

طراحی بهینه شبکه جمع آوری آب‌های سطحی با استفاده توأم از الگوریتم ژنتیک و ماجول SWMM-Transport

احمد علی سادات دربندی، محمد هادی افشار و عباس افشار

چکیده: در این پژوهش، مدل جدیدی برای طراحی بهینه شبکه جمع آوری آب‌های سطحی ارائه شده است. در این مدل، الگوریتم ژنتیک بعنوان موتور بهینه ساز و ماجول Transport از نرم‌افزار SWMM 4.4h بعنوان موتور شبیه‌ساز هیدرولیکی با یکدیگر تلفیق شده اند. این تلفیق به دو روش متفاوت صورت گرفته و موفقیت هر روش در رسیدن به جواب «تزدیک به بهینه» آزمایش شده است. کاربرد موفق مدل در مورد مثال‌های نمونه مورد نظر محققان متعدد، چشم‌انداز مثبتی را از کارایی مدل توسعه یافته ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، بهینه سازی، SWMM-Transport، شبکه آب‌های سطحی

۱. مقدمه

طراحی بهینه شبکه‌های جمع آوری آب‌های سطحی در دو دهه گذشته با استقبال فراوان محققین همراه بوده است. اکثر تلاش‌های صورت گرفته در زمینه طراحی بهینه شبکه‌های جمع آوری آب‌های سطحی از مدل‌های مختلف برنامه ریزی پویا (DP) استفاده کرده‌اند. نمونه این تلاش‌ها در کارهای آقایان Kulkarni & Khanna (۱۹۸۵)، Robinson & Labadie (۱۹۸۱)، و Yen و همکاران (۱۹۸۴) مشاهده می‌شود. اخیراً آقای Elimam و همکاران (۱۹۸۹) از ترکیب الگوریتم برنامه ریزی خطی و روش کنکاشی به همراه خطی‌سازی قطعه ای توابع غیر خطی برای طراحی شبکه‌های بزرگ مقیاس زهکشی شهری استفاده نمودند [3]. کلیه مدل‌های اشاره شده از محدودیت ابعادی رنج می‌برند و لذا کاربری آنها به شبکه‌های با ابعاد کوچک و متوسط محدود می‌شود. Miles & Heaney (۱۹۸۸) امکان طراحی سیستم‌های زهکشی شهری را در محیط صفحه گسترده و با اعمال روش جستجوی مستقیم کارشناسی بررسی و نتایج آن را با روش برنامه ریزی پویا (DP) مقایسه کردند و

با استفاده از این مقایسه بر روی قابلیت‌ها و محدودیت‌های روش پیشنهادی در محیط صفحه گسترده برای طراحی شبکه‌ها بحث کرده‌اند [10]. Brown & Kousis (۱۹۸۷) نیز با استفاده از روش ترکیب هیدروگراف‌ها و بهره‌گیری از روش روند یابی ماسکینگام (Muskingum) به طراحی سیستم‌های زهکشی شهری در محیط صفحه گسترده پرداخته‌اند [2]. Afshar & Zamani (۲۰۰۲) نیز با معرفی یک شاخص کاهش هزینه از مدل SSWDM برای طراحی بهینه شبکه زهکشی شهری در محیط صفحه گسترده استفاده کرده‌اند [1].

از الگوریتم ژنتیک (GA) بیشتر در بهینه سازی شبکه توزیع آب و همچنین استخراج قوانین بهره‌برداری از مخازن آب‌های سطحی استفاده شده است [12, 13]. بخشی از دلایل عدم استقبال از این روش در طراحی بهینه شبکه جمع آوری رواناب سطحی در بخش‌های آینده ارائه خواهد شد. با این حال موفقیت الگوریتم ژنتیک در سایر عرصه‌ها، خصوصاً در زمینه‌های مشابه شبکه جمع-آوری آب‌های سطحی چشمگیر است و امید موفقیت ژنتیک در این عرصه را افزایش می‌دهد. Wang در سال ۱۹۹۱ از GA برای کالیبره کردن یک مدل مفهومی بارش-رواناب استفاده کرد [14]. کارمشابهی نیز توسط Franchini در سال ۱۹۹۶ انجام شد. وی برای کالیبره کردن یک مدل مفهومی بارش-رواناب، الگوریتم ژنتیک را با برنامه ریزی غیر خطی متوالی ترکیب کرد [5]. Fahmy و همکاران نیز در سال ۱۹۹۴ از GA در سیستم مدیریت رودخانه و سیستم بهره برداری از مخزن استفاده کرده، عملکرد GA را با DP مقایسه کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که الگوریتم‌های ژنتیک پتانسیل استفاده در سیستم‌های بزرگ حوزه رودخانه را دارند [4].

نسخه اصلی مقاله در تاریخ ۱۳۸۲/۷/۱۳ واصل، و پس از بازنگریهای لازم، در تاریخ ۱۳۸۳/۷/۱۱ به تصویب نهایی رسیده است.
احمد علی سادات دربندی، دستیار تحقیقات، دانشگاه علم و صنعت ایران.
adarbandi@gmail.com
دکتر محمد هادی افشار، استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران. mhafshar@iust.ac.ir
دکتر عباس افشار، استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران. a_afshar@iust.ac.ir

برآورده سازد. شاخص هایی که در انتخاب مدل مد نظر بود بدین قرارند:

۱. قابلیت ترکیب با الگوریتم ژنتیک را داشته باشد.
۲. مدلی قوی، شناخته شده و قابل اطمینان باشد.
۳. قابلیت بارگذاری شبکه با هیدروگراف را داشته باشد.
۴. قادر به برآورده کردن نیازهای الگوریتم ژنتیک باشد.
۵. حتی الامکان قابلیت توسعه در آینده را داشته باشد.
۶. برای طراحی و تحلیل شبکه های با ابعاد و ظرفیت بالا مناسب بوده، امکان لحاظ کردن نقش پخش سیل، گره های انبارشی و مخازن نگهداشت موقت سیل را داشته باشد. به بیان دیگر قادر به تحلیل جریان های غیر ماندگار باشد.

با در نظر گرفتن این شاخص ها بلوک Transport از نرم افزار SWMM مورد توجه قرار گرفت. Transport در بین سایر مدل ها در زمره مدل هایی است که توانایی بارگذاری شبکه با هیدروگراف، روندیابی با استفاده از روش موج سینماتیک و تحلیل و طراحی شبکه را دارد. دو نکته مهم دیگر در مورد Transport وجود دارد. اول آنکه این ماجول می تواند قطر اعضای یک شبکه را طراحی کند. بنابراین در تلفیق با GA می تواند وظیفه طراحی قطر اعضا را بعهده بگیرد. لذا تعدد و تنوع متغیرهای تصمیم و همچنین قیود مسأله را کاهش داده، سرعت همگرایی جواب ها را افزایش می دهد. نکته دوم قابلیت روند یابی آلاینده ها در این ماجول است که امکان توسعه مدل و لحاظ کردن پارامترهای کیفی و زیست محیطی را فراهم می آورد.

