

فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان در طراحی بهینه جانمایی و ابعاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی پمپ‌دار

رامتین معینی^{*۱}

چکیده

در این پژوهش با استفاده از قابلیت‌های فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان، روشی تک‌مرحله‌ای، ابتکاری و بر مبنای قضاوت مهندسی برای حل همزمان مسأله طراحی بهینه جانمایی و ابعاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی پمپ‌دار و ثقلی ارائه می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی تراز گره‌های بالادست و پایین‌دست لوله‌ها به عنوان متغیر تصمیم مسأله در نظر گرفته می‌شود. با تعیین تراز گره‌های بالادست و پایین‌دست لوله‌ها با استفاده از فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان، روشی تک‌مرحله‌ای، ابتکاری و بر مبنای قضاوت مهندسی برای تعیین جانمایی شبکه فاضلاب خانگی با شیب معلوم لوله‌ها ارائه می‌شود. مسائل نمونه‌ای با استفاده از الگوریتم پیشنهادی حل شده و با نتایج حاصل از به‌کارگیری فرم اولیه الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان در تعیین تراز کارگذاری لوله‌ها و روشی ابتکاری بر مبنای قضاوت مهندسی در تعیین جانمایی شبکه، مقایسه می‌شود. نتایج نشان‌دهنده آن است که الگوریتم پیشنهادی، روشی مناسب در حل مسأله طراحی بهینه همزمان جانمایی و ابعاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی پمپ‌دار و ثقلی است.

واژه‌های کلیدی: ابعاد، جانمایی، شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی، فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان، طراحی بهینه همزمان.

ارجاع: معینی ر. ۱۳۹۶. فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان در طراحی بهینه جانمایی و ابعاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی پمپ‌دار. مجله پژوهش آب ایران. ۲۴: ۱۱۹-۱۲۷.

۱- استادیار گروه عمران، دانشکده عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان.

* نویسنده مسئول: r.moeini@eng.ui.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۲۶

مقدمه

شبکه‌های فیزیکی بخش مهمی از سازه‌های ساخته شده جامعه بشری است که زندگی در این جوامع را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از جمله این شبکه‌ها می‌توان به شبکه‌های توزیع آب شهری، توزیع برق، توزیع گاز و جمع‌آوری فاضلاب خانگی اشاره کرد. به طور معمول ساخت شبکه‌های فیزیکی کاری پرهزینه است و اعمال کوچک‌ترین تغییر در ساختار و پارامترهای شبکه سبب کاهش زیاد هزینه‌ها می‌شود. به عنوان نمونه، در شبکه‌های توزیع آب، با تغییر جانمایی شبکه (موقعیت لوله‌ها، شیرها و پمپ‌ها) و پارامترهای امان‌های شبکه (مانند جنس و قطر لوله‌ها، دبی و هد پمپ‌ها) می‌توان در هزینه‌ها صرفه‌جویی کرد. بنابراین، امروزه فرآیند بهینه‌سازی برای طراحی و ساخت شبکه‌های فیزیکی با هدف کاهش هزینه مورد توجه پژوهش‌گران است. طراحی بهینه شبکه‌های فیزیکی شامل دو بخش تعیین جانمایی بهینه شبکه و تعیین ابعاد و سایر پارامترهای بهینه آن در یک جانمایی مشخص است. شایان ذکر است که طراحی بهینه این دو بخش مستقل از یکدیگر نیست و طراحی یک شبکه بهینه نیازمند در نظر گرفتن همزمان این دو بخش است.

یکی از مهم‌ترین شبکه‌های فیزیکی مورد استفاده در جامعه بشری شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی است که برای جمع‌آوری فاضلاب تولیدی مناطق مسکونی و انتقال آن به تصفیه‌خانه احداث می‌شود. عدم وجود شبکه مناسب برای جمع‌آوری فاضلاب خانگی، سلامت جامعه بشری را به خطر می‌اندازد. ولیکن احداث شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب خانگی کاری پرهزینه بود و برای احداث شبکه‌ای با کمترین هزینه، لازم است که به عنوان یک مسأله بهینه‌سازی مدل‌سازی شود. مسأله طراحی بهینه جانمایی و ابعاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی یک مسأله پیچیده غیرخطی ترکیبی عدد صحیح^۱ (MINLP) است که روش‌های مختلفی برای حل آن استفاده شده است. بیشتر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، روی مسأله طراحی بهینه یکی از بخش‌های جانمایی و یا ابعاد متمرکز بوده و تعداد پژوهش‌های انجام شده در هر دو بخش به صورت همزمان، محدود است. علاوه بر این، پژوهش‌های متمرکز هر دو بخش، بیشتر این

دو بخش را مجزا از هم در نظر گرفته‌اند و بنابراین روش‌هایی دومرحله‌ای را پیشنهاد کرده‌اند. در این روش‌ها، ابتدا با استفاده از روش‌های جانمایی بهینه شبکه تعیین و سپس ابعاد بهینه این شبکه با جانمایی معلوم تعیین می‌شود. با توجه به مورد مذکور، این روش‌ها زمان‌بر بوده و هزینه محاسباتی بالایی دارند و ممکن است که به جواب بهینه همگرا نشوند. علاوه بر این برخی از روش‌های پیشنهادی نیز، فرضیات محدودکننده‌ای دارند که استفاده از آن‌ها فقط در شرایط خاصی امکان‌پذیر است.

