Archive of SID

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۳، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۸، ص. ۱۱۴-۱۰۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 13, Apr.-May. 2019, p. 101-114

کاربرد الگوریتم نیروی مرکزی (CFO) در بهینه‌سازی شبکه توزیع آب آبیاری

رامین منصوری[1*]، محسن محمدی‌زاده[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۱

چکیده

از آن‌جایی که شبکه‌ها توزیع آب دارای هزینه‌های اجرایی بسیار بالایی هستند بنابراین بحث طراحی بهینه این نوع شبکه‌ها امری ضروری است. طراحان همواره به‌دنبال یافتن روشی هستند که ضمن تامین ضوابط و معیارهای فنی طرح کم‌ترین هزینه را در برداشته باشد. در این تحقیق از الگوریتم نیروی مرکزی (CFO) برای ارایه راه‌حل بهینه هزینه اجرایی شبکه توزیع آب آبیاری روستای اسماعیل‌آباد در ۷ کیلومتری شمال‌غرب شهر نورآباد در استان لرستان استفاده گردید. بهینه‌سازی این شبکه با توسعه یک مدل بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم نیروی مرکزی در محیط نرم‌افزار متلب و اتصال پویای آن با نرم‌افزار EPANET جهت انجام محاسبات هیدرولیکی شبکه مورد ارزیابی قرار گرفت. الگوریتم نیروی مرکزی برای شرایط تعداد کاوشگر ۴۲ عدد، نرخ جهش ۱۵٪، تعداد تکرار ۱۰۰۰ مرتبه (N_t=1000) و شتاب اولیه کاوشگرها برابر صفر بهترین کارایی را نشان داد. حل بهینه به‌دست آمده برای شبکه توزیع آب، آبیاری اسماعیل‌آباد نشان داد هزینه بهینه الگوریتم نیروی مرکزی (۷۳۷۷۲۴ دلار) ۱/۵۵ درصد بیش‌تر از هزینه بهینه مطلق برآورد شده توسط روش MILP (شاهی‌نژاد، ۱۳۹۰) می‌باشد. ویژگی این روش، که یک روش قطعی است و زمان اجرای آن تقریبا نصف زمان اجرای روش MILP است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم بهینه‌سازی نیروی مرکزی، شبکه‌های آب‌رسانی، کاوشگر، مدل بهینه‌ساز، نرخ جهش

مقدمه

امروزه طراحی بهینه شبکه‌ها با توجه به سرسام‌آور بودن هزینه-های اجرایی شبکه‌های توزیع آب، امری ضروری به‌نظر می‌رسد. در زمینه بهینه‌سازی شبکه‌های تحت‌فشار توزیع و انتقال آب روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. تحقیقات زیادی در بهینه‌سازی شبکه‌های آب‌رسانی انجام شده است. بررسی تحقیقات گذشته را می‌توان بر اساس پیوسته بودن یا گسسته بودن قطرها به دو بخش تقسیم کرد که در مدل بهینه شبکه آب‌رسانی برای قطرهای پیوسته محققینی مانند (Varma et al., 1997; Jacoby., 1968) تحقیقاتی انجام دادند و توانستند شبکه‌های آب‌رسانی مختلفی را با استفاده از قطرهای پیوسته بهینه‌سازی کنند. از طرفدیگر، به دلیل آن‌که لوله‌های تجاری مورد استفاده در شبکه‌های توزیع آب دارای قطرهای مشخص می‌باشند نمی‌توان طراحی را برای هر قطری انجام داد. در این حالت تحقیقات بر روی بهینه‌سازی با قطرهای گسسته وسعت گرفت مانند آلپرویست و شمیر (Alperovits and Shamir., 1977)، گوتلر و همکاران (Goulter et al., 1986)، فوجیوارا و همکاران (Fujiwara et al., 1987)، کسلر و شمیر (Kessler and Shamir., 1989) و جیم (Geem., 2015) اشاره کرد. این محققین توانستند شبکه‌های مختلف را برای قطرهای تجاری موجود در بازار به‌صورت بهینه طراحی کنند. در ادامه با ارایه مدل الگوریتم ژنتیک (GA) برای مسایل بهینه‌سازی، دندی و همکاران (Dandy et al., 1996)، ساویک و والتر (Savic and Walters., 1997)، وایراوامورثی و علی (Vairavamoorthy and Ali., 2005) و حقیقی و همکاران (Haghighi et al., 2011) از الگوریتم ژنتیک در مسایل بهینه‌سازی شبکه‌ها استفاده کردند آن‌ها شبکه‌های مختلف را با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی کردند. همچنین مونتسینوس و همکاران (Montesinos et al., 1999)، نلکانتان و سوری‌بابو (Neelakantan and Suribabu., 2005) و کادوو و همکاران (Kadu et al., 2008) ضمن اصلاح الگوریتم ژنتیک از نسخه اصلاح شده آن برای بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب و مخازن استفاده کردند. با پیشرفت، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی معرفی گردید و چونها و سوسا (Cunha and Sousa., 1999) این الگوریتم را برای بهینه‌سازی شبکه توزیع آب بکار بردند. با ارایه الگوریتم‌های جدید، در زمینه‌های مختلف مهندسی مورد استفاده قرار گرفتند. با توجه به این پیشرفت الگوریتم‌های جدید در بحث آب نیز مورد استفاده قرار گرفتند، که از

۱- استادیار گروه عمران، واحد سیرجان، دانشگاه آزاد اسلامی، سیرجان، ایران
۲- استادیار گروه عمران، واحد سیرجان، دانشگاه آزاد اسلامی، سیرجان، ایران
(* - نویسنده مسئول: Email: Ramin_Mansouri@yahoo.com)

www.SID.ir

Archive of SID

آن جمله می‌توان به بهینه‌سازی شبکه آبرسانی توسط یوسف و لانسی (Eusuff and Lansey., 2003) و عقدام و همکاران (Aghdam et al., 2015) با استفاده از الگوریتم جهش قورباغه (SFL) و کدویل و خوو (Keedwell and Khu., 2006) با استفاده از الگوریتم اوتاماتی سلولی و سوری‌بابو و نلکانتان (Suribabu and Neelakantan., 2006) و کویی و همکاران (Qi et al., 2016) با استفاده از الگوریتم ازدحام جمعیت (PSO) اشاره کرد. استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان (ACO) برای بهینه‌سازی شبکه توزیع آب توسط مایر و همکاران (Maier et al., 2003)، زچین و همکاران (Zecchin et al., 2007) و گیل و همکاران (Gil et al., 2011) صورت گرفت. همچنین منصوری و ترابی (۱۳۹۴) با استفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) شبکه توزیع آب آبیاری روستای اسماعیل‌آباد در ۷ کیلومتری شمال‌غرب شهر نورآباد استان لرستان را بهینه‌سازی کردند.

یکی از روش‌های بهینه‌سازی در شبکه‌های درختی که منجر به دست‌یابی بهینه مطلق می‌شود روش برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط می‌باشد. در این راستا شاهی‌نژاد (۱۳۹۰) از یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای بدست آوردن قطر بهینه شبکه توزیع آب استفاده کرد، این روش با حداقل زمان بهینه مطلق را ارایه می‌دهد. ایشان برای محاسبه اتلاف هد آب در شبکه از معادله هیزن‌ویلیام استفاده نمود.

