

تحلیل مصارف انرژی در روش‌های مختلف بهره‌برداری از ایستگاه‌های پمپاژ آب کشاورزی (مطالعه موردی: سامانه آبیاری کشت و صنعت اشرفیه)

افشین یوسف گمرکچی^{۱*} و عاطفه پرورش ریزی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۲۴)

چکیده

امروزه وابستگی بین مصارف آب و انرژی، با توجه به توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار، بیش از پیش اهمیت یافته است. به طوری که هم‌راستا با مسائل و مشکلات کمبود آب، رویکرد به صرفه‌جویی انرژی در بخش کشاورزی نیز یکی از چالش‌های مهم در بخش کشاورزی قلمداد شده است. در این تحقیق با توجه به قابلیت‌های سامانه‌های پمپاژ دورمتغیر در تطبیق با شرایط مختلف بهره‌برداری، رویکرد به استفاده از پمپ‌های دورمتغیر در یک کشت و صنعت ۸۵ هکتاری زیتون واقع در استان قزوین، مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا مصارف انرژی در طول دوره بهره‌برداری ده‌ساله سامانه، با استفاده از نرم‌افزار MATLAB/SIMULINK در پنج سناریو بهره‌برداری، تحلیل شده است. نتایج تحقیق نشان‌دهنده آن است که میزان انرژی الکتریکی مصرفی با به‌کارگیری پمپ دورمتغیر، در مقایسه با روش بهره‌برداری، با پمپ دورثابت تا ۱۸ درصد کاهش یافته است. نتایج ارزیابی انرژی مصرفی نیز بیانگر آن است که در وضعیت موجود بهره‌برداری ۶۰ درصد تلفات انرژی بیشتری نسبت به سایر روش‌های بهره‌برداری وجود داشته و متوسط بازده انرژی مصرفی، ۵۲ درصد (۷۸ درصد معیار نبراسکا) بوده است.

واژه‌های کلیدی: پمپ دورمتغیر، سیمولینک، صرفه‌جویی انرژی، مدل‌سازی، معیار نبراسکا

۱. بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و

ترویج کشاورزی، قزوین، ایران

۲. گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: a.gomrokchi@areeo.ac.ir

مقدمه

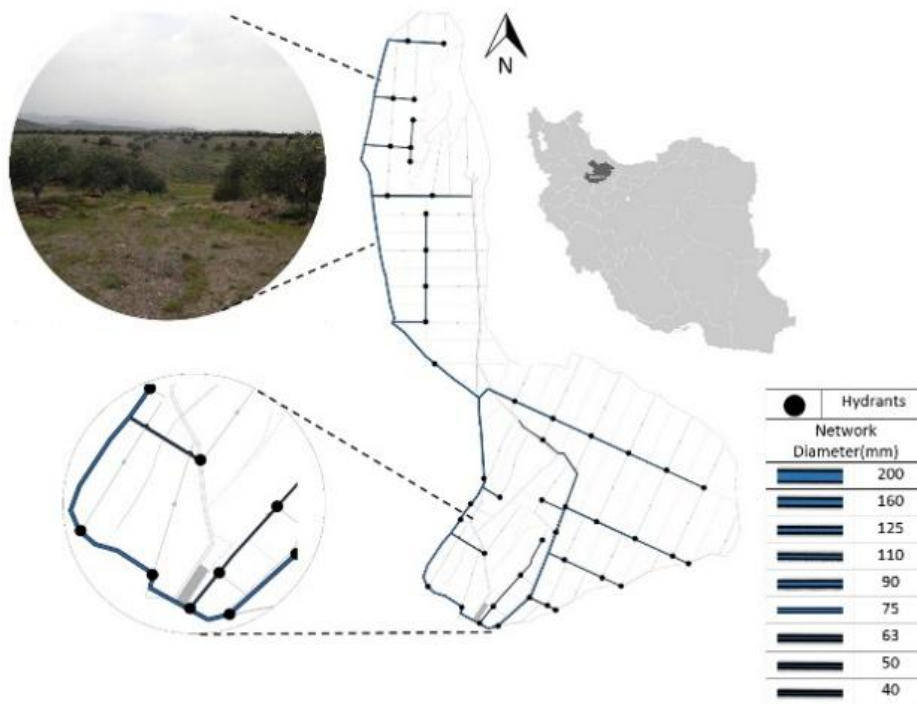
وابستگی به مبحث انرژی در توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار و رشد سریع هزینه‌های انرژی، سبب افزایش اهمیت موضوع انرژی در مباحث آبیاری تحت فشار شده است. از این رو صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی، امروزه از الزامات آبیاری تحت فشار بوده و در سال‌های اخیر با توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار، مبحث صرفه‌جویی انرژی نیز در بیشتر کشورها اولویت یافته است (۱۳). نتایج تحقیقی در منطقه آندلس اسپانیا نشان داد، علیرغم مدیریت بهینه منابع آبی، هم‌راستا با توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری نیز در حدود ۴۰۰ درصد افزایش یافته است که این امر لزوم مدیریت دقیق منابع آبی و کنترل مصارف انرژی در سامانه‌های آبیاری تحت فشار را دوچندان کرده است (۱۲). نتایج یک دوره پایش مصارف آب و انرژی در جنوب اسپانیا بیانگر آن است که با کاهش ۲۱ درصدی مصرف آب از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۷، میزان مصرف انرژی ۶۵۷ درصد رشد داشته است (۱۱). از این رو با توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار، میزان تقاضا برای انرژی در این بخش نیز رشد چشمگیری داشته است. محققین این مسأله را به‌عنوان تضاد مدرن‌سازی سامانه‌های آبیاری تحت فشار نام برده‌اند (۱۲).

با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از انرژی مصرفی در ایستگاه‌های پمپاژ مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا بررسی فرآیندهای پرمصرف انرژی مانند ایستگاه‌های پمپاژ، در راستای بهبود راندمان کلی سامانه‌های آبیاری اجتناب‌ناپذیر شده است (۵). ایستگاه‌های پمپاژ یکی از مهم‌ترین بخش‌های یک سامانه آبیاری محسوب شده که هرگونه ناکارآمدی در آن منجر به پایین آمدن بازده کلی مجموعه خواهد شد (۶). اندازه‌گیری میدانی، میانگین بازده موتور پمپ‌های الکتریکی براساس معیار پمپاژ نبراسکا در ایالات مختلف آمریکا نشان داد، این شاخص بین ۴۵ تا ۵۵ درصد بوده است. نتایج این تحقیق نشان داد که هزینه‌های انرژی، تعمیر و نگهداری یک سیستم پمپاژ در طول عمر کارکرد آن، تا ۲۰ برابر سرمایه‌گذاری اولیه

بوده است (۱۰). همچنین آنالیز ۱۵۰ ایستگاه پمپاژ در جنوب اسپانیا، نشان داد میانگین بازده ایستگاه‌های پمپاژ براساس معیار پمپاژ نبراسکا ۵۸/۱ درصد بوده است (۲۰). این شاخص در ۱۷ ایستگاه پمپاژ آبیاری تحت فشار در استان همدان ۴۶/۶ برآورد شده است (۲).

به دلیل وابستگی به مبحث انرژی در توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار از یک سو و از سوی دیگر پایین بودن بازده ایستگاه‌های پمپاژ، روش‌های مختلفی در طی چند سال اخیر بر مبنای بهبود مصارف انرژی، مورد مطالعه قرار گرفته است. به‌طور مثال نتایج قابل قبولی در زمینه کاهش مصارف انرژی سامانه‌های آبیاری تحت فشار، با کاربرد پمپ‌های دورمتغیر گزارش شده است (۱۷). در تحقیقی اثربخشی استفاده از پمپ‌های دورمتغیر در سامانه‌های آبیاری تحت فشار در پنج منطقه آمریکا، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد بعد از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ ساعت کارکرد در سال و طی مدت چهار سال بهره‌برداری، هزینه‌های مرتبط با اجرای سیستم پمپاژ دورمتغیر در مقایسه با روش استفاده از شیر برای کنترل دبی، قابل توجیه است. مصرف انرژی بخش‌های مورد مطالعه نشان داد، استفاده از پمپ دورمتغیر باعث کاهش ۳۲ تا ۵۶ درصدی در مصرف انرژی شده است (۱۵). ارزیابی هیدرولیکی پمپ‌های دورمتغیر در سامانه‌های آبیاری تحت فشار در دشت هارکله-لالی نشان داد با به‌کارگیری پمپ دورمتغیر در پمپاژ این طرح، بازده کاری پمپ‌ها می‌تواند تا ۱۰ درصد افزایش و میزان مصرف انرژی تا ۴۹ درصد در سال، نسبت به طراحی متداول کاهش یابد (۴). بررسی روش‌های مختلف کنترل دبی در یک سامانه آبیاری تحت فشار نیز نشان داد، بالاترین راندمان مصرف انرژی در استفاده از پمپ‌های دورمتغیر بوده که تلفات انرژی را ۴۴ تا ۵۴ درصد کاهش داده است (۱).