الگوریتم ژنتیک (GA) دارای ویژگی هایی است که آنرا از دیگر الگوریتم های بهینه سازی ریاضی متمایز می کند. کاربرد گسترده GA در طراحی بهینه شبکه های توزیع آب شهری و مهندسی منابع آب نشان از قابلیت آن در طراحی بهینه سیستم های جمع آوری آبهای سطحی دارد. گر چه تا کنون از این الگوریتم در طراحی سیستم های زهکشی سطحی استفاده نشده است، لکن ویژگی های خاص عملگر های این روش و بالا بودن شانس رسیدن به بهینه سراسری، نسبت به سایر الگوریتم های جستجو، سبب شد تا GA به عنوان بهینه ساز انتخاب شود. به نظر می رسد که عدم اقبال محققان در استفاده از GA برای طراحی بهینه شبکه جمع آوری آبهای سطحی، معلول علت های زیر بوده است:

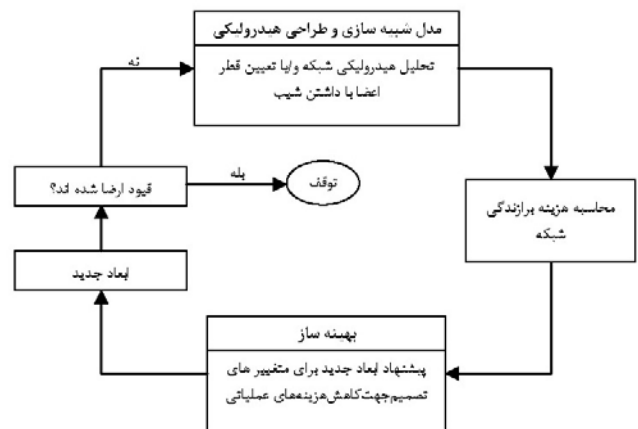
۱. وجود متغیر های تصمیم گیری پیوسته (مانند شیب کارگذاری لوله ها) و گسسته (مانند قطر لوله ها)
۲. مقید بودن سیستم زهکشی
۳. غیر خطی بودن سیستم هیدرولیکی و توابع هزینه شبکه نسبت به متغیر های تصمیم و ضرورت استفاده از یک مدل تحلیل گر جامع هیدرولیکی

با درک اهمیت موضوع و مشکلات احتمالی ناشی از بکارگیری GA و با عنایت به ویژگی های مثبت آن، استفاده از الگوریتم ژنتیک در

هدف اصلی این تحقیق ارایه مدلی برای طراحی بهینه شبکه جمع آوری و دفع سیلاب شهری است. نگاهی به مقالات و تحقیقات موجود نشان می دهد که الگوریتم های بهینه سازی متفاوتی، تحت شرایط مختلف، به خدمت گرفته شده و مدل های گوناگونی ارایه شده است. در این میان تحقیق جدی با استفاده از الگوریتم ژنتیک صورت نگرفته، در حالی که این الگوریتم در حوزه های مشابه مانند طراحی شبکه آب شهری جواب های بسیار خوبی داده است. لذا در این تحقیق سعی شده است برای بهینه سازی شبکه جمع آوری سیلاب شهری از الگوریتم ژنتیک استفاده شود. برای استفاده از الگوریتم ژنتیک باید یک مدل تحلیل هیدرولیکی نیز به خدمت گرفته شود تا کار ارزیابی نسل های تولید شده را انجام دهد. هر چه مدل هیدرولیکی قوی تر باشد، نتایج تحلیل نیز به واقعیت نزدیک تر خواهد بود و در نتیجه کار ارزیابی نسل ها با دقت بهتری صورت خواهد گرفت. برای این منظور نیز از بلوک Transport (ماجول تحلیل هیدرولیکی و طراحی نرم افزار SWMM (Storm Water Management Model) استفاده شده است [7].

۲. توسعه مدل طراحی بهینه

به منظور لحاظ کردن فرایند روند یابی هیدروگراف در شبیه سازی هیدرولیکی و استفاده از دانش روز در ماجول های بهینه ساز، تلاش شد تا ساختاری جامع و قابل تعمیم به کلیه شرایط تهیه شود. برای این منظور از ترکیب یک شبیه ساز قوی و مطمئن برای شبیه سازی هیدرولیکی و یک بهینه ساز با قابلیت بالا برای بهینه سازی سیستم استفاده شد. ساختار کلی مدل پیشنهادی (GA-TRANS) در شکل (۱) نمایش داده شده است. وظیفه مدل تحلیل شبکه در سیستم پیشنهادی، محاسبه سرعت و عمق آب در لوله هاست که پس از انجام فرایند روندیابی با روش موج سینماتیک، انجام می شود.

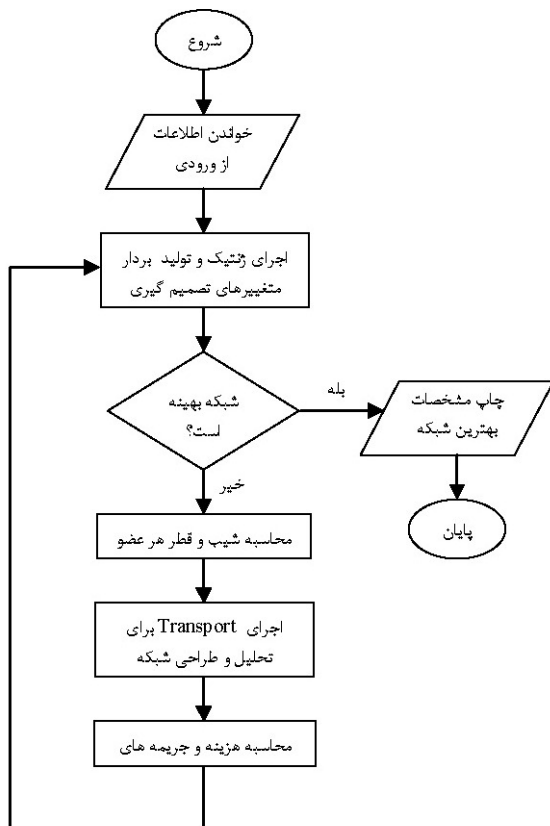


شکل ۱. ساختار کلی مدل پیشنهادی

هر اندازه که مدل تحلیل شبکه قویتر باشد، شرایط طبیعی را بهتر شبیه سازی می کند و بهتر می تواند نیاز های الگوریتم ژنتیک را

$$\min ZZ = \left\{ \sum_{i=1}^N f_i(d_i, \bar{Z}_i, C_i, L_i) + \sum_{i=1}^N [g1_i(V_i, V_{Max}, V_{min}) + g2_i(y_i, d_i) + g3_i(q_i, Q_i^*) + q4_i(S_i, SC_{min})] + \sum_{j=1}^{Node} g5_j(h_j, H_j) \right\} \quad (10)$$

ساختار توابع تاوانی به گونه ای انتخاب شده است که منعکس کننده اهمیت عدم ارضاء قیودات بوده، در نهایت طرح هایی انتخاب شود که کلیه قیودات را ارضا کرده باشد. جزئیات بیشتر در رابطه با میزان و چگونگی تغییرات مقدار تاوان هر یک از قیود در قسمت کاربرد مدل ارائه شده است. توضیح اینکه مقادیر مؤلفه های هیدرولیکی اعم از سرعت و عمق جریان در کلیه شاخه ها از حل مدل شبیه ساز (SWMM-Transport) حاصل و به عنوان ورودی به مدل بهینه ساز (GA) تزریق می شود. ساختار جزئی تر مدل GA-TRANS در شکل (۲) ارائه شده است. در ساختار مدل GA، هر متغیر تصمیم بصورت کد و با یک ژن معرفی می شود و مجموعه ژن ها (کروموزوم) در هر حالت یک گزینه طراحی را شکل می دهد. سپس فرایند بهینه سازی با عملکرد های ترکیب متقابل (Cross-Over)، جهش (Mutation) و انتخاب طبیعی (Selection) صورت می گیرد [6]. بنابراین اولین گام در استفاده از GA، کد گذاری متغیرهای تصمیم است.



