

بهینه‌سازی دومعیاره شبکه‌های توزیع آب (مطالعه موردی: شهر جدید سهند)

محمد تقی اعلمی^۲

مهدی زرغامی^۲

علی نیکجوفار^۱

(دریافت ۸۹/۹/۱۴ آخرین اصلاحات ۹۰/۹/۲۴ پذیرش ۹۰/۹/۲۷)

چکیده

با توجه به اینکه تأمین فشار مناسب آب در محل‌های مصرف از اصول مهم طراحی شبکه‌های توزیع آب است، بهینه‌سازی هزینه اجرای این شبکه‌ها بدون در نظر گرفتن مسئله فشار، قابل اجرا نخواهد بود. در این تحقیق ابتدا شبکه توزیع آب شهر سهند با استفاده از الگوریتم ژنتیک دومعیاره، با دو هدف حداقل‌سازی هزینه و حداکثرسازی فشار، بهینه‌سازی شد. سپس منحنی برآزش پارتو بر روی راه‌حلهای امکان‌پذیر ترسیم گردید و در نهایت با استفاده از تئوری بازی‌ها (روش مساحت‌های یکنواخت) نقطه بهینه طراحی، مشخص و راه‌حل متناظر با آن نقطه توسط یک نرم‌افزار حل هیدرولیکی شبکه شبیه‌سازی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بهینه‌سازی شبکه توزیع آب، در حدود ۱۳ درصد از هزینه کل پروژه را کاهش می‌دهد و در واقع با هزینه کمتر، فشار در محل‌های مصرف بیشتر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های توزیع آب شهری، بهینه‌سازی چندمعیاره، الگوریتم ژنتیک، منحنی پارتو، نظریه بازی‌ها

Bi-objective Optimization of the Water Distribution Networks (Case Study: Sahand City)

Ali Nikjoofar¹

Mahdi Zarghami²

Mohammad Taghi Aalami²

(Received Dec. 5, 2010 Revised Dec. 15, 2011 Accepted Dec. 18, 2011)

Abstract

To design an urban water network in addition to minimizing the cost, improving the water pressure is very important. Then in this paper a bi-objective optimization model for the new city of Sahand in Northwestern Iran is developed. Due to its non-linearity and the huge number of variables, the genetic algorithm has been utilized to solve it. Several Pareto solutions have been obtained and then based on the game theory approach (the area monotonic solution), the most efficient point was provided. The solution is simulated by the WaterGems software and the elements of the network are designed. This optimum solution shows a decrease of 13% in total cost in addition to the improved water pressure.

Keywords: Urban Water Distribution Networks, Multi-Objective Optimization, Genetic Algorithm, Pareto Frontier, Game Theory.

1. Grad. M.Sc. Student of Water Eng., Faculty of Civil Eng., University of Tabriz (Corresponding Author) (+98 411) 5548751
ali.nikjoofar@gmail.com

2. Assoc. Prof. of Water Eng., Faculty of Civil Eng., University of Tabriz

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز
(نویسنده مسئول) ۰۴۱۱)۵۵۴۸۷۵۱
ali.nikjoofar@gmail.com

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

مربوط به شبکه توزیع، ابتدا جمع‌آوری گردیدند و سپس با وارد شدن به یکی از نرم‌افزارهای حل‌کننده هیدرولیکی شبکه مورد مطالعه، تحلیل هیدرولیکی شدند.

مسئله بهینه‌سازی شبکه توزیع آب در این تحقیق با دو تابع هدف حل شد که اولی حداقل‌سازی هزینه و دومی حداکثرسازی فشار بهینه بود. منظور از حداکثرسازی فشار بهینه، این است که تابع فشار با در نظر گرفتن مقادیر حداقل و حداکثر آن که در استانداردها آمده است بهینه‌سازی گردد زیرا اگر تابع هدف این مسئله تنها حداقل‌سازی هزینه در نظر گرفته شود آنگاه کوچک‌ترین قطرها به‌عنوان جواب انتخاب خواهند شد و این امر شبکه توزیع را با مشکل افت فشار مواجه خواهد کرد. لذا این مسئله در گروه مسائل چندمعیاره قرار می‌گیرد. ذینفع در تابع هدف اول، شرکت آب و فاضلاب بود که باید هزینه لوله‌ها را پرداخت می‌نمود و ذینفع در هدف دوم، مصرف‌کنندگان بودند که در برابر حق انشعاب پرداختی تقاضای فشار مناسب در شبکه را داشتند. در واقع فشار پایین موجب عدم تأمین کامل مصارف و یا تأمین نامطلوب آنها خواهد شد. برای نشان دادن توابع هدف و محدودیتها از روابط زیر استفاده شد