متأسفانه طراحی و بهره‌برداری اغلب ایستگاه‌های پمپاژ در سامانه‌های آبیاری در ایران، براساس کارکرد پمپ با دور ثابت صورت می‌پذیرد و هنوز منافع فنی و اقتصادی استفاده از پمپ دورمتغیر برای طراحان و بهره‌برداران، حداقل در بخش



شکل ۱. طرح کلی جانمایی خطوط لوله آبرسان در سامانه آبیاری مورد مطالعه

پمپاژ ثانویه به درون سامانه آبیاری است. به دلیل شکل تپه‌ماهوری زمین، در نقاط آبیگری از لوله‌ها اختلاف ارتفاع، به وجود آمده که در شکل (۱)، جانمایی کلی سامانه آبیاری مورد مطالعه، نشان داده شده است. بهره‌برداری از سامانه با توجه به شرایط اقلیمی و نوع کشت، عمدتاً در طی ماه‌های اردیبهشت تا شهریور صورت گرفته که حداکثر و حداقل میزان نیاز آبی (براساس سند ملی آب کشاورزی)، به ترتیب در دهه سوم تیرماه و دهه سوم اردیبهشت‌ماه بوده است. در این راستا و با توجه به مقادیر نیاز آبی زیتون و تغییرات ضریب سایه‌انداز گیاهی، مقادیر دبی مورد نیاز سامانه در طی دوره بهره‌برداری برآورد شده است.

در برنامه‌ریزی بهره‌برداری از ایستگاه پمپاژ برای دور آبیاری سه روزه، مدت آبیاری هر ناحیه در طی دوره بهره‌برداری محاسبه شده و زمان کارکرد ایستگاه پمپاژ، براساس آبیاری دو ناحیه در روز در نظر گرفته شده است. نکته حائز اهمیت آن است که در طراحی سامانه‌های آبیاری تحت فشار، حداکثر مقادیر نیاز آبی در کل فصل آبیاری و یا دوره بهره‌برداری، مبنای

کشاورزی، به طور کامل نمایان نشده است (۳). هدف تحقیق حاضر، بررسی مصارف انرژی در سناریوهای مختلف بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ، در یک سامانه آبیاری تحت فشار است. در این راستا و به منظور تحلیل مصارف انرژی از یک روش محاسباتی استفاده شده و براساس آن مصارف انرژی در رویکردهای مختلف بهره‌برداری از ایستگاه پمپاژ مورد تعیین شده است، همچنین وضعیت موجود بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ نیز براساس معیار پمپاژ نبراسکا مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، کشت و صنعت اشرفیه با مساحت ۸۵ هکتار است که در بخش مرکزی طارم سفلی استان قزوین قرار گرفته است. اراضی محدوده طرح عمدتاً ناهموار و تپه‌ماهوری بوده و دارای شیب متوسط حدود ۵/۲۷ درصد با کشت محصول زیتون است. سیستم آبیاری این محدوده براساس روش آبیاری قطره‌ای و شیوه آبیگری اراضی، بر مبنای پمپاژ اولیه از مخزن سد سفیدرود و هدایت آن به یک استخر و

جدول ۱. مقادیر دبی (لیتر بر ثانیه) و فشار مورد نیاز (متر) در طی دوره بهره‌برداری

سال بهره‌برداری	ناحیه یک		ناحیه دو		ناحیه سه		ناحیه چهار		ناحیه پنج		ناحیه شش	
	هد	دبی	هد	دبی	هد	دبی	هد	دبی	هد	دبی	هد	دبی
سال اول	۳۸/۶	۱۸/۳	۱۴/۴	۴۵/۹	۴۸	۱۲/۲	۴۸	۱۱/۷	۴۸/۷	۱۴/۴	۴۵/۹	۱۸/۳
سال دوم	۴۰	۲۴/۵	۱۹/۲	۴۶/۲	۴۸/۹	۱۶	۴۸/۹	۱۵/۶	۴۹/۵	۱۹/۲	۴۶/۲	۲۴/۵
سال پنجم ⁺	۴۱/۸	۳۰/۵	۲۴	۴۸/۴	۴۹/۹	۲۰/۵	۴۹/۹	۱۹/۴	۵۰/۴	۲۴	۴۸/۴	۳۰/۵
سال هشتم ⁺⁺	۴۵	۳۶/۶	۲۹/۷	۵۱/۵	۵۷/۴	۲۴/۵	۵۷/۴	۲۳/۴	۵۸/۹	۲۹/۷	۵۱/۵	۳۶/۶
سال دهم ⁺⁺⁺	۵۳/۹	۴۲/۸	۳۳/۷	۶۴/۵	۶۹	۲۸/۷	۶۹	۲۷/۳	۷۰	۳۳/۷	۶۴/۵	۴۲/۸

آدبی ایستگاه پمپاژ در سال‌های سوم، چهارم و پنجم یکسان و زمان آبیاری در این سال‌ها متفاوت است، ⁺⁺ دبی ایستگاه پمپاژ در سال‌های ششم، هفتم و هشتم یکسان و زمان آبیاری در این سال‌ها متفاوت است و ⁺⁺⁺ دبی ایستگاه پمپاژ در سال‌های نهم و دهم یکسان و زمان آبیاری در این سال‌ها متفاوت است

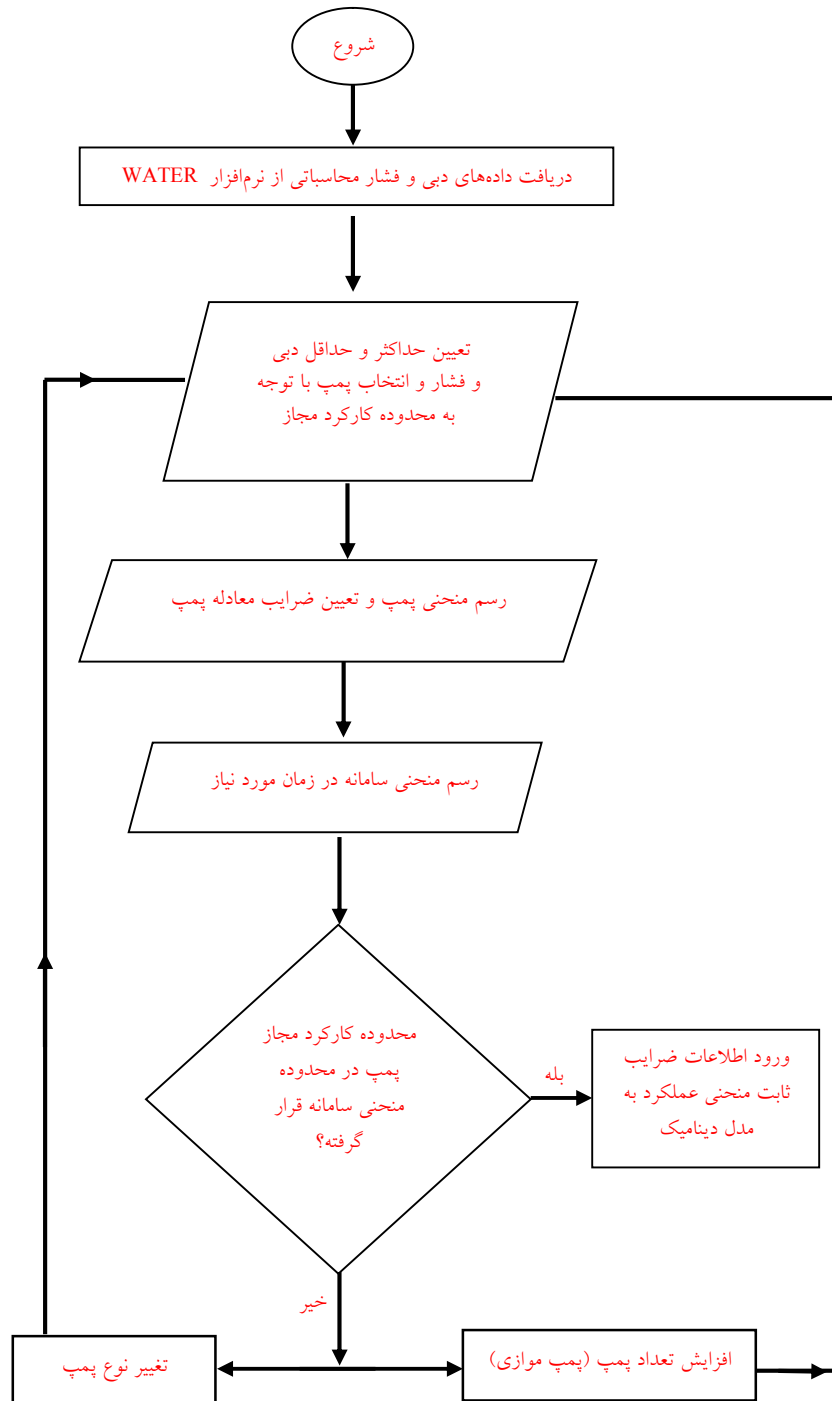
نیاز سامانه در طی دوره بهره‌برداری انتخاب شده است. شکل (۲) روند نمای انتخاب سناریوهای بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ را نشان داده است.

