



ارزیابی پمپ‌های دور متغیر در سامانه‌های تحت فشار

فرزین سلماسی^{۱*}، آرین سلماسی^۲

۱- دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- دانشکده شیمی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۷

بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۱۹

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۰

ارائه آنلاین: ۱۴۰۰/۰۴/۳۰

کلمات کلیدی:

ایستگاه پمپاژ

پمپ با دور متغیر

لوله تحت فشار

راندمان

برق مصرفی

خلاصه: در سامانه‌های تحت فشار لوله‌ها، معمولاً از پمپ با دور ثابت استفاده می‌شود. زمانی که میزان تقاضای طرح متفاوت از تقاضای طراحی شود، می‌توان بدون ایجاد تغییر خاصی در سامانه، با تغییر دور پمپ، مقدار تقاضای مورد نیاز (دبی و هد) را تأمین کرد. با استفاده از یک مدار الکترونیکی راه انداز می‌توان فرکانس برق را تغییر و سرعت چرخش موتور پمپ را تغییر داد. در این تحقیق کاربرد پمپ‌های دور متغیر در سامانه‌های آبیاری تحت فشار مورد بررسی قرار گرفت. دو سناریوی ایستگاه پمپاژ شامل پمپ با دور ثابت و پمپ با دور متغیر طراحی شد. نتایج تحقیق نشان داد به کارگیری پمپ با دور متغیر به طور متوسط راندمان پمپ را ۱۸/۷ درصد افزایش می‌دهد. برق مصرفی برای ایستگاه پمپاژ با دور متغیر در طول فصول آبیاری ۱۲۸۷/۶ کیلووات-ساعت انرژی کمتری نسبت به پمپ با دور ثابت مصرف می‌کند. سامانه پمپ با دور متغیر ۵۷/۶ درصد در مقایسه با روش بهره‌برداری با پمپ دور ثابت، باعث صرفه‌جویی در انرژی برق مصرفی می‌شود. لذا استفاده از پمپ با دور متغیر در سامانه‌های تحت فشار توصیه می‌شود.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، هزینه انرژی در مقابل سایر هزینه‌های بخش کشاورزی، افزایش بیشتری داشته است. بازنگری شرایط ایستگاه‌های پمپاژ کشاورزی، چگونگی مصرف انرژی در آن‌ها و استفاده از روش‌های جدید طراحی به منظور افزایش راندمان نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی دارند. معمولاً در این ایستگاه‌ها از پمپ‌های دور ثابت استفاده می‌شود که می‌توانند در بازه کوچکی از تغییرات فشار و دبی، راندمان مناسبی داشته باشند و اگر بر اساس برنامه آبیاری به دبی و فشار کمتری نیاز باشد، وجود دور نامتناسب با منحنی مقاومت سامانه، باعث تلفات زیاد انرژی خواهد شد. این مسأله به ویژه در سامانه‌های آبیاری تحت فشار که به طور دائم با تغییر نیاز آبیاری در هر ماه مواجه هستند، هزینه اضافی زیادی را تحمیل می‌کند. امروزه بیش از ۶۰ درصد مصرف انرژی الکتریکی در صنایع توسط موتورهای الکتریکی صورت می‌گیرد. بنابراین افزایش بازده آن‌ها باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف انرژی و سرمایه می‌شود [۱]. در

ایستگاه‌های پمپاژ کشور ایران معمولاً از الکتروپمپ‌های دور ثابت استفاده می‌شود. منظور از دور ثابت، تعداد ثابت دوران‌های پروانه پمپ در واحد زمان (معمولاً دور در دقیقه) است که باعث کاهش انعطاف‌پذیری سامانه پمپاژ 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 ارائه شده توسط سازندگان پمپ‌ها، منحنی‌های دبی-هد معمولاً برای چند قطر پروانه و برای دو یا چند سرعت محدود ارائه می‌شوند. در پمپ‌های سرعت متغیر، پمپ از نظر تئوریک در تعداد نامحدودی از منحنی‌های سرعت، از بیشترین تا کمترین حد سرعت، قادر به کار کردن است. زمانی که میزان تقاضای طرح متفاوت از تقاضای طراحی شود، می‌توان بدون ایجاد تغییر خاصی در سامانه و بدون تحمیل کردن هزینه اضافی، با تغییر دور پمپ، مقدار تقاضای مورد نیاز (دبی و هد) را تأمین کرد. در این خصوص می‌توان به مثال‌های زیر اشاره کرد [۲]:

• با افزایش افت‌ها در سامانه لوله تحت فشار، هد مورد نیاز زیاد

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Salmasi@tabrizu.ac.ir



شود.

• با گذشت زمان و توسعه مساحت طرح آبیاری و زهکشی، نیاز به دبی و فشار افزایش یابد.

• در ماههایی که نیاز آبی طرح آبیاری حداکثر نیست و نیاز به دبی و همچنین فشار کم می‌شود، با به کارگیری مناسب پمپ‌های دور متغیر در ایستگاه پمپاژ، دبی و هد مورد نیاز در هر ماه تنظیم می‌شود.

به دلیل وابستگی سامانه‌های آبیاری تحت فشار به مبحث انرژی از یک سو و از سوی دیگر پایین بودن بازده ایستگاه‌های پمپاژ، روش‌های مختلفی در طی چند سال اخیر بر مبنای بهبود مصارف انرژی، توسط محققین مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. کنورز و همکاران (۱۹۸۲) به بررسی درایوهای (راه اندازه‌های) سرعت متغیر مورد استفاده در پمپ‌های گریز از مرکز (سانتریفیوژ) پرداختند [۳]. آن‌ها اشاره کردند که در روش‌های معمول کنترل جریان، از شیر کنترل استفاده می‌شود که باعث کاهش راندمان پمپ و افزایش فشار کار پمپ می‌شود. با بررسی منحنی مشخصه پمپ و سامانه، آن‌ها نشان دادند که استفاده از راه اندازه‌های تنظیم سرعت برای کاهش دبی جریان، باعث افزایش راندمان و کاهش تلفات به میزان قابل توجهی می‌شود. هانسن و همکاران (۱۹۹۶) با تقسیم کل ناحیه آبیاری به ۵ بخش و در نظر گرفتن شرایط مختلف آبیاری در هر بخش و استفاده از راه اندازه فرکانس متغیر برای ایجاد سرعت دورانی متغیر در پمپ، به منظور تامین دبی مورد نیاز در بعضی از بخش‌ها به بررسی میزان مصرف انرژی در هر کدام از آن‌ها پرداختند [۴]. آن‌ها دریافتند که مصرف انرژی بخش‌های مورد مطالعه، که از راه اندازه فرکانس متغیر در تاسیسات پمپاژ استفاده می‌کردند، کاهش ۵۶-۳۲ درصدی را نشان می‌دهد.

لامادالنا و ساگارودی (۲۰۰۰) سامانه‌های آبیاری تحت فشار را مورد مطالعه قرار دارند [۵]. آن‌ها روشی را برای افزایش راندمان آب پیشنهاد کردند که بر اساس آن، نزاع بین کشاورزان و مشکلاتی که که بر اثر کاربرد نادرست آب آبیاری ایجاد می‌شود، کاهش می‌یابد. با توجه به تغییر منحنی پمپ‌های دور متغیر در سرعت‌های مختلف و رسم آن‌ها در کنار منحنی سامانه، لامادالنا و ساگارودی (۲۰۰۰) توانستند مصرف انرژی را با توجه به تغییرات نیاز سامانه محاسبه نمایند [۵]. آن‌ها دریافتند که تلفات توان مصرفی در صورت تغییر نیاز سامانه و به کارگیری پمپ دور متغیر، بین ۲۱-۵ درصد کاهش می‌یابد. فرمانی مرزنکلاته و اورعی (۲۰۰۳) مدیریت مصرف انرژی در الکتروپمپ‌ها را مورد بررسی قرار دادند [۱]. آن‌ها اشاره کردند که الکتروپمپ حدود ۷/۱۶ درصد انرژی الکتریکی را در صنایع مصرف می‌کند

