نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره3، جلد9، مرداد - شهریور 1394، ص. 559-549

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 9, Aug.-Sep. 2015, p. 549-559

بررسی عملکرد ترکیبی پمپ‌های دور متغیر و دور ثابت در مدیریت انرژی سامانه‌های آبیاری کم فشار

زینب رئیسیان امیری[1]، عاطفه پرورش ریزی[2*]

تاریخ دریافت: 1393/12/16 تاریخ پذیرش: 1394/6/25

چکیده

در برخی سامانه‌های آبیاری کم فشار برای تأمین دبی به هد مشخصی نیاز است و آب تا ارتفاع ثابتی در یک مخزن پمپاژ می‌شود و این ارتفاع با توجه به هد لازم در ماه حداکثر مصرف تعیین می‌شود. از آنجا که در این فرایند از پمپ دور ثابت استفاده می‌شود، راندمان مصرف آب و انرژی فقط در بازه کوچکی از فشار و آبدهی، قابل قبول است. بنابراین چنانچه نیاز به آبدهی یا هد کاهش یابد، هم دبی اضافه از مخزن به حوضچه مکش بازمی‌گردد و هم ارتفاع اضافی تأمین شده است، که باعث تلفات انرژی می‌شود. با کاربرد پمپ دور متغیر که در شرایط بهره‌برداری انعطاف‌پذیری بیش‌تری دارد، می‌توان تا حد زیادی از اتلاف انرژی جلوگیری کرد. بنابراین می‌توان ترکیب پمپ‌های دور متغیر و دور ثابت را برای تأمین نیاز واقعی سامانه به‌کار گرفت. در این مطالعه با توجه به لزوم گسترش آبیاری کم‌فشار، جنبه‌های هیدرولیکی این پیشنهاد، نحوه ترکیب پمپ‌ها، انتخاب دور مورد نیاز پمپ دور متغیر و مزایای اقتصادی جایگزینی پمپ دور متغیر در بهره‌برداری، در یک مسئله عملی بررسی شده است. نتایج حاکی است که با ترکیب پمپ‌ها در شرایط بهره‌برداری، توان ورودی به سامانه کنترل شده و اتلاف انرژی کاهش می‌یابد. هم‌چنین در دبی‌های بالا افزایش راندمان و در دبی‌های پایین کاهش راندمان کلی پمپ‌ها مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری کم فشار، پمپاژ ثانویه، پمپ دور متغیر، تغییرات دبی، مصرف انرژی

مقدمه

در برخی از سامانه‌های آبی برای تأمین هد مورد نیاز و دبی متناسب با آن، آب تا ارتفاع مشخص و ثابتی در یک مخزن پمپاژ می‌شود تا میزان هد همیشه در ابتدای سیستم تأمین شده و ثابت باشد. به عنوان مثال در سامانه‌های آبیاری کم فشار، این ارتفاع مشخص با توجه به هد مورد نیاز و در ماه حداکثر مصرف سامانه تعیین می‌شود. آبیاری کم فشار در برخی از مناطق کشور ایران نیز به کار می‌رود و به دلیل برخی مزایا، احتمالاً کاربرد آن گسترش بیش‌تری خواهد یافت. در برخی از این پروژه‌ها در کنار کانال آب‌رسان، ایستگاه‌های پمپاژی تأسیس می‌شود که به آن‌ها ایستگاه پمپاژ ثانویه[2] اطلاق می‌شود و آب را به ارتفاع مشخصی در یک مخزن می‌فرستند. این ارتفاع مشخص با توجه به تقاضای سامانه تعیین می‌شود که مسلماً در فصول مختلف سال متغیر است. مخزن در ابتدای خط انتقال آب قرار دارد و آن خط به نوبه خود به زیرشاخه‌های دیگر و در نهایت به کانال‌های مزرعه و یا هیدروفلوم‌هایی منتهی می‌شود که وظیفه انجام آبیاری سطحی را دارند. در نتیجه کل سامانه، نسبت به سامانه‌های تحت‌فشار، نیاز به فشار کم‌تری دارد و بنابراین، کم‌فشار خوانده می‌شود.

در این روش آبیاری، پمپ‌ها، آب را از حوضچه مکش توسط لوله‌های فشار به مخزن می‌فرستند. ظرفیت پمپ‌های انتخابی بر اساس نیاز حداکثر در دوره بهره‌برداری طراحی می‌شود و در مواقعی که تقاضا کاهش می‌یابد پمپ به کار خود ادامه داده و آب اضافی فرستاده شده به مخزن توسط لوله کنار گذر به حوضچه مکش برگشت داده می‌شود. با این کار از هدر رفت آب زیادی جلوگیری شده اما به‌دلیل اینکه در کار پمپ تغییری ایجاد نشده، هدر رفت انرژی قابل توجهی صورت می‌گیرد زیرا حجم آب جابجا شده زیاد است. در این شرایط با به‌کارگیری پمپ دور متغیر می‌توان کار پمپ را کم نموده و با توجه به تقاضای سامانه، دور پمپ تنظیم شود. هم‌چنین به دلیل اندازه نسبتاً بزرگ دهانه هیدروفلوم‌ها، با توجه به زیاد بودن هد تأمین شده توسط پمپ نسبت به هد مورد نیاز سامانه در شرایطی که پمپ با دور ثابت کار می‌کند، دبی خروجی از هیدروفلوم نسبت به دبی مورد نیاز، افزایش زیادی خواهد داشت. به همین دلیل پخش دبی در

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
2- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: (Email: parvarsh@ut.ac.ir

سطح منطقه یکنواختی خود را از دست می‌دهد و آب زیادی در ابتدای سامانه به هدر می‌رود، در صورتی که هنوز نقاط انتهایی به‌خوبی آب دریافت نکرده‌اند. به نظر می‌رسد این مشکل نیز با به‌کارگیری پمپ دور متغیر تا مقدار زیادی قابل رفع است. به طور کلی انعطاف‌پذیری در کاربرد پمپ‌های دور متغیر و کاهش دور موتور و پمپ در موقع مناسب می‌تواند شرایط سیستم پمپاژ و شرایط بهره‌برداری را بر هم منطبق سازد و راندمان مصرف انرژی را افزایش دهد (Hanson et al., 1996 a).

در این تحقیق، با بررسی یک سامانه آبیاری کم فشار که از یک ایستگاه پمپاژ ثانویه استفاده می‌کند و توجه به تغییر تقاضای نیاز آبی در طول دوره، طراحی هیدرولیکی ایستگاهی مدنظر قرار گرفته است که در آن پمپ دور متغیر و پمپ دور ثابت به صورت ترکیبی به‌کار گرفته شده‌اند و میزان انرژی مصرفی در این حالت با شرایطی که پمپ با دور ثابت کار می‌کند، مقایسه شده است. هانسن و همکاران به بررسی میزان مصرف انرژی در سامانه در شرایط مختلف سامانه پمپاژ پرداختند. آن‌ها مطالعات خود را در یک ناحیه آبیاری انجام دادند و آن را به پنج بخش تقسیم نمودند و برای هر منطقه شرایط آبیاری متفاوت در نظر گرفتند. آن‌ها با استفاده از درایو فرکانس متغیر در بعضی از بخش‌ها، به منظور تغییر سرعت پمپ برای رسیدن به نیاز آبی مورد نظر، انرژی مصرف شده را محاسبه نمودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که به طور معقولی می‌توانند عملکرد پمپ را در زمان کاهش نیاز مصرف، با کاهش نیاز به انرژی تنظیم نمایند. هم‌چنین، انرژی مورد نیاز مناطق مورد مطالعه که از درایوهای فرکانس متغیر در تأسیسات پمپاژ استفاده می‌کردند، کاهش 32 تا 56 درصدی را نشان داد، که این کاهش در چهار ناحیه بالاتر از 39 درصد بوده است (Hanson et al., 1996 b).

