی به عمق آب زیرزمینی و بازده پمپ مورد استفاده برای پمپاژ آب زیرزمینی بستگی دارد (۲۱). روتاسن و کانوی (۲۲) و همچنین کریمی و همکاران (۱۴)، برای محاسبه مقدار مصرف انرژی در فرایند پمپاژ روش‌هایی را ارائه کردند که در این مطالعه با توجه به داده‌های در دسترس از روش روتاسن و کانوی (۲۲) استفاده می‌شود. این روش، به‌صورت رابطه (۱) آورده شده است.

$$\text{Energy}(\text{kwh}) = \frac{۹/۸۱(\text{m}/\text{s}^۲)\times \text{lift}(\text{m})\times \text{mass}(\text{kg})}{۳/۶\times ۱۰^۶ \times \text{efficiency}(\%)} \qquad (۱)$$

در این رابطه، lift، مهم‌ترین عامل مصرف انرژی است و به‌صورت فاصله عمودی سطح آب تا سطح زمین تعریف می‌شود؛ mass، جرم آب است که با توجه به رابطه $\rho = m/V$ (ρ، چگالی آب، بر حسب ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و v، حجم آب، بر حسب مترمکعب به‌دست می‌آید)، همچنین efficiency، بازده پمپ است که تأثیر زیادی بر مصرف انرژی دارد. با توجه به رابطه (۱)، مقدار انرژی مورد نیاز برای استخراج یک مترمکعب آب با چگالی ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب تا یک متر با استفاده از پمپی با بازده ۱۰۰ درصد

برابر با ۰/۰۰۲۷ کیلووات ساعت به‌دست می‌آید (۲۲).

نوع منبع انرژی پمپ‌ها در میزان مصرف انرژی مؤثر است. همان‌طور که ذکر شد، پمپ‌ها دارای موتورهای الکتریکی و دیزلی هستند که با توجه به محاسبات انجام شده در این مطالعه، نسبت کلی تعداد پمپ‌های الکتریکی و دیزلی به‌ترتیب ۴۵ و ۵۵ درصد است. به‌دلیل فقدان اطلاعات جزئی در مورد بازده هر یک از پمپ‌ها، در این مطالعه بر اساس مطالعات انجام شده در ایران، بازده پمپ الکتریکی و دیزلی به‌ترتیب ۴۰ و ۱۵ درصد در نظر گرفته شد (۱۴).

در محاسبه انرژی مورد نیاز برای استخراج آب زیرزمینی، یکی از مهم‌ترین پارامترها، تعیین عمق آب زیرزمینی است که با توجه به داده‌های موجود در منطقه، این مقادیر تنها در نقاط چاه‌های مشاهده‌ای در دسترس هستند. تعداد این چاه‌ها در هر یک از آبخوان‌های تالش، فومنات، آستانه- کوچصفهان و لاهیجان چابکسر به‌ترتیب ۵۱، ۴۷، ۳۲ و ۶۶ است. بنابراین برای تعیین مقادیر عمق آب زیرزمینی در هر یک از محدوده‌های مساحتی از روش تیسن‌بندی استفاده می‌شود. با تعیین عمق آب زیرزمینی به‌صورت ماهانه در هر یک از تیسن‌ها و پراکنش چاه‌های بهره‌برداری، مقادیر انرژی مصرفی با استفاده از رابطه (۱) برای چاه‌های الکتریکی و دیزلی در هر یک از آبخوان‌ها محاسبه شد.

انتشار گازهای گلخانه‌ای

انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از پمپاژ آب زیرزمینی بر حسب CO_2 تولید شده در اثر مصرف انرژی محاسبه می‌شود. انتشار مستقیم و غیرمستقیم گازهای گلخانه‌ای مانند CH_4 و N_2O به مصرف انرژی وابستگی زیادی ندارد (۲۱). بنابراین در این مطالعه مقدار انتشار CO_2 بررسی شده است.

فاکتورهای تولید گازهای گلخانه‌ای برای موتور پمپ‌های دیزلی و الکتریکی به‌ترتیب ۰/۲۶۷ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل بر کیلووات ساعت و ۰/۶۲۰ در نظر گرفته شد (۸). بنابراین مقدار کل انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

$$\text{GHG emission}\left(\text{kg CO}_2\text{ eq / m}^3\right) = \text{Energy use electric}\left(\text{kWh / m}^3\right)\times 0/62 + \text{Energy use deisel}\left(\text{kWh / m}^3\right)\times 0/267 \quad (2)$$

برنامه‌ریزی در راستای مدیریت پایدار

بر اساس مصوبه شورای اقتصاد در سال ۱۳۹۳، برای کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، برقی کردن چاه‌های دیزلی در برنامه‌ریزی‌ها قرار گرفت. در این راستا، سناریوهایی به‌صورت زیر بررسی شد:

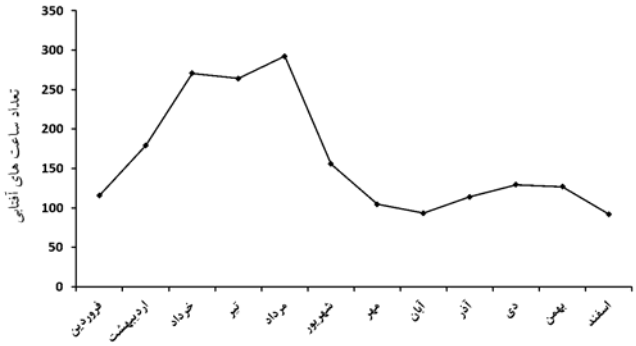
سناریوی ۱: جایگزینی موتورپمپ‌های دیزلی با الکتریکی در همه چاه‌های کشاورزی

سناریوی ۲: جایگزینی موتورپمپ‌های دیزلی با الکتریکی در همه چاه‌های صنعتی

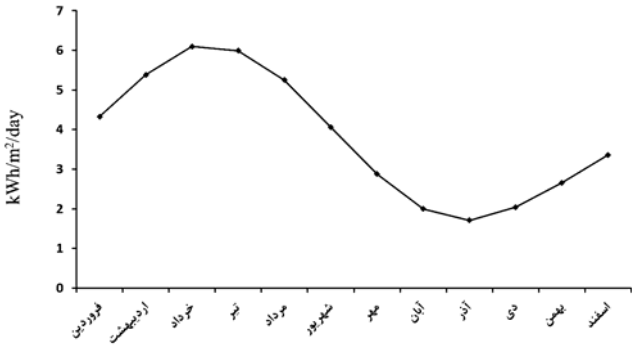
سناریوی ۳: جایگزینی موتورپمپ‌های دیزلی با الکتریکی در همه چاه‌های مربوط به خدمات

سناریوی ۴: جایگزینی موتورپمپ‌های دیزلی با الکتریکی در همه چاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه

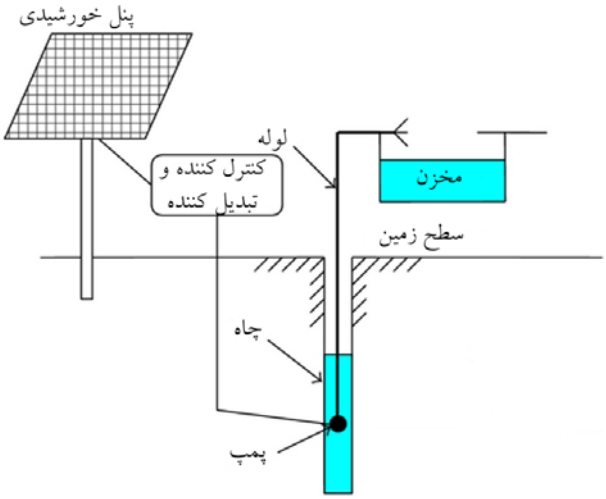
رشد روز افزون مصرف انرژی در استان گیلان به‌ویژه در ماه‌های گرم سال که به‌دلیل موقعیت جغرافیایی با اوج مصرف آب و انرژی همراه است، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی در این استان ضرورت می‌یابد. در حال حاضر، الکتریسیته فتوولتائیک یکی از مهم‌ترین منابع انرژی‌های تجدیدپذیر است. منبع اولیه انرژی، تابش خورشید است که در عمل در مقیاس نیازهای انسانی بی‌نهایت است (۳). در تعیین معیارهای مکان‌هایی که پتانسیل استفاده از انرژی خورشیدی دارند، میانگین ساعات آفتابی از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی است که بیانگر میزان انرژی دریافتی مناطق از خورشید است. علاوه بر این پارامترهایی نظیر شدت تابش خورشید، دمای محیط، رطوبت نسبی نیز از معیارهای مهم در این رابطه است (۲۳). بررسی تعداد ساعت‌های آفتابی در سال ۱۳۹۴ (آب منطقه‌ای استان گیلان) و میانگین ۲۲ ساله شدت تابش خورشید (سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری از انرژی برق)



شکل ۴. تعداد ساعات آفتابی ایستگاه رشت در استان گیلان



شکل ۵. میانگین میزان تابش انرژی خورشیدی در ایستگاه رشت



شکل ۶. نمای سیستم پمپاژ آب خورشیدی

در ایستگاه رشت به‌عنوان یکی از ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که مقادیر این پارامترها در ماه‌های گرم سال به‌ویژه ماه‌های خرداد، تیر و مرداد قابل توجه است (شکل‌های ۴ و ۵). بنابراین با توجه به پتانسیل انرژی خورشیدی در این استان، به‌ویژه در ماه‌های گرم سال، ضرورت دارد تا در زمینه استفاده از این منبع عظیم انرژی در برنامه‌ریزی‌های آینده گام‌های مؤثری برداشته شود.