و افزایش راندمان کاری آن‌ها باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف انرژی و سرمایه خواهد شد. فاضلی (۲۰۰۸) به بررسی نقش پمپ‌های دور متغیر در کاهش فشار شبکه توزیع آب شهری پرداخت [۶]. در ایستگاه پمپاژ آبرسانی طرح امیرکبیر در شهر زنجان، از سیستم پمپاژ دور متغیر استفاده شد. فاضلی (۲۰۰۸) اشاره کرد که قبلا در این طرح از مخزن هوایی برای تأمین آب استفاده می‌شد. دستاورد این پژوهش کاهش ۷/۷۴ درصدی مصرف انرژی بود که تأیید کننده استفاده از این سامانه در بهره‌برداری بهینه از شبکه و صرفه‌جویی در هزینه‌های شرکت‌های آب و فاضلاب است [۶]. مورنو (۲۰۰۸) روش جدیدی را برای تعیین منحنی مشخصه پمپ و بازده در ایستگاه‌های پمپاژ ارائه نمود تا با استفاده از آن بتوان پارامترهای لازم برای انتخاب پمپ را با دقت کامل‌تری محاسبه نمود و از این طریق به صرفه‌جویی در مصرف انرژی و هزینه‌های طرح دست یافت [۷].

فرناندزپاچکو و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی نحوه ذخیره‌سازی انرژی در شبکه‌های آبیاری که بر اساس فشار مورد نیاز تنظیم شده‌اند، پرداختند [۸]. آن‌ها منطقه‌ای در جنوب اسپانیا را انتخاب کردند و آن منطقه را تحت ۴ سناریوی مدیریتی با سطوح مختلف نیاز آبی، مورد بررسی قرار دادند. نتیجه پژوهش 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 به کارگیری پمپ دور متغیر در دو منطقه آبیاری در جنوب ایتالیا پرداختند [۹]. آن‌ها برای تعیین منحنی سامانه، از نرم‌افزار COPAM استفاده کردند و نشان دادند که کاهش انرژی مصرفی ۳۵-۲۷ درصد به دست می‌آید.

به منظور ارزیابی هیدرولیکی پمپ‌های دور متغیر (VDF) در سامانه‌های آبیاری تحت فشار، پژوهشی توسط رئیسین امیری و پرورش ریزی (۲۰۱۴) در منطقه دشت هارکله در ۲۵ کیلومتری شرق شهرستان لالی در استان خوزستان انجام شد [۱۰]. نتایج نشان داد که با نصب VDF، راندمان پمپ‌ها در طول دوره آبیاری تقریباً به ۸۰٪ رسید که این راندمان به ندرت در ایستگاه‌های پمپاژ مشاهده می‌شود. تحلیل طرح نشان داد که دامنه دور موتور مناسب برای این سامانه بین ۱۴۵۰-۱۱۰۰ دور در دقیقه است که این میزان تغییر از نظر تجهیزات و مسائل الکترونیکی شامل محدودیت نمی‌شود. در همین حال به کارگیری پمپ در دور ثابت در دوره حداکثر مصرف نیاز آبیاری، راندمان پمپ ۷۸ درصد بوده و با کاهش دبی مصرفی در طول سال، باز راندمان پمپ تا ۶۴ درصد نیز کاهش داشته است. زمانی که طراحی

که در آن چند پمپ موازی به کار رفته بود [۱۸]. هدف از به کار بردن چند پمپ موازی کاهش اثر موج‌های مثبت و منفی ناشی از پدیده ضربه قوچ بود. آن‌ها از روش خطوط مشخصه صریح برای حل معادلات حاکم استفاده کردند و نتایج نشان داد که خاموشی گام به گام پمپ‌ها بر کاهش اثرات مخرب ضربه قوچ موثر خواهد بود. اگر پمپ‌ها دارای اندازه متفاوت باشند، پیشنهاد این محققان خاموشی گام به گام پمپ‌ها بر اساس قدرت آن‌ها است.

این پژوهش به منظور ارزیابی راندمان پمپ‌های دور متغیر انجام گرفته است. در این تحقیق دو نوع ایستگاه پمپاژ با دور ثابت و دور متغیر با سامانه آبیاری تحت فشار بارانی در نظر گرفته شده است. مساحت اراضی کشاورزی ۷۰ هکتار با محصولات گندم، ذرت و یونجه در اطراف شهر تبریز است. هدف تعیین برق مصرفی و نشان دادن اهمیت کاهش آن است که کمتر در ایران مورد توجه قرار گرفته است. برای این منظور، نحوه انجام محاسبات لازم برای طراحی سامانه مجهز به پمپ‌های دور متغیر نشان داده خواهد شد. محاسبه کل برق مصرفی بر حسب کیلووات ساعت در طول دوره زمانی آبیاری محصولات کشاورزی در هر دو نوع سامانه از جمله اهداف این تحقیق است.

۲- مواد و روش‌ها

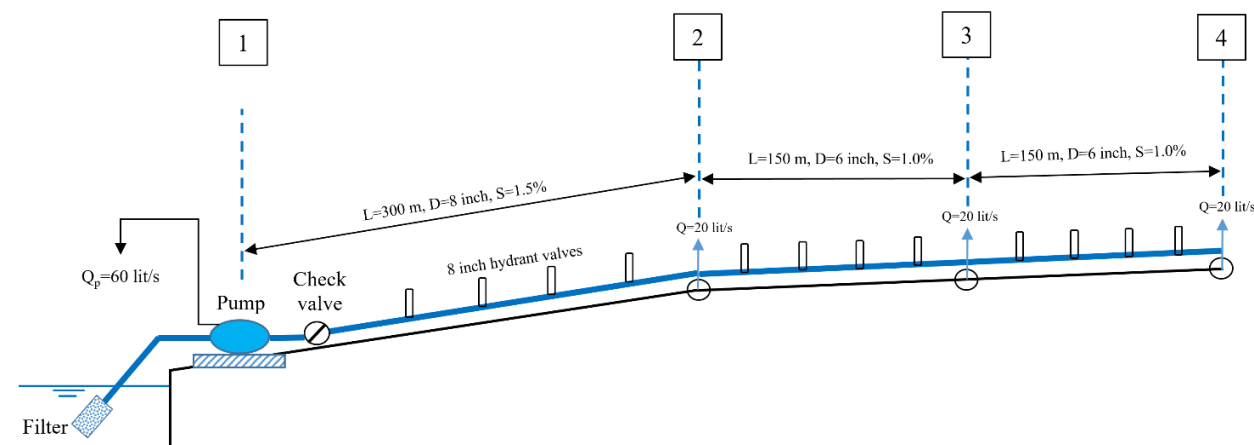
یکی از اهداف طراحی هر ایستگاه پمپاژ آن است که پمپ مورد استفاده در نزدیک‌ترین نقطه بازده بهینه کار کند. لیکن در هنگام بهره‌برداری، سیستم پمپاژ با نوسانات زیادی مواجه می‌شود. در نتیجه تعیین سرعت ثابت برای پمپی که در نزدیکی شرایط بهینه خود کار کند، در این شرایط مشکل بوده و مانند یک هدف متحرک خواهد بود. این امر لزوم تغییر نگرش به روش طراحی ایستگاه‌های پمپاژ را در کنار مسئله صرفه‌جویی انرژی دو چندان می‌کند. از این رو، رویکرد به مدیریت تلفیقی آب و انرژی در بهره‌برداری سامانه‌های تحت فشار، باید مورد توجه قرار گیرد.

