

## بهینه سازی شبکه های آبیاری با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات توسعه یافته و برنامه ریزی خطی

حسن ترابی بوده<sup>۱</sup>، حسن گلیج<sup>۲</sup>، دانیال میرشاهی<sup>۳</sup>، بابک شاهی نژاد<sup>۴</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۴/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۹

مقاله برگرفته از پروژه درسی دوره دکترا

### چکیده

مسئله انتخاب بهترین آرایش برای قطر لوله ها و هد بهینه پمپ طوری که هزینه کل سیستم مینیمم گردد، از خیلی سال قبل توسط مهندسين هیدرولیک مورد توجه بوده است. در این مطالعه از روش های برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط و الگوریتم ازدحام ذرات تکامل و جهش یافته برای بهینه سازی شبکه های آبیاری تحت فشار استفاده می شود، به گونه ای که شبکه انتخابی، شامل ۱۶ لوله و ۱۷ گره می باشد. تابع هدف شامل هزینه ثابت سالانه قطر شبکه سیستم آبیاری، و هزینه انرژی عملکرد سالانه می باشد. محدودیت های هیدرولیکی در مسئله بهینه سازی شامل هد فشار گره ها و محدودیت های سرعت جریان در لوله ها می باشد. داده های ورودی شامل نقشه ی شبکه، هزینه لوله ها در همه اندازه های تجاری موجود، هزینه امکانات تولید فشار از قبیل پمپ ها و محدودیت های مرزهای بالا و پایین هیدرولیکی می باشد. داده های خروجی قطرهای بهینه لوله ها، هد های فشار عملکرد و هزینه کل سالانه معادل خط لوله در شبکه آبیاری هستند. نتایج تحلیل هیدرولیکی با اتصال پویا بین دو نرم افزار متلب و EPANET مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. حل بهینه برای شبکه آبیاری اسماعیل آباد توسط الگوریتم فراکاوشی پیشنهادی ازدحام ذرات تکامل و جهش یافته و برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط به دست آمد و سپس با روش تجربی مقایسه شدند و مشخص شد که الگوریتم فراکاوشی و برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط به ترتیب به مقدار ۱۰/۶۸ درصد و ۱۲/۵ درصد نسبت به روش تجربی هزینه کل را کاهش داده اند. همچنین باتوجه درصد مقادیر کاهش یافته توسط روش ها، مشخص شد که MILP نسبت به DMPSO با کمترین تفاوت شبکه را بهتر بهینه کرده ولی الگوریتم DMPSO سریعتر و با حافظه کمتر به جواب می رسد.

واژه های کلیدی: الگوریتم فراکاوشی، بهینه سازی، برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط، شبکه های آب رسانی

<sup>۱</sup> - دانشیار گروه سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، لرستان، تلفن تماس: ۰۹۱۳۲۲۰۵۱۶۹، پست الکترونیکی: torabi.ha@lu.ac.ir (نویسنده مسئول)

<sup>۲</sup> - دانش آموخته دکتری سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، تلفن تماس: ۰۹۱۱۶۷۸۲۵۵۸، پست الکترونیکی: hassan\_goleij37@yahoo.com

<sup>۳</sup> - دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، تلفن تماس: ۰۹۱۵۳۰۶۴۹۴۱، پست الکترونیکی: daniel.mirshahi@yahoo.com

<sup>۴</sup> - استادیار گروه سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، لرستان، تلفن تماس: ۰۹۱۶۳۶۷۶۰۹۰، پست الکترونیکی: Shahinejad.b@lu.ac.ir

## مقدمه

شبکه‌های توزیع آب به چهار دسته شبکه سریال، شبکه شاخه‌ای، شبکه حلقوی و شبکه مرکب تقسیم می‌شوند که شامل لوله‌ها، مخازن، شیرها و پمپ‌ها می‌باشند. در شبکه سریال و شاخه‌ای فقط یک مسیر انتقال آب از یک گره چشمه تا یک گره خاص وجود دارد. در صورت نیاز تعمیر یا تعویض لوله‌ای، جریان به آن قطع شود، تمام گره‌های مصرف در پایین دست آن لوله به طور کامل ارتباطشان با گره چشمه قطع خواهد شد. شبکه‌های سریال و شاخه‌ای برای آبرسانی صنعتی، آبیاری بارانی و توزیع آب در اجتماعات کوچک و روستاها کاربرد دارد. به منظور طراحی شبکه شاخه‌ای تحت فشار توزیع آب ترکیب قطر لوله‌ها و فشار مناسب بسیاری، امکان پذیر می‌باشد. به علت آن که فشار و سرعت درون شبکه آبرسانی دارای محدودیت است و به منظور پایین آوردن هزینه تعیین قطر مناسب دارای اهمیت می‌باشد.

برای طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب روش‌های مختلفی توسط محققین پیشنهاد شده است. Mays (1992) and Tung برای طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب روش برنامه‌ریزی خطی را پیشنهاد دادند. Dandy and Hassanli (1996) روش غیر خطی را برای کمینه کردن هزینه پیشنهاد دادند. Hassanli and Dandy (2005) الگوریتم ژنتیک را در طراحی هیدرولیکی و ترتیب بهینه برای شبکه‌های توزیع آب پیشنهاد دادند. یکی از اهداف کار آنها اتصال بهینه گره‌های تقاضا و گره چشمه (منبع)، قطر بهینه لوله‌ها و ظرفیت پمپ مناسب بوده است. Afshar and Mari (2006) الگوریتم مورچه‌ها را برای طراحی بهینه شبکه انتخاب کردند. از دو فرمول متفاوت برای آرایش یک شبکه شاخه‌ای استفاده کردند. Samani and Motaghi (2006) از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای بدست آوردن قطر لوله و ارتفاع مخزن مطلوب در شبکه‌ها استفاده کردند. Farmani et al. (2007) یک الگوریتم جدید ژنتیکی مبتنی بر دانش برای بدست آوردن قطر لوله مطلوب و توزیع شیر در نوبت برای تولید کمترین هزینه طراحی شبکه‌های شاخه‌ای توسعه دادند. Cisty and

Bajtek (2009) یک ترکیبی بین الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی برای تخمین کمترین هزینه طراحی سیستم توزیع آب مطرح کردند. et al. (2009) Cebollada یک روش بهینه‌یابی کاوشی برای طراحی شبکه‌های آبیاری شاخه‌ای تحت فشار ارائه دادند. این روش که به طراحی بازگشتی معرفی شد و با استفاده از روش حل مساله شناخته شده بود با دانستن هد پیژومتریک انتقال یافته به عنوان روشی برای ردیابی پیش‌رو ارائه شد. Dercas and Valiantzas (2011) دو روش طراحی بهینه گسسته برای سیستم‌های انتقال آب ساده ارائه دادند. در روش اول، یک معادله ساده که به صورت گسسته مقادیر بحرانی دبی‌های مربوط به قطر لوله‌ها را محاسبه می‌کند. روش دوم محاسبه قطر اقتصادی مطلوب برای هر خط لوله از شبکه می‌باشد.

