دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره سوم، ۱۳۹۳
http://jwsc.gau.ac.ir

# طرح و ارزیابی هیدرولیکی پمپ‌های دور متغیر در سامانه‌های آبیاری تحت فشار (مطالعه موردی: سامانه آبیاری دشت هارکله– لالی)

زینب رئیسیان‌امیری[۱] و *عاطفه پرورش‌ریزی[۲]
[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه تهران،
[۲]استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، کرج
تاریخ دریافت: ۹۱/٤/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/٤/۳۰

**چکیده**

در سال‌های اخیر، هزینه انرژی در مقابل سایر هزینه‌های کشاورزی، افزایش بیش‌تری داشته است. بازنگری شرایط ایستگاه‌های پمپاژ کشاورزی، چگونگی مصرف انرژی در آن‌ها و استفاده از شیوه‌های جدید طراحی به‌منظور افزایش بازده، نقش مهمی در مهار مصرف انرژی دارند. در این ایستگاه‌ها از پمپ‌های دور ثابت استفاده می‌شود که می‌توانند در بازه کوچکی از تغییرات فشار و آبدهی بازده خوبی داشته باشند و اگر براساس برنامه آبیاری به آبدهی یا فشار کم‌تری نیاز باشد، وجود دور نامتناسب با منحنی مقاومت سامانه، باعث تلفات زیاد انرژی خواهد شد. این مسأله به‌ویژه در سامانه‌های آبیاری تحت فشار که به‌طور دایم با تغییر نیاز مواجه هستند، هزینه اضافی زیادی را تحمیل می‌کند. در این مطالعه با ارایه روش و همچنین طرح یک نمونه عملی در دشت هارکله- لالی، اثرات جایگزینی پمپ دور متغیر با پمپ دور ثابت بر روی هیدرولیک طرح، مصرف انرژی و بازده پمپ‌ها ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهند که با به‌کارگیری پمپ دور متغیر در پمپاژ این طرح، بازده کاری پمپ‌ها می‌تواند تا ۱۰ درصد افزایش و میزان مصرف انرژی تا ٤۹ درصد در سال نسبت به طراحی متداول کاهش یابد.

***واژه‌های کلیدی:*** بازده پمپ، منحنی سامانه پمپاژ، نقطه کار بهینه پمپ، درایو تغییر دور، مصرف انرژی

* مسئول مکاتبه: parvarsh@ut.ac.ir



Archive of SID
www.SID.ir

**مقدمه**

امروزه بیش از ٦٠ درصد مصرف انرژی الکتریکی در صنایع توسط موتورهای الکتریکی صورت می‌گیرد. الکتروپمپ‌ها حدود ١٦/٧ درصد از انرژی الکتریکی در صنایع را مصرف می‌کنند، بنابراین افزایش بازده آن‌ها باعث صرفه‌جویی قابل‌توجهی در مصرف انرژی و سرمایه می‌گردد (فرمانی‌مرزنکلاته و اورعی، ۲۰۰۳). در این حال در ایستگاه‌های پمپاژ کشور معمولاً از الکتروپمپ‌های دور ثابت[1] استفاده می‌شود، منظور از دور ثابت، تعداد ثابت دوران‌های پروانه پمپ در واحد زمان (معمولاً دور در دقیقه[2]) است که باعث کاهش انعطاف‌پذیری سامانه می‌شود. در مقابل، پمپ‌های سرعت متغیر قرار دارند که با قابلیت تنظیم دوران پروانه، قادر به اعمال تغییرات دلخواه در نقطه بهره‌برداری سامانه پمپاژ هستند.

در اطلاعات ارایه شده توسط سازندگان پمپ‌ها، منحنی‌های دبی- هد[3] معمولاً برای چند قطر پروانه[4] و برای دو یا چند سرعت محدود ارایه می‌شوند. در پمپ‌های سرعت متغیر، پمپ از نظر تئوریک در تعداد نا محدودی از منحنی‌های سرعت، از بیش‌ترین تا کم‌ترین حد سرعت، قادر به‌کار کردن است. زمانی که میزان تقاضای طرح متفاوت از تقاضای طراحی شود، مثلاً با گذشت زمان و افزایش افت‌ها در سامانه هد مورد نیاز زیاد شود، یا زمان توسعه طرح نیاز به دبی و فشار افزایش یابد و یا در ماه‌هایی که نیاز آبی حداکثر نیست و نیاز به دبی و همچنین فشار کم می‌شود با به‌کارگیری مناسب پمپ‌های دور متغیر در ایستگاه پمپاژ، می‌توان بدون ایجاد تغییر خاصی در سامانه و بدون تحمیل کردن هزینه اضافی، با تغییر دور پمپ مقدار تقاضای مورد نیاز را تأمین کرد. کنورز و همکاران (۱۹۸۲) به بررسی درایوهای سرعت متغیر مورد استفاده در پمپ‌های گریز از مرکز پرداختند. آن‌ها بیان نمودند که در روش‌های معمول کنترل جریان، از شیر کنترل استفاده می‌شود که باعث کاهش بازده پمپ و افزایش فشار کار پمپ شده‌است. آن‌ها با بررسی منحنی‌های مشخصه پمپ و سامانه، نشان دادند استفاده از درایوهای تنظیم سرعت برای کاهش جریان، باعث افزایش بازده و کاهش تلفات به‌میزان قابل‌توجهی می‌شود. هانسن و همکاران (١٩٩٦) با تقسیم کل ناحیه آبیاری به ۵ بخش و در نظر گرفتن شرایط مختلف آبیاری در هر بخش و استفاده از درایو فرکانس متغیر برای ایجاد سرعت

1- Constant Speed Pumps (CSP)
2- Revolution Per Minute (rpm)
3- Q-H Curves
4- Rotor



Archive of SID

www.SID.ir

دورانی متغیر در پمپ، به‌منظور تامین دبی مورد نیاز در بعضی از بخش‌ها، بـه بررسـی میـزان مـصرف انرژی در هر کدام از آن‌ها پرداختند. آن‌ها دریافتند مصرف انرژی بخش‌های مورد مطالعه، که از درایـو فرکانس متغیر در تاسیسات پمپاژ استفاده می‌کردند، کاهش ٥٦-٣٢ درصدی را نشان می‌دهد کـه ایـن کاهش در ٤ ناحیه بالاتر از ٣٩ درصد بوده است.

لامادالنا و ساگاردوی (٢٠٠٠) به بررسی سامانه‌های تحت فشاری که براساس نیاز آبیاری می‌شوند، پرداختند. آن‌ها روشی را برای افزایش راندمان آب پیشنهاد کردند که براساس آن، نزاع بین کـشاورزان و مشکلاتی که اثر کاربرد نادرست آب آبیاری ایجاد می‌شود، کاهش می‌یابد. با توجه به تغییـر منحنـی پمپ‌های دور متغیر در سرعت‌های مختلف و رسم آن‌ها در کنـار منحنـی سـامانه، توانـستند مـصرف انرژی را با توجه به تغییرات نیاز سامانه محاسبه نمایند. آن‌ها دریافتنـد کـه تلفـات تـوان مـصرفی در صورت تغییر نیاز سامانه و بـا بـه‌کـارگیری پمـپ دور متغیـر، بـین ٢١-٠ درصـد، کـاهش مـی‌یابـد. فرمانی‌مرزنکلاته و اورعی (٢٠٠٣) مدیریت مصرف انرژی در الکتروپمپ‌ها را مورد بررسی قرار دادند و یکی از کاربردهای مهم موتورهای الکتریکی و به‌ویژه موتورهای القایی را استفاده از آن‌ها بـه‌عنـوان گرداننده پمپ‌ها معرفی کردند. آن‌ها با بیان این‌که، الکتروپمپ چیـزی حـدود ١٦/٧ درصـد از انـرژی الکتریکی را در صنایع مصرف می‌کند، نشان دادند که افزایش بازده کاری آن‌ها باعث صرفه‌جویی‌هـای قابل‌توجهی در مصرف انرژی و سرمایه، چه در سطح خرد و چه در سطح کلان خواهد شد. کامویرانو و دلپیان (٢٠٠٥) به بررسی تأثیر درایوهای فرکانس متغیر در ایستگاه‌های پمپاژی پرداختنـد کـه بـرای نمک‌زدایی در یک منطقه کشاورزی استفاده می‌شدند. نتیجه حاصل این بـود کـه VFDهـا[1] بـا کنتـرل انعطاف‌پذیر و دقیق، مدیریت انرژی سودمندتری را فراهم می‌کنند و اسـتفاده از آن‌هـا باعـث کـاهش هزینه و پیشرفت قابل‌توجهی در کارها و برگشت سرمایه در مدت زمان کوتاهی شـده اسـت. فاضـلی (٢٠٠٨) به بررسی نقش پمپ‌های دور متغیر در کاهش فشار شبکه توزیع آب شهری پرداختنـد. آن‌هـا برای اولین بار در ایران، به‌کارگیری پمپاژ دور متغیر در صنعت آبرسانی را، در ایستگاه پمپـاژ امیرکبیـر زنجان اجرا نمودند که قبل از آن از مخزن هوایی برای تأمین آب استفاده می‌شده است. دسـتاورد ایـن پژوهش کاهش ٧٤/٧ درصدی نرخ حوادث است که تأییدکننده استفاده از این سامانه در بهـره‌بـرداری بهینه از شبکه و صرفه‌جویی در هزینه‌های شرکت‌هـای آب و فاضـلاب اسـت. مورنـو (٢٠٠٨) روش جدیدی را برای تعیین منحنی مشخصه پمپ و بازده در ایستگاه‌های پمپاژ ارایه نمودند تا با اسـتفاده از