هیستد (۲۰۰۴)، جیو (۲۰۰۸) و معینی و افشار (۲۰۱۳) مروری بر کارهای انجام شده در این زمینه در ۴۰ سال اخیر ارائه کردند. بیشتر این پژوهش‌های، در زمینه طراحی بهینه ابعاد شبکه فاضلاب بود و از ذکر آن‌ها اجتناب می‌شود. اما، تعداد پژوهش‌های انجام شده در زمینه طراحی بهینه جانمایی و ابعاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب بسیار محدود بوده و با فرضیات ساده کننده‌ای همراه است. برای اولین بار آرگامان و همکاران (۱۹۷۳)، میز و ونزل (۱۹۷۶) و والترز (۱۹۸۵) از روش برنامه‌ریزی پویا در طراحی بهینه جانمایی و ابعاد شبکه فاضلاب استفاده کردند. روش‌های پیشنهادی آن‌ها علاوه بر مشکل "تفرین ابعادی"^۲ روش برنامه‌ریزی پویا، فرض محدود کننده ثابت بودن جهت جریان در لوله‌ها را نیز، برای تعیین جانمایی شبکه، در نظر می‌گیرد. لی و ماتئو (۱۹۹۰) روش ترکیبی دومرحله‌ای را برای طراحی بهینه جانمایی و ابعاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب ارائه کردند. در روش پیشنهادی آن‌ها از دو روش "کوتاهترین مسیر شبکه شاخه‌ای" و "روش جهت جستجو" برای تعیین جانمایی بهینه شبکه و از روش برنامه‌ریزی پویای گسسته برای طراحی بهینه ابعاد برای جانمایی معلوم استفاده شد. ونگ و همکاران (۲۰۰۴) با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک یک مدل بهینه‌سازی ترکیبی دومرحله‌ای به نام GA/SSOM/LH برای طراحی بهینه جانمایی و ابعاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب ارائه و دیگو و گراوتو (۲۰۰۶) یک مدل ترکیبی دو مرحله‌ای معرفی کردند که در آن از روش شمارشی برای تعیین جانمایی بهینه و روش برنامه‌ریزی پویا برای تعیین ابعاد بهینه سیستم جمع‌آوری فاضلاب استفاده شد. همچنین، از الگوریتم نورد شبیه‌سازی شده نیز در تعیین جانمایی بهینه و روش برنامه‌ریزی پویا در طراحی بهینه ابعاد

2- Curse of dimensionality

1- Mixed Integer Nonlinear Programming (MINP)

محدودیت‌های روش‌های پیشین تلاش بر آن است که روشی کارآمد ارائه شود.

یکی از عوامل مهم در افزایش کارایی الگوریتم‌های فراکاوشی، از جمله الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان، امکان ایجاد توازن مناسب بین دو مفهوم اکتشاف^۳ و بهره‌برداری^۴ است. اکتشاف توانایی الگوریتم در جستجوی گسترده و وسیع فضای مسأله و بهره‌برداری توانایی الگوریتم در جستجو در فضای همسایگی جواب پیدا شده قبلی است. افزایش بهره‌برداری ممکن است سبب همگرایی سریع مسأله به یک جواب غیربهینه و یا بهینه موضعی شود، درحالی‌که افزایش اکتشافات سبب کند شدن همگرایی و افزایش هزینه محاسباتی در پیدا کردن جواب‌های مناسب می‌شود. بنابراین لازم است که توازن مناسبی بین اکتشافات و بهره‌برداری برقرار شود. علاوه بر این، یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار روی کیفیت و هزینه محاسباتی ساخت جواب‌ها در الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان، امکان تعریف پارامتری به نام هدایتگر کاوشی برای مسأله است. در برخی از مسائل تعریف هدایتگر کاوشی به سادگی امکان‌پذیر نیست. بنابراین، معینی و افشار (۲۰۰۹، ۲۰۱۱) برای الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان یک فرمول‌بندی جدید^۵ معرفی و از آن در مسأله بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها استفاده کردند. مقایسه نتایج فرمول‌بندی جدید پیشنهادی نشان دهنده قابلیت و برتری آن نسبت به شکل پایه و اولیه الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان در حل مسأله بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها بود.

در این پژوهش تلاش بر آنست که با استفاده از قابلیت‌های فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان، روشی کارآمد برای حل مسأله طراحی بهینه همزمان جانمایی و ابعاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی ارائه شود که بر اساس آن طراحی شبکه پمپ‌دار امکان‌پذیر است. در الگوریتم پیشنهادی تراز گره‌های بالادست و پایین‌دست لوله‌ها به عنوان متغیر تصمیم الگوریتم سیستم مورچگان پیشینه-کمینه^۶ در نظر گرفته می‌شود. با تعیین تراز گره‌های بالادست و پایین‌دست لوله‌ها و تعیین شیب لوله‌ها، با ارائه روشی ابتکاری بر مبنای قضاوت مهندسی،