برای بدست آوردن بهترین قطر لوله در روش‌های قطعی به زمان و حافظه زیادی نیاز می‌باشد، به همین دلیل در این مقاله از الگوریتم فراکاوشی بهبود و جهش یافته ازدحام ذرات و یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط که توسط et al. (2012) ShahiNejad انجام شد برای بدست آوردن قطر بهینه استفاده گردید. الگوریتم پیشنهادی با حداقل زمان و حافظه، جواب بسیار خوبی می‌دهد. در این مقاله، برای محاسبه اتلاف هد شبکه براساس پیوستگی گره‌ها و معادله هیزن ویلیامز تجزیه و تحلیل هیدرولیکی انجام شده است.

## الگوریتم PSO

الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات، یک الگوریتم فراکاوشی است که از حرکت گروهی پرندگان و دیگر حیواناتی که به صورت گروهی زندگی می‌کنند الگو گرفته شده است. با رعایت قوانین حاکم بر مجموعه، گروه پرندگان و ماهیان قادرند به حرکت خود به سمت لانه و غذا بدون اینکه خللی در حرکت دیگر اعضا رخ دهد بهترین مسیر را به سمت مقصد مورد نظر انتخاب نمایند. این الگوریتم اولین بار توسط راسل ابرهارت و جیمز کندی در سال ۱۹۹۵ معرفی شد. این

$$v_{j,g}^{(t+1)} = wv_{j,g} + c_1 \cdot \text{Rand}() (Pbest_{j,g} - x_{j,g}^{(t)}) + c_2 \cdot \text{rand}() (gbest_{j,g} - x_{j,g}^{(t)}) \quad (2)$$

$$v_m \leq v_{j,g}^{(t)} \leq v_m$$

$$x_{j,g}^{(t+1)} = x_{j,g}^{(t)} + v_{j,g}^{(t+1)} \quad j=1,2,\dots,n$$

$$g=1,2,\dots,m$$

در روابط (۲) و (۳)، مقدار  $w$ ؛ بیانگر موقعیت ذره، تعداد ذرات گروه و  $m$ ؛ تعداد اعضای تشکیل دهنده ذره و توابع  $\text{Rand}()$  (برای تولید اعضای جامعه) و  $\text{rand}()$  (ضریب جهش در تولید اعضای جدید در گام-های بعدی) تولیدکننده یک مقدار تصادفی بین صفر و یک می‌باشند. در این روابط باید به این نکته توجه داشت که بزرگ بودن  $v_{\max}$  ممکن است باعث شود که ذرات از روی نقطه حداقل عبور کنند و کوچک بودن آن نیز باعث می‌شود که ذره، حول موقعیت خود به چرخش در آمده و قادر به جستجو در فضای آزمون نشود. مقدار  $v_{\max}$  معمولاً بین ۱۰ تا ۲۰ درصد محدوده متغیرها انتخاب می‌شود. از طرف دیگر انتخاب مناسب  $w$  باعث تکرار کمتر الگوریتم برای رسیدن به نقطه بهینه می‌شود. در الگوریتم‌های معمولی ازدحام جمعیت، ضریب  $w$  از مقدار ۰/۹ تا مقدار ۰/۴ در طول اجرای الگوریتم و بر اساس رابطه زیر کاهش می‌یابد:

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{\text{iter}_{\max}} * \text{iter} \quad (4)$$

از دیگر مشکلات در اجرای این الگوریتم انتخاب مناسب  $c_1$  و  $c_2$  است. در بسیاری از الگوریتم‌ها، مقادیر  $c_1$  و  $c_2$  به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که

$$c_1 + c_2 \leq 4 \quad (\text{Kennedy and Eberhart, 1995})$$

### الگوریتم DMPSO

این الگوریتم پیشنهادی (Developed and Mutated Particle Swarm Optimization) برای توسعه و بهبود الگوریتم PSO بسیار مؤثر واقع شده است. در این الگوریتم ضریب اینرسی ضربدر برآیند

الگوریتم نیز همانند الگوریتم‌های جمعیتی، با جمعیت تصادفی شروع به کار می‌کند. بردار حرکت هر ذره در هر تکرار تحت تأثیر بهترین موقعیتی که ذره تاکنون به آن رسیده است و بهترین موقعیتی که عضو مجموعه تاکنون به آن رسیده است، می‌باشد. در نهایت سرعت محاسبه شده برآیندی از سرعت حرکت ذره و فاصله هر ذره نسبت به بهترین نقطه‌ای که خود تجربه کرده و بهترین نقطه‌ای که گروه تجربه کرده است، می‌باشد. شی و ابرهاتر برای کاهش سرعت در طول زمان، وزن اینرسی ( $w$ ) را به معادله اضافه کردند. برای شبیه‌سازی این رفتار، پارامترهای زیر تعریف می‌شود:

الف)  $Pbest$ : این پارامتر، بیانگر بهترین موقعیتی است که هر ذره در طول اجرای الگوریتم می‌تواند کسب کرده باشد.

ب)  $Gbest$ : این متغیر بهترین موقعیتی را که ذرات در طول اجرای الگوریتم کسب کرده اند، نشان می‌دهد.

ج) پارامتر شناخت فردی ( $C_1$ ): این کمیت باعث می‌شود که ذره به سمت بهترین نقطه‌ای که خود و همسایگانش پیدا کرده اند، حرکت کند. این ضریب، به عنوان ضریب تحریک به کار می‌رود.

د) پارامتر شناخت اجتماعی ( $C_2$ ): این ضریب که با عنوان ضریب تحریک نیز به کار می‌رود، باعث می‌شود که ذره به سمت بهترین نقطه‌ای که ذرات تا به حال کسب کرده اند حرکت کند.

ه) ضریب لختی ( $w$ ): این ضریب، باعث ایجاد تعادل در جستجوی محلی و جستجوی کلی در الگوریتم می‌شود.

و) لغزش ( $v$ ): این پارامتر، تغییر موقعیت ذره در محیط جستجو را نشان می‌دهد.

