یادداشت فنی

تعیین ابعاد بهینه مخازن ذخیره آب با استفاده از مدل دینامیکی در سیستم‌های آبرسانی شهری

مهرداد شمشادی[1] فرزاد ویسی[2]

(دریافت ۹۰/۷/۳۰ پذیرش ۹۰/۱۲/۹)

چکیده

ایستگاههای پمپاژ در سیستم‌های آبرسانی شهری به‌عنوان یکی از مصرف کنندگان اصلی انرژی محسوب می‌گردند لذا مهم است تا حد امکان از اتلاف انرژی در این‌گونه سیستم‌ها جلوگیری شود. از طرفی پمپ‌های صنعتی به مرحله‌ای از توسعه رسیده‌اند که راندمان تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی هیدرولیکی در آنها بالا است، بنابراین باید صرفه‌جویی انرژی را در دیگر عناصر سیستم بررسی کرد. در میان عناصر اصلی تشکیل دهنده شبکه‌های آبرسانی شهری، مخازن ذخیره نقش مهمی را ایفا می‌کنند که می‌توان با بهینه‌سازی طراحی آنها، در مصرف انرژی صرفه‌جویی نمود. در این تحقیق با استفاده از مدل دینامیکی یک سیستم انتقال سیال، ظرفیتها و ابعاد مختلف مخازن در شرایط متفاوت بهره‌برداری در یک ایستگاه پمپاژ آب شرب واقعی در محیط نرم‌افزار شبیه‌سازی متلب بررسی شد. از نتایج این تحلیل می‌توان به‌منظور ارائه پیشنهادهایی برای بهینه‌سازی طراحی مخازن ذخیره آب با دید حداقل مصرف انرژی در ایستگاههای پمپاژ، تعداد پمپ‌های در مدار قرار گرفته، مقدار ذخیره‌سازی آب در مخزن و غیره با توجه به شرایط بهره‌برداریی آنها استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: ابعاد مخازن، انرژی، دینامیکی، مدلسازی، فضای حالت

The Optimum Dimension of Water Storage Tanks in Urban Water Supply Systems using a Dynamic Model

Mehrdad Shemshadi [1] *Farzad Veysi* [2]

(Received Oct. 22, 2011 Accepted Feb. 28, 2012)

Abstract

The pump stations are on of the main energy consumers in urban water supply systems, Therefore, it is very important to minimize waste of energy in these stations. Today, pumps are running at their highest possible mechanical efficiency due to their matured technology; As a result, efficiency improvement should be considered in other elements of the network. Among the constituting elements of urban water supply systems, storage tanks play an important role and significant energy saving can be achieved by optimizing their design. In this paper, capacities and dimensions of water storage tanks in different operating conditions in an actual water pump station have been simulated by dynamic modeling in Simulink/MATLAB software. The results could be used as recommendations for optimization of energy saving in water storage tanks in pump stations, the number of operating pumps in the network, the volume of stored water and so on in different operating conditions.

Keyword: Tank Dimension, Energy, Dynamic, Modeling, State Space.

۱- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، شرکت پالایش نفت، کرمانشاه (نویسنده مسئول)
(۰۸۳۱) ۸۳۷۳۹۴۷ m.shemshadi@korc.ir
۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

1. M.Sc. of Mechanical Eng., Petroleum Refining Company, Kermanshah (Corresponding Author) (+98 831) 8373947 m.shemshadi@korc.ir
2. Assist. Prof. of Mechanical Eng., Dept. of Eng., Razi University, Kermanshah

۱- مقدمه

مدلسازی دینامیکی و تحلیل آن یک روش متداول برای ساده کردن تصمیم‌گیری‌های لازم در حل مسائل طراحی مهندسی است. مدلسازی دینامیکی را می‌توان بهترین ابزار برای بررسی طرحها و عملکرد مجموعه‌های پیچیده معرفی نمود. این روش در زمینه‌های متعددی کاربرد دارد و استفاده از آن مدام در حال افزایش است. در واقع این روش تولید الگویی از یک مجموعه حقیقی و استفاده از این الگو برای پیش‌بینی و بررسی رفتار مجموعه و یا ارزیابی روشهای مختلف برای هدایت عملکرد آن است.