علاوه بر موارد ذکر شده، با توجه به مطالعات گوپال و همکاران (۱۱)، پمپ‌های خورشیدی در مناطقی با سطح بالای آب زیرزمینی دارای عملکرد بهتری هستند. استان گیلان به‌دلیل برخورداری از منابع آب زیرزمینی و بالا بودن سطح ایستابی یکی از مناطق مناسب برای استفاده از پمپ‌های آب فتوولتائیک خورشیدی است. این پمپ‌ها با استفاده از برق تولیدی حاصل از پنل‌های خورشیدی کار می‌کنند. این پنل‌ها انرژی خورشیدی را مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند و مورد استفاده پمپ قرار می‌دهند. این تکنولوژی شامل پنل‌های خورشیدی، مبدل و یک پمپ است که در درون چاه قرار می‌گیرد (۵). نمای سیستم پمپ‌های آب خورشیدی در شکل (۶) آورده شده است.

با توجه به موارد ذکر شده، در راستای کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر مانند سوخت‌های دیزلی، سناریوهایی برای استفاده از انرژی خورشیدی در استخراج آب‌های زیرزمینی تعریف شد که به‌صورت زیر آورده شده است:

سناریوی ۵: استفاده از پمپ‌های خورشیدی به‌صورت ترکیبی

با پمپ‌های دیزلی و الکتریکی در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد در بخش‌های کشاورزی، صنعت و خدمات به‌طوری که نیمی از انرژی مورد نیاز از طریق انرژی خورشیدی تأمین شود.

سناریوی ۶: استفاده از پمپ‌های خورشیدی به‌صورت ترکیبی با پمپ‌های دیزلی در بخش کشاورزی، طوری که در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد فقط از پمپ‌های خورشیدی استفاده شود.

سناریوی ۷: استفاده از پمپ‌های خورشیدی به‌صورت ترکیبی با پمپ‌های دیزلی و الکتریکی در بخش کشاورزی، طوری که در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد فقط از پمپ‌های خورشیدی استفاده شود.

نتایج و بحث

مقادیر برداشت از آب‌های زیرزمینی در بخش‌های مصرف کشاورزی، صنعت و خدمات به تفکیک چاه‌های الکتریکی و دیزلی در جدول (۱) آورده شده است. با توجه نتایج ذکر شده در جدول (۱)، آبخوان فومنات و آستانه- کوچصفهان با مقادیر ۲۷۰/۸۸ و ۷۸/۲۷ میلیون مترمکعب به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقادیر برداشت از آب‌های زیرزمینی هستند. از مجموع منابع آب زیرزمینی تخلیه شده، تقریباً ۵۳/۷ درصد صرف تأمین نیازهای کشاورزی، ۹/۸ درصد برای تأمین مصارف صنعت و ۳۶/۵ درصد برای تأمین نیازهای مربوط به خدمات می شود. ۲۹ درصد از کل آب‌های زیرزمینی تخلیه شده با استفاده از موتورپمپ‌های دیزلی استخراج می‌شود که به‌ترتیب ۷۹، ۵/۳ و ۱۵/۷ درصد از آن صرف تأمین مصارف کشاورزی، صنعت و خدمات می‌شود. به این ترتیب، ۷۱ درصد از کل آب‌های زیرزمینی با استفاده از موتورپمپ‌های الکتریکی استخراج می‌شوند که به‌ترتیب ۴۳/۳، ۱۱/۶ و ۴۵/۱ درصد از آن صرف تأمین مصارف کشاورزی، صنعت و خدمات می‌شود. به‌طور کلی، ۵۷، ۸۴ و ۸۸ درصد از مجموع برداشت‌های مربوط به کشاورزی، صنعت و خدمات از طریق موتورپمپ‌های الکتریکی پمپاژ می‌شوند و بقیه آن، یعنی ۴۳، ۱۶ و ۱۲ درصد از مجموع برداشت‌های مربوط به کشاورزی، صنعت و خدمات از طریق موتورپمپ‌های دیزلی پمپاژ می‌شوند.

محاسبات مربوط به مقادیر انرژی مصرفی نشان داد که ۵۱/۳ درصد از کل انرژی مصرفی از طریق الکتریسیته تأمین می‌شود و بقیه آن از طریق سوخت‌های دیزلی تأمین می‌شود. آبخوان فومنات و آستانه- کوچصفهان با مقادیر ۸/۱ و ۱/۴ مگاوات ساعت به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقادیر انرژی مصرفی هستند. نسبت مقادیر انرژی مصرفی به حجم آب تخلیه شده در چاه‌هایی با موتورپمپ‌های الکتریکی و دیزلی به‌ترتیب ۰/۰۲۳ و ۰/۰۵۴ کیلووات ساعت بر مترمکعب است، بنابراین استفاده از موتورپمپ‌های الکتریکی منجر به کاهش ۵۷ درصدی انرژی مصرفی به‌ازای پمپاژ هر واحد آب زیرزمینی می‌شود.