در این تحقیق مزرعه‌ای با مساحت اراضی کشاورزی ۷۰ هکتار با محصولات گندم، ذرت و یونجه در اطراف شهر تبریز در نظر گرفته شد. این مزرعه در روستای تازه کند در ۳۰ کیلومتری جنوب غربی شهر تبریز واقع است. ایستگاه پمپاژ آب شامل موتور پمپ الکتریکی با دور ثابت برای استفاده در سامانه آبیاری تحت فشار بارانی است. در طرح موجود از پمپ سانتریفیوژ از نوع EA ۱۲۵-۵۰/۲ استفاده شده است. انتخاب این پمپ بر اساس حداکثر مصرف شبکه آبیاری بارانی در تیر ماه صورت گرفته است. شکل ۱ موقعیت مزرعه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

ایستگاه پمپاژ توسط پمپ دور ثابت انجام می‌شود، انعطاف‌پذیری پمپ افزایش می‌یابد. به همین دلیل برای تامین اطمینان‌پذیری هر یک از پمپ‌ها، تعداد پمپ‌های مورد نیاز به ۱۰ عدد کاهش می‌یابد که در سرمایه‌گذاری اولیه هم تاثیرگذار 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 بررسی قرار گرفته است. این نتایج با نتایج پژوهشگرانی چون لامادالنا و ساگاردوی [۵] کامویرانو و دلیپان [۱۱]، لی و همکاران [۱۲] و دیاز و همکاران [۱۳] 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.

ضربه قوچ پدیده‌ای است که می‌تواند در ایستگاه‌های پمپاژ بر اثر بستن ناگهانی شیر کنترل و یا قطعی برق اتفاق افتد. بر اثر این پدیده، موج‌های مثبت و منفی در طول لوله ایجاد می‌شود که موج‌های مثبت می‌توانند باعث ترکیدن لوله و موج‌های منفی می‌توانند باعث ایجاد کاویتاسیون (خلأ زایش) گردند [۱۴]. استفاده از پمپ با دور متغیر می‌تواند در کاهش اثر ضربه قوچ موثر باشد. بدین ترتیب که برای قطع کامل جریان در لوله، می‌توان با کاهش دور موتور الکتریکی در طی زمانی معین، کاهش تدریجی سرعت در لوله ایجاد کرد و بدین ترتیب نوسانات موج‌های مثبت و منفی را کاهش داد [۱۵]. احمدی و کرامت (۲۰۰۸) به بررسی کوپل اتصالات در سامانه ایستگاه پمپاژ پرداختند [۱۶]. آن‌ها برای حل معادلات حاکم از روش خطوط مشخصه استفاده کردند.

نیک پور و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی ضربه قوچ با استفاده از مدل آزمایشگاهی و مدل عددی برای دو حالت با استفاده از لوله موج‌گیر و بدون آن مورد پرداختند [۱۷]. داده‌های جمع‌آوری شده از مدل آزمایشگاهی به ازای دبی‌های مختلف در بازه‌های زمانی متفاوت با نتایج حاصل از مدل عددی CFD مقایسه گردید. با توجه به کارایی نرم‌افزار FLUENT در شبیه‌سازی حرکت سیالات و اندرکنش آب و سازه، پس از تعیین بهترین شبکه و بهترین مدل آشفتگی، پدیده مذکور در حالت خاص قطع ناگهانی شیر فلکه با استفاده از مدل حجم سیال شبیه‌سازی شد. نتایج به دست آمده نشان داد مدل عددی CFD در شبیه‌سازی پدیده ضربه قوچ از قابلیت بالایی برخوردار بوده و می‌توان از آن به عنوان یک مدل عددی مناسب جهت محاسبه مقادیر فشارهای حداکثر و حداقل بهره برد. پارسا صدر و همکاران (۲۰۱۶) یک ایستگاه پمپاژ را به صورت عددی شبیه‌سازی کردند



شکل ۲. سیستم آبیاری بارانی شامل سه لوله جانبی منشعب از لوله اصلی

Fig. 2. Sprinkler irrigation system consists of three lateral pipes branching from the main pipe

راندمان پمپ‌های گریز از مرکز معمولاً بین ۶۰ تا ۹۰ درصد می‌باشند [۱۹]. کاربرد قانون تشابه در پمپ‌ها برای انطباق پمپ با سیستم آبرسانی است. بدین معنی که می‌توان با تغییر سرعت چرخش پروانه پمپ، مقدار دبی و یا هد را تغییر داد. دبی پمپ با سرعت چرخش پروانه رابطه مستقیم دارد. لذا می‌توان نوشت:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{rpm_1}{rpm_2} \quad (3)$$

که در آن Q دبی پمپ و rpm سرعت چرخش پروانه پمپ هستند. از طرفی هد یا بار کل دینامیکی تولیدی توسط پمپ با مربع دبی جریان طبق رابطه داریسی-ویسباخ متناسب است. لذا خواهیم داشت:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{rpm_1}{rpm_2} \right)^2 \quad (4)$$

توان ترمزی (BP) مطابق رابطه زیر با توان سوم دبی جریان متناسب است. یعنی داریم:

$$\frac{BP_1}{BP_2} = \left(\frac{rpm_1}{rpm_2} \right)^3 = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^3 \quad (5)$$

مطابق شکل ۲ در یک سیستم آبیاری بارانی سه لوله جانبی هر یک با آبدهی ۲۰ لیتر بر ثانیه از لوله اصلی منشعب می‌شوند. فشار مورد نیاز در ابتدای هر لوله فرعی ۳۵/۱۴ متر است. لوله‌ها از جنس PVC و ظرفیت سیستم ۶۰ لیتر بر ثانیه است. ارتفاع مکش برابر ۲/۵ متر و افت اصطکاکی ناشی از اتصالات، زانوها و توری (صافی) در قسمت مکش برابر یک متر می‌باشد.

توان مفید پمپ (P) مقدار انرژی است که در واحد زمان توسط پمپ به سیال داده می‌شود و به صورت زیر محاسبه می‌گردد [۱۹]:

$$P = \gamma Q H_T \quad (1)$$

اگر در رابطه فوق وزن مخصوص سیال (γ) بر حسب نیوتن بر متر مکعب، دبی جریان (Q) بر حسب متر مکعب در ثانیه و ارتفاع کل پمپاژ (H_T) بر حسب متر نوشته شود، توان مفید بر حسب وات (W) خواهد بود. یک وات برابر یک نیوتن-متر بر ثانیه است.

راندمان پمپ عبارت است از نسبت توان مفید پمپ به توان اولیه مورد نیاز برای به کار انداختن پمپ یا توان ترمزی (BP).

$$\eta = \frac{P}{BP} \quad (2)$$

جدول ۱. افت اصطکاکی در لوله اصلی بین ایستگاه ۱ تا ۴

Table 1. Friction loss (hf) in the main pipe between stations 1 and 4

Pipe Part	Q (L/s)	D (mm)	L (m)	C	hf (m)	V (m/s)	V ² /2g
Part 1-2	60	203.2	300	150	3.86	1.851	0.175
Part 2-3	40	152.4	150	150	3.70	2.194	0.245
Part 3-4	20	152.4	150	150	1.02	1.097	0.061
Sum					8.59		

جدول ۲. افت اصطکاکی در شیرآلات و زانوها بین ایستگاه ۱ تا ۴

Table 2. Head loss in valves, fixtures, and bends between stations 1 and 4

Part 1-2	No	K	hf (m)
Check valve 8-in	1	1.3	0.227
Elbow 45 Deg.	2	0.6	0.210
Hydrant 8-in	4	0.3	0.210
3 way 8-in	1	0.5	0.087
Part 2-3	No	K	hf (m)
Hydrant 6-in	4	0.3	0.294
3 way 6-in	1	0.5	0.123
Part 3-4	No	K	hf (m)
Hydrant 6-in	4	0.3	0.074
Sum=			1.224

محاسبه افت اصطکاکی در لوله اصلی بین ایستگاه ۱ تا ۴ با استفاده از رابطه هیزن ویلیامز در جدول ۱ ارائه گردیده است (C ضریب اصطکاک در رابطه هیزن ویلیامز است و برابر لوله PVC برابر ۱۵۰ فرض شده است):
افت ناشی از شیرآلات، زانوها و غیره (hf) با توجه به شکل به صورت جدول ۲ محاسبه می‌گردد. قابل ذکر است که در جدول ۲ منظور از K ضریب افت بار در شیرآلات و اتصالات می‌باشد. ستون آخر از رابطه زیر به دست آمده است.