$$\text{Minimize } F_1 = \sum_{i=1}^n (C_i(D_i, L_i)) \quad (1)$$

(۲)

$$\text{Maximize } F_2 = \sum_{k=1}^{ND} \left[a \sum_{i=1}^{NJ} \left(\frac{JQ_{i,k}}{JQ_{Totalk}} \right) \left(\frac{P_{ik} - P_{ik}^{REF}}{P_{ik}^{REF}} \right)^b \right] \quad (3)$$

محدودیتها

$$g_j(H, D) = 0, \quad j=1,2,\dots,nn \quad (3)$$

$$H_j \geq H_j^{min}, \quad j=1,2,\dots,nn \quad (4)$$

$$D_i \in \{A\}, \quad i=1,2,\dots,np \quad (5)$$

که در این روابط

$C_i(D_i, L_i)$ هزینه هر لوله با قطر و طول مختلف، ND تعداد حالات طراحی، N_j تعداد گره‌های فشار، $JQ_{i,k}$ میزان تقاضا در گره i در دوره تناوب k ، JQ_{Totalk} میزان کل تقاضا در دوره تناوب k ، P_{ik} فشار ایجاد شده در گره i و در دوره تناوب k و P_{ik}^{REF} فشار حداقل که توسط طراح برای هر گره تعریف می‌شود، است.

روابط ۱ و ۲ به ترتیب نشان‌دهنده توابع هدف هزینه و فشار است. محدودیت رابطه ۳ اشاره به این نکته دارد که معادلات پیوستگی (رابطه ۶) و بقای انرژی (رابطه ۷) باید در گره‌های z صدق کند و رابطه ۴ که مربوط به هد آب است، باید از یک مقدار

در گذشته بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع بر مبنای تجربه انجام می‌شد. اما در دهه‌های اخیر برخی محققان با استفاده از روشهای برنامه‌ریزی خطی، دینامیکی و الگوریتم‌های تکاملی این کار را انجام داده‌اند [۱-۳]. ساویک^۱ و والترز^۲ هزینه یک شبکه توزیع آب را با استفاده از الگوریتم ژنتیک حداقل‌سازی کردند [۴]. همچنین سیمسون و همکاران^۳ استفاده از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی لوله‌های انتقال آب را با سایر روشها مقایسه کرده‌اند و به مزیت‌های این الگوریتم اشاره نموده‌اند [۵]. متیجاسویک و همکاران^۴ نیز با استفاده از نرم افزار مطلب^۵ یک شبکه توزیع آب را بهینه‌سازی کرده‌اند [۶]. گالتر^۶ و بوچارت^۷ یک شبکه توزیع آب را با دو هدف حداکثرسازی قابلیت اطمینان و حداقل‌سازی هزینه حل کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که در نظر گرفتن قابلیت اطمینان به‌عنوان یک تابع هدف در شبکه توزیع، مسئله پیچیده‌ای است و تعریف کلی و عمومی برای قابلیت اطمینان در شبکه وجود ندارد [۷]. ونیان و همکاران^۸ نیز تحقیقی را در مورد خروج گازهای گلخانه‌ای و تأثیر آن بر روی بهینه‌سازی سیستم‌های توزیع آب انجام داده‌اند که در آن دو هدف کاهش هزینه و کاهش گازهای گلخانه‌ای مدنظر بوده است [۸]. بهزادیان در پژوهشی، روشهای بهینه طراحی نمونه‌برداری از شبکه‌های توزیع آب شهری را به‌کمک روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاره و الگوریتم ژنتیک ارائه نموده‌اند [۹].

