

# مدیریت مصرف انرژی در ایستگاههای پمپاژ با استفاده از مدل سازی دینامیکی

فرزاد ویسی<sup>۱</sup>      مهرداد شمشادی<sup>۲</sup>

(دریافت ۸۶/۴/۲۵      پذیرش ۸۷/۲/۲۹)

## چکیده

سیستم‌های انتقال سیال از جمله بزرگ‌ترین مصرف کنندگان انرژی در صنایع مختلف از جمله سیستم‌های آبرسانی می‌باشند که لزوم پرداختن به عملکرد بهینه آنها به ویژه از نظر مصرف انرژی با اهمیت است. با توجه به اینکه رفتار سیال در این گونه سیستم‌ها در شرایط متفاوت بهره‌برداری عموماً دینامیکی یا به عبارتی وابسته به زمان است، مطالعه رفتار این سیستم‌ها با استفاده از یک مدل دینامیکی امکان ارزیابی دقیق‌تر عملکرد سیستم را فراهم می‌سازد. در این تحقیق مدل دینامیکی یک سیستم انتقال سیال شامل ایستگاه پمپاژ، خط لوله و مخزن ارائه شده است. به منظور معرفی قابلیت‌های مدل ارائه شده، محاسبات نمونه‌ای از مصرف انرژی در یک ایستگاه پمپاژ آب شرب که در حال کار می‌باشد در وضعیت‌های مختلف قرارگیری پمپ‌ها در مدار سیستم انجام شده است. از نتایج این تحلیل می‌توان برای ارائه پیشنهادهایی به منظور برآورد مصرف انرژی در ایستگاههای پمپاژ با توجه به شرایط بهره‌برداری و نیز شیوه کارکرد سیستم‌های کنترلی آنها استفاده کرد.

**واژه‌های کلیدی:** ایستگاه پمپاژ، انرژی، دینامیکی، سیال، مدل سازی، فضای حالت.

## Energy Consumption Management in Pumping Stations Using Dynamic Modeling

Farzad Veysi<sup>1</sup>      Mehrdad Shemshadie<sup>2</sup>

(Received July. 15, 2007      Accepted May. 18, 2008)

### Abstract

Fluid transportation systems are among the high energy consumers in different industries such as water distribution systems. It is, therefore, important to study their optimized performance as regards their energy consumption. The fluid behavior in these systems under different operational conditions is actually dynamic, or time-dependent; the study of these systems by a dynamic model, hence, allows system performance to be evaluated more accurately. In this paper, a dynamic model is presented for a fluid transportation system consisting of a pumping station, a pipeline, and a reservoir tank. Sample calculations of energy consumption for a pumping station are presented. The results obtained from this study can be used for formulating recommendations on energy consumption estimation of pumping stations based on their operational conditions and control method used.

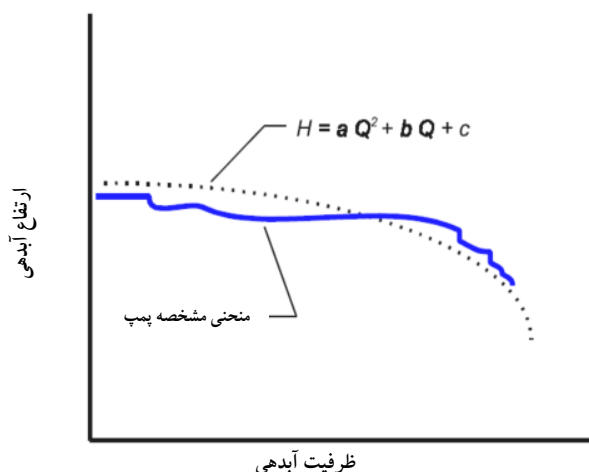
**Keywords:** Pumping Station, Dynamic, Fluid, Modeling, State Space.

1. Assis. Prof. of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Razi University, veysi@razi.ac.ir  
2. MSc in Mechanical Engineering, Kermanshah Petroleum Refining Co.

۱- استادیار گروه مکانیک، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی، veysi@razi.ac.ir  
۲- کارشناس ارشد مکانیک، شرکت پالایش نفت کرمانشاه

می‌گردد. ۳- عدم کارایی مدل در سیستم‌هایی با چندین مخزن و پمپ‌هایی به صورت ترکیبی.

در مدل ارائه شده در این تحقیق بر افزایش قابلیت‌های مدل، اهتمام ورزیده شد؛ قابلیت‌هایی نظیر اجرای برنامه با هر مدل متغیر رژیم مصرف آب و نیز پایش مصرف انرژی به صورت دینامیکی و در هر لحظه، مدل ریاضی به دست آمده، در شکل فضای حالت<sup>۳</sup> نوشته شده است که به لحاظ نحوه استخراج نتایج خروجی به ویژه در طراحی استراتژی‌های کنترلی، قابلیت‌های بالایی دارد. استفاده از فضای حالت در مدل‌سازی سیستم‌های پمپاژ در مطالعات گذشته فقط به صورت مطالعات موردی صورت گرفته است و در حالت کلی فقط در تحقیق حاضر مورد توجه قرار گرفته است [۲]. استفاده از شکل ریاضی فضای حالت، سهولت اجرای برنامه با امکان تغییر پارامترهای مؤثر در کارکرد سیستم را فراهم می‌سازد. سادگی ریاضی و نیاز به زمان کم در محاسبات کامپیوتری نیز از نکات مثبت مدل می‌باشد. در مجموع در این مقاله با نوشتن معادلات ریاضی پیوستگی، اندازه حرکت و... برای هر یک از اجزای یک سیستم انتقال سیال در حالت ناپایدار، مدل ریاضی واحدی برای سیستم به طور کل ارائه شده است.



