مجله تحقیقات کاربردی مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۱۶/ شماره ۶۵/سال ۱۳۹۴/ص ۱۱۶-۱۰۱
AERI

برنامه‌ریزی پویا برای کنترل نوسانات فشار در ایستگاه‌های پمپاژ آبیاری مجهز به پمپ‌های دور متغیر

مرتضی دلفان‌آذری* و عاطفه پرورش‌ریزی**

* نگارنده مسئول: گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. تلفن: ۳۲۲۴۱۱۱۹(۰۲۶)، پیام‌نگار: mdelfan@ut.ac.ir

** به ترتیب: دانشجوی دکتری سازه‌های آبی؛ و استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۹

چکیده

یکی از مشکلاتی که در اکثر سامانه‌های آبیاری در حین بهره‌برداری اتفاق می‌افتد، نوسانات فشار است که اغلب توجهی به آن نشده و تمهیدات خاصی برای کنترل و تنظیم آن در نظر گرفته نمی‌شود. در این پژوهش، با کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB، روشی بر اساس کاربرد پمپ‌های دور متغیر و نصب حسگرهای فشار در چند نقطه از سامانه برای کنترل و تنظیم نوسانات فشار پیشنهاد شده است. با استفاده از این روش می‌توان نوسانات فشار را پیش‌بینی و با کنترل آن به ارتقای کارایی برنامه‌های بهره‌برداری تقاضامدار کمک کرد. با در نظر گرفتن حسگر فشار در نقاط کلیدی سامانه و ثبت داده‌های فشار طی زمان، آنالیز پویا روی داده‌ها بر مبنای فشار طراحی، انجام می‌شود و در هر دامنهٔ زمانی بهترین تصمیم برای کاهش نوسانات و ادامهٔ کار پمپ‌ها اتخاذ و از طریق خروجی برنامه به درایو تغییر دور منتقل خواهد شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از این روش در ایستگاه‌های پمپاژ با پمپ‌های دور متغیر می‌تواند نوسانات فشار را کاهش دهد و باعث عملکرد مطلوب ایستگاه پمپاژ شود؛ با استفاده از این روش، شاخص RMSE در دامنهٔ نوسانات فشار (۵± و ۱۰± درصد)، از ۰/۹ در حالت بدون کنترل فشار به ۰/۳ می‌رسد.

واژه‌های کلیدی

آبیاری تحت فشار، حسگر فشار، درایو تغییر دور، سامانه‌های آبیاری

مقدمه

یکی از راه‌های پیشرفته در کنترل فشار ایستگاه‌های پمپاژ، استفاده از پمپ‌های مجهز به گردانندهٔ کنترل دور موتور است که به پمپ‌های دور متغیر معروف هستند. با نصب حسگرهای فشار در سامانه‌های آبیاری و ثبت داده‌های فشار موجود در سامانه، این پمپ‌ها با تغییر یافتن دور، خود را با نوسانات فشار سامانه تطبیق می‌دهند و مقدار فشار مورد نیاز سامانه را با مصرف کمترین انرژی تامین می‌کنند. نوسانات فشار در سامانه‌های آبیاری ممکن است در اثر عوامل گوناگون رخ دهد که باعث می‌شود حالت طراحی شده تطابق کامل با شرایط موجود در سامانه نداشته باشد. این مسئله تقریباً در هر ایستگاهی وجود دارد و عواملی مانند نوسانات برق در ایستگاه پمپاژ یا دلایل ناشناختهٔ دیگر بر عملکرد پمپ‌ها تأثیر می‌گذارد و معمولاً در این حالت دامنهٔ نوسانات فشار، اندک و قابل کنترل است. کنترل نشدن این نوسانات کوچک در کوتاه‌مدت صدمه‌ای جدی به سامانه و ایستگاه پمپاژ وارد نمی‌کند، اما برای عملکرد مطلوب سامانه باید این نوسانات

نیز مدیریت و کنترل شوند. گاهی ممکن است دامنهٔ این نوسانات زیاد، غیرطبیعی و مداوم باشد که علاوه بر وارد کردن صدمات جدی به ایستگاه پمپاژ و پمپ‌ها باعث کاهش عملکرد مطلوب سامانه در آبیاری اراضی و در پی آن کاهش عملکرد محصول نیز شود؛ در این حالت باید عیب‌یابی و مشکل برطرف شود. عواملی مانند مسدود شدن تعداد زیادی قطره‌چکان در زیر واحد آبیاری، مسدود شدن قسمتی از خط لولهٔ آبرسان به هر دلیل، شکستگی قسمتی از خط لولهٔ آبرسان یا آبده در اثر تردد ادوات سنگین یا سایر عواملی که موجب خروج آب از آن قسمت شود، می‌توانند باعث نوسانات شدید فشار شوند. بنابراین، برای جلوگیری از ایجاد آسیب ناشی از نوسانات فشار بر ایستگاه پمپاژ و سامانه‌های آبیاری و در نتیجه جلوگیری از کاهش عملکرد محصول باید فشار و نوسانات آن را کنترل کرد. چون مطالعه در زمینهٔ کنترل نوسانات فشار در سامانه‌های آبیاری بسیار اندک است، تحقیق در این حوزه می‌تواند گامی موثر در ارتقای عملکرد ایستگاه پمپاژ و عملکرد اقتصادی شبکه‌های آبیاری باشد.

گیبسون (Gibson, 1994) استفاده از درایوهای کنترل سرعت را به عنوان جایگزینی برای تجهیزات دستی به منظور پمپاژ آب برای کنترل دبی و افزایش بازده انرژی در نظر گرفت. او با محاسبات ساده و استفاده از قاعدهٔ تشابه در پمپ‌ها به این نتیجه رسید که پمپ‌های گریز از مرکز مجهز به درایو کنترل سرعت می‌تواند دامنهٔ وسیعی از تغییرات دبی را در شبکهٔ توزیع آب پوشش دهد. ولک (Volk, 2005) با بررسی سامانه‌های پمپاژ دور متغیر، منحنی‌های دبی در مقابل فشار در شرایط مختلف کارکرد سامانه و تغییر نقطهٔ کارکرد پمپ در هر یک از آنها، چگونگی ذخیره‌سازی انرژی و آب را نیز بررسی و برای شرایط مختلف نمودارهایی رسم و آنها را با یکدیگر مقایسه کرد. او در پژوهش خود با به کارگیری پمپ‌های دور متغیر، به این نتیجه رسید که علاوه بر کاهش ۵۷ درصدی مصرف انرژی، عمر مفید پمپ و دیگر اجزای سامانه افزایش می‌یابد.