اکنون فرض کنید ذره  $g$  دارای بعد  $g$  باشد که به صورت زیر بیان شود:

$$X_j = [x_{j,1} \quad x_{j,2} \quad \dots \quad x_{j,g}] \quad (1)$$

آنگاه تغییر موقعیت ذره بر اساس مقدار لغزش نیز به صورت زیر می‌باشد:

سال هشتم • شماره سی ام • زمستان ۱۳۹۶

است. تعداد لوله برابر  $NP$  و تعداد پمپ در شبکه برابر  $NPU$  می باشد.

$$C_{en} = \frac{C_{fu} \cdot Q_s \cdot O_t \cdot EAE}{102 \eta_e} \quad (7)$$

که  $C_{fu}$  قیمت سوخت،  $O_t$  تعداد ساعات بهره برداری سیستم در سال،  $EAE$  ضریب عامل افزایش انرژی سالانه،  $\eta_e$  راندمان کل پمپ است.

$$EAE = \frac{(1+e)^y - (1+r)^y}{(1+e) - (1+r)} \left[ \frac{r}{(1+r)^y - 1} \right] \quad (8)$$

که  $e$  نرخ افزایش انرژی سالانه،  $r$  نرخ بهره سالانه،  $y$  طول عمر طراحی می باشد.

$$CRF = \frac{r(1+r)^y}{(1+r)^y - 1} \quad (9)$$

$$Cpu_t = P_t \cdot K \quad (10)$$

که  $P$  توان پمپ،  $K$  هزینه ایستگاه پمپ

$$f(D_i) = \sum_{i=1}^{NP} \sum_{j=1}^{ND} (L_i \cdot CP_{i,j} \cdot CRF \cdot X_{i,j}) + \sum_{i=1}^{NPU} (Cpu_t \cdot CRF) + C_{en} \cdot H_{PI} \quad (11)$$

که  $ND$  تعداد قطر لوله تجاری در دسترس است.

محدودیت های این روش شامل سرعت جریان، فشار نقاط (گره ها) که باید در محدوده بالا و پایین قرار گیرد.

$$V_i \leq V_{max} \quad (12)$$

$$V_i \geq V_{min} \quad (13)$$

که  $V_{max}$  و  $V_{min}$  به ترتیب حداکثر و حداقل سرعت مجاز در لوله ها می باشند.

$$\sum_{j=1}^{ND} \frac{Q_i}{2} D_j^2 X_{i,j} \leq V_{max} \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^{ND} \frac{Q_i}{2} D_j^2 X_{i,j} \geq V_{min} \quad (15)$$

به منظور تعریف محدودیت های فشار باید یک گره مرجع انتخاب شود. گره مرجع  $R$  به عنوان گره ورودی

بردارها می شود و در هر تکرار به صورت رندوم یک سری از متغیرها جهش داده می شود.

(5)

$$v_j^i = \omega * (c_1 * rand * v_j^{i-1} + c_2 * rand * [P_{best}^i - x_j^{i-1}]) + c_3 * rand * [G_{best}^i - x_j^{i-1}]$$

### برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP)

به طور کلی یک مسئله بهینه سازی خواه خطی یا غیرخطی، شامل یک تابع هدف می باشد که تعدادی محدودیت را در بر دارد. روش بهینه سازی خطی کلاسیک در یک شاخه ممکن است تعداد زیادی از اندازه لوله را نتیجه دهد در عمل این به عنوان نقطه ضعف قوی در نظر گرفته می شود به عبارت دیگر روش های بهینه سازی خطی اندازه لوله را که از نظر تجاری موجود نمی باشد را نتیجه می دهند. این منجر به انتخاب اندازه لوله ها نزدیک به اندازه ی لوله ی به دست آمده توسط روش بهینه سازی می گردد متعاقب آن شرایط هیدرولیکی و هزینه سیستم شبکه متفاوت از آن خواهد بود که در بهینه سازی حاصل گردید و این بدان مفهوم است که طرح دیگر بهینه نمی باشد. اما مدل توسعه یافته MILP در به دست آوردن بهینه مطلق در شبکه های آبیاری شاخه ای تحت فشار هیچ مشکلی ندارد و قادر است بهینه مطلق شبکه را با توجه به قطره های تجاری موجود به دست آورد.

تابع هدف

هزینه کل سالانه سیستم شبکه آبیاری تحت فشار از رابطه زیر بدست می آید:

(6)

$$f(D_i) = \sum_{i=1}^{NP} (L_i \cdot CP_i \cdot CRF) + \sum_{i=1}^{NPU} (Cpu_t \cdot CRF) + C_{en} \cdot H_{PI}$$

که  $L$  طول لوله،  $CP$  قیمت طول واحد،  $Cpu$  قیمت پمپ،  $C_{en}$  قیمت انرژی سالانه برای هر واحد،  $H_{PI}$  بار کل دینامیکی پمپ

$$\frac{P_n}{\gamma} = H_p - \Delta Z_{(R-n)} - \sum_{j=1}^{ND} h_{f_{ij}(R-n)} X_{i,j} \quad (20)$$

$$\frac{P_{n+m}}{\gamma} + Z_{n+m} - \sum_{j=1}^{ND} h_{f_{ij}(n-m-n+m+1)} X_{i,j} - \frac{P_{n+m}}{\gamma} - Z_{n+m+1} = 0 \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^{NP} \sum_{j=1}^{ND} (h_{f_{ij}} \cdot X_{i,j}) \pm \sum_{i=1}^{NP} (L_i \cdot S_i) \leq \Delta H \quad (22)$$

انتخاب شده است. با اعمال معادله انرژی بین گره مرجع و گره مورد نظر.

$$\frac{P_n}{\gamma} = H_p - \Delta Z_{(R-n)} - h_{f(R-n)} \quad (16)$$

که  $\frac{P_n}{\gamma}$  هد فشار در گره  $n$ ،  $\Delta Z$  اختلاف ارتفاع بین گره مرجع و گره مورد نظر،  $H_p$  هد گره مرجع،  $h_{f(R-n)}$  ضریب افت هد لوله بین گره مرجع و گره  $n+1$  می باشد.