$$h_f = K \times \frac{V^2}{2g} \quad (7)$$

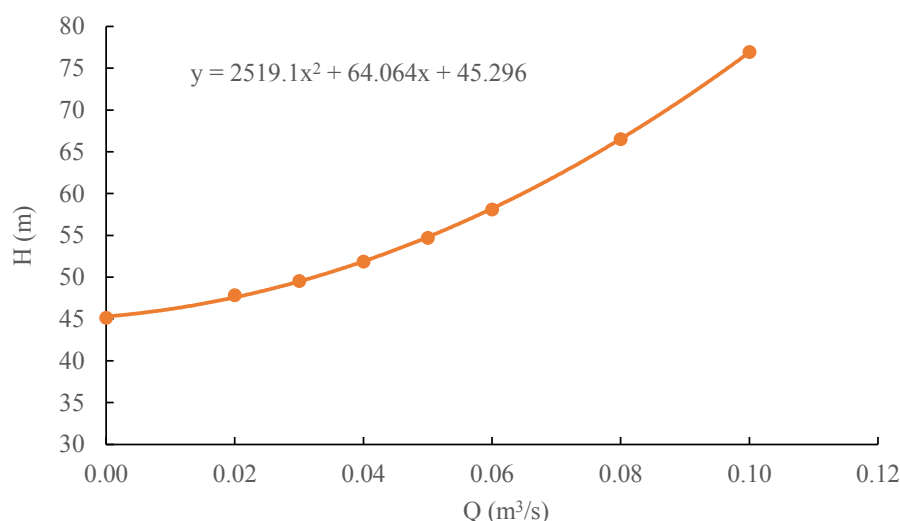
بار دینامیکی کل مورد نیاز سیستم مطابق زیر محاسبه می‌شود.
با توجه به شکل داده شده لوله جانبی بحرانی در ایستگاه ۴ می‌باشد (چون هم در فاصله بیشتر و هم در ارتفاع بالاتری از بقیه نقاط قرار دارد). ارتفاع یا بار فشاری مورد نیاز در ابتدای لوله جانبی برابر با ۳۵/۱۴ متر است. با توجه به شیب زمین (S) و طول لوله (L)، اختلاف ارتفاع بین دو ایستگاه ۱ و ۴ برابر است با:

$$H = \sum_{i=1}^3 L_i S_i = 300 \times 0.015 + 2 \times 150 \times 0.01 = 7.5 m \quad (6)$$

جدول ۳. کل بار دینامیکی مورد نیاز سیستم

Table 3. Total dynamic head required by the sprinkler irrigation system

ارتفاع آب (متر)	شرح
۳۵/۱۴	ارتفاع یا بار فشاری مورد نیاز در ابتدای لوله جانبی (طبق داده مسئله)
۸/۵۹	افت اصطکاکی در طول لوله اصلی (طبق اولین جدول در حل مسئله)
۱/۲۲	افت ناشی از شیرآلات، زانوها و غیره (طبق دومین جدول در حل مسئله)
۱۰	جمع ارتفاع مکش و اختلاف ارتفاع بین نقطه ۱ و ۴ (بار استاتیکی یا بار هندسی) از جمع ۲/۵ و ۷/۵
۱	افت اصطکاکی ناشی از توری (صافی) در مکش پمپ
۲/۱۶	افت‌های متفرقه (۲۰ درصد افت‌های اصطکاکی فرض می‌شود). دقت شود که جمع افت‌های اصطکاکی در ستون‌های بالا ۱۰/۸۱ متر است.
۵۸/۱۱	کل بار دینامیکی مورد نیاز سیستم (جمع کل ستون‌های بالا)



شکل ۳. منحنی سیستم شبکه آبیاری بارانی

Fig. 3. System curve for sprinkler irrigation network

چند دبی بالاتر از دبی طرح (۶۰ لیتر بر ثانیه) و چند دبی پایین‌تر از آن در نظر گرفته می‌شود. در شکل ۳ منحنی دبی-ارتفاع سیستم پس از محاسبات مربوطه ارائه گردیده است:

لازم به توضیح است که محل تلاقی منحنی با محور y ها برابر ۴۵/۱۴ متر است که حاصل جمع فشار مورد نیاز در ابتدای لوله جانبی و جمع ارتفاع مکش و اختلاف ارتفاع بین ایستگاه‌های ۱ و ۴ است. به عبارت دیگر هنگامی

کل بار دینامیکی مورد نیاز سیستم طبق جدول ۳ محاسبه می‌گردد. بنابراین حداکثر مصرف شبکه در تیر ماه ۶۰ لیتر بر ثانیه و بار کل دینامیکی برابر ۵۸/۱۱ متر است. منحنی سیستم یعنی تغییرات دبی در مقابل ارتفاع مطابق روش زیر قابل تعیین است:

برای تعیین منحنی سیستم باید به ازای دبی‌های جریان متغیر، مقدار بار کل دینامیکی را مجدداً مطابق روش فوق‌الذکر محاسبه نمود. معمولاً

جدول ۴. محاسبه راندمان، توان ترمزی و مصرف برق سامانه آبیاری بارانی در شرایط موجود طراحی (پمپ با دور ثابت)

Table 4. Calculation of efficiency, brake power and electrical consumption of sprinkler irrigation system in the current design conditions (constant speed pump)

Parameter	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Sum
Water requirements (m ³ /ha)	984.13	1541.05	1242.44	964.54	757.35	692.81	
Total water requirements (m ³ in 70 ha)	68889.1	107873.5	86970.8	67517.8	53014.5	48496.7	
Pump discharge, Q (m ³ /s)	0.0398	0.0460	0.0431	0.0364	0.0332	0.0331	
Pump operating time (hr)	15.500	21.700	18.100	16.600	14.800	13.110	99.810
TDH (m)	65.372	60.982	63.182	67.438	69.223	69.234	
Net power, P (kw)	25.540	27.536	26.687	24.111	22.523	22.513	
Pump Efficiency without varied speed (%)	71.78	74.51	73.40	69.61	67.06	67.05	
Brake power (kw)	35.58	36.96	36.36	34.64	33.58	33.58	
Electrical consume (kw-h)	551.53	801.96	658.09	574.95	497.05	440.20	3523.774

۳- نتایج و بحث

با استفاده از روابط (۳) تا (۵)، در شکل ۷ منحنی مشخصه پمپ در سرعت‌های مختلف دور موتور پمپ محاسبه شده است. نقطه کار سامانه از محل تقاطع این منحنی‌ها با منحنی سیستم به دست می‌آید. محاسبات تغییر دور پمپ با تغییر دبی مورد نیاز در ماه‌های مختلف توسط جدول ۵ می‌باشد. شکل ۷ نشان می‌دهد که نقطه کار سامانه در سرعت‌های مختلف دور موتور پمپ تغییر می‌کند. برای پیدا کردن محل دقیق نقطه کار، در شکل ۷ دو معادله غیرخطی درجه دوم (معادله مقاومت سامانه و معادله مشخصه دبی-هد پمپ) همزمان حل شده و محل نقاط کار در ردیف‌های ۶ و ۷ از جدول ۵ نوشته شده است. در جدول ۵ محاسبه راندمان، توان ترمزی و مصرف برق سامانه آبیاری بارانی در شرایط پمپ با دور متغیر ارائه شده است. راندمان پمپ با دور متغیر بین ۷۰/۳ تا ۹۷/۶ درصد تغییر دارد که نسبت به راندمان پمپ با دور ثابت بهبود پیدا کرده است. برق مصرفی برابر ۲۲۳۵/۲۱ کیلووات-ساعت در طول فصول آبیاری به دست آمده است که نسبت به برق مصرفی پمپ با دور ثابت ۱۲۸۸/۶ کیلووات-ساعت کاهش نشان می‌دهد. این مقدار ۵۷/۶۵ درصد کمتر از کاربرد پمپ با دور ثابت است که باعث کاهش هزینه برق مصرفی می‌شود.