1- Variable Speed Drive



Archive of SID

www.SID.ir

آن بتوان پارامترهای لازم برای انتخاب پمپ را با دقت بیش‌تری محاسبه نمود و از این طریق به صرفه‌جویی در مصرف انرژی و هزینه‌های طرح رسیدند.

دیاز و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی نحوه ذخیره‌سازی انرژی در شبکه‌های آبیاری که براساس فشار مورد نیاز تنظیم شده‌اند، پرداختند. آن‌ها منطقه‌ای در جنوب اسپانیا را انتخاب نموده و آن منطقه را تحت ٤ سناریوی مدیریتی متناوب که براساس سطوح مختلفی از نیاز آبی مطرح شده بودند، مورد بررسی قرار دادند نتیجه پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که استفاده از روش‌هایی مثل تنظیم دینامیکی فشار و منطقه‌بندی، کاهش اساسی را در نیاز آبی ایستگاه‌های پمپاژ، به همراه ذخیره‌سازی انرژی بیش از ۲۷ درصد، ایجاد خواهد کرد. لامادالنا و خیلا (۲۰۱۲) به بررسی نحوه صرفه‌جویی در انرژی با به‌کارگیری پمپ دور متغیر در دو منطقه آبیاری در جنوب ایتالیا پرداختند. آن‌ها برای تعیین منحنی سامانه، از نرم‌افزار کوپام[1] استفاده کردند و با محاسبه‌های انرژی مصرفی اثبات کردند که با کاربرد VFD در این دو ناحیه، صرفه‌جویی انرژی در حدود ۲۷ و ۳۵ درصد به‌دست می‌آید.

با توجه به مشکلات متعدد بهره‌برداری در ایستگاه‌های پمپاژ آب کشاورزی در کشور و هزینه‌های بسیار بالای انرژی در آن‌ها در این پژوهش، سعی شده است که همراه با ارایه روش کاربرد پمپ‌های دور متغیر، به تبیین ضرورت استفاده از آن‌ها به‌منظور کاهش مصرف آب و انرژی پرداخته شود. همچنین با در نظر گرفتن یک طرح اجرایی در کشور (سامانه آبیاری دشت هارکله- لالی) که طراحی ایستگاه پمپاژ آن با پمپ‌های دور ثابت انجام گرفته، روش به‌کارگیری پمپ دور متغیر تشریح شده است و ارزیابی دو دیدگاه در انتخاب پمپ، از نظر مصرف انرژی انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، دشت هارکله در ۲۵ کیلومتری شرق شهرستان لالی در استان خوزستان است. وسعت اراضی محدوده طرح، ۸۵۰ هکتار است. هد و دبی مورد نیاز در ماه حداکثر مصرف به‌ترتیب ١٦٥ متر و ٣٢٤٠ مترمکعب بر ساعت محاسبه شده است. تأمین آب و فشار مورد نیاز برای آبیاری اراضی محدوده طرح، توسط ایستگاه پمپاژی که در ساحل راست رودخانه تالوک واقع شده، صورت می‌گیرد. منتهی در این پژوهش در ابتدا روش ارایه شده برای

1- COPAM



Archive of SID

www.SID.ir

یک سامانه آبیاری تحت فشار نمونه برای منطقه‌ای به وسعت ۱/۳٤ هکتار، که نیاز آبی و هد مورد نیاز آن در ابتدای لوله اصلی و در زمان حداکثر نیاز به‌ترتیب، ۵/۰۵ مترمکعب بر ساعت و ۳۰/۵ متر محاسبه شده، توضیح و توسعه داده شده است و پس از آن با به‌کارگیری این روش، نتایج برای طرح دشت هارکله ارایه شده است.

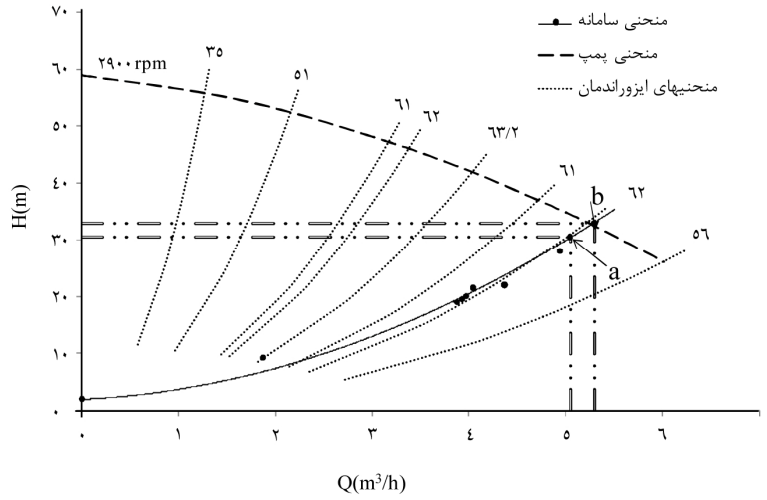
پمپ (دور ثابت) مناسب معمولاً با توجه به نیاز حداکثر طرح، پمپ‌های موجود در بازار و قیود اقتصادی موجود در طرح انتخاب می‌شود. منحنی پمپ انتخاب شده برای این مسأله به همراه منحنی سامانه برای سامانه نمونه در شکل ۱ آورده شده است. این پمپ در نقطه کارکرد خود با بازده ٦۲ درصد، کار می‌کند و در مقایسه با بالاترین بازده کاری ٦۳/۲ درصد، از نظر مصرف انرژی در موقع حداکثر نیاز، انتخاب خوبی است. نقطه‌ای که نیاز واقعی سامانه را نشان می‌دهد (نقطه a با هد ۳۰/۵ متر و دبی ۵/۰۵ مترمکعب بر ساعت) با نقطه‌ای که پمپ تامین می‌کند (نقطه b با هد ۳۳ متر و دبی ۵/۰۵ مترمکعب بر ساعت) براساس طراحی سامانه خط انتقال و ترسیم منحنی آن، اندکی متفاوتند که البته در بیش‌تر طراحی‌ها این تفاوت اجتناب‌ناپذیر است (شکل ۱). اما نکته قابل تاکید این است که انتخاب پمپ با دور ثابت، تنها توسط یک نقطه از منحنی مقاومت سامانه که همان نقطه حداکثر هد و دبی مورد نیاز است، صورت می‌گیرد، در صورتی که در بیش‌تر مواقع در طول دوره آبیاری، به هد و دبی کم‌تری نیاز است. در نتیجه پمپ در بیش‌تر مواقع، در نقطه‌ای غیر از نقطه بهینه خود و با بازده کم‌تری کار می‌کند که تلفات آب و انرژی قابل ملاحظه‌ای را ایجاد می‌کند.