به طور مشابه، معادله انرژی بین تمام گره های پی در پی  $n+m$  و  $n+m+1$  با شروع از گره  $n$  را می توان معرفی کرد.

$$\frac{P_{n+m}}{\gamma} + Z_{n+m} - h_{f(n+m-n+m+1)} - \frac{P_{n+m+1}}{\gamma} - Z_{n+m+1} = 0 \quad (17)$$

$$P_n \leq P_{max} \quad (18)$$

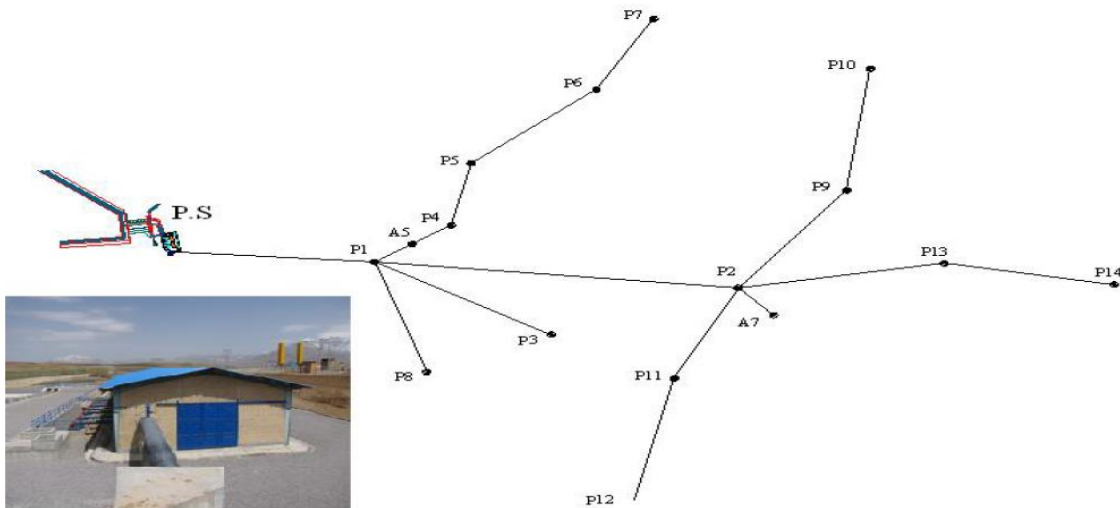
$$P_n \geq P_{min} \quad (19)$$

که  $P_{min}$  و  $P_{max}$  به ترتیب حداکثر و حداقل فشار مورد نیاز در گره ها می باشد.

## مواد و روش ها

### شبکه آبیاری مورد مطالعه

شبکه آبیاری اسماعیل آباد، ۷ کیلومتری شمال غرب شهر نورآباد در استان لرستان واقع شده است. مساحت پروژه انجام شده ۱۰۰۰ هکتار می باشد. شکل (۱) نقشه شماتیک شبکه آبیاری اسماعیل آباد را نشان می دهد.



شکل (۱): نقشه شماتیک شبکه آبیاری اسماعیل آباد

در سرعت جریان کم و جلوگیری از ضربه قوچ در سرعت بالا، حداقل و حداکثر سرعت جریان مجاز در لوله‌ها به ترتیب  $0.7$  و  $2$  متر بر ثانیه می باشد. در این مطالعه مقدار  $K$  برابر  $(\$/kw) 300$  بر مبنای قیمت موجود می باشد.

دبی پمپاژ برابر با  $75/6$  لیتر بر ثانیه. مشخصات لوله‌ها در جدول (۱) داده شده است.

### محدودیت فشار و سرعت

حداقل فشار مجاز برای هر گره  $50$  متر در نظر گرفته شده است. به منظور جلوگیری از ایجاد رسوب

جدول (۱): مشخصات و قیمت لوله‌ها

شماره	قطر خارجی (mm)	قطر داخلی (mm)	جنس لوله	قیمت (\$/m)
۱	۱۱۰	۹۳/۸	PE80	۵/۸۹۵
۲	۱۲۵	۱۰۶/۶	PE80	۷/۸۹۵
۳	۱۴۰	۱۱۹/۴	PE80	۹/۴۹۵
۴	۱۶۰	۱۳۶/۴	PE80	۱۲/۳۷۵
۵	۱۸۰	۱۵۳/۴	PE80	۱۵/۷۰۵
۶	۲۰۰	۱۷۰/۶	PE80	۱۹/۳۰۵
۷	۲۲۵	۱۹۱/۸	PE80	۲۴/۵۲۵
۸	۲۵۰	۲۱۳/۲	PE80	۳۰/۱۵۰
۹	۲۸۰	۲۳۸/۸	PE80	۳۷/۸۰۰
۱۰	۳۱۵	۲۶۸/۶	PE80	۴۷/۷۰۰
۱۱	۳۵۵	۳۰۲/۸	PE80	۶۰/۵۲۵
۱۲	۴۰۰	۳۴۱/۲	PE80	۷۶/۷۲۵
۱۳	۴۵۰	۳۸۳/۸	PE80	۹۷/۲۰۰
۱۴	۵۰۰	۴۲۶/۴	PE80	۱۰۸/۸۲۰
۱۵	۶۰۰	۶۰۰	GRP	۱۱۱/۳۲۳
۱۶	۷۰۰	۷۰۰	GRP	۱۳۷/۹۹۷
۱۷	۸۰۰	۸۰۰	GRP	۱۷۰/۶۳۳
۱۸	۹۰۰	۹۰۰	GRP	۲۰۴/۲۸۹

جدول (۲) داده‌های مربوط به خطوط اصلی و فرعی شبکه آبیاری اسماعیل آباد را نشان می دهد.

جدول (۲): داده‌های مربوط به خطوط اصلی و فرعی شبکه آبیاری اسماعیل‌آباد

لوله	شماره لوله	طول لوله (متر)	دبی (لیتر بر ثانیه)	ارتفاع ابتدایی لوله (متر)	ارتفاع انتهایی لوله (متر)
PP1	۱	۱۱۱۶	۸۵۶/۵۶	۱۷۹۱	۱۸۴۲/۰۸
P1A5	۲	۲۰۰	۲۴۴/۹۲	۱۸۴۲/۰۸	۱۸۴۷/۰۵
P1P2	۳	۱۴۳۰	۴۲۹/۸	۱۸۴۲/۰۸	۱۸۴۷/۵۷
P1P3	۴	۱۱۰۰	۱۲۸/۹۴	۱۸۴۲/۰۸	۱۸۵۶/۵۲
P1P8	۵	۹۵۵	۵۲/۹	۱۸۴۲/۰۸	۱۸۳۸/۱۷
A5P4	۶	۲۰۱	۱۹۰/۳۴	۱۸۴۷/۰۵	۱۸۴۶/۳۲
P2P9	۷	۶۷۰	۹۸/۲۴	۱۸۴۷/۵۷	۱۸۲۱/۴۸
P2P13	۸	۷۲۰	۱۱۹/۷۳	۱۸۴۷/۵۷	۱۸۲۶/۴۷
P2A7	۹	۱۱۰	۴۶/۰۵	۱۸۴۷/۵۷	۱۸۴۷/۵۷
P2P11	۱۰	۵۵۰	۱۶۵/۸	۱۸۴۷/۵۷	۱۸۵۳/۲۱
P4P5	۱۱	۳۹۰	۱۲۸/۹۴	۱۸۴۶/۳۲	۱۸۴۱/۱۸
P9P10	۱۲	۸۴۰	۳۳/۷۷	۱۸۲۱/۴۸	۱۸۱۴/۴۳
P13P14	۱۳	۶۶۰	۴۹/۱۲	۱۸۲۶/۴۷	۱۸۴۷/۹۵
P11P12	۱۴	۷۰۰	۱۳۲	۱۸۵۳/۲۱	۱۸۶۱/۸۹
P5P6	۱۵	۸۰۶	۵۸/۳۳	۱۸۴۱/۱۸	۱۸۱۱/۳۲
P6P7	۱۶	۵۷۵	۲۱/۴۹	۱۸۱۱/۳۲	۱۸۱۰/۹۴