در راستای مطالعات مذکور هدف از انجام این تحقیق بهینه‌سازی شبکه توزیع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک دومعیاره بود. همچنین در این تحقیق برخلاف مطالعات قبلی از جمله مطالعه بهزادیان، فضای پارتو برای جوابهای برتر ارائه شد و به‌کمک تئوری بازی‌ها نقطه بهینه انتخاب گردید. در بخش بعدی مدل بهینه‌سازی دومعیاره توصیف گردید. سپس در بخش سوم، مطالعه موردی معرفی شد و در بخش چهارم به‌کمک الگوریتم ژنتیک دومعیاره نقاط بهینه مختلفی به‌دست آمد که در نهایت به‌کمک تئوری بازی‌ها نقطه بهینه تعیین شد. در واقع نوآوری این مطالعه تلفیق استفاده از الگوریتم ژنتیک و نیز تئوری بازی‌ها در مدیریت آب شهری بود.

۲- مواد و روشها

مراحل کاری در این پژوهش به این ترتیب انجام شد که داده‌های

1 Savic
2 Walters
3 Simpson et al.
4 Matijasevic et al.
5 MATLAB
6 Goulter
7 Bouchart
8 Wenyan et al.

مشخص یعنی H_j^{\min} بیشتر باشد. محدودیت رابطه ۵ مربوط به تعیین اقطار لوله‌ها است و اینکه باید از یک سری اقطار مشخص و تجاری استفاده شود.

$$\sum Q_{in} - \sum Q_{out} = Q \quad (6) \quad \text{معادله پیوستگی در هر گره:}$$

$$\sum h_f - \sum E_p = 0 \quad (7) \quad \text{معادله بقای انرژی در هر حلقه:}$$

در معادلات بالا

h_f مربوط به افت هد در لوله‌ها است که از طریق معادله هیزن-ویلیامز محاسبه می‌شود و E_p مقدار انرژی ورودی به شبکه توسط پمپ را نشان می‌دهد. عبارتی که در اینجا باعث غیرخطی شدن معادله می‌گردد h_f است. مدل بالا یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی پیچیده است که آن را می‌توان با یک الگوریتم تکاملی حل کرد که در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک چندمعیاره استفاده شد. ضعف اصلی الگوریتم ژنتیک در لحاظ کردن تمام محدودیتها است که برای حل این مشکل می‌توان محدودیت مربوط به معادلات بقای جرم و انرژی را توسط یک نرم‌افزار حل هیدرولیکی مثلاً WaterGems مدل کرد [۱۰].

همان‌طور که در رابطه ۲ نشان داده شده است، این تابع به صورت نسبت اختلاف فشار واقعی با فشاری که توسط طراح به عنوان فشار حداقل در نظر گرفته شده است به فشار واقعی تعریف می‌شود. از آنجایی که در تمام مراحل طراحی و بهینه‌سازی عامل میزان تقاضا برای هر گره مقدار ثابتی بود و نیز این عامل در افزایش و یا کاهش فشار مؤثر بود، در این رابطه گنجانده شد. با توجه به اینکه تابع هدف فشار، بدون بعد بود لذا با به‌کارگیری این عامل در تابع هدف، فشار مقادیر به‌دست آمده برای این تابع گستردگی کمتری داشت و امکان مقایسه این مقادیر و سهولت به‌منظور ترسیم نمودار فراهم گردید. در این تابع ضریب a به صورت خطی مقدار تابع را تغییر می‌دهد و در حقیقت نشان‌دهنده ارزش وزنی تابع هدف فشار است که با توجه به اینکه مسئله مطرح شده در این تحقیق دومعیاره بود و دو تابع هدف، موجود بود لذا برای ضریب a عدد ۱ انتخاب شد. اما ضریب b به صورت توانی است و اگر برابر ۱ در نظر گرفته شود ارزش وزنی افزایش فشار مشخص نمی‌گردد. به عنوان مثال اگر فشار در یک گره از ۲۰ Psi به ۲۱ Psi افزایش پیدا کند و در گره دیگر از ۶۰ Psi به ۶۱ Psi، ارزش وزنی افزایش در گره اول بیشتر از دومی خواهد بود بنابراین بهتر است که برای این ضریب، عددی کمتر از یک انتخاب گردد که با توجه به سعی و خطاهای انجام گرفته برای اعداد ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۸ نتیجه گرفته شد که بهتر است پارامتر b عدد ۰/۵ باشد. ذکر این نکته ضروری است که این حداکثرسازی فشار در محدوده مشخصی انجام

گرفت که به عنوان حداقل و حداکثر فشار در شبکه در نظر گرفته شد. در ایران حداکثر میزان فشار شبکه برابر ۵ اتمسفر و در مواردی ۷ اتمسفر است که این محدودیت در این تحقیق در نظر گرفته شد.