مورنو و همکاران (Moreno *et al*., 2009) روشی را برای بهینه‌سازی منحنی‌های راندمان و مشخصه در ایستگاه پمپاژ برای آبیاری قطره‌ای درختان زیتون در منطقهٔ لاپینادای اسپانیا ارائه کردند. این پژوهشگران معتقدند اگر زمان بهره‌برداری کوتاه باشد، تعداد پمپ‌هایی که می‌توانند هزینهٔ کل را کمینه کنند نیز کاهش خواهد یافت و پیشنهاد کردند که اگر پمپ‌ها به طور صحیح و متناسب با نیاز شبکه انتخاب شوند، برای افزایش بازده انرژی نیاز به پمپ‌های دور متغیر نیست؛ اما اگر پمپ‌ها به درستی انتخاب نشوند استفاده از پمپ‌های دور متغیر ضروری است. برکوفسکی و همکاران (Borkowski *et al*., 2012) با استفاده از الگوریتم ژنتیک به طراحی، بهینه‌سازی و توسعهٔ سیستم کنترل و پایش ایستگاه پمپاژ در شهری در لهستان پرداختند. این محققان ضمن آنکه استفاده از الگوریتم ژنتیک را برای بهینه‌سازی ایستگاه‌های پمپاژ از نظر استفاده از سخت‌افزارهای کنترل‌کننده‌ها مفید می‌دانند به این نتیجه رسیدند که استفاده از این روش می‌تواند ۳۰ تا ۲۹۰ درصد در بهبود عملکرد ایستگاه‌ها از نظر مصرف انرژی تأثیر داشته باشد. فاضلی و همکاران (Fazeli *et al*., 2009) با ارزیابی اقتصادی نصب پمپ‌های دور متغیر در شبکه‌های توزیع آب می‌گویند هر ساله هزینه‌های هنگفتی بر اثر حوادث و نشت در شبکه‌ها به شرکت‌های آب و فاضلاب تحمیل می‌شود درحالی که روش‌هایی نوین در دنیا برای تأمین فشار ثابت و در حد استاندارد مانند استفاده از پمپ‌های دور متغیر وجود دارد. این محققان با بررسی و ارزیابی هزینه‌های ناشی از حوادث و نشت محدودهٔ ایستگاه پمپاژ امیرکبیر در شهر زنجان که از سال ۱۳۸۷ با پمپ‌های دور متغیر آبرسانی می‌شوند به این نتیجه رسیدند که هزینهٔ کلی شبکهٔ توزیع آب در صورت استفاده از پمپ‌های

دور متغیر کاهش قابل توجهی دارد. در این آنالیز میزان بازدهی داخلی ۴۳ درصد به دست آمده است که توجیه‌پذیری اقتصادی پروژه را نشان می‌دهد.

لامادالنا و خیلا (Lamaddalena & khila, 2013) در پژوهشی با ارائهٔ دستورالعمل‌های لازم برای افزایش بازدهی ایستگاه پمپاژ مطابق نیاز سامانه‌های آبیاری در منطقه‌ای در جنوب ایتالیا می‌گویند هدف از پژوهش آنها شناختن بهترین نوع بهره‌برداری از ایستگاه پمپاژ برای رسیدن به حداکثر ذخیرهٔ انرژی بر اساس تقاضای سامانه‌های آبیاری است و این خواسته با تطبیق دبی و فشار مورد نیاز سامانه با منحنی مشخصهٔ پمپ با تنظیم کردن عملکرد پمپ در ایستگاه پمپاژ بر اساس حداکثر راندمان پمپ در کل زمان آبیاری محقق می‌شود. این محققان منحنی‌های مشخصه از مدل AKLA را به دست آوردند. منحنی مشخصهٔ پمپ‌های سانتریفیوژ بر اساس استفاده از تکنیک دور متغیر بر منحنی مشخصهٔ سامانه تطبیق داده شد و چند روش برای تنظیم پمپ‌ها بر اساس تکنیک دور متغیر مشخص و ارزیابی شد. این پژوهشگران با بررسی این منحنی‌ها، تکنیک استفاده از پمپ‌های دور متغیر را پیشنهاد کردند تا علاوه بر رفع نیاز شبکه، در مصرف انرژی نیز صرفه‌جویی شود.

فرناندز گارسیا و همکاران (Fernández-García*a et al.*, 2014) با ارائهٔ مدل جدید WEBSOMPE، عملکرد ایستگاه پمپاژ مجهز به پمپ‌های دور متغیر در اراضی جنوب اسپانیا و نیز منافع حاصل از نصب پمپ‌های دور متغیر را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از پمپ‌های دور متغیر باعث صرفه‌جویی در انرژی به میزان ۲۶ درصد می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که انتخاب غیراصولی پمپ‌ها، تغییر شرایط بهره‌برداری، گذشت زمان، تغییر در سیستم هیدرولیکی و تغییر در مقدار درخواست آب می‌تواند بر عملکرد سیستم پمپاژ، راندمان پمپ و راندمان پمپ و سیستم تأثیر گذارد. در بخش کشاورزی و سامانه‌های آبیاری، تعیین عملکرد پمپ‌ها (با توجه به شرایط بهره‌برداری) و خودکارسازی آنها نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی دارد زیرا نیاز آبی محصولات نسبت به فصل رشد آنها متغیر است و ادواتی گوناگون با عملکردهای هیدرولیکی متفاوت در این سامانه‌ها به کارگرفته می‌شوند؛ از این رو ارائهٔ روشی که بتواند در هر دوره از رشد، علاوه بر نیاز سامانه، مشکلات لحظه‌ای ایجاد شده برای سامانه را با حداقل مصرف انرژی برطرف کند، می‌تواند گام مهمی در بهینه سازی مصرف انرژی در بخش کشاورزی محسوب شود. برای استفاده از چنین تجهیزاتی، مدلسازی عملکرد آنها و تأثیرات متقابل آنها بر سیستم پمپاژ ضروری است؛ این مدلسازی مقدمه‌ای برای نصب کنترلگرهای فشار و دبی در سامانه‌های پمپاژ خواهد بود.

در کشور، تحقیقات در زمینهٔ استفاده از پمپ‌های دور متغیر اندک است که اکثر آنها نیز دربارهٔ سامانه‌های آب‌رسانی شهری است. پژوهش‌های دیگر در نقاط مختلف دنیا، از جمله کشورهای ایتالیا و اسپانیا نیز بیشتر در مورد نقش پمپ‌های دور متغیر در کاهش مصرف انرژی است و در مورد نوسانات فشار و نحوهٔ کنترل آن فقط به نقش این نوع پمپ‌ها در کاهش حوادث و سوانح ناشی از تغییرات ناگهانی در سامانه‌های آبیاری اشاره کلی شده است. مصاحبه با کشاورزان پیشرو در کشور و وجود مشکلاتی که نیازمند پایش سامانه است (به خصوص در سامانه‌های آبیاری بزرگ که پایش و بررسی فیزیکی سخت است و عملا امکان‌پذیر نیست)، نیاز به تلفیق یک برنامه کاربردی در ایستگاه‌های مجهز به پمپ دور متغیر و درایوهای تغییر دور و مجهز به تابلو کنترل دارد تا خودکارسازی سامانه آبیاری و عیب‌یابی به موقع آن عملی شود. با این کار ایستگاه پمپاژ وقوع اتفاقات سامانه را پیش‌بینی و منطقهٔ مورد نظر را برای کنترل و رفع مشکل مشخص می‌کند. بدین ترتیب نه تنها مشکل به سرعت شناسایی و مرتفع