## نتایج و بحث

### تحلیل هیدرولیکی و مقایسه نتایج MILP (شاهی‌نژاد و همکاران (۱۰)) و DMP SO با روش کلاسیک

#### روش الگوریتم DMP SO

در این مقاله جهت تحلیل هیدرولیکی، از فایل تحلیل شبکه نرم‌افزار EPANET استفاده شده است که به‌طور همزمان در حین فرایند بهینه‌سازی و در هر تکرار این عملیات را انجام می‌دهد. این فایل به‌طور پویا با نرم‌افزار برنامه‌نویسی MATLAB در ارتباط است. پس از انجام عملیات در مدل الگوریتم ازدحام جمعیت برای رسیدن به کمترین مقدار هزینه شبکه آبیاری و بهینه‌کردن آن با تامین شرایط محدودیت-های سرعت و فشار در شبکه، مقدار تکرار برابر ۶۰، تعداد جمعیت اولیه برابر ۵۰۰، پارامتر (C<sub>1</sub>) برابر ۰/۵، پارامتر (C<sub>2</sub>) برابر ۱، پارامتر (C<sub>3</sub>) برابر ۲ و مقادیر ماکزیمم و مینیمم ضریب لختی (W) به ترتیب برابر ۱

و ۰/۴ در نظر گرفته شدند. همچنین نرخ میزان جهش در الگوریتم DMP SO برابر ۰/۰۲ در نظر گرفته شد که بهترین مقدار برای رسیدن به شرایط بهینه می‌باشد. جدول ۳ نتایج به دست آمده توسط الگوریتم DMP SO برای شرایط بهینه طرح شبکه آبیاری را نشان می‌دهد که شامل قطر بهینه لوله‌ها، سرعت‌های بهینه‌ی در لوله، فشارها در ابتدا و انتهای لوله‌ها و تراز هیدرولیکی در ابتدا و انتهای لوله‌ها می‌باشد.

جدول (۳): طرح بهینه شبکه آبیاری بدست آمده توسط الگوریتم DMPSO

HLT	HLF	PT(m)	PF(m)	Vopt(m/s)	Dopt(mm)	Q (l/s)	pipe
۱۹۲۷/۹۹	۱۹۳۰/۸۱	۸۵/۷۶	۱۳۹/۶۶	۱/۷۰	۸۰۰	۸۵۶/۵۶	PP1
۱۹۲۶/۷۱	۱۹۲۷/۹۲	۷۹/۵۸	۸۵/۷۶	۱/۲۵	۵۰۰	۲۴۴/۹۲	P1A5
۱۹۲۳/۸۸	۱۹۲۷/۹۶	۷۶/۱۹	۸۵/۷۶	۱/۵۲	۶۰۰	۴۲۹/۸	P1P2
۱۹۱۷/۲۴	۱۹۲۷/۹۳	۶۰/۶۳	۸۵/۷۶	۱/۳۰	۳۵۵	۱۲۸/۹۴	P1P3
۱۹۱۱/۵۸	۱۹۲۷/۹۳	۷۲/۷۸	۸۵/۷۶	۱/۳۳	۲۲۵	۵۲/۹	P1P8
۱۹۲۵/۴۳	۱۹۲۶/۷۰	۷۹/۰۴	۷۹/۵۸	۱/۲۰	۴۵۰	۱۹۰/۳۴	A5P4
۱۹۱۶/۸۰	۱۹۲۳/۸۴	۹۵/۲۴	۷۶/۱۹	۱/۲۶	۳۱۵	۹۸/۲۴	P2P9
۱۹۱۷/۷۳	۱۹۲۳/۸۳	۹۱/۱۹	۷۶/۱۹	۱/۲۱	۳۵۵	۱۱۹/۷۳	P2P13
۱۹۲۲/۱۳	۱۹۲۳/۸۳	۷۴/۴۹	۷۶/۱۹	۱/۱۶	۲۲۵	۴۶/۰۵	P2A7
۱۹۱۹/۰۵	۱۹۲۲/۸۲	۶۵/۷۸	۷۶/۱۹	۱/۰۴	۴۵۰	۱۶۵/۸	P2P11
۱۹۲۱/۶۶	۱۹۲۵/۴۵	۸۰/۳۹	۷۹/۰۴	۱/۳۰	۳۵۵	۱۲۸/۹۴	P4P5
۱۸۹۸/۲۹	۱۹۱۶/۸۱	۸۳/۷۷	۹۵/۲۴	۱/۳۳	۱۸۰	۳۳/۷۷	P9P10
۱۹۰۷/۸۹	۱۹۱۷/۷۴	۵۹/۸۶	۹۱/۱۹	۱/۲۴	۲۲۵	۴۹/۱۲	P13P14
۱۹۱۱/۹۸	۱۹۱۹/۰۸	۵۰	۶۵/۷۸	۱/۳۳	۳۵۵	۱۳۲	P11P12
۱۹۱۱/۷۴	۱۹۲۱/۶۴	۱۰۰/۳۵	۸۰/۳۹	۱/۱۹	۲۵۰	۵۸/۳۳	P5P6
۱۸۹۳/۰۴	۱۹۱۱/۷۷	۸۲	۱۰۰/۳۵	۱/۴۰	۱۴۰	۲۱/۴۹	P6P7

جداگانه در جدول (۴) آمده است که با جمع کردن هزینه‌ی کل لوله‌ها هزینه مربوط به شبکه حاصل می‌گردد.