در سال ۲۰۰۷ میلادی، روش متاهیوریستیک جدید به‌نام روش بهینه‌سازی نیروی مرکزی توسط فورماتوو (Formato., 2007) که بر مبنای علم حرکت و نیروهاست، توسعه یافت. الگوریتم بهینه‌سازی نیروی مرکزی (CFO) از الگوریتم‌های ابتکاری و الهام گرفته از طبیعت می‌باشد که طبق علم مربوط به حرکت و نیروها، ساخته شده است. این علم شاخه‌ای از فیزیک است که به بررسی حرکت اجرام تحت‌تاثیر نیروی گرانشی می‌پردازد (Formato., 2007). در این روش به هر یک از عوامل جستجوکننده یک کاوشگر یا جستجوگر (Probe) گفته می‌شود. فورماتوو نشان داد تفاوت عمده و مهم روش بهینه‌سازی نیروی مرکزی با سایر روش‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک، تکامل‌تفاضلی و ... در این است که این روش، قطعی و غیرتصادفی است. به این معنی‌که در این روش در فرآیند جستجو موقعیت کاوشگرها به‌صورت تصادفی تغییر نمی‌کنند و تغییر مکان آن‌ها براساس تابع نظام‌مند حاکم بر سینماتیک اجرام استوار است. این الگوریتم در هر مرتبه اجرا پاسخ‌های یکسان نشان می‌دهد (Formato., 2010a).

از آن‌جایی که روش بهینه‌سازی نیروی مرکزی، روشی به نسبت جدید در علم بهینه‌سازی است، و تاکنون به جز پژوهش جباری و همکاران (۱۳۹۶) مطالعات دیگری بر اساس این الگوریتم بر روی بهینه‌سازی شبکه توزیع آب در داخل کشور انجام نشده است. در این پژوهش به منظور بهینه‌سازی نشت‌یابی و واسنجی شبکه لوله‌ها با استفاده از تحلیل معکوس جریان‌گذرا، روش بهینه‌سازی نیروی مرکزی بکار رفت. تابع هدف در مساله‌ی غیرخطی، کمینه کردن تابع حداقل مربعات مقادیر فشارهای مشاهداتی و محاسباتی در شبکه لوله‌های انتقال آب می‌باشد. از ویژگی‌های این الگوریتم نسبت به سایر الگوریتم‌ها، قطعی بود این الگوریتم می‌باشد.

تعداد پژوهش‌های انجام شده بر اساس روش بهینه‌سازی نیروی مرکزی در خارج از کشور بیش‌تر از داخل کشور می‌باشد، که می‌توان به تحقیقات فورماتوو (Formato., 2010b)، کوباتی و همکاران (Qubati et al., 2010) و دیب و همکاران (Dib et al., 2013) و دیگر تحقیقات در زمینه‌های مختلف مهندسی اشاره کرد. در این مقاله طراحی بهینه شبکه آبیاری تحت فشار روستای اسماعیل‌آباد با استفاده از روش بهینه‌سازی نیروی مرکزی (CFO) انجام گردید و عملکرد آن در مقایسه با روش برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط (شاهی‌نژاد،۱۳۹۰) مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

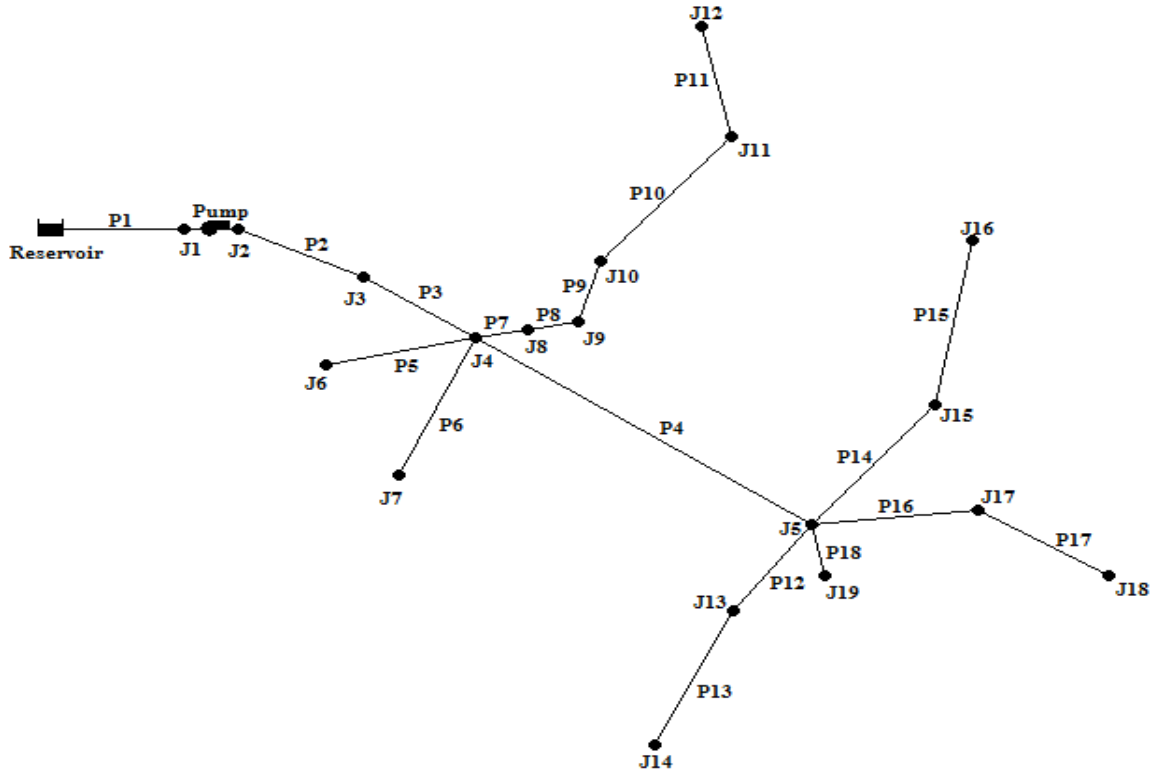
این پژوهش در شبکه توزیع آب آبیاری که شاهی‌نژاد (۱۳۹۰) با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط به صورت بهینه مطلق طراحی کرده بود مورد ارزیابی قرار گرفت. شبکه آبیاری دارای وسعت ۱۰۰۰ هکتار است و در روستای اسماعیل‌آباد، ۷ کیلومتری شمال غرب شهر نورآباد لرستان واقع شده است. نمای شماتیک این شبکه توزیع آب آبیاری در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- داده‌های مربوط به شبکه آبیاری اسماعیل‌آباد

شماره لوله	دبی (لیتر بر ثانیه)	طول لوله (متر)
P1	-	-
P2	۸۵۶/۵۶	۵۵۸
P3	۸۵۶/۵۶	۵۵۸
P4	۴۲۹/۸	۱۴۳۰
P5	۵۲/۹	۹۵۵
P6	۱۲۸/۹۴	۱۱۰۰
P7	۲۴۴/۹۲	۲۰۰
P8	۱۹۰/۳۴	۲۰۱
P9	۱۲۸/۹۴	۳۹۰
P10	۵۸/۳۳	۸۰۶
P11	۲۱/۴۹	۵۷۵
P12	۱۶۵/۸	۵۵۰
P13	۱۳۲	۷۰۰
P14	۹۸/۲۴	۶۷۰
P15	۳۳/۷۷	۸۴۰
P16	۱۱۹/۷۳	۷۲۰
P17	۴۹/۱۲	۶۶۰
P18	۴۶/۰۳	۱۱۰

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- نقشه شماتیک شبکه توزیع آب آبیاری اسماعیل‌آباد

شبکه آبیاری شامل ۱۸ لوله و ۱۹ گره است که مساحتی برابر با ۱۰۰۰ هکتار را پوشش می‌دهد. در این پروژه از دو نوع جنس لوله استفاده شد. برای لوله‌هایی تا قطر ۵۰۰ میلی‌متر از پلی‌اتیلن و برای قطرهای بالاتر از جی‌آرپی استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است یک ایستگاه پمپاژ با دبی ۸۵۷ لیتر بر ثانیه در منطقه وجود دارد. مخزن در این پروژه از نوع زمینی و تراز آب در آن برابر با ۱۷۸۹ متر است. در جدول ۱ اطلاعات هیدرولیکی و آرایش لوله‌ها و در جدول ۲ اطلاعات مربوط به گره‌ها برای شبکه توزیع آبیاری اسماعیل‌آباد ارایه شده است.