یکی از راه‌هایی که برای کاهش تلفات آب متداول است، استفاده از شیر کنترل است؛ اما هم‌چنان تلفات انرژی را در پی دارد. در این حالت در زمان کاهش نیاز سامانه، دبی پمپ با بستن شیر کنترل کاهش می‌یابد، اما هد تولید شده افزایش می‌یابد و استهلاک پمپ بالا می‌رود. نحوه تغییر منحنی سامانه با بستن شیر کنترل (و به‌عبارتی ایجاد افت) در طول دوره آبیاری، در شکل ۲ آورده شده است. طبق این شکل، بازده پمپ در اثر بستن شیر کنترل می‌تواند از ٦۳ درصد به ٤۷ درصد برسد. چنان‌که مشاهده می‌شود با کاهش نیاز آبی سامانه و بستن شیر کنترل برای تنظیم جریان، هد تولیدی پمپ افزایش می‌یابد. همچنین جابه‌جا شدن نقطه کارکرد پمپ به سمت چپ، ناپایداری در عملکرد و استهلاک به‌دلیل فاصله گرفتن از دبی بهینه را در پی دارد.

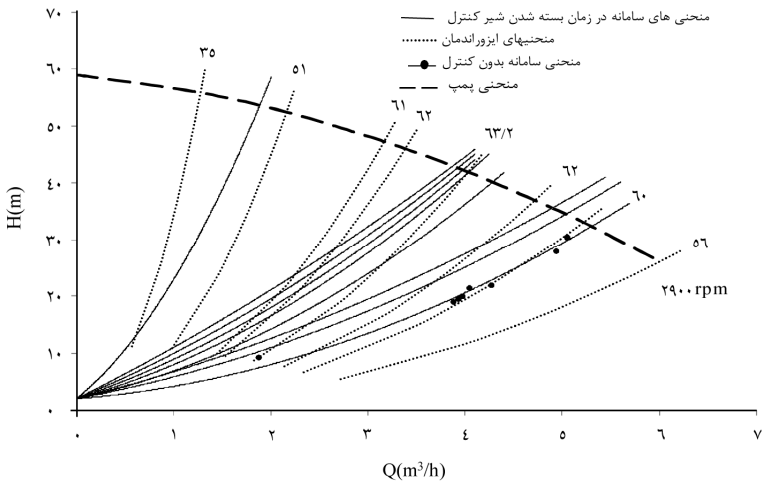


Archive of SID

www.SID.ir




**شکل ۱- منحنی سامانه و نقاط عملکرد ایده‌آل و طراحی شده در شرایط حداکثر نیاز آبی سامانه تحت فشار نمونه.**



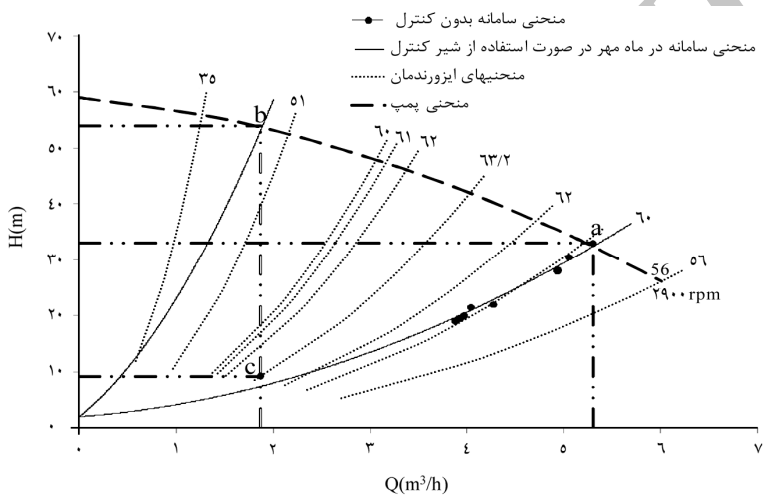

**شکل ۲- منحنی‌های مقاومت سامانه در طول دوره آبیاری با تنظیم دبی توسط شیر کنترل برای سامانه آبیاری نمونه.**

برای تصویر میزان انرژی مصرفی پمپ و هدررفت آن، سطح مستطیلی با رأس نقطه a (نقطه کارکرد پمپ بدون تنظیم) در شکل ۳ در نظر گرفته می‌شود که براساس منحنی سامانه در ماه حداکثر مصرف شکل گرفته است. برای رسیدن به کم‌ترین نرخ جریان در ماه آبان، شیر کنترل در لوله رانش



www.SID.ir

پمپ بسته شده است و نقطه عملکرد پمپ از a به b تغییر کرده است. این کار فشار مورد نیاز پمپ را افزایش می‌دهد و جریان را می‌کاهد و انرژی مصرفی در این حالت، متناسب با سطح مستطیل با رأس b است، در صورتی که فشار مورد نیاز در ماه آبان (نقطه c) ٤٠ متر کم‌تر از میزانی است که پمپ تأمین کرده است و انرژی مورد نیاز متناسب با سطح مستطیل با رأس c است. همان‌طورکه از شکل ٣ مشخص است شیر کنترل، انرژی مصرفی پمپ را کاهش داده است (حالت a به b)، اما هنوز انرژی قابل‌توجهی به هدر می‌رود (مقایسه b و c).




**شکل ٣- تأثیر شیر کنترل در پمپ سرعت- ثابت، بر روی منحنی سامانه و تغییرات فشار و انرژی مورد نیاز.**

**محاسبه توان مصرفی و انرژی مورد نیاز ایستگاه پمپاژ در صورت به‌کارگیری پمپ دور ثابت:** در حالت اول، کنترل مصرف انرژی با بستن شیر کنترل، با توجه به کم و زیاد شدن نیاز سامانه، صورت گرفته است. برای محاسبه توان مصرفی پمپ، توانی که پمپ به سیال انتقال می‌دهد، توسط رابطه ١ محاسبه می‌شود:

$$P_U = \gamma Q H_P \qquad (١)$$

که در آن، $P_U$: توان خالص مورد نیاز پمپ بر حسب وات (W)؛ $\gamma$: وزن مخصوص سیال بر حسب نیوتن بر مترمکعب ($N/m^3$) و $H_P$: هد تولید شده توسط پمپ بر حسب متر است. توان مورد نیاز پمپ با توجه به بازده در نقطه کار پمپ، از رابطه ٢ به‌دست می‌آید.



www.SID.ir

$$P_a = \frac{P_U}{\eta_t} \qquad (۲)$$

که در آن، $P_a$: توان مصرفی پمپ و $\eta_t$: بازده کلی پمپ است. انرژی مورد نیاز پمپ در هر ماه، از حاصل‌ضرب توان مصرفی در مدت زمان آبیاری در آن ماه به‌دست می‌آید. در این طرح دوره آبیاری در هر ماه ۵ روز و تعداد ساعات کارکرد پمپ، ۱۲ ساعت تعیین شده است و انرژی مورد نیاز در ماه حداکثر مصرف (تیر) ۱۶۳ کیلو وات ساعت محاسبه شده است. همچنین نقطه عملکرد پمپ بدون استفاده از شیر کنترل دارای هد ۳۳ متر و دبی ۵/۳ مترمکعب بر ساعت است. همان‌طورکه از جدول ۱ مشخص است، در صورتی که برای تنظیم دبی از شیر کنترل استفاده شود، گرچه تلفات آب و انرژی کاهش می‌یابد، اما هم‌چنان تلفات انرژی وجود دارد که در طول دوره آبیاری از ۸۷-۱۱ درصد متغیر است.

