نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۵، ص. ۱۳۵۷-۱۳۴۷

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 5, Nov.-Dec. 2016, p. 1347-1357

بررسی نقش روش‌های بهره‌برداری از ایستگاه‌های پمپاژ آب کشاورزی در مصرف انرژی

مرتضی دلفان آذری[۱] – عاطفه پرورش ریزی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۸

چکیده

در سامانه‌های آبیاری یکی از علل کاهش راندمان ایستگاه‌های پمپاژ، استفاده از روش‌های نامناسب تنظیم و کنترل جریان در زمان بهره‌برداری است. در این تحقیق پس از طراحی سامانه آبیاری قطره‌ای، منحنی مقاومت سامانه استخراج شد و پمپ‌ها دقیقا متناسب با نیاز سامانه انتخاب شدند. شیر کنترل دبی یک روش متداول کنترل جریان در لوله رانش پمپ‌های دور ثابت است. بنابراین با درنظر گرفتن سه روش مختلف کنترل دبی بوسیله شیرکنترل در پمپ‌های دور ثابت، و همچنین بهره‌برداری از ایستگاه مجهز به پمپ دور متغیر، مقدار مصرف انرژی در شیوه های مختلف بهره‌برداری مقایسه شدند. نتایج حاکیست که به شرط طراحی مناسب، بالاترین راندمان مصرف انرژی در استفاده از پمپ‌های دور متغیر است که تلفات انرژی را ۴۴ تا ۵۴ درصد کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پمپ دور متغیر، تلفات انرژی، سامانه‌های آبیاری، شیر کنترل دبی

مقدمه

بحران انرژی، کشورهای جهان را به سمت روش‌های کاهش مصرف انرژی سوق داده است. بیش از ۷۰ درصد از انرژی در بخش کشاورزی، بوسیله پمپ‌ها مصرف می‌شود (۱). در کشور ما عدم وجود دستورالعمل، استاندارد مشخص و نظارت کافی در طراحی، انتخاب، نصب و بهره‌برداری سیستم‌های پمپاژ متناسب با شرایط و نیازها، موجب شده تا این سیستم‌ها با بازده پایین و تلفات بالای انرژی بهره‌برداری شوند. در حالی‌که بیش از ۲۰ درصد از برق تولیدی جهان توسط پمپ‌ها مصرف می‌شود، متوسط راندمان ایستگاه‌های پمپاژ کمتر از ۴۰ درصد است. بنابراین بررسی ایستگاه‌های پمپاژ و ارائه راهکارهایی که افزایش بازده و طول عمر ایستگاه‌ها و کاهش مصرف انرژی را در پی داشته باشد، می‌تواند گام موثری در بهینه‌سازی مصرف انرژی در کشور باشد. مهم‌ترین علل پایین بودن بازده سیستم‌های پمپاژ نسبت به بازده پتانسیل، استفاده ازروش‌های نامناسب برای کنترل جریان، تغییرات فیزیکی- هیدرولیکی سیستم در طول زمان، استفاده از پمپ یا موتور با بازده پایین و تعمیرات و نگهداری نامناسب است. معمولاً مقدار جریان در طول زمان در یک سیستم پمپاژ ثابت نیست و میزان جریان مورد نیاز در دوره‌های زمانی مختلف تغییر می‌کند. طراحی سیستم پمپاژ ضمن آنکه بایستی پاسخگوی مقدار بیشینه جریان مورد نیاز باشد، باید از روش مناسب برای کنترل جریان استفاده کند تا در زمان نیاز به کمترین جریان، کمترین تلفات انرژی را به همراه داشته باشد. همچنین یکی از بالاترین قابلیت‌های کاهش مصرف انرژی در ایستگاه پمپاژ مربوط به اصلاح روش کنترل جریان است. استفاده از شیرهای کنترل جریان وخط کنارگذر که تلفات انرژی زیادی دارند بسیاری رایج است. این در حالیست که کاربرد پمپ دورمتغیر، که مقدار آب مورد نیاز شبکه را با فشار کافی و صرف حداقل میزان انرژی، تامین می‌کند، بعلت ناآگاهی طراحان و یا هزینه اولیه بیشتر، محدوداست (۳).

بررسی‌ها در کشورهای توسعه یافته و کشور ما بیانگر آن است که اکثر مهندسین طراح در زمان طراحی سیستم‌ها توجهی به هزینه طول عمر سیستم ندارند و یا اینکه تنها به کاهش هزینه‌های اولیه سیستم توجه می‌کنند. انجام آنالیز هزینه‌های طول عمر[۳] به معنی آن است که کل هزینه طول عمر سیستم برای گزینه‌های قابل قبول، محاسبه شود و از بین آن‌ها کم‌هزینه‌ترین گزینه انتخاب شود. در سیستم‌های پمپاژ، خرید پمپ تنها ۱۰ درصد از کل هزینه‌ها، و هزینه انرژی چهار برابر هزینه خرید پمپ یا ۴۰ درصد کل هزینه است و در صورت

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران
(* نویسنده مسئول: (Email: parvarsh@ut.ac.ir

3-Life Cycle Cost Analysis (LCC)