در جدول ۳ اطلاعات مربوط به لوله‌های تجاری موجود در بازار به همراه هزینه واحد طول آن‌ها، در بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت، ارایه شده است. در بحث بهینه‌سازی دو عامل اهمیت بسیار فراوانی دارند عامل اول محدودیت‌های موجود مساله است و عامل دوم تابع هدف، مساله بهینه‌سازی می‌باشد.

محدودیت‌ها و تابع هدف شبکه توزیع آب

معادلات هیدرولیکی حاکم بر شبکه‌های تحت‌فشار، شامل دو معادله اساسی پیوستگی و بقای انرژی و دو معادله مشتق شده از این‌ها یعنی محدودیت فشار گره‌ای و سرعت طراحی در لوله‌ها می‌باشد. براساس این معادلات، محدودیت‌های حاکم بر شبکه شامل موارد زیر می‌باشند.

محدودیت فشار در گره‌ها

محدویت سرعت در لوله‌ها

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد فشار موجود در شبکه‌های توزیع آب همواره باید در یک محدوده معینی قرار داشته باشد. این محدوده معین دارای یک کرانه پایین (حداقل فشار مجاز) و یک کرانه بالا (حداکثر فشار مجاز) است که بسته به نیاز و موقعیت شبکه ممکن است تغییر نماید. با توجه به بکارگیری آب‌پاش آمبو (AMBO) ساخت ایتالیا با فشار ۴ اتمسفر و هم‌چنین روابط موجود برای محاسبه فشار در محل اتصال بال آبیاری به لوله اصلی، معیار حداقل فشار مجاز در هر گره ۵۰ متر در نظر گرفته شد و بر اساس آن هد فشار ورودی برای سیستم بهینه گردید. هم‌چنین با توجه به نوع شبکه و ایستگاه پمپاژ قید حداکثر فشار در این پروژه برای عملکرد هیدرولیکی محدودیت ایجاد نمی‌کند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- داده‌های گره‌ها در شبکه آبیاری اسماعیل‌آباد

شماره گره	دبی برداشت (لیتر بر ثانیه)	تراز (متر)
Res	۸۵۶/۵۶	۱۷۸۹
J1	۰	۱۷۹۱
J2	۰	۱۷۹۱
J3	۰	۱۸۱۶/۵۴
J4	۰	۱۸۴۲/۰۸
J5	۰	۱۸۴۷/۵۷
J6	۵۲/۹	۱۸۳۸/۷۱
J7	۱۲۸/۹۴	۱۸۶۵/۵۳
J8	۵۴/۵۸	۱۸۴۷/۰۵
J9	۶۱/۴	۱۸۴۶/۳۲
J10	۷۰/۶۱	۱۸۴۱/۱۸
J11	۳۶/۸۴	۱۸۱۱/۳۲
J12	۲۱/۴۹	۱۸۱۰/۹۴
J13	۳۳/۸	۱۸۵۳/۲۱
J14	۱۳۲	۱۸۶۱/۸۹
J15	۶۴/۴۷	۱۸۲۱/۴۸
J16	۳۳/۷۷	۱۸۱۴/۴۳
J17	۷۰/۶۱	۱۸۲۶/۴۷
J18	۴۹/۱۲	۱۸۴۷/۹۵
J19	۴۶/۰۳	۱۸۴۷/۵۷

جدول ۳- مشخصات و قیمت لوله‌ها تجاری (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹٤)

شماره	قطر خارجی (mm)	قطر داخلی (mm)	جنس لوله	قیمت (دلار در واحد متر)
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

www.SID.ir

Archive of SID

برای سرعت جریان آب در شبکه‌ها نیز محدودیت وجود دارد و حداکثر سرعت بدین علت تعیین می‌گردد که اگر سرعت جریان آب در لوله‌های شبکه از یک حدی بیش‌تر شود باعث افزایش افت فشار در شبکه شده و باعث استفاده از تاسیسات ایجاد فشار با هزینه بیش‌تر گردیده که ممکن است موجبات غیراقتصادی شدن شبکه گردد. به‌علاوه در اثر تغییر جهت سرعت، در زانویی‌ها و سه‌راهی‌ها نیرویی ایجاد می‌گردد چنان‌چه این نیرو بزرگ باشد امکان شکسته شدن لوله به‌ویژه در محل اتصالات (در سرعت‌های بالا) افزایش می‌یابد. در ارتباط با علت در نظر گرفتن حداقل سرعت جریان در لوله‌های شبکه آب‌رسانی می‌توان گفت که در سرعت‌های کم رسوب‌گذاری در لوله‌ها ایجاد شده. هم‌چنین گازهای محلول در آب در این حالت به‌صورت حباب‌هایی در قسمت‌های بلند شبکه جمع شده و در نتیجه جریان آب را مختل می‌سازد، بنابراین باید محدوده سرعت حداکثر و حداقل سرعت در لوله‌های یک شبکه انتقال و توزیع آب طراحی شود. در این تحقیق حداقل و حداکثر سرعت جریان مجاز در لوله‌ها به‌ترتیب ۰/۷ و ۲/۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است (سازمان مدیریت و برنامه-ریزی کشور، ۱۳۹۲).

از محدودیت‌های دیگر که در بهینه‌سازی شبکه توزیع آب اهمیت دارد، بهینه‌سازی بر اساس قطر لوله‌های تجاری می‌باشد. می‌بایست قطرهای بهینه بدست آمده از الگوریتم نیروی مرکزی در بازار موجود باشند تا بتوان برای مسایل اجرایی از نتایج بهینه‌سازی استفاده کرد.

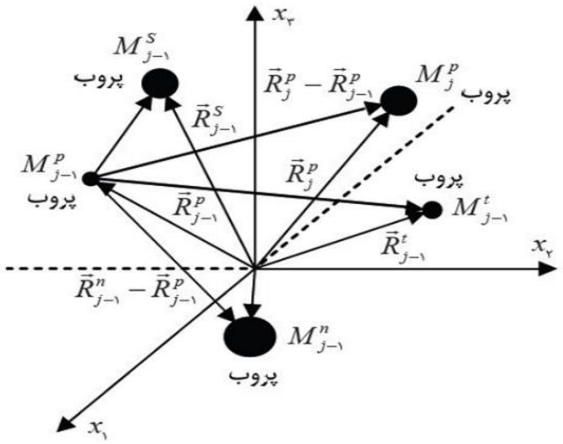
در این تحقیق هزینه کل اجرای سیستم شبکه آبیاری تحت فشار از رابطه شماره ۱ به‌دست می‌آید. از این‌رو هدف کمینه کردن این تابع است.

$$f\left(D_i\right)=\sum_{i=1}^{NP}\left(L_i.CP_i.CRF\right)+\sum_{I=1}^{NPU}\left(CPU_I.CRF\right)+C_{en}.H_{PI} \quad (۱)$$

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، $f(D_i)$ هزینه کل شبکه آبیاری تحت‌فشار و CRF ضریب بازگشت سرمایه است. تعداد لوله برابر NP و تعداد پمپ در شبکه برابر NPU می‌باشد.

روش بهینه‌سازی نیروی مرکزی

الگوریتم نیروی مرکزی توسط فورماتو با اقتباس از پدیده نیروی گرانشی وارد بر اجرام معرفی شد. نیروی گرانش یک نیروی برداری بوده که بر روی اشیایی که در فواصل مختلف نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند اعمال می‌شود (Formato., 2007). میزان این نیرو با حاصل‌ضرب جرم دو جسم نسبت مستقیم و با مجذور فاصله بین مراکز دو جسم نسبت عکس دارد. به همین دلیل نام این الگوریتم بهینه‌سازی نیروی مرکزی است (شکل ۲). مراحل اجرای روش بهینه‌سازی نیروی مرکزی و رسیدن به پاسخ بهینه، به شرح زیر است:



شکل ۲- نمونه‌هایی از کاوشگرها در فضای جست‌وجو

ساختار داده‌ها

الف) تولید آرایه‌های بردارهای شتاب A(p,i,j) و بردارهای موقعیت R(p,i,j).