۲-۱- مطالعه موردی: شهر جدید سهند- فاز ۳

شهر جدید سهند با مختصات طولهای جغرافیایی بین $3^\circ - 46^\circ$ و $15^\circ - 46^\circ$ و عرضهای جغرافیایی بین $53^\circ - 37^\circ$ و $59^\circ - 37^\circ$ در ۲۰ کیلومتری جنوب غربی تبریز و در مجاورت جاده تبریز به مراغه، بر روی ارتفاعات مجاور دشت خسروشهر و دره اسکو واقع شده است و اختلاف ارتفاع آن با نقاط مجاور در دره اسکو بیش از یکصد متر است. رقوم متوسط این اراضی حدود ۱۶۰۰ متر است.

در ایران حداکثر فشار مجاز شبکه ۵ اتمسفر توصیه گردیده و در صورتی که وضعیت توپوگرافی منطقه، محدودیتی ایجاد نماید و یا اضافه هزینه قابل ملاحظه‌ای به طرح تحمیل گردد، می‌توان در مناطق محدودی از شبکه حداکثر فشار ۵ تا ۷ اتمسفر را مجاز دانست. حداقل فشار مجاز شبکه برای ساختمان‌های یک طبقه $1/4$ اتمسفر است و برای هر طبقه اضافی، به‌منظور تأمین ارتفاع و افت فشارهای داخلی ساختمان، $0/4$ اتمسفر به این عدد افزوده می‌شود. بر اساس استانداردهای موجود در صنعت آب، حداکثر سرعت مجاز در شبکه‌های توزیع آب به‌طور معمول ۲ متر در ثانیه و در مواقع آتش‌سوزی برابر $2/5$ متر در ثانیه توصیه می‌گردد و حداقل سرعت آب در لوله‌ها نباید از $0/3$ متر در ثانیه کمتر گردد [۱۱].

قطر لوله برای هر قسمت از شبکه باید به طریقی انتخاب شود که جایگزینی قطرهای کوچک‌تر موجب کاهش فشار شبکه از حد مجاز آن نگردد. حداقل قطر در لوله‌های فاقد شیر آتش‌نشانی معادل ۶۰ میلی‌متر و در لوله‌های دارای شیر آتش‌نشانی برابر ۱۰۰ میلی‌متر است. در ضمن در این تحقیق با در نظر گرفتن اقطار موجود در طراحی اولیه که بهینه‌سازی آن بر مبنای تجربه و آزمون و خطا بوده است، چند دسته گروه طراحی با اقطار مختلف تعیین شد که این دسته گروهها برای لوله‌های مختلف موجود در شبکه تعریف شده‌اند. به عنوان مثال دسته گروه تعیین شده برای خط لوله اصلی شبکه که آب را از مخزن به ابتدای شهر می‌رساند شامل اقطار بالای ۵۰۰ میلی‌متر است. این امر سرعت و دقت الگوریتم ژنتیک را افزایش می‌دهد.