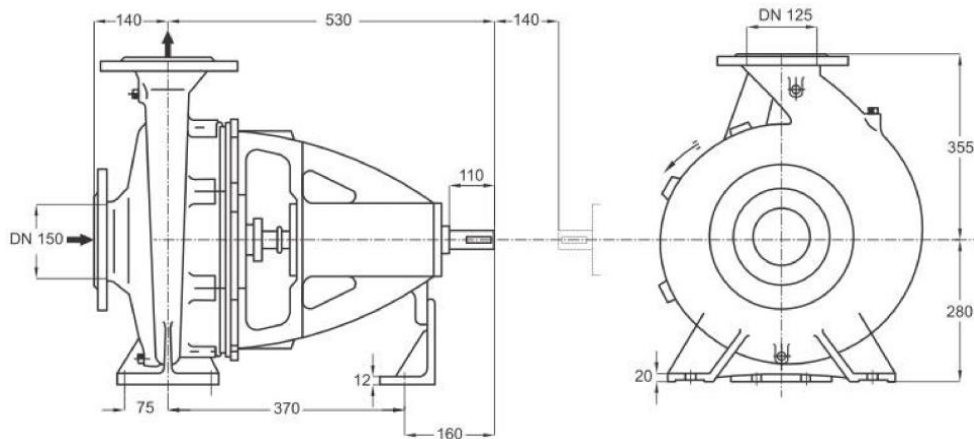
با استفاده از رابطه (۴)، در شکل ۸ تغییرات دور پمپ در ماه‌های مختلف

که دبی به صفر میل می‌کند، افت‌های اصطکاکی نیز به صفر میل خواهند کرد ولی عدد ۴۵/۱۴ متر کماکان به قوت خود باقی خواهد بود.

مصرف حداکثر شبکه در تیر ماه ۶۰ لیتر بر ثانیه و بار کل دینامیکی برابر ۵۸/۱۱ متر است. لذا در طرح موجود پمپ سانتریفیوژ مناسب از نوع EA ۱۲۵-۵۰/۲ انتخاب شده است. با توجه به فرکانس ۵۰ هرتز، سرعت چرخش موتور ۱۴۵۰ دور بر دقیقه است. در شکل ۴ ابعاد پمپ سانتریفیوژ EA ۱۲۵-۵۰/۲ ساخت شرکت پمپیران در شهر تبریز ارائه شده است. قطر پروانه پمپ ۳۱۹ میلی‌متر است.

در شکل ۵ منحنی مشخصه پمپ و منحنی سیستم تواما رسم شده‌اند تا محل تلاقی آن‌ها نقطه کار را به دست دهد. بر اساس این شکل، نقطه کار پمپ به مختصات $Q=0.052 \text{ m}^3/\text{s}$, $H=55.60 \text{ m}$ به دست می‌آید. مطابق کاتولوگ کارخانه سازنده پمپ، منحنی تغییرات راندمان پمپ در مقابل دبی در شکل ۶ ارائه شده است. در دبی طراحی ۶۰ لیتر بر ثانیه، راندمان پمپ برابر ۷۴/۸۱ درصد دست می‌آید.

در جدول ۴ محاسبه راندمان، توان ترمزی و مصرف برق سامانه آبیاری بارانی در شرایط موجود طراحی (پمپ با دور ثابت) ارائه شده است. در شرایط موجود طراحی، راندمان پمپ بین ۶۹/۶ تا ۷۴/۵ درصد تغییر دارد. کل برق مصرفی برابر ۳۵۲۳/۷۷ کیلووات-ساعت در طول فصول آبیاری به دست آمده است.



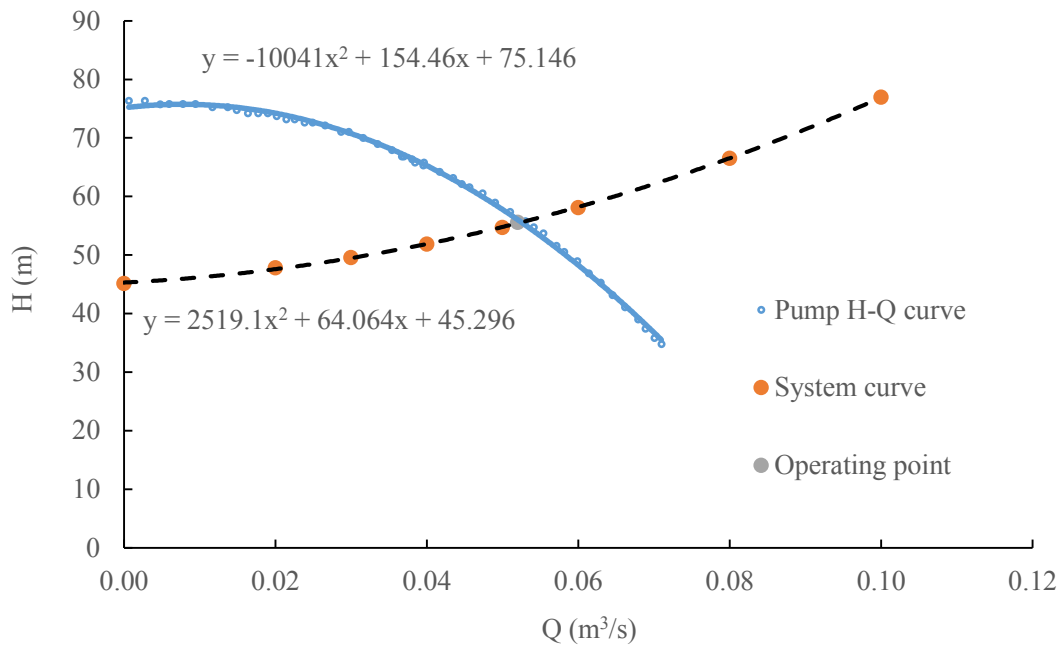
الف- مقطع طولی و عرضی پمپ
a-Longitudinal and cross sectional of pump



ب- عکس موتور پمپ
b-Photo of pump

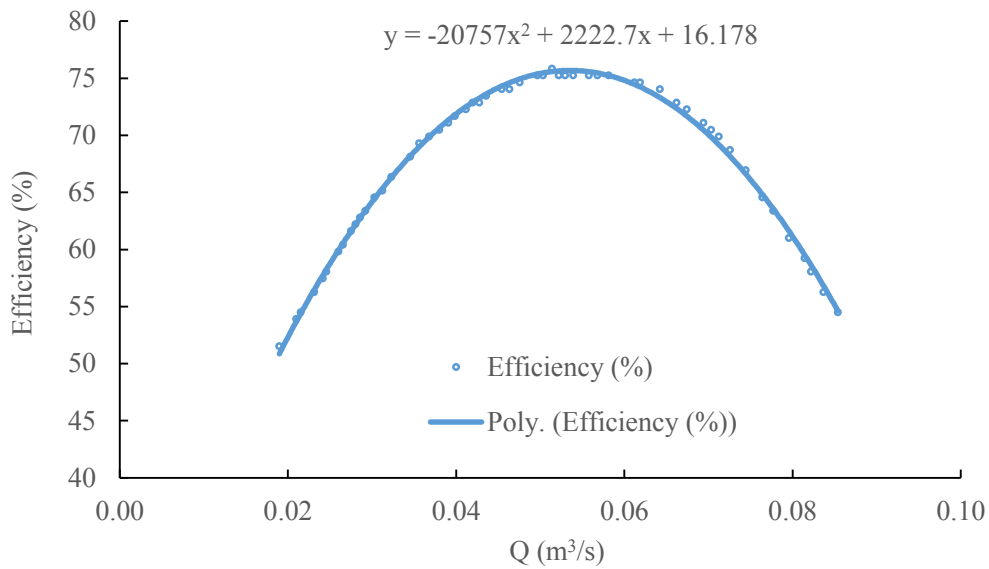
شکل ۴. ابعاد پمپ سانتریفیوژ EA ۱۲۵-۵۰-۲ ساخت شرکت پمپیران

Fig. 4. Dimensions and photograph of the EA-125-50/2 centrifugal pump made by Pump Iran Company, Iran



شکل ۵. محل تقاطع منحنی مشخصه پمپ و منحنی سیستم برای تعیین نقطه کار پمپ

Fig. 5. The intersection of the pump characteristic curve and the system curve determine the operating point