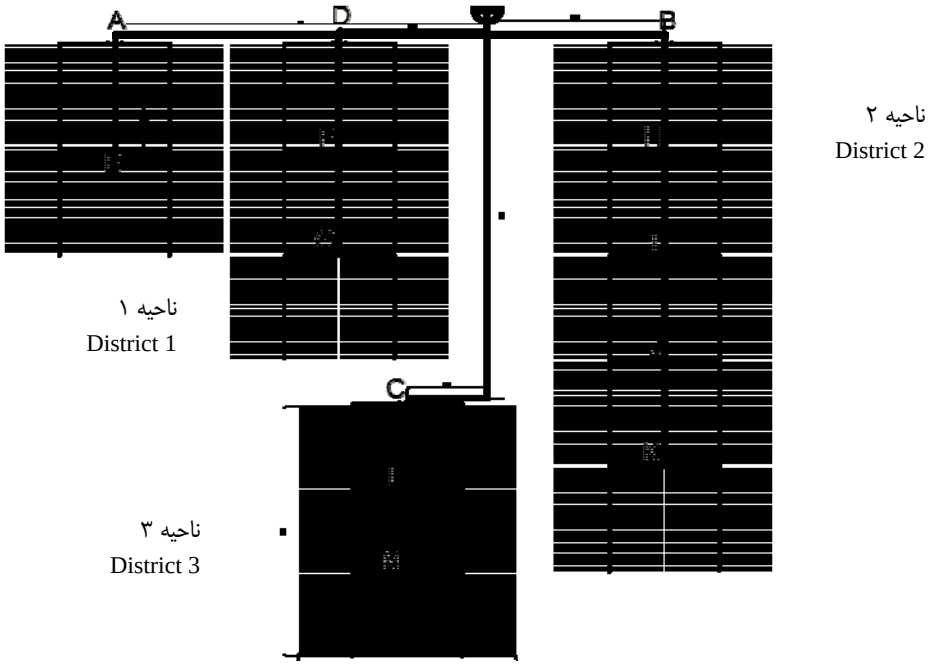
کارکرد مداوم پمپ‌ها در طول سال به بیش از ۷۰ درصد نیز می‌رسد (۶). پمپ‌های دور متغیر به‌علت اینکه دارای قطعات متحرک نیستند، عمرمفید بالایی دارند؛ به طوری‌که قیمت انرژی بازیافت شده از این طریق درکمتر از یک‌سال معادل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه خواهد بود (۸). این عامل مهم‌ترین علت پایین بودن بازده سیستم‌ها در زمان بهره‌برداری بوده و منشاء سایر عوامل موثر در مراحل طراحی، اجرا و بهره‌برداری است. مطالعه و تحقیق در زمینه استفاده از پمپ‌های دور متغیر در سامانه‌های آبیاری اندک است، درحالی‌که انجام این گونه مطالعات در کشورهایی که منابع تولید کننده انرژی محدودی دارند امری ضروری است. نروژی‌ها در سال‌های ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۴ با مطالعه ۱۶۹۰ پمپ دریافتند که متوسط بازده سیستم‌های پمپاژ موجود، کمتر از۴۰ درصد بوده و بیش از ۱۰ درصد از سیستم‌ها با بازدهی کمتر از ۱۰ درصد کار می‌کنند. کونورز و همکاران (۲)، با بررسی دستگاه کنترل دور موتور مخصوص پمپ‌های گریز از مرکز بیان کردند که، طراحی و ساخت پمپ‌های گریز از مرکز به گونه‌ای است که بهترین بازده، متناظر با تولید جریان بیشینه است. تقاضا برای جریان بیشینه نیز برای مدت کوتاهی از دوره آبیاری اتفاق می‌افتد و در شرایط دیگر استفاده از روش کنترل جریان لازم است. آن‌ها اظهار داشتند که در روش‌های قدیمی کنترل جریان، از شیر کنترل استفاده می‌شود که باعث کاهش بازده و افزایش فشار کار پمپ می‌شود و نشان دادند استفاده از درایوهای تنظیم سرعت برای کاهش جریان، باعث افزایش بازده وکاهش تلفات به میزان قابل توجهی می‌شود. هانسون و ویگند (۵)، به بررسی میزان مصرف انرژی در سامانه آبیاری در شرایط مختلف پرداختند. آن‌ها پژوهش خود را در یک ناحیه آبیاری با پنج بخش انجام دادند و با استفاده از دستگاه کنترل دور موتور در بعضی از بخش‌ها، به‌منظور تغییر سرعت پمپ برای رسیدن به نیاز آبی مورد نظر، انرژی مصرفی را محاسبه کردند که کاهش ۳۲ تا ۵۶ درصدی را نشان داد. راهکارهای فرمانی مرزنکلاته و اورعی (۳) برای کاهش مصرف انرژی در الکتروپمپ‌ها شامل استفاده از موتورهای الکتریکی با بازده بالا، استفاده از گرداننده‌های کنترل دور، بکارگیری موتورهای الکتریکی چند سرعتی و استفاده از اتصال دائمی ستاره در موتورهای الکتریکی است. ولک (۱۰)، سامانه‌های پمپاژ سرعت متغیر را مورد مطالعه قرار داد. وی معتقد است که در سال‌های اخیر استفاده از این پمپ‌ها به علت پیشرفت فناوری و نیاز به کاهش مصرف انرژی و هزینه، بیشتر بوده و رو به افزایش است. او با بررسی منحنی‌های مشخصه پمپ و سیستم، به بررسی چگونگی ذخیره‌سازی انرژی و آب پرداخت و این منحنی‌ها را برای شرایط مختلف مقایسه کرد. وی با در نظر گرفتن سه نوع کارکرد مختلف پمپاژ، مصرف انرژی در هر حالت را محاسبه و با یکدیگر مقایسه نمود و به این نتیجه رسید که با کاربرد پمپ دور متغیر علاوه بر کاهش ۵۷ درصدی مصرف انرژی، طول عمر مفید پمپ و اجزای دیگر سامانه افزایش می‌یابد. فاضلی و همکاران (۴) با استناد به این نکته که از مجموع هزینه‌های دوره عملکرد یک ایستگاه پمپاژ در شبکه‌های آبرسانی ، ۴۰ درصد مربوط به مصرف انرژی، ۳۵ درصد مربوط به نگهداری از ایستگاه و ۲۵ درصد مربوط به احداث ایستگاه است، بهینه‌سازی در مصرف انرژی ایستگاه‌های پمپاژ را مستلزم مجموعه‌ای از فعالیت‌ها در مراحل طراحی، اجرا و بهره‌برداری دانستند و با در نظر گرفتن روابط تشابه و منحنی‌های مشخصه پمپ‌ها به بررسی راه‌های تامین نیاز شبکه با حداقل مصرف انرژی پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که در استفاده از پمپ دور متغیر هزینه اولیه سرمایه‌گذاری ایستگاه پمپاژ تا حدی افزایش می‌یابد اما در طول بهره‌برداری به دلایلی از جمله کاهش مصرف انرژی، افزایش عمر مفید اجزای ایستگاه، کاهش رکورد اتفاقات در شبکه توزیع و خط انتقال آب، کاهش تلفات آب، در مدت زمان نسبتاً کوتاهی به بازدهی مثبت و سودآوری مناسب می‌رسد. لامادالنا و خیلا (۷)، به بررسی ذخیره انرژی با بکارگیری پمپ‌های دور متغیر بر حسب نیاز سیستم آبیاری پرداختند. هدف این تحقیق که در ایتالیا انجام شد مشخص کردن بهترین روش بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ برای حداقل کردن مصرف انرژی بود. نتایج با تحلیل منحنی مشخصه‌های سیستم و پمپ در طول فصل آبیاری حاصل شد. آن‌ها نتیجه گرفتند که مقدار ذخیره انرژی در این روش نسبت به روش‌های قبل حدود ۲۷ تا ۳۵ درصد بیشتر بوده است. رئیسیان امیری (۹) برای ایستگاه‌های پمپاژ در یک سامانه آبیاری تحت‌فشار و یک سامانه آبیاری کم‌فشار با پمپ دور ثابت، طراحی مجدد ایستگاه با پمپ دور متغیر را انجام داد و چگونگی مصرف انرژی در آنها را بررسی کرد. وی در ایستگاه پمپاژ دشت طرح هارکله-لالی به این نتیجه رسید که با کاربرد درایو تغییر دور انرژی مصرفی پمپ‌ها در طول دوره آبیاری تا ۴۹ درصد کاهش می‌یابد.