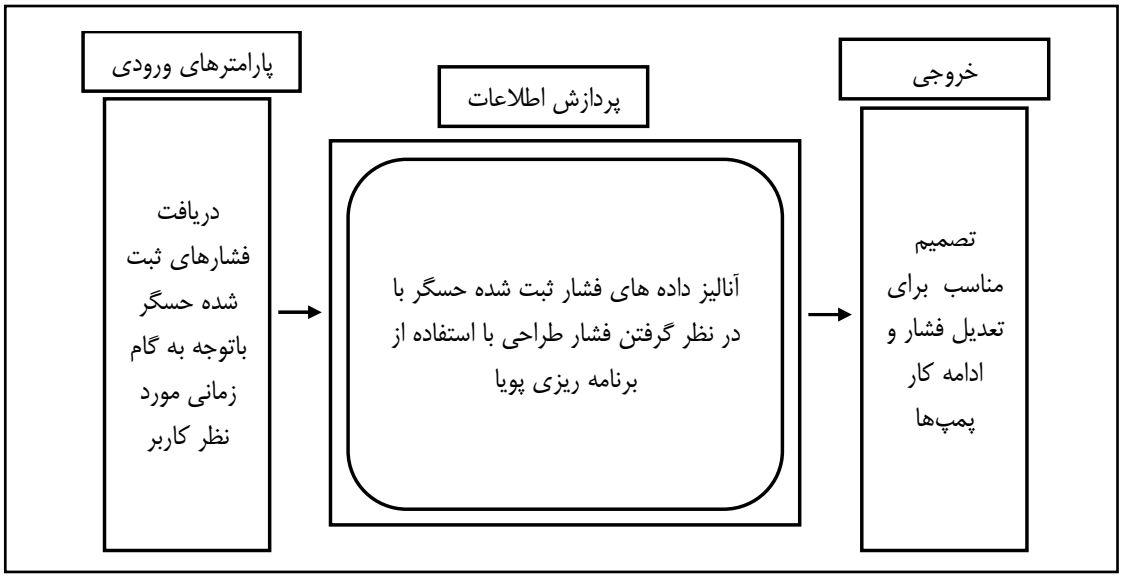
می‌شود بلکه بر اساس نظر کاربر و بهره‌بردار می‌توان تا زمان رفع مشکل، به آبیاری سایر نواحی پرداخت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ابتدا با انتخاب پمپ‌های مناسب، ایستگاه پمپاژ مجهز به پمپ‌های دور متغیر برای یک سامانه آبیاری تقاضامدار طراحی شد که در آن نیاز آبی بر اساس هر دهه از هر ماه محاسبه شده است. برای کنترل نوسانات فشار، حسگرهایی در نقاطی از سامانه در نظر گرفته شد؛ این حسگرها فشار موجود در سامانه را اندازه‌گیری و این مقدار را بر اساس گام زمانی مورد نظر به تابلو کنترل مرکزی ایستگاه پمپاژ مخابره می‌کنند.

آنالیز خاص (که در ادامه تشریح خواهد شد) روی داده‌ها بر مبنای فشاری که ایستگاه پمپاژ بر اساس آن طراحی شده، انجام و در نهایت بهترین دستور به منظور تعدیل نوسانات فشار و ادامهٔ کار پمپ‌ها از تابلو کنترل مرکزی صادر می‌شود (شکل ۱).

از آنجا که نقطهٔ کارکرد پمپ‌ها جایی است که منحنی پمپ و سامانه یکدیگر را قطع می‌کنند لذا دو راه‌حل کلی برای قرار گرفتن نقطهٔ عملکرد منطبق بر نقطهٔ نیاز وجود دارد، یکی تغییر منحنی سامانه است و دیگری تغییر منحنی پمپ. در راه‌حل نخست منحنی پمپ ثابت است و منحنی سامانه با تغییرات موجود در سامانهٔ آبیاری، تغییر می‌کند در این‌صورت، منحنی سامانه شیب تند یا کند پیدا می کند و در نقطه‌ای دیگر منحنی پمپ را قطع خواهد کرد (تغییر نقطهٔ کارکرد ایستگاه پمپاژ). در پمپ دور متغیر با توجه به مقدار دبی و فشار مورد نیاز سامانهٔ آبیاری، دور پمپ‌ها تغییر می‌کند و در نتیجه منحنی پمپ خود را بر آن نقطه منطبق می‌سازد که علاوه بر تامین نیاز سامانهٔ آبیاری در هر زمان، موجب استفادهٔ بهینه از آب و کاهش مصرف انرژی نیز می‌شود.



شکل ۱- بلوک دستورالعمل پایش ایستگاه پمپاژ به منظور کنترل نوسانات فشار

در این پژوهش شش مرحله برای دریافت و آنالیز داده‌های دریافت شده از حسگر فشار در مدل طراحی شده، در نظر گرفته شده است.

مرحلهٔ اول: مشخص کردن دامنهٔ نوسانات مجاز فشار توسط کاربر و تعیین گام زمانی برای دریافت داده‌ها. در این مرحله، ابتدا محدوده‌ای برای نوسانات فشار در نظر گرفته می‌شود که کاربر می‌تواند بر اساس میزان حساسیت سامانه، پمپ‌ها و محصولات زیر کشت این محدوده را مشخص کند و گام زمانی مورد نظر برای دریافت داده‌های فشار از حسگر را تعیین کند.

مرحلهٔ دوم: دریافت دادهٔ فشار از حسگر با توجه به گام زمانی مورد نظر.

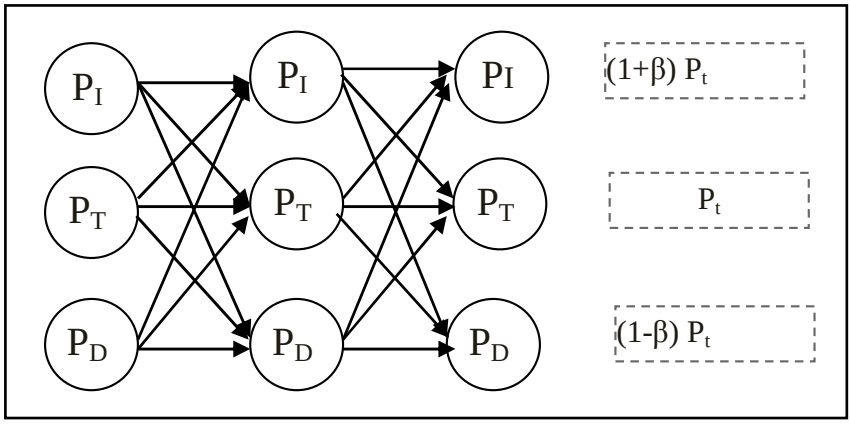
مرحلهٔ سوم: مقایسهٔ فشار ثبت شدهٔ حسگر با فشار طراحی با توجه به دامنهٔ مجاز نوسانات فشار. در این مرحله، فشار ثبت شدهٔ حسگر فشار با فشاری مقایسه می شود که ایستگاه بر اساس آن طراحی شده است؛ در اینجا با توجه به مقدار انحراف مجاز فشار از فشار مورد نیاز، تصمیم مناسب در مورد عملکرد پمپ‌ها گرفته می‌شود.

مرحلهٔ چهارم: بررسی تعدادی از داده‌های متوالی (که کاربر آنها را مشخص می‌کند)، برای تطبیق مدل طراحی شده و واقعی و درنهایت واسنجی مدل تصمیم‌گیری.

مرحلهٔ پنجم: استفاده از داده‌های واسنجی شده در تعداد گام‌های زمانی مشخص شده توسط کاربر برای آنالیز داده‌های بعدی.

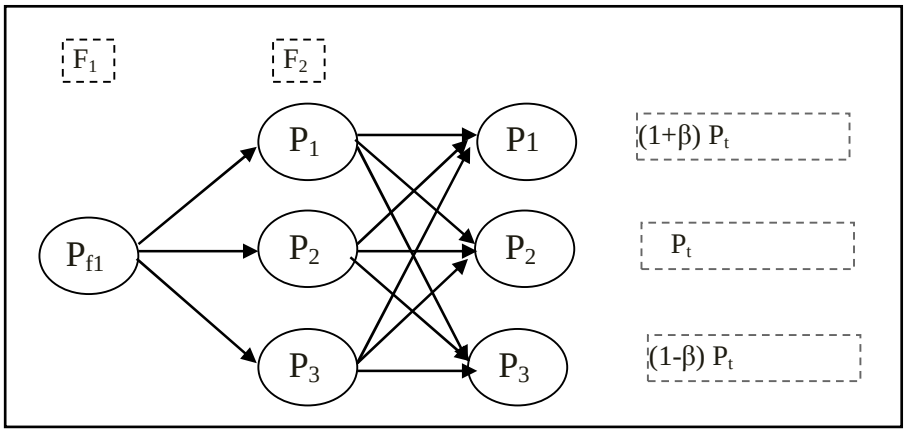
مرحلهٔ ششم: تصمیم‌گیری نهایی برای عملکرد مناسب پمپ‌ها (تعیین دور موتور مناسب با توجه به نوسان فشار یا خاموش کردن پمپ‌ها تا رفع نقص موجود).