شکل ۲. ساختار جزئی مدل GA-TRANS

دستور کار قرار گرفت. ضرورت و امکان بکارگیری یک شبیه ساز هیدرولیکی قوی و جامع می تواند بر توجیه پذیری GA بیفزاید.

۳. فرمول بندی مسأله

بطور کلی مدل طراحی بهینه شبکه جمع آوری آبهای سطحی را می توان به شکل زیر فرمول بندی کرد:

$$\min Z = \sum_{i=1}^N f_i(d_i, \bar{Z}_i, c_i, L_i) \quad (1)$$

رابطه (۱) به عنوان تابع هدف مقید به قیود زیر می باشد:

$$q_i \geq Q_i^* \quad , \quad \forall i \quad (2)$$

$$V_i \leq V_{Max} \quad , \quad \forall i \quad (3)$$

$$V_i \geq V_{min} \quad , \quad \forall i \quad (4)$$

$$\frac{y_i}{d_i} \leq \alpha \quad , \quad \forall i \quad (5)$$

$$h_j \geq H_j \quad , \quad \forall j \quad (6)$$

$$S_i \geq SC_{min} \quad , \quad \forall i \quad (7)$$

$$E_i \leq E_{Max} \quad , \quad \forall i \quad (8)$$

$$E_i \geq E_{min} \quad , \quad \forall i \quad (9)$$

که در آن d_i = قطر شاخه i ، \bar{Z}_i = متوسط عمق خاکبرداری در شاخه i ، C_i = هزینه واحد خاکبرداری در شاخه i ، L_i = طول شاخه i ، q_i = ظرفیت شاخه i ، Q_i^* = دبی طرح شاخه i ، V_i = سرعت در شاخه i ، V_{Max} ، V_{min} = حداکثر و حداقل سرعت مجاز، y_i = عمق جریان در شاخه i ، d_i = قطر شاخه i ، E_i = عمق پوشش لوله i ، E_{min} ، E_{Max} = حداکثر و حداقل پوشش لازم، α = حداکثر درصد پرشدگی مجاز، h_j = تراز آب در گره j (شاخه آورنده)، H_j = تراز آب شاخه پذیرنده در گره j ، SC_{min} = حداقل شیب مجاز در شاخه ها (صفر در حالت کلی)، i = شاخص لوله، j = شاخص گره.

در مدل فوق، تابع هزینه یک تابع غیر خطی است. علاوه بر آن، اگر الگوی جریان ورودی به شبکه بصورت هیدروگراف باشد، مقدار Q_i^* نیز ثابت نبوده و حسب نوع هیدروگراف ورودی، رفتار و مشخصه های هیدرولیکی شاخه i و شرایط اولیه متغیر خواهد بود. امکان لحاظ کردن هیدروگراف ورودی از جمله نکات قابل توجه و مثبت ماجول Transport از مدل SWMM بوده که در مدل سازی نامقید است و برای مدل های مقید باید از تدابیر خاصی بهره گرفت. در این تحقیق از روش تابع تاوانی (Penalty Function) استفاده شده است. در این روش کلیه قیود مسأله با اعمال توابع تاوانی خاص در تابع هدف لحاظ شده و بدین ترتیب مدل مقید (۱) تا (۹) بصورت مدل نامقید زیر تغییر شکل یافته است:

کردن هزینه شبکه از یک مقدار ثابت بزرگ است. روش دیگر استفاده از معکوس هزینه شبکه بعنوان برازندگی شبکه است که در این تحقیق استفاده شده است. لذا در روش مورد استفاده با کاهش هزینه‌ها، برازندگی شبکه افزایش می‌یابد و شانس استفاده از اطلاعات آن شبکه برای تولید شبکه‌های بعدی بیشتر می‌شود. قیود مختلف در طراحی شبکه جمع آوری رواناب در معادلات (۲) تا (۹) آورده شده است. شیوه مورد استفاده در کار حاضر اینست که فرض می‌شود تخلف از این قیود هزینه‌ای اضافی به شبکه تحمیل می‌کند. لذا باید این هزینه‌های اضافی محاسبه شده، به تابع هدف (هزینه سیستم) افزوده شود. از قیود ذکر شده برای شبکه، قیود (۶)، (۸) و (۹) در محاسبات GA و SWMM-Transport وارد می‌شوند و لذا هیچگاه تخطی از این قیود وجود ندارد. لذا برای قیودی که امکان تخلف از آنها وجود دارد توابع توانایی به شکل زیر لحاظ شده است.

تخلف از حداقل شیب:

$$gix = \text{تعداد اعضای دارای شیب منفی} \quad (11)$$

$$(P_gix) = \alpha_s^{(gix)} \quad (12)$$

تخلف از ظرفیت شاخه:

$$gix = \left(\frac{A}{B}\right)^2 \quad (13)$$

A: حجم آب مازاد بر ظرفیت پر شاخه‌ها:

B: کل زمان بیرون ریختن آب:

$$(P_gix) = \alpha_{sur} \times (gix) \quad (14)$$

تخلف از سرعت‌های مجاز:

$$\begin{cases} gix = \left(1 - \frac{V}{V_{max}}\right)^2 & V > V_{max} \\ (P_gix) = \alpha_{vel} \times (gix) \end{cases} \quad (15)$$

$$\begin{cases} gix = \left(1 - \frac{V_{min}}{V}\right)^2 & V < V_{min} \\ (P_gix) = \alpha_{vel} \times (gix) \end{cases} \quad (16)$$

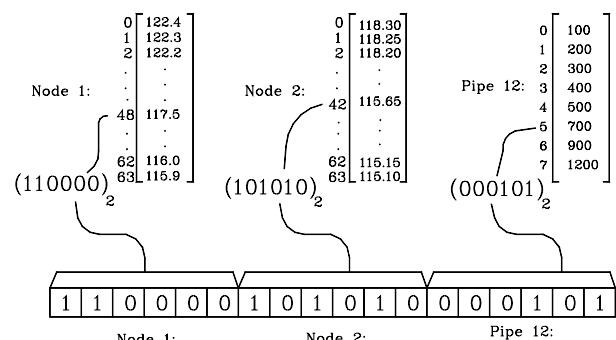
تخلف از حداکثر درصد پرشدگی مجاز:

$$\begin{cases} gix = \left(1 - \frac{h}{h_{max}}\right)^2 & h > h_{max} \\ (P_gix) = \alpha_H \times (gix) \end{cases} \quad (17)$$

که در آن gix مقدار تخلف از قید و (P_gix) هزینه آن است که قبل از محاسبه برازندگی شبکه به تابع هزینه اضافه می‌شود. از gix بعنوان شاخص وجود تخلف از قید استفاده می‌شود که صفر بودن آن به معنای رسیدن به شبکه‌ای است که کلیه قیود طراحی در آن ارضا شده است.