هدف پژوهش حاضر ارزیابی نقش نحوه بهره‌برداری در ایستگاه‌های پمپ دور ثابت در مصرف انرژی و مقایسه آن با عملکرد پمپ‌های دور متغیر است، ضمن اینکه متدولوژی مورد استفاده برای ارزیابی مصرف انرژی در پمپ‌های آب کشاورزی تشریح شده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق عملکرد ایستگاه پمپاژ طرح آبیاری قطره‌ای با چهار سناریوی بهره‌برداری از ایستگاه، مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است: الف) ایستگاه پمپاژ مجهز به پمپ‌های دور متغیر، ب) ایستگاه پمپاژ مجهز به پمپ‌های دور ثابت با مانور شیر کنترل جریان در هر دهه، ج) ایستگاه پمپاژ مجهز به پمپ‌های دور ثابت با باز بودن شیر کنترل جریان در تمام زمان آبیاری و د) ایستگاه پمپاژ مجهز به پمپ‌های دور ثابت با مانور شیر کنترل جریان در هر ماه. ایستگاه‌های پمپاژ مجهز به پمپ‌های دور ثابت برای آبیاری زمینی در جنوب غرب

استان اصفهان به مساحت ۱۰۰ هکتار با درختان هلو و سیب، طراحی شد و با سه سناریوی بهره‌برداری (ب و ج و د)، ارزیابی شد. سپس با عملکرد ایستگاه مجهز به پمپ‌های دور متغیری که برای همین پروژه طراحی شد، مورد مقایسه قرار گرفت. طبق شکل ۱ مطالعه موردی این تحقیق از سه ناحیه تشکیل شده است که درختان کاشته شده، قطر و طول خطوط لوله آب در هر ناحیه متفاوت است. مشخصات کلی زمین در جدول ۱ آمده است.



شکل ۱- طرح کلی از سامانه آبیاری مورد مطالعه

Figure 1- General view of intended irrigation system

طراحی خطوط لوله شبکه آبیاری

در این تحقیق برای محاسبه منحنی مقاومت سامانه در حالت‌های مختلف بهره‌برداری از رابطه دارسی–ویسباخ استفاده شد. با توجه به افت در خطوط لوله بر حسب تغییرات دبی، برنامه‌ای برای محاسبه افت و فشار در لوله‌ها در نرم افزار MATLAB نوشته شد و داده‌ها از طریق اتصال با صفحه گسترده EXCEL، به برنامه منتقل شد. بهره‌برداری خطوط لوله شش ماه در سال صورت می‌گیرد و از نظر زمانی هر کدام از نواحی شکل ۱، به صورت جداگانه آبیاری می‌شوند. برای محاسبه نیاز آبی، هر ماه به سه دهه تقسیم شد و برای دور آبیاری یک روزه، مدت آبیاری هر ناحیه هفت ساعت محاسبه شد. در برنامه آبیاری ابتدا ناحیه ۱، سپس ناحیه ۲ و در نهایت ناحیه ۳، هرکدام هفت ساعت آبیاری می‌شوند. اگر نیاز آبی بصورت روزانه و با دقت محاسبه شود، امکان تنظیم بهره‌برداری روزانه پمپ‌ها و بویژه پمپ‌های دور متغیر وجود دارد. در این تحقیق در نظر گرفتن دهه‌های مختلف برای تغییرات نیاز آبی (و نه بازهٔ زمانی کوچک‌تر)، به دلیل این است که قابلیت اجرایی بهتری داشته باشد.