لامادالنا و ساگاردوی به بررسی سامانه‌های تحت فشار که بر اساس نیاز آبیاری می‌شوند، پرداختند. آن‌ها روشی را برای افزایش راندمان آب پیشنهاد کردند که بر اساس آن، نزاع بین کشاورزان و ایراداتی که برای تجهیزات سامانه، در اثر کاربرد نادرست آب آبیاری ایجاد می‌شود، کاهش یابد. هدف آن‌ها از این تحقیق، معرفی روش جدیدی برای طراحی و ارزیابی عملکرد سامانه‌های تحت‌فشار بود. آن‌ها منحنی‌های سامانه را، در بازه تغییرات نیاز 10 تا 93 درصدی سامانه، رسم کردند. سپس با توجه به تغییرات منحنی پمپ دورمتغیر، توانستند مصرف انرژی را با توجه به تغییرات نیاز سامانه محاسبه کنند. آن‌ها دریافتند که تلفات توان مصرفی در صورت تغییر نیاز سامانه و با کاربرد پمپ دور متغیر، تا 21 درصد کاهش می‌یابد (Lamaddalena and Sagardoy, 2000). کامورانو و دلپین به بررسی تأثیر درایوهای فرکانس متغیر در ایستگاه‌های پمپاژی پرداختند که برای نمک‌زدایی در یک منطقه کشاورزی استفاده می‌شدند. آن‌ها استفاده از توان الکتریکی درایوهای فرکانس متغیر (VFD)3 را راه مؤثری در کاهش هزینه دانستند. هم‌چنین بیان کردند که این درایوها برای اطمینان از کنترل دقیق سرعت و گشتاور ماشین‌های چرخشی درایو الکتریکی (مثل پمپ‌ها، پنکه‌ها، کمپرسورها)، در دامنه وسیعی از فرایندهای صنعتی مورد استفاده هستند. آن‌ها به منظور بررسی عملکرد پمپ‌ها، پمپ‌های VFD را با سامانه‌های مکانیکی تنظیم جریانی که معمولاً مورد استفاده هستند (مثل فن‌ها، جعبه‌دنده‌ها و کوپلینگ‌های هیدرولیکی) مقایسه کرده و مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که VFDها با قابلیت کنترل انعطاف‌پذیر و دقیقشان، مدیریت انرژی سودمندتری را فراهم می‌کنند و استفاده از آن‌ها باعث کاهش هزینه و پیشرفت قابل توجهی در کارها و برگشت سرمایه در مدت زمان کوتاهی می‌شود (Camoirano and Dellepiane, 2005).

بهشتیان و همکاران (1387) بهره‌برداری بهینه از ایستگاه‌های پمپاژ با استفاده از راه‌اندازهای نرم (سافت استارتر) و درایو کنترل دور را بررسی کردند. آن‌ها با توجه به مشکلات موجود در ایستگاه‌ها و اینکه اکثر مشکلات پروژه‌های انتقال و توزیع آب در ایستگاه‌های پمپاژ بروز می‌کند، مسائلی چون استهلاک بالای الکتروپمپ‌ها، نوسانات آب در آبگیرها در فصول مختلف، مصرف بالای انرژی، وقوع ضربه قوچ، عدم امکان مدیریت و کنترل متمرکز ایستگاه‌ها، مشکلات مربوط به طراحی و تجهیزات به‌کار رفته و شیوه‌های بهره‌برداری، عدم حفاظت موتورهای الکتریکی در مقابل نوسات برق را از مسائل عمده قابل تأمل در ایستگاه‌های پمپاژ دانستند. آن‌ها با توجه به روش‌های آبیاری تحت فشار و عوامل تلفات انرژی مانند افزایش فشار خروجی پمپ، کاهش راندمان الکتروموتور و آسیب به تأسیسات پمپاژ، مخصوصاً در شرایط شروع و توقف کار پمپ، به این نتیجه رسیدند که با کاربرد روش صحیح راه‌اندازی پمپ‌ها، علاوه بر بهره‌برداری بهینه از ایستگاه‌های پمپاژ، اهدافی چون صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش استهلاک تجهیزات الکتریکی و تقسیم استهلاک بین الکتروموتورها، کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و در نهایت توجیه‌پذیری بهتر طرح‌ها، تحقق می‌یابد.

لامادالنا و خیلا صرفه‌جویی انرژی در سامانه‌های آبیاری که بر اساس نیاز آبیاری می‌شوند (بهره‌برداری تقاضامدار) را بررسی کردند. هدف آن‌ها تعیین بهترین نقطه عملکرد ایستگاه پمپاژ برای مصرف بهینه انرژی بود. آن‌ها دستیابی به این هدف را در انطباق دبی و هد فشار مورد نیاز (منحنی مشخصه سامانه) در طول دوره آبیاری، با منحنی‌های مشخصه ایستگاه پمپاژ دانستند. آن‌ها در این تحقیق انواع روش‌های تغییر سرعت را معرفی کرده و مورد ارزیابی قرار دادند. تفاوت میزان مصرف انرژی در هر یک از این روش‌ها، برای دو بخش آبیاری در جنوب ایتالیا با یکدیگر مقایسه شد. صرفه‌جویی انرژی در این دو بخش در حدود 27 و 35 درصد به‌دست آمد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که روش تنظیم ایستگاه پمپاژ باید بر اساس

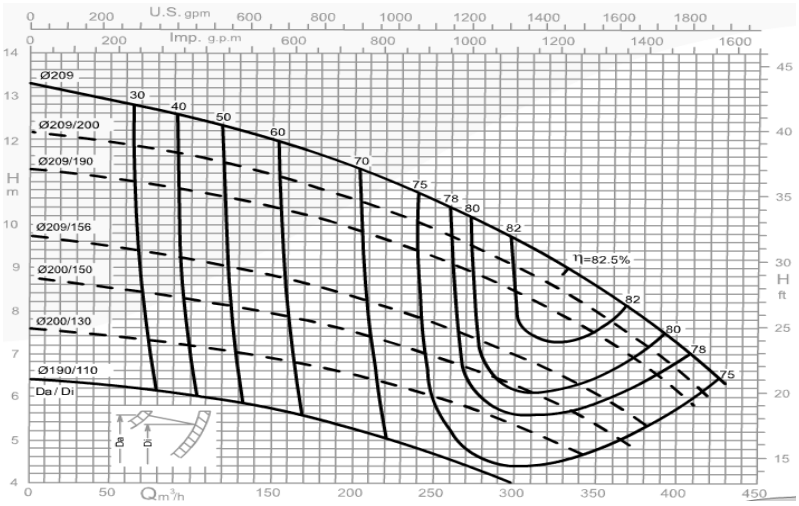
منحنی‌های مشخصه سامانه، روشی که برای تغییر دور پمپ انتخاب می‌شود و هیدروگراف‌های ثبت شده از نیاز بالادست شبکه، انتخاب شود (Lamaddalena and Khila, 2012).