شکل ۱- تقریب منحنی مشخصه پمپ‌های سانتریفوژ با معادلات درجه دو [۴]

## ۲- مدل ریاضی اجزای ایستگاههای پمپاژ

### ۲-۱- نمودار مشخصه پمپ

از جمله اجزای مهم در سیستم‌های انتقال سیال، پمپ‌های سانتریفوژ هستند که به دلیل محدوده دبی و ارتفاع تولیدی، به فراوانی در ایستگاههای پمپاژ مورد استفاده قرار می‌گیرند. با در نظر گرفتن شکل ۱ و با توجه به اینکه نمودار مشخصه (H-Q) در پمپ‌های

مدل‌سازی دینامیکی یک سیستم و تحلیل آن را می‌توان بهترین ابزار برای بررسی طرحها و عملکرد مجموعه‌های پیچیده معرفی کرد که استفاده از آن مدام در حال افزایش می‌باشد. سیستم‌های انتقال سیال از جمله فرایندهایی هستند که در گستره وسیعی از صنایع مانند آبرسانی، نفت، گاز و پتروشیمی و نظایر آن مورد استفاده قرار می‌گیرند. در گذشته طراحی ایستگاههای پمپاژ با استفاده از نمودارهای منحنی مشخصه پمپ‌ها، شرایط فیزیکی مسئله و در حالی که سیستم پایدار فرض شود مورد توجه طراحان بود. این در حالی است که سیستم‌های انتقال سیال متأثر از عوامل دینامیکی بسیاری نظیر شرایط متفاوت بهره‌برداری و روشن و خاموش شدن پمپ‌ها می‌باشند، لذا از دهه ۸۰ میلادی محققان به مدل‌سازی دینامیکی این گونه سیستم‌ها به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی، کنترل و پایش آنها پرداختند. در سال ۲۰۰۰، ارتین<sup>۱</sup> و همکاران در تحقیقی، دینامیک یک سیستم توزیع آب آشامیدنی شامل یک مخزن ذخیره و یک ایستگاه پمپاژ متشکل از سه پمپ را با یک معادله درجه یک ارائه کردند [۱]. سپس با استفاده از نظریه مونت کارلو، ارتفاع دینامیکی بهینه سطح آب در مخزن را به دست آوردند که این عمل منجر به صرفه جویی بالغ بر ۱۲/۵ درصد در مصرف انرژی سیستم شد.

در سال ۲۰۰۲ اکبر و همکاران، مدل‌سازی دینامیکی شبکه آبرسانی شهر گازیانتپ<sup>۲</sup> در ترکیه شامل سه ایستگاه پمپاژ و سه منبع ذخیره را ارائه کردند [۲]. در تحقیق مذکور از نتایج شبیه‌سازی تغییرات ارتفاع آب در مخزن انتهایی و دبی ایستگاه پمپاژ در کنترل شبکه آبرسانی شهر مذکور استفاده شد. در سال ۲۰۰۶ پولیدو و همکاران الگوریتمی را برای به دست آوردن بهترین ترکیب پمپ‌ها در سیستم آبرسانی پرورش ماهی در کشور ایرلند پیشنهاد دادند [۳]. در مدل ارائه شده، هد و توان مصرفی پمپ برحسب دبی هر کدام و به صورت جداگانه تخمین زده شد. الگوریتم انتخاب پمپ در آن تحقیق روندی است برای پیدا کردن بهترین ترکیب پمپ‌ها و حداقل هزینه‌های بهره‌برداری که در نتیجه آن می‌توان از ترکیبات متفاوتی برای بیشینه کردن دبی و ارتفاع در سیستم آبرسانی پرورش ماهی استفاده کرد. برخی ایراداتی که بر مدل‌های فوق وارد است عبارت‌اند از: ۱- ناتوانی در برنامه‌ریزی پمپاژ در یک سیستم در صورت متغیر بودن رژیم مصرف آب. ۲- ساده‌سازی بسیار در مدل‌ها که در برخی موارد موجب انحراف نتایج

<sup>1</sup> Ertin

<sup>2</sup> Gaziantep

<sup>3</sup> State Space

شده است. رابطه داریسی - ویسباخ نسبت به دبی عبوری از لوله غیرخطی و به شکل زیر می باشد

$$h_{\text{loss-fp}} = \left( \frac{f_p L}{DA^2 2g} \right) Q^2 \quad (5)$$

با جایگذاری رابطه ۵ به جای  $\Delta h_{\text{loss}}$  در رابطه ۳، مدل دینامیکی خط لوله به صورت زیر در می آید

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{gA}{L} \left( \Delta h - \left( \frac{f_p L}{DA^2 2g} \right) Q^2 \right) \quad (6)$$

در محاسبات خط لوله های طولی معمولاً از افت فشارهای موضعی به دلیل ناچیز بودن آن صرف نظر می شود و به دلیل اینکه جریان در این گونه خطوط، عموماً آشفته است، برای محاسبه ضریب اصطکاک از روابط مربوط به جریانهای آشفته استفاده می شود. یکی از روابط تئوری در جریانهای آشفته که در ضمن تطابق خوبی با روابط تجربی دارد، رابطه کولبرک است [۵].