**محاسبه‌های انرژی در ایستگاه پمپاژ با به‌کارگیری پمپ‌های دور متغیر:** در این قسمت اثر تغییر دور پمپ‌ها برای تنظیم دبی سامانه مورد بررسی قرار گرفته است، به این صورت تنظیم دبی و هد مورد نیاز، توسط تغییر سرعت دورانی پروانه پمپ و به‌عبارتی تغییر منحنی پمپ صورت می‌گیرد. از آن‌جا که منحنی پمپ تنها در یک یا دو دور مختلف توسط کارخانه تولیدی ارایه می‌شود، برای انتخاب دور مناسب باید منحنی‌های پمپ در دورهای دیگر محاسبه و رسم شوند. محاسبه منحنی‌های پمپ در دورهای مختلف با استفاده از رابطه‌های تشابه برای رژیم کار یک پمپ با دوران‌های مختلف صورت می‌گیرد (رابطه‌های ۳ و ٤):

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \qquad (۳)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{(n_1)^2}{(n_2)^2} \qquad (٤)$$

که در آن‌ها، اندیس ۱ و ۲ به‌ترتیب بیانگر کار پمپ در سرعت دورانی $n_1$ و $n_2$ است. $Q$: دبی پمپ و $H$: ارتفاع تولیدی پمپ است. به‌منظور تغییر دور پمپ‌ها، یک درایو تغییر فرکانس[1] روی هر یک از پمپ‌ها نصب می‌شود و دور پمپ در هر زمان با توجه به تغییرات نیاز سامانه (به‌صورت برنامه‌ریزی شده و خودکار یا به‌صورت دستی) تنظیم می‌شود. با استفاده از نقطه برخورد منحنی‌های پمپ به‌دست آمده و منحنی سامانه در هر دوره آبیاری، بازده (راندمان) نقطه کاری پمپ نیز تعیین می‌شود (شکل ٤).

1- Variable Frequency Drive (VFD)



Archive of SID

www.SID.ir

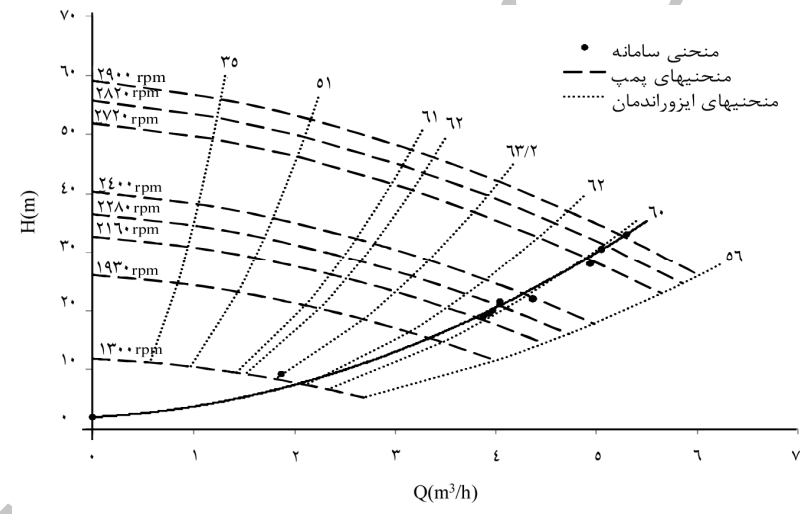
**جدول ۱ – خلاصه محاسبه‌های مربوط به پمپ و انرژی مصرفی ماهانه در ایستگاه پمپاژ (حالت اول).**

| نحوه تنظیم | ماه / عنوان | مهر | آبان | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور | سالانه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | دبی مورد نیاز سامانه (لیتر بر ثانیه) | ۰/۵۲ | ۱/۰۸ | ۱/۰۹ | ۱/۱ | ۱/۱۲ | ۱/٤ | ۱/۳۷ | ۱/۱۹ | |
| | هد مورد نیاز سامانه (متر) | ۹/۲ | ۱۹ | ۱۹/۵ | ۲۰ | ۲۱/۵ | ۳۰/۵ | ۲۸ | ۲۲ | |
| CFD بدون کنترل | هد ایجاد شده توسط پمپ (متر) | ۳۳ | ۳۳ | ۳۳ | ۳۳ | ۳۳ | ۳۳ | ۳۳ | ۳۳ | |
| | راندمان نقطه کارکرد پمپ | ۰/۵۹ | ۰/۵۹ | ۰/۵۹ | ۰/۵۹ | ۰/۵۹ | ۰/۵۹ | ۰/۵۹ | ۰/۵۹ | |
| | توان مصرفی پمپ (کیلووات) | ۰/۸۰۱ | ۰/۸۰۱ | ۰/۸۰۱ | ۰/۸۰۱ | ۰/۸۰۱ | ۰/۸۰۱ | ۰/۸۰۱ | ۰/۸۰۱ | |
| | انرژی الکتریکی مورد نیاز پمپ (کیلووات ساعت) | ۱۹/۲ | ۱٤/٤ | ٤۳/۲ | ۷۸/۵ | ۱۰۲/۵ | ۱۱۵/۳ | ۱۲۹/۷ | ۹٦/۱ | ۵۹۹/۱ |
| | هدررفت انرژی الکتریکی (درصد) | ۹۳/۱ | ٤٤/۵ | ۵٦/۷ | ۵۵/۱ | ۵۱/۲ | ۱/۸ | ۳۰/۳ | ٤۷/۲ | |
| نصب شیر کنترل | هد ایجاد شده توسط پمپ (متر) | ۵٤ | ٤۳ | ٤۳ | ٤۲/۵ | ٤۲ | ۳۵ | ۳٦ | ٤۰ | |
| | راندمان نقطه کارکرد پمپ | ۰/٤۷ | ۰/٦۳ | ۰/٦۳۱ | ۰/٦۳۱ | ۰/٦۳۲ | ۰/٦۱۵ | ۰/٦۱۸ | ۰/٦۲۵ | |
| | توان مصرفی پمپ (کیلووات) | ۰/۵۹ | ۰/۷۲ | ۰/۷۳ | ۰/۷۳ | ۰/۷۳ | ۰/۷۸ | ۰/۷۸ | ۰/۷٤ | |
| | انرژی الکتریکی مورد نیاز پمپ (کیلووات ساعت) | ۱۰/۵٤ | ۱۷/۳۲ | ۳۹/٤۱ | ۷۱/٤۱ | ۹۳/٦۳ | ۱۲٦/۸۷ | ۱۱۲/۹۲ | ۸۹/۳٦ | ۵٦۱/٤٦ |
| | هدررفت انرژی الکتریکی (درصد) | ۸۷ | ۵٤ | ۵۲ | ۵۱ | ٤۷ | ۱۱ | ۲۰ | ٤۳ | ۳۵/۳ |



www.SID.ir

با توجه به شکل ٤ و تعیین نقطه کار و بازده هر پمپ، توان مصرفی و انرژی مورد نیاز ماهانه پمپ محاسبه شده و در جدول ۲ آورده شده است. طبق جدول ۲ و بر خلاف جدول ۱، دبی و هد مورد نیاز سامانه با دبی و هد تولید شده پمپ‌ها در هر دوره آبیاری با هم برابرند، که این موضوع باعث کاهش مصرف انرژی قابل‌توجهی شده است. انرژی مورد نیاز در ماه تیر در این حالت، ۱۱۳/۳ کیلووات ساعت بوده است که با توجه به جدول ۱ میزان مصرف در ماه حداکثر مصرف ۱۱ درصد کاهش نشان داده است و در طول دوره، مصرف انرژی از ۷۸-۱۱ درصد کاهش نشان داده است. میزان هدررفت انرژی به‌دست آمده در این روش فقط به‌دلیل کاهش بازده پمپ در دورهای پایین است، که البته مقدار آن کم است.




