

## بهینه‌سازی سیستم پمپاژ گروهی در سیستم انتقال آب با استفاده از الگوریتم علف‌های هرز

### مهاجم

مژگان ابراهیم‌پور<sup>۱\*</sup>، احمد احمدی<sup>۲</sup>، امیر پارسا صدر<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی

شاهرود، mozhganebrahimpor@yahoo.com

۲- دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، a.ahmadi@sahroodut.ac.ir

۳- کارشناس‌ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود،

amirparsasadr@yahoo.com

### چکیده

ضربه‌ی قوچ یکی از مهم‌ترین پدیده‌هایی است که در سیستم پمپاژ و خطوط انتقال آب موجب خسارات قابل توجهی می‌گردد. در سیستم‌های پمپاژ بزرگ که پمپ به‌تنهایی قادر به پمپاژ تمام حجم آب موردنظر نیست، از چندین پمپ موازی به‌منظور تامین دبی استفاده می‌شود. در این تحقیق، ابتدا معادلات خطوط مشخصه حاکم بر جریان، روابط حاکم بر پمپ‌ها و نحوه‌ی اتصال آن‌ها به یکدیگر برای ۴ پمپ همسان موازی، در حالت غیرماندگار حل شده است. برای کاهش فشارهای وارد به سیستم انتقال آب در اثر ضربه قوچ، سیستم پمپاژ در دو گام خاموش می‌شود. با استفاده از کلونی علف‌های هرز فاصله زمانی بین دو گام به‌نحوی تعیین شده است که اختلاف فشار بیشینه و کمینه در حالت بهینه قرار گیرد. در روند این بهینه‌سازی خاموشی تعداد مختلف پمپ در هر گام بررسی شده است. حالتی به‌عنوان بهینه انتخاب شده است که اختلاف فشار کمتری نسبت به سایر حالت داشته باشد. نتایج نشان داد که بهترین حالت خاموشی پمپ‌ها، دو پمپ در گام اول و دو پمپ در گام دوم است. حالت خاموشی سه پمپ در گام اول و یک پمپ در گام دوم به‌دلیل ایجاد فشار کمتر از فشار بخار جز حالات خطرناک شناسایی شده است. در صورت خاموشی پمپ‌ها متناسب با حالت بهینه، فشار بیشینه می‌تواند نسبت به سایر حالات تا ۴/۱۴٪ کاهش و فشار کمینه از مقدار مخرب ۱۱/۶۳- متر به مقدار ۵/۴۱ متر افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: ضربه‌ی قوچ، الگوریتم کلونی علف‌های هرز مهاجم، گروه پمپاژ موازی، خطوط مشخصه.

### ۱- مقدمه

ضربه‌ی قوچ، تغییرات فشار در یک سیستم تحت فشار است به‌طوری‌که عملکرد سیستم مداوم از شرایط جریان ماندگار به شرایط جریان غیرماندگار تغییر می‌یابد. این تغییرات فشار با اعمال یک تغییر مشخص به سیستم آغاز می‌شود و در طول یک دوره انتقالی جریان، به‌وسیله‌ی شکلی از اصطکاک درون سیستمی، به حالت ماندگار بعدی منتهی می‌شود. تغییرات ناگهانی شرایط مرزی سیستم انتقال آب از جمله: باز و بسته شدن دریچه‌ها، قطع و وصل شدن ناگهانی پمپ و توربین و ... باعث ایجاد جریان‌های غیرماندگار می‌شود. این پدیده با ایجاد نوسانات فشار در خط لوله، نیروی زیادی را به جریان و دیواره‌ها وارد می‌کند که می‌تواند باعث اثرات زیان‌باری هم‌چون ترکیدگی لوله، خرابی و شکست شیرها، خرابی دریچه‌های کنترل و پمپ و توربین شود.

جایگزینی چندین پمپ ضعیف‌تر با یک پمپ قوی می‌تواند فشارهای وارد بر سیستم پمپاژ ناشی از توقف ناگهانی را به‌طور چشم‌گیری کاهش دهد (پارسا صدر، ۱۳۹۴). از این‌رو در سیستم‌های بزرگ پمپاژ با دبی بالا، عموماً از چندین پمپ موازی به‌منظور تامین دبی جریان در خط لوله استفاده می‌شود.

تحقیقات نشان داده‌اند که در حل مسائل ضربه قوچ که در آن اثرات مربوط به چرخش و اصطکاک در جریان قابل صرف نظر کردن نبوده و به اصطلاح جریان آشفته است؛ بهترین روش، روش خطوط مشخصه<sup>۱</sup> است. این روش قابلیت بالایی در حل مسائل با پیچیدگی زیاد دارد (افشار، محجوبی، ۱۳۸۶).

چادری (Chaudhry, 1979) و استریتر (Wylie, Streeter and et al., 1993) با استفاده از روابط پمپ‌های هم‌خانواده روش مدل سازی عملکرد پمپ را در جریان غیرماندگار ناشی از توقف ناگهانی و شروع به کار آن به خوبی بیان کردند. چادری و حسینی معادلات ضربه قوچ را با استفاده از روش‌های مک کورمک<sup>۲</sup>، لامبدا<sup>۳</sup> و تفاضل محدود<sup>۴</sup> حل کردند. این محققین دریافتند که روش تفاضل محدود مرتبه دوم نتایج بهتری نسبت به روش خطوط مشخصه مرتبه اول می‌دهد (Chaudhry, 1979). گیونت با استفاده از روش گدونو<sup>۵</sup> با دقت‌های مرتبه اول و دوم بر اساس بسط سری تیلور به بررسی ضربه قوچ پرداخت. وی نشان داد که دقت مرتبه اول جواب‌هایی بسیار نزدیک به روش خطوط مشخصه دارد (Guinot, 2000). افشار و محجوبی به بررسی طراحی بهینه سیستم انتقال پمپ‌دار برای کاهش فشارهای ناشی از توقف پمپ پرداختند. آن‌ها نشان دادند که با افزایش قطر لوله‌ها، اثرات توقف ناگهانی پمپ، به ویژه مقدار فشار منفی ایجادشده و جدایی ستون مایع ناشی از آن کاهش می‌یابد (افشار، محجوبی، ۱۳۸۶).