انتخاب طبیعی را می‌توان در این الگوریتم به هر دو شیوه تورنمنت (Tournament) و چرخ گردان (Roulette Wheel) انجام داد. شایان ذکر است که روش تورنمنت بعنوان روش اصلی انتخاب در نظر گرفته شده است. روش چرخ گردان نیز برای ایجاد امکان مقایسه با روش تورنمنت در کنار آن آورده شده است. برای انجام ترکیب متقابل از روش یک نقطه‌ای (One-Point Crossover) استفاده شده

روش‌های مختلفی برای کدگذاری وجود دارد. در روش «مقدار واقعی» خود عدد صحیح یا اعشاری مقدار ژن را تشکیل می‌دهد و ترکیب متقابل و جهش در آن به شیوه خاصی انجام می‌شود. تجربیات گذشته نشان داده که این روش برای کدگذاری متغیرهای پیوسته مناسب است [6]. در روش دودویی ژنتیک استاندارد، مقدار هر ژن برابر مقدار متغیر تصمیم در مبنای ۲ است و لذا برای استفاده با متغیرهای گسسته مناسب است. در این مسأله که هر دو متغیر پیوسته و گسسته وجود دارد از روش کد گذاری دودویی نقطه ثابت استفاده می‌شود. در این شیوه متغیرهای پیوسته (تراز گره‌ها) در بازه معین خود به تعداد مشخصی، مثلاً ۶۴ عدد گسسته می‌شوند و این مقادیر گسسته در یک بردار قرار می‌گیرند. از این پس تمامی متغیرهای مسأله متغیرهای گسسته هستند که بترتیب نزولی یا صعودی در بردارهایی قرار گرفته‌اند. بنابراین می‌توان به هر متغیر گسسته عددی صحیح نسبت داد که برابر ردیف آن متغیر در بردار مربوط است. این عدد در مبنای ۲ بعنوان کد متغیر مورد-نظر (ژن) استفاده می‌شود. این ژن‌ها بصورت یک رشته کنار هم چیده می‌شوند و کروموزوم ریشه‌ای را تشکیل می‌دهند. شکل (۳) نمونه‌ای از یک کروموزوم مورد اشاره را نشان می‌دهد. بعد از انجام عمل ترکیب متقابل و جهش، مقدار جدید هر ژن در مبنای ۱۰ حساب می‌شود. همانگونه که گفته شد، این عدد برابر ردیف یک متغیر تصمیم در بردار مقادیر گسسته آن متغیر است. در نتیجه مقدار جدید متغیر تصمیم جایگزین مقدار قبلی می‌گردد. مقدار هر ژن معرف مکانی از حافظه است که یک مقدار گسسته در آنجا وجود دارد. گرچه در این مدل می‌توان از قطر لوله‌ها و تراز ارتفاعی گره‌ها بعنوان متغیرهای تصمیم استفاده کرد، لکن به منظور سهولت کار در این تحقیق فقط از تراز گره‌ها بعنوان متغیر پیوسته استفاده شده و وظیفه محاسبه قطر لوله‌ها به ماجول دیگری محول شده است. بنابراین در این مسأله هر کروموزوم (بردار متغیرهای تصمیم) حاوی نقاط ارتفاعی گره‌های یک شبکه است.



شکل ۳. نمونه یک کروموزوم و نحوه تشکیل آن

از آنجا که هدف مسأله به حداقل رساندن هزینه یک شبکه است، شبکه‌ای که هزینه کمتری داشته باشد، بهینه‌تر است و برازندگی (Fitness) بالاتری دارد. یک روش برای محاسبه برازندگی شبکه، کم

طراحی می‌نماید. به عبارت دقیق‌تر، بردار متغیرهای تصمیم فقط حاوی رقوم گره‌هاست و توسط GA تعیین می‌شود. با استفاده از این بردار مقدار شیب هر شاخه تعیین می‌گردد و حداقل قطر لوله‌های موجود در بازار بعنوان قطر تمامی شاخه‌ها در نظر گرفته می‌شود. این اطلاعات به همراه کلیه قطرهای لوله موجود در بازار بعنوان ورودی به Transport داده می‌شوند تا این ماجول ضمن بارگذاری شبکه با هیدروگراف و تحلیل آن، قطرهای مناسب هر شاخه را نیز طراحی کند. بردارهای حداکثر سرعت های موجود در هر شاخه، حداکثر ارتفاع آب در هر شاخه و قطرهای طراحی شده برای هر شاخه، خروجی‌های SWMM-Transport را تشکیل می‌دهند. سپس هزینه شبکه محاسبه می‌شود و قیود سرعت و ارتفاع حداکثر آب کنترل می‌گردند. این مقادیر به GA داده می‌شود تا برازندگی شبکه را محاسبه کند. اگر شبکه بهینه حاصل شده باشد، محاسبات خاتمه می‌یابد و نتایج اعلام می‌شود. در غیر این صورت از عملگرهای ژنتیک استفاده می‌گردد تا شبکه‌های نسل بعد را تولید کنند.

۲-۴. (GA-TRANS 2)

در این حالت نیز GA فقط رقوم گره‌ها را تعیین و بهینه می‌کند و برای تعیین قطر و تحلیل شبکه از یک الگوریتم ساده که توسط مولفین طراحی شده است، استفاده می‌شود. بنابراین بردار متغیرهای تصمیم فقط حاوی رقوم گره‌هاست و توسط GA تعیین می‌شود. با استفاده از این بردار، مقدار شیب هر شاخه تعیین می‌گردد. دبی طرح هر شاخه نیز ثابت در نظر گرفته شده (برای مثال با استفاده از روش منطقی محاسبه شده) و به بلوک واسطه معرفی شده است. با داشتن شیب و دبی طرح هر شاخه و با استفاده از فرمول مانینگ، قطر لوله‌ها بگونه‌ای طراحی می‌شود که ارتفاع آب از مقدار مجاز تجاوز نکند. سپس نزدیک ترین قطر لوله موجود در بازار به مقدار محاسبه شده، که از آن بزرگتر است بعنوان قطر لوله انتخاب می‌گردد و در آخر سرعت آب در لوله‌ها با روش نیوتن-رافسون محاسبه می‌شود. پس از محاسبه هزینه خط لوله و کنترل قیود سرعت، هزینه و جریمه شبکه به GA داده می‌شود تا برازندگی شبکه محاسبه گردد. اگر شبکه بهینه حاصل شده باشد، محاسبات خاتمه می‌یابد و نتایج اعلام می‌شود. در غیر این صورت از عملگرهای ژنتیک استفاده می‌گردد تا شبکه‌های نسل بعد را تولید کنند. هدف از گنجاندن این گزینه در کنار گزینه دیگر، کنترل عملکرد الگوریتم ژنتیک بوده است. از آنجا که در این حالت کار شبیه‌سازی در هر گام زمانی انجام نمی‌شود و کلیه محاسبات هیدرولیکی در چند خط انجام می‌گیرد، زمان زیادی برای بهینه سازی صرف نمی‌شود. در ضمن با داشتن این گزینه می‌توان با حداقل اطلاعات نیز اقدام به طراحی بهینه شبکه نمود. همانگونه که ملاحظه می‌شود در هر دو حالت مقدار شیب اعضا با توجه به مقادیر متغیرهای تصمیم محاسبه می‌شود. در این مرحله اگر