با محاسبه مقادیر فشار و دبی مورد نیاز در هر دهه (جدول‌های ۲ و۳)، پمپ‌های مناسب برای ایستگاه پمپاژ انتخاب شدند. مهم‌ترین مرحله در طراحی ایستگاه پمپاژ، انتخاب پمپ‌های متناسب با نیاز سامانه و نحوه بهره‌برداری است. انتخاب پمپ‌های نامناسب و بزرگتر از حد نیاز، علاوه بر بهای انرژی، هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری را افزایش می‌دهد. بسیاری از پمپ‌ها ممکن است پاسخگوی نیاز سامانه باشند ولی لزوماً انتخاب مناسبی نباشند. بنابراین برای انتخاب صحیح پمپ باید ویژگی‌های کارکرد پمپ را با شرایط سامانه تطبیق داد؛ در این تحقیق ابتدا مقادیر دبی و فشار مورد نیاز سامانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. بررسی‌ها نشان داد که دامنه تغییرات دو پارامتر دبی و فشار لازم در هر سه ناحیه زیاد است. برای دهه‌های نخست آبیاری یک پمپ کوچک، متناسب با نیاز شبکه در نظر گرفته شد، چون مقادیر دبی و فشار مورد نیاز کم است، دامنه تغییرات دبی و فشار از دهه ششم تا انتهای دوره آبیاری کم می‌شود، لذا برای این مقطع زمانی پمپ کوچک از مدار خارج شد و دو پمپ مشابه موازی بزرگتر انتخاب شد؛ به طوریکه برای نواحی ۱و ۲، هر دو پمپ به طور همزمان و برای ناحیه ۳، فقط یکی از این پمپ‌های مشابه کار کند.

جدول ۱- مشخصات زمین، خطوط لوله‌های انتقال آب و نوع کشت

Table1- Specification of the land, pipelines and crop pattern

	نوع کشت Cultivation Type	مساحت (هکتار) Area (ha)	مسیرخط لوله Pipeline Path	طول خط لوله (متر) Pipeline Length(m)	قطر داخلی (میلی‌متر) Inner Diameter (mm)	شیب (درصد) Slope (%)
ناحیه ۱ District 1	سیب Apple	40	AE	200	141.8	1
			FG	200	110.8	1
			DF	200	159.6	1
			AD	400	159.6	0
			PA	293	221.4	0
			lateral	100	16.8	0
			manifold	200	79.8	1
ناحیه۲ District 2	سیب Apple	40	JK	200	110.8	1
			IJ	200	159.6	1
			HI	200	177.2	1
			BH	200	199.4	1
			PB	330	221.4	0
			lateral	100	16.8	0
			manifold	200	79.8	0
ناحیه۳ District 3	هلو Peach	20	LM	180	97.4	1
			CL	180	141.8	1
			PC	852	159.6	1
			lateral	88	13	0
			manifold	180	69.4	0

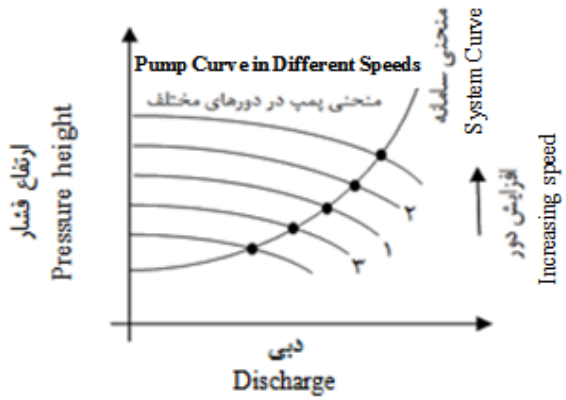
طراحی و بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ بر اساس استفاده از پمپ‌های دور متغیر (سناریوی الف)

پمپ‌های دور متغیر خود را با تغییرات سامانه سازگار کرده و متناسب با مقدار آب و فشار مورد نیاز سامانه، در نقطه عملکرد قرار می‌گیرند. تغییر دور در پمپ‌های دور متغیر بر اساس قوانین تشابه انجام می‌شود:

$$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{N_2}{N_1},\quad \frac{H_2}{H_1}=\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2,\quad \frac{P_2}{P_1}=\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3$$

در روابط فوق Q دبی مورد نیاز، H ارتفاع معادل فشار مورد نیاز، Pتوان مورد نیاز و N دور موتور است. در پمپ دور متغیر با توجه به مقدار دبی و فشار مورد نیاز در منحنی سامانه، منحنی پمپ با استفاده از روابط تشابه، خود را بر آن نقطه منطبق می‌کند. با توجه به شکل۲، اگر منحنی سامانه و منحنی پمپ (منحنی ۱) در نظر گرفته شود، نقطه تقاطع آنها، نقطه عملکرد پمپ و همان نقطه دبی و فشار مورد نیاز است.

حال اگر دبی و فشار مورد نیاز سامانه افزایش پیدا کند، پمپ دور متغیر با افزایش دور، منحنی۲ را ایجاد می‌کند و اگر نیاز شبکه کاهش یابد، منحنی پمپ با کاهش دور در موقعیت ۳ قرار می‌گیرد. این تغییرات در هر دهه فصل آبیاری انجام می‌شود و نقطه عملکرد پمپ بر نقطه نیاز سامانه منطبق می‌شود.



شکل ۲- نمای شماتیک از نحوه تغییر دور در پمپهای دور متغیر متناسب با نیاز سامانه

Figure 2- Schematic view of speed variation of variable speed pumps according to the system demand

در سامانه آبیاری مورد بررسی، دور موتور، دبی و فشار مورد نیاز برای پمپ کوچک در ماه اول آبیاری و برای پمپ‌های بزرگ‌تر در سایر ماه‌ها در جدول‌های ۲، ۳ و۴ درج شده است.