برگانت و همکاران (Bergant and Simpson, 1999; Bergant, Simpson and et al., 2006) و کرامت و همکاران (Keramat, Ahmadi and et al., 2009) جدایی ستون مایع را در اثر ضربه قوچ ناشی از خاموشی پمپ و انواع حالت‌های ممکن مورد بررسی قرار دادند. احمدی و همکاران (Ahmadi and Keramat, 2010) به بررسی اثر ارتعاشات پمپ بر روی هیدرولیک جریان و به‌طور کلی تداخل سیال-سازه ناشی از پمپ پرداخته‌اند.

افشار و همکاران ضربه قوچ را با استفاده از خطوط مشخصه ضمنی مدل سازی کردند. آن‌ها دریافتند که اختلاف نتایج خطوط مشخصه ضمنی در مقایسه با حل با روش خطوط مشخصه صریح بسیار کوچک و قابل صرف نظر کردن است (افشار، روحانی، ۱۳۸۷). پارسا صدر و همکاران با بررسی گروه پمپ‌های سری و موازی با روش خطوط مشخصه صریح دریافتند که با خاموشی گام به گام پمپ‌ها، فشار وارد بر سیستم انتقال آب پمپ‌دار کاهش می‌یابد (Parsasad, Ahmadi and et al., 2016).

در تحقیق حاضر ۴ پمپ همسان سانتریفیوژ به‌طور موازی در سیستم انتقال آب در نظر گرفته شده است که با استفاده از روش خطوط مشخصه صریح معادلات هیدرولیک جریان در حالات جریان ماندگار و جریان غیرماندگار حل گردیده است. برای کاهش فشارهای مخرب ناشی از خاموشی ناگهانی، سیستم پمپ‌های گروهی در دو گام خاموش می‌شود. با در نظر گرفتن تعداد مختلف پمپ در هر گام خاموشی و با استفاده از الگوریتم بهینه‌ساز کلونی علف‌های هرز مهاجم سعی شده است که فاصله زمانی بهینه خاموشی پمپ‌ها برای هر یک از حالات به‌گونه‌ای استخراج گردد تا اختلاف فشارهای وارد به سیستم انتقال آب در کمترین حالت ممکن خود باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱ روابط حاکم بر هیدرولیک جریان

برای مدل سازی ضربه قوچ با دو دسته معادلات هیدرولیک جریان (معادله پیوستگی و معادله مومنوم) و معادلات حاکم بر پمپ‌ها روبه‌رو هستیم. برای حل معادلات با دقت قابل قبول از روش خطوط مشخصه استفاده می‌شود (Shu, 2003). در حل معادلات از ضربه قوچ کلاسیک استفاده شده است. در این تئوری حرکت سیال درون لوله به صورت یک‌بعدی در نظر گرفته می‌شود. افت اصطکاکی در حالت جریان غیرماندگار برابر با افت اصطکاکی در حالت

جریان ماندگار است. لوله پر است و در خلال جریان ماندگار پر باقی می ماند. در جریان غیرماندگار جدایی ستون مایع اتفاق نمی افتد و فشار سیال همواره از فشار بخار بزرگتر است. گازهای آزاد درون سیال آن قدر کوچک اند که سرعت موج را می توان به صورت ثابت در نظر گرفت و جداره لوله و سیال به صورت الاستیک، خطی فرض می شود (Bergant and Simpson, 1997).

برای بررسی جریان در این شرایط از معادلات حاکم بر هیدرولیک جریان استفاده می شود. از آنجایی که فشار و سرعت در جریان گذرا تابعی از  $x$  (مکان) و  $t$  (زمان) است. دو معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی از نوع هذلولوی به دست می آید (Chaudhry, 1979; Wylie, Streeter and et al., 1993):

$$gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t} + f \frac{Q|Q|}{2DA} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

که  $A, g, t$  به ترتیب زمان، شتاب ثقل و سطح مقطع جریان و  $D, f, x, a$  بیانگر سرعت انتقال موج در سیال، مکان، ضریب دارسی و ویسباخ و قطر داخلی لوله و  $H, Q$  به ترتیب دبی و هد هستند. با استفاده از روش خطوط مشخصه معادلات روی خطوط  $C^+$  و  $C^-$  به صورت معادلات دیفرانسیل معمولی نوشته و سپس به صورت معادلات تفاضل محدود می نویسیم که با حل هم زمان این دو معادله در هر نقطه مشخصات جریان محاسبه می شود (Chaudhry, 1979; Wylie, Streeter and et al., 1993):

$$C^+: H_i^{n+1} = C_p - B_p Q_i^{n+1} \quad (3)$$

$$C^-: H_i^{n+1} = C_m - B_m Q_i^{n+1} \quad (4)$$

$$H_i^{n+1} = \frac{\frac{C_p}{B_p} + \frac{C_m}{B_m}}{\frac{1}{B_m} + \frac{1}{B_p}} \quad (5)$$

$$Q_i^{n+1} = \frac{C_p + C_m}{B_p + B_m} \quad (6)$$

که مقادیر ثابت  $C_p, B_p, C_m, B_m$  از گام زمانی قبل محاسبه می شوند:

$$C_p = H_{i-1}^n + BQ_{i-1}^n \quad (7)$$

$$B_p = B + R|Q_{i-1}^n| \quad (8)$$

$$C_m = H_{i+1}^n + BQ_{i+1}^n \quad (9)$$

$$B_m = B + R|Q_{i+1}^n| \quad (10)$$

$$R = \frac{f \Delta x}{2gDA^2} \quad (11)$$

$$B = \frac{a}{gA} \quad (12)$$

که  $\Delta x$  گام مکانی و اندیس های  $n, i$  به ترتیب بیانگر مکان و زمان هستند.