HL<sub>T</sub> و HL<sub>F</sub> در جدول (۳) به ترتیب تراز هیدرولیکی در ابتدا و انتهای لوله‌ها می‌باشند. همچنین هزینه مربوط به هر لوله با توجه به قطر بدست آمده به طور



جدول (۴): هزینه مربوط به هر لوله با توجه به قطر بدست آمده (DMPSO)

لوله	قطر بهینه (میلی متر)	هزینه هر لوله با توجه به قطر (دلار بر متر)	هزینه لوله (دلار)
PP1	۸۰۰	۱۷۰/۶۳۳	۱۹۰۴۲۶/۴۳
P1A5	۵۰۰	۱۰۸/۸۲	۲۱۷۶۴/۰۰
P1P2	۶۰۰	۱۱۱/۳۲۳	۱۵۹۱۹۱/۸۹
P1P3	۳۵۵	۶۰/۵۲۵	۶۶۵۷۷/۵۰
P1P8	۲۲۵	۲۴/۵۲۵	۲۳۴۲۱/۳۸
A5P4	۴۵۰	۹۷/۲	۱۹۵۳۷/۲۰
P2P9	۳۱۵	۴۷/۷	۳۱۹۵۹/۰۰
P2P13	۳۵۵	۶۰/۵۲۵	۴۳۵۷۸/۰۰
P2A7	۲۲۵	۲۴/۵۲۵	۲۶۹۷/۷۵
P2P11	۴۵۰	۹۷/۲	۵۳۴۶۰/۰۰
P4P5	۳۵۵	۶۰/۵۲۵	۲۳۶۰۴/۷۵
P9P10	۱۸۰	۱۵/۷۰۵	۱۳۱۹۲/۲۰
P13P14	۲۲۵	۲۴/۵۲۵	۱۶۱۸۶/۵۰
P11P12	۳۵۵	۶۰/۵۲۵	۴۲۳۶۷/۵۰
P5P6	۲۵۰	۳۰/۱۵	۲۴۳۰۰/۹۰
P6P7	۱۴۰	۹/۴۹۵	۵۴۵۹/۶۳
هزینه کل شبکه = ۷۳۷۷۲۴/۶۲			

برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP)

نتایج مربوط به روش MILP و روش کلاسیک از مقاله شاهی نژاد و همکاران (۱۰) استخراج گردید که در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول (۵): طرح بهینه شبکه آبیاری بدست آمده به روش MILP و روش کلاسیک (شاهی نژاد و همکاران، (۱۰))

لوله	شماره لوله	Q (l/s)	D (mm) Classical method	D <sub>opt</sub> (mm) MILP	V <sub>opt</sub> (m/s)	PF (m)	PT (m)	HLF	HLT
PP1	۱	۸۵۶/۵۶	۹۰۰	۸۰۰	۱/۷۰	۱۳۹/۶۶	۸۵/۷۶	۱۹۳۰/۶۶	۱۹۲۷/۸۴
P1A5	۲	۲۴۴/۹۲	۵۰۰	۵۰۰	۱/۲۵	۸۵/۷۶	۵۸/۷۹	۱۹۲۷/۸۴	۱۹۲۶/۶۳
P1P2	۳	۴۲۹/۸	۷۰۰	۶۰۰	۱/۵۲	۸۵/۷۶	۷۶/۱۹	۱۹۲۷/۸۴	۱۹۲۳/۷۶
P1P3	۴	۱۲۸/۹۴	۳۵۵	۳۵۵	۱/۳۰	۸۵/۷۶	۶۰/۶۳	۱۹۲۷/۸۴	۱۹۱۷/۱۵
P1P8	۵	۵۲/۹	۲۵۰	۲۲۵	۱/۳۳	۸۵/۷۶	۷۲/۷۸	۱۹۲۷/۸۴	۱۹۱۱/۴۹
A5P4	۶	۱۹۰/۳۴	۵۰۰	۴۵۰	۱/۲۰	۷۹/۵۸	۷۹/۰۴	۱۹۲۶/۷۰	۱۹۲۵/۳۶
P2P9	۷	۹۸/۲۴	۳۱۵	۳۱۵	۱/۲۶	۷۶/۱۹	۹۵/۲۴	۱۹۲۳/۷۶	۱۹۱۶/۷۲
P2P13	۸	۱۱۹/۷۳	۴۰۰	۳۵۵	۱/۲۱	۷۶/۱۹	۹۱/۱۹	۱۹۲۳/۷۶	۱۹۱۷/۶۶
P2A7	۹	۴۶/۰۵	۱۶۰	۲۲۵	۱/۱۶	۷۶/۱۹	۷۴/۴۹	۱۹۲۳/۷۶	۱۹۲۲/۳۱
P2P11	۱۰	۱۶۵/۸	۴۰۰	۴۰۰	۱/۰۴	۷۶/۱۹	۶۵/۷۸	۱۹۲۳/۷۶	۱۹۱۸/۹۹
P4P5	۱۱	۱۲۸/۹۴	۴۰۰	۳۵۵	۱/۳۰	۷۹/۰۴	۸۰/۳۹	۱۹۲۵/۳۶	۱۹۲۱/۵۷
P9P10	۱۲	۳۳/۷۷	۲۰۰	۱۸۰	۱/۳۳	۹۵/۲۴	۸۳/۷۷	۱۹۱۶/۷۲	۱۸۹۸/۲۰
P13P14	۱۳	۴۹/۱۲	۲۵۰	۲۲۵	۱/۲۴	۹۱/۱۹	۵۹/۸۶	۱۹۱۷/۶۶	۱۹۰۷/۸۱
P11P12	۱۴	۱۳۲	۳۱۵	۳۵۵	۱/۳۳	۶۵/۷۸	۵۰	۱۹۱۸/۹۹	۱۹۱۱/۸۹
P5P6	۱۵	۵۸/۳۳	۲۵۰	۲۵۰	۱/۱۹	۸۰/۳۹	۱۰۰/۳۵	۱۹۲۱/۵۷	۱۹۱۱/۶۷
P6P7	۱۶	۲۱/۴۹	۱۶۰	۱۴۰	۱/۴۰	۱۰۰/۳۵	۸۲	۱۹۱۱/۶۷	۱۸۹۳/۱۴

که با جمع کردن هزینه‌ی کل لوله‌ها هزینه مربوط به شبکه حاصل می‌گردد.