ب) تولید آرایه برازندگی کاوشگرها M(p,j)=f(R(p,I,j)).

مقداردهی اولیه پارامترها

الف) مقداردهی اولیه کاوشگرها در چند صورت مختلف، بسته به انتخاب کاربر صورت می‌گیرد.

جای‌گذاری کاوشگرها به‌صورت یکنواخت بر روی هر یک از

www.SID.ir

Archive of SID

محورهای مختصات (ابعاد) در فضای تصمیم (به‌صورت قطعی و غیرتصادفی).

جای‌گذاری کاوشگرها به‌صورت یکنواخت بر روی محورهای مورب (قطرها) در فضای تصمیم (به صورت قطعی).

جای‌گذاری کاوشگرها در فضای تصمیم به‌صورت تصادفی.

جای‌گذاری کاوشگرها در فضای تصمیم با استفاده از روش تعریف شده توسط کاربر (به‌صورت تصادفی و یا قطعی و غیرتصادفی).

جای‌گذاری کاوشگرها با ارایه روشی ابتکاری توسط محقق

ب) مقداردهی شتاب

ج) مقداردهی برازندگی کاوشگرها

حلقه تکرار اصلی

الف) موقعیت جدید کاوشگرها (Formato., 2007)

$$\text{for } p=1 \text{ to } N_p \ , \ i=1 \text{ to } N_d$$

$$R(p,i,j)=R(p,i,j-1)+\frac{1}{2}A(p,i,j-1)\Delta t^2 \ , \ \Delta t^2=1 \quad (۲)$$

در این روابط N_p تعداد کل کاوشگرها، N_d تعداد متغیرهای تصمیم، R() بردار موقعیت، A() بردار شتاب، x_i متغیر تصمیم، G شتاب ثقل، M() جرم کاوشگر، U تابع گام واحد و F_{rep} عامل تغیر مکان است.

بازگرداندن کاوشگرهای خارج شده از فضای جست‌وجو به داخل فضا (Formato, 2007).

$$\text{if } R(p,i,j)<x_i^{min} \quad \text{then}$$

$$R(p,i,j)=x_i^{min}+F_{rep}.\left(R(p,i,j-1)-x_i^{min}\right) \quad (۳)$$

$$\text{if } R(p,i,j)>x_i^{max} \quad \text{then}$$

$$R(p,i,j)=x_i^{max}+F_{rep}.\left(x_i^{max}-R(p,i,j-1)\right) \quad (۴)$$

ب) بروز رسانی ماتریس برازندگی (Formato., 2007)

$$\text{for } p=1 \text{ to } N_p : M(p,j)=f\left(R(p,i,j)\right) \quad (۵)$$

ج) بروز رسانی شتاب (Formato., 2007)

$$A(p,i,j)=G\sum_{k=1,k^{\dagger}}^{N_p} U(M(k,j)-M(p,j)\times\left(M(k,j)-M(p,j)\right)^{\alpha}\times\frac{R(k,i,j)-R(p,i,j)}{\left|\overrightarrow{R_j^k}-\overrightarrow{R_j^p}\right|^{\beta}} \quad (۶)$$

به‌طوری‌که

$$\left|\overrightarrow{R_j^k}-\overrightarrow{R_j^p}\right|^{\beta}=\sqrt{\sum_{m=1}^{N_d}\left(R(k,m,j)-R(p,m,j)\right)^2} \quad (۷)$$

د) افزایش شمارنده حلقه تکرار $j \rightarrow j+1$ و تکرار حلقه تا رسیدن به شرط پایان $j=N_t$ (Formato, 2007)

در زمان اجرای روش بهینه‌سازی نیروی مرکزی هر کاوشگر تحت‌تاثیر شتاب ایجاد شده توسط جاذبه گرانشی جرم‌ها (کاوشگرها) در فضای تصمیم حرکت می‌کند.

در این پژوهش توزیع کاوشگرها بر اساس پنج روش ذکر شده مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه شد که دو روش جای‌گذاری کاوشگرها به‌صورت یکنواخت بر روی هر یک از محورهای مختصات (ابعاد) در فضای تصمیم (به‌صورت قطعی و غیرتصادفی) و جای‌گذاری کاوشگرها در فضای تصمیم به‌صورت تصادفی بهترین حالت در توزیع کاوشگرها برای حل الگوریتم در مساله بهینه‌سازی شبکه‌آب‌رسانی است. به منظور استفاده از این روش در بهینه‌سازی شبکه توزیع آب الگوریتم شکل ۳ طراحی گردید.

بر اساس این الگوریتم روش بهینه‌سازی نیروی مرکزی اجرا شده است. در هر تکرار الگوریتم بهینه‌سازی نیروی مرکزی مقادیر هزینه و اطمینان‌پذیری برای تمام کاوشگرها محاسبه شد. به‌منظور تعریف کاوشگرهای اولیه روش قطعی مورد استفاده قرار گرفت و کاوشگرهای اولیه برای شبکه‌ی توزیع آب موردنظر تعریف شده‌اند. هم‌چنین مقادیر شتاب‌های اولیه کاوشگرها صفر فرض گردید.

نتایج و بحث

در ادامه به‌منظور اجرای روش بهینه‌سازی نیروی مرکزی برای بهینه‌سازی شبکه توزیع آب اسماعیل‌آباد تعداد بهینه کاوشگر و نرخ بهینه جهش می‌بایست با انجام آنالیز حساسیت تعیین گردند. از این‌رو ابتدا به بررسی این دو پارامتر و تعیین بهترین مقدار دو پارامتر پرداخته شد.

بررسی تعداد بهینه کاوشگر

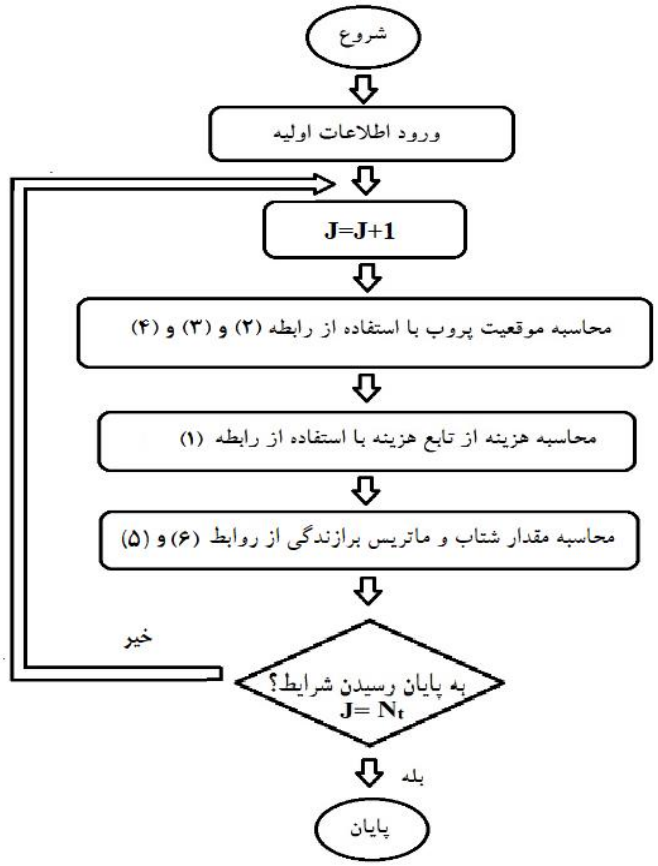
به‌منظور به‌کارگیری الگوریتم بهینه‌سازی نیروی مرکزی برای استفاده در شبکه آب‌رسانی و یافتن تعداد کاوشگر مناسب، این الگوریتم با تعداد کاوشگرهای مختلف اجرا گردید. آنالیز حساسیت تعداد کاوشگرها در بازه‌ی ۲۰ تا ۶۰ کاوشگر و تعداد ۱۱،۰۰۰ مرتبه ارزیابی تابع هدف انجام شد، که نتایج آن در جدول ۴ ارایه شده است. کاوشگرهای اولیه به‌صورت قطعی در فضای تصمیم توزیع شده‌اند. هم‌چنین نرخ جهش در انجام آنالیز حساسیت تعداد کاوشگرها ۱۵٪ در نظر گرفته شد.