در گذشته طراحی سیستم‌های آبرسانی شهری که شامل پمپ‌ها، خطوط لوله و مخازن ذخیره بودند در حالت پایدار انجام می‌پذیرفت این درحالی است که این سیستم‌ها متأثر از عوامل دینامیکی بسیاری هستند. لذا از دهه ۸۰ میلادی محققان به مدلسازی دینامیکی این‌گونه سیستم‌ها به‌منظور طراحی، بهینه‌سازی مصرف انرژی و موارد دیگر آنها پرداخته‌اند.

ارتین و همکاران[1] در سال ۲۰۰۰ در تحقیقی طراحی کنترل هوشمند سیستم‌های توزیع آب را بررسی نموده‌اند. سیستم مورد مطالعه آنان شامل یک مخزن ذخیره آب و یک ایستگاه پمپاژ شامل سه عدد پمپ به‌صورت موازی بوده است و بهینه ارتفاع مخزن به‌صورت دینامیکی از نظریه مونت کارلو[2] به‌دست آمده است[۱]. در تحقیقی که توسط کارا و همکاران[3] در سال ۲۰۰۲ منتشر شده است شبکه آبرسانی شهر گزانیتپ[4] در ترکیه در فضای حالت[5] شبیه‌سازی گردیده است[۲].آدسولا و همکاران[6] در سال ۲۰۰۵ ابتدا مدل دینامیکی ساده یک سیستم انتقال سیال شامل یک پمپ و یک مخزن را ارائه نموده‌اند و با استفاده از روش DSM[7] بهینه‌سازی، انجام پذیرفته است[۳]. برخی ایراداتی که بر این تحقیقات وارد است عبارت‌اند از: الف- ساده‌سازی بسیار در مدل‌ها که در برخی موارد موجب انحراف نتایج می‌گردد، ب- عدم کارایی مدل در سیستم‌هایی با چندین مخزن و پمپ‌هایی به‌صورت ترکیبی، ج- نپرداختن به رفتار مخازن ذخیره و غیره.

در میان عناصر اصلی تشکیل دهنده شبکه‌های آبرسانی شهری، مخازن ذخیره نقش مهمی را ایفا می‌کنند. مخازن تأسیساتی هستند که در سیستم‌های تأمین و توزیع، برای ذخیره‌سازی و پاسخگویی به نوسانات مصرف و تأمین فشار مطلوب احداث می‌گردند، لذا بررسی تأثیر ارتفاع مخزن و ظرفیت آنها می‌تواند در طراحی شبکه‌های آبرسانی حائز اهمیت باشد.

در این مقاله دینامیک یک سیستم توزیع آب آشامیدنی شامل یک مخزن ذخیره، خط لوله و یک ایستگاه پمپاژ ارائه شد. مدل ریاضی به‌دست آمده در شکل فضای حالت نوشته شد و در محیط شبیه‌سازی متلب[8] حل گردید و در ادامه با توجه به آرایش متفاوت پمپ‌ها در ایستگاه پمپاژ، تأثیر ابعاد مخازن در انرژی مصرفی پمپاژ و سایر پارامترهای دیگر در یک شبکه آبرسانی واقعی مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روشها

۲-۱- مدل واحد درسیستم‌های آبرسانی شهری

همان‌طور که عنوان شد سیستم‌های آبرسانی شهری متشکل از ایستگاههای پمپاژ، خطوط لوله و مخازن ذخیره‌اند که برداشت آب شرب از خروجی مخزن انجام می‌پذیرد. لذا با توجه به روابط ریاضی هر یک از اجزاء در این سیستم‌ها، می‌توان مدل ریاضی واحدی برای یک سیستم آبرسانی شهری مطابق آنچه در روابط ۱ و ۲ آمده است نوشت[۴].

$$\frac{dQ_p}{dt} = \frac{gA_p}{L}\left(h_p - (h_t + h_s) - \Delta h_{loss-l}\right) \qquad (۱)$$