شایان ذکر است در انتخاب پمپ، علاوه بر نیاز بهره‌برداری در دوره حداکثر مصرف (عمدتاً در طراحی‌های رایج، این عامل صرفاً برای انتخاب پمپ در نظر گرفته می‌شود)، قابلیت تطبیق با شرایط متغیر بهره‌برداری از نظر دبی و فشار نیز در نظر گرفته شده است، به نحوی که تطبیق کارکرد پمپ براساس تغییرات سامانه نیز قابل اعمال است. به دلیل تغییرات زیاد دبی در طول دوره بهره‌برداری سامانه، پمپ‌ها به صورت موازی استفاده شده است. در این تحقیق به منظور بررسی تأثیر ترکیب و تعداد پمپ‌ها بر مصارف انرژی، پنج سناریو بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ در حالت دورمتغیر و دورثابت، مورد مقایسه قرار گرفته است (به منظور عدم تأثیر نوع پمپ بر ترکیب‌های در نظر گرفته شده، نوع پمپ و شرکت سازنده در تمامی ترکیب‌های مورد بررسی یکسان بوده اما از نظر میزان دبی و فشار قابل پمپاژ متفاوت بوده است). جدول (۲) سناریوهای مختلف بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ را نشان داده است.

بر این اساس پنج سناریو در مدل‌سازی مصارف انرژی در ایستگاه پمپاژ مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی وضعیت موجود ایستگاه پمپاژ در دو بخش انجام شده است. در گام اول

طراحی ایستگاه پمپاژ بوده و اصولاً منحنی مشخصه سامانه، در طراحی ایستگاه پمپاژ نقشی ندارد (۱). منحنی مشخصه سامانه در واقع مقاومت هیدرولیکی سیستم را در دبی‌های مختلف نشان داده و در بررسی ارتباط دینامیک سامانه آبیاری و عملکرد ایستگاه پمپاژ، نقش بسیار مؤثری ایفاء می‌کند. در این تحقیق با تعیین مقادیر دبی مورد نیاز سامانه در طی سال‌های مختلف (با رعایت قیود سرعت و فشار مجاز در شبکه آبیاری) و در طول دوره بهره‌برداری در هر یک از سال‌ها، مقادیر افت فشار براساس رابطه داریسی- وایسباخ در شبکه آبیاری محاسبه شده است. همچنین با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار WATERGEMS در تحلیل هیدرولیکی شبکه‌های آبیاری تحت فشار، مقادیر دبی و فشار مورد نیاز در محل ایستگاه پمپاژ محاسبه شده است. به دلیل اختلاف ارتفاع موجود در نقاط آبیگری و مساحت اراضی تحت آبیاری، مقادیر دبی و فشار مورد نیاز در ناحیه‌های مختلف، با هم متفاوت است. جدول (۱) مقادیر دبی و فشار مورد نیاز سامانه در محل ایستگاه پمپاژ را نشان داده است.

پس از تحلیل هیدرولیکی سامانه آبیاری، داده‌های خروجی نرم‌افزار از طریق لینک با صفحه گسترده EXCEL، به مدل تهیه شده در نرم‌افزار MATLAB/SIMULINK منتقل شده و پمپ (پمپ‌های) مناسب برای ایستگاه پمپاژ، براساس پاسخگویی به



شکل ۲. روند نمای انتخاب سناریوهای بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ

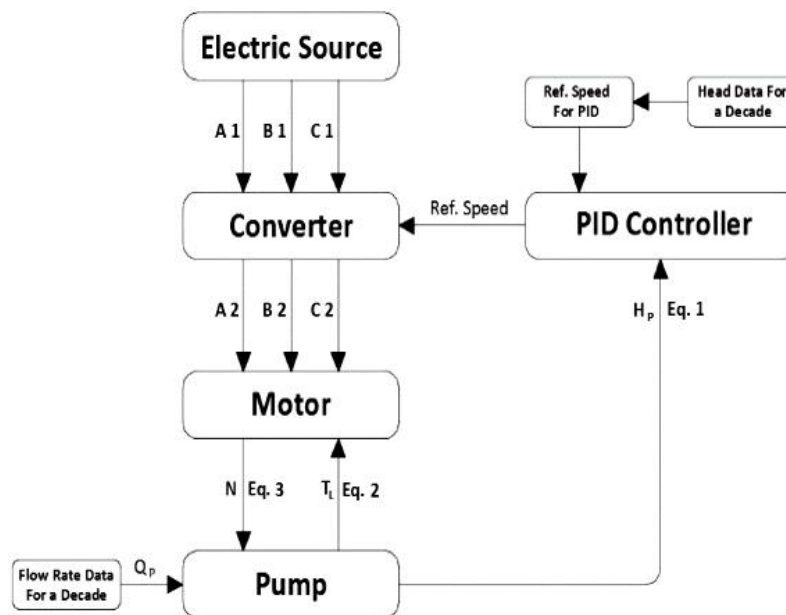
انرژی در سناریوهای بهره‌برداری، از امکانات نرم‌افزار اجزاء (۳) MATLAB/SIMULINK استفاده شده است. شکل (۳) مدل دینامیکی ایستگاه پمپاژ، در محیط نرم‌افزار MATLAB/SIMULINK را نشان داده است. بخش کنترل برای

مصارف انرژی با رویکرد به بررسی اثرات متقابل منحنی مشخصه سامانه و منحنی عملکرد پمپ، بررسی شده و در مرحله دوم مصارف انرژی با پایش مقادیر عملکردی پمپ، مورد ارزیابی قرار گرفته است. از این‌رو جهت تحلیل مصارف

جدول ۲. سناریوهای مختلف بهره‌برداری از ایستگاه پمپاژ

سناریو	تعداد پمپ	نوع پمپ مورد استفاده	روش بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ
سناریو ۱*	۲	WKL 80/5 - WKL 100/3	پمپ اول در سال‌های اول و دوم مورد بهره‌برداری قرار گرفته و پمپ دوم در طی سال‌های سوم تا دهم
سناریو ۲**	۲	WKL 80/5 - WKL 100/3	همانند سناریو ۱ ولی با پمپ دور متغیر بهره‌برداری شده است
سناریو ۳*	۳	ETA 40-250	پمپ اول در سال اول و ترکیب پمپ اول و دوم در طی سال دوم تا هشتم و ترکیب سه پمپ در سال‌های نهم و دهم
سناریو ۴**	۳	ETA 40-250	همانند سناریو ۳ ولی با پمپ دور متغیر بهره‌برداری شده است
سناریو ۵	۱	WKL 125/3	وضعیت موجود ایستگاه پمپاژ - بهره‌برداری پمپ دور ثابت

* بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ با پمپ دور ثابت و ** بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ با پمپ دور متغیر



شکل ۳. دیاگرام بلوکی مدل پمپ دور متغیر در نرم‌افزار MATLAB

است (۱۴).

$$H = aQ^2 + bQn + cn^2 \quad [1]$$

در این رابطه، H : فشار خروجی پمپ (متر)، Q : دبی پمپ (متر مکعب بر ساعت)، n : سرعت دورانی الکتروپمپ (دور در

دو استراتژی کنترل و بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ (دور ثابت و دور متغیر)، متفاوت بوده و سایر اجزای مدل در سناریوهای مورد بررسی ثابت است. در بخش مدل دینامیکی پمپ، از رابطه (۱) که شکلی از معادله ریکاتی (Riccati) است، استفاده شده

دقیقه) و a ، b و c ضرایب ثابت در دور نامی، برای منحنی عملکرد پمپ است. این ضرایب برای پمپ‌های انتخابی در جدول (۳) محاسبه شده است.

رابطه (۲) بیانگر نحوه محاسبه گشتاور بار با استفاده از مدل پمپ بوده و رابطه (۳) بیان قانون دوم نیوتن، برای الکتروموتور و پمپ است.

$$T_L = T_{\text{friction}} + T_p = B.n + T_p \quad [2]$$

جدول ۳. مشخصات ضرایب منحنی عملکرد پمپ

مدل الکتروپمپ	قدرت (کیلووات)	دور نامی (دور در دقیقه)	ضرایب ثابت منحنی عملکرد پمپ
			a b c
WKL 80/5	۲۲	۱۵۰۰	$-۰/۰۰۰۴۸$ $-۷/۰۰۹E-۵$ $۴/۲۲E-۵$
WKL 100/3	۳۷	۱۵۰۰	$-۰/۰۰۰۱۲$ $-۹/۳۳E-۷$ $۳/۶۴E-۵$
WKL 125/3	۹۰	۱۵۰۰	$-۰/۰۰۰۰۵$ $-۳/۰۱E-۵$ $۵/۹۰E-۵$
ETA40-250	۱۸/۵	۳۰۰۰	$-۰/۰۱۸۶$ $۰/۰۰۰۰۱۹۱۹$ $۸/۲۶E-۶$

بهره‌برداری خواهد شد. درایوها با ایجاد تغییر فرکانس ورودی در الکتروپمپ‌ها، این قابلیت را دارا است تا با تغییرات دبی، فشار کارکرد شبکه را مطابق منحنی که از قبل برای سیستم تعریف شده است، تغییر دهد.

به منظور ارزیابی وضعیت موجود بهره‌برداری، از یک دستگاه دبی سنج اولتراسونیک استفاده شده و پس از تست و کالیبراسیون، دبی لحظه‌ای ایستگاه پمپاژ ثبت و اندازه‌گیری شده است. شکل (۴) تغییرات دبی لحظه‌ای در محل ایستگاه پمپاژ را نشان داده است. همچنین فشار خروجی در محل ایستگاه کنترل مرکزی، با استفاده از یک دستگاه فشارسنج عقربه‌ای اندازه‌گیری شده است.

به منظور محاسبه و ارزیابی مصارف انرژی در وضعیت موجود بهره‌برداری، از معیار پمپاژ نبراسکا استفاده شده است (۱۸). این معیار به منظور اندازه‌گیری بازده انرژی مصرفی در ایستگاه‌های پمپاژ کشاورزی، به طور وسیعی استفاده شده است (۱۹). معیار نبراسکا در ارزیابی بازده انرژی مصرفی ایستگاه‌های پمپاژ، به دو عامل توان تولید شده و توان خارج شده از پمپ، به‌ازای واحد انرژی مصرفی وابسته است (۱۸). توان تولید شده در موتورهای الکتریکی، با اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل و شدت جریان الکتریکی، براساس رابطه (۴) محاسبه شده است.

$$P_i = 3 \times V \times I \times \cos \phi \quad [4]$$

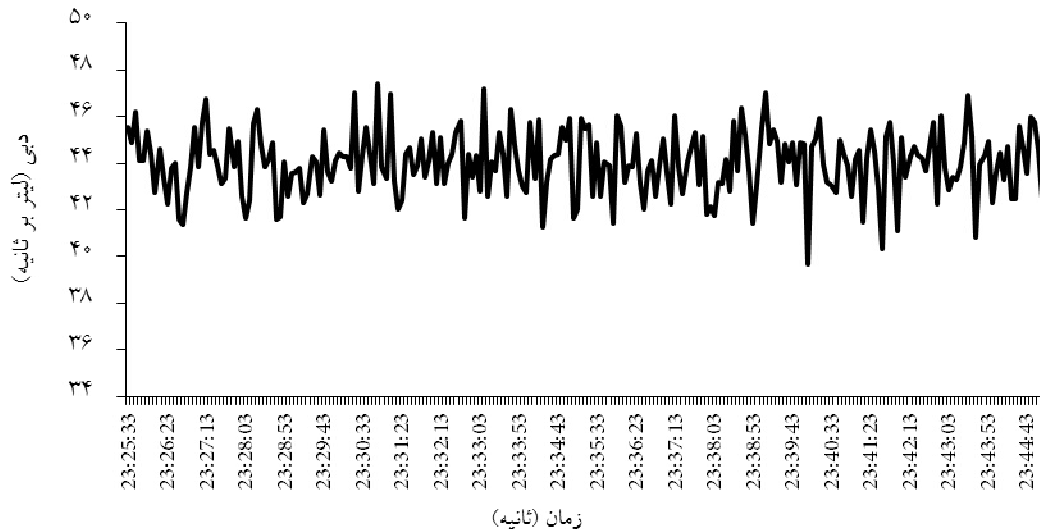
$$T_e - T_L = I(\pi/30)(dn/dt) \quad [3]$$

در این روابط، T_p : گشتاور هیدرولیکی، T_L : گشتاور بار و T_{friction} : گشتاور اصطکاکی برحسب نیوتن متر است. با انتگرال‌گیری لحظه‌ای از رابطه (۳)، سرعت دورانی لحظه‌ای موتور در بخش مدل دینامیکی به دست آمده و به‌عنوان خروجی مدل الکتروموتور وارد مدل پمپ شده که به‌همراه دبی مصرفی مطابق داده‌های مندرج در جدول (۱) و با استفاده از رابطه (۱)، فشار خروجی پمپ تعیین شده است. با توجه به فشار در خروجی پمپ، با فیدبک‌گیری و طراحی یک کنترل کننده PID مطابق داده‌های مندرج در جدول (۱) برای فشار، سرعت دورانی محاسبه شده است. در تعیین سرعت دورانی پمپ، محدودیت سرعت مجاز در پمپ‌های دورمتغیر، براساس استاندارد API 610 (این استاندارد بازه ۷۰-۱۲۰ درصد بهترین نقطه کارکرد را به‌عنوان محدوده بهینه کارکرد پمپ، توصیه کرده)، نیز لحاظ شده است (۷). پس از آن به‌منظور تحلیل مصارف انرژی در پمپ دورمتغیر از قوانین تشابه استفاده شده است. عملکرد سرعت متغیر پمپ، براساس قوانین تشابه، دبی را با توان یک و ارتفاع را با توان دو و توان مصرفی را با توان سه تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این‌رو یک پمپ در دورهای مختلف منحنی عملکرد متفاوتی خواهد داشت که این امر باعث افزایش انعطاف‌پذیری ایستگاه پمپاژ در شرایط مختلف