است. احتمال مناسب برای انجام ترکیب متقابل بین ۵۰٪ تا ۸۰٪ است که باید به برنامه معرفی شود. این احتمال بدین معناست که فقط ۵۰ تا ۸۰ درصد از جمعیت انتخاب شده با یکدیگر ترکیب می‌شوند و بقیه بدون تغییر به نسل بعد راه می‌یابند. جهش در این مدل به شیوه یک بیت در کروموزوم انجام می‌شود. نحوه عمل اینگونه است که یک کروموزوم بصورت تصادفی از میان جمعیت انتخاب می‌شود. سپس عدد تصادفی k بین یک و طول کروموزوم (تعداد بیت‌های تشکیل دهنده رشته) انتخاب می‌شود و نهایتاً صفر خانه k ام به یک و یا یک آن به صفر تبدیل می‌گردد. این تغییر بدان معنی است که بصورت تصادفی و غیر سازمان یافته، مقدار یکی از ژن‌ها و به عبارت دیگر مقدار یک متغیر تصمیم تغییر می‌کند. این تغییر می‌تواند سبب بهتر شدن (جهش مثبت) و یا بدتر شدن (جهش منفی) شبکه شود. جهش منفی توسط عملگر انتخاب طبیعی رد می‌شود و جهش مثبت در آن جذب می‌گردد. بنابراین وجود جهش با یک احتمال مشخص، سرعت همگرایی جستجو را افزایش می‌دهد. احتمال جهش، تعداد کروموزوم‌هایی را مشخص می‌کند که در آن‌ها جهش اتفاق می‌افتد. اگر تعداد کروموزوم‌های با ارزش بالا در یک نسل نسبتاً زیاد باشد، احتمال انتخاب آنها و راهیابی به نسل بعدی تقریباً مساوی خواهد بود. به عبارت دیگر در این حالت شانس بهترین جواب برای راهیابی به نسل بعد به شدت کاهش می‌یابد و امکان دارد توسط عملگر انتخاب طبیعی جذب نشود. در نتیجه اطلاعات مفید آن از بین خواهد رفت. در این مطالعه بهترین جواب هر نسل قبل از انجام عمل انتخاب طبیعی بطور مستقیم به نسل بعد منتقل می‌شود. با این کار امکان گم شدن بهترین اطلاعات بدست آمده در اثر عمل انتخاب طبیعی وجود ندارد و لذا سرعت همگرایی جستجو افزایش می‌یابد. نخبه‌گرایی سبب می‌شود بهترین اطلاعات بدست آمده هیچگاه در روند تکامل گم نشود. بنابر این بهترین راه حل هر نسل حداقل برابر بهترین راه حل نسل قبل از خود است. به این ترتیب می‌توان الگویی منطقی برای همگرایی تعریف کرد. در این تحقیق فرض می‌شود هنگامی جستجوی GA به همگرایی رسیده است که بهترین جواب، در تعداد مشخصی از نسل‌های متوالی، ثابت مانده و یا تکرار شود.

۴. ایجاد ارتباط بین GA و SWMM-Transport

نحوه تعامل میان GA و SWMM-Transport در شکل‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است. در مدل GA-TRANS از یک بلوک واسطه استفاده شده است تا این ارتباط را به دو حالت که به نام‌های GA-TRANS 1,2 نامگذاری شده‌اند تعریف کند.

۱-۴. (GA-TRANS 1)

در این حالت، GA فقط رقوم گره‌ها را تعیین و بهینه می‌کند و SWMM-Transport علاوه بر تحلیل شبکه، قطر لوله‌ها را نیز

جدول ۱. مشخصات شبکه مسأله اول

نام لوله	رقوم زمین (m)		طول لوله (m)	دبی طراحی لوله (cms)
	بالادست	پایین دست		
۱۱۲۲	۱۵۲/۴	۱۵۰/۸۷۶	۱۰۶/۷	۰/۱۱۳۲
۲۲۳۳	۱۵۰/۸۷۶	۱۴۸/۴۸۷۶	۱۲۱/۹	۰/۱۹۸۲
۳۳۴۴	۱۴۸/۴۸۷۶	۱۴۶/۳۰۴	۱۰۶/۷	۰/۲۵۴۸
۱۲۳۲	۱۴۹/۳۵۲	۱۴۷/۸۲۸	۱۲۱/۹	۰/۱۱۳۲
۳۲۴۲	۱۴۷/۸۲۸	۱۴۶/۳۰۴	۱۳۱/۱	۰/۲۲۶۵
۴۲۵۲	۱۴۶/۳۰۴	۱۴۲/۲۵۶	۱۶۷/۶	۰/۶۲۲۹
۲۳۳۴	۱۴۹/۳۵۲	۱۴۷/۸۲۸	۱۵۲/۴	۰/۲۲۶۵
۳۴۴۳	۱۴۷/۸۲۸	۱۴۴/۷۸	۱۳۷/۲	۰/۳۳۹۸
۴۳۵۲	۱۴۴/۷۸	۱۴۲/۲۵۶	۱۰۶/۷	۰/۴۵۳
۵۲۶۱	۱۴۳/۲۵۶	۱۴۱/۷۳۲	۱۵۲/۴	۱/۳۴۵۹
۳۱۴۱	۱۴۷/۸۲۸	۱۴۴/۷۸	۱۵۲/۴	۰/۲۵۴۸
۴۱۵۱	۱۴۴/۷۸	۱۴۲/۲۵۶	۱۰۶/۷	۰/۴۵۳
۵۱۶۱	۱۴۳/۲۵۶	۱۴۱/۷۳۲	۱۰۶/۷	۰/۵۶۶۳
۶۱۷۱	۱۴۱/۷۳۲	۱۳۸/۶۴۸	۱۸۲/۹	۲/۰۱۰۴
۴۴۵۳	۱۴۲/۶۴۶۴	۱۴۱/۴۲۷۲	۱۲۱/۹	۰/۱۱۳۲
۵۳۶۲	۱۴۱/۴۲۷۲	۱۴۰/۲۰۸	۹۱/۵	۰/۱۶۹۹
۶۲۷۱	۱۴۰/۲۰۸	۱۳۸/۶۴۸	۱۰۶/۷	۰/۲۵۴۸
۷۱۸۱	۱۳۸/۶۴۸	۱۳۷/۴۶۴۸	۱۲۱/۹	۲/۴۶۳۵
۸۱۹۱	۱۳۷/۴۶۴۸	۱۳۶/۵۵۰۴	۱۵۲/۴	۲/۵۲۰۱
۹۱۱۰	۱۳۶/۵۵۰۴	۱۳۵/۶۳۶	۱۸۲/۹	۲/۶۶۱۷