در مراحل چهار تا شش، مدل بر اساس تعداد گام زمانی مورد نظر کاربر، تعدادی از داده‌های متوالی فشار را که از حسگر دریافت می‌شود، با هدف تعدیل نوسانات و با توجه به تابع هدف تعیین شده، با فشار طراحی مقایسه می‌کند و در مورد عملکرد پمپ‌ها تصمیم می‌گیرد. در این پژوهش، برای نشان دادن عملکرد ایستگاه، مدل را بر اساس سه گام زمانی متوالی اجرا می‌کنند و با در نظر گرفتن تابع هدفی بر اساس عملکرد بهینهٔ ایستگاه پمپاژ، علاوه بر روند واسنجی مدل تصمیم‌گیری، روند مطلوب یا غیرمطلوب پمپ‌ها در تعدیل نوسانات فشار مشخص و بررسی می‌شود. فشار در هر گام زمانی نسبت به فشار طراحی می‌تواند در سه وضعیت قرار گیرد: بیشتر از فشار طراحی، برابر یا نزدیک به فشار طراحی، و کمتر از فشار طراحی. با توجه این موضوع و با درنظر گرفتن سه دادهٔ متوالی، در هر آنالیز ۲۷ مسیر برای بررسی وجود دارد. استفاده از روشی که بتواند مسیر بهینه یا نزدیک به بهینه را با صرف زمان کمتری نشان دهد، می‌تواند سرعت پردازش را بیشتر کند زیرا اگر تعداد گام زمانی متوالی بیشتر از سه در نظر گرفته شود، پردازش بسیار سخت و زمان‌بر و گاهی ناممکن می‌شود. برای سهولت در تصمیم‌گیری مدل، از روش برنامه‌ریزی پویا استفاده شد که با در نظر گرفتن هر تعداد گام زمانی توسط کاربر، پردازش آسان و مدت زمان آن کوتاه شود. شکل ۲ نشان‌دهندهٔ حالت‌های کلی برای تحلیل نوسانات فشار در حد مجاز تعیین شده به روش برنامه‌ریزی پویا است.



شکل ۲- حالت‌های کلی برای تحلیل نوسانات فشار در محدودهٔ مجاز به روش برنامه‌ریزی پویا

نمادهای PI، PT و PD به ترتیب بیانگر فشار بیشتر از فشار طراحی، فشار طراحی یا نزدیک به آن و فشار کمتر از فشار طراحی و β ضریب افزایش یا کاهش فشار نسبت به فشار هدف ماست. در این پژوهش، ابتدا تابع هدف و شرایط حل مشخص و با استفاده از اصل بهینگی بلمن و روش پسرو، مسیر بهینه تعیین شد. همان‌طور که مطرح شد، فشار ثبت شدهٔ حسگر در گام زمانی اول ممکن است بیشتر، کمتر یا برابر با فشار طراحی باشد. بنابراین، با تفکیک کردن هر یک از این حالت‌ها، تابع هدف و قیود محدودکننده نوشته و برای هر یک از این سه حالت، آنالیز برنامه‌ریزی پویا انجام شد (شکل۳). برای تعیین محدودهٔ مجاز برای نوسان فشار، مقدار افزایش یا کاهش فشار بر اساس ضریبی از فشار هدف (فشار طراحی) مشخص شد که این محدوده به عنوان محدودهٔ مجاز برای نوسان فشار در نظر گرفته می‌شود که در این پژوهش این ضریب برابر پنج درصد در نظر گرفته شد.



شکل ۳- تفکیک تعدادحالت‌های ممکن برای نوسان فشار در محدودهٔ مجاز

مسیر بهینه و نزدیک به آن در صورت افزایش فشار در گام زمانی اول

در این حالت، فشار در گام زمانی اول همیشه بزرگتر از فشار هدف است و از این رو فشار در گام زمانی دوم و سوم تحلیل و ارزیابی می‌شود. بر این اساس در شکل ۳، P_{f1} و P_1 فشار بیشتر از فشار طراحی، P_2 فشار طراحی و

P_3 فشار کمتر از فشار طراحی است.

مسیر بهینه و نزدیک به آن در صورت نرمال بودن فشار در گام زمانی اول

در این حالت، فشار در گام زمانی اول همیشه برابر فشار هدف است و از این رو فشار در گام زمانی دوم و سوم تحلیل و ارزیابی می‌شود. بر این اساس در شکل۳ ،P_1 فشار بیشتر از فشار طراحی، P_{f1} و P_2 فشار طراحی و P_3 فشار کمتر از فشار طراحی است.

مسیر بهینه و نزدیک به آن در صورت کاهش فشار در گام زمانی اول

در این حالت، فشار در گام زمانی اول همیشه کمتر از فشار هدف است و بر اساس آن فشار در گام زمانی دوم و سوم تحلیل و ارزیابی می‌شود. در شکل ۳ ، P_1 فشار بیشتر از فشار طراحی، P_2 فشار طراحی، P_{f1} و P_3 فشار کمتر از فشار طراحی است.

اگر روند نوسان فشار مطلوب باشد، برنامه دستور ادامه کار را به پمپ‌ها می‌دهد، اما اگر روند نوسان فشار نامطلوب باشد، مدل از ادامه کار پمپ‌ها تا رفع مشکل جلوگیری می‌کند. از آنجا که نوسانات فشار در پمپ‌های دور متغیر با استفاده از تغییر دور، کنترل می‌شود و در هنگام افزایش فشار به بیش از فشار هدف با کاهش دور و در زمان کاهش فشار به کمتر از فشار هدف با افزایش دور، فشار را به فشار هدف نزدیک می‌کند، بنابراین می‌توان با تعیین ضرایب وزنی ۱- ، ۰ و ۱ به توالی افزایش یا کاهش، تابع هدف را مشخص کرد. به عبارت دیگر، اگر فشار بیش از فشار هدف باشد و کاهش دور پمپ نیز تأثیری در سیر صعودی افزایش فشار نداشته باشد، ضریب وزنی ۱- برای این حالت در نظر گرفته می‌شود زیرا مشکل به حدی است که حتی کاهش دور نیز تأثیری در کاهش فشار ندارد. با این توضیحات می‌توان تابع هدف و قیود را برای تعیین مسیر بهینه مشخص کرد.