همچنین هزینه مربوط به هر لوله با توجه به قطر بدست آمده به طور جداگانه در جدول (۶) آمده است

جدول (۶): هزینه مربوط به هر لوله با توجه به قطر بدست آمده توسط شاهی‌نژاد و همکاران (۱۰)

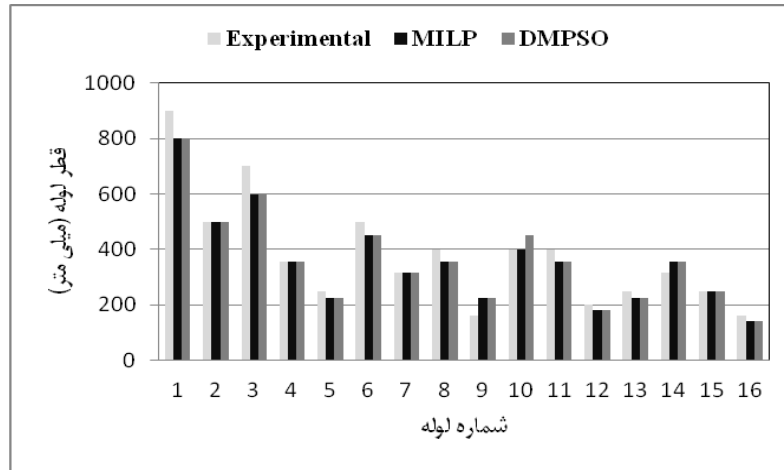
لوله	قطر بهینه (میلی متر)	هزینه هر لوله با توجه به قطر (دلار بر متر)	هزینه لوله (دلار)
PP1	۸۰۰	۱۷۰/۶۳۳	۱۹۰۴۲۶/۴۳
P1A5	۵۰۰	۱۰۸/۸۲	۲۱۷۶۴/۰۰
P1P2	۶۰۰	۱۱۱/۳۲۳	۱۵۹۱۹۱/۸۹
P1P3	۳۵۵	۶۰/۵۲۵	۶۶۵۷۷/۵۰
P1P8	۲۲۵	۲۴/۵۲۵	۲۳۴۲۱/۳۸
A5P4	۴۵۰	۹۷/۲	۱۹۵۳۷/۲۰
P2P9	۳۱۵	۴۷/۷	۳۱۹۵۹/۰۰
P2P13	۳۵۵	۶۰/۵۲۵	۴۳۵۷۸/۰۰
P2A7	۲۲۵	۲۴/۵۲۵	۲۶۹۷/۷۵
P2P11	۴۰۰	۷۶/۷۲۵	۵۳۱۹۸/۷۵
P4P5	۳۵۵	۶۰/۵۲۵	۲۳۶۰۴/۷۵
P9P10	۱۸۰	۱۵/۷۰۵	۱۳۱۹۲/۲۰
P13P14	۲۲۵	۲۴/۵۲۵	۱۶۱۸۶/۵۰
P11P12	۳۵۵	۶۰/۵۲۵	۴۲۳۶۷/۵۰
P5P6	۲۵۰	۳۰/۱۵	۲۴۳۰۰/۹۰
P6P7	۱۴۰	۹/۴۹۵	۵۴۵۹/۶۳
هزینه کل شبکه =			۷۲۶۴۶۳/۴۰

هد فشار ورودی و هزینه کل شبکه توسط الگوریتم DMPSO، روش MILP و روش تجربی در جدول (۷) نشان داده شده است:

جدول (۷): هد فشار ورودی و هزینه کل شبکه توسط الگوریتم DMPSO، روش MILP و روش تجربی

روش طراحی	هد فشار ورودی (متر)	هزینه کل (دلار)
روش MILP	۱۳۹/۶۶	۷۲۶۴۶۳/۴۰
الگوریتم DMPSO	۱۳۹/۶۶	۷۳۷۷۲۴/۶۲
روش تجربی	۱۴۰	۸۲۵۹۳۵/۲۸

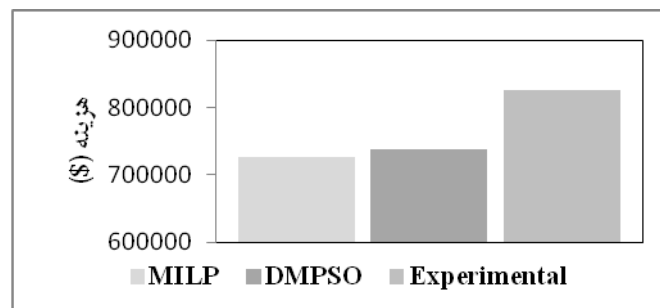
برای بهتر درک کردن نتایج، داده‌های قطر روش‌های الگوریتم DMPSO و MILP نسبت به داده‌های قطر روش کلاسیک بر روی نمودار رسم گردید. شکل (۲) نشان دهنده‌ی این موضوع می‌باشند.



شکل (۲): مقایسه قطرهای الگوریتم MILP، الگوریتم DMPSO و روش کلاسیک

دهنده‌ی این می‌باشد روش‌های ذکر شده نتایج تقریباً یکسانی داده‌اند و برای نشان‌دادن اینکه که کدام روش نسبت به دیگری شبکه آبیاری را بهتر بهینه می‌کند هزینه‌ی شبکه آبیاری به دست آمده توسط روش‌های الگوریتم DMPSO و MILP نسبت به روش تجربی در شکل (۳) ترسیم گردید. شکل (۳) مقایسه کل هزینه‌ی شبکه آبیاری به دست آمده بوسیله روش‌های الگوریتم DMPSO و MILP را نسبت به روش تجربی نشان می‌دهد.

با توجه به شکل (۲) مشخص است که قطرهای به دست آمده بوسیله روش‌های الگوریتم DMPSO و MILP نسبت به داده‌های قطر روش کلاسیک متفاوت می‌باشد که این تغییر قطر با توجه به روش‌های ذکر شده منتج به کاهش هزینه و بهینه‌شدن شبکه می‌گردد. همان طوری که در شکل (۲) نشان داده شده است تغییرات قطر در روش‌های الگوریتم DMPSO و MILP نسبت به یکدیگر فقط در لوله شماره ۱۰ متفاوت می‌باشد که این موضوع نشان



شکل (۳): مقایسه هزینه‌ی شبکه آبیاری به دست آمده بوسیله روش‌های الگوریتم DMPSO و MILP نسبت به روش تجربی

درصد و برای MILP ۱۲/۵ درصد می‌باشد و با توجه به مقادیر کاهش می‌توان گفت که MILP نسبت به DMPSO شبکه را بهتر بهینه کرده ولی این بهتر بودن محسوس نمی‌باشد. الگوریتم فراکاوشی