$$\frac{dh_t}{dt} = \frac{1}{A_t}(Q_p - Q_{out}) \qquad (۲)$$

که در این روابط

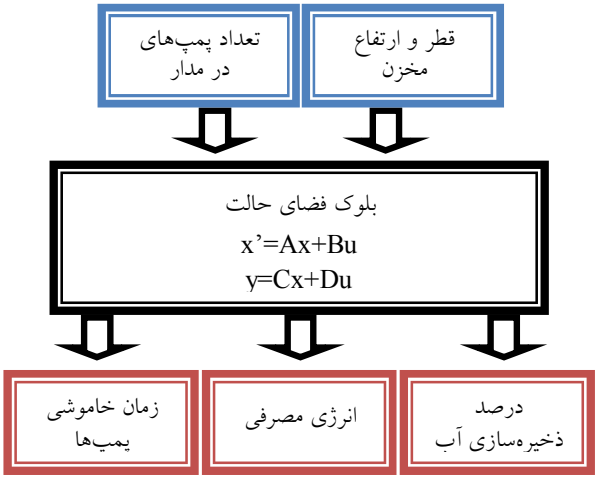
h_s ارتفاع استاتیکی نصب مخزن، h_t ارتفاع دینامیکی سطح آب در مخزن، Q_p دبی ایستگاه پمپاژ، Q_{out} دبی خروجی از مخزن، L طول کل خط لوله، A سطح مقطع لوله، A_t سطح مقطع مخزن و f_p ضریب اصطکاک در لوله است.

مدل دینامیکی سیستم‌های آبرسانی می‌تواند چندین ورودی و چندین خروجی داشته باشد و این ورودی‌ها می‌توانند به‌نحوی پیچیده با هم ارتباط داشته باشند. برای تحلیل این‌گونه سیستم‌ها و کاستن از پیچیدگی عبارتهای ریاضی، تحلیل در فضای حالت بسیار مفید است. بلوک فضای حالت، نمایش فشرده‌ای از دینامیک سیستم را نمایش می‌دهد. در این بلوک این امکان وجود دارد که شرایط اولیه سیستم مشخص شود و در عین حال امکان دسترسی به متغیرهای داخلی فراهم است. مزیت مهم بلوک فضای حالت این است که امکان مدلسازی مناسب سیستم‌های با چند ورودی و چند خروجی را به‌وجود می‌آورد به‌همین دلیل استفاده از کامپیوتر برای تحلیل ضروری است. نرم‌افزاری که در این مقاله به‌منظور تحلیل مدل استفاده شد، شبیه‌سازی متلب بود و اطلاعات فیزیکی مجموعه

[1] Ertin et al
[2] Monte Carlo
[3] Kara et al.
[4] Gaziantep
[5] State-Space
[6] Adesola et al.
[7] Simplex Method Downhill (SMD)
[8] Simulink/Matlab

در یک ام فایل[1] در نرم‌افزار متلب ایجاد و متعاقب آن برنامه در محیط شبیه‌سازی اجرا گردید. تحقیق به‌روش نمودارهای بلوکی در محیط شبیه‌سازی نسبت به برنامه نویسی، کارایی را به میزان شگرفی بهبود بخشید. تحلیل فضای حالت برای این‌گونه سیستم‌ها گزینه مناسبی است.

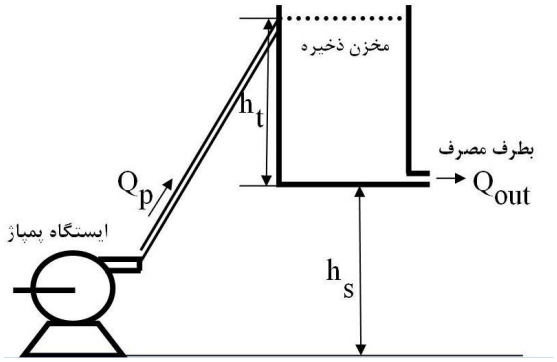
مطابق شکل ۱ ورودی‌های مدل عبارت‌اند از: تعداد پمپ‌های در مدار و ابعاد مخزن و در خروجی میزان مصرف انرژی، درصد ذخیره آب در مخزن و مدت زمان خاموشی پمپ‌ها در هر لحظه و یا هر دوره زمانی دلخواه به نمایش گذاشته می‌شود.



شکل ۱- بلوک دیاگرام سیستم مورد مطالعه

۲-۲- توصیف سیستم مورد مطالعه

در این بخش قسمتی از شبکه آبرسانی شهر کرمانشاه واقع در محدوده دشت میان دربند در فاصله ۲۰ کیلومتری شهر کرمانشاه به مخازن سرخه لیژه شبیه‌سازی شد. ایستگاه پمپاژ میان‌دربند، خطوط انتقال و مخزن سرخه لیژه به‌صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- دیاگرام بخشی ازشبکه آبرسانی درشهر کرمانشاه

مقادیر عددی پارامترهای مؤثر در سیستم مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه گردیده است.