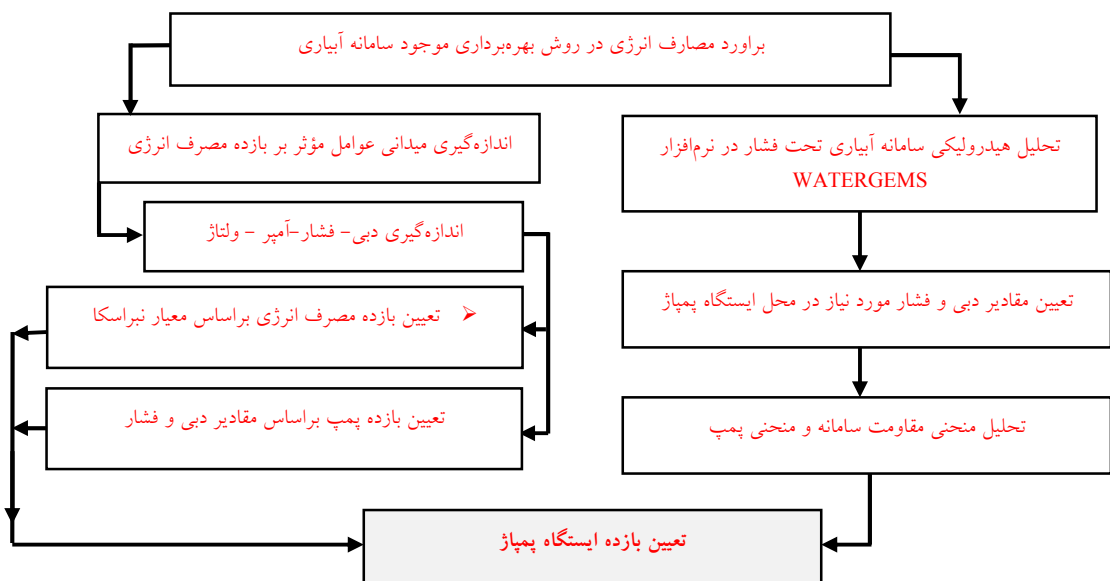
توان خارج شده از پمپ از رابطه (۵) استفاده شده است.

$$P_{out} = (Q \times H) / 102 \quad [5]$$
 در این رابطه، P_{out} : توان خارج شده از پمپ (کیلووات)، Q : دبی (لیتر بر ثانیه)، H : بار دینامیک کل (متر) است. بر این

در این رابطه، P_i : توان مصرفی (کیلووات)، V : اختلاف پتانسیل (ولت)، I : شدت جریان (آمپر) و $\cos \varphi$: ضریب توان مصرف کننده الکتریکی است (مقدار $\cos \varphi$ به همراه دیگر مشخصات روی موتور الکتریکی حک شده است). برای محاسبه



شکل ۴. تغییرات دبی لحظه‌ای در ایستگاه پمپاژ



شکل ۵. روند نمای تعیین بازده ایستگاه پمپاژ در روش بهره‌برداری موجود

بازده مصرف انرژی ایستگاه پمپاژ به مقدار معیار ایستگاه پمپاژ نبراسکا است، محاسبه شده است. معیار پمپاژ نبراسکا برای توان موتور الکتریکی به ازای واحد انرژی مصرفی $0/88$ (اسب بخار

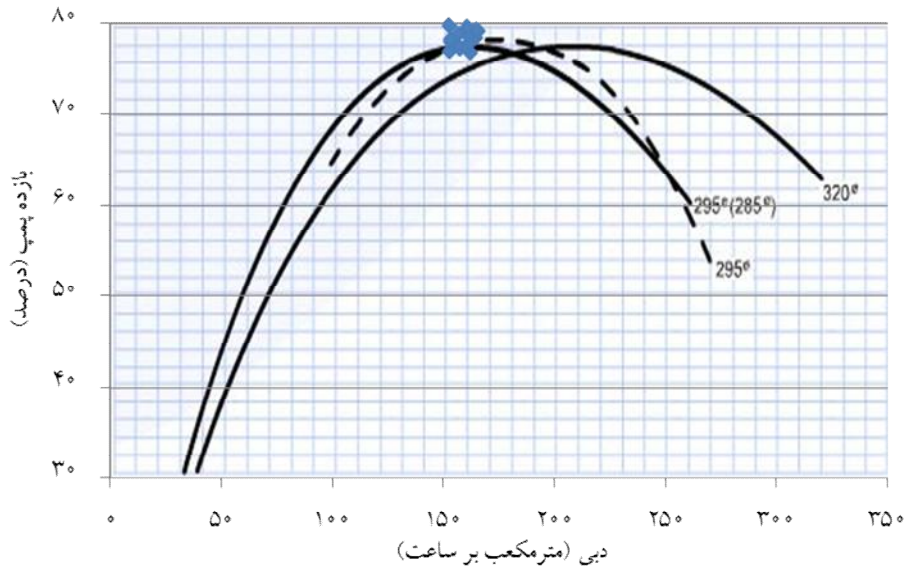
اساس عملکرد انرژی مصرفی در ایستگاه پمپاژ (PR) از نسبت توان خارج شده پمپ به توان مصرفی محاسبه خواهد شد و سپس درجه همخوانی معیار ایستگاه پمپاژ (PR_R)، که نسبت

انرژی ایستگاه پمپاژ (Pump Energy Efficiency)، براساس رابطه (۶) محاسبه شده است (۱۲).

$$PEE = \frac{0.725 \times (\sum V_i H_i)}{\sum E_i} \quad [6]$$

ساعت به کیلووات ساعت)، برآورد شده است (۱۸). در شکل (۵) روند نمای تعیین بازده مصرف انرژی، در روش بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ نشان داده شده است.

در نهایت به منظور بررسی ارتباط بین انرژی مصرفی و حجم آب پمپاژ شده در سناریوهای مورد بررسی، شاخص بازده



شکل ۶. منحنی عملکرد پمپ و مقادیر دبی پایش شده

و آمپر برق مصرفی اندازه‌گیری شده است. بررسی وضعیت موجود براساس دبی پایش شده و منحنی عملکرد پمپ، نشان دهنده آن است که پمپ موجود (WKL125/3)، در بهترین نقطه کارکرد پمپ با بازده تقریبی ۷۸ درصد قرار گرفته است (شکل ۶).

تغییرات دبی ثبت شده در محل خروجی ایستگاه پمپاژ نشان داد، میانگین دبی در محل خروجی ایستگاه پمپاژ ۴۵ لیتر بر ثانیه و حداقل و حداکثر مقادیر دبی در بازه زمانی اندازه‌گیری (۲۰ دقیقه) ۳۹/۵ و ۴۷/۵ لیتر بر ثانیه بوده است. به عبارتی در مدت زمان اندازه‌گیری حدود ۲۰ درصد نوسان در مقادیر دبی پمپاژ شده، وجود داشته است که با توجه به نحوه آبیگیری ایستگاه پمپاژ (آبیگیری از استخر ذخیره آب)، در حالت ایده‌آل، تغییرات دبی در زمان باید نزدیک به صفر باشد. لذا این میزان تغییرات دبی در محل ایستگاه پمپاژ، نشان دهنده اثرات

در این رابطه، PEE: شاخص بازده انرژی ایستگاه پمپاژ (درصد)، حجم آب پمپاژ شده (مترمکعب)، فشار تولید شده توسط پمپ (متر)، E: انرژی مصرفی پمپ (کیلووات ساعت) و i دوره زمانی بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ است.