جدول ۲. هزینه شبکه های طراحی شده در مطالعات مختلف

هزینه (\$)	روش طراحی
۲۶۵۷۷۵	روش Mays & Wenzel بوسیله DDDP
۲۷۵۲۱۸	روش Robinson & Labadie بوسیله مدل CSUDP
۲۴۵۸۷۴	روش Miles & Heaney در محیط صفحه گسترده
۲۴۴۷۴۷	مدل تلفیقی (GA-TRANS 1)
۲۴۷۳۵۴	مدل تلفیقی (GA-TRANS 2)

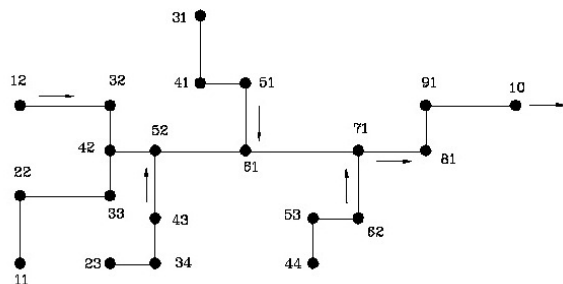
نتایج بدست آمده از اجرای مدل کاملاً رضایت بخش و مطلوب بود. در این اجراها از روش انتخاب طبیعی تورنمنت استفاده شد و احتمال جهش برابر ۵٪ قرار گرفت.

اعضایی با شیب صفر و کمتر وجود داشته باشند، محاسبات هیدرولیکی انجام نمی شود و در عوض جریمه ای برای داشتن شیب منفی به شبکه تعلق می گیرد تا مقدار امتیاز شبکه کاهش یابد و در نسل های بعدی، شبکه دارای شیب منفی تولید نشود. برای آزمون مدل و کنترل عملکرد آن، دو مسأله بهینه سازی که در گذشته تعدادی از محققین با استفاده از روش های مختلف به حل آنها پرداخته اند، با استفاده از مدل پیشنهادی بهینه سازی شد و نتایج بدست آمده با نتایج تلاش های گذشته مقایسه گردید.

۵. کاربرد مدل

۵-۱. مسأله اول

این مسأله شبکه ایست با ۲۰ شاخه و ۲۱ گره که پلان آن در شکل (۴) و سایر مشخصات آن مانند رقوم زمین در محل گره ها، طول شاخه ها و دبی طراحی شاخه ها در جدول (۱) مشاهده می شود. ضریب زبری تمامی لوله ها برابر ۰/۰۱۳ است. شبکه فوق اولین بار بوسیله Mays & Wenzel در سال ۱۹۷۶ در توضیح روش اولین ارائه شد [9]. Robinson & Labadie در سال ۱۹۸۱ نیز با استفاده از مدل CSUDP به طراحی شبکه فوق پرداختند [11]. همچنین Miles & Heaney در سال ۱۹۸۹ با استفاده از یک الگوریتم ساده در محیط صفحه گسترده اعضای شبکه فوق را طراحی نمودند [10].



شکل ۴. پلان شبکه مساله اول

کلیه داده ها و اطلاعات مورد استفاده در مرجع [1] موجود است. در کلیه موارد فوق از اثرات استهلاک پیک سیلاب در شبکه صرف نظر شده و مسأله در حالت دائمی حل شده است.

در مدل GA-TRANS 2 قیودی که باید کنترل شوند محدود به دو قید سرعت و شیب هستند. در یک شبکه به هیچ عنوانی نباید شیب منفی وجود داشته باشد و بنابراین باید توانی سنگین به شبکه دارای شیب منفی تعلق گیرد. پس از انجام چند سعی و خطا مقادیر زیر بعنوان ضرایب توان تخلف از قیود شیب و سرعت در نظر گرفته شدند:

$$\alpha_S = 50 \times C \max \quad , \quad \alpha_{Vel} = 10 \times C \max$$

با کلیه ترکیبات جمعیت ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ احتمال ترکیب متقابل ۰/۵۰، ۰/۵۵ تا ۱/۰ مدل اجرا گردید. بهترین جواب تولید شده با جمعیت ۳۰۰ و احتمال ترکیب متقابل ۰/۶۵ حاصل شد که شبکه طراحی شده هزینه‌ای بالغ بر ۲۴۷۳۵۴ دلار داشت. برای کنترل صحت محاسبات مدل، فایل ورودی SWMM-Transport شبکه بهینه بدست آمده تهیه شد و این برنامه اجرا گردید که صحت محاسبات تایید شدند. سپس سرعت آب در هر لوله و عمق آن با استفاده از نرم‌افزار FlowMaster کنترل شد و اعداد محاسبه شده توسط مدل تایید شدند.

در مدل GA-TRANS 1، قیودی که باید کنترل شوند سرعت، ارتفاع آب و شیب اعضا هستند. به نظر می‌رسد تخلف از قید ارتفاع آب اهمیتی در حدود تخلف از قید سرعت داشته باشد و جریمه ای عادی برای آن مناسب باشد. با در نظر گرفتن اعدادی برای α ، چند بار اجرای مدل و انجام سعی و خطا بر روی مقادیر α ، مناسب ترین مقدار برای آنها به شرح زیر انتخاب شد:

$$\alpha_{vel} = 10 \times C \max, \alpha_s = 50 \times C \max$$

$$\alpha_h = 10 \times C \max$$

از آنجا که شبیه‌سازی سیستم در این روش با Transport انجام می‌شود، اجرای مدل با این روش قدری وقت گیر است. بر همین اساس مدل با ترکیبات جمعیت ۱۰۰، ۲۰۰ تا ۵۰۰ و احتمال ترکیب متقابل ۰/۵۰، ۰/۵۵ تا ۰/۷۰ اجرا شد. در اینجا نیز از روش انتخاب طبیعی تورنمنت و احتمال جهش ۵٪ استفاده شد. بهترین شبکه با ترکیب جمعیت ۳۰۰ و احتمال ترکیب متقابل ۰/۶۵ بدست آمد که هزینه ای برابر ۲۴۴۷۴۷ دلار داشت. برای کنترل صحت نتایج بدست آمده، هر سه مرحله کنترلی مذکور در بند قبل مجدداً اجرا شد و صحت اعداد ارائه شده تایید گردید. در جدول (۲) هزینه شبکه‌های بهینه تولید شده در تحقیقات مختلف مقایسه شده است. مشاهده می‌شود شبکه حاصل از مدل پیشنهادی نسبت به طرح های پیشین ۰/۵٪، ۱۲٪ و ۹٪ ارزانتر بوده است. به عبارت دیگر مدل پیشنهادی توانسته است ضمن نزدیک شدن به بهترین جواب موجود، کم هزینه ترین شبکه را ارائه کند. مشخصات شبکه طراحی شده با مدل GA-TRANS 1 و شبکه گزارش شده توسط Miles & Heaney در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است.