[1] M.file

جدول ۱- مشخصات عددی پارامترهای موجود در سیستم آبرسانی

L_p (m)	V_t (m^3)	Q_{out} (m^3/day)	h_s (m)	D_p (m)	h_t (m)
۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۶۹۱۲۰	۸۵	۰/۷۵	۲/۶-۰/۵

L_p طول کل خط لوله، D_p قطر لوله، V_t حجم مخزن و Q_s دبی نقطه کار سیستم است.

در ایستگاه پمپاژ، ۱۲ پمپ از نوع WKL150/4 شرکت پمپ ایران به‌صورت موازی نصب شده‌اند که ۲ پمپ به‌حالت رزرو است و ۱۰ پمپ دیگر با توجه به مصرف در مدار قرار می‌گیرند. رابطه مشخصه پمپ‌ها در زیر آورده شده است

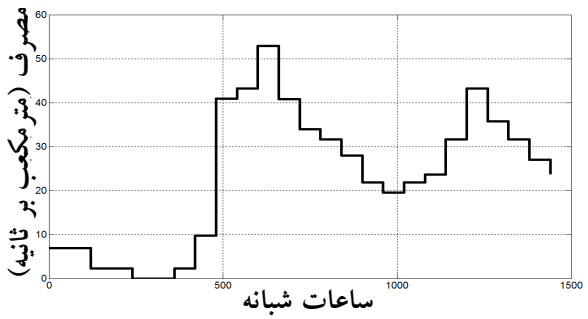
$$h_p = -0.5977\frac{Q_p^2}{N^2} - 8.122\frac{Q_p}{N} + 223.47 \qquad (۳)$$

که در این رابطه

N نشان دهنده تعداد پمپ‌های موازی که در مدار قرار می‌گیرند است.

به‌منظور ذخیره‌سازی، توزیع و انتقال آب به شبکه آب شرب شهر کرمانشاه یک مخزن بتنی به ظرفیت ده هزار مترمکعب در منطقه سرخه لیژه در شهر کرمانشاه احداث شده و در حال حاضر بخشی از آب شهر از طریق این مخازن تأمین می‌گردد. حد بالا و پایین ارتفاع سطح آب در مخازن به‌ترتیب ۲/۶ و ۰/۵ متر است به این معنی که به‌محض رسیدن ارتفاع سطح آب به ۲/۶ متر در مخزن، پمپ‌ها خاموش و در صورت رسیدن ارتفاع سطح آب به ۰/۵ متر در مخزن، پمپ‌ها روشن می‌شوند.

با در نظر گرفتن متوسط مصرف آب در منطقه مورد مطالعه که ۴۸ مترمکعب بر دقیقه است، می‌توان توزیع مصرف آب را در ساعات مختلف شبانه روز به‌دست آورد[۵]. توزیع مصرف به‌دست آمده به‌عنوان یکی از داده‌های ورودی نرم‌افزار مورد استفاده قرار گرفت و به این ترتیب شبکه آبرسانی با مصرف متغیر و در وضعیتهای متفاوت شبیه‌سازی گردید (شکل ۳).



شکل ۳- میزان تغییرات مصرف آب شرب منطقه در یک شبانه روز [۵]

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اجرای برنامه

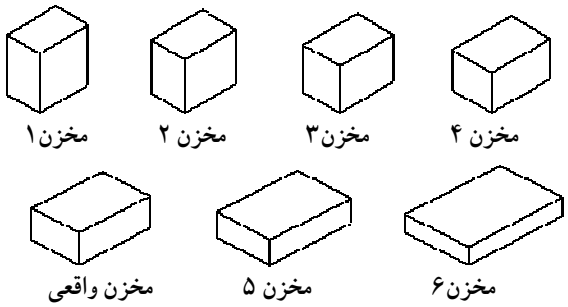
به‌منظور بررسی تأثیر ابعاد مخازن در سایر پارامترها، ابتدا مخازنی

با ارتفاع و سطوح مقطع متفاوت از عدد ۱ تا ۶ مطابق شکل ۴ نام‌گذاری گردید. بدیهی است حجم تمامی مخازن معادل حجم مخزن واقعی[1] است که در محل شبکه آبرسانی موجود است.

معمولاً در انتخاب حل کننده بهتر است که از حل کننده‌های گام متغیر استفاده شود تا حداکثر دقت به‌دست آید. حل کننده استفاده شده در این تحقیق ODE45 بود. این حل کننده بر مبنای روش رانگ-کاتای[2] مرتبه چهارم- پنجم است.