نتایج و بحث

وضعیت موجود بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ در دو بخش، مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش اول بازده کلی مصارف انرژی، براساس پایش پارامترهای بهره‌برداری برحسب معیار پمپاژ نبراسکا محاسبه شده است. در بخش دوم اثرات متقابل منحنی عملکرد پمپ و منحنی مشخصه سامانه، بر مصارف انرژی بررسی شده و با سایر سناریوهای بهره‌برداری مورد مقایسه قرار گرفته است. به منظور ارزیابی بازده مصرف انرژی در وضعیت موجود بهره‌برداری، مقادیر دبی، فشار، ولتاژ جریان

زیادی داشته، به طوری که فشار ثبت شده در محل خروجی ایستگاه پمپاژ در بازه ۹۹-۹۳ متر متغیر اندازه گیری شده است در صورتی که حداکثر فشار مورد نیاز در طی دوره بهره برداری ۷۰ متر بوده است. با توجه به مقادیر ثبت شده دبی، فشار، شدت جریان (آمپر) و ولتاژ برق مصرفی، وضعیت موجود

قابل توجه پارامترهای مکانیکی و الکتریکی در بهره برداری ایستگاه پمپاژ است، همچنین مقادیر دبی اندازه گیری شده نشان داد، میزان دبی پمپاژ شده پنج تا هفت درصد، بیش از نیاز واقعی در دوره پیک مصرف بود، لیکن مقادیر فشار (هد) ثبت شده در محل ایستگاه پمپاژ، با فشار مورد نیاز سامانه اختلاف

جدول ۴. محاسبه بازده ایستگاه پمپاژ براساس معیار نبراسکا

۰/۸۵	cos ϕ	۴۵	دبی (لیتر بر ثانیه)
۸۵/۲	توان ورودی (کیلووات)	۱۶۵	شدت جریان (آمپر)
۴۴	توان خروجی (کیلووات)	۳۵۰	ولتاژ (ولت)
۰/۷۸	درجه عملکرد نسبت به معیار نبراسکا	۳۸۰	ولتاژ نامی (ولت)
۵۲	بازده کل (درصد)	۹۹	ارتفاع دینامیکی (متر)

بهره برداری از ایستگاه پمپاژ، نشان دهنده آن است که مقادیر فشار اضافی جریان در محل ایستگاه پمپاژ که به دلیل عدم تطابق منحنی مشخصه سامانه، منحنی پمپ و انتخاب ناصحیح پمپ در ایستگاه پمپاژ بوده، یکی از مهم ترین عوامل تلفات انرژی در این روش بهره برداری است، به طوری که در وضعیت موجود، علیرغم پمپاژ دبی یکسان با سناریوهای دیگر، مصارف انرژی بیش از ۶۰ درصد نسبت به سایر روش های بهره برداری افزایش یافته است.

شکل (۷) تغییرات شاخص بازده مصرف انرژی ایستگاه پمپاژ (PEE) در سناریوهای مختلف بهره برداری سامانه را نشان داده است. این شاخص در وضعیت موجود ایستگاه پمپاژ و براساس مقادیر هد فشاری پمپ، حجم آب پمپاژ شده و میزان انرژی مصرفی، ۲۶ تا ۲۸ درصد بوده است. به عبارتی بازده ترکیبی ایستگاه پمپاژ ناشی از تأثیر بازده ذاتی پمپ، تفاوت توان خروجی و ورودی به پمپ و تأثیر منحنی مقاومت سامانه، در وضعیت موجود بهره برداری ایستگاه پمپاژ کمتر از ۱۱ درصد بوده است. این در حالی است که میانگین بازده مصرف انرژی ایستگاه پمپاژ (PEE) در سناریوهای یک، دو، سه و چهار (در طول دوره بهره برداری ده ساله سامانه)، به ترتیب ۳۹، ۴۷، ۳۴ و ۴۱ درصد بوده است. به عبارتی انتخاب صحیح پمپ که متناسب با تغییرات منحنی مقاومت سامانه (صرف نظر از تأثیر عوامل

بهره برداری براساس معیار نبراسکا ارزیابی شد که به نتایج آن در جدول (۴) اشاره شده است. به عبارتی بازده ایستگاه پمپاژ، متأثر از بازده ذاتی پمپ و بازده مصرف انرژی (متأثر از تفاوت توان ورودی و خروجی به پمپ) به ترتیب ۷۸ و ۵۲ درصد بوده است. نکته حائز اهمیت آن است که اعداد بازده اشاره شده صرفاً مرتبط با شرایط بهره برداری بوده و نشانگر پتانسیل تلفات انرژی، به دلیل عدم تطابق منحنی پمپ و منحنی سامانه نیست. در گام سوم جهت تعیین بازده مصرف انرژی (بازده متأثر از منحنی مقاومت سامانه و منحنی عملکرد پمپ)، در وضعیت موجود بهره برداری و سایر سناریوهای مورد بررسی از قابلیت های مدل دینامیکی استفاده شده است. با توجه به آنکه مصارف انرژی در پمپ های دورمتغیر، براساس تغییر دور متفاوت است، بر این اساس ابتدا مقادیر محاسباتی دور پمپ در طی دوره بهره برداری تعیین شده که به نتایج آن در جدول (۵) اشاره شده است.

جدول (۶) انرژی مصرفی در سناریوهای مختلف بهره برداری از ایستگاه پمپاژ براساس نتایج خروجی مدل نشان داده است. نتایج تحلیلی انرژی مصرفی در یک دوره بهره برداری ده ساله سامانه، نشان دهنده آن است که میزان انرژی مصرفی در روش بهره برداری با سیستم کنترل دورمتغیر، کمتر از سایر روش های بهره برداری بوده است. بررسی وضعیت موجود

در رویکرد استفاده از پمپ دورمتغیر، مصارف انرژی نسبت به روش بهره‌برداری با پمپ دورثابت، ۱۶ تا ۱۸ درصد کاهش یافته است. از سوی دیگر تغییر نوع پمپ در روش بهره‌برداری با پمپ دورثابت، بر مصرف انرژی اثرگذار بوده، به طوری که با تغییر نوع پمپ، مصرف انرژی نیز تغییر یافته است، این در

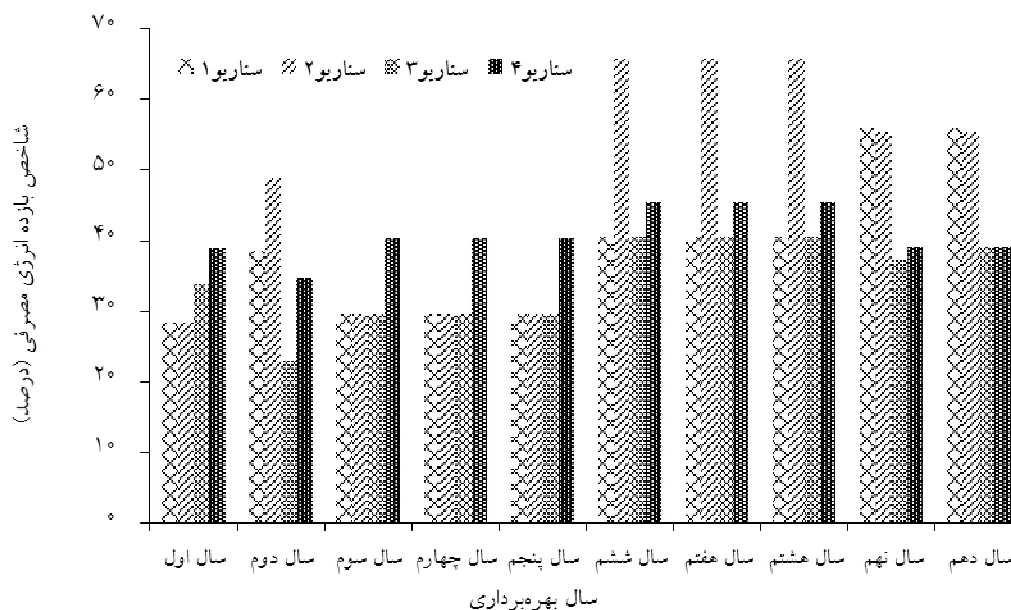
بازده ذاتی پمپ و تفاوت توان خروجی و ورودی) بوده در سناریوهای پمپ دورثابت، منجر به افزایش ۲۷ تا ۲۹ درصدی شاخص بازده مصرف انرژی و در سناریوهای استفاده از پمپ دورمتغیر، منجر به افزایش ۳۶ تا ۴۱ درصدی شاخص مذکور در مقایسه با روش بهره‌برداری موجود ایستگاه پمپاژ شده است.