**شکل ٤- رسم منحنی‌های پمپ در دورهای مختلف و تعیین دور مناسب و بازده پمپ در هر نقطه بهره‌برداری.**



www.SID.ir

جدول ۲- خلاصه محاسبه‌های مربوط به پمپ و انرژی مصرفی ماهانه در ایستگاه پمپاژ (حالت دوم).

| نحوه تنظیم | ماه / عنوان | مهر | آبان | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور | سالانه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | دبی مورد نیاز سامانه (لیتر بر ثانیه) | ۰/۵۲ | ۱/۰۸ | ۱/۰۹ | ۱/۱ | ۱/۱۲ | ۱/٤ | ۱/۳۷ | ۱/۱۹ | |
| | هد مورد نیاز سامانه (متر) | ۹/۲ | ۱۹ | ۱۹/۵ | ۲۰ | ۲۱/۵ | ۳۰/۵ | ۲۸ | ۲۲ | |
| CFD بدون کنترل | هد ایجاد شده توسط پمپ (متر) | ۳۳ | ۳۳ | ۳۳ | ۳۳ | ۳۳ | ۳۳ | ۳۳ | ۳۳ | |
| | راندمان نقطه کارکرد پمپ | ۰/۵۹ | ۰/۵۹ | ۰/۵۹ | ۰/۵۹ | ۰/۵۹ | ۰/۵۹ | ۰/۵۹ | ۰/۵۹ | |
| | توان مصرفی پمپ (کیلووات) | ۰/۸۰۱ | ۰/۸۰۱ | ۰/۸۰۱ | ۰/۸۰۱ | ۰/۸۰۱ | ۰/۸۰۱ | ۰/۸۰۱ | ۰/۸۰۱ | |
| | انرژی الکتریکی مورد نیاز پمپ (کیلووات ساعت) | ۱۹/۲ | ۱٤/٤ | ٤۳/۲ | ۷۸/۵ | ۱۰۲/۵ | ۱۱۵/۳ | ۱۲۹/۷ | ۹٦/۱ | ۵۹۹/۱ |
| | هدررفت انرژی الکتریکی (درصد) | ۹۳/۱ | ٤٤/۵ | ۵٦/۷ | ۵۵/۱ | ۵۱/۲ | ۱/۸ | ۳۰/۳ | ٤۷/۲ | ۳۷/۵ |
| نصب VFD | هد ایجاد شده توسط پمپ (متر) | ۹/۲ | ۱۹ | ۱۹/۵ | ۲۰ | ۲۱/۵ | ۳۰/۵ | ۲۸ | ۲۲ | |
| | راندمان نقطه کارکرد پمپ | ۰/٤۷ | ۰/٦۳ | ۰/٦۳۱ | ۰/٦۳۱ | ۰/٦۳۲ | ۰/٦۱۵ | ۰/٦۱۸ | ۰/٦۰۵ | |
| | توان مصرفی پمپ (کیلووات) | ۰/۰۷٤ | ۰/۳۳٤ | ۰/۳٤۷ | ۰/۳۵۹ | ۰/۳۹۱ | ۰/۷ | ۰/٦۲۸ | ۰/٤۲۳ | |
| | انرژی الکتریکی مورد نیاز پمپ (کیلووات ساعت) | ۱/۳ | ۸ | ۱۸/۷ | ۳۵/۲ | ۵۰/۱ | ۱۱۳/۳ | ۹۰/۵ | ۵۰/۸ | ۳٦۷/۹٤ |
| | هدررفت انرژی الکتریکی (درصد) | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |



www.SID.ir

**نتیجه روش ارایه شده در سامانه آبیاری مورد مطالعه:** پس از بررسی و تعیین دبی مورد نیاز در ماه‌های مختلف سال، ارتفاع استاتیک و تخمین ارتفاع دینامیک پمپاژ، فشار مورد نیاز در ابتدای هر واحد زراعی و شرایط بهره‌برداری در طرح هارکله- لالی که طرح به‌نسبت بزرگی محسوب می‌شود، در طراحی اولیه تعداد ۱۲ پمپ فشار قوی ٤ طبقه WKL۱۵۰ و دو دستگاه پمپ ۳ طبقه WKL۱۰۰ به‌عنوان پمپ‌های منتخب برای ایستگاه پمپاژ انتخاب شده‌اند. از این تعداد پمپ یازده دستگاه آن در طول دوره بهره‌برداری به‌عنوان پمپ‌های اصلی و سه دستگاه به‌عنوان پمپ‌های رزرو در سامانه قرار خواهند گرفت. برای تأمین انرژی مورد نیاز پمپ‌ها، الکتروموتور ۲۵۰ کیلووات ساعت برای پمپ‌های ٤ طبقه و الکتروموتور ۳۷ کیلووات ساعت برای پمپ‌های ۳ طبقه پیشنهاد شده است.

**محاسبه‌های ایستگاه پمپاژ با به‌کارگیری CSP:** توان الکتریکی مورد نیاز برای الکتروموتورها در طرح، حدود ۱/۵ مگاوات محاسبه شده است. در اطلاعات طراحی سامانه، دور آبیاری در ماه حداکثر مصرف دو روزه است، در نتیجه با ۲۱ ساعت کار در روز، سامانه آبیاری حداکثر ۲۰ روز در ماه کار می‌کند. این سامانه در طول سال ۸ ماه کار می‌کند و با توجه به تعداد ساعات کارکرد آن، مصرف انرژی الکتریکی در طول سال، ٥۰٤۰ مگاوات ساعت برآورد شده است. با توجه به وسعت اراضی، همه آن‌ها هم‌زمان آبیاری نمی‌شوند و ناحیه آبیاری، به ٦ منطقه آبیاری تقسیم شده است. با توجه به دبی خط لوله در ماه حداکثر مصرف، تقریباً هر منطقه، ۳ روز در هر ماه آبیاری می‌شود که البته دبی مورد نیاز هر منطقه در هر دور آبیاری متغیر است، در نتیجه منحنی سامانه نیز تغییر خواهد کرد. در این طرح نیز به‌منظور تنظیم دبی خروجی هر پمپ، از شیر کنترل استفاده شده است. همچنین برای تنظیم دبی سامانه در مواقعی که نیاز کم می‌شود، تعدادی از پمپ‌ها خاموش می‌شوند. تعداد پمپ‌ها، از ۲ عدد در دوره حداقل مصرف تا ۱۲ عدد در دوره حداکثر مصرف، متغیر است (شکل ۵). با توصیف موجود از پروژه و به‌منظور محاسبه میزان تلفات انرژی در صورت تنظیم دبی توسط شیر کنترل و یا خاموش- روشن کردن پمپ‌ها، با استفاده از منحنی پمپ و تخمین دبی مورد نیاز هر ماه، میزان هد و دبی تولیدی توسط پمپ مشخص شد (جدول ۳). برای محاسبه انرژی مصرفی پمپ، باید بازده پمپ هم در طول دوره آبیاری تعیین شود. تعیین بازده هر پمپ در نقطه عملکرد خود، در هر دور آبیاری، با توجه به شکل ٦ امکان‌پذیر خواهد بود، که در واقع شکل ٦ قسمتی از شکل ۵ است که با بزرگ‌نمایی

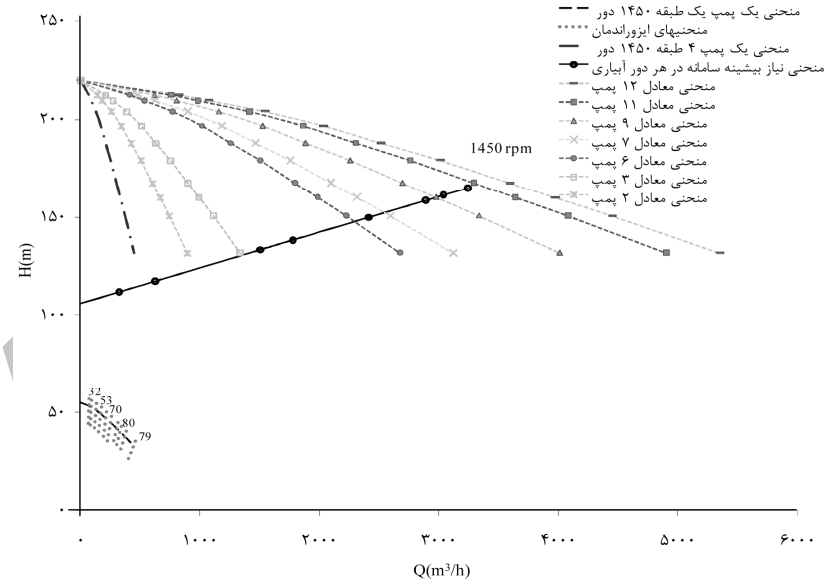


Archive of SID

www.SID.ir

مناسب رسم شده است. ابتدا از نقطه برخورد منحنی سامانه با منحنی پمپ معادل، خطی موازی محور X ها رسم می‌شود، تا منحنی معادل پمپ ٤ طبقه را در یک نقطه قطع کند، سپس از آن نقطه خطی موازی محور Y ها رسم نموده تا منحنی پمپ یک طبقه را در نقطه دیگر قطع کند، با استفاده از نقطه به‌دست آمده و منحنی‌های ایزوراندمان رسم شده، بازده کاری هر طبقه از پمپ‌ها به‌دست می‌آید.