سیستم جمع‌آوری فاضلاب نیز استفاده کردند. حقیقی (۲۰۱۳) یک مدل ترکیبی دومرحله‌ای را پیشنهاد کرد که در آن، بر مبنای تئوری گراف، از الگوریتم ژنتیک برای تعیین جانمایی بهینه و روش برنامه‌ریزی پویا گسسته برای طراحی بهینه ابعاد سیستم جمع‌آوری فاضلاب استفاده شد. در ادامه، حقیقی و بخشی‌پور (۲۰۱۵) یک مدل ترکیبی دومرحله‌ای را پیشنهاد کردند که در آن از الگوریتم برش حلقه به حلقه برای تعیین جانمایی بهینه و الگوریتم جستجوی ممنوعه برای تعیین ابعاد بهینه سیستم جمع‌آوری فاضلاب استفاده کردند. در نهایت، روحانی و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از الگوریتم‌های سلولی خودکار^۱، ژنتیک و جامعه مورچگان، روش‌های ترکیبی برای تعیین جانمایی و ابعاد بهینه شبکه فاضلاب معرفی کردند. بررسی پژوهش‌های مذکور نشان‌دهنده آنست که این روش‌ها، روش‌های دومرحله‌ای هستند که به محدودیت‌های آن پیش از این اشاره شده است. برای برطرف کردن محدودیت‌های روش‌های دومرحله‌ای، معینی و افشار (۲۰۱۲) با ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان با الگوریتم رشد و توسعه درختی^۲ یک روش ترکیبی تک‌مرحله‌ای برای تعیین همزمان جانمایی و ابعاد بهینه شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی ارائه کردند که در آن قطر لوله به عنوان متغیر تصمیم مسأله در نظر گرفته شد. در ادامه، معینی و افشار (۲۰۱۳) با معرفی الگوریتم مقید جامعه مورچگان و ترکیب آن با الگوریتم رشد و توسعه درختی، روش ترکیبی تک‌مرحله‌ای جدیدی برای تعیین همزمان جانمایی و ابعاد بهینه شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی ارائه نمودند که در آن تراز گره‌ها به عنوان متغیر تصمیم مسأله در نظر گرفته شد. شایان ذکر است که مهم‌ترین محدودیت روش‌های ترکیبی تک‌مرحله‌ای پیشنهادی معینی و افشار، عدم امکان به‌کارگیری آن‌ها در طراحی شبکه پمپ‌دار بود و فقط در طراحی شبکه ثقلی قابل استفاده است. در مجموع، بررسی پژوهش‌های انجام شده در زمینه طراحی بهینه جانمایی و ابعاد شبکه فاضلاب نشان دهنده آنست که تحقیقات انجام شده در این زمینه به چند مقاله مذکور محدود می‌شود که هر یک از آن‌ها نیز فرضیات محدودکننده‌ای دارند. پس در این پژوهش برای پوشش

3- Exploration

4- Exploitation

5- Arc Based Ant Colony Optimization Algorithm

6- Max-Min Ant System

1- Cellular Automate

2- Tree Growing Algorithm

$$X_{ij} + X_{ji} = 1 \quad \forall l = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{N_i} X_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, K \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{N_i} X_{ji} Q_l - \sum_{j=1}^{N_i} X_{ij} Q_l = 0 \quad \forall i = 1, \dots, K \quad (4)$$

$$V_l \leq V_{\max} \quad \& \quad V_l^* \geq V_{\text{clean}} \quad \forall l = 1, \dots, N \quad (5)$$

$$S_l \geq S_{\min} \quad \forall l = 1, \dots, N \quad (6)$$

$$E_{\min} \leq \bar{E}_l \leq E_{\max} \quad \forall l = 1, \dots, N \quad (7)$$

$$\beta_{\min} \leq \beta_l \leq \beta_{\max} \quad \forall l = 1, \dots, N \quad (8)$$

$$\beta_l = \left(\frac{y}{d} \right)_l \quad \forall l = 1, \dots, N \quad (9)$$

$$d_l \in D \quad \forall l = 1, \dots, N \quad (10)$$

$$d_l \geq d_l \quad \forall l = 1, \dots, N \quad (11)$$

$$Q_l = \frac{1}{n} A_l R_l^{2/3} S_l^{1/2} \quad \forall l = 1, \dots, N \quad (12)$$

که در معادله فوق، X_{ij} یک متغیر عدد صحیح صفر و یک است که مقدار آن با توجه به جهت جریان در لوله l ام تعریف می‌شود، اگر جهت جریان در لوله l ام از گره i به سمت گره j باشد مقدار آن یک و در غیر این صورت صفر است؛ N_i تعداد لوله‌های متصل به گره i ، Q_l مقدار دبی جریان فاضلاب در لوله l ام، V_l سرعت جریان در لوله l ام در انتهای دوره طرح، V_l^* حداکثر سرعت جریان در لوله l ام در ابتدای شروع بهره‌برداری، V_{\max} حداکثر مقدار سرعت جریان، V_{clean} سرعت شست‌شوی جریان، S_l شیب طولی لوله l ام، S_{\min} حداقل مقدار شیب طولی لوله، \bar{E}_l عمق متوسط کارگذاری لوله l ام، E_{\max} حداکثر مقدار عمق کارگذاری، E_{\min} حداقل مقدار عمق کارگذاری، β_l نسبت پرشدگی جریان در لوله l ام، β_{\min} حداقل مقدار نسبت پرشدگی جریان در لوله، β_{\max} حداکثر مقدار نسبت پرشدگی جریان در لوله، y_l عمق جریان در لوله l ام، D مجموعه قطرهای تجاری لوله‌ها، d_l مجموعه قطرهای تجاری بالادست لوله l ام، n ضریب زبری مانینگ، A_l سطح مقطع لوله l ام، R_l شعاع هیدرولیکی لوله l ام، K تعداد کل گره‌ها و N تعداد کل لوله‌های شبکه است. در این پژوهش، از الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان برای حل مدل بهینه‌سازی مسئله استفاده می‌شود که مراحل حل یک مسئله با استفاده از این الگوریتم از سوی افشار و معینی (۲۰۰۸)