در تحقیق حاضر با کاربرد منحنی سامانه (که معمولاً در طرح‌ها نادیده گرفته می‌شود) و اعمال تغییر دور در برخی پمپ‌های ایستگاه در شرایط بهره برداری تقاضامدار، شرایط هیدرولیکی و مصرف انرژی ایستگاه پمپاژ و سامانه آبیاری کم فشار مورد مطالعه قرار گرفته است. تأکید می‌شود که هدف اصلی مقاله ارائه روشی مستدل است که بتواند به درستی و با ترکیب مناسبی از پمپ‌های دور متغیر، مصرف انرژی و شرایط کار پمپ‌ها را در حد مطلوب نگهدارد و اصول و مراحل این روش بتواند برای هر طرح آبیاری تحت فشار به‌کار رود. علاوه بر این با توجه به عدم کاربرد این پمپ‌ها در کشور، که در دنیا سابقه نسبتاً طولانی دارند، این تحقیق می‌کوشد تا روش صحیح انتخاب و ترکیب آن‌ها را که اثر بارزی بر مصرف انرژی دارد مطرح کند و اهمیت این مبحث را، که در طراحی‌های متداول کشور کم‌تر مورد توجه قرار گرفته، نشان دهد.

مواد و روش‌ها

سامانه‌های کم فشار عمدتاً برای انتقال آب در بالادست یک روش آبیاری سطحی به‌کار می‌روند و تأمین هد و دبی مناسب برای کاربرد در مزرعه، از آن‌ها انتظار می‌رود. برای تعیین نقش پمپ‌های دور متغیر در این سامانه ها، که بتوانند متناسب با نیاز واقعی گیاه کار کنند و کم‌ترین تلفات آب و انرژی را به همراه داشته باشند، نمونه‌ای از طراحی برای یک مزرعه ذرت با مساحت کم در نظر گرفته شده است. باز هم لازم به ذکر است که همه مراحل مشروح این بخش را می‌توان برای هر طرح آبیاری تحت فشار به کار برد و نقش کاربرد انواع پمپ دور متغیر و دور ثابت را در آن‌ها ارزیابی کرد. در این تحقیق در نظر است که یک ایستگاه پمپاژ ثانویه، برای استفاده در سامانه آبیاری کم فشار در زمین زیر کشت ذرت طراحی شود. بعد از طراحی سیستم کم‌فشار، میزان آبدهی و ارتفاع معادل فشار مورد نیاز سامانه در ماه حداکثر مصرف به‌ترتیب، 640 لیتر بر ثانیه و 4/8 متر به‌دست آمد. با توجه به اینکه دبی مورد نیاز سامانه قابل توجه است و خطرپذیری خرابی و نیاز به تعمیرات بالاست برای ایستگاه از 8 پمپ مشابه با اندازه کوچک‌تر استفاده شد که منحنی دبی-هد آن در شکل 1 و مشخصات کامل آن در جدول 1 آورده شده است. این 8 پمپ به‌صورت موازی به یکدیگر متصل هستند و در مواقعی که نیاز سامانه کاهش می‌یابد تعدادی از پمپ‌ها خاموش می‌شوند (روشی که در بهترین حالت طرح‌های پمپ دور ثابت با استفاده از خاصیت پمپ‌های موازی به کار می‌رود). منحنی‌های پمپ معادل و نقطه کار هر یک از پمپ‌ها در شرایطی که تمام پمپ‌ها با دور ثابت کار می‌کنند، در شکل 2 آمده است.

اگر در سیستم تغییراتی مثل افزایش ضریب زبری در طول لوله‌ها به‌دلیل افزایش طول عمر سیستم، کاهش یا افزایش نیاز دبی روزانه و یا ایجاد شکست در طول لوله که خود باعث تغییر ناگهانی هد دینامیک و یا هد استاتیکی سیستم است، اتفاق افتد، تغییراتی در منحنی سیستم ایجاد می‌کنند. در حالی که در این شرایط پمپ با یک دورثابت به کار خود ادامه می‌دهد و باعث عملکرد نامطلوب سیستم و یا باعث تلفات زیاد انرژی خواهد شد.



شکل 1 – منحنی پمپ منتخب برای سامانه کم فشار (پمپ اتانرم 200-150، 1450 rpm).

جدول 1 – مشخصات تجاری پمپ‌های انتخاب شده برای سامانه آبیاری کم فشار.

مشخصات	مقادیر
آبدهی پمپ (متر مکعب بر ثانیه)	303/8
ارتفاع آبدهی (متر)	5/4
بازده %	77/5
سرعت دورانی (rpm)	1450
توان الکترو موتور(کیلو وات)	11
تعداد الکترو موتور	8

- محاسبه توان مصرفی و انرژی مورد نیاز ایستگاه پمپاژ با کاربرد پمپ‌های دور ثابت

روش اول کنترل مصرف انرژی، خاموش و روشن کردن تعدادی از پمپ‌ها با توجه به کم و زیاد شدن نیاز سامانه است. برای محاسبه توان مصرفی پمپ ابتدا باید توانی که پمپ به سیال انتقال می‌دهد، توسط رابطه 1 محاسبه شود:

$$P_U = \gamma . Q . H_p$$

که در آن P_U، توان خالص پمپ بر حسب وات؛ γ، وزن مخصوص سیال بر حسب نیوتن بر مترمکعب؛ و H_P هد تولید شده توسط پمپ بر حسب متر است. توان مصرفی پمپ در ماه حداکثر مصرف (تیرماه) با توجه به جدول 2 برابر 35/6 کیلو وات محاسبه شده است. سپس توان مورد نیاز پمپ با توجه به راندمان در نقطه کار پمپ، از رابطه 2 به‌دست می‌آید:

$$P_a = \frac{P_U}{\eta_t}$$

که در آن Pa، توان مصرفی پمپ و η_t، راندمان کلی پمپ است. انرژی مورد نیاز پمپ در هر ماه، از ضرب توان مصرفی در مدت زمان آبیاری در هر دوره به‌دست می‌آید. این مقدار در ماه حداکثر مصرف، 5576 کیلو وات ساعت محاسبه شده است. ساعات و تعداد روزهای آبیاری در این مطالعه در جدول 2 به همراه محاسبه توان و انرژی مورد نیاز در هر دور آبیاری آمده است. در این محاسبات دبی مورد نیاز سامانه، هد مورد نیاز، زمان کارکرد روزانه پمپ و دور آبیاری ماهانه از محاسبات هیدرولیکی و طراحی سامانه آبیاری کم فشار به‌دست آمده‌اند و تعداد پمپ‌های فعال در هر ماه با توجه به دبی مورد نیاز سامانه انتخاب شده‌اند؛ به‌طوری که دبی پمپ و دبی مورد نیاز سامانه کم‌ترین اختلاف ممکن را داشته باشند (تعداد آن‌ها از 6 تا 8 عدد در طول دوره آبیاری متغیر است)، یعنی در دوره‌ای که کم‌ترین مصرف وجود دارد، 2 پمپ از مدار خارج می‌شود.