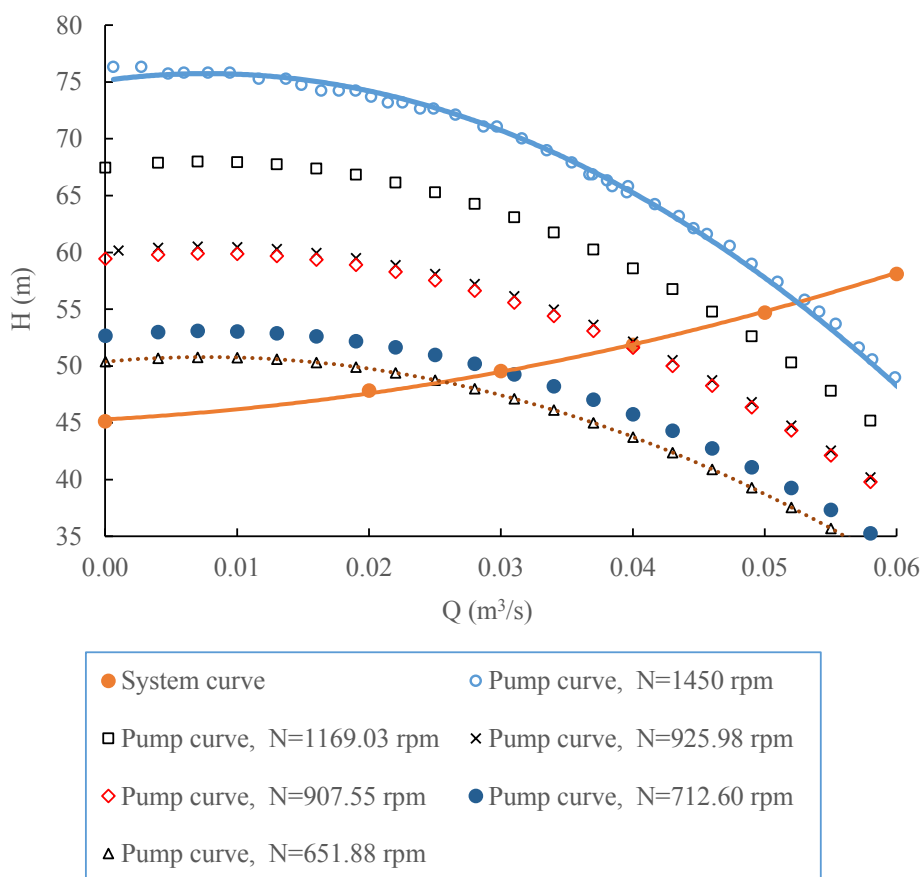
شکل ۶. منحنی تغییرات راندمان پمپ در مقابل دبی در پمپ سانتریفیوژ

Fig. 6. Variation of pump efficiency against discharge

جدول ۵. محاسبه راندمان، توان ترمزی و مصرف برق سامانه آبیاری بارانی با در نظر گرفتن پمپ با دور متغیر

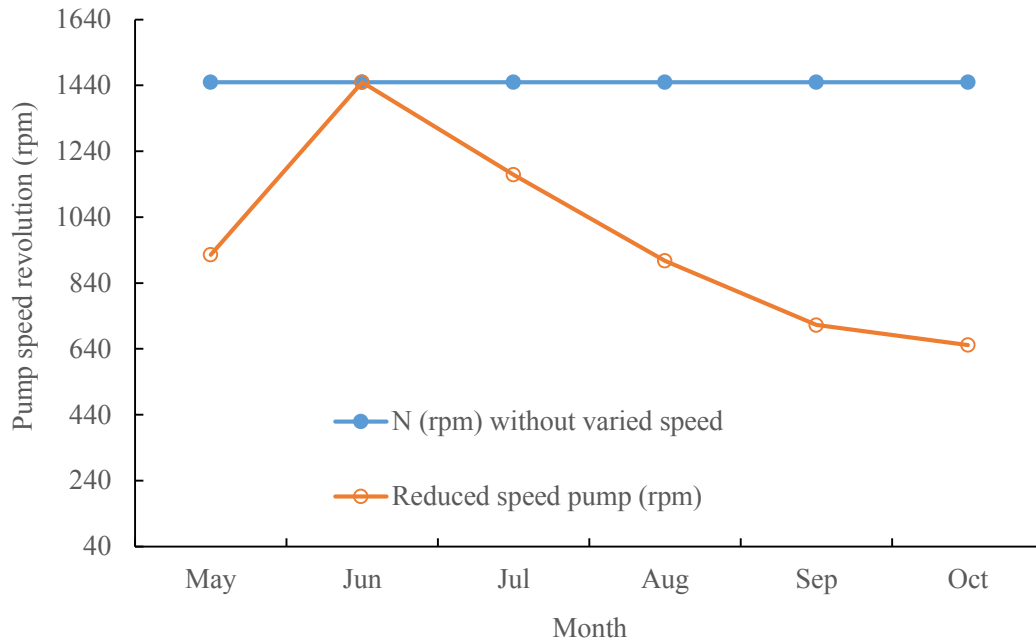
Table 5. Calculations of efficiency, brake power and electricity consumption of the sprinkler irrigation system using a variable speed pump (VSP)

Parameter	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Sum
Water requirements (m ³ /ha)	984.13	1541.05	1242.44	964.54	757.35	692.81	
Total water requirements (m ³ in 70 ha)	68889.1	107873.5	86970.8	67517.8	53014.5	48496.7	
Reduced speed pump (rpm)	925.98	1450.00	1169.03	907.55	712.60	651.88	
Pump operation (hr)	15.432	19.208	16.581	15.513	16.363	16.714	99.810
Q in operating point (m ³ /s)	0.04	0.052	0.047	0.039	0.03	0.026	
H in operating point (m)	51.980	55.600	53.930	51.800	49.530	48.600	
Net power, P (kw)	20.40	28.36	24.87	19.82	14.58	12.40	
Pump Efficiency (%) with varied speed	96.44	97.60	96.94	94.64	77.99	70.31	
Brake power (kw)	21.15	29.06	25.65	20.94	18.69	17.63	
Electrical consume (kw-h)	326.40	558.19	425.31	324.84	305.81	294.65	2235.210



شکل ۷. تعیین نقطه کار سامانه در سرعت های مختلف دور موتور پمپ

Fig. 7. Operating points of the system at different pump speeds



شکل ۸. تغییرات راندمان پمپ در ماه‌های مختلف برای دو حالت پمپ با دور ثابت و پمپ با دور متغیر

Fig. 8. Variation of pump impeller rotation in different months for fixed speed pump and variable speed pumps

۴- راه انداز فرکانس متغیر

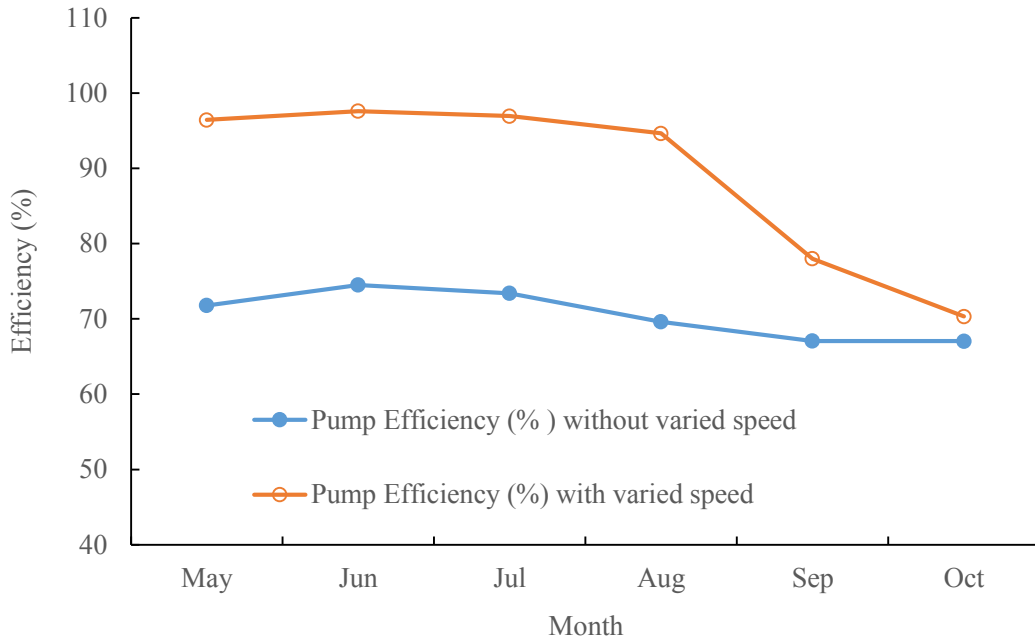
راه انداز فرکانس متغیر (VFD) نوعی کنترل کننده موتور است که با تغییر فرکانس و ولتاژ به کار رفته در موتور الکتریکی می‌تواند موتور الکتریکی را به حرکت در بیاورد. نام‌های دیگری که برای درایو (راه انداز) الکتریکی به کار می‌روند عبارتند از: درایور سرعت متغیر، درایو سرعت قابل تنظیم، درایو فرکانس قابل تنظیم، درایو AC، میکرودرایو، و اینورتر.