### ۲-۳- مخازن

در سیستم های انتقال سیال برای جلوگیری از نوسانات ایجاد شده در اثر تغییرات خروجی و یا تغذیه سیال، از مخازن ذخیره در ورودی استفاده می شود. در کاربردهای مختلف، بسته به نوع سیال و شرایط بهره برداری و دیگر عوامل از مخازنی با شکل و ابعاد مختلف استفاده می شود. در حالت کلی متغیرهای مهم و مؤثر در طراحی هیدرولیکی مخازن عبارت اند از: ارتفاع مخزن، حجم مخزن و ارتفاع محل استقرار آن.

با نوشتن معادله بقای جرم برای مخزن، رابطه زیر به دست می آید.

$$\frac{d}{dt} (\rho A_t h_t) = \rho Q_{\text{in}} - \rho Q_{\text{out}} \quad (7)$$

در این رابطه،  $Q_{\text{in}}$  و  $Q_{\text{out}}$  به ترتیب دبی های ورودی و خروجی به مخزن،  $h_t$  ارتفاع سیال در مخزن و  $A_t$  سطح مقطع مخزن می باشد.

### ۳- مدل واحد سیستم های انتقال سیال

با توجه به روابط معرفی شده برای اجزای سیستم، اکنون می توان مدل واحدی برای یک سیستم انتقال سیال مطابق آنچه در شکل ۳ ظاهر شده است نوشت.

با ترکیب روابط ۱ و ۵ در رابطه ۶ و استفاده از رابطه ۷ می توان دو معادله دیفرانسیل زیر را استخراج کرد

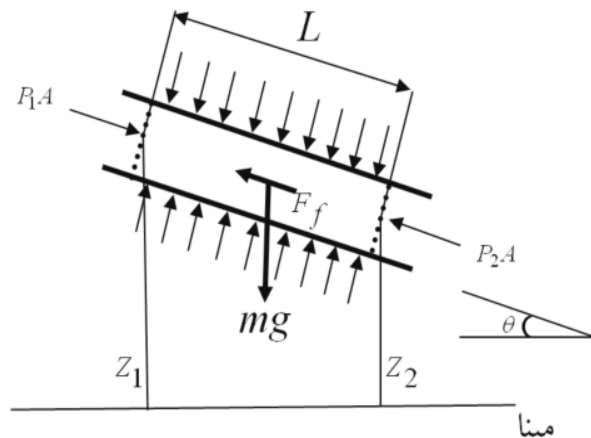
$$\frac{dQ_p}{dt} = \frac{gA}{L} (bQ_p + c - (h_t + h_s + \left( \frac{f_p L}{DA^2 2g} - a \right) Q_p^2) \quad (8)$$

$$\frac{dh_t}{dt} = \frac{1}{A_t} (Q_p - Q_{\text{out}}) \quad (9)$$

سانتریفوژ به صورت سهمی می باشد، شکل هیدرولیکی آن را می توان به صورت رابطه ۱ نوشت

$$H = aQ^2 + bQ + c \quad (1)$$

در رابطه فوق  $H$  ارتفاع نظیر فشار در خروجی پمپ و  $Q$  دبی پمپ می باشد. ضرایب  $a$ ،  $b$  و  $c$  با توجه به مشخصات ارائه شده توسط سازنده قابل محاسبه است.



شکل ۲- پیکره آزاد یک عنصر از لوله و نیروهای وارد بر آن

### ۲-۲- لوله ها

فرض اساسی در این بخش آن است که سیستم تراکم ناپذیر می باشد. همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود در این قسمت بخشی از لوله طولی به عنوان یک المان در نظر گرفته می شود. معادله حرکت برای یک المان از خط لوله، به صورت زیر نوشته می شود

$$\rho(A L) \frac{dV}{dt} = P_1 A - P_2 A - F_f + mg \sin \theta \quad (2)$$

که در این رابطه  $A$  سطح مقطع لوله،  $V$  سرعت جریان در لوله،  $P_1$  و  $P_2$  به ترتیب فشارهای ابتدایی و انتهایی در عنصر و  $F_f$  نیروی مقاوم اصطکاکی در لوله است.