تابع هدف با فرض حل مسئله با حرکت رو به عقب (رابطه ۱):

$$\begin{aligned} &Maximize \sum_{j=1}^{2} N_i(x_j) \\ &i = 1,\ 2,\ 3 \\ &N_i(x_i) = K_j \qquad (۱) \\ &K_j = -1,\ 0,\ 1 \\ &(1+\beta)P_t \le P \le (1-\beta)P_t \end{aligned}$$

اگر i=1 باشد:

$$F_j(P_i) = Maximum(\{N_i(x_i) + F_{j+1}(P_i)\}, \{N_{i+1}(x_j) + F_{j+1}(P_{i+1})\}, \{N_{i+2}(x_j) + F_{j+1}(P_{i+2})\}$$

اگر i=2 باشد:

$$F_j(P_i) = Maximum(\{N_i(x_i) + F_{j+1}(P_i)\}, \{N_{i-1}(x_j) + F_{j+1}(P_{i-1})\}, \{N_{i+1}(x_j) + F_{j+1}(P_{i+1})\}$$

اگر i=3 باشد:

$$F_j(P_i) = Maximum(\{N_i(x_i) + F_{j+1}(P_i)\}, \{N_{i-1}(x_j) + F_{j+1}(P_{i-1})\}, \{N_{i-2}(x_j) + F_{j+1}(P_{i-2})\}$$

که در آنها،

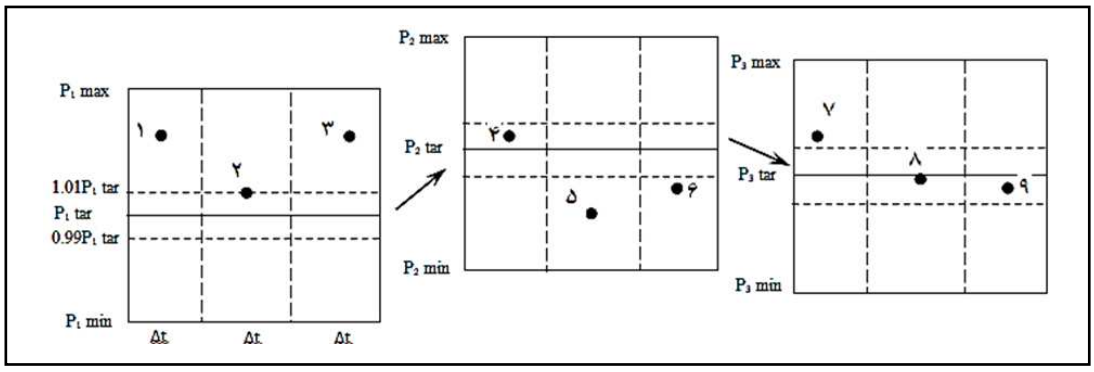
N= وزن هر مسیر که با توجه به نحوهٔ تغییرات فشار نسبت به تغییر دور موتور پمپ‌ها در نظر گرفته شده است (دور بر دقیقه)؛ P= مقادیر فشار در هر گره (متر)؛ x= مسیر لینک کردن گره‌های فشار به هم؛ و F= مقادیر هر گره که با توجه به اینکه مقادیر فشار در تابع هدف دخالت ندارد و فقط کاهشی، افزایشی یا نرمال بودن آن مطرح است لذا F اولیه (قبل از محاسبه) در همهٔ گره‌ها صفر است.

از آنجا که فشار هدف با فشار دریافتی از حسگر به طور دقیق برابر نیستند، بنابراین در تمامی حالت‌ها محدوده‌ای برای فشار هدف با نظر کاربر در نظر گرفته می‌شود که اگر فشار دریافتی از حسگر در این محدوده قرار گرفت، این فشار به عنوان فشار طراحی پذیرفته شود

و مدل بر اساس اینکه فشار دریافتی از حسگر همان فشار طراحی است عمل کند. در این پژوهش مقدار فشار دریافتی از حسگر اگر تا یک درصد بیشتر یا تا یک درصد کمتر از فشار هدف باشد، به عنوان فشار هدف در نظر گرفته می‌شود.

واسنجی فشار هدف در چندگام متوالی

در اکثر موارد و به دلایل گوناگون، فشار طراحی و فشار واقعی در سامانه با هم تفاوت دارند؛ اگر این اختلاف زیاد نباشد، باید انعطاف ایستگاه پمپاژ را افزایش داد. یکی از روش‌هایی که می‌توان بر اساس آن فشار هدف را واسنجی کرد، استفاده از چند دادهٔ متوالی در چند گام زمانی از حسگر و مقایسهٔ آن با فشار طراحی است؛ اگر داده‌ها در محدودهٔ مجاز نوسان فشار قرار گیرند، می‌توان با میانگین‌گیری از آنها فشار هدف را برای داده‌های بعدی واسنجی کرد و تغییر داد. از آنجا که در این پژوهش سه گام زمانی برای آنالیز داده‌ها در نظر گرفته شده است، بنابراین با میانگین‌گیری از سه دادهٔ متوالی فشار که از حسگر دریافت می‌شود می‌توان فشار هدف را برای داده‌های بعد واسنجی کرد. شکل ۴ فرآیند توالی تغییرات فشار هدف را در نه گام زمانی بر اساس آنالیز سه دادهٔ متوالی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، فشار هدف در هر مرحله بر اساس مرحلهٔ قبل و آنالیز سه دادهٔ فشار دریافت شده از حسگر واسنجی خواهد شد.



شکل ٤- شمایی از فرآیند توالی تغییرات فشار هدف بر اساس سه گام زمانی

در شکل ۴، P_{max}= حداکثر فشار مجاز(متر)؛ P_{min}= حداقل فشار مجاز (متر)؛ P_{tar}= فشار هدف یا فشار طراحی (متر)؛ β= ضریب کاهش یا افزایش فشار نسبت به فشار هدف؛ Δt= گام زمانی در نظر گرفته شده برای کنترل فشار (ساعت)؛ و اندیس i بیانگر شمارهٔ هر مرحله است (در این پژوهش هر سه گام زمانی یک مرحله در نظر گرفته شده است). برای بررسی میزان تأثیر درایوهای تغییر دور در کاهش نوسانات فشار، از شاخص آماری ریشهٔ میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد که به صورت رابطه ۲ است:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(P_i - P_{tar})^2}{n}} \qquad (۲)$$

که در آن،

P_i و P_{tar}= به ترتیب بیانگر فشار ثبت شده و فشار هدف و n تعداد داده‌های مورد بررسی است.

یادآوری می شود که با استفاده از داده‌های ثبت شدهٔ فشار در ایستگاه پمپاژی در جنوب غربی استان اصفهان در یک دورهٔ آبیاری، کارایی مدل با استفاده از ۴۲ داده ارزیابی شد.

نتایج و بحث

برای تنظیم و کنترل فشار در ایستگاه پمپاژ، برنامه‌ای نوشته شده که این برنامه با دریافت داده‌های فشار ثبت شده از حسگر و با در نظر گرفتن تمامی حالات ممکن از نظر کاهش، افزایش یا خارج شدن از محدودهٔ فشار مجاز که توسط کاربر تعیین می‌شود، دستور لازم را برای عملکرد پمپ‌ها و ایستگاه پمپاژ صادر می‌کند. بنابراین، چند حالت از حالت‌های ممکن برای تغییرات فشار در نظر گرفته شد تا واکنش ایستگاه پمپاژ و پمپ‌ها نسبت به این تغییرات احتمالی فشار، تحلیل و بررسی شود. در نهایت با نصب حسگر فشار و ثبت تعدادی داده در یک طرح پایلوت در جنوب غربی استان اصفهان که توسط شرکت مهندسین مشاور تحلیل نقشه نیان در یک دوره آبیاری برداشت شده است، کارایی مدل با استفاده از ۴۲ داده ارزیابی شد.

حالت اول- نوسان فشار در محدودهٔ مجاز و تأثیر تغییر دور موتور

در حالت اول، مطابق جدول ۱، فشار طراحی یا فشار هدف و شش گام زمانی متوالی برای بررسی فشار ثبت شدهٔ حسگر (P_{sen}) در نظر گرفته و با توجه به محدودهٔ مجاز فشار، مجاز بودن یا نبودن فشار تعیین شده است؛ سپس با استفاده از تغییر دور موتور بر اساس فشار هدف، دستور نهایی برای چگونگی ادامهٔ کار به پمپ‌ها داده شده است. در این حالت، تغییر دور بر فشار تأثیر دارد و فشار تولید شده با تغییر دور در محدودهٔ مجاز قرار می گیرد، بنابراین تصمیم برای ادامهٔ کار پمپ‌ها از طریق تابلو کنترل مرکزی گرفته می‌شود.