۳-۲- استخراج نتایج و داده‌ها

پس از اجرای برنامه و استخراج نتایج، داده‌های مورد نظر در جدولهای ۲ تا ۸ گردآوری شد. لازم به یادآوری است که زمان اجرای برنامه دو ماه وظرفیت مخزن ده هزار مترمکعب بود.



شکل ۴- شماتیک مخازن ذخیره با ابعاد مختلف

[1] Actual
[2] Runge Kutta Method

جدول ۲- انرژی مصرفی، تعداد دفعات روشن شدن پمپ‌ها و غیره هنگامی که ۴ پمپ در مدار قرار دارد

تعداد پمپ‌های در مدار: ۴						
شماره مخزن	سطح مخزن (مترمکعب)	ارتفاع (متر)	درصد ذخیره‌سازی آب در مخزن	مدت زمان خاموشی پمپ‌ها (دقیقه)	تعداد دفعات روشن شدن پمپ‌ها	انرژی مصرفی $\times ۱۰^{۹}$ (ژول)
۱	۱۸۰۶/۲	۵/۵۴	۵۵/۶	۳۳۲۲۹	۴	۴/۱۲۷۶۹۶۹
۲	۲۰۲۵	۴/۹۴	۵۵/۳	۳۳۳۰۲	۴	۴/۱۲۷۳۳۳۷
۳	۲۳۰۴	۴/۳۵	۵۵/۱	۳۳۳۷۳	۴	۴/۱۲۷۰۸۵۸
۴	۲۷۰۴	۳/۷	۵۲/۹	۳۳۴۶۸	۴	۴/۱۲۶۴۳۷۰۸
واقعی	۳۲۷۱/۸	۳/۱	۵۳/۷	۳۳۵۲۶	۴	۴/۱۲۶۴۸۰۸۱
۵	۴۲۲۵	۲/۳۷	۵۲/۳	۳۳۶۰۳	۴	۴/۱۲۶۳۴۵۳۶
۶	۵۷۷۶	۱/۷۴	۴۷/۳	۳۳۶۶۷	۴	۴/۱۲۶۷۱۶۳۸

جدول ۳- انرژی مصرفی، تعداد دفعات روشن شدن پمپ‌ها و غیره هنگامی که ۵ پمپ در مدار قرار دارد

تعداد پمپ‌های در مدار: ۵						
شماره مخزن	سطح مخزن (مترمکعب)	ارتفاع (متر)	درصد ذخیره‌سازی آب در مخزن	مدت زمان خاموشی پمپ‌ها (دقیقه)	تعداد دفعات روشن شدن پمپ‌ها	انرژی مصرفی $\times ۱۰^{۹}$ (ژول)
۱	۱۸۰۶/۲	۵/۵۴	۵۸/۲۴	۴۴۹۳۰	۶	۳/۹۵۶۷۷۸۴
۲	۲۰۲۵	۴/۹۴	۵۸/۴	۴۴۹۹۷	۶	۳/۹۵۶۱۷۲۶
۳	۲۳۰۴	۴/۳۵	۵۸/۵	۴۵۰۶۵	۶	۳/۹۵۵۴۷۴۳
۴	۲۷۰۴	۳/۷	۵۶/۶	۴۵۱۵۵	۶	۳/۹۵۴۴۷۶۸۸
واقعی	۳۲۷۱/۸	۳/۱	۵۷/۴	۴۵۲۱۱	۶	۳/۹۵۴۰۲۴۳
۵	۴۲۲۵	۲/۳۷	۵۶	۴۵۲۸۰	۶	۳/۹۵۳۵۷۶۴۵
۶	۵۷۷۶	۱/۷۴	۵۴/۱	۴۵۳۲۴	۶	۳/۹۵۴۲۱۳۲۷

جدول ۴- انرژی مصرفی، تعداد دفعات روشن شدن پمپ‌ها و غیره هنگامی که ۶ پمپ در مدار قرار دارد