مطابق با مقادیر محاسبه شده انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از استخراج آب‌های زیرزمینی در جدول (۱)، مجموع انتشارگازهای گلخانه‌ای ۸۹۸۱/۲ تن دی‌اکسیدکربن معادل برآورد شد که ۷۱ درصد از این مقدار مربوط به استفاده از موتورپمپ‌های الکتریکی هستند. محاسبه نسبت انتشار گازهای گلخانه‌ای به یک مترمکعب آب زیرزمینی که از عمق یک متری استخراج شده است، نشان می‌دهد که این نسبت در چاه‌های الکتریکی و دیزلی به‌ترتیب ۰/۰۰۴۲ و ۰/۰۰۴۸ است. بنابراین در شرایط یکسان استخراج، استفاده از موتورپمپ‌های دیزلی به‌جای موتورپمپ‌های الکتریکی باعث افزایش ۱۵درصدی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی

برای ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی، اثرات زیست‌محیطی با توجه به سیستم مورد بررسی به گروه‌های مختلفی از اثرات تقسیم می‌شود که یکی از این گروه‌ها شاخص تغییر اقلیم است. در سیستم پمپاژ از آب‌های زیرزمینی مورد مطالعه، مصرف الکتریسیته و سوخت‌های دیزلی سهم زیادی در تولید گازهای گلخانه‌ای و ایجاد پدیده تغییر اقلیم دارند. بنابراین، در ادامه، میزان اثرات زیست‌محیطی الکتریسیته و سوخت‌های دیزلی مورد استفاده برای استخراج آب‌های زیرزمینی استان گیلان.

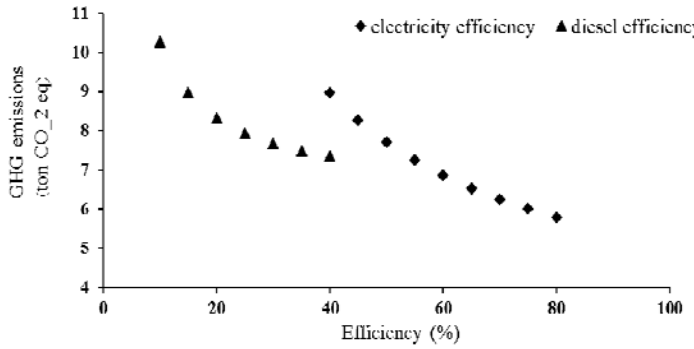
جدول ۱. وضعیت موجود استان گیلان از نظر مقادیر تخلیه آب‌های زیرزمینی، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای

نام آبخوان	نوع منبع انرژی	نوع مصرف	تخلیه آب زیرزمینی (میلیون مترمکعب)	انرژی مصرفی (گیگاوات ساعت)	مجموع تخلیه آب زیرزمینی (میلیون مترمکعب)	مجموع انرژی مصرفی (گیگاوات ساعت)	انتشار گازهای گلخانه‌ای (تن دی اکسیدکربن معادل)
تالش	الکتریسیته	کشاورزی	۸۲/۴۹	۲/۳۲	۱۳۰/۹۲	۴/۰۰	۲۴۸۱/۷۹
		صنعت	۷/۳۵	۰/۲۱			
		خدمات	۴۱/۰۸	۱/۴۷			
	دیزل	کشاورزی	۴۳/۶۸	۲/۷۵	۵۱/۶۳	۳/۳۸	۹۰۱/۳۳
		صنعت	۱/۶۲	۰/۱۳			
		خدمات	۶/۳۲	۰/۴۹			
فومنات	الکتریسیته	کشاورزی	۶۷/۲۱	۱/۴۴	۱۸۵/۳۳	۳/۸۱	۲۳۶۵/۰۶
		صنعت	۳۶/۹۵	۰/۷۴			
		خدمات	۸۱/۱۷	۱/۶۳			
	دیزل	کشاورزی	۶۴/۷۸	۳/۲۶	۸۵/۵۵	۴/۲۶	۱۱۳۹/۱۷
		صنعت	۶/۵۸	۰/۳۹			
		خدمات	۱۴/۱۹	۰/۶۱			
آستانه	الکتریسیته	کشاورزی	۱۷/۲۴	۰/۲۲	۵۷/۹۶	۰/۷۴	۴۵۹/۰۳
		صنعت	۳/۷۳	۰/۰۵			
		خدمات	۳۷/۰۰	۰/۴۷			
	دیزل	کشاورزی	۱۸/۵۹	۰/۶۴	۲۰/۳۱	۰/۶۹	۱۸۴/۱۷
		صنعت	۰/۴۸	۰/۰۲			
		خدمات	۱/۲۳	۰/۰۳			
لاهیجان	الکتریسیته	کشاورزی	۲۶/۴۱	۰/۶۴	۷۱/۷۷	۱/۷۳	۱۰۷۱/۵۴
		صنعت	۳/۷۵	۰/۰۸			
		خدمات	۴۱/۶۱	۱/۰۰			
	دیزل	کشاورزی	۱۶/۸۵	۰/۸۳	۲۴/۵۷	۱/۴۲	۳۷۹/۱۶
		صنعت	۰/۸۹	۰/۰۶			
		خدمات	۶/۸۳	۰/۵۲			