## ۲-۲ روابط حاکم بر پمپها

دو فرض اساسی جهت مدل سازی جریان غیرماندگار ناشی از توقف پمپ انجام می شود. نخست این که منحنی های مشخصه پمپ در حالت جریان ماندگار برای جریان غیرماندگار نیز معتبر است و دیگر این که روابط همولوگ مربوط به پمپ همواره صادق است (Wylie, Streeter and et al., 1993). پارامترهای بی بعد-همولوگ به صورت زیر تعریف می شوند:

$$\vartheta = \frac{Q}{Q_R}; \quad h = \frac{H}{H_R}; \quad \alpha = \frac{N}{N_R}; \quad \beta = \frac{T}{T_R}; \quad (13)$$

پارامترهای  $T, N, H, Q$  به ترتیب دبی پمپ، ارتفاع نظیر انرژی فشاری پمپ، سرعت دورانی پره های پمپ و گشتاور خالص هستند. اندیس  $R$  نشان دهنده کمیت ها در حالت شاخص است.

با توجه به منحنی مشخصه پمپ که در محور افقی بر حسب رابطه (۱۴) و در محور عمودی بر حسب رابطه (۱۵) و (۱۶) است و همچنین با استفاده از  $Q, N$  به دست آمده از معادلات حاکم بر پمپها (۱۳)، مقادیر  $h$  و  $T$  به دست می آید:

$$x = \pi + \tan^{-1} \frac{\vartheta}{\alpha} \quad (14)$$

$$W_B = \frac{\beta}{\alpha^2 + \vartheta^2} \quad (15)$$

$$W_H = \frac{h}{\alpha^2 + \vartheta^2} \quad (16)$$

$$H = W_H(x) \cdot (\alpha^2 + \vartheta^2) \cdot H_R \quad (17)$$

$$T = W_B(x) \cdot (\alpha^2 + \vartheta^2) \cdot T_R \quad (18)$$

## ۲-۲-۱ معادلات حاکم بر پمپهای موازی

سیستم پمپاژی که شامل چندین پمپ در کنار یکدیگر در خط لوله است را سیستم پمپاژ موازی می نامند. هد ایجاد شده توسط مجموعه پمپ موازی یکسان ( $H = H_1 = H_2 = \dots$ ) ولی دبی عبوری از آن ها با یکدیگر جمع می شود ( $Q = Q_1 + Q_2 + \dots$ ).

## ۲-۲-۳ الگوریتم بهینه ساز علف های هرز مهاجم

الگوریتم بهینه ساز علف های هرز مهاجم با الهام از طبیعت معرفی شده و مورد استفاده قرار گرفته است. طبق تعریف علف هرز گیاهی است که در مکان های ناخواسته، وابسته به شرایط تولید و رشد می کند و برای گیاهان زراعی مفید، آفت جدی به شمار می آید. این الگوریتم در عین سادگی در یافتن نقاط بهینه بسیار موثر و سریع است (Mehrabian and Lucas, 2006) و براساس ویژگی های اولیه و طبیعی علف های هرز عمل می کند:

## ۲-۳-۱ تعیین مقدار اولیه برای جمعیت

یک جمعیت محدود اولیه در فضای مساله به صورت کاملا تصادفی پراکنده می شود.

### ۲-۳-۲ تولیدمثل

هر عضو از جمعیت بر طبق توانایی اش می تواند بین دو مقدار تعیین شده ی بیشینه و کمینه تولید دانه کند. تعداد دانه هایی که هر گیاه می تواند تولید کند به طور خطی از کمترین دانه ممکن تا بیشترین دانه تغییر می کند.

### ۲-۳-۳ پراکندگی فضایی

در این مرحله دانه های تولید شده به طور تصادفی در فضای مساله پراکنده می شوند. تابع توزیع تصادفی، تابعی نرمال است بدین معنی که مقدار متوسط آن برابر صفر و انحراف معیار آن در مراحل مختلف متغیر است. مقدار انحراف معیار ( $\sigma$ ) تابع توزیع نرمال در هر مرحله از مقدار اولیه تعریف شده ی  $\sigma_{initial}$  تا مقدار نهایی  $\sigma_{final}$  کاهش می یابد. رابطه بین پارامترهای بالا به صورت رابطه (۱۹) بیان شده است:

$$\sigma_{iter} = \frac{(iter_{max} - iter)^n}{iter_{max}^n} (\sigma_{initial} - \sigma_{final}) + \sigma_{final} \quad (19)$$

در این معادله،  $iter_{max}$  بیشترین تعداد دفعات تکرار،  $\sigma_{iter}$  مقدار انحراف معیار در مرحله انجام عملیات و  $n$  میزان غیرخطی بودن مدولاسیون را نشان می دهد.

### ۲-۳-۴ حذف رقابتی

بعد از تولیدمثل در هر تکرار، دانه های حاصل از تولیدمثل و دانه های جمعیت اولیه با یکدیگر ادغام شده و براساس بهترین تابع هزینه دسته بندی می شوند. در نهایت تنها به اندازه ی حداکثر دانه های مجاز از این مجموعه انتخاب شده و مابقی حذف می شوند. این روند تا رسیدن به جواب بهینه تکرار می شود.