تعداد پمپ‌های در مدار: ۶						
شماره مخزن	سطح مخزن (مترمکعب)	ارتفاع (متر)	درصد ذخیره‌سازی آب در مخزن	مدت زمان خاموشی پمپ‌ها (دقیقه)	تعداد دفعات روشن شدن پمپ‌ها	انرژی مصرفی $\times ۱۰^{۹}$ (ژول)
۱	۱۸۰۶/۲	۵/۵۴	۶۳/۲۹	۵۱۷۳۳	۱۷	۳/۹۰۶۸۹۰۲
۲	۲۰۲۵	۴/۹۴	۶۳	۵۱۷۸۸	۱۷	۳/۹۰۶۲۹۲
۳	۲۳۰۴	۴/۳۵	۶۲/۸	۵۱۸۴۷	۱۷	۳/۹۰۵۱۷۰۲۸
۴	۲۷۰۴	۳/۷	۶۰/۸	۵۱۹۱۴	۱۷	۳/۹۰۴۴۸۱۴۳
واقعی	۳۲۷۱/۸	۳/۱	۶۱/۶	۵۱۹۶۱	۱۷	۳/۹۰۳۹۸۳۸۲
۵	۴۲۲۵	۲/۳۷	۵۸/۵	۵۲۰۲۰	۱۷	۳/۹۰۳۶۴۳۹۶
۶	۵۷۷۶	۱/۷۴	۵۲/۷	۵۲۹۹۵	۱۷	۳/۷۹۵

جدول ۵- انرژی مصرفی، تعداد دفعات روشن شدن پمپ‌ها و غیره هنگامی که ۷ پمپ در مدار قرار دارد

تعداد پمپ‌های در مدار: ۷						
شماره مخزن	سطح مخزن (مترمکعب)	ارتفاع (متر)	درصد ذخیره‌سازی آب در مخزن	مدت زمان خاموشی پمپ‌ها (دقیقه)	تعداد دفعات روشن شدن پمپ‌ها	انرژی مصرفی $\times 10^{9}$ (ژول)
۱	۱۸۰۶/۲	۵/۵۴	۶۶/۶۵	۵۶۵۷۱	۲۲	۳/۸۵۸۷۶۴۷
۲	۲۰۲۵	۴/۹۴	۶۶/۳	۵۶۶۲۲	۲۲	۳/۸۵۷۸۵۱۵
۳	۲۳۰۴	۴/۳۵	۶۶/۱	۵۶۶۷۱	۲۲	۳/۸۵۷۰۰۳۷۸
۴	۲۷۰۴	۳/۷	۶۱/۷	۵۶۷۳۶	۲۲	۳/۸۵۶۱۱۱۱۵
واقعی	۳۲۷۱/۸	۳/۱	۶۰/۹	۵۶۷۹۳	۲۲	۳/۸۵۴۰۹۴۰۹
۵	۴۲۲۵	۲/۳۷	۵۰/۶	۵۷۰۷۱	۲۲	۳/۸۲۲۰۸۵۱۶
۶	۵۷۷۶	۱/۷۴	۵۳/۷	۵۸۵۱۹	۲۲	۳/۶۳۶۱۵۷۷۸

جدول ۶- انرژی مصرفی، تعداد دفعات روشن شدن پمپ‌ها و غیره هنگامی که ۸ پمپ در مدار قرار دارد

تعداد پمپ‌های در مدار: ۸						
شماره مخزن	سطح مخزن (مترمکعب)	ارتفاع (متر)	درصد ذخیره‌سازی آب در مخزن	مدت زمان خاموشی پمپ‌ها (دقیقه)	تعداد دفعات روشن شدن پمپ‌ها	انرژی مصرفی $\times 10^{9}$ (ژول)
۱	۱۸۰۶/۲	۵/۵۴	۶۷/۳۲	۶۰۲۰۸	۲۸	۳/۸۱۰۹۱۲۱
۲	۲۰۲۵	۴/۹۴	۶۵/۹۲	۶۰۲۶۹	۲۸	۳/۸۰۸۳۱۶۷
۳	۲۳۰۴	۴/۳۵	۶۴/۳	۶۰۳۲۷	۲۸	۳/۸۰۶۰۲۱۴۹
۴	۲۷۰۴	۳/۷	۵۸/۲	۶۰۴۱۲	۲۸	۳/۸۰۱۰۷۶۹۵
واقعی	۳۲۷۱/۸	۳/۱	۵۴/۳	۶۰۴۶۷	۲۸	۳/۷۹۷۰۴۶۸۳
۵	۴۲۲۵	۲/۳۷	۵۴/۲	۶۱۳۳۵	۲۸	۳/۶۷۳۲۶۱۸۴
۶	۵۷۷۶	۱/۷۴	۵۲/۹	۶۲۵۵۱	۲۸	۳/۴۹۶۹۶۵۴