جدول ۵. تغییرات سرعت دورانی الکتروپمپ‌ها در ایستگاه پمپاژ با پمپ دورمتغیر (دور در دقیقه)

سال دهم	سال هشتم				سال پنجم				سال دوم				سال اول		نوع پمپ
	سناریو چهار	سناریو دو	سناریو دو	سناریو دو	سناریو چهار	سناریو دو	سناریو دو	سناریو دو	سناریو چهار	سناریو دو	سناریو دو	سناریو دو	سناریو چهار	سناریو دو	
تعداد	40-250	WKL100/3	تعداد	40-250	WKL100/3	تعداد	40-250	WKL100/3	تعداد	40-250	WKL80/5	تعداد	40-250	WKL80/5	سناریو دو
۳	۲۷۷۷	۱۵۰۷	۳	۲۶۶۰	۱۳۴۷	۲	۲۸۶۳	۱۲۴۵	۲	۲۵۶۷	۱۴۳۰	۲	۲۳۱۲	۱۲۴۳	ناحیه یک
۳	۲۹۵۲	۱۵۰۵	۲	۲۹۹۲	۱۳۴۱	۲	۲۷۱۰	۱۲۵۷	۲	۲۵۰۴	۱۳۳۹	۱	۲۸۵۸	۱۲۲۴	ناحیه دو
۳	۲۹۴۴	۱۵۰۱	۲	۲۸۹۲	۱۳۵۶	۲	۲۶۱۹	۱۲۴۷	۱	۳۰۵۱	۱۲۸۸	۱	۲۷۱۷	۱۲۰۲	ناحیه سه
۳	۲۹۴۱	۱۴۹۹	۲	۲۸۸۲	۱۳۶۳	۲	۲۵۹۶	۱۲۴۵	۱	۳۰۲۵	۱۲۸۵	۱	۲۶۹۳	۱۲۰۰	ناحیه چهار
۳	۲۹۵۲	۱۵۰۵	۲	۲۹۹۲	۱۳۴۱	۲	۲۷۱۰	۱۲۵۷	۲	۲۵۰۴	۱۳۳۹	۱	۲۸۵۸	۱۲۲۴	ناحیه پنج
۳	۲۷۷۷	۱۵۰۷	۳	۲۶۶۰	۱۳۴۷	۲	۲۸۶۳	۱۲۴۵	۲	۲۵۶۷	۱۴۳۰	۲	۲۳۱۲	۱۲۴۳	ناحیه شش

جدول ۶. انرژی مصرفی در سناریوهای مختلف بهره‌برداری از ایستگاه پمپاژ

سال بهره‌برداری	زمان کارکرد پمپ (ساعت)	حجم آب پمپاژ شده (متر مکعب)	انرژی مصرفی (کیلووات ساعت)			
			سناریو یک	سناریو دو	سناریو سه	سناریو چهار
سال اول	۱۹۹۰	۱۰۳۱۶۲	۴۳۷۸۰	۴۳۹۳۶	۳۶۸۱۵	۳۲۰۳۱
سال دوم	۱۸۴۰	۱۲۷۱۸۱	۴۰۴۸۰	۳۲۰۰۸	۶۸۰۸۰	۴۴۹۷۲
سال سوم	۱۷۳۰	۱۴۸۱۴۹	۶۴۰۱۰	۶۳۸۹۰	۶۴۰۱۰	۴۷۰۶۲
سال چهارم	۱۹۲۰	۱۶۵۱۹۷	۷۱۰۴۰	۷۰۹۰۷	۷۱۰۴۰	۵۲۲۳۰
سال پنجم	۲۰۲۸	۱۷۴۴۸۹	۷۵۰۳۶	۷۴۸۹۶	۷۵۰۳۶	۵۵۱۶۸
سال ششم	۱۷۸۰	۱۹۰۳۱۸	۶۵۸۶۰	۴۰۶۸۸	۶۵۸۶۰	۵۸۸۸۷
سال هفتم	۱۸۹۰	۲۰۲۰۷۹	۶۹۹۳۰	۴۳۲۰۲	۶۹۹۳۰	۶۲۵۲۶
سال هشتم	۱۹۵۰	۲۰۸۴۹۴	۷۲۱۵۰	۴۴۵۷۴	۷۲۱۵۰	۶۴۵۱۱
سال نهم	۱۷۸۰	۲۱۵۸۸۶	۶۵۸۶۰	۶۶۴۹۲	۹۸۱۷۹۰	۹۴۱۴۹
سال دهم	۱۸۴۰	۲۲۳۱۶۳	۶۸۰۸۰	۶۸۷۳۳	۹۷۳۲۳	۹۷۳۲۳
جمع		۱۷۵۸۸۱۸	۶۳۶۲۲۶	۵۴۹۳۲۶	۷۱۹۰۳۴	۶۰۸۸۵۹



شکل ۷. تغییرات شاخص بازده انرژی ایستگاه پمپاژ در سناریوهای مختلف بهره‌برداری

سامانه آبیاری تحت فشار در اسپانیا ۳۶/۴ درصد (۸) و در پنج ناحیه آبیاری در آمریکا، صرفه‌جویی ۳۲ تا ۵۶ درصدی انرژی برآورد شده است (۱۵). پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در ایستگاه پمپاژ با رویکرد به استفاده از پمپ دورمتغیر در دشت هارکله-لالی، ۴۹ درصد برآورد شده است (۴). تحلیل مصارف انرژی

حالی است که در روش بهره‌برداری با پمپ دورمتغیر، نوع پمپ اثر قابل توجهی بر کاهش مصارف انرژی نداشته است (جدول ۷). در مقایسه نتایج تحقیقات انجام شده، صرفه‌جویی در میزان انرژی مصرفی در صورت استفاده از سیستم کنترل دور در یک

جدول ۷. درصد ذخیره انرژی در سناریوهای مختلف بهره‌برداری از ایستگاه پمپاژ

سناریوهای بهره‌برداری	انرژی مصرفی (کیلووات ساعت)	درصد ذخیره انرژی سناریوهای مختلف بهره‌برداری نسبت به یکدیگر				
		سناریو یک	سناریو دو	سناریو سه	سناریو چهار	سناریو پنج
سناریو یک	۶۳۶۲۲۶	*	۱۶	-۱۲	۴	-۶۲
سناریو دو	۵۴۹۳۲۶	-۱۶	*	-۲۴	-۱۰	-۶۷
سناریو سه	۷۱۹۰۳۴	۱۲	۲۴	*	۱۸	-۵۷
سناریو چهار	۶۰۸۸۵۹	-۴	۱۰	-۱۸	*	-۶۴
سناریو پنج	۱۶۸۷۳۲۰	۶۲	۶۷	۵۷	۶۴	*

در رویکردهای مختلف بهره‌برداری از یک سامانه آبیاری تحت فشار در جنوب ایتالیا، نشان داد صرفه‌جویی در مصارف انرژی تا ۴۹ درصد امکان‌پذیر است (۱۶).

نتیجه‌گیری

پمپ‌های دورمتغیر به دلیل ماهیت عملکرد خود، انقطاع دورهای پمپ و محدودیت دورهای پمپ را برطرف نموده و امکان بهره‌برداری از ایستگاه پمپاژ با طیفی از دور پمپ‌های مختلف را فراهم می‌کند. این تغییر دور پمپ قابلیت تطبیق‌پذیری ایستگاه پمپاژ با تغییرات دینامیک بهره‌برداری را در بازه وسیع‌تری نسبت به پمپ دورثابت، فراهم خواهد کرد. نتایج تحقیق مؤید آن است که به‌کارگیری پمپ دورمتغیر، باعث ذخیره انرژی مصرفی در طول دوره بهره‌برداری شده است. در رویکرد استفاده از پمپ دورمتغیر، مصارف انرژی نسبت به روش بهره‌برداری با پمپ دورثابت (در صورت طراحی و بهره‌برداری دقیق)، ۱۶ تا ۱۸ درصد کاهش یافته است. این نتایج با اعمال محدودیت شرایط کاری پمپ، موتور الکتریکی، گشتاور بار و گشتاور اصطکاکی محاسبه شده است. به‌نظر می‌رسد تفاوت در میزان صرفه‌جویی انرژی محاسبه شده در تحقیقات مختلف، به عواملی همچون وضعیت اولیه سامانه، تعداد سال‌های بهره‌برداری و محدودیت‌های اعمال شده در مدل (وارد کردن کدام جزء ایستگاه پمپاژ در فرایند مدل‌سازی و یا اعمال استانداردهای محدوده کارکرد پمپ) وابسته است،