طبق جدول 2، هد و دبی ایجاد شده توسط پمپ از هد و دبی مورد نیاز سامانه بیش‌تر است. دبی اضافه توسط مجاری کنارگذر به حوضچه مکش پمپ‌ها باز می‌گردد؛ ولی هدررفت انرژی قابل توجهی در سامانه ایجاد می‌شود. بر این اساس میزان تلفات انرژی در ماه حداکثر مصرف، 14/8 درصد کل انرژی مصرفی است. بر اساس محاسبات میزان هدر رفت انرژی نسبت به نیاز واقعی، در طول سال از 14/8 تا 50/4 درصد متغیر است و هم‌چنین هدر رفت انرژی در ماه حداکثر کم‌ترین میزان را به خود اختصاص می‌دهد زیرا طراحی و انتخاب پمپ بر اساس آن انجام شده است، اما در دوره‌ای که دبی و هد مورد نیاز کم‌ترین میزان را داشته، بیش‌ترین هدررفت مشاهده می‌شود. در این تحقیق برای محاسبه هدر رفت انرژی، انرژی مصرفی نسبت به نیاز واقعی سنجیده شده، یعنی زمانی که پمپ در نقطه راندمان بهینه خود کار می‌کند و نیاز واقعی سامانه را با توجه به هد و دبی مورد نیاز در هر زمان، تأمین می‌کند.

- محاسبه توان و انرژی مصرفی ایستگاه پمپاژ با نصب درایو تغییر دور برای تمام پمپ‌ها

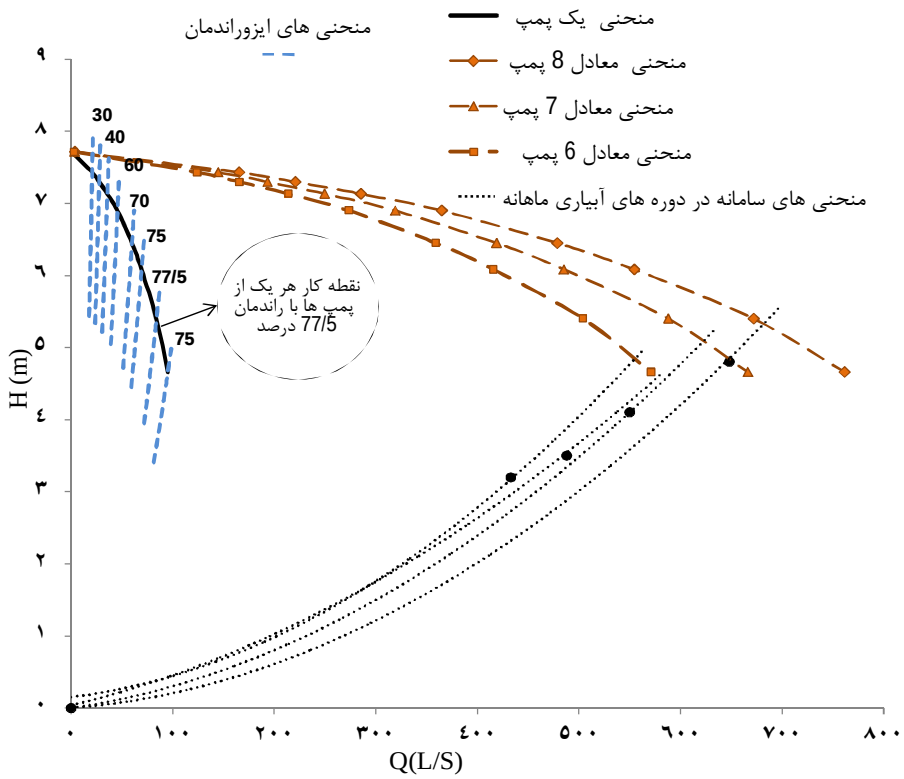
در این قسمت روش دوم یعنی اثر تغییر دور پمپ‌ها برای تنظیم دبی سامانه بررسی شده است. در این روش، با تغییر نیاز سامانه در طول دوره آبیاری، پمپی از مدار خارج نمی‌شود و تنظیم دبی و هد مورد نیاز با تغییر سرعت دورانی پروانه پمپ‌ها صورت می‌گیرد. از آنجا که منحنی پمپ در دورهای محدودی توسط کارخانه ارائه می‌شود، منحنی پمپ در دورهای مختلف باید محاسبه و رسم شود. محاسبه این منحنی‌ها با استفاده از معادلات تشابه برای رژیم کار یک پمپ با دورهای مختلف صورت گرفته است (معادلات 3 و 4):

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{(n_1)^2}{(n_2)^2}$$

که در آن‌ها زیرنویس 1 و 2 به ترتیب بیانگر کار پمپ در سرعت دورانی n_1 و n_2؛ Q، دبی پمپ و H، ارتفاع تولیدی پمپ است. برای محاسبه n مناسب پمپ در هر دور آبیاری، منحنی‌های پمپ در سرعت‌های دورانی مختلف رسم شد. در عمل برای تغییر دور پمپ‌ها، یک درایو تنظیم فرکانس برای هر پمپ نصب می‌شود و دور پمپ با توجه به تغییر نیاز سامانه تنظیم می‌شود. با استفاده از نقطه برخورد منحنی‌های به‌دست آمده با منحنی سامانه، راندمان نقطه کار پمپ برای هر دور آبیاری نیز تعیین می‌شود (شکل 3). با توجه به شکل 3 و تعیین نقطه کار و راندمان هر پمپ، توان مصرفی ماهانه پمپ‌ها محاسبه شده است (جدول 3). طبق جدول 3 دبی و هد مورد نیاز سامانه با دبی و هد تولید شده پمپ‌ها با هم برابر است، که این موضوع خود باعث کاهش مصرف انرژی قابل توجهی شده است. انرژی مورد نیاز در ماه تیر در حالت دوم، 4779/4 کیلو وات ساعت بوده است. با توجه به جدول 2 میزان مصرف در ماه حداکثر نیاز،

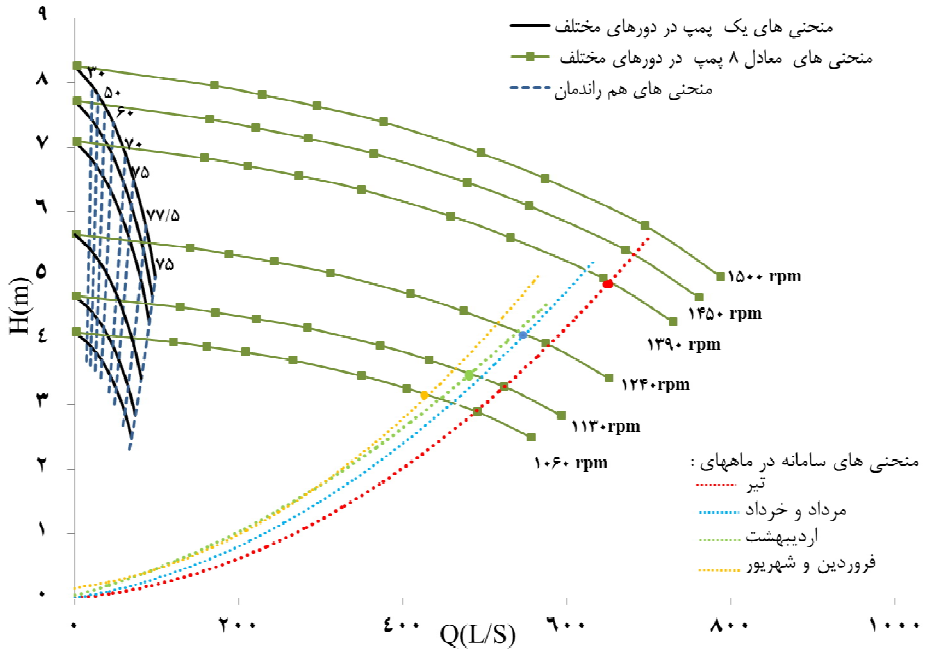
14/8 درصد کاهش نشان داده است و در طول دوره مصرف انرژی، تا 50/3 درصد در ماه نیز کاهش یافته است.