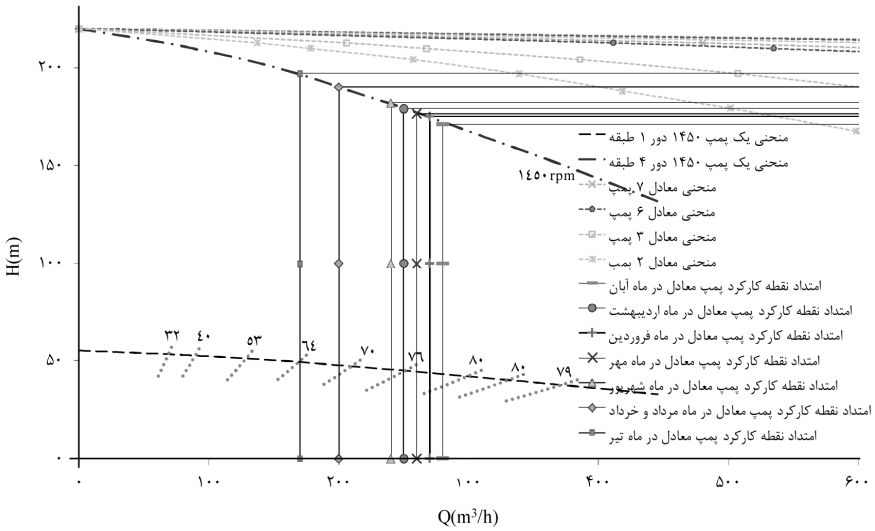
با توجه به جدول ۳ هزینه انرژی سالانه ایستگاه پمپاژ، ۵۹ میلیون تومان محاسبه شده است (با احتساب ۱٤۰ ریال به‌ازای هر کیلووات ساعت انرژی). در طراحی این سامانه و بدون ترسیم منحنی‌های دقیق سامانه و پمپ (پمپ‌ها) و بدون در نظر گرفتن تغییرات راندمان پمپ (که در طراحی‌های داخل کشور متداول است) مبلغ نام‌برده ۷۰ میلون تومان، یعنی ۱۵/۷ درصد بیش‌تر برآورد شده است. طبق جدول ۳ هدررفت انرژی در ماه‌های مختلف سال بین ۵۳-٤ درصد انرژی مصرفی است و بازده پمپ از ۷۸ درصد، در دوره حداکثر مصرف (تیر)، به ٦٤ درصد در دوره حداقل مصرف کاهش یافته است.




**شکل ۵- منحنی‌های معادل پمپ در هر یک از حالت‌های ترکیب پمپ‌ها و تعیین تعداد پمپ‌ها در حالت نیاز آبی حداکثر در هر دوره آبیاری.**



www.SID.ir




**شکل ٦- تعیین بازده هر یک از پمپ‌های CFD در هر ماه از بهره‌برداری سامانه آبیاری.**

**جدول ۳- خلاصه محاسبه‌های مربوط به پمپ‌ها و انرژی مصرفی ماهانه در ایستگاه پمپاژ در به‌کارگیری CFD.**

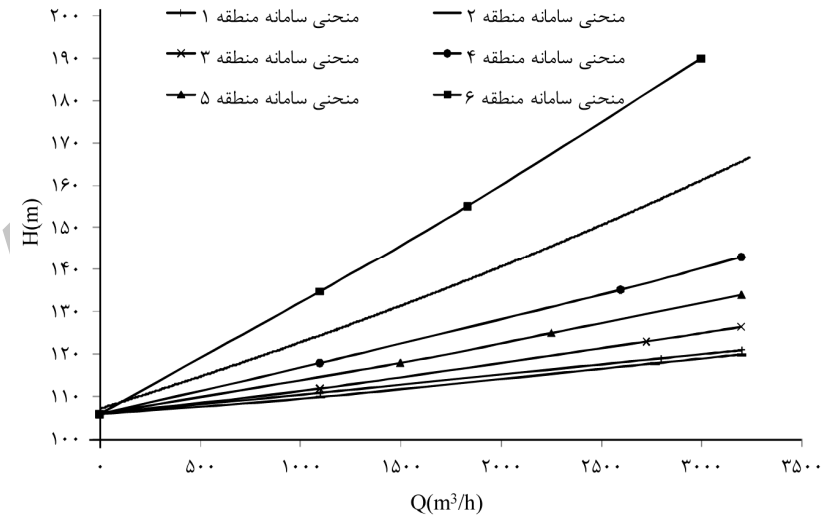
| نحوه تنظیم | ماه / عنوان | مهر | آبان | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور | سالانه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | دبی مورد نیاز سامانه (مترمکعب بر ساعت) | ۱۵۰۲ | ۳۲۲ | ٦۲۵ | ۱۷۷٦ | ۲۸۸۷ | ۳۲٤۰ | ۳۰۳٦ | ۲٤۰۹ | |
| | هد مورد نیاز سامانه (متر) | ۱۳۳ | ۱۱۲ | ۱۱۷ | ۱۳۸ | ۱۵۹ | ۱٦۵ | ۱٦۱ | ۱۵۰ | |
| نصب شیر کنترل | هد ایجاد شده توسط پمپ (متر) | ۱۸۲ | ۱۹۷ | ۱۹۰ | ۱۷۷ | ۱۷۵ | ۱۷۱ | ۱۷۹ | ۱۷۱ | |
| | راندمان نقطه کارکرد پمپ | ۰/۷٤ | ۰/٦٤ | ۰/٦۸ | ۰/۷٦۵ | ۰/۷۷ | ۰/۷۸ | ۰/۷٦ | ۰/۷۸ | |
| | تعداد پمپ‌های فعال ایستگاه پمپاژ در هر دور آبیاری | ٦ | ۲ | ۲ | ۳ | ۷ | ۱۱ | ۱۲ | ۹ | |
| | توان مصرفی پمپ (کیلووات) | ۱۰۰۷ | ۲۷۰ | ٤۷٦ | ۱۱۱۷ | ۱۷۸۸ | ۱۹۳٦ | ۱۹٦۱ | ۱٤۳۹ | |
| | انرژی الکتریکی مورد نیاز پمپ (مگاوات ساعت) | ٤۲۲ | ۱۱۳ | ۲۰۰ | ٤٦۹ | ۷۵۰ | ۸۱۳ | ۸۲٤ | ٦۰٤ | ٤۱۹۷ |
| | هزینه انرژی الکتریکی ایستگاه پمپاژ (میلیون تومان) | ۵/۹۲ | ۱/۵۹ | ۲/۸ | ٦/۵۷ | ۱۰/۵۱ | ۱۱/۳۸ | ۱۱/۵۳ | ۸/٤٦ | ۵۹ |
| | هدررفت انرژی الکتریکی (درصد) | ۳۰ | ۵۳ | ٤٦ | ۲۳ | ۱۱ | ٤ | ۱۳ | ۱۲ | ۲٤ |



www.SID.ir

**محاسبه‌های ایستگاه پمپاژ در صورت استفاده از VFD**: همان‌طورکه اشاره شد، تمام مناطق هم‌زمان آبیاری نمی‌شوند و کل منطقه به ٦ منطقه آبیاری کوچک‌تر، تقسیم شده است که هر قسمت در یک نوبت ۲ یا ۳ روزه، آبیاری می‌شود. در نتیجه در طول آبیاری سالانه سامانه دارای ٦ منحنی است، که هر یک مربوط به یک منطقه آبیاری است. با توجه به وسعت کل منطقه نسبت به منطقه آبیاری که حداکثر مصرف را دارد و همچنین مقادیر مربوط به نیاز هر منطقه آبیاری در ماه حداکثر که توسط طراح ارایه شده است، هد و دبی مورد نیاز هر منطقه در هر ماه آبیاری به‌دست آمده و براساس آن منحنی دبی- هد آن‌ها رسم شده است (شکل ۷).