۲-۵. مسأله دوم

این شبکه با ۹ شاخه و ۱۰ گره است که در گذشته یکبار با نرم‌افزار SEWER (تهیه شده توسط بانک جهانی) و بار دیگر با استفاده از مدل SSWDM توسط آقایان افشار و زمانی بهینه سازی شده است [1]. شکل (۵) پلان این شبکه را نشان می‌دهد. سایر مشخصات شبکه شامل رقوم زمین در محل گره‌ها، طول شاخه ها و دبی طراحی هر شاخه در مرجع شماره [1] موجود است. پیش از این نیز تلاش‌هایی برای حل این مسأله و بهینه سازی شبکه آن صورت

جدول ۳. شبکه بهینه حاصل از مدل GA-TRANS 1

نام لوله	رقوم تاج لوله		قطر لوله (mm)	سرعت (m/s)	Y/D
	بالادست	پایین دست			
۱۱۲۲	۱۵۰	۱۴۸/۴۷	۳۰۴/۸	۱/۸۸	۰/۷۷
۲۲۳۳	۱۴۸/۴۷	۱۴۶/۰۸۷	۳۸۱	۲/۴۸	۰/۶۶
۳۳۴۴	۱۴۶/۰۸	۱۴۳/۹۰	۳۸۱	۲/۶۱	۰/۸۰
۱۲۳۲	۱۴۶/۹۵	۱۴۵/۳۷	۳۰۴/۸	۱/۷۹	۰/۸۱
۳۲۴۲	۱۴۵/۳۷	۱۴۳/۹۰	۴۵۷/۲	۲/۰۹	۰/۶۳
۴۲۵۲	۱۴۳/۹۰	۱۴۰/۶۷	۵۵۳/۴	۳/۱۸	۰/۸۲
۲۳۳۴	۱۴۶/۹۵	۱۴۵/۴۲	۴۵۷/۲	۱/۹۹	۰/۶۵
۳۴۴۳	۱۴۵/۴۲	۱۴۲/۳۸	۴۵۷/۲	۲/۹۸	۰/۶۶
۴۳۵۲	۱۴۲/۳۸	۱۴۰/۶۷	۵۳۳/۴	۲/۸۲	۰/۶۸
۵۲۶۱	۱۴۰/۶۷	۱۳۸/۴۳	۷۶۲	۳/۴۹	۰/۷۳
۳۱۴۱	۱۴۵/۴۲	۱۴۲/۳۸	۳۸۱	۲/۵۹	۰/۸۱
۴۱۵۱	۱۴۲/۳۸	۱۴۰/۸۵	۵۳۳/۴	۲/۶۹	۰/۷۱
۵۱۶۱	۱۴۰/۸۵	۱۳۸/۴۳	۵۳۳/۴	۳/۳۹	۰/۷۰
۶۱۷۱	۱۳۸/۴۳	۱۳۶/۲۴	۹۱۴/۴	۳/۵۸	۰/۷۷
۴۴۵۳	۱۴۰/۲۴	۱۳۸/۶۴	۳۰۴/۸	۱/۸۱	۰/۸۰
۵۳۲۶	۱۳۸/۶۴	۱۳۷/۸۰	۳۸۱	۱/۷۵	۰/۸۰
۶۲۷۱	۱۳۷/۸۰	۱۳۶/۲۴	۴۵۷/۲	۲/۳۸	۰/۶۲
۷۱۸۱	۱۳۶/۲۴	۱۳۵/۰۶	۱۰۶۶/۸	۳/۵۴	۰/۷۳
۸۱۹۱	۱۳۵/۰۶	۱۳۳/۷۵	۱۰۶۶/۸	۳/۳۷	۰/۷۸
۹۱۱۰	۱۳۳/۷۵	۱۳۲/۰۰	۱۰۶۶/۸	۳/۵۴	۰/۷۹

جدول ۴. شبکه بهینه (Miles & Heaney (1988)

نام لوله	رقوم تاج لوله		قطر لوله (mm)	سرعت (m/s)	Y/D
	بالادست	پایین دست			
۱۱۲۲	۱۴۹/۹۷	۱۴۸/۳۷	۳۰۴/۸	۱/۷	۰/۷۵
۲۲۳۳	۱۴۸/۴۴	۱۴۶/۰۰	۳۸۱	۲/۳	۰/۶۶
۳۳۴۴	۱۴۶/۰۰	۱۴۳/۸۲	۳۸۱	۲/۳	۰/۸۰
۱۲۳۲	۱۴۶/۹۳	۱۴۵/۳۸	۳۰۴/۸	۱/۶	۰/۸۲
۳۲۴۲	۱۴۵/۳۸	۱۴۳/۷۴	۴۵۷/۲	۲/۰	۰/۶۱
۴۲۵۲	۱۴۳/۸۲	۱۴۰/۵۵	۵۵۳/۴	۲/۸	۰/۸۱
۲۳۳۴	۱۴۶/۹۰	۱۴۴/۵۴	۳۸۱	۲/۰	۰/۸۰
۳۴۴۳	۱۴۴/۶۲	۱۴۲/۲۹	۵۳۳/۴	۲/۴	۰/۷۳
۴۳۵۲	۱۴۲/۳۶	۱۴۰/۷۶	۵۳۳/۴	۲/۵	۰/۶۹
۵۲۶۱	۱۴۰/۷۸	۱۳۸/۹۵	۷۶۲	۲/۸	۰/۸۰
۳۱۴۱	۱۴۵/۳۸	۱۴۲/۳۳	۳۸۱	۲/۳	۰/۸۱
۴۱۵۱	۱۴۲/۳۳	۱۴۰/۸۴	۵۳۳/۴	۲/۴	۰/۷۱
۵۱۶۱	۱۴۰/۸۴	۱۳۹/۰۲	۵۳۳/۴	۲/۷	۰/۷۹
۶۱۷۱	۱۳۹/۱۰	۱۳۶/۲۷	۹۱۴/۴	۳/۶	۰/۷۰
۴۴۵۳	۱۴۰/۲۱	۱۳۸/۶۳	۳۰۴/۸	۱/۶	۰/۸۱
۵۳۲۶	۱۳۸/۷۰	۱۳۷/۷۹	۳۸۱	۱/۶	۰/۷۶
۶۲۷۱	۱۳۷/۷۹	۱۳۵/۵۸	۳۸۱	۲/۴	۰/۷۹
۷۱۸۱	۱۳۶/۲۷	۱۳۵/۰۵	۱۰۶۶/۸	۳/۳	۰/۷۲
۸۱۹۱	۱۳۵/۰۵	۱۳۳/۸۳	۱۰۶۶/۸	۲/۹	۰/۸۱
۹۱۱۰	۱۳۳/۹۸	۱۳۳/۰۵	۱۲۱۹/۲	۲/۶	۰/۷۶

سایر قابلیت های این ماجول به مدل حاضر، امکان استفاده گسترده از آن را فراهم می کند. لازم به یادآوری است که در ترکیب ماجول Transport، فایل ورودی و فایل خروجی آن تغییری داده نشده است و می توان تک تک قابلیت های این ماجول را به مدل حاضر اضافه کرد.