با ساده سازی و جایگزینی مقادیر فشار به صورت ارتفاع در رابطه ۲ به معادله زیر می رسیم

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{gA}{L} (\Delta h - \Delta h_{\text{loss}}) \quad (3)$$

در رابطه فوق  $\Delta h$  ارتفاع نظیر فشار،  $A$  سطح مقطع لوله و  $\Delta h_{\text{loss}}$  مجموع تلفات اصطکاکی  $h_{\text{loss-fp}}$  و موضعی  $h_{\text{loss-l}}$  است که به صورت زیر قابل محاسبه است

$$\Delta h_{\text{loss}} = h_{\text{loss-fp}} + h_{\text{loss-l}} \quad (4)$$

برای محاسبه افت اصطکاک از رابطه داریسی - ویسباخ استفاده

متغیرهای ورودی و  $x(t)$  متغیرهای حالت خوانده می‌شود. ماتریس‌های  $A(t)$  و  $B(t)$  پس از خطی شدن به قرار زیراند:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{bgA}{L} + 2aQ_s - \frac{f_p L}{D A^2 g} Q_s & -\frac{gA}{L} \\ \frac{1}{A_t} & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{gA}{L} \\ -\frac{1}{A_t} & 0 \end{bmatrix}$$

در ماتریس‌های فوق  $Q_s$  دبی نقطه کار سیستم است. با توجه به اینکه در محاسبات انجام شده مقادیر  $Q_p$  و  $h_t$  به عنوان متغیرهای حالت و خروجی مدل در نظر گرفته شده‌اند، ماتریس‌های  $C(t)$  و  $D(t)$  به صورت زیر تعریف می‌شوند.

$$C(t) = [1 \quad 1]$$

$$D(t) = [0 \quad 0]$$

و در نهایت شکل نهایی معادلات در فضای حالت به صورت رابطه ۱۲ در می‌آید

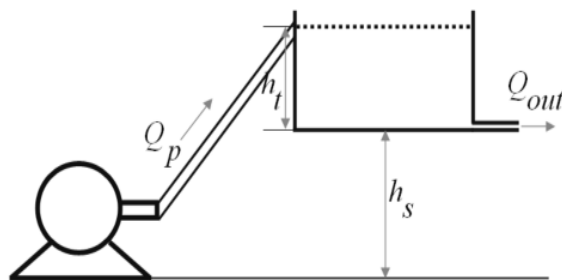
$$\begin{bmatrix} \frac{dQ_p}{dt} \\ \frac{dh_t}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{bgA}{L} + 2aQ_s - \frac{f_p L}{D A^2 g} Q_s & -\frac{gA}{L} \\ \frac{1}{A_t} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_p \\ h_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\frac{gA}{L} \\ -\frac{1}{A_t} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{out} \\ h_s \end{bmatrix} \quad (12)$$

### ۵- تحلیل مدل با استفاده از نرم افزار

Simulink یکی از متعلقات نرم‌افزار مطلب<sup>۱</sup> است که امکان ایجاد سریع مدل کامپیوتری سیستم‌های دینامیکی را با استفاده از نمودار بلوکی فراهم می‌کند. در حل معادلاتی نظیر رابطه ۱۲ معمولاً بهتر است که از حل کننده‌های گام متغیر استفاده شود، زیرا اندازه گام انتگرال‌گیری آنقدر به طور مداوم تغییر می‌کند تا تحت شرایطی که دقت خاصی مد نظر است، حداکثر کارایی را به دست دهد. حل کننده استفاده شده در این مقاله ODE45 است. این حل کننده بر مبنای زوج رانگ - کوتای مرتبه چهارم - پنجم می‌باشد.

<sup>1</sup> MATLAB

همان طور که در شکل ۳ مشخص است،  $h_s$  ارتفاع استاتیکی نصب مخزن،  $h_t$  ارتفاع دینامیکی سطح آب در مخزن،  $Q_p$  دبی لوله و مخزن ذخیره 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 می‌باشد. با توجه به غیرخطی بودن سیستم معادلات دیفرانسیل حاصل، می‌توان سیستم را به صورت یک سیستم خطی تقریب زد. این سیستم خطی در یک گستره کاری محدود با سیستم غیر خطی هم ارز است. اساس روش خطی کردن که در اینجا استفاده گردیده بر مبنای بسط سری تیلور توابع غیر خطی، حول نقطه کار و نگه داشتن جمله خطی و حذف بقیه جملات است [۲]. با توجه به حذف جملات مرتبه بالای سری تیلور، این جملات باید کوچک باشند. یعنی متغیرها باید تنها به مقدار اندکی از نقطه کار سیستم جایی که محل تلاقی منحنی مشخصه پمپ‌ها و منحنی سیستم است دور شوند. روش خطی کردن معرفی شده، تنها در همسایگی نقطه کار معتبر است. اگر شرایط کار سیستم تغییرات شدیدی داشته باشد این معادله خطی شده کافی نیست و باید از معادله غیر خطی استفاده شود.



شکل ۳- سیستم انتقال سیال مورد مطالعه شامل ایستگاه پمپاژ، خط

### ۴- مدل در فضای حالت

سیستم‌های انتقال سیال می‌تواند چندین ورودی و خروجی داشته باشد و این ورودی‌ها می‌توانند به نحوی پیچیده با هم ارتباط داشته باشند. برای تحلیل چنین سیستم‌هایی و کاستن از پیچیدگیهای عبارتهای ریاضی، توسل به کامپیوتر جهت انجام عملیات ضروری است. به این ترتیب تحلیل فضای حالت برای این گونه سیستم‌ها گزینه مناسبی می‌باشد. روابط ۸ و ۹ پس از خطی کردن به شکل معادلات فضای حالت به صورت روابط ۱۰ و ۱۱ نوشته می‌شوند:

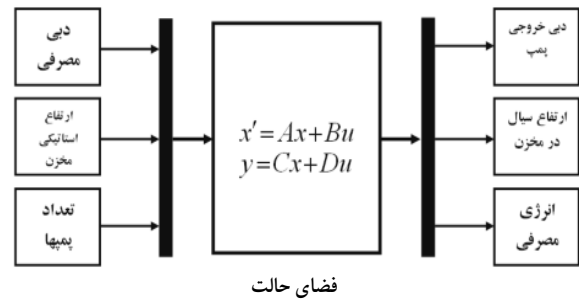
$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) \quad (10)$$

$$y(t) = C(t)x(t) + D(t)u(t) \quad (11)$$

در معادلات فوق  $A(t)$  ماتریس حالت،  $B(t)$  ماتریس ورودی،  $C(t)$  ماتریس خروجی،  $D(t)$  ماتریس انتقال مستقیم،  $u(t)$

## ۶- شبیه‌سازی یک ایستگاه پمپاژ واقعی

برای معرفی قابلیت‌های مدل ریاضی ارائه شده، یک ایستگاه پمپاژ آب شرب در شهر کرمانشاه در محیط MATLAB/Simulink شبیه‌سازی شده است (شکل ۴). ورودی‌های مدل عبارت‌اند از: الگوی مصرف آب شرب در منطقه، ارتفاع استاتیکی نصب مخزن و تعداد پمپ‌هایی که در مدار قرار گرفته‌اند. در خروجی، دبی ایستگاه پمپاژ، ارتفاع سطح آب در مخزن و میزان مصرف انرژی در هر لحظه و یا هر دوره زمانی از کار ایستگاه به دست می‌آیند.



شکل ۴- شمایی از سیستم مورد مطالعه در محیط نرم افزار Simulink

## ۶-۱- مشخصات ایستگاه پمپاژ

مشخصات ایستگاه پمپاژ به قرار زیر است

$$L=20000\text{m} \quad , \quad A_p=0.63\text{m}^2 \quad , \quad h_s=80\text{m}$$

$$f_p=0.015 \quad , \quad Q_s=50\text{m}^3/\text{min} \quad , \quad V_t=15000\text{m}^3$$

که در آن

$L$  طول کل خط لوله،  $A_p$  سطح مقطع لوله،  $h_s$  ارتفاع استاتیکی نصب مخزن،  $V_t$  حجم مخزن،  $Q_s$  دبی نقطه کار سیستم و  $f_p$  ضریب اصطکاک می‌باشد.

## ۶-۲- مدل ریاضی نمودار مشخصه ایستگاه پمپاژ

در ایستگاه پمپاژ، دوازده پمپ از نوع WKL150/4 شرکت پمپیران به صورت موازی نصب شده‌اند که دو پمپ به حالت رزرو می‌باشد و ده پمپ دیگر با توجه به مصرف در مدار قرار گرفته‌اند. معادله ریاضی نمودار مشخصه هر پمپ با توجه به منحنی مشخصه ارائه شده توسط سازنده و با روش حداقل مربعات به صورت زیر به دست آمد

$$h = -0.5977Q^2 - 8.122Q + 223.47 \quad (13)$$

باید توجه داشت که تعداد پمپ‌هایی که به صورت موازی در مدار قرار می‌گیرند به عنوان یکی از اطلاعات ورودی سیستم در نظر گرفته می‌شود. در این صورت معادله‌ای که رابطه بین دبی پمپ برحسب ارتفاع آبدی پمپ را بیان می‌نماید با منظور کردن تعداد

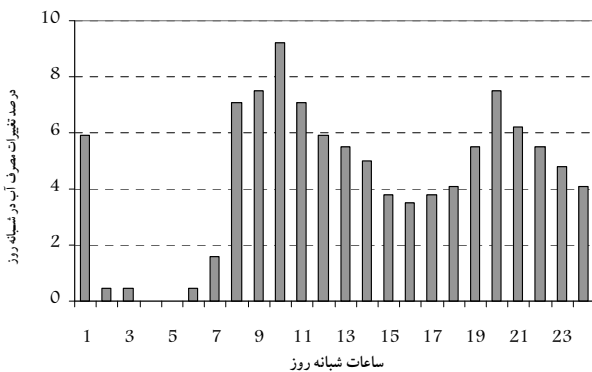
پمپ‌های مدار، به صورت زیر تغییر می‌کند

$$h = -0.5977 \frac{Q_p^2}{N^2} - 8.122 \frac{Q_p}{N} + 223.47 \quad (14)$$

که  $N$  تعداد پمپ‌های موازی قرار گرفته در مدار می‌باشد.

## ۶-۳- شرایط کاری مخزن در ایستگاه

حد بالا و پایین ارتفاع سطح آب در مخازن به ترتیب  $3/5$  و  $0/5$  متر است؛ بدین معنی که به محض رسیدن ارتفاع سطح آب به  $3/5$  متر در مخزن، پمپ‌ها خاموش و در صورت رسیدن ارتفاع سطح آب به  $0/5$  متر در مخزن، پمپ‌ها روشن می‌شوند.