فرکانس (یا هرتز) با سرعت موتور (RPM) نسبت مستقیم دارد. به عبارت دیگر، هر چه فرکانس سریع‌تر باشد، سرعت موتور نیز سریع‌تر خواهد بود. اگر کاربری به موتور الکتریکی که با سرعت کامل حرکت کند نیاز نداشته باشد، آنگاه برای پایین آوردن فرکانس و ولتاژ به منظور رفع شرایط مورد نیاز بار موتور الکتریکی می‌توان از راه انداز الکتریکی استفاده کرد. از آنجایی که شرایط مورد نیاز برای سرعت موتور در کاربرد مورد نظر تغییر می‌کند، بنابراین راه انداز الکتریکی با بالا و پایین آوردن سرعت موتور می‌تواند به سادگی شرط مورد نیاز سرعت را برطرف کند [۲۰]. بیشتر راه اندازهای فرکانس متغیر برای تنظیم فرکانس، نخست برق ورودی را به حالت جریان مستقیم تبدیل می‌کنند و سپس آن را به حالت متناوب با فرکانس دلخواه برمی‌گردانند. اینکه راه انداز برای تبدیل برق مستقیم به

برای دو حالت پمپ با دور ثابت و پمپ با دور متغیر رسم شده است. دور پمپ از ۱۴۵۰ دور بر دقیقه در ماه حداکثر مصرف آب (تیر ماه) تا ۶۵۱/۸۸ دور بر دقیقه تغییر می‌کند. با کاهش نیاز آبی گیاهان الگوی کشت دور پمپ طبق رابطه (۴) کاهش یافته و مانع هدر رفت بیشتر انرژی می‌شود.

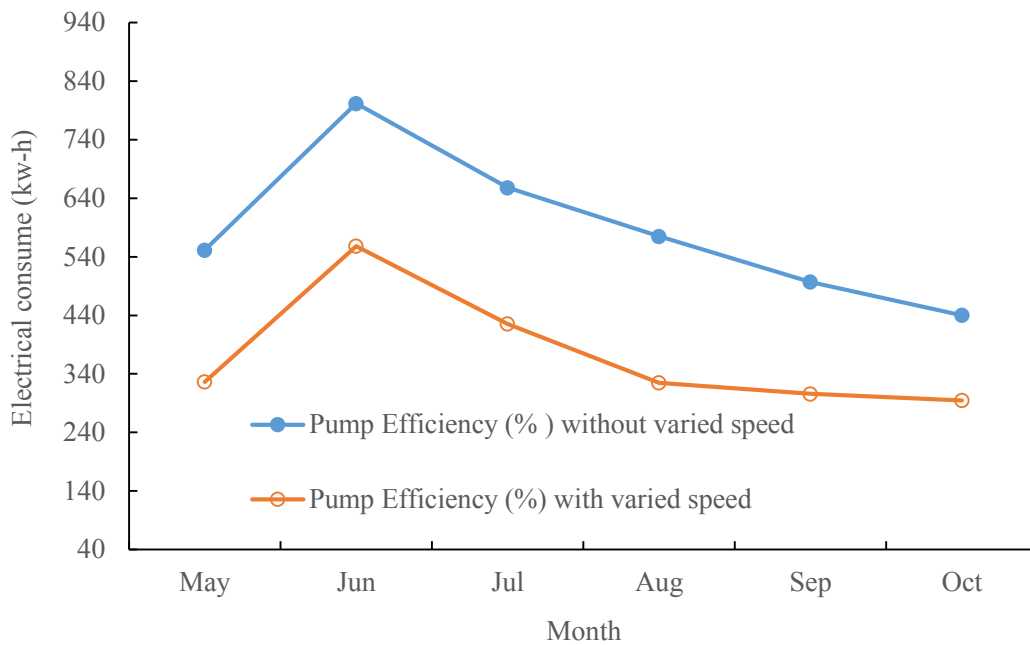
با استفاده از رابطه (۵)، در شکل ۹ تغییرات راندمان پمپ در ماه‌های مختلف برای دو حالت پمپ با دور ثابت و پمپ با دور متغیر رسم شده است. نتایج تحقیق نشان داد به کارگیری پمپ با دور متغیر به طور متوسط راندمان پمپ را ۱۸/۷ درصد افزایش می‌دهد. بهبود راندمان پمپ با افزایش دبی مورد نیاز سیستم، بیشتر است.

در شکل ۱۰ تغییرات برق مصرفی پمپ در ماه‌های مختلف برای دو حالت پمپ با دور ثابت و پمپ با دور متغیر رسم شده است. تغییرات برق مصرفی در ماه‌های مختلف برای حالت پمپ با دور ثابت بین ۴۴۰/۲ تا ۸۰۱/۹۶ کیلووات-ساعت تغییر دارد که برای حالت پمپ با دور ثابت بین ۲۹۴/۶۵ تا ۵۵۸/۱۹ کیلووات-ساعت تغییر دارد. نتایج نشان می‌دهد که سامانه پمپ با دور متغیر ۵۷/۶ درصد در مقایسه با روش بهره‌برداری با پمپ دور ثابت، باعث صرفه‌جویی در انرژی برق مصرفی می‌شود. لذا استفاده از پمپ با دور متغیر موجب صرفه‌جویی اقتصادی در مصرف برق می‌شود.



شکل ۹. تغییرات راندمان پمپ در ماه های مختلف برای دو حالت پمپ با دور ثابت و پمپ با دور متغیر

Fig. 9. Variation of Pump efficiency in different months for two modes of fixed speed pump and variable speed pump



شکل ۱۰. تغییرات برق مصرفی پمپ در ماه های مختلف برای دو حالت پمپ با دور ثابت و پمپ با دور متغیر

Fig. 10. Pump power consumption in different months for two modes of pump operation

برق مصرفی برای ایستگاه پمپاژ با دور متغیر در طول فصول آبیاری ۱۲۸۸/۶ کیلووات- ساعت انرژی کمتری نسبت به پمپ با دور ثابت مصرف می‌کند. این مقدار ۵۷/۶۵ درصد کمتر از کاربرد پمپ با دور ثابت است که باعث کاهش هزینه برق مصرفی می‌شود. نتیجتاً استفاده از پمپ با دور متغیر در سامانه‌های تحت فشار توصیه می‌شود. برای ایجاد دور متغیر، نیاز به مدار الکترونیکی تغییر فرکانس برق خواهد بود که اصطلاحاً به آن راه انداز گفته می‌شود.