جدول ۲- مقادیر دور موتور مورد نیاز پمپ در دهه‌های مختلف آبیاری

Table 2- The required amount of engine speed in different decades of irrigation

		دور موتور پمپ (دور در دقیقه) Pump engine speed (rpm)					
		فروردین March/April	اردیبهشت April/may	خرداد May/June	تیر June/July	مرداد July/August	شهریور August/September
دهه اول First Decade	ناحیه ۱ District 1	1272	1475	1651	1905	1965	1733
	ناحیه ۲ District 2	1120	1382	1614	1946	2023	1722
	ناحیه ۳ District 3	1007	1268	1505	1860	1977	1656
دهه دوم Second Decade	ناحیه ۱ District 1	1298	1523	1719	1965	2010	1651
	ناحیه ۲ District 2	1152	1446	1703	2022	2081	1614
	ناحیه ۳ District 3	1028	1324	1612	1954	2025	1505
دهه سوم Third Decade	ناحیه ۱ District 1	1355	1638	1891	2087	1965	1560
	ناحیه ۲ District 2	1225	1597	1926	2179	2022	1495
	ناحیه ۳ District 3	1198	1484	1860	2145	2002	1382

جدول ۳- مقادیر دبی مورد نیاز در دهه‌های آبیاری

Table 3- Required discharge in decades of irrigation

		مقدار دبی مورد نیاز (متر مکعب بر ساعت) Required Discharge (m^3/hr)					
		فروردین March/April	اردیبهشت April/may	خرداد May/June	تیر June/July	مرداد July/August	شهریور August/September
دهه اول First Decade	ناحیه ۱ District 1	22	95	146	212	226	168
	ناحیه ۲ District 2	22	95	146	212	226	168
	ناحیه ۳ District 3	15	47	69	99	108	82
دهه دوم Second Decade	ناحیه ۱ District 1	33	110	164	226	337	146
	ناحیه ۲ District 2	33	110	164	226	237	146
	ناحیه ۳ District 3	18	53	78	106	111	69
دهه سوم Third Decade	ناحیه ۱ District 1	55	142	208	256	226	120
	ناحیه ۲ District 2	55	142	208	256	226	120
	ناحیه ۳ District 3	40	68	99	120	110	58

جدول ٤- مقادیر فشار مورد نیاز در دهه‌های آبیاری

Table 4- Required pressure in decades of irrigation

		مقدار فشار مورد نیاز (متر) Required Pressure(m)					
		فروردین March/April	اردیبهشت April/may	خرداد May/June	تیر June/July	مرداد July/August	شهریور August/September
دهه اول First Decade	ناحیه ۱ District 1	14	16	19	25	27	21
	ناحیه ۲ District 2	11	14	18	27	29	21
	ناحیه ۳ District 3	9	13	18	29	32	22
دهه دوم Second Decade	ناحیه ۱ District 1	15	17	21	27	28	19
	ناحیه ۲ District 2	11	15	20	29	31	18
	ناحیه ۳ District 3	9	14	21	32	34	18
دهه سوم Third Decade	ناحیه ۱ District 1	15	19	25	30	27	18
	ناحیه ۲ District 2	12	18	26	34	29	16
	ناحیه ۳ District 3	12	18	29	38	33	16

بهره‌برداری با پمپ‌های دور ثابت (سناریوی ب)

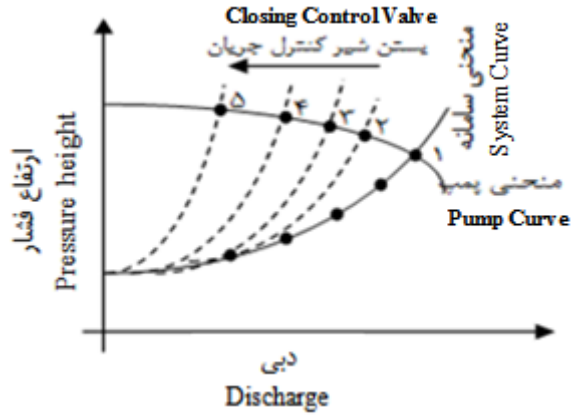
در سناریوی ب با توجه به اینکه پمپ از نوع دور ثابت است لذا هیچ تغییری در منحنی پمپ صورت نمی‌گیرد. فقط بستن یا بازکردن شیر کنترل جریان، منحنی سامانه را تغییر می‌دهد. در این روش شیر کنترل جریان مطابق مقدار دبی مورد نیاز سامانه، باز یا بسته می‌شود؛ بنابراین تلفات آب کاهش یافته اما فشار مورد نیاز زیاد می‌شود. بعنوان مثال در شکل ۳، اگر منحنی پمپ و سامانه در نظر گرفته شود و نقطه ۱، نقطه عملکرد پمپ باشد، در هر زمان با توجه به نیاز سامانه و با مانور شیر کنترل، نقطه عملکرد پمپ به نقاط ۲، ۳، ۴ و ۵ تغییر می‌یابد. لذا با هر بار باز کردن و یا بستن شیر، منحنی سامانه جدیدی تولید می‌شود.

بهره‌برداری با پمپ‌های دور ثابت (سناریوی ج)

در این سناریو، با ثابت بودن دور پمپ و عدم کنترل و تنظیم جریان با استفاده از شیر کنترل، منحنی پمپ و سیستم تغییری نمی‌کنند. اگر در شکل۳، در ابتدا نقطه عملکرد پمپ نقطه ۱ باشد، این نقطه در کل زمان آبیاری تغییر نمی‌کند و پمپ در هر زمانی دبی و فشار متناظر با نقطه ۱ را به سامانه تزریق می‌کند.

بهره‌برداری با پمپ‌های دور ثابت (سناریوی د)

این سناریو شبیه سناریوی (ب) است با این تفاوت که در آن، منحنی سیستم با بستن شیرکنترل دبی در هر ماه تغییر می‌کند. با توجه به حداکثر نیاز در هر ماه، شیرکنترل دبی تنظیم می‌شود و در نتیجه در هر ماه، برای سامانه یک منحنی وجود دارد (تغییر منحنی سامانه در سناریوی (ب) در هر دهه اتفاق می‌افتد).