جدول ۱- چگونگی عملکرد پمپ‌های دور متغیر در کنترل نوسانات فشار (تأثیر تغییر دور بر فشار)

شمارهٔ گام	فشار ثبت شدهٔ حسگر (متر)	فشار طراحی یا فشار هدف (متر)	محدودهٔ مجاز فشار		کنترل فشار	دستور لازم	دور موتور (دور در دقیقه)	نتیجه‌گیری و دستور نهایی
			کمینه	بیشینه				
۱	۱۴/۸۰	۱۴/۴۰	۱۳/۷۰	۱۵/۱۰	مجاز	کاهش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۷۰	___
۲	۱۴/۲۰				مجاز	افزایش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۴۵	تغییر دور تأثیرگذار است- ادامهٔ کار پمپ‌ها
۳	۱۴/۶۰				مجاز	کاهش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۶۰	تغییر دور تأثیر گذار است- ادامهٔ کار پمپ‌ها
۴	۱۴/۲۰	۱۴/۵۰	۱۳/۸۰	۱۵/۲۰	مجاز	افزایش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۴۵	تغییر دور تأثیر گذار است- ادامهٔ کار پمپ‌ها
۵	۱۴/۶۰				مجاز	کاهش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۶۰	تغییر دور تأثیر گذار است- ادامهٔ کار پمپ‌ها
۶	۱۴/۳۰				مجاز	____	۱۵۵۰	تغییر دور تأثیر گذار است- ادامهٔ کار پمپ‌ها

حالت دوم- نوسان فشار در محدودهٔ مجاز و بی‌تأثیر بودن تغییر دور موتور

در این حالت، تمامی داده‌های ثبت شدهٔ حسگر فشار در محدودهٔ مجاز قرار می‌گیرند، اما تغییر دور موتور تأثیری بر نوسان ندارد که در این صورت تا زمان رفع مشکل سامانه، پمپ‌ها ادامهٔ کار را متوقف می‌کنند زیرا ممکن است مشکل موجود باعث اختلال در سایر زمان‌ها شود و در صورت برطرف نشدن، مشکلات زیادی را برای سامانه و ایستگاه پمپاژ و حتی محصولات زیر کشت ایجاد کند. در جدول ۲ کاهش دور موتور تأثیری بر کاهش فشار ندارد و با وجود کاهش دور موتور، فشار به سیر صعودی خود ادامه می‌دهد و مطابق جدول ۳ افزایش دور تأثیری بر افزایش فشار ندارد و با وجود افزایش دور، فشار به سیر نزولی خود ادامه می‌دهد که در این صورت تا زمان رفع مشکل، دستور توقف به پمپ‌ها داده می‌شود.

جدول ۲- چگونگی عملکرد پمپ‌های دور متغیر در کنترل نوسانات فشار (بی‌تأثیر بودن تغییر دور بر کاهش فشار)

شمارهٔ گام	فشار ثبت شدهٔ حسگر (متر)	فشار طراحی یا فشار هدف (متر)	محدودهٔ مجاز فشار		کنترل فشار	دستور لازم	دور موتور (دور در دقیقه)	نتیجه‌گیری و دستور نهایی
			کمینه	بیشینه				
۱	۱۴/۶۰	۱۴/۴۰	۱۳/۷۰	۱۵/۱۰	مجاز	کاهش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۶۰	ــــ
۲	۱۴/۸۰				مجاز	کاهش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۵۵	تغییر دور تأثیرگذار نیست- ادامهٔ کار پمپ‌ها تا گام بعدی
۳	۱۵/۱۰				مجاز	کاهش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۵۰	تغییر دور تأثیرگذار نیست- توقف و خاموش کردن پمپ‌ها

جدول ۳- چگونگی عملکرد پمپ‌های دور متغیر در کنترل نوسانات فشار (بی‌تأثیر بودن تغییر دور بر افزایش فشار)

شمارهٔ گام	فشار ثبت شدهٔ حسگر (متر)	فشار طراحی یا فشار هدف (متر)	محدودهٔ مجاز فشار		کنترل فشار	دستور لازم	دور موتور (دور در دقیقه)	نتیجه‌گیری و دستور نهایی
			کمینه	بیشینه				
۱	۱۴/۲۰	۱۴/۴۰	۱۳/۷۰	۱۵/۱۰	مجاز	افزایش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۴۵	ــــ
۲	۱۴/۱۰				مجاز	کاهش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۵۰	تغییر دور تأثیرگذار نیست- ادامهٔ کار پمپ‌ها تا گام بعدی
۳	۱۳/۹۰				مجاز	افزایش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۵۵	تغییر دور تأثیرگذار نیست- توقف و خاموش کردن پمپ‌ها

حالت سوم- خارج شدن فشار از محدودهٔ مجاز در یک گام زمانی

گاهی ممکن است در اثر مشکلات لحظه‌ای، سامانه دچار نوسانی خارج از محدودهٔ مجاز شود که در این صورت بر اساس نظر کاربر چند گام زمانی فرصت داده می‌شود که این فشار به محدودهٔ مجاز بازگردد وگرنه از ادامه کار پمپ‌ها تا زمان برطرف شدن مشکل جلوگیری می‌شود. در این پژوهش، پنج گام زمانی فرصت داده شده که فشار خارج شده از حد مجاز به محدودهٔ مجاز بازگردد که در صورت قرار گرفتن در این محدوده، طی پنج گام زمانی تعیین شده، دستور ادامهٔ کار به پمپ‌ها داده می‌شود. البته، مدل به صورتی تدوین شده که تمامی این محدودیت‌ها با نظر کاربر و با توجه به شرایط سامانه و ایستگاه قابل تغییر باشد و ممکن است در برخی موارد نوسان فشار خارج از محدوده تعیین شده، قابل قبول نباشد که به محض غیر مجاز شدن نوسان فشار، پمپ‌ها خاموش می‌شوند؛ گاهی نیز ممکن است حساسیت به قدری کم باشد و این فرصت مهیا شود که فشار در تعداد گام زمانی بیشتری به حد مجاز خود بازگردد. برابر جدول‌های ۴ و ۵، چگونگی عملکرد پمپ‌ها در شرایطی که فشار در گام زمانی اول از محدودهٔ مجاز خارج می‌شود و پس از پنج گام زمانی به این محدوده باز می‌گردد و همچنین شرایطی که فشار در پنج گام زمانی مجدداً از محدودهٔ مجاز خارج می‌شود مشخص است.