جانمایی شبکه فاضلاب خانگی تعیین می‌شود. مسائل نمونه‌ای با استفاده از الگوریتم پیشنهادی حل شده و نتایج با نتایج حاصل از به کارگیری شکل پایه و اولیه الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان در تعیین تراز گره‌های بالادست و پایین‌دست لوله‌ها و روشی ابتکاری بر مبنای قضاوت مهندسی در تعیین جانمایی شبکه، مقایسه می‌شود. با توجه به موارد مذکور، ساختار این پژوهش به شرح زیر است. ابتدا، مدل بهینه‌سازی مسئله مورد بررسی معرفی می‌شود. سپس، روش‌های پیشنهادی حل مدل مسئله ارائه شده و در ادامه با حل دو مسئله نمونه قابلیت‌های روش‌های پیشنهادی بررسی می‌شود.

مدل بهینه‌سازی مسئله طراحی بهینه‌سازی و ابعاد شبکه فاضلاب خانگی

در این بخش، با تعیین تابع هدف و قیود مسئله، مدل بهینه‌سازی مسئله طراحی بهینه‌سازی و ابعاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب تعریف می‌شود. در این مسئله تابع هدف را می‌توان به شکل‌های مختلفی تعریف کرد که در این پژوهش هدف حداقل‌سازی هزینه ساخت شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی است. بنابراین، تابع هدف مسئله به شکل زیر تعریف می‌شود:

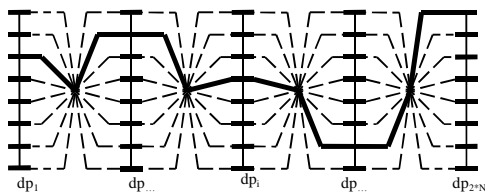
$$\text{Minimize } F = \sum_{l=1}^N L_l K_p(d_l, \bar{E}_l) + \sum_{m=1}^M K_m(h_m) + \sum_{p=1}^P K_{pum}(q_p, h_p) + \sum_{d=1}^D K_d(h_d) \quad (1)$$

که در معادله فوق، F تابع هدف مسئله، K_p تابع هزینه لوله‌گذاری، d_l قطر لوله l ام، \bar{E}_l عمق متوسط کارگذاری لوله l ام، L_l طول لوله l ام، N تعداد کل لوله‌ها، K_m تابع هزینه ساخت آدم رو، h_m ارتفاع آدم رو m ام، M تعداد کل آدم‌روها، K_{pum} تابع هزینه ساخت ایستگاه پمپاژ، q_p دبی پمپاژ پمپ p ام، h_p هد پمپاژ پمپ p ام، P تعداد کل ایستگاه پمپاژ، K_d تابع هزینه ساخت آدم رو ریزشی، h_d ارتفاع آدم رو ریزشی d ام، D تعداد کل آدم‌روهای ریزشی است.

تعریف مدل بهینه‌سازی مسئله نیازمند تعریف قیود آن است. قیود این مسئله را می‌توان به دو دسته قیود ساختاری و هیدرولیکی تقسیم‌بندی کرد. در مجموع، فرمول‌بندی ریاضی قیود مسئله را می‌توان به شکل زیر ارائه کرد:

ارائه شده است.

مورب جواب ساخته شده با مورچه فرضی است.



شکل ۱- گراف تعریف شده برای مسأله در روش اول

با اعمال روش پیشنهادی، تراز بالادست و پایین دست گره‌ای و یا به عبارت دیگر تراز کارگذاری لوله‌ها و در نهایت شیب لوله‌ها محاسبه می‌شود. با تعیین شیب مثبت برای تمامی لوله‌ها، یک روش ابتکاری بر مبنای قضاوت مهندسی برای تعیین جانمایی شبکه جمع‌آوری فاضلاب پیشنهاد می‌شود. در این روش با معلوم بودن شیب لوله‌ها، لوله‌های ورودی به هر گره و خروجی از آن مشخص می‌شود. با توجه به شاخه‌ای بودن ساختار شبکه جمع‌آوری فاضلاب، باید از هر گره فقط یک خروجی به سمت گره ریشه (تصفیه‌خانه) وجود داشته باشد. بنابراین، اگر در اعمال این روش گره‌ای بدون لوله خروجی موجود باشد، ساختار مذکور یک جانمایی غیر قابل قبول است (جواب ناشدنی). همچنین، در صورتی که بیش از یک خروجی از هر گره وجود داشته باشد، لوله با شیب بزرگ‌تر به عنوان لوله اصلی خروجی شبکه در نظر گرفته شده و اتصال سایر لوله‌های خروجی متصل به این گره قطع می‌گردد. در نهایت، یک گره مجازی در کنار گره اصلی و با تراز برابر با تراز گره اصلی، برای منظور کردن موقعیت قطع اتصال، در نظر گرفته می‌شود. شایان ذکر است که با اعمال روش مذکور موقعیت ایستگاه‌های پمپاژ و آدم‌روهای ریزشی نیز مشخص می‌شود به گونه‌ای که برای هر گره، اگر تراز کارگذاری لوله ورودی از تراز کارگذاری لوله خروجی بزرگ‌تر باشد در این گره یک آدم‌رو ریزشی و اگر کوچک‌تر باشد، یک پمپ در نظر گرفته می‌شود.