به‌صورت شاخص تغییر اقلیم مورد بررسی قرار می‌گیرد با توجه به دستورالعمل اروپایی چرخه زندگی در سال ۲۰۱۳، فاکتور اثرات زیست‌محیطی پدیده تغییر اقلیم ناشی از سوخت دیزلی و برق تولیدی توسط نیروی الکتریسیته به‌ترتیب ۰/۳۸۱۹۹ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل بر کیلوگرم و ۰/۷۰۷۸۷ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل بر کیلووات ساعت است (۲۷). از حاصل‌ضرب این فاکتورها در مقادیر الکتریسیته و سوخت دیزلی مصرفی، مقادیر اثرات زیست‌محیطی هر یک بر پدیده تغییراقلیم به‌دست می‌آید. این مقادیر برای هر یک از آبخوان‌های استان گیلان محاسبه شده و در جدول (۲) آورده شده است. لازم به‌ذکر

جدول ۲. اثرات زیست‌محیطی آبخوان‌های دشت گیلان

آبخوان	انرژی مصرفی		شاخص تغییر اقلیم (میلیون کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل)		
	سوخت دیزلی (کیلوگرم)	الکتریسیته (کیلووات ساعت)	سوخت دیزلی	الکتریسیته	مجموع
تالش	۲۸۱۹۷۱	۴۰۰۲۸۸۱	۰/۱۱	۲/۸۳	۲/۹۴
فومنات	۳۵۶۳۷۷	۳۸۱۴۶۱۸	۰/۱۴	۲/۷۰	۲/۸۴
آستانه	۵۷۶۱۵	۷۴۰۳۷۰	۰/۰۲	۰/۵۲	۰/۵۴
لاهیجان	۱۱۸۶۱۶	۱۷۲۸۲۹۵	۰/۰۵	۱/۲۲	۱/۲۷
مجموع	۸۱۴۵۷۹	۱۰۲۸۶۱۶۴	۰/۳۱	۷/۲۸	۷/۵۹



شکل ۷. نتایج آنالیز حساسیت

است که به‌ازای مصرف یک کیلوگرم سوخت دیزلی ۱۱/۹۷ کیلووات ساعت انرژی تولید می‌شود (۷).با توجه به نتایج جدول (۲)، مقدار شاخص تغییراقلیم ۷/۵۹ میلیون کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل به‌دست آمد که سهم الکتریسیته و سوخت دیزلی در این پدیده به‌ترتیب ۹۶ و ۴ درصد براورد شد. علت بالا بودن سهم الکتریسیته در این شاخص علاوه بر مصرف بالای آن، به‌دلیل تأثیر بیشتر آن در پدیده تغییر اقلیم است.

آنالیز حساسیت

برای تعیین تأثیر پارامترهایی که در تولید گازهای گلخانه‌ای تأثیر دارند فرایند آنالیز حساسیت روی پارامترهای درصد بازده پمپ‌های دیزلی و الکتریکی انجام شد. شکل (۷) مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای را برای مقادیر مختلف بازده پمپ‌های دیزلی و الکتریکی نشان می‌دهد. در محاسبات وضع موجود، بازده پمپ الکتریکی و دیزلی به‌ترتیب ۴۰ و ۱۵ درصد در نظر گرفته شد. با تغییر این پارامترها در فواصل پنج درصد، اثر هر یک از این پارامترها را می‌توان در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ارزیابی کرد. شکل (۷) نشان می‌دهد که تغییرات مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای در اثر تغییرات بازده پمپ‌های الکتریکی و دیزلی تقریباً از روند یکسانی برخوردار بوده است. کاهش ۱۰ درصدی بازده پمپ دیزلی باعث افزایش ۲۳ درصدی مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود، درحالی که کاهش ۱۰ درصدی بازده پمپ الکتریکی باعث افزایش ۱۷ درصدی مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. بنابراین با تغییر بازده پمپ‌ها، انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از پمپ‌های دیزلی با آهنگ بیشتری تغییر می‌کند و تغییرات بازده پمپ الکتریکی کمترین

جدول ۳. نتایج سناریوهای مدیریتی

سناریو	انرژی مصرفی (GWh)			انتشار گازهای گلخانه‌ای	هزینه
	الکتریکی	دیزلی	خورشیدی	(تن دی‌اکسیدکربن معادل)	(میلیون ریال)
مرجع	۱۰/۲۹	۹/۷۵	-	۸۹۸۱/۲۵	۶۳۲۳/۷۹
۱	۱۳/۱۰	۲/۲۶	-	۸۷۲۲/۷۵	۴۴۱۶/۰۱
۲	۱۰/۵۲	۹/۱۵	-	۸۹۶۲/۳۶	۶۳۰۸/۱۸
۳	۱۰/۹۱	۸/۱۰	-	۸۹۲۴/۱۷	۶۱۰۶/۶۶
۴	۱۳/۹۴	-	-	۸۶۴۴/۷۹	۴۱۸۰/۹۵
۵	۸/۰۰	۶/۹۴	۱/۶۷	۶۸۵۹/۸۴	-
۶	۱۰/۲۵	۳/۴۹	۱/۱۷	۷۳۱۸/۱۸	-
۷	۷/۴۰	۳/۴۹	۳/۱۰	۴۹۹۰/۵۰	-

تأثیر را در مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. بنابراین در تخمین انتشار گازهای گلخانه‌ای علاوه بر انتخاب نوع پمپ، تعیین دقیق بازده پمپ و فاکتورهای مؤثر بر آن دارای اهمیت است.