با توجه به نمودار مشخص است که روش‌های الگوریتم DMPSO و MILP نسبت به روش تجربی هزینه شبکه را به مقدار قابل توجهی کاهش داده است که این مقدار کاهش برای الگوریتم DMPSO ۱۰/۶۸

MILP نسبت به داده‌های قطر روش کلاسیک متفاوت می‌باشد که این تغییر قطر با توجه به روش‌های ذکر شده منتج به کاهش هزینه و بهینه‌شدن شبکه می‌گردد. برای نشان‌دادن اینکه که کدام روش نسبت به دیگری شبکه آبیاری را بهتر بهینه می‌کند هزینه‌ی شبکه آبیاری به دست آمده توسط روش‌های الگوریتم DMPSO و MILP نسبت به روش تجربی در شکل ۳ ترسیم گردید. و مشخص شد که روش‌های الگوریتم DMPSO و MILP نسبت به روش تجربی هزینه شبکه را به مقدار قابل توجهی کاهش داده‌اند که این مقدار کاهش برای الگوریتم DMPSO  $10/68$  درصد و برای MILP  $12/5$  درصد می‌باشد و با توجه به مقادیر کاهش می‌توان گفت که MILP نسبت به DMPSO با کمترین تفاوت شبکه را بهتر بهینه کرده ولی الگوریتم DMPSO سریعتر و با حافظه کمتر به جواب می‌رسد.

پیشنهادی سریعتر و با کمترین حافظه به جواب می‌رسد.

## نتیجه‌گیری

روش‌های بهینه‌سازی با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی برای طراحی سیستم‌های تحت فشار خیلی معمول می‌باشد اما هیچ تضمینی برای به دست آوردن بهینه مطلق با برنامه‌ریزی غیرخطی وجود ندارد. در این مطالعه از الگوریتم فراکاوشی DMPSO و روش MILP برای طراحی بهینه شبکه آبیاری تحت فشار استفاده گردید. در این الگوریتم همه محدودیت‌ها طراحی از قبیل اندازه لوله‌ها از نظر تجاری، سرعت در لوله‌ها و فشار در گره‌ها در نظر گرفته شد. داده‌های قطر روش‌های الگوریتم DMPSO و MILP نسبت به داده‌های قطر روش کلاسیک بر روی نمودار رسم گردید. با توجه به شکل ۲ مشخص شد که قطرهای به دست آمده بوسیله روش‌های الگوریتم DMPSO و

## منابع

- Mays, L. W., and Tung, Y. K. 1992. *Hydrosystems engineering and management*, McGraw-Hill, Singapore, 368-372.
- Kennedy, J., and Eberhart, R. C. 1995. Particle swarm optimization. Proc. IEEE International conference on Neural Networks. Perth, WA, Australia
- Dandy, G. C., and Hassanli, A. M. 1996. Optimum design and operation of multiple subunit drip irrigation systems. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 122(5):262-275.
- Hassanli, A. M., and Dandy, G. C. 2005. Optimal layout and hydraulic design of branched networks using genetic algorithms. *Appl. Eng. Agric.*, 21(1): 55-62.
- Afshar, M.H. and Mari, M.A. 2006. Application of an ant algorithm for layout optimization of tree networks, *Engineering Optimization*, 38(3): 353-369.
- Samani, H.M.V., and Motaghi, A. 2006. Optimization of Water Distribution Network Using Integer Linear Programming. *Journal of Hydraulic Engineering*, (132)5:501-509.
- Farmani, R., Abadia, R., and Savic, D. 2007. Optimal Design of Pressurized Irrigation Subunit, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(1):137\_146.
- Cisty, M., and Bajtek, Z. 2009. Hybrid Method for Optimal Design of Water Distribution System, *International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering Ohrid/Macedonia*, 1-5 September 2009, Paper: A84.
- Cebollada, C. G., Macarulla, B., and Sallan, D. 2011. Recursive Design of Pressurized Branched Irrigation Networks, *Journal of Irrigation Drainage Eng.* Vol. 137.
- Dercas, N., and Valiantzas, J. 2011. Two Explicit Optimum Design Methods for a Simple Irrigation Delivery System: Comparative Application. *Irrigation and Drainage*.
- ShahiNejad, B., Samani, H.M.V., and Mosavi Jahromi. H. 2012. Optimal design of irrigation networks using mixed integer linear programming.

## Irrigation networks Optimization using expanded particle swarm algorithm and linear programming

Hassan Torabi podeh<sup>1</sup>, Hassan Goleij<sup>2</sup>, Danial Mirshahi<sup>3</sup>, Babak Shahinejad<sup>4</sup>

### Abstract

The issue of choosing the best arrangement for pipes' diameter and optimal pump head, by considering the minimization of entire system cost, has been taken into account by hydraulic engineers over the past years. In this study, mixed integer linear programming (MILP) algorithm, as well as developed and mutated particle swarm Meta heuristic algorithm (DMPSO) is used to optimize the pressurized irrigation for a network consists of 16 tubes and 17 nodes. The objective function of the MILP includes the annual fixed cost of irrigation network diameter, and the annual cost of energy. The hydraulic constraints of the equation include the node pressure head and the flow rate constraints in the pipes. Input data includes the network map, the cost of pipes in all commercial sizes, the cost of the production facilities of pressure (such as pumps, etc.) and the limitations of the high and low hydraulic boundaries. Output is the optimal diameter of the pipes, operation pressure heads and total annual cost equivalent to the pipeline in the irrigation network. The results of hydraulic analysis with dynamic coupling between MATLAB software and EPANET have been evaluated. The optimal solution for Esmailabad irrigation network was obtained by the proposed fractional evolution particle swarm, mutated algorithm and integrated linear integer programming. Then, the experimental method was compared with the above results and it was determined that the fractional and mixed integer linear programming, have reduced the total cost of the experimental method by the value of 10.68% and 12.5%, respectively. In addition, according to the percentage of reduced values by the methods, it was found out that MILP is better than DMPSO with the least difference in network, but the DMPSO algorithm is faster with less memory response.

**Keywords:** Meta heuristic Algorithm, optimization, mixed integer linear programming, Water supply network

1- Associate Professor Water Structure of Lorestan University, Khorramabad, Iran, Email: torabi.ha@lu.ac.ir (corresponding author)

2 - Ph.D. Graduated In Water Structure of Lorestan University, Khorramabad, Iran, Email: hassan\_goleij37@yahoo.com.

3- M.Sc. Graduated In Water Structure of Lorestan University, Khorramabad, Iran, Email: danial.mirshahi@yahoo.com

4- - Assistant Professor Water Structure of Lorestan University, Khorramabad, Iran, Email: Shahinejad.b@lu.ac.ir