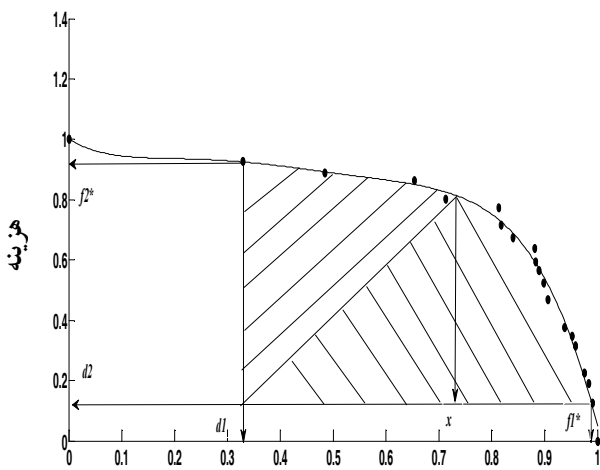
۳- نتایج و بحث

۳-۱- بهینه‌سازی شبکه

در این تحقیق برای حل مسئله بهینه‌سازی دومعیاره از الگوریتم ژنتیک استفاده گردید. الگوریتم ژنتیک تمام گزینه‌های ممکن برای حل مسئله را می‌آزماید تا جوابی را که در حدود تعیین شده قرار

دارند، ارائه دهد و این در حالی است که روشهای کلاسیک بهینه‌سازی در مسائل بزرگ قادر نیستند که بیشتر از یک جواب تولید کنند. اشاره به این نکته ضروری است که الگوریتم ژنتیک زمانی صحیح عمل خواهد کرد که پارامترهای آن به‌طور صحیح انتخاب شوند [۱۲]. پارامترهایی که بیشترین تأثیر را در عملکرد الگوریتم ژنتیک دومعیاره دارند عبارت‌اند از مقدار عددی حداکثر نقطه شروع و اندازه جمعیت که با افزایش آنها تعداد جوابهای حاصله بیشتر خواهد بود و فاکتور جریمه که در ادامه به آن اشاره خواهد شد. در مورد پارامتر مقدار عددی حداکثر نقطه شروع بهتر است اول از اعداد ۱ و ۲ شروع کرده و در هر تکرار با توجه به اندازه جمعیت، مقدار آن افزایش داده شود. در پارامتر اندازه جمعیت نیز ابتدا از اعداد کمتر مانند ۱۵۰ شروع کرده و در تکرارهای بعدی مقدار آن افزایش داده می‌شود تا تعداد جوابهای به‌دست آمده افزایش یابد. جدول ۱ به این پارامترها و عملکرد آنها اشاره می‌کند. هر قدر عدد اختصاص یافته به پارامتر جریمه بزرگ‌تر باشد، الگوریتم ژنتیک بر روی جوابهای عملی که از محدودیتهای تعیین شده تجاوز نمی‌کنند، تمرکز خواهد داشت و اگر این مقدار کمتر باشد (۵۰۰۰۰ یا کمتر)، جوابها در مرز عملی و غیر عملی خواهند بود. منظور از جواب عملی، جوابی است که منطقاً قابل اجرا باشد. توابع هدف الگوریتم ژنتیک از لحاظ همگرایی آزموده شدند. نتایج نشان داد که هر دو تابع هدف در نهایت به همگرایی رسیدند و نتیجه آزمون مثبت بود.

$$y = -12.92 \times x^5 + 26.31 \times x^4 - 19.93 \times x^3 + 6.633 \times x^2 - 1.038 \times x + 1 \quad (8)$$



شکل ۱- منحنی برازش داده شده بر روی داده‌های نرمال‌سازی شده

با توجه به نتایج، مشخص می‌گردد که بیشترین سود، مربوط به راه‌حل ۱۲ است که کمترین فشار در شبکه را ایجاد می‌کند. همچنین کمترین سود مربوط به راه‌حل ۶ است که متقابلاً بیشترین فشار را در شبکه ایجاد می‌کند. بنابراین نتیجه گرفته می‌شود که توابع هدف در این تحقیق در مقابل هم قرار داشته و با هم در رقابت هستند و با افزایش مقدار یکی، دیگری کاهش می‌یابد و امکان استفاده از تئوری بازی‌ها برای حل این مسئله وجود دارد.