تحلیل سناریوهای مدیریتی

نتایج حاصل از سناریوهای مربوط به سیاست برقی کردن چاه‌های موجود در منطقه به‌صورت جدول (۳) ارائه شده است. در این جدول، مقادیر انرژی مصرفی چاه‌های الکتریکی و دیزلی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و هزینه‌های به‌دست آمده از اجرای هر یک از سناریوها آورده شده است. برای ارزیابی اقتصادی سناریوهای تعریف شده، هزینه هر کیلووات ساعت برق مصرفی برای مصارف کشاورزی، صنعت و خدمات با توجه به قیمت‌های سال ۱۳۹۵، به‌ترتیب ۱۲۱، ۷۲۱ و ۴۵۰ ریال و همچنین هزینه هر لیتر گازوئیل به‌عنوان سوخت دیزلی موتورپمپ‌ها، ۳۰۰۰ ریال درنظر گرفته شد. شایان ذکر است که موتورپمپ‌های دیزلی به‌ازای سوخت هر لیتر گازوئیل، ۱۰ کیلووات ساعت انرژی تولید می‌کند. اجرای سناریوی ۱، ۲ و ۳ باعث کاهش ۲/۸۷، ۰/۲۱ و ۰/۶۴ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش ۳۰/۱۷، ۰/۲۵ و۳/۴۳ درصدی هزینه تأمین انرژی می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده، در سیاست برقی کردن چاه‌های منطقه به‌دلیل بالابودن سهم چاه‌های دیزلی در بخش کشاورزی، این بخش بیشترین تأثیر را در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و هزینه دارد. مقایسه مقادیر انرژی مصرفی این سناریوها بیانگر کاهش ۲۳/۳۵، ۱/۸۵ و ۵/۱۴ درصدی سناریوی ۱، ۲ و ۳ نسبت به سناریوی مرجع است. همچنین با توجه به سناریوی ۴، برقی کردن همه چاه‌های موجود در منطقه باعث کاهش ۳/۷۵ درصدی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش ۳۳/۸۶ درصدی هزینه‌های تأمین انرژی می‌شود. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده در این بخش، سیاست برقی کردن چاه‌های دیزلی از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی مقرون به صرفه و در راستای توسعه پایدار است.

مسئله‌ای که در اجرای سیاست برقی کردن چاه‌ها وجود دارد این است که در مناطق دوردست، امکان دسترسی به شبکه برق سراسری وجود ندارد. در این موارد با توجه به شرایط آب‌وهوایی منطقه مورد بررسی، استفاده از پمپ‌های خورشیدی بهترین گزینه از نظر زیست‌محیطی (۱۳) و اقتصادی (۲۴) است. در ادامه نتایج حاصل از اجرای سناریوهای مربوط به کاربرد پمپ‌های خورشیدی بررسی می‌شود.

مقادیر انرژی مصرفی در چاه‌هایی با پمپ‌های الکتریکی، دیزلی و خورشیدی و همچنین مقدار کل انتشار گازهای گلخانه‌ای سناریوهای ۵، ۶ و ۷ در جدول (۳) آورده شده است.

لازم به‌ذکر است که بازده پمپ و فاکتور انتشار گازهای گلخانه‌ای این پمپ‌های خورشیدی ۸۰ درصد و ۰/۰۳ $kg\,CO_2\,eq/kWh$ درنظر گرفته شد (۳ و ۳۱). مقایسه این سناریوها با سناریوی پایه نشان می‌دهد که در صورت اجرای سناریوی ۵ و استفاده از پنل‌های خورشیدی فقط در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد به‌صورت ترکیبی با چاه‌های دیزلی باعث کاهش ۲۳/۶۲ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. اجرای سناریوهای ۶ و ۷ نیز باعث کاهش ۱۸/۵۲ و ۴۴/۴۳ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

نتایج حاصل از دو سناریوی برقی کردن چاه‌ها و استفاده از انرژی خورشیدی از دیدگاه زیست‌محیطی نشان داد که استفاده از انرژی تجدیدپذیر خورشیدی کاهش قابل توجهی در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. اما از نظر اقتصادی با توجه به مطالعات هتینگ (۱۲) بدون درنظر گرفتن یارانه‌های پرداختی به بخش سوخت‌های فسیلی، هزینه هر مترمکعب استخراج آب با استفاده از پمپ‌های خورشیدی بعد از پمپ دیزلی در رتبه دوم از نظر کمترین هزینه قرار دارد که با درنظر گرفتن طول عمر پمپ‌ها، پمپ‌های خورشیدی کارآمدتر و ارزان‌تر از پمپ‌های دیزلی هستند. اگر شرایط تأمین انرژی با استفاده از پمپ‌های دیزلی و الکتریکی برای مصرف‌کنندگان با پرداخت یارانه انرژی همراه باشد، انگیزه آنها برای تغییر پمپ‌ها به پمپ‌های خورشیدی از بین می‌رود (۲۵). بررسی‌های اقتصادی سیستم‌های پمپاژ خورشیدی نشان داد، درصورتی که انگیزه‌های کافی از نظر مالی توسط سیاست‌ها و سرمایه‌گذاری‌های دولت ایجاد شود، استفاده از این سیستم‌ها از نظر اقتصادی قابل قبول است (۱۹ و ۲۰).