در نهایت، در روش پیشنهادی یک ساختار شاخه‌ای برای شبکه و با شیب معلوم برای لوله‌ها تعیین می‌شود. تکمیل فرآیند طراحی نیازمند به محاسبه قطر لوله‌ها است. در اینجا، قطر لوله‌ها به گونه‌ای محاسبه می‌شود که در صورت امکان قیود مسأله، تأمین شود. بنابراین، برای به‌دست آوردن قطر بهینه هر لوله و با شروع از لوله‌های سرشاخه، برای هر لوله کوچک‌ترین قطری که همه قیود

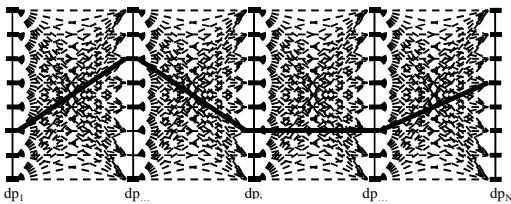
روش پیشنهادی حل مدل بهینه‌سازی

در این پژوهش با توجه به قابلیت‌های فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان، از این الگوریتم در حل مدل بهینه‌سازی مسأله طراحی بهینه همزمان جانمایی و ابعاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی استفاده می‌شود. دو روش برای حل مدل بهینه‌سازی مسأله مذکور پیشنهاد می‌شود. در روش اول پیشنهادی، از شکل پایه و اولیه الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان برای حل بخش طراحی بهینه ابعاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی استفاده می‌شود. اما در روش دوم، از فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان برای حل بخش طراحی بهینه ابعاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی استفاده می‌شود. در روش‌های پیشنهادی، ابتدا، با تعریف متغیر تصمیم مسأله، نقاط تصمیم مسأله و گزینه‌های تصمیم مربوطه، گراف مسأله تعریف می‌شود. در این پژوهش برای امکان طراحی شبکه پمپ‌دار، تراز گره‌های بالادست و پایین دست لوله‌ها به عنوان متغیر تصمیم مسأله در نظر گرفته می‌شود. با تعیین تراز کارگذاری لوله‌ها در هر دو روش پیشنهادی، روشی ابتکاری بر مبنای قضاوت مهندسی برای حل بخش طراحی بهینه ابعاد این مسأله ارائه می‌شود.

روش اول (ACOA)

در این روش، برای تعریف گراف مسأله، هریک از دو گره انتهایی لوله‌های ساختار پایه تعریف شده به عنوان نقاط تصمیم مسأله در نظر گرفته می‌شود و بنابراین تعداد نقاط تصمیم دو برابر تعداد لوله‌های شبکه است. همچنین گزینه‌های تصمیم در هر نقطه تصمیم، مجموعه مقدار گسسته‌سازی شده محدوده مجاز ترازهای پایین دست و یا بالادست گره‌ای هر لوله است. شکل ۱ گراف تعریف شده برای حل مسأله به کمک فرم اولیه الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان را نشان می‌دهد. در این شکل خطوط عمودی (dp_1, \dots, dp_{2*N}) نقاط تصمیم مسأله، خطوط پرنگ کوچک افقی گزینه‌های تصمیم در هر نقطه تصمیم و یا به عبارت دیگر مقدار گسسته‌سازی شده محدوده مجاز تراز گره‌ای پایین دست و بالادست لوله‌ها، خط‌چین‌های مورب جواب‌های مسأله و خطوط پرنگ

انتخاب می‌شود. به عبارت دیگر در این گراف، در هر نقطه تصمیم، تراز گره‌های بالادست و پایین‌دست لوله‌های مشخص بوده و امکان محاسبه تراز متوسط کارگذاری لوله‌ها و در نتیجه تعریف هدایت‌گر کاوشی برای مورچه‌ها امکان‌پذیر است. در صورتی‌که این مورد با توجه به گراف تعریف شده در روش اول پیشنهادی، امکان‌پذیر نیست. همچنین تعداد نقاط تصمیم روش دوم پیشنهادی در مقایسه با روش اول کمتر است. در این روش نیز از روش ابتکاری پیشنهادی روش اول، برای تعیین جانمایی شبکه با شیب معلوم لوله‌ها استفاده می‌شود. همچنین قطر لوله‌های شبکه نیز بر اساس روش پیشنهادی در روش اول محاسبه می‌شود.