جدول ٤- نتایج آنالیز حساسیت جهت تعیین تعداد کاوشگر بهینه

تعداد کاوشگرها	٦٢	٥٢	٤٢	٣٢	٢٢
هزینه طرح (دلار)	٧٣٨٥٢٠	٧٣٧٩٨٨	٧٣٧٩٢٤	٧٣٨٥٢٠	٧٤٣٢٢١

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- الگوریتم روش بهینه‌سازی نیروی مرکزی در بهینه‌سازی شبکه آبیاری مورد مطالعه

همان‌طور که از جدول ۴ مشخص است؛ بهترین تعداد کاوشگر برابر ۴۲ عدد به‌دست آمد. هم‌چنین نشان داده شد که در تعداد کم‌تر و بیش‌تر از این تعداد، همگرایی الگوریتم در یافتن کم‌ترین هزینه‌ی شبکه مناسب نمی‌باشد.

نرخ جهش بهینه

آنالیز حساسیت نرخ جهش با در نظر گرفتن ۴۲ کاوشگر و بازه‌ی ۵ تا ۲۰ درصد برای جهش و تعداد ۱۱،۰۰۰ مرتبه ارزیابی تابع هدف انجام شد. نتایج این بررسی در شکل ۴ ارایه شده است.

با توجه به نتایج شکل ۴ نرخ جهش ۱۵٪ به‌منظور افزایش کارایی الگوریتم نیروی مرکزی توصیه می‌شود. در این تحقیق، مقدار ضریب جریمه در تابع پنالتی برابر ۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰ دلار منظور شد که اگر کاوشگرها در محدوده موردنظر نباشند این مبلغ به هزینه آن کاوشگر اضافه می‌گردد.

اگر ضریب جریمه کم در نظر گرفته شود باعث می‌شود که مقدار تابع هدف برای جواب‌های خارج از فضای شدنی مساله به اندازه‌ی کافی جریمه نگردند و محدودیت‌های فشار و سرعت مجاز به‌طور کامل رعایت نشود. بنابراین با استفاده از مقدار ضریب جریمه بزرگ این مشکل رفع شده و جواب بهینه با رعایت کامل قیود مساله به‌دست می‌آید. هم‌چنین استفاده از مقادیر بزرگ‌تر از مقدار مذکور موجب افزایش برازندگی کاوشگرها و در نتیجه تضعیف سرعت همگرایی الگوریتم می‌شود.

بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم CFO

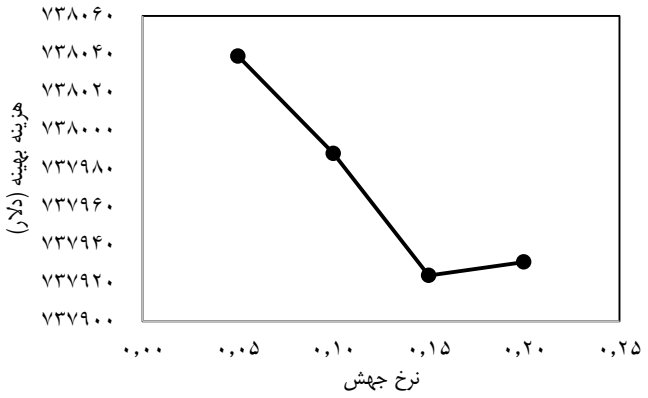
شکل ۵ نمودار همگرایی مساله طراحی بهینه قطر لوله‌های شبکه‌ی آبیاری اسماعیل‌آباد با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی نیروی مرکزی و با تعداد ۱۰۰۰ تکرار (N_t=1000) را نشان می‌دهد. تعداد کاوشگرها در این حالت نیز ۴۲ کاوشگر در نظر گرفته شد که با استفاده از روش قطعی و غیرتصادفی در فضای تصمیم توزیع گردیدند.

شبکه موردنظر با شرایط تعداد کاوشگر ۴۲ عدد، نرخ جهش ۱۵٪، تعداد تکرار ۱۰۰۰ مرتبه (N_t=1000) و شتاب اولیه کاوشگرها برابر صفر در الگوریتم نیروی مرکزی بهینه گردید.

بهترین نتیجه الگوریتم نیروی مرکزی برای شبکه موردنظر در جدول ۵ مشاهده شد، این ترکیب قطر ترکیب قطر بهینه از نظر هزینه اجرا می‌باشد. بر اساس این ترکیب قطر شرایط هیدرولیکی شبکه به‌صورت جدول ۵ و ۶ برای لوله‌ها و گره‌ها بدست آمد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- نتایج هزینه طرح نسبت به نرخ جهش

جدول ٥- قطر بهینه تولید شده و سرعت در لوله‌ها توسط الگوریتم نیروی مرکزی

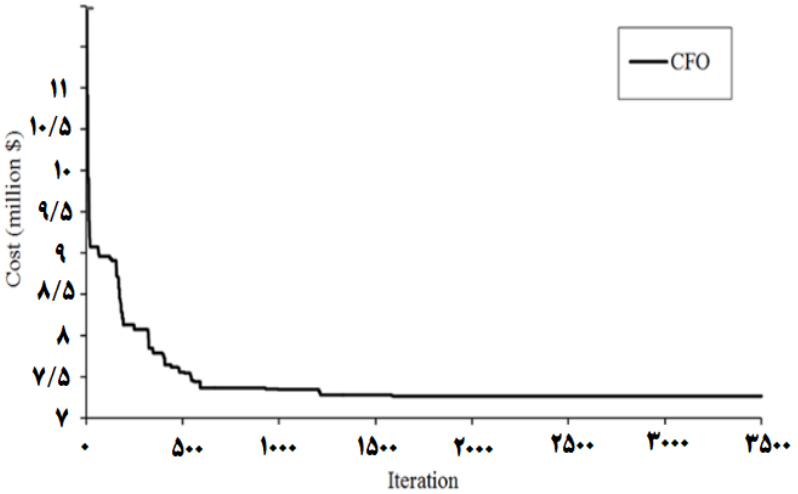
شماره لوله	قطر بهینه (اینچ)	قطر بهینه داخلی (میلی‌متر)	قطر بهینه خارجی (میلی‌متر)	دبی (لیتر بر ثانیه)	سرعت (متر بر ثانیه)	افت در ۱۰۰۰ متر
P1	۱۰/۵۷۵	۲۶۸/۶	۳۱۵	-	-	
P2	۳۱/۴۹۶	۸۰۰	۸۰۰	۸۵۶/۵۶	۱/۷۰	۰/۷۲
P3	۳۱/۴۹۶	۸۰۰	۸۰۰	۸۵۶/۵۶	۱/۷۰	۰/۷۲
P4	۲۳/۶۲۲	۶۰۰	۶۰۰	۴۲۹/۸	۱/۵۲	۰/۸۱
P5	۸/۳۹۴	۲۱۳/۲	۲۵۰	۱۲۸/۹۴	۱/۷۳	۵/۳۴
P6	۱۱/۹۲۱	۳۰۲/۸	۳۵۵	۱۲۸/۹۴	۱/۷۹	۲/۴۵
P7	۱۶/۷۸۷	۴۲۶/۴	۵۰۰	۲۴۴/۹۲	۱/۷۲	۱/۶۲
P8	۱۵/۱۱۰	۳۸۳/۸	۴۵۰	۱۹۰/۳۴	۱/۶۵	۱/۶۹
P9	۱۱/۹۲۱	۳۰۲/۸	۳۵۵	۱۲۸/۹۴	۱/۷۹	۲/۶۱
P10	۸/۳۹۴	۲۱۳/۲	۲۵۰	۵۸/۳۳	۱/۶۳	۳/۳۲
P11	۴/۷۰۱	۱۱۹/۴	۱۴۰	۲۱/۴۹	۱/۹۲	۸/۸۰
P12	۱۵/۱۱۰	۳۸۳/۸	۴۵۰	۱۶۵/۸	۱/۴۳	۱/۳۱
P13	۱۱/۹۲۱	۳۰۲/۸	۳۵۵	۱۳۲	۱/۸۳	۲/۷۳
P14	۱۰/۵۷۵	۲۶۸/۶	۳۱۵	۹۸/۲۴	۱/۷۳	۲/۸۴
P15	۶/۰۳۹	۱۵۳/۴	۱۸۰	۳۱/۷۷	۲/۳۱	۶/۵۶
P16	۱۱/۹۲۱	۳۰۲/۸	۳۵۵	۱۱۹/۷۳	۱/۶۶	۲/۲۸
P17	۷/۵۵۱	۱۹۱/۸	۲۲۵	۱۲/۴۹	۱/۷۰	۰۴/۴۰
P18	۷/۵۵۱	۱۹۱/۸	۲۲۵	۵/۴۶	۱/۵۹	۳/۵۹
هزینه بهینه (دلار)				**۷۳۷۹۲٤**		
تعداد ارزیابی				**۹۲٤٥**		