نتیجه‌گیری

در این مطالعه مقادیر تخلیه از آب زیرزمینی و همچنین میزان انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از استخراج آب زیرزمینی در آبخوان‌های استان گیلان (تالش، فومنات، آستانه- کوچصفهان و لاهیجان- چابکسر) بررسی شد. نتایج ارزیابی اولیه نشان داد که بیشترین درصد از منابع آب زیرزمینی استان صرف تأمین نیازهای کشاورزی می‌شود و پس از آن بخش‌های خدمات و صنعت به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. منابع آب‌های زیرزمینی این استان با استفاده از پمپ‌های دیزلی (۲۹ درصد) و الکتریکی (۷۱ درصد) استخراج می‌شوند که از لحاظ مصرف انرژی، ۵۱/۳ درصد از کل انرژی مورد نیاز برای استخراج آب از طریق الکتریسته و بقیه از طریق سوخت‌های دیزلی تأمین می‌شود. همچنین، مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای در وضعیت موجود ۸۹۸/۲ تن دی‌اکسیدکربن معادل براورد شد که بخش اعظم آن مربوط به پمپ‌های الکتریکی است. برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بازده پمپ‌های دیزلی و الکتریکی بررسی شد که نتایج نشان داد که افزایش بازده پمپ‌های الکتریکی نسبت به پمپ‌های دیزلی تأثیر بیشتری در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد، بنابراین، پارامتر بازده پمپ نقش مهمی در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. در ادامه، با توجه به سیاست‌های فعلی کشور، سناریوهایی در راستای برقی کردن چاه‌های دیزلی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر بررسی شد که نتایج نشان داد، برقی کردن چاه‌ها تأثیر قابل توجهی در کاهش گازهای گلخانه‌ای ندارد، درحالی که، بیشترین تأثیر را در کاهش هزینه‌های تأمین انرژی دارد. اما، استفاده از انرژی تجدیدپذیر خورشیدی تأثیر چشمگیری در کاهش گازهای گلخانه‌ای دارد به‌طوری که، با اجرای سناریوی ۷، انتشار گازهای گلخانه‌ای ۴۴/۴۳ درصد کاهش یافت. بنابراین، استفاده از انرژی خورشیدی علاوه بر کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی، به‌عنوان یک منبع کمکی برای تأمین انرژی به‌ویژه در شرایط کمبود انرژی ماه‌های گرم سال در کشور ضروری است. بنابراین بهتر است در برنامه‌ریزی‌های آینده استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیری مانند خورشید و باد با توجه به شرایط جغرافیایی و آب‌وهوایی منطقه مورد نظر در نظر گرفته شود.