جدول ۷- انرژی مصرفی، تعداد دفعات روشن شدن پمپ‌ها و غیره هنگامی که ۹ پمپ در مدار قرار دارد

تعداد پمپ‌های در مدار: ۹						
شماره مخزن	سطح مخزن (مترمکعب)	ارتفاع (متر)	درصد ذخیره‌سازی آب در مخزن	مدت زمان خاموشی پمپ‌ها (دقیقه)	تعداد دفعات روشن شدن پمپ‌ها	انرژی مصرفی $\times 10^{9}$ (ژول)
۱	۱۸۰۶/۲	۵/۵۴	۶۵/۲۳	۶۳۰۷۸	۳۴	۳/۷۵۸۹۳۸۹
۲	۲۰۲۵	۴/۹۴	۶۳/۴	۶۳۱۳۳	۳۴	۳/۷۵۶۲۰۵۸
۳	۲۳۰۴	۴/۳۵	۶۱/۳	۶۳۱۸۶	۳۳	۳/۷۵۳۵۰۹۲
۴	۲۷۰۴	۳/۷	۵۳/۶	۶۳۵۵۵	۳۳	۳/۶۹۷۵۸۳۲۲
واقعی	۳۲۷۱/۸	۳/۱	۵۵/۴	۶۳۸۷۰	۳۴	۳/۶۵۰۸۸۳۴۲
۵	۴۲۲۵	۲/۳۷	۶۲/۹	۶۴۸۷۹	۳۴	۳/۴۸۹۹۴۴۲۴
۶	۵۷۷۶	۱/۷۴	۵۶/۷	۶۵۶۹۰	۳۴	۳/۳۶۱۰۹۸۴۸

جدول ۸- انرژی مصرفی، تعداد دفعات روشن شدن پمپ‌ها و غیره هنگامی که ۱۰ پمپ در مدار قرار دارد

تعداد پمپ‌های در مدار: ۱۰						
شماره مخزن	سطح مخزن (مترمکعب)	ارتفاع (متر)	درصد ذخیره‌سازی آب در مخزن	مدت زمان خاموشی پمپ‌ها (دقیقه)	تعداد دفعات روشن شدن پمپ‌ها	انرژی مصرفی $\times 10^{9}$ (ژول)
۱	۱۸۰۶/۲	۵/۵۴	۶۲/۶۷	۶۵۳۶۸	۴۰	۳/۷۰۸۶۷۵۹
۲	۲۰۲۵	۴/۹۴	۶۰/۳	۶۵۴۱۸	۴۰	۳/۷۰۵۶۵۰۵
۳	۲۳۰۴	۴/۳۵	۵۴/۵	۶۵۵۵۷	۴۰	۳/۶۸۳۹۹۷۰۲
۴	۲۷۰۴	۳/۷	۵۵/۳	۶۶۱۹۱	۴۰	۳/۵۷۶۶۸۰۴۶
واقعی	۳۲۷۱/۸	۳/۱	۵۹/۳	۶۶۳۳۸	۴۰	۳/۵۵۵۴۵۹۷۷
۵	۴۲۲۵	۲/۳۷	۶۵/۱	۶۷۱۴۶	۴۰	۳/۴۱۵۳۰۶۵۶
۶	۵۷۷۶	۱/۷۴	۵۷/۳	۶۸۲۳۱	۴۰	۳/۲۲۲۹۵۶۳۹

برخی نتایج به‌دست آمده عبارت‌اند از:

۱- با ازدیاد ارتفاع مخازن در تمامی آرایش پمپ‌ها، انرژی لازم برای پمپاژ بیشتر خواهد شد و بیشترین صرفه‌جویی مربوط به آرایش ۱۰تایی پمپ‌ها است که منجر به صرفه‌جویی بالغ بر ۱۳ درصد می‌گردد.

۲- با افزایش تعداد پمپ‌هایی که به‌صورت موازی در یک ایستگاه پمپاژ قرار می‌گیرند انرژی کمتری به‌منظور پمپاژ نیاز است[۱]. میزان صرفه‌جویی مصرف انرژی با افزایش تعداد پمپ‌ها در تمامی مخازن یکسان نیست و در مخازنی که ارتفاع کمتری دارند صرفه‌جویی بیشتری در مصرف انرژی انجام می‌شود.

میزان صرفه‌جویی مصرف انرژی با توجه به تعداد پمپ‌های موازی که در مدار قرار گرفته‌اند در هر یک از مخازن مورد بحث در جدول ۹ آورده شده است.