پس از بهینه‌سازی شبکه آبیاری تحت فشار روستای اسماعیل‌آباد، شرایط هیدرولیکی (سرعت و فشار) برای طرح بهینه مورد ارزیابی قرار گرفت. از این‌رو با توجه به شرایط هیدرولیکی لوله‌ها در جدول ۵ مشاهده شد سرعت در تمامی لوله‌ها در محدوده مجاز (بین ۰/۷ تا ۲/۵ متر بر ثانیه) می‌باشند.

با توجه به جدول ۶ مشاهده شد که فشار در گره‌ها در محدوده مجاز بوده و این نشان‌دهنده استاندارد بودن شبکه از لحاظ هیدرولیکی است. در گره J1 فشار منفی می‌باشد و با توجه به شبکه توزیع آب مشاهده گردید این گره در نقطه مکش پمپ قرار دارد یعنی نقطه دقیقا قبل از پمپ می‌باشد. با توجه به مکش پمپ منفی شدن فشار در این گره قابل انتظار می‌باشد زیرا نقطه تحت مکش، با علامت منفی نمایش داده شد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۵- نمودار همگرایی الگوریتم بهینه‌سازی نیروی مرکزی برای بهینه‌سازی شبکه آبیاری اسماعیل‌آباد

جدول ٦- شرایط هیدرولیکی قطر بهینه در گره‌ها

شماره گره	فشار (متر آب)	تراز هیدرولیکی (متر)	دبی خروجی (لیتر بر ثانیه)
Res.	۰	۱۷۸۹	-۸۵۶/۶۹
J1	-۱/۲۹	۱۷۸۸/۷۱	۰
J2	۱۳۴/۶۹	۱۹۲۶/۰۲	۰
J3	۱۰۹/۴۴	۱۹۲۴/۷۱	۰
J4	۸۴/۹۸	۱۹۲۳/۳۹	۰
J5	۷۳/۱۹	۱۹۱۹/۵۷	۰
J6	۷۳/۷۳	۱۹۰۸/۸۵	۵۲/۹۰
J7	۶۰/۲۰	۱۹۱۴/۵۵	۱۲۸/۹۴
J8	۸۰/۹۳	۱۹۲۲/۳۲	۵۴/۵۸
J9	۷۷/۹۱	۱۹۲۱/۲۱	۶۱/۴۰
J10	۷۹/۳۷	۱۹۱۷/۸۶	۷۰/۶۱
J11	۱۰۰/۰۳	۱۹۰۹/۰۸	۳۶/۸۴
J12	۸۴/۹۷	۱۸۹۲/۴۸	۲۱/۴۹
J13	۶۵/۵۱	۱۹۱۷/۲۰	۳۳/۸۰
J14	۵۰/۴۸	۱۹۱۰/۹۳	۱۳۲/۰۱
J15	۹۱/۹۰	۱۹۱۳/۳۳	۶۴/۵۷
J16	۸۳/۳۹	۱۸۹۶/۷۹	۳۳/۷۷
J17	۸۸/۷۷	۱۹۱۴/۱۸	۷۰/۶۱
J18	۵۹/۰۸	۱۹۰۵/۴۲	۴۹/۱۲
J19	۷۰/۲۵	۱۹۱۸/۲۷	۴۶/۰۳

مقایسه نتایج

در ادامه ترکیب لوله بهینه بدست آمده از الگوریتم نیروی مرکزی با ترکیب لوله بهینه مطلق در روش برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط (MILP) (شاهی‌نژاد و همکاران،۱۳۹۰) و روش الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) (منصوری و ترابی،۱۳۹۴) مقایسه گردید. در نهایت بهینه‌های موجود از روش الگوریتم نیروی مرکزی، برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط، الگوریتم تکامل تفاضلی و تجربی از نظر هزینه مقایسه شد (جدول ۷).

در جدول ۷ قطرهای بهینه تولید شده توسط الگوریتم‌های نیروی مرکزی و تکامل‌تفاضلی با روش تجربی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، اختلاف بین قطرهای بهینه در دو روش تجربی و الگوریتم‌های مورد بررسی بسیار زیاد می‌باشد. که نشان از دقت بسیار پایین ای روش‌های تجربی است و امروزه در پروژه‌های عمرانی استفاده از این روش‌ها منسوخ شده است. این در

www.SID.ir

Archive of SID

حالی است که روش‌های بهینه‌سازی هر روز با سرعت و دقت بالا توسط محقیقن ارایه می‌گردد. ترکیب لوله ارایه شده در روش برنامه-ریزی اعداد صحیح مختلط بهترین ترکیب لوله بهینه برای شبکه مورد مطالعه می‌باشد.

با توجه به جدول ۸ می‌توان گفت روش الگوریتم نیروی مرکزی نتایج بسیارخوبی را برای بهینه کردن شبکه توزیع آب ارایه می‌دهد. به‌طوری‌که در شبکه مذکور روش الگوریتم نیروی مرکزی هزینه را ۱۰/۶ درصد کم‌تر از هزینه به روش تجربی برآورد کرده است که با توجه به زمان کمی که برای اجرای الگوریتم نیاز است بسیار کارآمد می‌باشد.