منابع مورد استفاده

1. Ahlfeld, D. P. and M. M. Laverty. 2015. Field scale minimization of energy use for groundwater pumping. *Journal of Hydrology* 525: 489–495.
2. Aliyu, M., G. Hassan, S. A. Said, M. U. Siddiqui, A. T. Alawami and I. M. 2018. Elamin. A review of solar-powered water pumping systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 87: 61–76.
3. Amponsah, N. Y., M. Troldborg, B. Kington, I. Aalders and R. L. Hough. 2014. Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: A review of lifecycle considerations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39:461-475.
4. Campana, P. E., H. Li, J. Zhang, R. Zhang, J. Liu and J. Yan. 2015. Economic optimization of photovoltaic water pumping systems for irrigation. *Energy Conversion and Management* 95:32–41.
5. Closas, A. and E. Rap. 2017. Solar-based groundwater pumping for irrigation: Sustainability, policies, and limitations. *Energy Policy* 104: 33–37.
6. Curlee, T. R. and M. J. Sale. 2003. Water and energy security, in proceedings Universities Council on Water Resources. *In:* Proceeding of the UCOWR Annual Conference. Water Security in the 21st Century, Washington, D.C.
7. EcoWater. 2013. http://environ.chemeng.ntua.gr/ecoWater.
8. Eggleston, H. S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Published: IGES, Japan.
9. Friedrich, E., S. Pillay and C. A. Buckley. 2007. The use of LCA in the water industry and the case for an environmental performance indicator. *Water SA* 3(4): 444-452.
10. Ghoneim, A. A. 2005. Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems. *Energy Conversion and Management* 47:1449–1463.
11. Gopal, C., M. Mohanraj, P. Chandramohan and P. Chandrasekar. 2013. Renewable energy source water pumping systems – a literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25:351–370.
12. Hattingh, H. 2013. Report on Sekem study,(https://drive.google.com/file/d/0BxbNeXH1Y54xc3FzcmhaTUtrTjA/view) (accessed 17.05.15)
13. Http://knoema.com/atlas. Accessed 30 JULY 2019.
14. Karimi, P., A. S. Qureshi, R. Bahramloo and D. Molden. 2012. Reducing carbon emissions through improved irrigation and groundwater management: A case study from Iran. *Agricultural Water Management* 108: 52–60.
15. Meah, K., S. Fletcher and S. Ula. 2008. Solar photovoltaic water pumping for remote locations. *Renew Sustain Energy Reviews* 12: 472–87.
16. Mokeddem, A., A. Midoun, D. Kadri, S. Hiadsi and I. A. Raja. 2011. Performance of a directly coupled PV water pumping system. *Energy Conversion and Management* 52: 3089–3095.
17. Munir, A., A. A. Al-Karaghouli and A. A. J. Al-Douri. 2007. PV pumping station for drinking water in a remote residential complex. *Desalination* 209: 58–63.
18. Nazari, S., T. Ebadi and T. Khaleghi. 2015. Assessment of the nexus between groundwater extraction and greenhouse gas emissions employing aquifer modelling. *Procedia Environmental Sciences* 25: 183–190.
19. Purohit, P. 2007. Financial evaluation of renewable energy technologies for irrigation water pumping in India. *Energy Policy* 35: 3134–3144.
20. Purohit, P. and T. C. Kandpal. 2005. Solar photovoltaic water pumping in India: a financial evaluation. *International Journal Ambient Energy* 26(3):35–146.
21. Qiu, G. Y., X. Zhang, X. Yu and Z. Zou. 2018. The increasing effects in energy and GHG emission caused by groundwater level declines in North China's main food production plain. *Agricultural Water Management* 203: 138–150.
22. Rothausen, S. G. S. A. and D. Conway. 2011. Greenhouse gas emissions from energy use in the water sector. *Nature Climate Change* 1: 210–219.
23. Sadeqi, Z., Z. Dalalbashi Esfahani and H. R. Horri. 2013. Prioritize the factors affecting the location of renewable energy plants (solar and wind energy) in Kerman Province using GIS and multi-criteria decision-making techniques. *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research* 1(2): 93-110.
24. Shah, T. 2009. Climate change and groundwater: opportunities for mitigation and adoption. *Environmental Research Letters* 4(3): 035005.
25. Shah, T. and A. Kishore. 2012. Solar-powered pump irrigation and India's groundwater economy: a preliminary discussion of opportunities and threats. Water Policy Research Highlight, 26, IWMI-Tata Water Policy Program.
26. Tabari, H., A. A. Sabziparvar and S. Marofi. 2008. Investigating trends of annual meteorological parameters in cold and warm climates of Iran. *Agricultural Research* 7(4): 161-174.
27. Todorovic, M., A. Mehmeti and A. Scardigno. 2017. Eco-efficiency of agricultural water systems: Methodological

approach and assessment at meso-level scale. *Journal of Environmental Management* 165: 62-71.
28. UNFCCC, United Nations Climate Change conference. https://unfccc.int/.
29. Wolff, G., R. Cohen, E. Cousins and B. Greenfield. 2004. Energy Down the Drain: The Hidden Costs of California's Water Supply. Natural Resources Defense Council, Pacific Institute, Oakland, California.
30. Wong, Y. and K. Sumathy. 1999. Solar thermal water pumping systems: a review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 3:185–217.
31. Xiarachos, I. M. and B. Vick. 2011. Solar energy use in U.S. agriculture overview and policy issues. USDA. 86p.
32. Yang, J., A. Olsson, J. Yan and B. Chen. 2014. A hybrid life-cycle assessment of CO_2 emissions of a PV water pumping system in China. *Energy Procedia* 61:2871–2875.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 23, Winter 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Environmental Assessment of Groundwater Pumping by Using Water and Energy Nexus

S. Janatrostami* and H. Mahmoudpour[1]

(Received: January 16-2019 ; Accepted: May 14-2019)

Abstract

One of the main sources of greenhouse gas (GHG) emissions is the use of energy for groundwater pumping. Reducing energy consumption is very important to achieve the environmental sustainability and decrease the climate change impacts. In this paper, the amount of greenhouse gas emissions from groundwater pumping in the Guilan's aquifers was investigated. Firstly, groundwater depletion and the types of pumps for water pumping were examined in the current condition; then, the values of consumed energy, GHG emissions and climate change indicator of the current condition were estimated. The primary investigations showed that 55 percent of wells in the studied region had a diesel engine pump, while 51.3 percent of the required energy for groundwater pumping was supplied by electric pump. Calculated total GHG emissions and the value of climate change indicator in the current condition were equal to 8.98 and 7.59 Milion kg $CO_{۲}$ eq , respectively. In order to achieve environmental sustainability and energy security, scenarios of replacing electric pumps and applying solar energy were examined. The results of the scenarios showed that diesel fuel wells had no significant effect on the reduction of greenhouse gas emissions, but the use of solar energy reduced them. GHG emissions, in comparison with the base scenarios, were decreased by 44.4% in June, July and August, respectively, by applying the scenario of using the solar pump in agricultural section. Therefore, it is preferred to apply policies in future planning to use renewable energies such as solar energy instead of diesel and electricity energy.

Keywords: Aquifer, GHG emission, Solar energy, Climate change, Water pump

1. Department of Water Engineering, College of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
*: Corresponding author: janatrostami@guilan.ac.ir