همچنین با بررسی اطلاعات موجود، مشخص شد که هد و دبی حداکثر در مناطق مختلف در یک زمان اتفاق نمی‌افتند، که همین موضوع زمانی که پمپ با دور ثابت کار می‌کند باعث هدررفت انرژی خواهد شد. زیرا زمانی که به دبی حداکثر نیاز است به هد حداکثر نیاز نیست، اما به اجبار پمپ باید با همان هد کار کند تا دبی موردنظر تامین شود، که این عکس‌العمل پمپ باعث هدررفت انرژی زیادی شده و فشار اضافه به سامانه اعمال می‌کند، این فشار اضافی اعمال شده بازده آبیاری را کاهش می‌دهد.



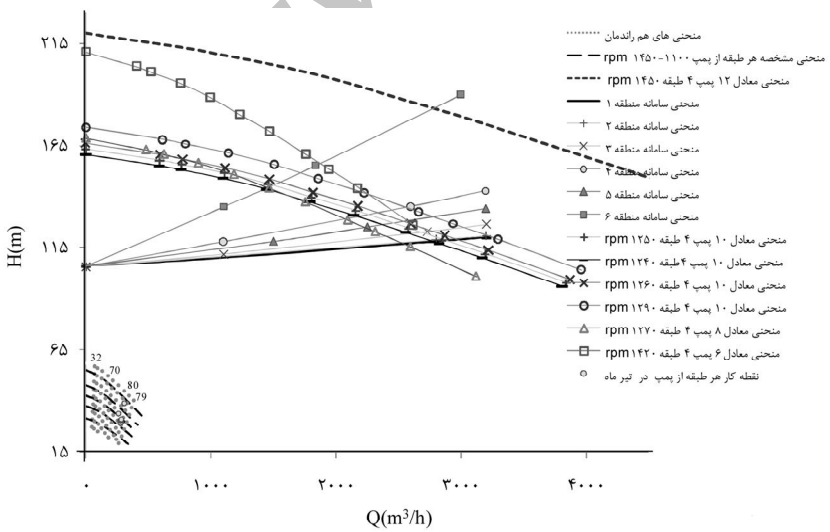

**شکل ۷- رسم منحنی‌های سامانه مربوط به هر قسمت از منطقه مورد مطالعه.**



www.SID.ir

با کاربرد پمپی که قابلیت تنظیم دور را با نیاز سامانه دارد، می‌توان مسایل مطرح شده را تا حد زیادی رفع نمود. به این منظور بعد از تعیین میزان نیاز هر منطقه آبیاری در هر ماه، تعداد پمپ‌های فعال برای آبیاری هر منطقه و همچنین بازده و سرعت دورانی آن‌ها در هر ماه مشخص شده است. تعیین تعداد پمپ‌های فعال در هر دور آبیاری برای هر منطقه با توجه به بازده هر طبقه از پمپ صورت گرفته است؛ به‌طور مثال در ماه تیر که هر منطقه نیاز حداکثر خود را دارا می‌باشد، منحنی پمپ‌های معادل هر منطقه رسم شده است (شکل ۸).

با توجه به نقطه کارکرد هر پمپ معادل (نقطه برخورد منحنی پمپ معادل و نقطه حداکثر منحنی سامانه هر منطقه آبیاری) و منحنی‌های ایزوراندمان رسم شده برای هر طبقه از پمپ، اگر هر طبقه از پمپ با بازده مناسبی کار کند، تعداد پمپ‌های تشکیل دهنده پمپ معادل قابل‌قبول است، در غیر این صورت با تغییر تعداد پمپ‌های موازی، سعی شد تا بازده موردنظر حاصل شود. با توجه به نقطه به‌دست آمده بر روی منحنی‌های مربوط به یک طبقه از پمپ، سرعت دورانی مناسب پمپ تعیین شد. به‌طور مشابه، در ماه‌های دیگر سال نیز برای هر دور ماهانه آبیاری، تعداد مناسب پمپ‌ها، بازده و سرعت دورانی هر پمپ به‌دست آمد (شکل ۹). با مشخص شدن بازده پمپ‌ها در هر دوره آبیاری، انرژی الکتریکی مورد نیاز ایستگاه پمپاژ در سال و هزینه‌ای که در این شرایط کاری برای ایستگاه پمپاژ باید صرف شود نیز محاسبه و با حالتی که ایستگاه پمپاژ با پمپ دور ثابت کار می‌کند مقایسه شده است.




**شکل ۸- منحنی پمپ معادل و تعیین نقطه کارکرد بهینه هر پمپ در ماه حداکثر نیاز آبی در هر منطقه آبیاری.**



www.SID.ir

## نتایج

با نصب VFD، بازده پمپ‌ها در بیش‌تر مواقع در طول دوره آبیاری، تقریباً به ۸۰ درصد رسیده است (شکل ۹) که به‌ندرت در ایستگاه‌های پمپاژ مشاهده می‌شود. تحلیل طرح نشان می‌دهد که دامنه دور موتور مناسب برای این سامانه بین ۱٤٥۰–۱۱۰۰ دور در دقیقه است که این میزان تغییر، از نظر تجهیزات و مسایل الکترونیکی شامل محدودیت نمی‌شود. در همین حال با به‌کارگیری پمپ با دور ثابت، در دوره حداکثر مصرف، بازده پمپ ۷۸ درصد بوده و با کاهش دبی مصرفی در طول سال، بازده پمپ تا ٦٤ درصد نیز کاهش داشته است (شکل ۱۰). زمانی که طراحی ایستگاه پمپاژ توسط پمپ دور ثابت انجام می‌شود، انعطاف عمل پمپ کاهش می‌یابد. به همین دلیل برای تأمین اطمینان‌پذیری، انتخاب پمپ با پمپ‌های بزرگ‌تر و موتورهای قوی‌تر صورت می‌گیرد و طبق بیانات کارشناسان، معمولاً این انتخاب‌ها بسیار بیش از حد لازم در نظر گرفته می‌شوند.

چنان‌که اشاره شد، در طرح هارکله تعداد پمپ‌ها ۱۲ عدد در نظر گرفته شده بود. در صورتی که با به‌کارگیری درایو تغییر دور در ایستگاه پمپاژ و بالا رفتن بازده و انعطاف‌پذیری هر یک از پمپ‌ها، تعداد پمپ‌های مورد نیاز به ۱۰ عدد کاهش می‌یابد که در سرمایه‌گذاری اولیه هم تأثیرگذار است. در این پژوهش روش ترکیب پمپ‌ها در حالت دور متغیر، برای تامین میزان هد و دبی مورد نیاز در هر زمان از فصل آبیاری نیز مورد تحلیل قرار گرفت. شایان ذکر است که قیمت انرژی ذکر شده در این پژوهش براساس آخرین اطلاعات از سایت‌های دولتی بوده است که فقط برای یک مقایسه نسبی کارایی دارد و به مثابه یک تحلیل اقتصادی نیست زیرا قیمت‌ها در منابع مختلف متفاوتند و دیگر این‌که در طول زمان به‌شدت متغیرند و افزایش قیمت حامل‌های انرژی در زمان انجام این پژوهش، قطعا قیمت‌های ذکر شده را افزایش می‌دهد.

انرژی مصرفی سالانه، در حالتی که ایستگاه پمپاژ به VFD مجهز شده، معادل ۲۱٤٤ مگاوات ساعت بوده است (و هزینه‌ای معادل ۳۰ میلیون تومان داشته است). با مقایسه این مقادیر، با شرایط اولیه ایستگاه پمپاژ (جدول ۳) که انرژی مصرفی سالانه ایستگاه پمپاژ ٤۱۹۷ مگاوات ساعت بوده است (و هزینه‌ای معادل ۵۹ میلیون تومان داشته است)، کاهش ٤۹ درصدی هزینه انرژی الکتریکی ایستگاه پمپاژ مشاهده می‌شود که قابل توجه است. به‌عبارت دیگر کاهش مصرف آب و انرژی و هزینه‌های مربوط به آن می‌تواند از نظر اقتصاد طرح، جواب‌گوی میزان سرمایه اولیه برای تجهیزات VFD باشد.