شکل۳- نحوه تغییر منحنی سیستم در سناریوی ب، ج و د

Figure 3- Scheme of variations in the system curve in different Scenarios

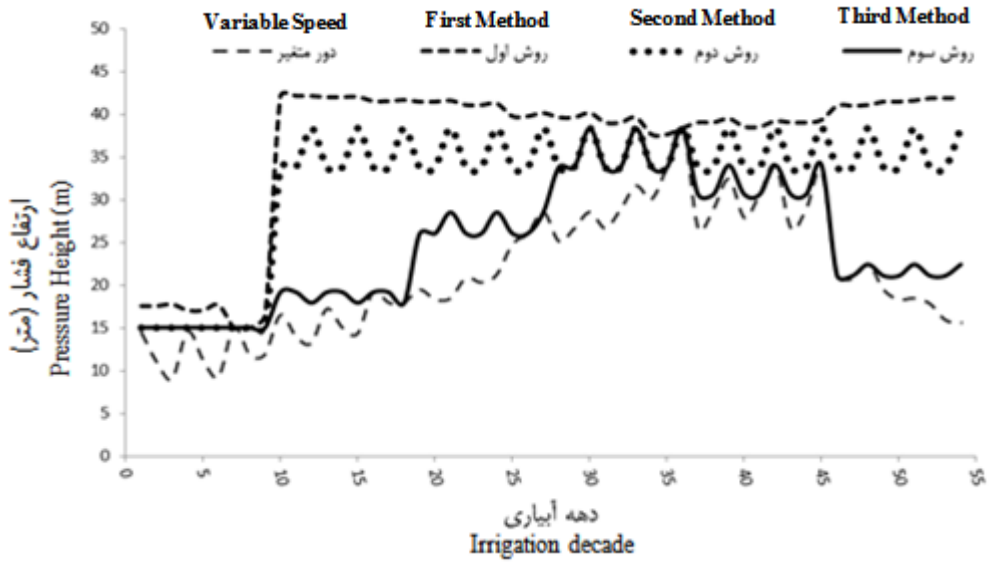
نتایج و بحث

مهم‌ترین نکته در طراحی ایستگاه‌های پمپاژ، مصرف انرژی است،

چراکه هزینه تامین انرژی مورد نیاز در ایستگاه پمپاژ بالاست و باید نحوه بهره‌برداری به گونه‌ای باشد که در مصرف انرژی صرفه‌جویی شود. برای محاسبه انرژی مصرف شده به‌وسیله پمپ‌ها در ایستگاه پمپاژ از رابطه ۲، استفاده می‌شود.

$$E = \left(\frac{\gamma Q H}{\eta} \right) t \qquad (۲)$$

با استفاده از مقادیر فشار و دبی که از مدل توسعه یافته بدست آمد و رابطه ۲، مقادیر انرژی مصرف شده در هر ایستگاه محاسبه شد (جداول ۵، ۶، ۷و ۸). مشاهده می‌شود که انرژی مصرفی در ایستگاه پمپاژ مجهز به پمپ‌های دور متغیر، کمتر از سایر ایستگاه‌ها است.



شکل ٤- فشار تولید شده در چهار نوع بهره‌برداری از ایستگاه پمپاژ سامانه آبیاری مورد بررسی

Figure 4- Generated pressure under four type of pumping stations operation in studied irrigation system

جدول ٥- مقادیر انرژی مصرفی در سناریوی الف

Table5- Amount of Energy Consumption in Scenario A

		انرژی مصرفی (کیلووات ساعت) Energy Consumption (Kwh)					
		فروردین Mar/Apr	اردیبهشت Apr/May	خرداد May/Jun	تیر Jun/Jul	مرداد Jul/Aug	شهریور Aug/Sep
دهه اول First Decade	ناحیه ۱ District1	108	452	734	1340	1525	900
	ناحیه ۲ District2	75	369	684	1426	1660	882
	ناحیه ۳ District3	49	172	332	724	901	474
دهه دوم Second Decade	ناحیه ۱ District1	133	520	870	1525	1678	734
	ناحیه ۲ District2	97	441	846	1660	1855	684
	ناحیه ۳ District3	56	204	429	863	980	332
دهه سوم Third Decade	ناحیه ۱ District1	205	710	1297	1962	1525	577
	ناحیه ۲ District2	161	655	1372	2220	1660	504
	ناحیه ۳ District3	120	315	724	1202	940	241
جمع کل انرژی مصرفی (کیلووات ساعت) Total Energy Consumption (Kwh)		43106					

جدول ٦- مقادیر انرژی مصرفی در سناریوی ب

Table6- Amount of Energy Consumption in Scenario B

		انرژی مصرفی(کیلووات ساعت) Energy Consumption (Kwh)					
		فروردین Mar/Apr	اردیبهشت Apr/May	خرداد May/Jun	تیر Jun/Jul	مرداد Jul/Aug	شهریور Aug/Sep
دهه اول First Decade	ناحیه ۱ District1	140	1460	1808	2229	2318	1952
	ناحیه ۲ District2	140	1460	1808	2229	2318	1952
	ناحیه ۳ District3	125	730	880	1069	1126	964
دهه دوم Second Decade	ناحیه ۱ District1	163	1561	1928	2318	2384	1808
	ناحیه ۲ District2	163	1561	1928	2318	2384	1808
	ناحیه ۳ District3	133	768	940	1114	1148	880
دهه سوم Third Decade	ناحیه ۱ District1	206	1784	2206	2492	2318	1636
	ناحیه ۲ District2	206	1784	2206	2492	2318	1636
	ناحیه ۳ District3	178	868	1069	1203	1137	806
جمع کل انرژی مصرفی (کیلووات ساعت) Total Energy Consumption (Kwh)					76560		

جدول ۷- مقادیر انرژی مصرفی در سناریوی ج

Table7- Amount of Energy Consumption in Scenario C

		انرژی مصرفی (کیلووات ساعت) Energy Consumption (Kwh)					
		فروردین Mar/Apr	اردیبهشت Apr/May	خرداد May/Jun	تیر Jun/Jul	مرداد Jul/Aug	شهریور Aug/Sep
دهه اول First Decade	ناحیه ۱ District1	206	2492	2492	2492	2492	2492
	ناحیه ۲ District2	206	2492	2492	2492	2492	2492
	ناحیه ۳ District3	206	1203	1203	1203	1203	1203
دهه دوم Second Decade	ناحیه ۱ District1	206	2492	2492	2492	2492	2492
	ناحیه ۲ District2	206	2492	2492	2492	2492	2492
	ناحیه ۳ District3	206	1203	1203	1203	1203	1203
دهه سوم Third Decade	ناحیه ۱ District1	206	2492	2492	2492	2492	2492
	ناحیه ۲ District2	206	2492	2492	2492	2492	2492
	ناحیه ۳ District3	206	1203	1203	1203	1203	1203
جمع کل انرژی مصرفی (کیلووات ساعت) Total Energy Consumption (Kwh)					94648		