شکل 2 – رسم منحنی‌های پمپ معادل و منحنی‌های سامانه در هر دور آبیاری و تعیین نقطه کار هر یک از پمپ‌ها با دور 1450 rpm در روش اول

جدول 2 – خلاصه محاسبات مربوط به پمپ‌ها و انرژی مصرفی ماهانه در ایستگاه پمپاژ (روش اول).

نوع تنظیم	ماه / عنوان	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
خاموش و روشن کردن پمپ ها	دبی مورد نیاز سیستم (متر مکعب بر ثانیه)	۰/۴۳۳	۰/۴۸۸	۰/۵۵	۰/۶۴۸	۰/۵۵۰	۰/۴۳۳	-
	هد مورد نیاز سیستم (متر)	۳/۲	۳/۵	۴/۱	۴/۸	۴/۱	۳/۲	-
	زمان کارکرد روزانه پمپ (ساعت)	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	-
	دور آبیاری ماهانه (روز)	۳/۷	۶/۵	۷/۵	۱۰	۸/۳	۴/۸	-
	تعداد پمپ های فعال ایستگاه پمپاژ	۶	۶	۷	۸	۷	۶	-
	دبی خروجی از پمپها (متر مکعب بر ثانیه)	۰/۵۰۲	۰/۵۰۴	۰/۵۹	۰/۶۷۲	۰/۵۹	۰/۵۰۴	-
	هد تولید شده توسط پمپ (متر)	۵/۴	۵/۴	۵/۴	۵/۴	۵/۴	۵/۴	-
	راندمان نقطه کارکرد پمپ با دور ثابت	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۷۵	-
	توان مصرفی پمپها (کیلو وات)	۳۵/۶	۳۵/۶	۴۱	۴۶/۵	۴۱	۳۵/۶	-
	انرژی مورد نیاز پمپها (کیلو وات ساعت)	۱۵۷۹	۲۷۹۱	۳۶۸۸	۵۵۷۶	۴۱۰۲	۲۰۶۹	۱۹۸۰۵
	هدر رفت انرژی (درصد)	۵۰/۴	۳۸/۹	۲۹/۹	۱۴/۸	۲۹/۹	۵۰/۴	۳۱/۹
	هزینه انرژی مصرفی (هزار تومان)	۲۲	۳۹	۵۲	۷۸	۵۷	۲۹	۲۷۷/۳



شکل 3 – رسم منحنی‌های پمپ و پمپ معادل محاسبه شده در دورهای مختلف و منحنی سامانه در طول دوره آبیاری در روش دوم

جدول 3 – خلاصه محاسبات مربوط به پمپ‌ها و انرژی مصرفی ماهانه در ایستگاه پمپاژ (روش دوم).

نوع تنظیم	ماه / عنوان	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
نصب درایو تنظیم دور	دبی مورد نیاز سیستم (متر مکعب بر ثانیه)	۰/۴۳۳	۰/۴۸۸	۰/۵۵	۰/۶۴۸	۰/۵۵۰	۰/۴۳۳	-
	هد مورد نیاز سیستم (متر)	۳/۲	۳/۵	۴/۱	۴/۸	۴/۱	۳/۲	-
	زمان کارکرد روزانه پمپ (ساعت)	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	-
	دور آبیاری ماهانه (روز)	۳/۷	۶/۵	۷/۵	۱۰	۸/۳	۴/۸	-
	تعداد پمپ های فعال ایستگاه پمپاژ	۸	۸	۸	۸	۸	۸	-
	دبی خروجی از پمپها (متر مکعب بر ثانیه)	۰/۴۳۳	۰/۴۸۸	۰/۵۵	۰/۶۴۸	۰/۵۵۰	۰/۴۳۳	-
	هد تولید شده توسط پمپ (متر)	۳/۲	۳/۵	۴/۱	۴/۸	۴/۱	۳/۲	-
	راندمان نقطه کارکرد پمپ	۰/۷۵۵	۰/۷۶	۰/۷۷۲	۰/۷۶۵	۰/۷۷۲	۰/۷۵۵	-
	توان مصرفی پمپها (کیلو وات)	۱۸	۲۲	۲۸/۷	۳۹/۹	۲۸/۷	۱۸	-
	انرژی مورد نیاز پمپها (کیلو وات ساعت)	۷۹۸	۱۷۲۸	۲۵۷۹	۴۷۷۹	۲۸۶۸	۱۰۴۶	۱۳۷۹۹
	هدر رفت انرژی (درصد)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	هزینه انرژی مصرفی (هزار تومان)	۱۱	۲۴	۳۶	۶۷	۴۰	۱۵	۱۹۳/۲

- توان مصرفی و انرژی مورد نیاز با نصب درایو تغییر دور روی تعدادی از پمپ‌ها

روش دیگری که می‌توان برای کاهش انرژی و هزینه انجام داد این است که تعدادی از پمپ‌ها مانند قبل با دور ثابت فعال باشند و تعدادی دیگر با دور متغیر کار کنند. به‌طور مثال در دوره‌ای که 7 پمپ فعال است 4 پمپ با ظرفیت کامل و 3 پمپ با دور متغیر در مدار پمپ‌ها کار کنند (روش سوم).

منحنی‌های پمپ معادل در هر دور آبیاری در شکل 4 رسم شده و نقطه کار هر کدام از پمپ‌ها تعیین شده است. به این صورت که بعد از رسم منحنی پمپ 1450 rpm، منحنی‌های دیگر پمپ با سرعت‌های 1250 تا 1400 rpm محاسبه و رسم شده‌اند. با توجه به اینکه 4 پمپ همواره با سرعت 1450 rpm کار می‌کنند، منحنی معادل 4 پمپ 1450 rpm نیز رسم شده است و تعداد مناسب پمپ دور متغیر فعال و سرعت مناسب آن‌ها برای هر ماه، تعیین و رسم شده است. سپس منحنی معادل نهایی (مجموع منحنی معادل 4 پمپ 1450 rpm و منحنی معادل پمپ‌های دور متغیر فعال در هر ماه) نیز رسم شده

است. با توجه به نقطه برخورد منحنی سامانه در هر ماه با منحنی معادل نهایی رسم شده، نقطه کارکرد پمپ معادل نهایی به‌دست می‌آید. به منظور تعیین راندمان هر یک از پمپ‌ها، از نقطه کارکرد به‌دست آمده در هر ماه، به سمت محور عمودی یک خط موازی رسم می‌شود، با توجه به منحنی‌های هم‌راندمان و نقطه برخورد خط رسم شده با منحنی یک پمپ با سرعت مورد نظر، راندمان هر پمپ نیز تعیین می‌شود. به‌طور مثال در ماه تیر منحنی معادل 8 پمپ (ترکیب 4 پمپ 1450 rpm و 4 پمپ 1400 rpm) رسم شده است و با توجه به منحنی سامانه در ماه تیر، نقطه کار هر یک از پمپ‌ها تعیین شده است، به‌طوری که هر پمپ 1450 rpm با راندمان 76/5 درصد و هر پمپ 1400 rpm با راندمان 77/5 درصد است.