۳-۲- یافتن نقطه بهینه با استفاده از روش مساحتیهای یکنواخت (تئوری بازی‌ها)

با استفاده از نظریه بازی‌ها می‌توان توابع هدف مختلف را در کنار هم در نظر گرفت و نقطه بهینه را انتخاب کرد. لیبای^۱ و هینی^۲ برای حل مسئله تخصیص آب در یک سیستم آب شهری از این نظریه استفاده کرده‌اند [۱۳]. اما به‌طور کلی این تئوری در حل مسائل مدیریت منابع و تخصیص آب کمتر به‌کار گرفته شده است. در این تحقیق برای انتخاب نقطه بهینه از تئوری بازی‌ها و روش مساحتیهای یکنواخت استفاده گردید که این خود یک نوآوری در

دارند، ارائه دهد و این در حالی است که روشهای کلاسیک بهینه‌سازی در مسائل بزرگ قادر نیستند که بیشتر از یک جواب تولید کنند. اشاره به این نکته ضروری است که الگوریتم ژنتیک زمانی صحیح عمل خواهد کرد که پارامترهای آن به‌طور صحیح انتخاب شوند [۱۲]. پارامترهایی که بیشترین تأثیر را در عملکرد الگوریتم ژنتیک دومعیاره دارند عبارت‌اند از مقدار عددی حداکثر نقطه شروع و اندازه جمعیت که با افزایش آنها تعداد جوابهای حاصله بیشتر خواهد بود و فاکتور جریمه که در ادامه به آن اشاره خواهد شد. در مورد پارامتر مقدار عددی حداکثر نقطه شروع بهتر است اول از اعداد ۱ و ۲ شروع کرده و در هر تکرار با توجه به اندازه جمعیت، مقدار آن افزایش داده شود. در پارامتر اندازه جمعیت نیز ابتدا از اعداد کمتر مانند ۱۵۰ شروع کرده و در تکرارهای بعدی مقدار آن افزایش داده می‌شود تا تعداد جوابهای به‌دست آمده افزایش یابد. جدول ۱ به این پارامترها و عملکرد آنها اشاره می‌کند. هر قدر عدد اختصاص یافته به پارامتر جریمه بزرگ‌تر باشد، الگوریتم ژنتیک بر روی جوابهای عملی که از محدودیتهای تعیین شده تجاوز نمی‌کنند، تمرکز خواهد داشت و اگر این مقدار کمتر باشد (۵۰۰۰۰ یا کمتر)، جوابها در مرز عملی و غیر عملی خواهند بود. منظور از جواب عملی، جوابی است که منطقاً قابل اجرا باشد. توابع هدف الگوریتم ژنتیک از لحاظ همگرایی آزموده شدند. نتایج نشان داد که هر دو تابع هدف در نهایت به همگرایی رسیدند و نتیجه آزمون مثبت بود.

جدول ۱- دامنه پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک

پارامتر	اصطلاح انگلیسی	حد پایین	حد بالا
مقدار عددی حداکثر نقطه شروع	Maximum Era Number	۱	۱۰
مقدار عددی نسل اول	Era Generation Number	متناسب با دیگر معیارهای عددی بزرگتر از ۱	۱
اندازه جمعیت	Population Size	۵۰	۱۵۰
احتمال قطع شدن	Cut Probability	۱ درصد	۱۰ درصد
احتمال اتصال	Splice Probability	۵۰ درصد	۹۰ درصد
احتمال جهش	Mutation Probability	۱ درصد	۱۰ درصد
كاوش تصادفی	Random Seed	۰	۱
فاکتور جریمه	Penalty Factor	۱۰۰۰	با بزرگ‌تر شدن این معیار محدودیتها تأثیر بیشتری خواهند داشت

بعد از اینکه داده‌های مورد نیاز وارد نرم‌افزار حل هیدرولیکی شدند و شبکه حل اولیه شد با استفاده از ابزار الگوریتم ژنتیک دو معیاره، مسئله بهینه‌سازی گردید. نتایج این بهینه‌سازی که شامل ۲۰ راه‌حل بود بعد از نرمال‌سازی مقادیر توابع هدف منحنی پارتوی

¹ Lippai
² Heaney

حل مسئله بهینه‌سازی شبکه توزیع آب بود. این روش بر پایه تقسیم مساوی مساحت زیر منحنی پارتو است (شکل ۱). حال اگر دو تابع هدف نامتقارن بوده و ضرایب وزنی متفاوتی داشته باشند، می‌توان نقطه بهینه را از طریق رابطه غیرخطی ۹ حل کرد [۱۴]

$$w_2 \left[\int_{d_1}^x g(t) dt - \frac{1}{2} (x - d_1)(g(x) + d_2) \right] = w_1 \left[\int_x^{f_1^*} g(t) dt - (f_1^* - x)d_2 + \frac{1}{2} (x - d_1)(g(x) - d_2) \right]$$