همچنین ارزیابی بازده ایستگاه پمپاژ در وضعیت موجود بهره‌برداری نشان داد، مفهوم بازده مصرف انرژی، متأثر از سه بخش مجزا (بازده ذاتی پمپ با توجه به مقادیر دبی و فشار در محل ایستگاه پمپاژ، بازده مصرف انرژی متأثر از تفاوت توان ورودی و خروجی به پمپ و پتانسیل تفاوت بازده به دلیل تطبیق و یا عدم تطبیق با منحنی مقاومت سامانه) است. از این‌رو در ارزیابی مصارف انرژی ایستگاه‌های پمپاژ، علاوه‌بر پایش وضعیت بهره‌برداری پمپ (از نظر قرارگیری محدوده کارکرد پمپ در حوالی نقطه بهینه کارکرد)، تلفات انرژی در تطبیق و یا عدم تطبیق منحنی عملکرد پمپ و منحنی مقاومت سامانه نیز باید در نظر گرفته شود تا بتوان پتانسیل صرفه‌جویی در مصارف انرژی را نیز برآورد کرد. در تحقیق حاضر، انتخاب ناصحیح پمپ مقادیر قابل توجهی از تلفات انرژی در سامانه را به همراه داشته است، به طوری که انتخاب صحیح پمپ، نقش مؤثرتری در کاهش تلفات انرژی در مقایسه با استفاده از پمپ دورمتغیر داشته است، همچنین بررسی رفتار مصارف انرژی در ایستگاه پمپاژ نشان داد، بیشترین پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی، در سال‌های اولیه بهره‌برداری سامانه خواهد بود، لذا استفاده از پمپ دورمتغیر در سال‌های اولیه بهره‌برداری سامانه‌های آبیاری تحت فشار اثربخش بوده و با نزدیک شدن مقادیر دبی و فشار مورد نیاز سامانه و ایستگاه پمپاژ، استفاده از پمپ دورثابت در اولویت قرار می‌گیرد.

منابع مورد استفاده

۱. دلفان آذری، م. و ع. پرورش. ۱۳۹۴. بررسی نقش روش‌های بهره‌برداری از ایستگاه‌های پمپاژ آب کشاورزی در مصرف انرژی. *مجله آب و خاک* ۲۹(۳): ۲۰-۳۱.
۲. رضوانی، م. ع. جعفری و س. امین. ۱۳۸۹. بررسی بازده و مصرف انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ آبیاری بارانی برخی مزارع استان همدان. *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی* ۱۱(۴): ۱۹-۳۴.
۳. رئیس‌یان امیری، ز. ۱۳۹۱. مطالعه و طراحی ایستگاه‌های پمپاژ با استفاده از پمپ‌های دورمتغیر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران. تهران.
۴. رئیس‌یان امیری، ز. و ع. پرورش. ۱۳۹۳. طرح و ارزیابی هیدرولیکی پمپ‌های دورمتغیر در سامانه‌های آبیاری تحت فشار (مطالعه موردی: سامانه آبیاری دشت هارکله -لالی). *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک* ۲۱(۳): ۱۶۵-۱۴۵.
۵. فرش، ح. و خ. حمزه پور. ۱۳۹۱. بهینه‌سازی تعداد و موقعیت ایستگاه‌های پمپاژ در جهت کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های آبیاری تحت فشار. مجموعه مقالات اولین کارگاه فنی و آموزشی آبیاری و انرژی، تهران.
۶. ویسی، ف. و م. شمشادی. ۱۳۸۷. مدیریت مصرف انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ با استفاده از مدل‌سازی دینامیکی. چکیده مقالات دومین همایش ملی آب و فاضلاب (با رویکرد بهره‌برداری)، تهران.
7. API 610. 2008. Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries, API Publishing Services, Washington DC, USA.
8. Bello, M. A., F. Martı́nez Alzamora, V. Bou Soler and H. J. Bartolı. 2010. Methodology for grouping intakes of pressurised irrigation networks into sectors to minimize energy consumption. *Biosystems Engineering* 105: 429-438.
9. Carrillo-Cobo, M. T., J. A. Rodriguez-Diaz and E. Camacho-Poyato. 2010. The role of energy audits in irrigated areas. The case of 'Fuente Palmera' irrigation district (Spain). *Agricultural Research* 8(S2): 152-161.
10. Chávez, J. L., D. Reich, J. C. Loftis and D. L. Miles. 2010. Irrigation Pumping Plant Efficiency. Colorado State University Cooperative. Extension. Colorado.
11. Corominas, J. 2010. Agua y energia en el riego en la época de la sostenibilidad. *Ingenieria del Agua* 17(3): 219-233.
12. Diaz, R. J. A., L. Pérez-Urrestarazu, E. Camacho-Poyato and P. Montesinos. 2011. The paradox of irrigation scheme modernization: more efficient water use linked to higher energy demand. *Agricultural Research* 9(4): 1000-1008.
13. Fernandez-Pacheco, D., V. Ferrandez, J. Molina-Martinez and A. Ruiz-Canales. 2015. Performance indicators to assess the implementation of automation in water user associations: case study in southeast Spain. *Agricultural Water Management* 151: 87-92.
14. Gopal, M. 1984. Modern Control System Theory., NY: John Wiley and Sons, New York.
15. Hanson, B., Z. Weigand and S. Orloff. 1996. Performance of electric irrigation pumping plants using variable frequency drives. *Irrigation and Drainage Engineering* 122(3): 45-58.
16. Khadra, R., M. A. Moreno, H. Awada and N. Lamaddalena. 2016. Energy and hydraulic performance-based management of large-scale pressurized irrigation systems. *Water Resource Manage* 30(10): 3493- 3506.
17. Moreno, M. A., P. Planells, J. I. Co'rcoles, J. M. Tarjuelo and P. A. Carrio'. 2009. Development of a new methodology to obtain the characteristic pump curves that minimize the total cost at pumping stations. *Biosystems Engineering* 102: 95 -105.
18. New, L. L. and A. D. Schneider. 1988. Irrigation Pumping Plant Efficiencies-High Plains and Trans-Pecos Areas of Texas. Publication MP-1643. Texas Agricultural Experiment Station, Texas University System, College Station.
19. Smajstrla, A. G., D. S. Harrison, J. M. Stanley and D. Z. Haman. 2005. Evaluating Irrigation Pumping Systems. Agricultural Engineering Department. Fact Sheet AE-24. University of Florida. Gainesville.
20. Vera, J., R. Abadi'a, M. Mora and M. Rocamora. 2010. Eficiencia energética de instalaciones de bombeo en pozos para extraccio'n de aguas de riego subterra'neas. In: Proceeding of the XXVIII Congreso Nacional de Riegos AERYD, Leo'n.

Investigation of Energy Consumption in Agriculture Water Pumping Stations by Different Operation Methods (A Case Study: Ashrafiyeh Agro-Industry Irrigation System)

A. Yousefgomrokchi^{1*} and A. Parvaresh Rizi²

(Received: July 19-2016 ; Accepted: July 15-2017)

Abstract

In the recent decades, due to the development of the pressurized irrigation systems, the relationship between the water and energy has been extended more than ever. So, according to problems due to the water shortage, energy saving is considered as one of the most important challenges in the agriculture section. In this study, by considering the capabilities of the pumping systems, variable speed pumps have been examined in an agro-industrial region of Ashrafiyeh (Qazvin province, Iran) with an area of 85 ha. The energy consumption during the ten-year operation was analyzed in the five operation scenarios by the MATLAB/SIMULINK software. The results showed that the consumed electrical energy by using variable speed pumps was approximately decreased up to about 18 percent, as compared to the fixed speed pumps. The results of the evaluation of the consumed energy showed that the current operation circumstance increased energy losses up to about 60 percent, as compared to the other operation methods. The results also revealed that the overall energy efficiency for the current operation circumstance was 52 percent (78 percent of Nebraska Performance Criteria).

Keywords: Energy saving, Modeling, Nebraska criteria, SIMULINK, Variable speed pump

-
1. Agricultural Engineering Research Department, Qazvin Agricultural and Natural Resources, Research and Education Center, AREEO, Qazvin, Iran.
 2. Irrigation and Reclamation Engineering, Department of Agriculture and Natural Resources Campus. University of Tehran, Tehran, Iran.

*: Corresponding Author, Email: a.gomrokchi@areeo.ac.ir