نتیجه‌گیری و بحث

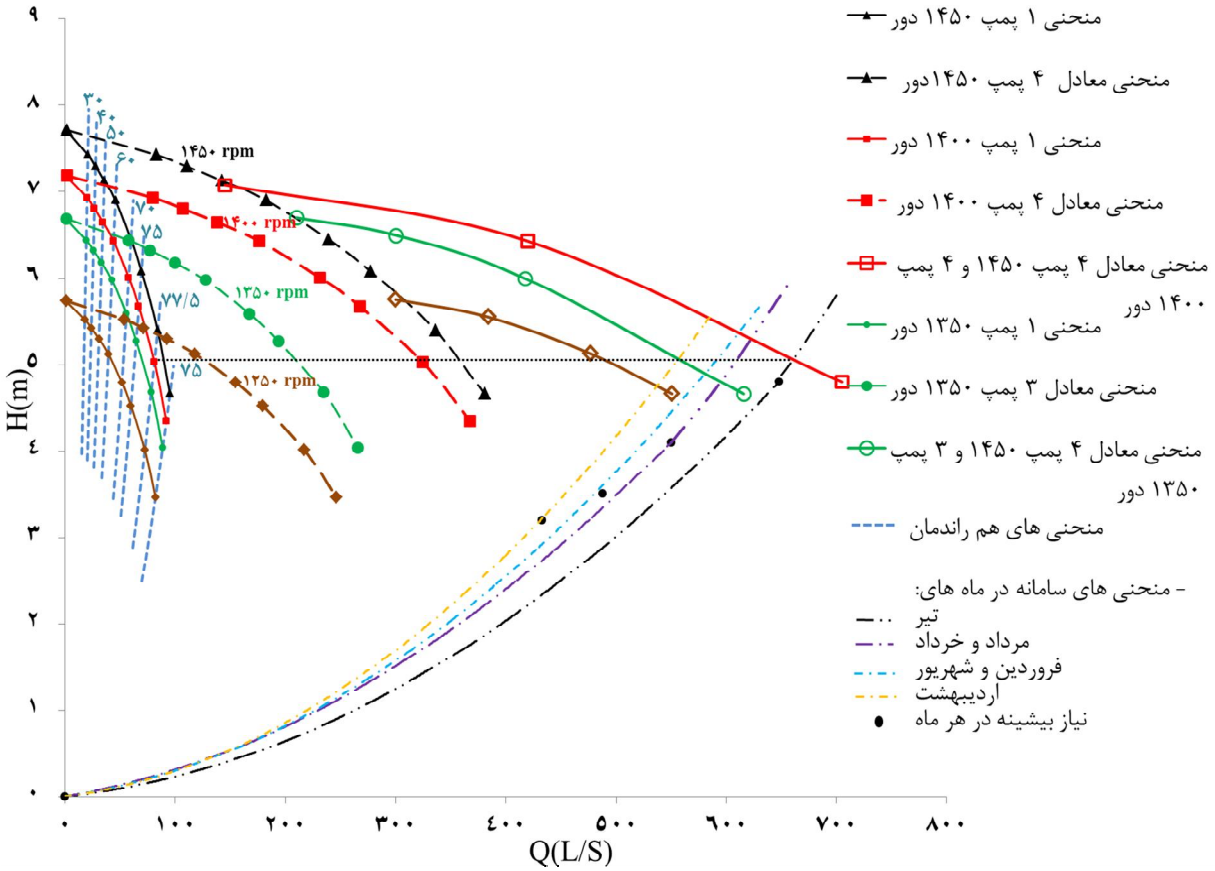
به‌منظور تنظیم دبی پمپاژ، سه روش مورد بررسی قرار گرفته است. در روش اول که روش متداول کنترل دبی در ایستگاه‌های پمپاژ ثانویه است، با توجه به نیاز سامانه تعداد پمپ‌های فعال ایستگاه پمپاژ در دوره آبیاری متغیر است، یعنی در مواقعی که نیاز سامانه کاهش می‌یابد تعدادی از پمپ‌ها، بسته به میزان نیاز سامانه خاموش می‌شود در این حالت، انرژی مورد نیاز سالانه پمپ‌ها، به میزان19800 کیلو وات ساعت محاسبه شده است که با توجه به قیمتی که برای مصرف هر کیلووات، توسط وزارت نیرو مقرر گردیده است (140 ریال به‌ازای هر کیلو وات ساعت[4])، هزینه‌ای بالغ بر 277هزار تومان خواهد داشت که با توجه به تقاضای سامانه، به طور متوسط حدود 31/9% آن هدر رفته است (با توجه به مقادیر ماهانه به‌دست آمده از جدول 2).

استفاده از ترکیب پمپ‌های دور متغیر و دور ثابت نیز مصرف انرژی را کاهش می‌دهد اما این کاهش نسبت به زمانی که تمام پمپ‌ها به صورت دور متغیر فعالند کم‌تر است. البته تا قبل از رسم منحنی‌های پمپ معادل در هر دوره، به نظر می‌آمد که کاهش انرژی بیش‌تری حاصل شود. اما با رسم دقیق منحنی‌ها و بررسی آن‌ها کاهش انرژی کمی حاصل شده است. در ادامه نتایج به‌دست آمده در جدول 4 آورده شده است. با توجه به این جدول، مصرف انرژی در حالت سوم کاهش زیادی نداشته و 6 درصد کاهش انرژی حاصل شده است. شایان ذکر است که با خارج کردن بعضی پمپ‌ها از مدار در زمان کاهش نیاز، مصرف انرژی الکتریکی کاهش می‌یابد. اما هنوز انرژی قابل ملاحظه‌ای در طول سامانه به هدر می‌رود.

در روش دوم، با نصب درایو تغییر دور بر روی تمام پمپ‌ها به منظور تنظیم دبی و هد مورد نیاز، انرژی مورد نیاز سالانه پمپ‌ها، به میزان13800 کیلو وات ساعت محاسبه شده است که نسبت به روش اول، هدر رفت انرژی وجود نداشته است (با توجه به مقادیر ماهانه به‌دست آمده از جدول 3). در روش سوم، با نصب درایو تغییر دور بر روی تعدادی از پمپ‌ها، انرژی مورد نیاز سالانه پمپ‌ها، به میزان18400 کیلو وات ساعت محاسبه شده است که نسبت به روش اول، هدر رفت انرژی 6 درصد کاهش نشان داده است (با توجه به مقادیر ماهانه بدست آمده از جدول 4). جدول 5 به عنوان یک جمع بندی کلی از عملکرد سه روش بررسی شده، ارائه شده است.