جدول ۸- مقادیر انرژی مصرفی در سناریوی د

Table8- Amount of Energy Consumption in Scenario D

		انرژی مصرفی (کیلووات ساعت) Energy Consumption (Kwh)					
		فروردین Mar/Apr	اردیبهشت Apr/May	خرداد May/Jun	تیر Jun/Jul	مرداد Jul/Aug	شهریور Aug/Sep
دهه اول First Decade	ناحیه ۱ District1	206	1784	2206	2492	2384	1952
	ناحیه ۲ District2	206	1784	2206	2492	2384	1952
	ناحیه ۳ District3	206	868	1069	1203	1148	964
دهه دوم Second Decade	ناحیه ۱ District1	206	1784	2206	2492	2384	1952
	ناحیه ۲ District2	206	1784	2206	2492	2384	1952
	ناحیه ۳ District3	206	868	1069	1203	1148	964
دهه سوم Third Decade	ناحیه ۱ District1	206	1784	2206	2492	2384	1952
	ناحیه ۲ District2	206	1784	2206	2492	2384	1952
	ناحیه ۳ District3	206	868	1069	1203	1148	964
جمع کل انرژی مصرفی (کیلووات ساعت) Total Energy Consumption (Kwh)					82515		

که در آن E انرژی مصرف شده بر حسب کیلووات ساعت، γ وزن مخصوص آب بر حسب کیلو نیوتن بر متر مکعب، Q دبی بر حسب متر مکعب بر ساعت، H ارتفاع معادل فشار بر حسب متر، η بازده پمپ و t زمان کارکرد پمپ بر حسب ساعت است. بنابراین یکی از دلایل افزایش مصرف انرژی در ایستگاه پمپاژ، افزایش فشار مورد نیاز سامانه است. در شکل ۴ مشاهده می‌شود که مقدار فشار تولید شده در بهره‌برداری از ایستگاه پمپاژ با پمپ‌های دور متغیر، منطبق بر نیاز سامانه، اما در سایر سناریوها بیش از نیاز است.

با توجه به کل انرژی مصرفی و مقدار انرژی که هر سناریو می‌تواند نسبت به سناریوی دیگر ذخیره کند، درصد ذخیره انرژی محاسبه می‌شود (جدول ۹).

جدول ۹- درصد ذخیره و یا اتلاف انرژی هریک از سناریوهای بهره‌برداری

Table 9- The percentage of saved or lost Energy for each operation scenarios

سناریوی بهره‌برداری Operation Scenario	کل انرژی مصرفی (کیلو وات ساعت) Total Energy Consumption(kwh)	درصد ذخیره انرژی سناریوهای بهره‌برداری نسبت به یکدیگر Energy Saved Percentage in each Scenario against an others			
		سناریوی الف Scenario A	سناریوی ب Scenario B	سناریوی ج Scenario C	سناریوی د Scenario D
سناریوی الف Scenario A	43106	*	%44	%54	%48
سناریوی ب Scenario B	76560	-%44	*	%19	%7
سناریوی ج Scenario C	94648	-%54	-%19	*	-%13
سناریوی د Scenario D	82515	-%48	-%7	%13	*
بیشینه ذخیره انرژی Maximum Energy Saving		*	%44	%54	%48

با توجه به جدول ۹، بیشترین درصد ذخیره انرژی مربوط به سناریوی (الف) است. بنابراین بیشترین مقدار ذخیره انرژی نسبت به سناریوهای (ب)، (ج) و (د)، مربوط به سناریوی (الف) است. در مطالعه دیگر هانسون و ویگند (۵) به این نتیجه رسیدند که استفاده از پمپ‌های دور متغیر باعث ذخیره ۳۲ تا ۵۶ درصدی انرژی ایستگاه پمپاژ می‌شود. رئیسیان امیری (۹) این مقدار را ۴۹ درصد برآورد کرد و لامادالنا و خیلا (۷)، با بررسی استفاده از پمپ‌های دور متغیر در سامانه‌های تقاضامدار آبیاری، به ذخیره ۲۷ تا ۳۵ درصدی انرژی رسیدند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق که به‌منظور بررسی تاثیر روش‌های مختلف بهره‌برداری از ایستگاه پمپاژ سامانه‌های آبیاری بر بازده مصرف انرژی انجام شده، نشان می‌دهد که استفاده از پمپ‌های دور متغیر در ایستگاه پمپاژ نسبت به ایستگاه‌های پمپاژ متداول که در آن از پمپ‌های دور ثابت استفاده می‌شود، برحسب نوع بهره‌برداری، باعث ذخیره ۴۴ تا ۵۴ درصدی انرژی می‌شود. استفاده از پمپ‌های دور متغیر، که مقدار زیادی از انرژی را نسبت به سایر روش‌ها ذخیره می‌کند، می‌تواند گام اساسی و مهم در بهینه کردن مصرف انرژی و کمینه کردن هزینه بهره‌برداری از ایستگاه پمپاژ باشد. بنابراین هم نوع بهره‌برداری که در تحقیق حاضر به آن پرداخته شد و هم نوع سیستم آبیاری، انتخاب پمپ، سطح زیرکشت و برنامه آبیاری می‌تواند در میزان ذخیره انرژی با استفاده از پمپ دور متغیر موثر باشد و برای هر سامانه آبیاری باید به طور مستقل محاسبه شده و در هزینه‌های طول عمر سیستم پمپاژ لحاظ شود.