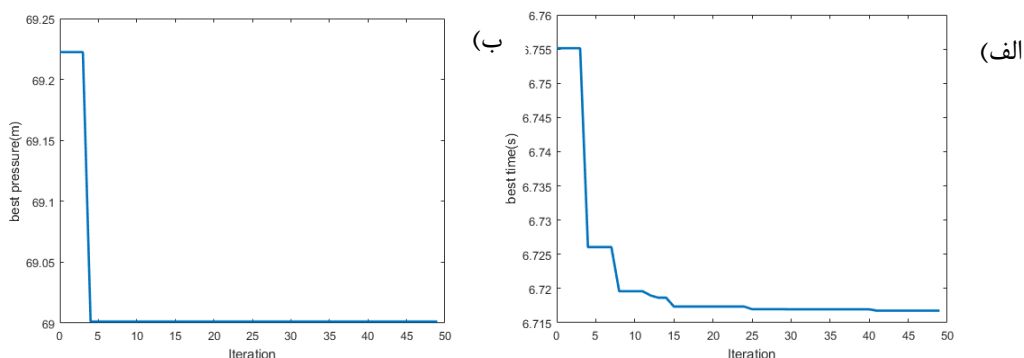
در این تحقیق برای بررسی دقیق رفتار گروه پمپ موازی در حالت ماندگار و غیرماندگار سیستمی شامل ۴ پمپ موازی همسان در نظر گرفته شده که در آن هد در مخزن یک ۱۰ متر ( $H_1 = 10 m$ )، هد در مخزن دو ۶۰ متر ( $H_2 = 60 m$ )، طول لوله ی اول و دوم به ترتیب ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر ( $L_1 = 500 m; L_2 = 1000 m$ )، ارتفاع سیستم پمپاژ صفر، قطر لوله ی اول و دوم ۰٫۷ متر ( $D_{1,2} = 0.7 m$ ) در نظر گرفته شده است. هم چنین ضریب اصطکاک دارسی-ویسباخ هر دو لوله برابر ۰٫۰۱ ( $f_{1,2} = 0.01$ ) و سرعت انتشار موج در سیستم برابر ۱۰۹۸ متر بر ثانیه ( $a = 1098 \frac{m}{s}$ ) است.

مشخصات الگوریتم بهینه ساز علف های هرز مهاجم در این تحقیق بدین صورت است که جمعیت اولیه علف های هرز ۱۰ ( $npop_0 = 10$ )، جمعیت بیشینه مجاز ۲۵ ( $npop = 25$ )، حداقل میزان تولید بذر ۰ ( $S_{min} = 0$ )، حداکثر میزان تولید بذر ۵ ( $S_{max} = 5$ )، مرتبه مدولاسیون ۳ ( $n = 3$ )، انحراف معیار اولیه ۰٫۵ ( $\sigma_{initial} = 0.5$ )، انحراف معیار نهایی ۰٫۰۰۱ ( $\sigma_{final} = 0.001$ ) و حداکثر تکرار ۵۰ ( $MaxIt = 50$ ) در نظر گرفته شده است. مرتب سازی داده ها در هر تکرار به صورت کمترین مقدار تابع هزینه در کمترین فاصله زمانی خاموشی بین دو گام است که در این مطالعه تابع هزینه فشار بیشینه در محل پمپ است.

### ۳- نتایج و بحث

در سیستم پمپاژ موازی با خاموش کردن تعداد مختلف پمپ در هر گام سعی شده است با استفاده از الگوریتم بهینه‌ساز، کمترین زمان خاموشی بین پمپ‌ها در دو گام به‌نحوی تعیین گردد که فشار وارد بر سیستم انتقال آب کمینه شود. نتایج بهینه‌سازی به اختصار در جدول ۱ ارائه شده است.

برای حالت اول، خاموشی دو پمپ در گام اول و دو پمپ در گام دوم بررسی شده است. در شکل ۱، نمودار بهترین زمان‌های خاموشی بین دو گام در هر تکرار ارائه شده است. در تعداد ۵۰ تکرار، زمان بهینه ۶,۷۱۷ ثانیه حاصل شده است که حداقل زمان لازم برای خاموشی سیستم پمپاژ در دو گام است تا اختلاف فشار وارد بر سیستم در کمترین مقدار ممکن باشد. اختلاف فشار از تکرار پنجم به کمترین مقدار خود در این حالت، یعنی ۶۹,۰۱۳ متر رسید. فشار بیشینه و کمینه به ترتیب ۷۴,۴۰۶۲ متر و ۵,۴۰۴۹ متر است.



شکل ۱- الف) فاصله زمانی بهینه خاموشی بین دو گام، ب) اختلاف فشار بیشینه و کمینه، در ۵۰ بار تکرار برای حالت خاموشی دو پمپ در گام اول و دو پمپ در گام دوم