جدول ۹- میزان درصد صرفه‌جویی انرژی با تغییرات در آرایش پمپ‌ها در هر مخزن

شماره مخزن	درصد صرفه‌جویی انرژی
۱	۱۰/۱۵
۲	۱۰/۲۱
۳	۱۰/۷۱
۴	۱۳/۳
واقعی	۱۳/۸
۵	۱۷/۲
۶	۲۱/۹

۳- مخزن شماره ۶ در آرایش‌های پمپاژ ۷، ۸، ۹ و ۱۰ تایی و مخزن شماره ۵ در آرایش‌های پمپاژ ۶ و ۵ تایی و مخزن واقعی در آرایش ۴ تایی، حداقل انرژی پمپاژ را به‌منظور تأمین آب شرب منطقه نیاز دارند. بدیهی است که در صورت به‌وجود آمدن تغییرات در مدل مصرف آب شرب، نوع و مدل پمپ‌ها و یا دیگر پارامترهای متأثر نتایج ارائه شده دچارتغییراتی خواهد شد که با توجه به دینامیکی بودن سیستم غیرقابل پیش‌بینی است و باید برنامه مجدداً اجرا و بررسی گردد. با این وصف در سیستم مورد مطالعه نصب مخزنی با ابعاد مخزن شماره ۶ پیشنهاد می‌گردد.

۴- از لحاظ درصد ذخیره آب در مخازن در مدت زمان دو ماه اجرای برنامه، بالاترین درصد ذخیره، مربوط به مخزن شماره ۱ وقتی که ۸ پمپ در مدار قرار می‌گیرد، است که این امر بیشترین ضریب اطمینان را در آبرسانی در منطقه در اوج مصرف آب به‌همراه دارد.

۴- نتیجه‌گیری

از داده‌های استخراج شده از برنامه می‌توان دریافت که هرچه نسبت سطح به ارتفاع در حجم ثابت مخازن ذخیره بیشتر باشد به انرژی کمتری به‌منظور پمپاژ آب نیاز است. از طرفی در سیستم آبرسانی مورد مطالعه در میان تمامی حالتهای بررسی شده، ایده‌آل‌ترین حالت با دید حداقل انرژی مصرفی پمپاژ، مخزن شماره ۶ با بهره‌برداری از ۱۰ پمپ به‌صورت موازی در مدار است که در مقایسه با مخزنی که بیشترین مصرف انرژی را به‌همراه داشته است (مخزن شماره ۱ با ۴ پمپ در مدار)، ۲۱/۹ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی انجام می‌پذیرد.

از طرفی با افزایش تعداد پمپ‌های در مدار، انرژی پمپاژ کمتر خواهد شد که این موضوع در مخازنی با نسبت سطح به ارتفاع بیشتر، نمود بیشتری دارد.

جهت‌گیری ارائه مدل، سادگی ریاضی، نیاز به زمان کم در محاسبات کامپیوتری، سهولت اجرای برنامه با امکان تغییر پارامترهای مؤثر در کارکرد سیستم و غیره است.

در نهایت در طراحی بهینه اندازه مخازن می‌توان با کمک گرفتن از شبیه‌سازی سیستم، انرژی پمپاژ را در وضعیتهای متفاوت محاسبه نمود و در مرحله بعد با احتساب هزینه‌های سایر عوامل، بهترین گزینه که حداقل هزینه‌ها را در پی داشته باشد، برگزید.

۵- منابع

1- Ertin, E., Dean, A., Moor, M., and Priddy, K. (2004). "Dynamic optimization for optimal control of water distribuation system." *SPIE Proceedings Series,* <http://www.ece.osu.edu/>(Dec. 25, 2006).

2-, Eker, I., Grimble, M.J., and Kara, T. (2003). "Operation and simulation of city of Gaziantep water supply system in Turkey." *J. of Renewable Energy*, 28, 901-916.

3- Lucken, C., Baran, B, and Sotelo, A. (2004). "Pump scheduling optimization using asynchronous parallel." *J. of Clei Electronic*, 7(2), 2.

4- Shemshadi, M., and Veysi, F. (2008). "Energy consumption management in pumping stations using dynamic modeling." *J. of Water and Wastewater*, 67, 58-65. (In Persian)

5- Mark Owen., S. (2005). *Ashrae handbook fundamentals,* Ashrae Handbook Committee Information, USA.