که در این رابطه

تابع $g(t)$ همان تابع y در رابطه ۸ است و هدف از حل این رابطه یافتن x (نقطه بهینه) است. در این رابطه w_1 و w_2 ضرایب وزنی توابع هدف، همچنین d_1 و f_1^* نقاط مطلوب و نامطلوب تابع هدف فشار و d_2 نقطه مطلوب تابع هدف هزینه است.

حال با توجه به منحنی برازش داده شده و تعیین نقاط مطلوب و نامطلوب توابع هدف، با قرار دادن این مقادیر در رابطه ۹ می‌توان مقدار نقطه بهینه را برای درصدهای وزنی مختلف محاسبه کرد. این نقاط به منحنی اصلی پارتو انتقال داده شده و هزینه و فشار متناظر با این نقاط مشخص می‌شوند که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج، مشخص می‌شود که وقتی ضرایب وزنی توابع هدف به هم نزدیک نیستند جوابهای به دست آمده نامطلوب هستند. به عنوان مثال وقتی ضریب وزنی تابع هدف فشار ۱۰ درصد است جواب را به طرف نقطه حداقل هزینه (حداکثر سود) و حداقل فشار سوق می‌دهد و وقتی تابع هدف، سود ضریب وزنی ۱۰ درصد دارد

جواب را به طرف نقطه حداکثر هزینه (حداقل سود) و حداکثر فشار سوق می‌دهد. این کار به طور عملی و با استفاده از نرم افزار WaterGems انجام شد و نتایج حاصل شده قابل قبول نبود. با توجه به اینکه در این تحقیق به تعیین وزن دقیق توابع هدف پرداخته نشد، با آزمون و خطا بر روی وزنهای مختلف می‌توان نتیجه گرفت که بهترین جواب در محدوده‌ای بود که در آن ضرایب وزنی با هم برابر بوده و یا نزدیک به هم بودند. در نتیجه جوابهای شماره ۸، ۲۰ و ۱۴ به عنوان بهترین راه‌حلهای انتخاب شدند. با استفاده از یک نرم افزار حل هیدرولیکی، شبکه قطره‌های مشخص شده در این جوابها برای لوله‌ها تعریف شد و شبکه مجدداً حل گردید. با توجه به نتایج به دست آمده، راه حل ۱۴ به عنوان بهترین راه حل انتخاب شد. بر آورد هزینه طرح نهایی شبکه سه‌سند طبق فهرست‌بهای شبکه توزیع آب روستایی در حدود شانزده میلیارد ریال در سال ۱۳۸۹ بوده است که با کمک بهینه‌سازی دومعیاره در این تحقیق مبلغی در حدود دو میلیارد ریال معادل ۱۳ درصد کل مبلغ پروژه صرفه جویی شد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق شبکه توزیع آب شهر جدید سهند به کمک الگوریتم ژنتیک دومعیاره بهینه‌سازی گردید. در این مدل علاوه بر کاهش هزینه، افزایش فشار در عرضه آب نیز هدف بود و همزمان نقاط بهینه پارتو ارائه شد. برای انتخاب نقطه بهینه نهایی، از دیدگاه تئوری بازی‌ها (روش مساحت‌های یکنواخت) به عنوان یک نوآوری در این مسئله استفاده و نقطه بهینه انتخاب گردید. سپس به کمک نرم افزار WaterGems که خود ابزار بهینه‌سازی را دارد، طراحی

جدول ۲- نتایج بهینه به کمک تئوری بازی‌ها (به روش مساحت‌های یکنواخت)