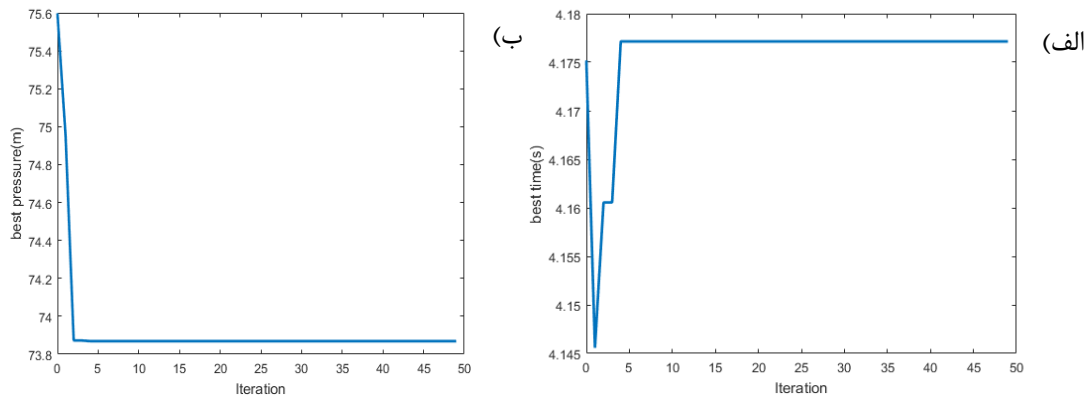
در حالت دوم، خاموشی یک پمپ در گام اول و سه پمپ در گام دوم به‌طور مشابه بررسی گردید. در شکل کمترین زمان ممکن برای خاموشی بین دو گام ۴,۱۷۷ ثانیه حاصل گردید. در این حالت مشابه با حالت اول، در پنجمین تکرار تابع هزینه (اختلاف فشار بیشینه و کمینه) به کمترین مقدار یعنی فشار ۷۳,۸۶۸۹ متر رسید. فشار بیشینه و کمینه به ترتیب ۷۶,۴۶۵۰ متر و ۲,۳۵۶۰ متر است.

جدول ۱- فشارهای کمینه، بیشینه و اختلاف فشار در زمان خاموشی بهینه حاصل از الگوریتم بهینه‌ساز در محل پمپ

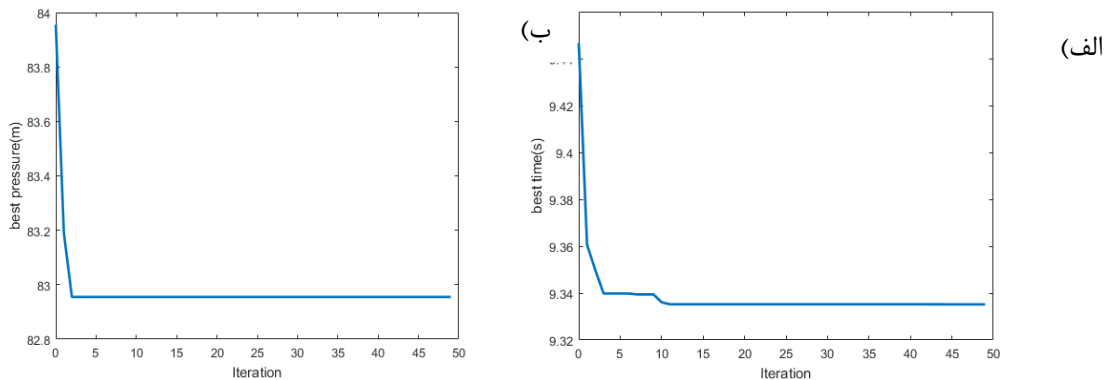
حالت خاموشی	فاصله زمانی (ثانیه)	فشار بیشینه (متر)	فشار کمینه (متر)	اختلاف فشار (متر)
حالت اول	۶,۷۱۷	۷۴,۴۰۶۲	۵,۴۰۴۹	۶۹,۰۰۱۳
حالت دوم	۴,۱۷۷	۷۶,۴۶۵۰	۲,۳۵۶۰	۷۳,۸۶۸۹
حالت سوم	۹,۳۳	۷۱,۳۲۲۴	-۱۱,۶۳۲۶	۸۲,۹۵۵۰

در بررسی حالت سوم، خاموشی سه پمپ در گام اول و یک پمپ در گام دوم، به‌طور مشابه با موارد قبلی با استفاده از الگوریتم بهینه‌ساز به‌دست آمد. با توجه به شکل ۲ خاموشی بین دو گام ۹,۳۳۵ ثانیه حاصل گردید. اختلاف

فشار در سومین تکرار به مقدار بهینه ۸۲,۹۵۵ متر رسید. فشار بیشینه و کمینه به ترتیب ۷۱,۳۲۲۴ متر و ۱۱,۶۳۲۶- متر است.



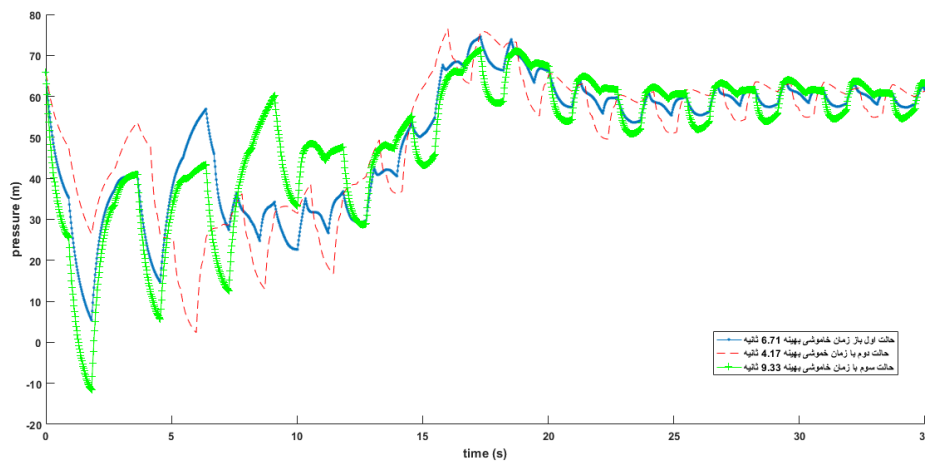
شکل ۲- الف) فاصله زمانی بهینه خاموشی بین دو گام ، ب) اختلاف فشار بیشینه و کمینه، در ۵۰ بار تکرار برای حالت خاموشی یک پمپ در گام اول و سه پمپ در گام دوم