با توجه به سه روش مورد بررسی، در صورت نصب درایو تغییر دور قابلیت تنظیم دبی ایستگاه پمپاژ با نیاز سامانه افزایش می‌یابد و هم‌چنین راندمان کارکرد پمپ افزایش می‌یابد. چگونگی تغییر راندمان هر یک از پمپ‌ها برای تأمین نیاز سامانه در طول دوره آبیاری، در هر یک از سه حالت مورد بررسی در نمودار شکل 5 آورده شده است. بالا رفتن راندمان کاری پمپ باعث کاهش استهلاک پمپ و کاهش دوره‌های بازنگری و تعمیر پمپ و در راستای آن طولانی شدن طول عمر مفید پمپ می‌شود. این مزایا باعث کاهش هزینه‌های انرژی و نگهداری پمپ می‌شوند. این منحنی تغییرات راندمان در دوره بهره‌برداری را در هر روش نشان می‌دهد، ولی چون طراحی هر سه روش بر اساس نیاز واقعی سیستم انجام شده و در انتخاب پمپ دقت زیادی در مقایسه گزینه‌های موجود به عمل آمده، به طور کلی راندمان‌ها بالاست. هم‌چنین میزان توان مصرفی توسط پمپ‌ها در هر یک از روش‌ها به ازای دبی‌های مختلف در شکل 6 نشان داده شده است. به خوبی مشخص است که در دبی‌های پایین‌تر (یعنی برای ماه‌هایی که در اوج مصرف نیستند) تفاوت بیش‌تری بین روش‌ها وجود دارد. در واقع عمده تلفات انرژی برای زمان‌هایی رخ می‌دهد که سیستم‌های متداول پمپاژ دور ثابت، برای آن زمان‌ها طراحی نشده‌اند.

در این تحقیق با ارائه روش طراحی و محاسبات یک نمونه از کاربردهای پمپ‌های دورمتغیر و ارائه نتایج به‌کارگیری آن‌ها در سامانه‌های کم فشار، مزایای به‌کارگیری این تجهیزات در سامانه‌های آبیاری و به‌ویژه کاهش انرژی مصرفی نشان داده شد. البته باید به این نکته توجه کرد که در روش‌های تنظیم بهره‌برداری که ارائه شد، طراحی اولیه سامانه و انتخاب پمپ با استفاده از منحنی‌های سامانه انجام شده است و در واقع نزدیک‌ترین انتخاب به نیاز سیستم انجام شده است. حتی در روش خاموش و روشن کردن پمپ‌های دور ثابت، برنامه بهره برداری به گونه‌ای تنظیم شده است که کم‌ترین تلفات انرژی روی دهد. این در حالی است که در بسیاری از سامانه‌های آبیاری موجود، طراحی، انتخاب و بهره برداری پمپ‌ها یا با دقت کافی انجام نشده است و یا برنامه‌ریزی فقط بر اساس نیاز به حداکثر دبی در یک دوره به‌خصوص صورت گرفته است. بدیهی است که در این حالت‌ها تلفات انرژی مقادیر بسیار بیش‌تری را به خود اختصاص می‌دهد.



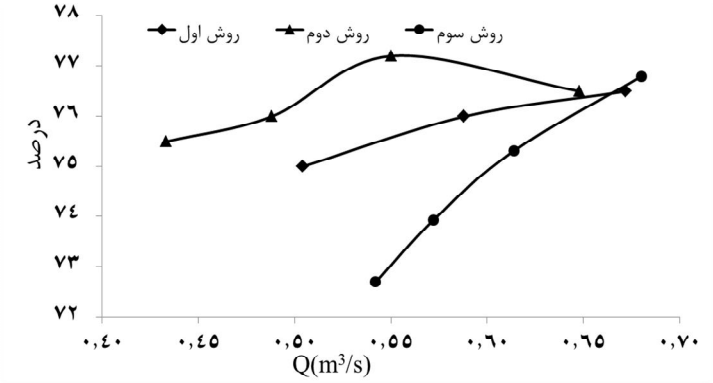
شکل 4 – رسم منحنی‌های پمپ معادل در هر دور آبیاری و تعیین نقطه کار هر پمپ (روش سوم).

جدول 4- محاسبه انرژی مورد نیاز ماهانه و سالانه پمپ‌ها و هدر رفت آن در ایستگاه پمپاژ (حالت سوم).

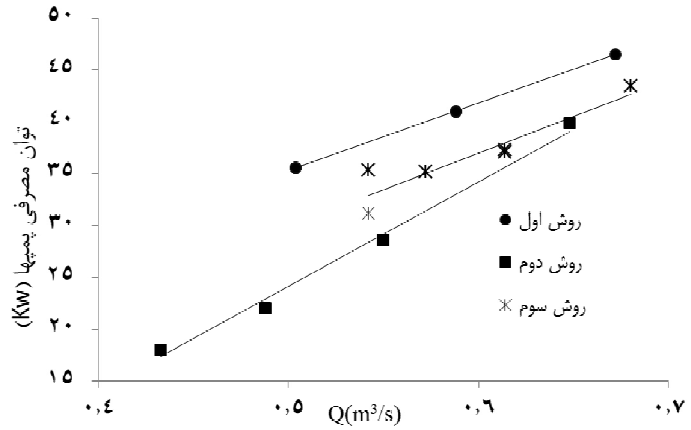
نوع تنظیم	عنوان \ ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
ترکیب پمپ‌های دور ثابت و دور متغیر	دبی مورد نیاز سیستم (متر مکعب بر ثانیه)	۰/۴۳۳	۰/۴۸۸	۰/۵۵	۰/۶۴۸	۰/۵۵	۰/۴۳۳	-
	هد مورد نیاز سیستم (متر)	۳/۲	۳/۵	۴/۱	۴/۸	۴/۱	۳/۲	-
	زمان کارکرد روزانه پمپ (ساعت)	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	-
	دور آبیاری ماهانه (روز)	۳/۷	۶/۵۳	۷/۵	۱۰	۸/۳۴	۴/۸۴	-
	تعداد پمپ های فعال ایستگاه پمپاژ: کل	۷	۷	۷	۸	۷	۷	-
	دور ثابت	۴	۴	۴	۴	۴	۴	-
	دور متغیر	۳	۳	۳	۴	۳	۳	-
	دبی خروجی از پمپ‌ها (متر مکعب بر ثانیه)	۰/۵۴۲	۰/۵۷۲	۰/۶۱۴	۰/۶۸	۰/۶۱۴	۰/۵۴۲	-
	هد تولیدشده توسط هر یک از پمپ‌ها (متر)	۴/۸	۴/۶۶	۴/۸	۵/۰۵	۴/۸	۴/۸	-
	راندمان نقطه کارکرد پمپ با دور متغیر	۰/۷	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۷	-
	راندمان نقطه کارکرد پمپ با دور ثابت	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۷	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۷۶	-
	توان مصرفی پمپ‌های دور ثابت (کیلو وات)	۲۳/۷	۲۴/۲	۲۳/۲	۲۳/۰	۲۳/۲	۲۳/۷	-
	توان مصرفی پمپ‌های دور متغیر (کیلو وات)	۱۰/۹	۱۱/۰	۱۴/۲	۲۰/۹	۱۴/۰	۶/۹	-
	انرژی مورد نیاز پمپ ها (کیلو وات ساعت)	۱۵۳۴	۲۷۵۸	۳۳۷۱	۵۲۵۷	۳۷۳۱	۱۷۷۱	۱۸۴۲۸
	هدر رفت انرژی (درصد)	۴۸	۳۷	۲۴	۹	۲۳	۴۱	۲۶
	هزینه انرژی مصرفی (هزار تومان)	۲۱	۳۹	۴۷	۷۴	۲۵	۲۵	۲۵۸

جدول 5- مقایسه سه روش مختلف برای تنظیم بهره برداری از سامانه‌های پمپاژ مورد مطالعه.