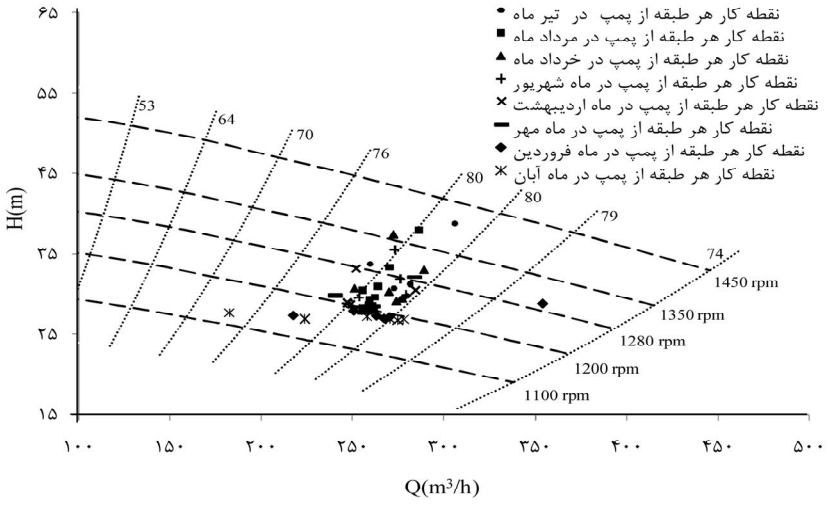


Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به نتایج به‌دست آمده از جایگزینی پمپ دور متغیر به‌جای پمپ با دور ثابت، در هر دو مورد مطالعه شده (مثال نمونه و طرح واقعی)، می‌توان گفت که به‌کارگیری پمپ دور متغیر در سامانه آبیاری تحت فشار باعث بالا رفتن انعطاف‌پذیری سامانه آبیاری، بازده پمپ و کاهش هزینه و مصرف انرژی الکتریکی پمپ‌ها می‌شود.

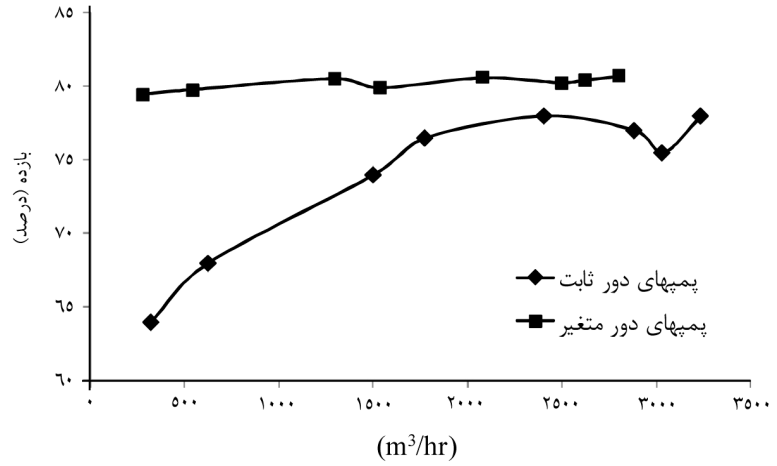
این نتایج با نتایج پژوهشگرانی چون لامادالنا و ساگاردوی (۲۰۰۰)، کامویرانو و دلپیان (۲۰۰۵) و دیاز و همکاران (۲۰۰۹) همخوانی دارد؛ هر چند که با توجه به شرایط هر طرح و نوع کاربری ایستگاه پمپاژ، اعم از کشاورزی و یا صنعتی، مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی و افزایش بازده، متفاوت خواهد بود و به یک عدد ثابت نمی‌رسد. همچنین سطح زیر کشت، نوع آبیاری تحت فشار و نحوه قرارگیری اجزای شبکه نیز در این تحلیل مؤثر خواهد بود. همچنین با بالا رفتن بازده پمپ، استهلاک پمپ کاهش و طول عمر مفید پمپ افزایش می‌یابد و در نتیجه نیاز به تعمیرات دوره‌ای مورد نیاز پمپ نیز کم می‌شود.




**شکل ۹- تعیین نقطه کار هر طبقه از پمپ در هر دور آبیاری، برای هر منطقه آبیاری، در طول سال.**



www.SID.ir




**شکل ۱۰- نمودار تغییر بازده هر پمپ، در دوره‌های مختلف آبیاری در طول سال، در دو حالت تنظیم ایستگاه پمپاژ.**

## منابع

1.Camoirano, R., and Dellepiane, G. 2005. Variable frequency drive for MSF desalination plant and associated pumping stations. Conference on Desalination and environment, Santa Magherita, Italy, 182: 53-65.
2.Connors, D.P., Robechek, J.D., and Jarc, D.A. 1982. Adjustable Speed Drive as Application to Centrifugal Pumps. The fourth industrial energy technology conference, Houston, USA.
3.Diaz, R.J.A., Luque, R.L., Cobo, C.M.T., Montesinos, P., and Poyato, E.C. 2009. Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurized Irrigation networks. Biosystems Engineering. 104: 552-561.
4.Farmani Marzankalateh, A., and Oraie, H. 2003. Energy Consumption Management of Electro Pumps. The forth national conference on energy, Ministry of Power, Tehran, Iran. (In Persian)
5.Fazeli, M. 2008. Presentation and use from variable speed pumps in irrigation systems. The first seminar on irrigation instrument and equipment, Shahid Abaspur University, Iran. (In Persian)
6.Hanson, R., Weigand, C., and Orloflf, S. 1996. Variable Frequency Drives for Electric Irrigation Pumping Plants save Energy. California Agriculture. 50: 1. 36-39.
7.Lamaddalene, N., and Sagardoy, J.A. 2000. Performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems. FAO irrigation and drainage paper 59, Rome, 132p.
8.Lamaddalene, N., and Khila, S. 2012. Energy Saving with Variable Speed Pumps in On-Demand Irrigation Systems. Springer, Irrig. Sci. 30: 157-166.
9.Moreno, M.A. 2008. Development of a new methodology to obtain the characteristic pump curves that minimize the total cost at pumping stations. Biosystems Engineering. 102: 95-105.



Archive of SID
www.SID.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(3), 2014*
*http://jwsc.gau.ac.ir*

# Hydraulic Design and Evaluation of Variable Speed Pumps on Pressurized Irrigation Systems (Case study: Harkalleh-Laali Irrigation System)

**Z. Raeisian Amiri[1] and *A. Parvaresh Rizi[2]**
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Water Structure, University of Tehran, [2]Assistant Prof., Dept. of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj
Received: 07/05/2012; Accepted: 07/21/2013

**Abstract**

In recent years, energy cost has increased more than other expenses of agriculture sectors. Reconsidering the status of agricultural pumping stations, the features of their energy consumption and applying the new design methods, to increase the efficiency, have valuable roles in controlling energy consumption. In these stations constant-speed pumps are used which could have suitable efficiency in a small range of pressure and discharge changes. If the less pressure or discharge is favored according to irrigation program, the unbalanced relation between motor speed and system curve will, cause high energy losses. This problem, especially in systems like pressurized irrigation that frequently confront the demand changing, imposes extra costs. In this study, Harkalleh-Laali irrigation system, with introducing a method as well as analyzing a practical example, the effects of variable-speed pumps displacement were evaluated in comparison with constant-speed pumps in viewpoints of hydraulics of plan, energy consumption and pump efficiency. Results show that with employing variable-speed pumps in this project, pump efficiency could be increased up to 10% and the reduction of energy consumption per year could reach 49%, related to the current plan.

***Keywords:*** Pump efficiency, Pumping system curve, Optimum operating point of pump, Variable speed drive, Energy consumption

* Corresponding Author; Email: parvarsh@ut.ac.ir



Archive of SID

www.SID.ir