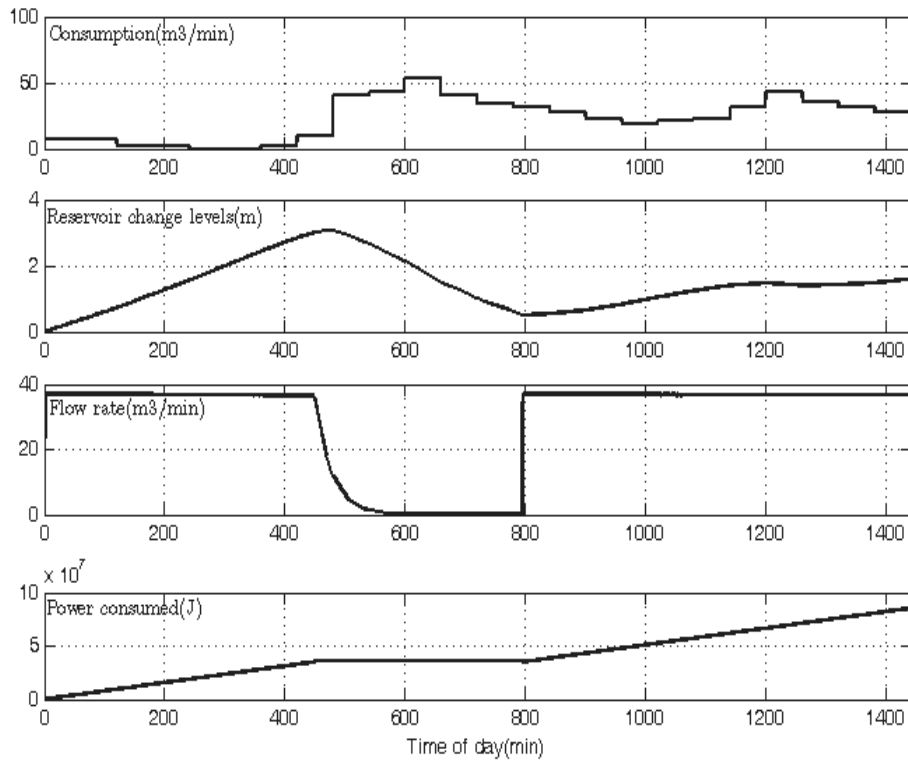


شکل ۵- درصد تغییرات مصرف آب شرب در منطقه و در یک شبانه روز

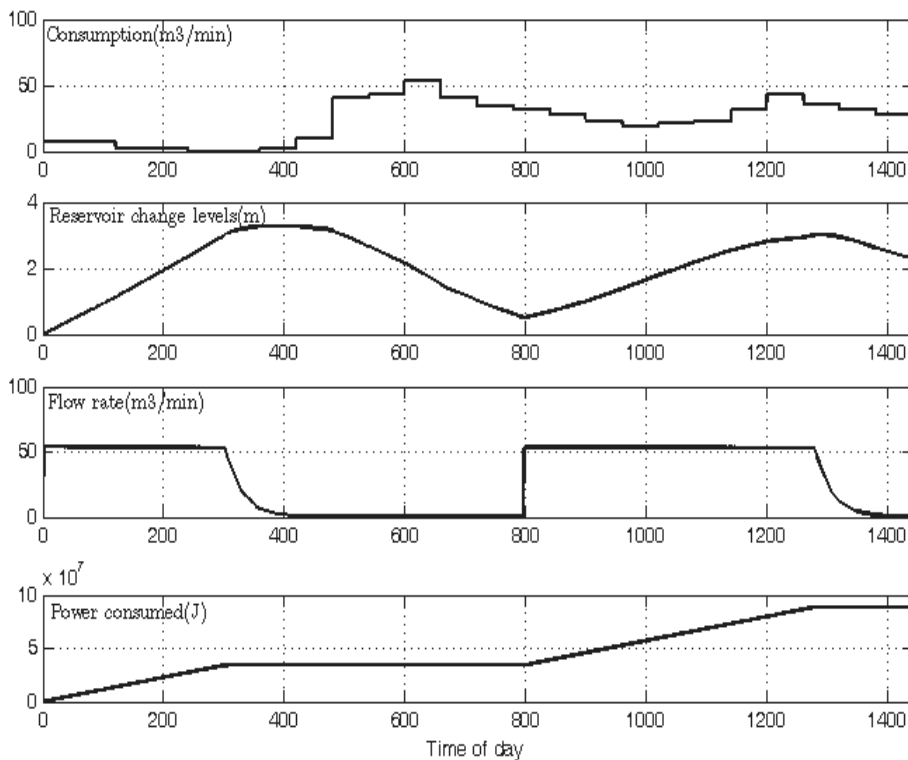
## ۶-۴- مدل مصرف آب شرب در منطقه

از جمله قابلیت‌های مهم مدل ارائه شده، امکان تحلیل سیستم در مصرف آب شرب به صورت متغیر در شبانه روز می‌باشد. نحوه تغییرات مصرف در ورودی مدل ( $Q_{out}$ ) می‌تواند به صورت‌های مختلفی باشد. به عنوان مثال در شکل ۵ نمونه‌ای از مدل رژیم مصرف آب شرب در طول یک شبانه روز که مورد استفاده قرار گرفته، ارائه شده است [۶]. با در نظر گرفتن متوسط مصرف آب در منطقه مورد مطالعه که  $48 \text{ m}^3/\text{min}$  می‌باشد می‌توان مصرف آب را در ساعات مختلف شبانه روز به دست آورد. مدل مصرف به دست آمده به عنوان یکی از ورودی‌های نرم افزار استفاده و بدین ترتیب شبکه آبرسانی با مصرف متغیر و در وضعیت‌های متفاوت شبیه‌سازی می‌گردد. برخی اطلاعات و نمودارهای خروجی نرم‌افزار در شبیه‌سازی ایستگاه مذکور در آرایش‌های ۴، ۶ و ۸ تایی از پمپ‌ها در یک شبانه روز (۱۴۴۰ دقیقه) در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ به صورت نمونه آورده شده است.