منابع

1. Amin S., and Farjood M.H. 2005. Loss of engine power and efficiency of pumping stations and water pumps for agricultural land plains of the kovar. Extender conditioning installations Engineering Journal. (in Persian)
2. Connors D.P., Robechek J.D., and Jarc D. 1982. Adjustable Speed Drive as Application to Centrifugal Pumps. Rockwell Automation. Publication D7737.
3. Farmani Marzankalateh A., and Ourei H. 2003. Energy consuming management in electropumps. Fourth Energy National Conference. National Energy Committee of the Islamic Republic of Iran. Deputy Power and Energy Ministry of Energy. Tehran. (in Persian)
4. Fazeli M., Soltanzadeh A., Sangroodi A., and Khosravi M. 2009. The role of variable speed pumps in reduces accidents of urban water distribution network. Articles Collections in First International Conference on Engineering and Infrastructure Management. Engineering college of University of Tehran. (in Persian)
5. Hanson R., and weigand C. 1996. Variable Frequency Drive for Electric Irrigation Pumping Plants saves Energy. Journal of Irrigation and drainage Engineering. 104:179-182
6. Hydraulic Institute, Euro pump and U.S department of Energy. 2004. Variable Speed Pumping. DOE/102004-1913.
7. Lamaddalena N., and Khila S. 2012. Energy Saving with Variable Speed Pumps in on-demand Irrigation Systems. Journal of Irrigation Science 30:157–166.
8. Mohammadi H. 2012. The role of Round and variable frequency electro motors in optimization of energy consumption. Fourth Rotating Equipment Conference on oil and Energy industries. Tehran. (in Persian)
9. Raiesian Amiri Z. 2012. Study and design of pumping stations equipped with variable speed pumps. Master's thesis. University of Tehran. (in Persian)
10. Volk M. 2005. Pump Characteristics and Applications. Chapter 6. Second Edition. Taylor and Francis Group. LLC 373-395.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 5, Nov.-Dec. 2016, p. 1347-1357

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۵، ص. ۱۳۵۷-۱۳۴۷

Investigation of the Effects of Operation Methods on Energy Consumption in Agricultural Water Pumping Stations

M. DelfanAzari[1]– A. Parvaresh Rizi[2*]

Received: 04-02-2014
Accepted: 29-11-2014

Introduction: The energy crisis has led the world toward the reduction of energy consumption. More than 70 percent of the energy in agriculture sector is used by pumps. In our country, there is no clear standard and guideline and also no adequate supervision for the design, selection, installation and operation of pumping systems appropriate to the circumstances and needs. Consequently, these systems operate with low efficiency and high losses of energy. While more than 20 percent of the world's electricity is consumed by pumps, average pumping efficiency is less than 40%. So evaluation of pumping stations and providing some solutions to increase efficiency and pumping system's life time and to reduce energy consumption can be an effective in optimization of energy consumption in the country. The main reasons for the low efficiency of pumping systems comparing to potential efficiency are using unsuitable techniques for flow control, hydraulic and physical changes of pumping system during the time, using pumps or motors with low efficiency and poor maintenance. Normally the amount of flow is not constant over the time in a pumping system and needed flow rate is changed at different times. Designing of pumping system should be responsible for peak requirements as well as it must suggest the suitable flow control method to achieve least energy losses for minimum flow requirements. Also one of the main capabilities to reduce energy consumption in pumping stations is improving the flow control method. Using the flow control valves and bypass line with high energy losses is very common. While the use of variable speed pumps (VSPs) that supply water requirement with sufficient pressure and minimum amount of energy, is limited due to lack of awareness of designers and (or) high initial costs.

Materials and Methods: In this study, the operation of the pumping stations under four scenarios (for discharge control) in a drip irrigation system was analyzed and evaluated: A) Pumping station equipped with VSPs, in this case it is possible to regulate energy consumption due to the required discharge and pressure for irrigation system , B) Pumping stations equipped with constant speed pumps (CSPs) and flow control valve maneuver in every decade of irrigation, C) Pumping stations equipped with CSPs without any flow control and D) Pumping stations equipped with CSPs and flow control valve maneuver per month of irrigation. Pumping stations equipped with CSPs was designed for a 100 hectares irrigation area for peach and apple trees in the South West of Isfahan province. The produced pressure under four types of flow control were determined. Then pump performance and energy consumption were evaluated under three operation scenarios (B, C and D) and afterward compared with the performance of VSP stations that was designed for this irrigation system.

Results and discussion: The most important point in the design of pumping stations is energy consumption, because the cost of energy supply is high and the operation should be able to save more energy. Using the output values of pressure and flow rate from developed model, the amount of energy consumption for each pump was calculated. It was observed that the energy consumed in pumping stations equipped with VSPs is significantly less than other stations. Regarding to the total energy consumption and the amount of energy that each scenario can save, the percentage of energy savings were calculated. The results show that the highest percentage of energy savings are belonging to scenario (a) (using VSPs).

Conclusion: The results of this study show that application of VSPs at pumping stations than commonly pumping stations with CPSs, depending on the type of CSP operation, saves 44 to 54 percent of energy. Using VSPs, which save a lot of energy compare to other methods, can be an important phase in optimizing energy consumption and minimizing the cost operation of the agriculture pumping station. So the type of operation that discussed in the present study and also the type of irrigation system, pump selection, cultivated area and irrigation scheduling are effective at saving energy during VSPs employment. In a recent case, reduction in energy cost should be independently calculated for each irrigation system and be considered in the lifetime costs of pumping system. Regarding the results of this research and also latest studies, it can be said that the study design and implementation of variable speed pumps in irrigation projects should be considered in national scale. Because development of pressurized irrigation schemes that inevitably need to pump, is the country's main policies for efficient use of water.

Keywords: Control valve, Energy Losses, Irrigation system, Variable speed pumps

1, 2 –Ph.D. Student and Assistant Professor of Irrigation and Reclamation Engineering Department, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
(*- Corresponding Author Email: Parvarsh@ut.ac.ir)