جدول ۷- قطرهای بهینه در سه روش الگوریتم نیروی مرکزی، تکامل‌تفاضلی، برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط

شماره لوله	قطر بهینه برنامه‌ریزی خطی (میلی‌متر)	قطر بهینه با روش تجربی (میلی‌متر)	قطر بهینه الگوریتم تکامل تفاضلی (میلی‌متر)	قطر بهینه الگوریتم نیروی مرکزی (میلی‌متر)
P1	–	–	–	–
P2	۸۰۰	۹۰۰	۸۰۰	۸۰۰
P3	۸۰۰	۹۰۰	۸۰۰	۸۰۰
P4	۶۰۰	۷۰۰	۶۰۰	۶۰۰
P5	۲۲۵	۲۵۰	۲۲۵	۲۵۰
P6	۳۵۵	۳۵۵	۳۵۵	۳۵۵
P7	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰
P8	۴۵۰	۵۰۰	۴۵۰	۴۵۰
P9	۳۵۵	۴۰۰	۳۵۵	۳۵۵
P10	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰
P11	۱۴۰	۱۶۰	۱۴۰	۱۴۰
P12	۴۰۰	۴۰۰	۴۵۰	۴۵۰
P13	۳۵۵	۳۱۵	۳۵۵	۳۵۵
P14	۳۱۵	۳۱۵	۳۱۵	۳۱۵
P15	۱۸۰	۲۰۰	۱۸۰	۱۸۰
P16	۳۵۵	۴۰۰	۳۵۵	۳۵۵
P17	۲۲۵	۲۵۰	۲۲۵	۲۲۵
P18	۲۲۵	۱۶۰	۲۲۵	۲۲۵

جدول ۸- هد فشار ورودی و هزینه کل شبکه توسط الگوریتم نیروی مرکزی، الگوریتم DE و روش MILP

روش طراحی	هزینه کل (دلار)	هد فشار ورودی (متر)
الگوریتم نیروی مرکزی	۷۳۷۹۲۴	۱۳۴/۶۹
روش MILP	۷۲۶۴۶۳	۱۳۹/۶۶
الگوریتم تکامل‌تفاضلی	۷۳۷۹۲۰	۱۳۵/۳۷
روش تجربی	۸۲۵۹۳۵	۱۴۰

الگوریتم نیروی مرکزی نتایج بسیارخوبی را برای بهینه کردن شبکه توزیع آبیاری ارایه می‌دهند. به‌طوری‌که در شبکه مذکور روش الگوریتم تکامل تفاضلی هزینه را ۱/۵۷ درصد بیش‌تر از کم‌ترین هزینه برآورد کرده است (۷۳۷۹۲۰ دلار) و الگوریتم نیروی مرکزی هزینه را ۱/۵۵ درصد بیش‌تر از کم‌ترین مقدار بدست آورده است (۷۳۳۹۲۴). این در حالی است که در روش تجربی هزینه شبکه مورد تحقیق ۱۳/۷ درصد بیشتر برآورد شده است.

نتایج حاصل شده از مقایسه زمان اجرای الگوریتم نیروی مرکزی در مقابل روش برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط و الگوریتم تکامل‌تفاضلی حاکی از آن است که زمان اجرای الگوریتم بهینه‌سازی نیروی مرکزی به‌تقریب ۳۰ دقیقه می‌باشد این در حالی است که روش MILP که بهینه مطلق را ارایه می‌کند زمانی حدود ۱ ساعت نیاز دارد و الگوریتم تکامل تفاضلی نزدیک به دو ساعت زمان نیاز دارد تا بتواند جواب بهینه مناسب را ارایه نماید. هر چند مشاهده می‌شود الگوریتم نیروی مرکزی نسبت به الگوریتم تکامل تفاضلی هزینه ساخت را بیش‌تر برآورد کرده است اما زمان اجرای روش نیروی

www.SID.ir

Archive of SID

مرکزی نسبت به الگوریتم تکامل تفاضلی کم‌تر است و همگرایی روش نیروی مرکزی خیلی سریع‌تر از روش‌های مقایسه این تحقیق است. اهمیت این زمان کم‌تر اجرا در بهینه‌سازی شبکه‌های بزرگ بسیار تاثیرگذار است. دلیل این‌که الگوریتم تکامل تفاضلی هزینه‌ای کم‌تر از روش نیروی مرکزی اجرا می‌کنند آن است که الگوریتم تکامل تفاضلی الگوریتم بر اساس عملیات‌های ریاضی می‌باشد و این الگوریتم در مسایل گسسته بهتر از الگوریتم نیروی مرکزی که بر اساس پدیده طبیعی است، عمل می‌کند.

از دیگر مزیت‌های این الگوریتم نسبت به روش برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط، قابلیت استفاده این الگوریتم در شبکه‌های حلقه‌ای و شبکه‌های مختلط است. از آن‌جایی که تحلیل هیدرولیکی شبکه در روش بهینه‌سازی الگوریتم DE توسط نرم‌افزار EPANET انجام شد، از این‌رو محدودیتی در نوع شبکه وجود ندارد. در حالی‌که تحلیل شبکه در روش MILP توسط خود شبکه صورت می‌گیرد که فقط قادر به تحلیل شبکه‌های درختی است (شاهی‌نژاد، ۱۳۹۰).

در مورد شبکه‌های بزرگ که ترکیب لوله‌های آن‌ها بسیار زیاد می‌باشد استفاده از الگوریتم نیروی مرکزی نسبت به روش برنامه‌ریزی اعداد مختلط و دیگر الگوریتم‌های تکاملی به دلیل سرعت بالای همگرایی اولویت دارد. لازم به ذکر است دو الگوریتم نیروی مرکزی و الگوریتم تکامل تفاضلی را می‌توان در شبکه‌های بزرگ و پیچیده بکار برد اما روش برنامه‌ریزی اعداد مختلط را نمی‌توان برای شبکه‌های بزرگ که دارای حلقه می‌باشند استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای نخستین بار شبکه توزیع آبیاری روستای اسماعیل‌آباد با الگوریتم‌های نیروی مرکزی بهینه‌سازی گردید. نتایج بدست آمده با نتایج بهینه‌سازی توسط روش تجربی و روش برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط و الگوریتم تکامل تفاضلی مورد سنجش قرار گرفت.

نتایج حاصل از الگوریتم نیروی مرکزی بسیار تحت‌تاثیر پارامترهای تعداد کاوشگر، نرخ جهش، تعداد تکرار و شتاب اولیه می‌باشند. در مسایل بهینه‌سازی مربوط به شبکه‌های آب‌رسانی که گسسته هستند، نتیجه شد که شبکه موردنظر با شرایط تعداد کاوشگر ۴۲ عدد و نرخ جهش ۱۵٪ با تعداد تکرار ۱۰۰۰ مرتبه (N_t=1000) و شتاب اولیه کاوشگرها برابر صفر در الگوریتم نیروی مرکزی بهترین کارایی را دارند.

نتیجه‌گیری‌ها نشان داد که الگوریتم نیروی مرکزی کارایی بهتری از لحاظ زمان و یافتن بهینه نسبت به دو روش برنامه‌ریزی اعداد مختلط و الگوریتم تکامل تفاضلی دارد. بطوری‌که الگوریتم نیروی مرکزی با زمانی برابر ۳۰ دقیقه توانست به جواب بهینه دست یابد، این درحالی است که الگوریتم تکامل تفاضلی برای رسیدن به جواب بهینه زمانی ۴ برابر این زمان نیاز دارد و هم‌چنین روش برنامه-ریزی اعداد مختلط دو برابر الگوریتم نیروی مرکزی زمان نیاز دارد تا جواب بهینه مطلق را ارایه کند. در بررسی هزینه بهینه ارایه شده توسط سه روش، برنامه‌ریزی اعداد مختلط (MILP) بهینه مطلق را ارایه کرد که هزینه نهایی ۷۲۶۴۶۳ دلار تخمین زد. این در حالی است که الگوریتم تکامل تفاضلی (۷۳۷۹۲۰ دلار) هزینه را فقط ۱/۵۷ درصد و بهینه الگوریتم نیروی مرکزی (۷۳۷۹۲۴ دلار) هزینه را ۱/۵۵ درصد بیش‌تر از بهینه مطلق برآورد کرده‌اند. در بررسی دیگر که اهمیت ویژه‌ای در طراحی شبکه‌های توزیع دارد، بحث فشار در شبکه می‌باشد زیرا هرچه فشار شبکه کمتر محاسبه گردد هزینه تاسیسات ایجاد فشار نیز کمتر می‌شود. از اینرو الگوریتم نیروی مرکزی فشار شبکه را برابر ۱۳۴/۶ متر آب برآورد کرده است که نسبت به دو روش دیگر فشار کمتری است که باعث می‌شود در انتخاب پمپ نیز صرفه‌جویی هزینه صورت بگیرد.