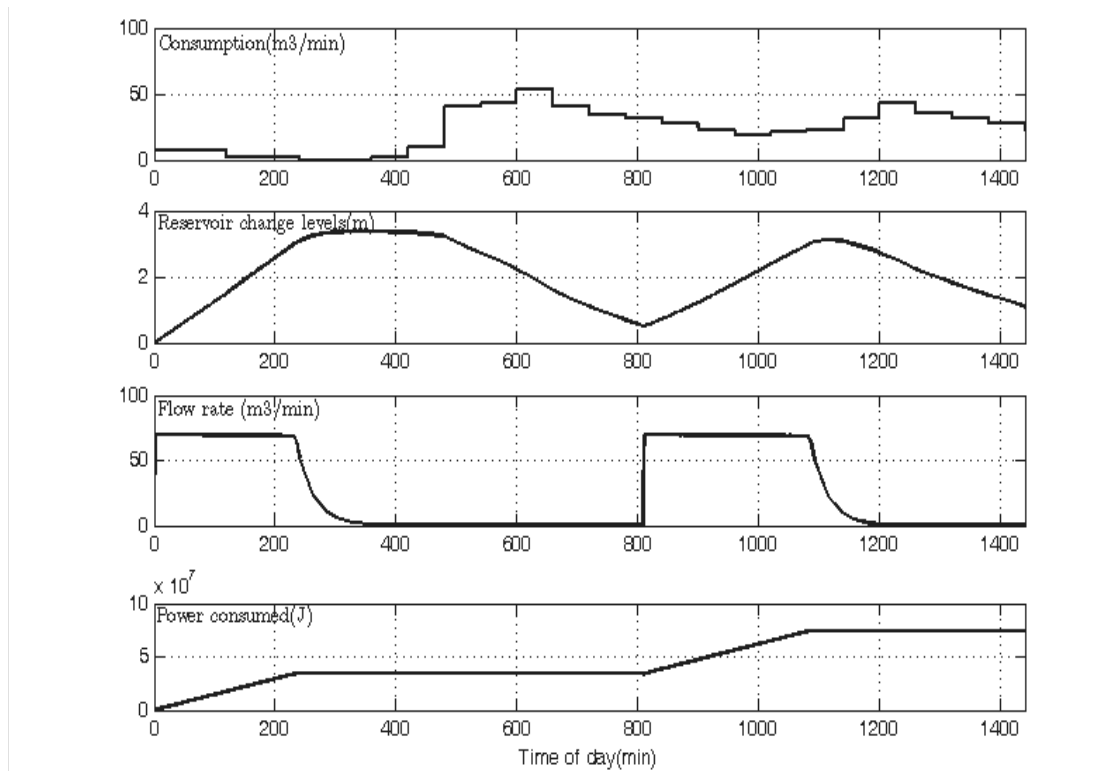
در این نمودارها، علاوه بر مشاهده نحوه تغییرات ارتفاع سیال در مخزن و دبی ایستگاه پمپاژ به صورت دینامیکی و لحظه‌ای که در طراحی‌های سیستم‌های کنترل و پایش کاربرد بسیار دارد،



شکل ۶- نمودارهای رژیم مصرف آب شرب در منطقه، تغییرات ارتفاع سطح آب در مخزن، دبی ایستگاه و کل انرژی مصرفی در آرایش ۴ تایی و در یک شبانه روز



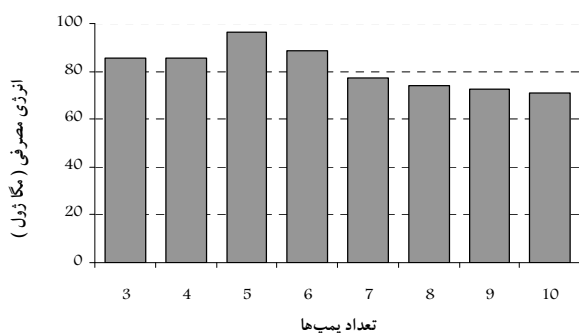
شکل ۷- نمودارهای رژیم مصرف آب شرب در منطقه، تغییرات ارتفاع سطح آب در مخزن، دبی ایستگاه و کل انرژی مصرفی در آرایش ۶ تایی و در یک شبانه روز



شکل ۸- نمودارهای رژیم مصرف آب شرب در منطقه، تغییرات ارتفاع سطح آب در مخزن، دبی ایستگاه و کل انرژی مصرفی در آرایش ۸ تایی و در یک شبانه روز