شکل ۲- گراف تعریف شده برای مسئله در روش دوم

حل مسئله نمونه

برای نشان دادن قابلیت‌های روش پیشنهادی، دو ناحیه مربع شکل به ابعاد 200×200 متر و 400×400 متر براساس شکل ۳ در نظر گرفته شده است که شبکه‌های فاضلاب جداگانه‌ای برای جمع‌آوری فاضلاب تولیدی این دو ناحیه طراحی می‌شود. فاضلاب تولیدی این دو ناحیه، به دو تصفیه‌خانه با جانمایی ثابت منتقل می‌شود. در این نواحی یک نقطه پایه با تراز ارتفاعی ۱۰۰۰ متر در نظر گرفته شده که با شیب یکنواخت ۲ درصد به سمت تصفیه‌خانه و به سمت چپ و راست کاهش می‌یابد. برای این نواحی، دو شبکه (II, I) تعریف می‌شود که در شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل، دایره‌های توخالی گره‌های شبکه، خطوط لوله‌های شبکه، دایره‌های توپر موقعیت تصفیه‌خانه‌ها، اعداد مجاور گره‌ها شماره گره‌ها و اعداد داخل پرانتز شماره لوله‌ها هستند. جدول ۱ نشان‌دهنده پارامترهای مسئله است. در این مسئله تابع هزینه لوله‌گذاری، منهول، منهول ریزشی و ایستگاه پمپاژ براساس معادله زیر تعریف می‌شود (معینی و افشار، ۲۰۱۳؛ دیگو و همکاران، ۲۰۰۶):

مسئله (معادله (۵)، (۱۰)، (۱۱) و (۱۲)) را تأمین کند، به عنوان قطر بهینه لوله مورد نظر انتخاب می‌شود. بر این اساس، قیود هیدرولیکی به صورت صریح در هنگام تعیین قطر اعمال می‌شود.

روش دوم (ABACOA)

در روش دوم به دلیل قابلیت‌های فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازانه مورچگان، از این الگوریتم در طراحی بهینه شبکه فاضلاب خانگی استفاده می‌شود. قابلیت‌های فرمول‌بندی الگوریتم بهینه‌سازانه مورچگان در مقایسه با فرم اولیه الگوریتم بهینه‌سازانه مورچگان عبارتند از: ۱) امکان تعریف مناسب‌تر پارامتر هدایت‌گر کاوشی، ۲) ایجاد توازن بهتر بین دو مفهوم اکتشاف و بهره‌برداری. برای تعریف گراف فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازانه مورچگان نیز، تراز گره‌های بالادست و پایین‌دست لوله‌ها به عنوان متغیر تصمیم مسئله در نظر گرفته می‌شود. نقاط تصمیم مسئله لوله‌های ساختار پایه تعریف شده برای مسئله هستند و تعداد آن‌ها برابر تعداد لوله‌ها است. اما، در فرمول‌بندی جدید، گزینه‌های تصمیم در هر نقطه تصمیم به صورت زیر تعریف می‌شود. با تعیین مجموعه مقدار گسسته‌سازی شده محدوده مجاز ترازهای پایین‌دست و یا بالادست گره‌ای هر لوله، این مقدار گسسته‌سازی شده با یال‌هایی به یکدیگر متصل می‌شوند. در فرمول‌بندی جدید، این یال‌ها، گزینه‌های تصمیم موجود در هر نقطه تصمیم هستند. شکل ۲ گراف تعریف شده برای حل مسئله با استفاده از فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازانه مورچگان را نشان می‌دهد. در این شکل خطوط عمودی (dp_1, \dots, dp_N) نقاط تصمیم مسئله، خطوط پررنگ کوچک افقی مقدار گسسته‌سازی شده محدوده مجاز تراز گره‌ای پایین‌دست و بالادست لوله‌ها، خط‌چین‌های مورب گزینه‌های تصمیم مسئله و خطوط پررنگ مورب یک جواب ساخته شده با مورچه فرضی است.

با اعمال این روش نیز، تراز بالادست و پایین‌دست گره‌ای و یا به عبارت دیگر تراز کارگذاری همه لوله‌های شبکه تعیین می‌شود. شایان ذکر است که در فرمول‌بندی جدید پیشنهادی، با انتخاب گزینه تصمیم در هر نقطه تصمیم به طور همزمان تراز بالادست و پایین‌دست گره‌های هر لوله

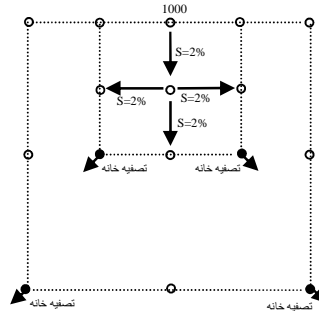
جدول ۱- مقادیر پارامترهای مسائل نمونه

پارامترها	مقدار پارامترها
ضریب تبدیل آب به فاضلاب	۰/۸
تراکم ابتدا و انتهای دوره طرح	۲۵۰۰ و ۴۰۰۰ نفر در هکتار
سرانه آب مصرفی در ابتدا و انتهای دوره طرح	$250 \text{ lit}/d * cap$
حداکثر سرعت	۶ (m/s)
حداقل سرعت	۰/۷۵ (m/s)
سرعت شستشو	۰/۷۵ (m/s)
شیب حداقل	۰/۰۰۰۵
حداکثر نسبت پرشدگی	۰/۸۳
حداقل نسبت پرشدگی	۰/۱
حداکثر عمق کارگذاری لوله‌ها	۱۰ (m)
حداقل عمق کارگذاری لوله‌ها	۲/۵ (m)
طول تمامی لوله‌ها	۱۰۰ (m)
ضریب زبری مائینگ	۰/۱۵

$$K_p = 10.93e^{3.43d_i} + 0.012E_i^{1.53} + 0.437E_i^{1.47}d_i$$

$$K_m = 41.46h_m, \quad K_d = 100h_d^2,$$

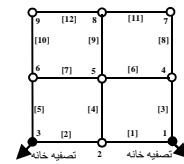
$$K_{pump} = 2987.8q_p^{0.475}h_p^{0.277} \quad (13)$$