جدول ٤- چگونگی عملکرد پمپ‌های دور متغیر در زمان خارج شدن فشار از محدودهٔ مجاز و تأثیر تغییر دور

شمارهٔ گام	فشار ثبت شدهٔ حسگر (متر)	فشار طراحی یا فشار هدف (متر)	محدودهٔ مجاز فشار		کنترل فشار	دستور لازم	دور موتور (دور در دقیقه)	نتیجه‌گیری و دستور نهایی
			کمینه	بیشینه				
۱	۱۵/۲۰	۱۴/۴۰	۱۳/۷۰	۱۵/۱۰	غیر مجاز	کاهش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۸۰	فشار غیر مجاز است تا پنج گام زمانی فرصت داده می‌شود
۲	۱۵/۰۰				مجاز	کاهش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۷۰	تغییر دور تأثیر گذار است- ادامهٔ کار پمپ‌ها
۳	۱۴/۶۰				مجاز	کاهش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۶۰	تغییر دور تأثیر گذار است- ادامهٔ کار پمپ‌ها
۴	۱۴/۳۰	۱۵/۰۰	۱۴/۳۰	۱۵/۷۰	مجاز	افزایش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۵۰	تغییر دور تأثیر گذار است- ادامهٔ کار پمپ‌ها
۵	۱۴/۶۰				مجاز	افزایش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۶۰	تغییر دور تأثیر گذار است- ادامهٔ کار پمپ‌ها
۶	۱۵/۱۰				مجاز	ــــ	۱۵۷۵	تغییر دور تأثیر گذار است و نوسان فشار مجاز شده است

جدول ۵- چگونگی عملکرد پمپ‌های دور متغیر در زمان خارج شدن فشار از محدودهٔ مجاز و بی‌تأثیر بودن تغییر دور

شمارهٔ گام	فشار ثبت شدهٔ حسگر (متر)	فشار طراحی یا فشار هدف (متر)	محدودهٔ مجاز فشار		کنترل فشار	دستور لازم	دور موتور (دور در دقیقه)	نتیجه‌گیری و دستور نهایی
			کمینه	بیشینه				
۱	۱۵/۲۰	۱۴/۴۰	۱۳/۷۰	۱۵/۱۰	غیر مجاز	کاهش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۸۰	فشار غیر مجاز است تا پنج گام زمانی فرصت داده می‌شود
۲	۱۵/۰۰				مجاز	کاهش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۷۰	تغییر دور تأثیرگذار است- ادامهٔ کار پمپ‌ها
۳	۱۴/۶۰				مجاز	کاهش دور برای رسیدن به فشار هدف	۱۵۶۰	تغییر دور تأثیرگذار است- ادامهٔ کار پمپ‌ها
۴	۱۵/۸۰	۱۵/۰۰	۱۴/۳۰	۱۵/۷۰	غیر مجاز	ــــ	-	تغییر دور تأثیرگذار است- توقف و خاموش کردن پمپ‌ها

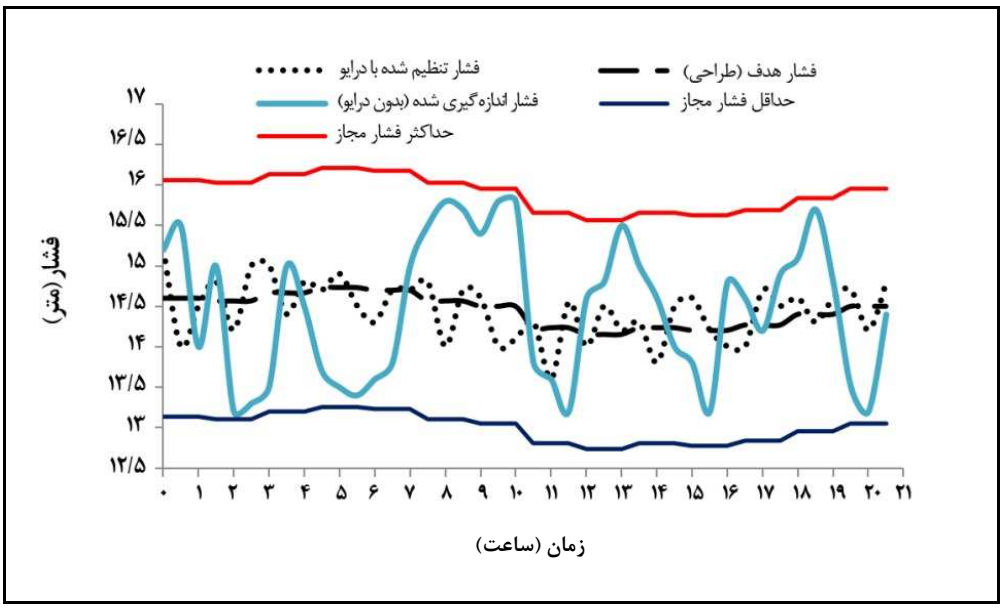
عملکرد پمپ دور متغیر در سامانه بر اساس مدل ارائه شده

برای نمایش چگونگی کاهش نوسانات فشار با استفاده از پمپ‌های مجهز به درایو تغییر دور (پمپ‌های دور متغیر) بر اساس مدل ارائه شده، در یک بازهٔ زمانی با گام‌های ۳۰ دقیقه، ۴۲ دادهٔ متوالی فشار از حسگر در حالت بدون استفاده از درایو و درحالت استفاده از درایو و آنالیز آن بر اساس مدل ارائه شده، دریافت شد که شکل ۵ کاهش نوسانات فشار را در مواقعی که از درایو تغییر دور استفاده می‌شود در این بازهٔ زمانی به وضوح نشان می‌دهد (دامنهٔ مجاز نوسانات فشار در این حالت ۲۰ درصد در نظر گرفته شده است).

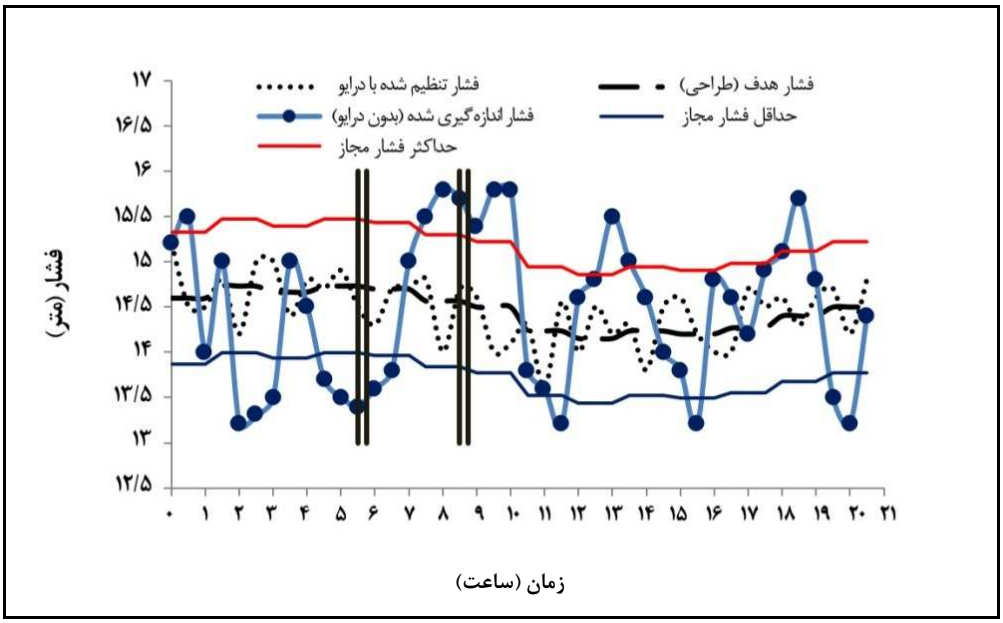
دقت و حساسیت ایستگاه پمپاژ نسبت به نوسانات فشار وابسته به نظر کاربر است و هر چه این محدوده کوچک‌تر باشد نوسانات فشار موجود در سامانه کمتر می‌شود، اما کوچک بودن بیش از حد این محدوده سبب اختلال در استمرار کارکرد ایستگاه پمپاژ خواهد شد زیرا با نوسانات معمول و کوچک سامانه، ممکن است به‌طور مکرر دستور خاموش شدن پمپ‌ها صادر شود. بنابراین با در نظر گرفتن محدودهٔ مجاز و مناسب برای نوسانات فشار، می‌توان علاوه بر کنترل و تنظیم نوسانات، از خاموش شدن پمپ‌ها و قطع و وصل مکرر پمپاژ آب نیز جلوگیری کرد.