جدول ۱- کل انرژی مصرفی ایستگاه پمپاژ در یک شبانه روز

تعداد پمپها	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
انرژی مصرفی (MJ)	۸۵/۴۹	۳۲/۸۵	۴۴/۹۶	۶۴/۸۸	۱۱/۷۷	۲۲/۷۴	۲۹/۷۲	۸۵/۷۰



شکل ۹- نمودار مقایسه انرژی مصرفی ایستگاه پمپاژ در آرایشهای متفاوت و در یک شبانه

### ۷- نتیجه گیری

هزینه زیاد انرژی، باعث شده است که بررسی فرایندهای پر مصرف انرژی مانند ایستگاههای پمپاژ در راستای بهبود راندمان کلی آنها اجتناب ناپذیر گردد. از آنجا که ایستگاههای پمپاژ به عنوان مصرف

می توان میزان کل انرژی مصرفی پمپاژ را در هر دوره زمانی دلخواه محاسبه و بهینه ترین آرایش پمپها و راهکرد خاموش و روشن بودن مناسب را اتخاذ نمود. در جدول شماره ۱ نتایج حاصل از اجرای برنامه برای میزان مصرف انرژی ایستگاه پمپاژ در طول دوره زمانی ۲۴ ساعته آورده شده است. به منظور مقایسه ساده تر، در نمودار میله ای شکل ۹ مقادیر انرژی مصرفی در یک شبانه روز در آرایشهای متفاوت پمپها نمایش داده شده است. همان طور که از نمودار مشاهده می گردد، در آرایش ۱۰ تایی کمترین مصرف انرژی و در آرایش ۵ تایی بیشترین مصرف در ایستگاه پمپاژ وجود دارد. مقادیر ارائه شده مربوط به یک شبانه روز می باشد که می توان نظیر این محاسبات را در یک ماه، یک سال و یا هر دوره زمانی دیگری به دست آورد. واضح است در صورت انتخاب آرایش ۱۰ تایی نسبت به آرایش ۵ تایی حدود ۲۶ درصد صرفه جویی در مصرف انرژی حاصل می شود این در حالی است که در تمام ترکیبات، نیاز عملیاتی و مصرف آب شرب در منطقه برآورده می گردد.

کننده اصلی انرژی در تمام صنایع، خصوصاً آبرسانی محسوب می‌گردند، لذا مهم است تا حد امکان، مصرف انرژی در این گونه سیستم‌ها به حداقل مقدار خود رسانده شود. در مدل دینامیکی ارائه شده در این مقاله می‌توان با اعمال شرایط متفاوت کاری در سیستم‌های انتقال سیال نظیر مدل‌های متنوع مصرف سیال، آرایش‌های مختلف قرارگیری پمپ‌ها در مدار، تغییرات در خصوصیات فیزیکی سیستم و ... دبی ایستگاه پمپاژ، ارتفاع سیال در مخزن و انرژی مصرفی پمپاژ را در زمانهای متفاوت به راحتی ارزیابی نمود. می‌توان این اطلاعات را در طراحی سیستم‌های کنترلی و ابزار

دقیق، نگهداری و بهره‌برداری سیستم‌های انتقال سیال و خصوصاً راهکرد زمان روشن و خاموش بودن پمپ‌ها به منظور کاهش مصرف انرژی مورد استفاده قرارداد. جهت‌گیری ارائه مدل، سادگی ریاضی، نیاز به زمان کم در محاسبات کامپیوتری، سهولت اجرای برنامه با امکان تغییر پارامترهای مؤثر در کارکرد سیستم می‌باشد. محاسبات انجام شده در شبیه‌سازی یک ایستگاه پمپاژ واقعی به طور نمونه نشان می‌دهد که با انتخاب راهکرد مناسب برای انتخاب تعداد پمپ‌های موجود در مدار، نسبت به مدل رژیم مصرف آب می‌توان به مقدار قابل ملاحظه‌ای صرفه‌جویی در مصرف انرژی (تا حدود ۲۶ درصد) دست یافت.

## ۸- مراجع

- 1-Ertin, E., Dean, A., Moor, M., and Priddy, K. (2004). "Dynamic optimization for optimal control of water distribution system." *SPIE proceedings series*, <<http://www.ece.osu.edu/>>(Dec. 25, 2006).
- 2- Eker I, Grimble MJ, Kara T. (2003). "Operation and simulation of city of Gaziantep water supply system in Turkey." *Renewable Energy*, 28(9), 901-916.
- 3- Pulido-Calvo I, Gutierrez-Estrada J, Asensio-fernandez R. (2006). "Optimal design of pumping stations of inland intensive fishfarms." *Aquacultural Engineering*, 35 (9), 283-291.
- 4-Ph.D Course M128. (2003). "Selecting a centrifugal pump by system analysis." <<http://www.pdhcenter.com/>>. (Dec. 25, 2006).
- 5- Colebrook, C.F. (1938). "Tubulent flow in pipes, with particular reference to the transition region between the smooth and rough pipe laws." *Journal of Institution of Civil Engineers*, 24, 133-156.
- 6- Ashrae Handbook Committee Information. (2005). *Ashrae handbook fundamentals*, Mark S. Owen, ed.