منابع

جباری،آ.، ترابی پوده،ح.، یونسی،ح و حقی‌آبی،ا.ح، ۱۳۹۶. کاربرد روش بهینه‌سازی نیروی مرکزی در طراحی سامانه‌های توزیع آب، مجله آب و فاضلاب. ۲۸. ۲:۷۷-۶۵.

شاهی‌نژاد،ب. ۱۳۹۰. طراحی بهینه سیستم‌های انتقال و توزیع شبکه‌های تحت فشار با استفاده از برنامه‌ریزی خطی مختلط اعداد حقیقی و صحیح. رساله دکترا، دانشگاه چمران.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۴. فهرست بهای واحد پایه رشته انتقال و توزیع آب روستایی. فهرست بهای، رشته مهندسی آب.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۲. ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی. نشریه شماره ۳-۱۱۷، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا.

منصوری،ر و ترابی،ح. ۱۳۹۴. به‌کارگیری الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) برای بهینه‌سازی شبکه توزیع آب (مطالعه موردی: شبکه آبیاری تحت‌فشار اسماعیل‌آباد). نشریه دانش آب و خاک ۲۵. ۴/۲: ۹۵-۸۱.

Aghdam,K.M., Mirzaee,I., Pourmahmood,N., Aghababa,M.P. 2015. Design of water distribution networks via a novel fractional succedaneum shuffled frog leaping method. Journal of mechanics. 31.4: 369-380.

Alperovits,E and Shamir,U. 1977. Design of optimal water distribution systems. Water

www.SID.ir

Archive of SID

Water recourses research. 22.5: 819–822.

Haghighi,A., Samani,H.M.V., Samani,Z.M.V. 2011. Genetic algorithem method for optimization of water distribution networks. Water recourses management. 25.7: 1791–1808.

Jacoby,S.L.S. 1968. Design of optimal hydraulic networks. Journal of hydraulics division. 94.3: 641–661.

Kadu,M.S., Rajesh,G and Bhave,P.B. 2008. Optimal design of water networks using a modified genetic algorithm with reduction in search space. Journal of water recourses planning and management. 134.2:147–160.

Keedwell,E and Khu,.T. 2006. Novel cellular automata approach to optimal water distribution network design. Journal of computing civil engineering. 20.1:49–56.

Kessler,A and Shamir,U. 1989. Analysis of linear programming gradient method for optimal design of water supply networks. Water recourses research. 25.7:1469–1480.

Maier,H.R., Simpson,A.R., Zecchin,A.C., Foong,W.K., Phang,K.Y., Seah,H.Y and Tan,C.L. 2003. Ant colony optimization for design of water distribution systems. Journal of water recourses planning and management.129.3:200–209.

Montesinos,P., Guzman,A.G and Ayuso,J.L. 1999. Water distribution network optimization using a modified genetic algorithm. Water recourses research. 35.11:3467–3473.

Neelakantan,T.R and Suribabu,C.R. 2005. Optimal design of water distribution networks by a modified genetic algorithm. Journal of civil and environmental engineering. 1.1:20–34.

Qi,X., Li,K and Potter,W.D. 2016. Estimation of distribution algorithm enhanced particle swarm optimization for water distribution network optimization. Frontiers of environmental science & engineering. 10.2: 341–351.

Qubati,G.M., Formato,R.A and Dib,N. 2010. Antenna benchmark performance and array synthesis using Central force optimisation. Microwaves, antennas and propagation. 4.5:583–592.

Savic,D.A and Walters,G.A. 1997. Genetic algorithms for least cost design of water distribution networks. Journal of water recourses research. 13.6: 885–900.

Cunha,M and Sousa,J. 1999. Water distribution network design optimization: simulated annealing approach. Journal of water recourses planning and management. 125.4:215–221.

Dandy,G.C., Simpson,A.R., Murphy,L.J. 1996. An improved genetic algorithm for pipe network optimization. Water recourses research. 32.2:449–458.

Dib,N., Sharaqa,A and Formato,R.A. 2013. Variable Z_0 applied to biogeography based optimized multi-Stub matching network and to a central force optimized meander monopole. Antennas and propagation society international symposium. 2129 – 2130.

Eusuff,M.M., Lansey,K.E. 2003. Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm. Journal of water recourses planning and management. 129.3:210–225.

Formato,R.A. 2007. Central force optimization: a new metaheuristic with applications in applied electromagnetic. Progress in electromagnetics research. 77.1:425-491.

Formato,R.A.2010a. Improved CFO algorithm for antenna optimization. Progress in electromagnetics research. 19:405-425.

Formato,R.A. 2010b. Central force optimization applied to the suite of antenna benchmarks. Computing research repository. abs/1003.0221.

Formato,R.A. 2012. Improving bandwidth of yagi-uda arrays. Wireless engineering and technology. 3.1:18-24.

Fujiwara,O., Jenchaimahakoon,B and Edirisinghe,N.C.P. 1987. A modified linear programming gradient method for optimal design of looped water distribution networks. Water recourses research. 23.6:977–982.

Geem,Z.W. 2015. Multiobjective optimization of water distribution networks using fuzzy theory and harmony search. Water. 7:3613-3625.

Gil,C., Baños,R., Ortega,J., Márquez,A.L., Fernández,A., Montoya,M.G. 2011. Ant cColony optimization for water distribution network design: a comparative study. Advances in computational intelligence. 300-307.

Goulter,I.C., Lussier,B.M., Morgan,D.R. 1986. Implications of head loss path choice in the optimization of water distribution networks.

www.SID.ir

Archive of SID

Varma,K.V., Narasimhan,S., Bhallamudi,S.M. 1997. Optimal design of water distribution systems using an NLP method. Journal of environmental engineering. 123.4:381–388.

Zecchin,A.C., Maier,H.C., Simpson,A.R., Leonard,M and Nixon,J.B. 2007. Ant colony optimization applied to water distribution system design: comparative study of five algorithms. Journal of water recourses planning and management. 133.1:87–92.

recourses planning and management. 123.2:67–77.

Suribabu,C.R and Neelakantan,T.R. 2006. Design of water distribution networks using particle swarm optimization. Journal of urban water. 3.2:111–120.

Vairavamoorthy,K and Ali,M. 2005. Pipe index vector: a method to improve genetic-algorithm-based pipe optimization. Journal of Hydraulic Engineering. 131.12:1117–1125.

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 13, Apr.-May. 2019, p. 101-114

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۳، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۸، ص. ۱۱۴-۱۰۱

Applied of Central Force Algorithm (CFO) in Optimization of Irrigation Water Distribution Network

R. Mansouri[1], M. Mohammadizadeh[2]

Recived: Jul.17, 2018 Accepted: Sep.23, 2018

Abstract

Since water distribution networks have very high execution costs, it is essential to discuss the optimal design of these types of networks. In this research, Central Force Optimization (CFO) was used to optimize Ismail Abad irrigation water distribution network. This network that is pressurized network and includes 19 pipes and nodes 18. Optimization of the network has been evaluated by developing an optimization model based on CFO algorithm in MATLAB and the dynamic connection with EPANET software for network hydraulic calculation. Central force algorithm for conditions of probes 42, 15% mutation rate, the number of iteration equal to 1,000 (N_t = 1000) and initial acceleration probe is zero showed the best performance. The optimal solution for Ismael Abad irrigation water distribution network show that CFO (737,924 $) is %1.55 more than the absolute optimum (Shahinezhad, 1390) that determined by the MILP method.

Keywords: Central Force Optimization, Mutation Rate, Optimization Model, Probe, Water Networks

1- Assistant Professor in Hydraulic Structures. Civil Engineering Department, Sirjan Branch, Islamic Azad University, Sirjan, Iran
2- Assistant Professor in Geotechnical Engineering, Civil Engineering Department, Sirjan Branch, Islamic Azad University, Sirjan, Iran
(*- Corresponding Author Email:Ramin_Mansouri@yahoo.com)

www.SID.ir