همان‌طور که در شکل ۵ نیز مشاهده می‌شود در حالت بدون استفاده از درایو تغییر دور، نوسانات فشار زیاد است اما استفاده از درایو تغییر دور و مدل ارائه شده دامنهٔ این نوسانات را بسیار کاهش داده است. در شکل ۶، محدودهٔ نوسانات مجاز فشار را کاربر از ۲۰ درصد شکل ۵ به ۱۰ درصد کاهش داده است. به عبارت دیگر، در این حالت حساسیت ایستگاه پمپاژ نسبت به نوسانات فشار افزایش داده شده است. در این صورت مشاهده می‌شود که به دلیل خارج شدن فشار از محدودهٔ مورد نظر، دستور خاموش شدن پمپ در دو زمان صادر شده تا به رفع اشکال احتمالی در سامانهٔ آبیاری پرداخته شود. مقادیر RMSE داده‌های فشار اگر از پمپ‌های دور متغیر استفاده شود برابر با ۰/۳ و اگر استفاده نشود برابر ۰/۹ محاسبه شده است. این شاخص، متوسط پراکندگی اختلاف مقادیر اندازه‌گیری و

شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد و همواره مثبت است و با نزدیک شدن آن به صفر، عملکرد مدل مورد بررسی افزایش می‌یابد و بنابرای‌ن مقادیر محاسبه شده نشان‌دهندۀ تأثیر پمپ‌های دور متغیر در کاهش نوسانات فشار است.



شکل ۵- نوسانات فشار در سامانۀ آبیاری مورد نظر در یک چرخۀ آبیاری ۲۱ ساعته در مقایسه با دامنۀ نوسانات مجاز ۲۰ درصد



شکل ٦- نوسانات فشار در سامانۀ آبیاری مورد نظر در یک چرخۀ آبیاری ۲۱ ساعته در مقایسه با دامنۀ نوسانات مجاز ۱۰ درصد

نتیجه‌گیری

یکی از مسائل مهم در ایستگاه‌های پمپاژ، ایجاد فشار مازاد بر نیاز است که علاوه بر کاهش عمر پمپ‌ها و افزایش نشت در خطوط لوله باعث مصرف بیهودهٔ انرژی نیز می‌شود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که میزان فشار ایجاد شده در ایستگاه پمپاژ مجهز به پمپ‌های دور متغیر می‌تواند مطابق نیاز سامانه تنظیم شود.

برای کنترل و تنظیم فشار در ایستگاه پمپاژ مجهز به پمپ‌های دور متغیر، می‌توان با نصب حسگر فشار در نقاط کلیدی سامانهٔ آبیاری، داده‌های فشار سامانه را ثبت کرد و با اِعمال محدودیت نوسان، با دستورهای لازم از جمله خاموش کردن پمپ‌ها یا هشدار دادن برای رفع مشکل سامانه، از نوسان غیر مجاز فشار جلوگیری کرد. بدین طریق می‌توان از عیب‌های احتمالی سامانه مطلع شد و تدبیرهای لازم را برای ادامهٔ کار سامانه به کار برد. در این پژوهش، با درنظر گرفتن حسگر فشار در یک سامانهٔ آبیاری و استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی پویا برای کنترل نوسانات فشار با تدوین یک مدل انعطاف‌پذیر در نرم‌افزار MATLAB، داده‌های ثبت شدهٔ حسگر فشار تجزیه و تحلیل و با اِعمال قیودی که کاربر در آن دخالت دارد، مناسب‌ترین دستور برای ادامهٔ کار پمپ‌ها صادر شده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن دامنهٔ نوسانات ۵ ± و ۱۰± درصد فشار طراحی، پمپ‌های دور متغیر با انعطاف‌پذیری و عکس‌العمل مناسب باعث کنترل نوسانات فشار در سامانه‌های آبیاری می‌شوند به طوری که با استفاده از این نوع پمپ‌ها، شاخص RMSE از ۰/۹ (در حالت کنترل نشدن فشار) به ۰/۳ می‌رسد. علاوه بر این، با استفاده از پمپ‌های دور متغیر و مدل ارائه شده می‌توان میزان حساسیت ایستگاه پمپاژ و سامانهٔ آبیاری را به نوسانات فشار کاهش یا افزایش داد؛ به عبارت دیگر، مدل به نحوی نوشته شده است که با خارج شدن فشار از محدوده‌ای که بهره‌بردار تعیین کرده است، دستور خاموش شدن پمپ‌ها را تار رفع نقص احتمالی می‌دهد. در این پژوهش، با در نظر گرفتن دو محدودهٔ فشار ۵ ± و ۱۰± درصد، عملکرد مدل ارزیابی شد؛ نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که وقتی محدودهٔ فشار از ۱۰± به ۵± تغییر کند، با توجه به خارج شدن فشار از دامنهٔ مجاز در دو مورد دستور خاموش شدن پمپ‌ها در ایستگاه پمپاژ صادر می‌شود.

مراجع

Borkowski, D., Wetula, A. and Bień, A. 2012. Design optimization and deployment of a waterworks pumping station control system. ISA T. 51(4): 539-549.

Fazeli, M., Soltanzadeh, A., Sangroodi, A. and Khosravi, M. 2009. The role of variable speed pumps in reduces accidents of urban water distribution network. Articles Collections in First International Conference on Engineering and Infrastructure Management. Engineering College of Tehran University. (in Persian)

Fernández-Garcíaa, M. A., Morenob, J. A. and Rodríguez-Díaz. 2014. Optimum pumping station management for irrigation networks sectoring: Case of Bembezar MI (Spain). Agr. Water Manage. 144, 150-158.

Gibson, H. 1994. Variable speed drives as flow control elements. ISA T. 33. 165-169.

Lamaddalena, N. and Khila, S. 2013. Efficiency driven pumping station regulation in on-demand irrigation systems. Irrig. Sci. 31(3): 395-410.

Moreno, M. A., Planells. P., Co´rcoles, J. I., Tarjuelo, J. M. and Carrio´n, P. A. 2009. Development of a new methodology to obtain the characteristic pump curves that minimize the total cost at pumping stations. Biosystems Eng. 102, 95-105.

Volk, M. 2005. Pump Characteristics and Applications. 2nd Edition. Taylor and Francis Group, LLC.

Journal of Applied Research in Irrigation and Drainage Structures Engineering/Vol.16/No.65/2016/P:101-116

Dynamic Planning for Control of Pressure Fluctuations in Irrigation Pumping Stations Equipped with Variable Speed Pumps

M. Delfan-Azari* and A. Parvaresh-Rizi

* Corresponding Author: Ph. D. Student, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University, Karaj, Iran. Email: mdelfan@ut.ac.ir
Received: 5 October 2015, Accepted: 9 January 2016

A common problem in most irrigation systems during operation is pressure fluctuation. This issue is often neglected, but special measures must be considered to control and regulate it. The present research presents a method coded in MATLAB/mfile based on the use of variable speed pumps and pressure sensors installed at key points of the system to control and regulate pressure fluctuation. This method can predict and control causes of pressure fluctuations in the system and help to increase the efficiency of operation. The pressure sensors at key locations recorded pressure data over time. Dynamic planning using the data allowed decision-making to reduce fluctuations to continue pumping by transmitting information to the variable control drive through the program output. The results show that the use of this method in pumping stations equipped with variable speed pumps can reduce pressure fluctuations and optimize performance at the pumping station. The use of this method produced an RMSE index in the pressure fluctuation domain (±5% and ±10%) of 0.3 from a value of 0.9 before pressure control.

Keywords: Irrigation Systems, Pressure Sensor, Pressurized Irrigation, Variable Speed Drive