شکل ۳- الف) فاصله زمانی بهینه خاموشی بین دو گام ، ب) اختلاف فشار بیشینه و کمینه، در ۵۰ بار تکرار برای حالت خاموشی سه پمپ در گام اول و یک پمپ در گام دوم

در شکل ۳ فشارهای ناشی از خاموشی در زمان بهینه در سه حالت در محل پمپ ترسیم شده است. همان طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، در فشارهای بیشینه سه حالت نزدیک به هم هستند و فشارهای ماکزیمم از فشار ماکزیمم مجاز کمتر بوده (فشار ماکزیمم مجاز برابر ۱۲۰ متر در نظر گرفته شده است). فشار بیشینه حالت سوم به ترتیب با اختلاف فشار ۳,۰۸۴ متر و ۵,۱۴۳ متر از حالت اول و دوم کمتر است. در بررسی فشارهای کمینه ملاحظه شده است که حالت سوم علیرغم داشتن کمترین فشار بیشینه بین سه حالت، با فشار کمینه ۱۱,۶۳۲- که به مقدار ۱۱,۸۷- متر از فشار بخار (فشار بخار آب در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد ۰,۲۳۸۵ متر است) کمتر است، به دلیل رخ دادن کاویتاسیون در این فشار، جز حالات خطرناک خاموشی محسوب شده و باید از خاموشی پمپها بدین حالت اجتناب کرد.

اختلاف فشار کمینه با فشار بخار در حالت اول و دوم به ترتیب برابر ۵,۱۶۶۴ متر و ۲,۱۱۷۵ متر است. با در نظر گرفتن پارامترهای کمترین اختلاف فشار، کمترین فشار ماکزیمم و بیشترین فشار مینیمم، حالت اول با بهتر عمل کردن در هر سه مورد، به عنوان حالت بهینه انتخاب گردید.



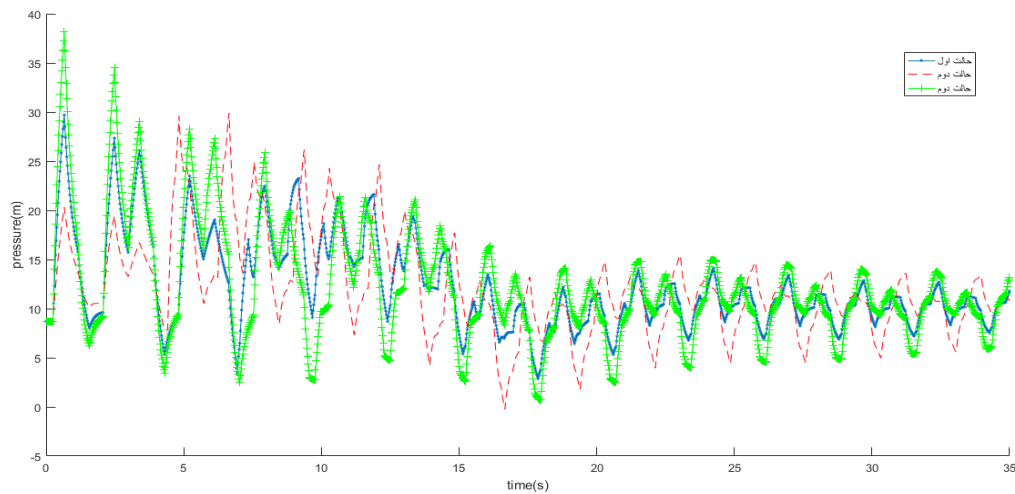
شکل ۳- تغییرات فشار نسبت به زمان برای فاصله زمانی خاموشی بین دو گام بهینه در محل پمپ برای سه حالت: الف) حالت اول؛ خاموشی ۲ پمپ در گام اول و ۲ پمپ در گام دوم با فاصله زمانی ۶،۷۱ (نمودار آبی)، ب) حالت دوم؛ خاموشی ۱ پمپ در گام اول و ۳ پمپ در گام دوم با فاصله زمانی ۴،۱۷ (نمودار قرمز)، ج) حالت سوم؛ خاموشی ۳ پمپ در گام اول و ۱ پمپ در گام دوم با فاصله زمانی ۹،۳۳ (نمودار سبز)

به منظور بررسی بیشتر تغییرات فشار در خط لوله، فشارهای ناشی از خاموشی هر سه حالت در زمان‌های بهینه خود در لوله مکش و رانش به ترتیب در شکل ۴ و شکل ۵ ترسیم شده است و اطلاعات فشارهای بهینه این لوله‌ها در جدول ۲ گردآوری شده است. در شکل ۴ فشار در لوله مکش در فاصله ۲۵۰ متری از ابتدای لوله بررسی شده است که نتایج بدین شرح است که فشار بیشینه بهینه به مقدار ۸،۴۵ متر به از بیشترین فشار ماکزیمم کم‌تر است و با انتخاب حالت بهینه اول فشار کمینه از مقدار ۰،۲۵۱ متر (این مقدار کمتر از فشار بخار است و کویتا سیون رخ می‌دهد) به ۲،۸۷ متر افزایش یافته است.