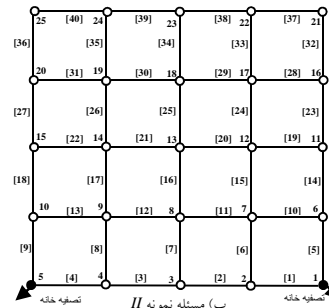
شکل ۳- نقشه توپوگرافی منطقه

در این پژوهش از بین الگوریتم‌های مختلف پیشنهادی بهینه‌سازی جامعه مورچگان، از الگوریتم مورچه بیشینه-کمینه، با توجه به قابلیت‌های آن، در حل مسأله نمونه استفاده شده است که مقادیر مطلوب پارامترهای این الگوریتم در جدول ۲ ارائه شده است.

نتایج حاصل از ۱۰ بار اجرای مدل بهینه‌سازی مسأله در جدول ۳ ارائه شده است. مقایسه نتایج نشان‌دهنده آنست که در حل مدل بهینه‌سازی مسأله با روش‌های پیشنهادی جواب‌هایی مناسب به دست آمده است. اما جواب‌های به دست آمده از فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان (روش دوم)، با توجه به قابلیت‌های آن، در مقایسه با روش اول بهتر است.



الف) مسئله نمونه I



ب) مسئله نمونه II

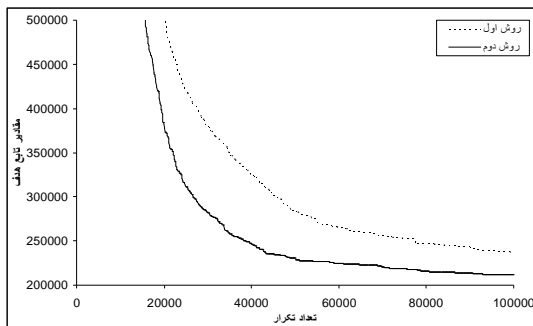
شکل ۴- ساختارهای پایه مسائل نمونه

جدول ۲- مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم مورچه بیشینه-کمینه

مسأله نمونه	تعداد مورچه	تعداد تکرار	تعداد گسسته‌سازی	α	β	ρ	P_{best}
I	۵۰	۵۰۰	۳۰	۱	۰/۲	۰/۹۵	۰/۲
II	۱۰۰	۱۰۰۰	۳۰	۱	۰/۲	۰/۹۵	۰/۲

جدول ۳- مقادیر حداکثر، حداقل، میانگین و انحراف معیار جواب‌ها، هزینه محاسباتی و تعداد جواب‌های شدنی مسأله

روش	مسأله نمونه	مقادیر جواب‌ها			انحراف معیار	تعداد جواب شدنی	هزینه محاسباتی جواب بهینه
		حداقل	حداکثر	میانگین			
اول (ACOA)	I	۴۲۴۴۷/۵	۵۸۶۶۴/۵	۵۰۸۳۷/۳	۰/۰۹۳۴	۱۰	۲۳۸۵۰
	II	۱۹۹۵۶۹	۲۶۶۷۳۲	۲۳۶۷۲۰	۰/۱۰۰۲	۱۰	۹۸۶۰۰
دوم (ABACOA)	I	۴۱۶۲۳/۴	۵۳۶۹۷/۸	۴۹۵۸۹/۷	۰/۰۶۷۶	۱۰	۱۸۱۰۰
	II	۱۹۵۰۲۹	۲۴۹۷۴۹	۲۱۱۳۲۷	۰/۰۷۹۸	۱۰	۹۷۶۰۰



شکل ۷- تغییرات میانگین مقدار تابع هدف مسأله نمونه مورد II با استفاده از روش‌های اول و دوم پیشنهادی

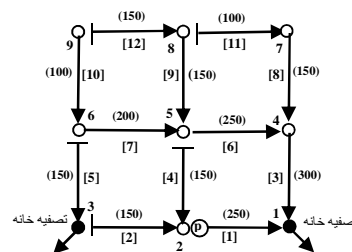
نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از قابلیت‌های فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان، روشی ابتکاری و تک‌مرحله‌ای بر مبنای قضاوت مهندسی، برای حل مسأله طراحی بهینه همزمان شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی پمپ‌دار و ثقلی ارائه شد. در روش پیشنهادی و با انتخاب تراز گره‌های بالادست و پایین‌دست لوله‌ها به‌عنوان متغیر تصمیم، ابتدا، تراز کارگذاری لوله‌ها با استفاده از فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان مشخص شد. سپس با محاسبه شیب لوله‌ها و با ارائه روشی ابتکاری بر مبنای قضاوت مهندسی، از این شیب در تعیین جانمایی شبکه فاضلاب خانگی استفاده شد. در نهایت مسائل نمونه‌ای با به‌کارگیری روش پیشنهادی حل شد و نتایج آن با نتایج حاصل از به‌کارگیری شکل پایه و اولیه الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان در تعیین تراز گره‌های بالادست و پایین‌دست لوله‌ها و روشی ابتکاری بر مبنای قضاوت مهندسی در تعیین جانمایی شبکه مقایسه شد. نتایج نشان‌دهنده آن بود که با استفاده از فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان در روش دوم پیشنهادی، در مقایسه با روش اول، جواب‌هایی بهتر و با هزینه محاسباتی کمتر به دست آمد و در نتیجه روش دوم پیشنهادی می‌تواند در حل مسأله بهینه‌سازی طراحی همزمان جانمایی و ابعاد شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی پمپ‌دار و ثقلی به کار گرفته شود.