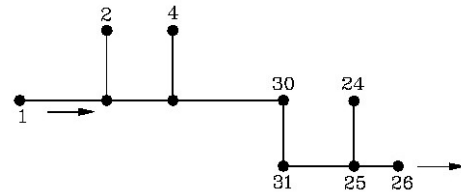
جدول ۶. شبکه بهینه طراحی شده با مدل GA-TRANS

نام لوله	رقوم تاج لوله		قطر لوله (mm)	سرعت (m/s)	Y/D
	بالادست	پایین دست			
۱۳	۱۳۹۴/۶	۱۳۸۶/۷۶	۱۵۰	۲/۰۹	۰/۴۵
۲۳	۱۳۹۳/۹	۱۳۸۶/۷۶	۲۵۰	۲/۰۹	۰/۶۱
۳۵	۱۳۸۶/۷۶	۱۳۷۹/۶۳	۳۰۰	۲/۴۹	۰/۶۶
۴۵	۱۳۸۵/۵۰	۱۳۷۹/۶۳	۳۰۰	۲/۴۱	۰/۶۶
۵۳۰	۱۳۷۹/۶۳	۱۳۷۷/۷۳	۴۵۰	۲/۴۶	۰/۷۲
۳۰۳۱	۱۳۷۷/۷۳	۱۳۷۷/۱۲	۴۵۰	۲/۲۰	۰/۸۰
۳۱۲۵	۱۳۷۷/۱۲	۱۳۷۴/۴۲	۴۵۰	۲/۳۱	۰/۷۷
۲۴۲۵	۱۳۷۶/۵۲	۱۳۷۴/۴۲	۱۵۰	۲/۴۶	۰/۷۵
۲۵۲۶	۱۳۷۴/۴۲	۱۳۷۱/۰	۵۰۰	۲/۴۸	۰/۶۸

مراجع

- [1] Afshar A., and Zamani H., "An Improved Storm water Network Design Model in Spreadsheet Template", International Journal of Engineering Science, Iran University of Science and Technology, vol. 13, no. 4, 2002, pp. 135-148.
- [2] Brown K.G., and Kousis A.D., "Lotus Spreadsheet Design for Storm Drain Networks", Journal of Computing in Civil Engineering, 1(3), 1987, pp.197-213.
- [3] Elimam A.A., Charalambous C., and Ghobrial F.H., "Optimum Design of Large Sewer Network", Journal of Environmental Engineering, vol. 115, no. 6, 1989, pp. 1171-1189.
- [4] Fahmy H.S., King J.P., Wentzel M.W., and Seton J.A., "Economic Optimization of River Management Using Genetic Algorithms", Paper No. 943034, ASAE 1994 Int. Summer Meeting, American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, Mich, 1994.
- [5] Franchini M., "Use of a Genetic Algorithm Combined with a Local Search Method for the Automatic Calibration of Conceptual Rainfall-Runoff Models", J. Hydro. Sci., 41(1), 1996, pp. 21-40.
- [6] Goldberg D.E., *Genetic Algorithm in Search Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley Publishing Company, 1989.
- [7] Huber W.C., and Dickinson R.E., *Storm Water Management Model (SWMM) User's Manual*, EPA, 1988.

گرفته بود که می توان نتایج آنها را در جدول (۵) و بطور مفصل تر در مرجع شماره [1] ملاحظه کرد. مشاهده می شود مدل GA-TRANS توانسته است با ارضای کلیه قیود طراحی، شبکه ای را ارائه کند که از دو شبکه دیگر ارزانتر است. علتی که باعث شد هزینه شبکه طراحی شده با مدل حاضر به هزینه شبکه های طراحی شده در تلاش های گذشته نزدیک باشد، کوچک بودن شبکه است که تأثیر استفاده از مدل قوی تر را بخوبی نشان نمی دهد.



شکل ۴. پلان شبکه مساله دوم

جدول ۵. هزینه شبکه های طراحی شده در مطالعات مختلف

هزینه	روش طراحی
۱۹۹۴۸۰	مدل SEWER (ارائه شده توسط بانک جهانی)
۱۹۹۳۲۰	روش Afshar & Zamani بوسیله مدل SSWDM
۱۹۹۳۴۴	مدل تلفیقی پیشنهادی (GA-TRANS)

۶. نتیجه گیری و پیشنهادات

تلفیق الگوریتم ژنتیک و ماجول Transport که در زمره مدل های قوی به حساب می آید، منجر به حصول جواب های بسیار خوب و در عین حال کاربردی شد، اما نکته مهم مربوط به نحوه استفاده از الگوریتم ژنتیک است. هنگامی که از الگوریتم ژنتیک برای برآورد رقوم گرہها و قطر لوله ها استفاده شد، جواب های مناسبی بدست نیامد در حالی که نتیجه برآورد رقوم گرہها توسط الگوریتم ژنتیک و طراحی قطر اعضا توسط روش های دیگر بسیار رضایت بخش بود. علت این است که در حالت دوم از روابط ویژه بهینه سازی قطر لوله ها در کنار بهینه ساز اصلی (الگوریتم ژنتیک) استفاده شد. انتظار می رود اگر قیود سرعت، ارتفاع آب و شیب با روش های دیگر در روند طراحی لحاظ شوند و الگوریتم ژنتیک ملزم به کنترل آنها نباشد، جواب های بهتری بدست آید. ماجول Transport قابلیت های زیادی دارد اما بدون نقص نیز نیست. این کار را می توان علاوه بر بهینه سازی شبکه سیلابرو شهری، افزایش قابلیت های این ماجول نیز دانست. در حال حاضر این مدل تلفیقی می تواند شیب و قطر اعضای یک شبکه را با توجه به امکانات و محدودیت های موجود، آنگونه که طراح می خواهد طراحی کند در حالی که ماجول Transport فقط قادر به طراحی قطر اعضا است. بی شک اضافه کردن

[13] Simpson A.R., Dandy G.C., and Murphy L.J., "Genetic Algorithms Compared with Other Technics for Pipe Optimization", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 120(4), 1994, 423-443.

[14] Wang Q.J., "The Genetic Algorithm and Its Application to Calibrating Conceptual Rainfall-Runoff Models", Water Resource Research, 27(9), 1991, 2467-2471.

[15] Yen B.C., and Sevuk A.S., "Design of Storm Sewer Networks", Journal of Environmental Engineering, vol. 101, pp. 535-553.

قدردانی و تشکر

مولفین بر خود لازم می دانند از آقای مهندس مصطفی بزرگ زاده به خاطر رهنمود های سودمندشان در طول مراحل این تحقیق سپاسگزاری نمایند. همچنین از آقای مهندس کامران قوامی منفرد و شرکت مهندسین مشاور ری آب به خاطر حمایت از این پژوهش قدردانی می شود.

[8] Kulkarni V.S., and Khanna P., "Pumped wastewater collection systems optimization" J. of Environmental Engineering, ASCE 111(5), 1985, 589-601.

[9] Mays L.W., and Wenzel H.G., "Optimal Design of Multilevel Branching Sewer Systems", Journal of Water Resource Research, 12(5), 1976, pp.913-917.

[10] Miles W., and Heaney J.P., "Better than Optimal Method for Designing Drainage Systems", Journal of Water Resources Planning and Management, 114(5), 1988, pp. 449-477.

[11] Robinson D.K., Labadie J.W., "Optimal Design of Urban Storm water Drainage Systems", International Symp. On Urban Hydrology, Hydraulics and Sediment Control, University of Kentucky, Lexington, 1981.

[12] Savic D.A., Walters G.A., "Genetic Algorithms for Least-Cost Design of Water Distribution Networks", Journal of Water Resources planning and management, ASCE, 123(2), 1997, 67-77.