شماره حل	فشار (Psi)	هزینه (میلیون ریال)	نزدیک‌ترین جواب	x	وزن معیار سود	وزن معیار فشار
۸	۲۷۳/۴۶	۱۳۵۹۲	۰/۸۱۸	۰/۷۲۸	۰/۵	۰/۵
۱۱	۲۴۸/۷۱	۱۲۱۸۳	۰/۴۸۴	۰/۹۰۴	۰/۹	۰/۱
۱۱	۲۴۸/۷۱	۱۲۱۸۳	۰/۴۸۴	۰/۸۷۹	۰/۸	۰/۲
۱۶	۲۶۱/۲۸	۱۲۳۹۸	۰/۶۵۴	۰/۸۵۲	۰/۷	۰/۳
۲۰	۲۶۵/۶۹	۱۲۸۷۸	۰/۷۱۳	۰/۸۰۸	۰/۶	۰/۴
۱۴	۲۷۸/۰۹	۱۴۲۴۴	۰/۸۸۱	۰/۶۲۱	۰/۴	۰/۶
۲	۲۷۹/۹۷	۱۵۶۳۸	۰/۹۰۶	۰/۵۰۲	۰/۳	۰/۷
۱	۲۸۲/۳۳	۱۶۳۸۰	۰/۹۳۸	۰/۳۷۳	۰/۲	۰/۸
۴	۲۸۵/۰۴	۱۷۶۲۰	۰/۹۷۵	۰/۲۴۸	۰/۱	۰/۹

۵- قدردانی

به این وسیله نویسندگان این مقاله، از شرکت آذرگستر آب که در تهیه داده‌های این تحقیق همکاری نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایند.

لازم برای تمام اجزای شبکه صورت گرفت. کاهش همزمان هزینه تا ۱۳ درصد و افزایش فشار عرضه آب از نتایج استفاده از این مدل نسبت به طراحی متداول بود، لذا استفاده از این مدل برای کاهش هزینه روزافزون عرضه آب در سایر شهرها توصیه می‌گردد.

۶- مراجع

- 1- Banos, R., Gil, C., Reza, J., and Montoya, F.G. (2010). "A memetic algorithm applied to the design of water distribution networks." *J. of Applied Soft Computing*, 10(1), 261-266.
- 2- Walski, T.M. (2001). "The wrong paradigm-why water distribution optimization doesn't work." *J. of Water Resources Planning and Management*, 127(4), 203-205.
- 3- Todini, E. (2000). "Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic approach." *J. Urban Water*, 2(3), 115-122.
- 4- Savic, D., and Walters, G. (1997). "Genetic algorithms for least cost design of water distribution networks." *J. of Water Resources Planning and Management*, 123(2), 67-77.
- 5- Simpson, A.R., Dandy, G.C., and Murphy, L.J. (1994). "Genetic algorithms compared to other techniques for pipe optimization." *J. of Water Resources Planning and Management*, 120(4), 423-443.
- 6- Matijasevic, L., Dejanovic, I., and Spojka, D. (2010). "A water network optimization using MATLAB: A case study." *J. of Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1362-1367.
- 7- Goulter, I.C., and Bouchart, F. (1990). "Reliability constrained pipe networks model". *J. of Hydraulics Engineering*, 116(2), 211-229.
- 8- Wenyan, W., Simpson, A., and Maier, H. (2010). "Accounting for greenhouse gas emissions in multiobjective genetic algorithm optimization of water distribution systems." *J. of Water Resources Planning and Management*, 136(2), 146-155.
- 9- Behzadian, K. (2008). "Development of optimal sampling design methods for calibration of water distribution networks by using multi-criteria decision making." Ph.D. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Technology, Iran. (In Persian)
- 10- Water GEMS. <www.haestad.com>
- 11- Florescu, C., Mirel, I., Carabet, A., and Pode, V. (2010). "Modeling flow processes in urban distribution networks." *Revistade Chimie*, 61(11), 1125-1129.
- 12- Tabesh, M., Azadi, B., and Rouzbahani, A. (2011) "Optimization of chlorine injection dosage in water distribution networks using a genetic algorithm." *J. Water and Wastewater*, 22(1), 2-11. (In Persian)
- 13- Lippai, I., and Heaney, J.P. (2000). "Efficient and equitable impact fees for urban water systems." *J. of Water Resources Planning and Management*, 126 (2), 75-84.
- 14- Salazar, R., Szidarovaszky, F., Coppola, E., and Rojano, A. (2007). "Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico." *J. of Environmental Management*, 84, 560-571.