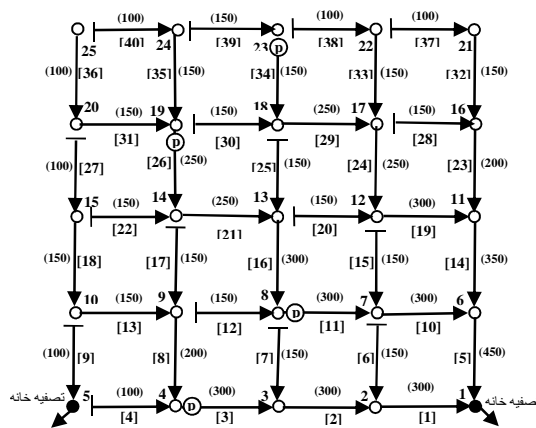
منابع

1. Afshar M. H. and Moeini R. 2008. Partially and fully constrained ant algorithms for the optimal solution of large scale reservoir operation problems. Journal of Water Resource Management. 22(1): 1835-1857.

شکل‌های ۵ و ۶ جانمایی و قطر بهینه شبکه جمع‌آوری فاضلاب برای مسائل نمونه I و II با استفاده از روش دوم را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها، خطوط کوچک موقعیت گره‌های مجازی و اعداد داخل پرانتز قطر بهینه لوله‌ها هستند. مقایسه نتایج نشان‌دهنده آنست که با استفاده از روش‌های پیشنهادی طراحی بهینه همزمان جانمایی و ابعاد شبکه فاضلاب خانگی پمپ‌دار و ثقلی امکانپذیر است. برای نشان دادن قابلیت‌های روش‌های پیشنهادی، شکل ۷ ارائه شده است. نتایج نشان‌دهنده آنست که با استفاده از فرمول‌بندی جدید الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان در روش دوم پیشنهادی، در مقایسه با روش اول، جواب‌هایی بهتر و با هزینه محاسباتی کمتر به دست آمده است.



شکل ۵- جانمایی و قطر بهینه شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی مسأله نمونه I با استفاده از روش دوم



شکل ۶- جانمایی و قطر بهینه شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی مسأله نمونه II با استفاده از روش دوم

- with heuristic algorithms. *Scientia Iranica*. 22(5): 1742-1754.
15. Walters G. A. 1985. The design of the optimal layout for a sewer network. *Engineering Optimization*. 9: 37-50.
 16. Weng H. T. Liaw S. L. and Huang W. C. 2004. Establishing an optimization model for sewer system layout with applied genetic algorithm. *Environmental Informatics Archives*. 2: 781-790.
 2. Argaman Y. Shamir U. and Spivak E. 1973. Design of optimal sewerage systems. *Journal of the Environmental Engineering Division*. 99(5): 703-716.
 3. Diogo A. F. and Graveto V. M. 2006. Optimal layout of sewer systems: a deterministic versus a stochastic model. *Journal of Hydraulic Engineering*. 132(9): 927-943.
 4. Guo Y. Walters G. and Savic D. 2008. Optimal design of storm sewer networks: past, present and future. *Proceeding of 11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh, Scotland, UK, 1-10.
 5. Haghghi A. 2013. Loop by loop cutting algorithm to generate layouts for urban drainage systems. *Journal of Water Resource Planning and Management*. 139(6): 693-703.
 6. Haghghi A. and Bakhshipour. 2015. A Deterministic integrated optimization model for sewage collection networks using tabu search. *Journal of Water Resource Planning Management*. 141(1): 040140451-11.
 7. Haestad. 2004. *Wastewater collection system modelling and design*. Heasted press, Waterbury, USA.
 8. Li G. and Matthew R. G. S. 1990. New approaches for optimization of urban drainage system. *Journal of Environmental Engineering*. 116(5): 927-944.
 9. Mays L. W. and Wenzel H. G. 1976. Optimal design of multilevel branching sewer systems. *Water Resources Research*. 12(5): 913-917.
 10. Moeini R. and Afshar M. H. 2009. Application of ant colony optimization algorithm for the optimal operation of reservoirs: a comparative study of three proposed formulation. *Scientia Iranica*. 16(4): 273-285.
 11. Moeini R. and Afshar M. H. 2011. Arc-based constrained ant colony optimization algorithms for the optimal solution of hydropower reservoir operation problems. *Canaian Journal of Civil Engineering*. 38: 811-824.
 12. Moeini R. and Afshar M. H. 2012. Layout and size optimization of Sanitary Sewer network using intelligent ants. *Advances in Engineering Software*. 51: 49-62.
 13. Moeini R. and Afshar M. H. 2013. Constrained ant colony optimization algorithm for the layout and size optimization of sanitary sewer networks. *Urban Water Journal*. 10(3): 154-173.
 14. Rohani M. Afshar M. H. and Moeini R. 2015. Layout and size optimization of sewer networks by hybridizing the GHCA model