حالت خاموشی	محل بررسی (متر)	فاصله زمانی (ثانیه)	فشار بیشینه (متر)	فشار کمینه (متر)	اختلاف فشار (متر)
حالت اول	۲۵۰	۶،۷۱	۲۹،۷۰۵۸	۲،۸۷۰۳	۲۶،۸۳۵۵
حالت اول	۱۰۰۰	۶،۷۱	۶۹،۹۸۲۴	۲۹،۵۷۷۶	۴۰،۴۰۴۸
حالت دوم	۲۵۰	۴،۱۷	۲۹،۹۰۸۳	-۰،۲۵۰۵	۳۰،۱۵۸۸
حالت دوم	۱۰۰۰	۴،۱۷	۷۴،۱۵۵۳	۲۸،۴۷۲۸	۴۵،۶۸۲۵
حالت سوم	۲۵۰	۹،۳۳	۳۸،۱۶۰۵	۰،۶۸۰۱	۳۷،۴۸۰۴
حالت سوم	۱۰۰۰	۹،۳۳	۷۲،۱۰۹۶	۱۸،۴۷۵۶	۵۳،۶۳۴

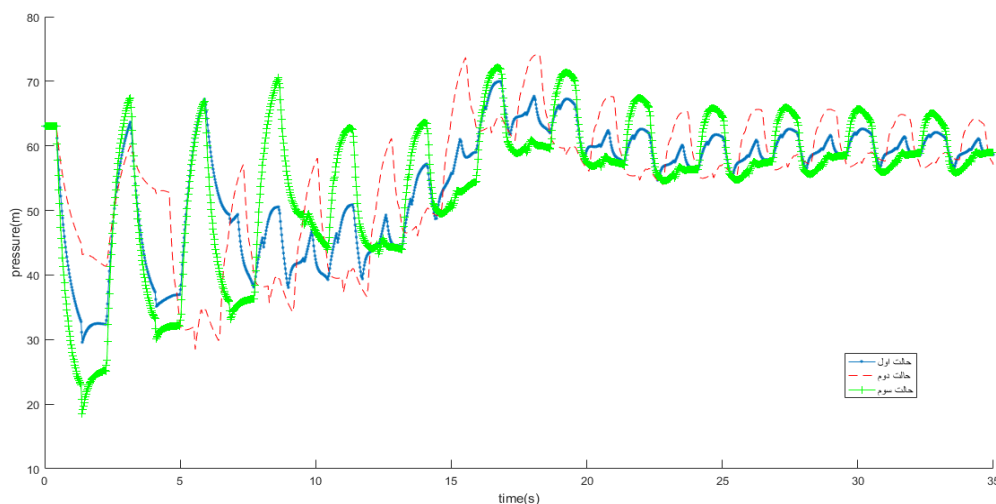
جدول ۲- اطلاعات فشار کمینه، بیشینه و اختلاف فشار در زمان بهینه شده در لوله مکش ( $x=250m$ ) و رانش ( $x=1000m$ )





شکل ۴- تغییرات فشار نسبت به زمان برای فاصله زمانی خاموشی بین دو گام بهینه در لوله مکش در محل ( $X=250$  m) برای سه حالت: الف) خاموشی ۲ پمپ در گام اول و ۲ پمپ در گام دوم در زمان ۶,۷۱ (نمودار آبی)، ب) خاموشی ۱ پمپ در گام اول و ۳ پمپ در گام دوم در زمان ۴,۱۷ (نمودار قرمز)، ج) خاموشی ۳ پمپ در گام اول و ۱ پمپ در گام دوم در زمان ۹,۳۳ (نمودار سبز)

در شکل ۵ فشار در سه حالت مختلف با خاموشی در زمان بهینه در لوله رانش در محل ۱۰۰۰ متری از ابتدای خط لوله ارائه شده است. در این بررسی فشار بیشینه در حالت بهینه اول به مقدار ۴,۱۷ متر از بیشترین فشار ماکزیمم در این محل (حالت دوم) کمتر است و فشار کمینه در حالت بهینه دوم به مقدار ۱۱,۱ متر از کمترین فشار مینیمم در این محل (حالت سوم) بیشتر است.



شکل ۵- تغییرات فشار نسبت به زمان برای فاصله زمانی خاموشی بین دو گام بهینه در لوله مکش در محل ( $X=1000$  m) برای سه حالت: الف) خاموشی ۲ پمپ در گام اول و ۲ پمپ در گام دوم در زمان ۶,۷۱ (نمودار آبی)، ب) خاموشی ۱ پمپ در گام اول و ۳ پمپ در گام دوم در زمان ۴,۱۷ (نمودار قرمز)، ج) خاموشی ۳ پمپ در گام اول و ۱ پمپ در گام دوم در زمان ۹,۳۳ (نمودار سبز)

#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق خاموشی ۴ پمپ همسان در یک سیستم پمپاژ موازی در دو گام با روش خطوط مشخصه صریح مدل گردید و با استفاده از الگوریتم بهینه‌ساز علف‌های هرز مهاجم سه حالت مختلف خاموشی ۴ پمپ همسان بررسی شد. نتایج این مدل‌سازی به صورت سه حالت مختلف خاموشی بیان شده است که در هر حالت فاصله زمانی بهینه بین دو گام خاموشی با توجه به الگوریتم بهینه‌ساز به دست آمد. در صورت خاموشی پمپ‌ها طبق زمان بهینه استخراج شده، فشار بیشینه وارد بر سیستم در کمترین مقدار ممکن و فشار کمینه در بیشترین مقدار خود قرار می‌گیرد. با بررسی فشارهای کمینه وارد بر سیستم انتقال آب، در حالت خاموشی سوم که سه پمپ در گام اول و یک پمپ در گام دوم خاموشی می‌شود، فشار کمینه وارد بر سیستم انتقال از فشار بخار آب به مقدار ۱۱,۸۷- متر کمتر شده، که نشان از وقوع کاویتاسیون دارد. این حالت مخرب و خطرناک است و برای جلوگیری از خسارات ناشی از کاویتاسیون، باید از خاموشی پمپ‌ها بدین ترتیب جلوگیری به عمل آید. با در نظر گرفتن فشارهای کمینه و بیشینه‌ای که بعد از خاموشی پمپ‌ها در خط لوله رخ می‌دهد و با توجه به اختلاف فشار بیشینه و کمینه، بهترین حالت خاموشی، حالت اول با فاصله زمانی بهینه ۶,۷۱ ثانیه است. حالت دوم با فاصله زمانی ۴,۱۷ ثانیه، با اختلاف اندکی در فشارهای بیشینه و کمینه نسبت به حالت اول نیز قابل قبول بوده و فشارهای کنترل شده‌ای به سیستم انتقال آب وارد می‌کند.