نوع تنظیم	عنوان / ماه	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	سالانه
خاموش و روشن کردن پمپها	دبی مورد نیاز سیستم (متر مکعب بر ثانیه)	۰/۴۳۳	۰/۵۵	۰/۶۴۸	۰/۵۵	۰/۴۸۸	۰/۴۳۳	-
	هد مورد نیاز سیستم (متر)	۳/۲	۴/۱	۴/۸	۴/۱	۳/۵	۳/۲	-
	دبی خروجی از پمپها (متر مکعب بر ثانیه)	۰/۵۰۴	۰/۵۹	۰/۶۷۲	۰/۵۹	۰/۵۰۴	۰/۵۰۲	-
	هد تولید شده توسط پمپ (متر)	۵/۴	۵/۴	۵/۴	۵/۴	۵/۴	۵/۴	-
	انرژی مورد نیاز پمپها (کیلو وات ساعت)	۲۰۶۹	۴۱۰۲	۵۵۷۶	۳۶۸۸	۲۷۹۱	۱۵۷۹	۱۹۸۰۵
	هدر رفت انرژی (درصد)	۵۰/۴	۲۹/۹	۱۴/۸	۲۹/۹	۳۸/۹	۵۰/۴	۳۱/۹
نصب درایو تنظیم دور	دبی خروجی از پمپها (متر مکعب بر ثانیه)	۰/۴۳۳	۰/۵۵۰	۰/۶۴۸	۰/۵۵	۰/۴۸۸	۰/۴۳۳	-
	هد تولید شده توسط پمپ (متر)	۳/۲	۴/۱	۴/۸	۴/۱	۳/۵	۳/۲	-
	انرژی مورد نیاز پمپها (کیلو وات ساعت)	۱۰۴۶	۲۸۶۸	۴۷۷۹	۲۵۷۹	۱۷۲۸	۷۹۸	۱۳۷۹۹
	هدر رفت انرژی (درصد)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
ترکیب پمپهای دور ثابت و دور متغیر	دبی خروجی از پمپها (متر مکعب بر ثانیه)	۰/۵۴۲	۰/۶۱۴	۰/۶۸	۰/۶۱۴	۰/۵۷۲	۰/۵۴۲	-
	هد تولید شده توسط پمپ (متر)	۴/۸	۴/۸	۵/۰۵	۴/۸	۴/۶۶	۴/۸	-
	انرژی مورد نیاز پمپها (کیلو وات ساعت)	۱۷۷۱	۳۷۳۱	۵۲۵۷	۳۳۷۱	۲۷۵۸	۱۵۳۴	۱۸۴۲۸
	هدر رفت انرژی (درصد)	۴۱	۲۳	۹	۲۴	۳۷	۴۸	۲۶



شکل 5- تغییرات راندمان پمپ‌ها در هر یک از روش‌های بررسی شده.



شکل 6- مقایسه سه روش بررسی شده از نظر توان مصرفی برای تأمین دبی‌های مختلف

پی‌نوشت‌ها

1- Low Pressure Irrigation
2- Secondary Pumping Station
3- Variable Frequency Drive, (VFD)

4- قطعا این مبلغ در مناطق مختلف و زمانهای مختلف، متفاوت است و در اینجا برای اینکه بتوان هزینه ها را مقایسه کرد و یک ذهنیت کلی برای مقدار هزینه‌ها ایجاد کرد، به‌کار رفته است؛ وگرنه هدف اصلی تحقیق و مقایسه، بر مبنای مصرف انرژی است.

منابع

بهشتیان،ع.، سخایی‌راد،ح و وجدانی،ن. 1387. بهره‌برداری بهینه از ایستگاه‌های پمپاژ با استفاده از راه‌اندازهای نرم (سافت استارتر) و درایوهای کنترل دور. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز.

Camoirano,R. Dellepiane,G. 2005. Variable frequency drive for MSF desalination plant and associated pumping stations. Conference on Desalination and environment, Santa Magherita, Italy. Desalination 182. 53-65.

Hanson,B.R. Weigand,C and Orloff,S. 1996 a. Performance of electric irrigation pumping plants using variable Frequency Drives. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 122.3: 179-182.

Hanson,B.R., Weigand,C and Orloff,S. 1996 b. Variable Frequency Drive for Electric irrigation pumping plants saves energy. California Agriculture 50.1:36-39

Lamaddalena,N. Khila,S. 2012. Energy saving with variable speed pumps in on-demand irrigation systems. Springer, Irrigation Science, 30: 157-166.

Lamaddalena.N., Sagardoy.J.A. 2000. Performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems. FAO irrigation and drainage, paper 59, Room.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 9, Aug.-Sep. 2015, p. 549-559

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره3، جلد9، مرداد - شهریور 1394، ص. 559-549

Assessment the performance of combination of variable speed and constant speed pumps on energy management of low pressure irrigation systems

Z. Raiesian Amiri[1], **A. Parvaresh Rizi**[2*]
Recived: Mar.07, 2015 Accepted: Sep.16, 2015

Abstract

To supply discharge in some low pressure irrigation systems, a certain head is required and water is pumped to a tank at a constant height. This height is determined based on peak water requirement. Since the constant speed pump is used in this process, water and energy consumption efficiency are acceptable in only a small range of pressure and discharge. So when we need less discharge or less height, the extra discharge has returned from tank to the suction sump and also height has been provided more. It causes energy losses and reduction on system efficiency. The use of variable speed pumps, which are more flexible in operation conditions, energy loss can be largely avoided. Hence, variable speed and constant speed pumps can be combined so as to meet the real water and energy requirement of system. In this study, regarding to development of low pressure irrigation, hydraulic aspects of the proposed method, how to combine pumps, selection of required revolution of variable speed pumps and economic benefits of variable speed pump replacement in operation, is investigated in a practical problem. Results show that combined pumps in dynamic operation condition, had controlled entry power to the system and had reduced energy losses. Also the efficiency of pumping system increase in high discharges and overall efficiency of pumps decrease in low discharges.

Keywords: low pressure irrigation, secondary pumping, variable speed pump, discharge changes, energy consumption.

1 -MSc in Water Structures, Irrigation & Reclamation Dept., University of Tehran
2- Assistant Professor, Irrigation & Reclamation Dept., University of Tehran
(*-Corresponding Author Email: parvarsh@ut.ac.ir)