منابع

- [1] A. Farmani Marzankalateh, H. Oraie 2003. Energy Consumption Management of Electro Pumps. The forth national conference on energy, Ministry of Power, Tehran, Iran (In Persian)
- [2] R. Abadia, C. Rocamora, A. Ruiz, H. Puerto, Energy efficiency in irrigation distribution networks, I: Theory. Biosystems Engineering. 101.1: (2008) 21-27.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.05.013>
- [3] D.P. Connors, J.D. Robeck, D.A. Jarc, 1982. Adjustable Speed Drive as Application to Centrifugal Pumps. The fourth industrial energy technology conference, Houston, USA.
- [4] B. Hanson, Z. Weigand, S. Orloff, Performance of Electric Irrigation Pumping Plants Using Variable Frequency Drives. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 122, 3 (1996) 179-182.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1996\)122:3\(179\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1996)122:3(179))
- [5] N. Lamaddalene, J.A. Sagardoy, 2000. Performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems. FAO irrigation and drainage paper 59, Rome, 132 p
- [6] M. Fazeli, 2008, Presentation and use from variable speed pumps in irrigation systems. The first seminar on irrigation instrument and equipment, Shahid Abasapur University, Iran, 2008 (In Persian)

متناب از چه روشی استفاده کند تا حد زیادی به اندازه و توان موتور بستگی دارد. در راه اندازهای ارزان‌تر، ولتاژ خروجی معمولاً به شکل مربعی است که برای موتورهای متناب مشکل خاصی ایجاد نمی‌کند، اما گاهی با استفاده از یک واحد اضافی شکل موج را به حالت پله‌ای درمی‌آورند تا به شکل موج سینوسی نزدیک‌تر شود [۲۱].

مبدل اولین مرحله برای یک راه انداز AC فرکانس متغیر، یا راه انداز الکترونیکی است. مبدل شامل شش دیود است، که مشابه شیرهای یک‌طرفه‌ای است که در سیستم‌های لوله‌کشی به کار می‌روند. این دیودها جریان را فقط در یک جهت به گردش درمی‌آورند؛ جهت مورد نظر توسط پیکان در نماد دیود نشان داده می‌شود. برای مثال، هرگاه ولتاژ فاز A (این ولتاژ مشابه فشار در سیستم‌های لوله‌کشی است) مثبت‌تر از ولتاژهای فاز B یا C باشد، آنگاه دیود مورد نظر باز می‌شود و جریان به گردش درمی‌آید. هرگاه فاز B مثبت‌تر از فاز A باشد، آنگاه دیود فاز B باز می‌شود و دیود فاز A بسته می‌شود. همین وضعیت برای ۳ دیود در سمت منفی باس رخ می‌دهد. از این رو، با باز و بسته شدن هر دیود شش پالس جریان تولید می‌شود. به این حالت راه انداز الکترونیکی شش پالسی می‌گویند، که پیکربندی استاندارد برای راه اندازهای فرکانس متغیر جریان است [۲۲].

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از جایگزینی پمپ دور متغیر به جای پمپ با دور ثابت، می‌توان گفت که به کارگیری پمپ با دور متغیر در سامانه آبیاری تحت فشار باعث بالا رفتن انعطاف‌پذیری سامانه آبیاری، افزایش راندمان پمپ و کاهش هزینه و مصرف انرژی الکترونیکی پمپ‌ها می‌شود. همچنین سطح زیر کشت، نوع آبیاری تحت فشار و نحوه قرارگیری اجزای شبکه نیز در این تحلیل موثر خواهد بود. با بالا رفتن راندمان پمپ، استهلاک پمپ کاهش و طول عمر مفید پمپ افزایش می‌یابد و در نتیجه نیاز به تعمیرات دوره‌ای مورد نیاز پمپ نیز کمتر می‌شود.

در این تحقیق راندمان ایستگاه‌های مجهز به پمپ‌های دور متغیر در تمام شرایط بهره‌برداری بیشتر از ایستگاه مجهز به پمپ‌های دور ثابت است. نتایج نشان داد که استفاده از پمپ‌های دور متغیر علاوه بر اینکه باعث افزایش راندمان می‌شود، نیاز آبی گیاه را نیز با صرف کمترین میزان انرژی برطرف می‌کند.

نتایج تحقیق نشان داد به کارگیری پمپ با دور متغیر به طور متوسط راندمان پمپ را ۱۸/۷ درصد افزایش می‌دهد.

- 552-561. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.09.001>
- [14] B. Mansuri, F. Salmasi, B. Oghati, Sensitivity analysis for water hammer problem in pipelines. *Iranica Journal of Energy & Environment*, 5, 2 (2014) 124-131. <https://doi.org/10.5829/idosi.ijee.2014.05.02.03>
- [15] E.B. Wylie, V.L. Streeter, S. Lisheng, (1993). *Fluid Transient in Systems*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- [16] A. Ahmadi, A.R. Keramat, Investigation of the junction coupling due to various types of the discrete points in a piping system, 12th International Conference on Computer Methods and Advances in Geomechanics, Goa, India. 2008, 4016-4024.
- [17] M.R. Nikpour, A. Hosseinzadeh Dalir, A.H. Nazemi, F. Salmasi, D. Farsadzadeh, Water hammer simulation using experimental and CFD numerical models. *Water and Soil Science*, University of Tabriz, 21, 2 (2010) 39-50. (In Persian with English abstract)
- [18] A. Parsasadr, A. Ahmadi, A.R. Keramat, Water hammer caused by intermittent pump failure in pipe systems including parallel pump groups. *International Journal of Engineering*, 29, 4 (2016) 444-453, <https://doi.org/10.5829/idosi.ije.2016.29.04a.02>
- [19] F.W. White, (2021). *Fluid Mechanics* (9th edition), McGraw-Hill, New York.
- [20] T. Lee, H. Kim, N. Lee, Performance evaluation of GaN FET-based matrix converters with dv/dt filters for variable frequency drive applications. *J. Power Electron.* 20 (2020) 844–853. <https://doi.org/10.1007/s43236-020-00070-2>
- [21] A. Ruminski, Examination of Variable Frequency Drive Transformer Copper Cooling Line Failures from Nuclear Power Plants. *J Fail. Anal. and Preven.* 16 (2016) 310–315.
- [7] M.A. Moreno, Development of a new methodology to obtain the characteristic pump curves that minimize the total cost at pumping stations. *Biosystems Engineering*. 102, 1, (2008) 95-105. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.09.024>
- [8] D. Fernandez-Pacheco, B. Ferrandez-Villena, J. Molina Martinez, A. Ruiz-Canales, Performance indicators to assess the implementation of automation in water user associations: case study in southeast Spain. *Agricultural Water Management*. 151, 3, (2015) 87–92. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.11.005>
- [9] N. Lamaddalene, S. Khila, Energy saving with variable speed pumps in on-demand irrigation systems. *Irrig. Sci.* 30 (2012) 157-166. <https://doi.org/10.1007/s00271-011-0271-7>
- [10] Z. Raeisian Amiri, A. Parvaresh Rizi, Hydraulic Design and Evaluation of Variable Speed Pumps on Pressurized Irrigation Systems (Case study: Harkalleh-Laali Irrigation System), *J. of Water and Soil Conservation*, 21(3) (2014) 145-164
- [11] R. Camoirano, G. Dellepiane, Variable frequency drive for MSF desalination plant and associated pumping stations. *Conference on Desalination and environment*, Santa Magherita, Italy, 182 (2005) 53-65.
- [12] Y. Li, J. Du, D.S. Guo, Numerical research on viscous oil flow characteristics inside the rotor cavity of rotary lobe pump. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41:274 (2019). <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1781-0>
- [13] R.J.A. Diaz, R.L. Luque, C.M.T. Cobo, P. Montesinos, E.C. Poyato, Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurized Irrigation networks. *Biosystems Engineering*. 104 (2009)

Reliability. In: Subramanian B., Chen SS., Reddy K. (eds)
Emerging Technologies for Agriculture
and Environment. Lecture Notes on Multidisciplinary
Industrial Engineering. Springer, Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-13-7968-0_20

<https://doi.org/10.1007/s11668-016-0090-5>

[22] P. Ramesh, R. Govarathanan, K. Palanisamy, S.
Paramasivam, (2020) Analysis of Grid
Parameter Variation with Renewable Energy Sources on
Variable Frequency Drive DC Capacitor

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

F. Salmasi, A. Salmasi, Evaluation of variable speed pumps in pressurized water distribution systems, Amirkabir J. Civil Eng., 54(5) (2022) 1773-1788.

DOI: 10.22060/ceej.2021.19867.7277