#### ۴- پی‌نوشت‌ها

- 1- Method Of Characteristics (MOC)
- 2- MacCormack
- 3- Lambda
- 4- finite difference
- 5- Godunov
- 6- npop

#### ۵- مراجع

افشار، م.، روحانی، م. (۱۳۸۷)، "تحلیل پدیده ضربه قوچ در خطوط انتقال آب با استفاده از روش خطوط مشخصه ضمنی" چهارمین کنگره ملی عمران.  
افشار، م.، محجوبی، ج. (۱۳۸۶)، "طراحی بهینه سیستم انتقال پمپ دار در مقابل ضربه قوچ ناشی از توقف ناگهانی پمپ با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ریاضی"، آب و فاضلاب، ۱۸، ۳۵-۴۸.  
پارسا صدر، ا. (۱۳۹۴)، "مدل‌سازی عددی جریان غیرماندگار در سیستم‌های گروهی پمپاژ آب"، پایان‌نامه کارشناسی- ارشد مهندسی عمران\_ آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

Ahmadi, A. and Keramat, A. (2010), "Investigation of fluid-structure interaction with various types of junction coupling", *Journal of fluids and structures*. Elsevier, 26(7-8), pp. 1123-1141.  
Bergant, A. and Simpson, A. R. (1997), "Development of a generalised set of pipeline water hammer and column separation equations". University of Adelaide, Department of Civil and Environmental Engineering.  
Bergant, A. and Simpson, A. R. (1999), "Pipeline column separation flow regimes", *Journal of Hydraulic Engineering*. American Society of Civil Engineers, 125(8), pp. 835-848.

- Bergant, A., Simpson, A. R. and Tijsseling, A. S. (2006), "Water hammer with column separation: A historical review", *Journal of fluids and structures*. Elsevier, 22(2), pp. 135–171.
- Chaudhry, M. H. (1979), *Applied hydraulic transients*, Springer.
- Guinot, V. (2000), "Riemann solvers for water hammer simulations by Godunov method", *International journal for numerical methods in Engineering*. Wiley Online Library, 49(7), pp. 851–870.
- Keramat, A., Ahmadi, A. and Majd, A. (2009), "Transient cavitating pipe flow due to a pump failure", in *International meeting of the workgroup on cavitation and dynamic problems in hydraulic machinery and systems*.
- Mehrabian, A. R. and Lucas, C. (2006), "A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization", *Ecological Informatics*, 1(4), pp. 355–366.
- Parsasadr, A., Ahmadi, A. and Keramat, A. (2016), "Waterhammer Caused by Intermittent Pump Failure in Pipe Systems Including Parallel Pump Groups", *International Journal of Engineering-Transactions A: Basics*, 29(4), pp. 444–453.
- Shu, J.-J. (2003), "Modelling vaporous cavitation on fluid transients", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 80(3), pp. 187–195.
- Wylie, E. B., Streeter, V. L. and Suo, L. (1993), *Fluid transients in systems*, Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ.

## **Optimization of the group pumping in water transfer system by usage of invasive weeds colony**

**Mozhgan Ebrahimpour<sup>1\*</sup>, Ahmad Ahmadi<sup>2</sup>, Amir Parsasadr<sup>3</sup>**

**1- MSc. student of water and hydraulic structures, Civil Eng. dept., Shahrood University of Technology, mozhganebrahimpor@yahoo.com.**

**2- Associate Prof., Civil Eng. dept., Shahrood University of Technology, a.ahmadi@shahroodut.ac.ir.**

**3- MSc. of water and hydraulic structures, Civil Eng. dept., Shahrood University of Technology, amirparsasadr@yahoo.com.**

### **Abstract**

Water hammer is a dangerous phenomenon which causes severe damage to pumping systems and pipelines. In massive pumping systems where one pump cannot pump discharge alone, several parallel pumps are used to provide the pipeline discharge. In this study, the equations of the characteristic lines of the flow, are solved in the unsteady state. The pumping system is turned off in the two steps to decrease the water hammer pressures. The optimal interval for turning pumps off in two steps is determined by the invasive weeds colony by MATLAB. The difference between the minimum and maximum pressure optimized in this interval. In this optimization process, the number of pumps that should be turned off on each step is determined. On the next stage, a state with the lower pressure difference than the others has been introduced as the optimal state. The results indicated that the best state of turning the pump down is, shutting down two pumps in the first step and two pumps in the second step and turning down tree pump in the first step and one in the second step is considered as a destructive situation because it made the pressure much less than water vapor pressure. In this study, the optimal state could reduce the maximum pressure by 4.17% and the minimum pressure increase from -11.63 meters to 5.41 meters.

**Keywords: water hammer, invasive weeds algorithm, parallel pumping group, IWO, method of characteristic.**