تحلیل و ارزیابی روش‌های فراابتکاری، ابتکاری و قطعی در ارایه مسیر بهینه برای شبکه‌های کوچک، متوسط و بزرگ

مقاله علمی – پژوهشی

علیرضا ماهپور*، استادیار، دانشکده عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
علیرضا وفایی‌نژاد، استادیار، دانشکده عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
زینب فرسی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: a_mahpour@sbu.ac.ir
دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰- پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵
صفحه ۱۰-۱

چکیده

مسیریابی بهینه یکی از پرکاربردترین مسایل شبکه در برنامه‌ریزی حمل و نقل است و هدف از آن یافتن کوتاهترین مسیر از میان مسیرهای موجود است. مسئله کوتاهترین مسیر روی یافتن مسیر با کمترین فاصله، زمان یا هزینه از گره منبع به گره مقصد تمرکز دارد. از جهت دیگر زمان انجام این پردازش در کاربردهای مربوط به حمل و نقل هوشمند و کاربر مبنا اهمیت زیادی می‌یابد. برای انجام مسیریابی از الگوریتمهای قطعی و ابتکاری مختلفی استفاده می‌شود. یکی از این الگوریتم‌ها، الگوریتم فراابتکاری بهینه سازی کلونی مورچه است که از رفتار جمع آوری آذوقه مورچه‌ها الهام گرفته شده است و به ذات به مسئله مسیریابی از لانه تا آذوقه می‌پردازد و در مقاله حاضر نتایج آن با دو الگوریتم دیگر یعنی ژنتیک و دایکسترا مقایسه می‌شود. الگوریتم ژنتیک یک الگوریتم فراابتکاری می‌باشد و در مقابل آن دایکسترا الگوریتمی قطعی است. هر سه الگوریتم روی سه شبکه کوچک با ۲۰۰ گره، متوسط با ۱۰۰۰ گروه و بزرگ با ۲۰۰۰ گره بررسی شدند. با بررسی نتایج مشخص شد که الگوریتم کلونی مورچه‌ها در شبکه‌های بزرگ نتایج بهتری می‌دهد. زمان محاسباتی الگوریتم فراابتکاری کلونی مورچگان نزدیک به زمان محاسباتی الگوریتم ژنتیک است اما دقت بیشتری داشته و دقت محاسبات آن همانند روش الگوریتم قطعی دایکسترا است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم دایکسترا، مسیریابی، شبکه

۱-مقدمه

کاربرد روش‌های ابتکاری و فراابتکاری همانند روش کلونی مورچگان در مسیریابی شبکه‌های حمل و نقلی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است که از مسایل بهینه‌سازی شبکه هستند (Ghezavati and Beigi, 2016). در یک تقسیم‌بندی، دو دسته الگوریتم برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی وجود دارد: الگوریتم‌های دقیق و الگوریتم‌های تخمینی (Machuca, et al., 2011). الگوریتم‌های دقیق، یافتن جواب بهینه را تضمین و ثابت می‌کند و برای حل مسائل بهینه‌یابی کوچک قابل استفاده هستند و

به زمان‌های نمایی برای حل مساله نیاز دارند (Ginantra, et al., 2019). الگوریتم‌های تخمینی که روش‌های ابتکاری هم نامیده می‌شوند جواب‌های نزدیک به بهینه را با هزینه محاسباتی اندک می‌یابند، بدون اینکه قادر باشند، بهینگی جواب‌های یافته شده را تضمین کنند (Dorigo and Stutzle, 2004). نوعی از الگوریتم‌های ابتکاری، الگوریتم‌های فراابتکاری یا متاهیوریستیک است که جواب‌هایی با کیفیت بسیار بالا را در زمانی منطقی برای مسائل بهینه‌سازی ترکیبی بدست می‌آورند (Mahpour, et al., 2020). بهینه‌سازی از طریق کلونی مورچه، فراابتکاری است که در آن کلونی از مورچه‌های مصنوعی در یافتن جواب‌های مطلوب در مسائل بهینه‌سازی با هم همکاری می‌کنند. این الگوریتم‌ها برای هر دو نوع مسائل ایستا و پویای بهینه‌سازی ترکیبی قابل کاربرد است (Min et al., 2018).

از روش‌های قطعی همچون روش دایکسترا و ابتکاری همچون کلونی مورچگان در مسایل مختلف مسیریابی شبکه همچون روش کوتاه‌ترین مسیر به صورت گستره استفاده می‌شود (e.g. Bin, et al., 2009; Gajpal, et al., 2009; Bin, et al., 2010; Mahpour, et al., 2020). مسئله کوتاهترین مسیر یک مسئله اساسی در آنالیز شبکه است و منظور از آن کمینه کردن تابع هزینه در مسیرهای موجود است که در مسیریابی وسایل نقلیه (Ghoseiri, et al., 2010)، امداد رسانی در شرایط بحران (Gao, 2011)، شبکه توزیع کالا و مسافر (Yang, et al., 2017)، سرویس‌های مکان مبنا و سرویس‌های حمل و نقل هوشمند (Wu, et al., 2018) کاربرد گسترده دارد. در یافتن مسیر بهینه، زمان پاسخگویی الگوریتم برای سیستم‌های حمل و نقلی اهمیت بالایی دارد که در این میان یافتن الگوریتمی که در کوتاهترین زمان ممکن به بهترین جواب برسد، لازم و ضروری است (Qureshi, et al., 2010).

برای انجام مسیریابی از الگوریتم‌های مختلفی استفاده می‌شود که شامل الگوریتم های قطعی و احتمالی هستند. الگوریتم‌های قطعی یافتن جواب بهینه را تضمین می‌کنند، ولی برای حل مساله نیاز به زمانی بالایی دارند (Ji, 2005; Davies, 2003). در صورتی که الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری جواب نزدیک به بهینه را در زمان کمی محاسبه و ارایه می‌کند.

در این مقاله به تحلیل و ارزیابی روش‌های فراابتکاری، ابتکاری و قطعی در ارایه مسیر بهینه برای شبکه‌های کوچک، متوسط و بزرگ پرداخته شده‌است. در این راستا مسیریابی برای نمونه مورد بخشی از شبکه راه‌های بین‌شهری کشور در سه سطح (کوچک با بیشترین ساده‌سازی، متوسط و بزرگ با بیشترین جزییات) انجام می‌شود و نتایج آن با الگوریتم فراابتکاری ژنتیک و الگوریتم قطعی دایکسترا مقایسه می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه راه حلی مناسب برای مسائل بهینه سازی ترکیبی است که اولین بار توسط دوریگو و بلوم در برای حل مسئله فروشنده دوره‌گرد معرفی شد (Dorigo and Blum, 2005; Gao, et al., 2016). ایده اصلی این الگوریتم از رفتار جمع آوری آذوقه مورچه‌ها الهام گرفته شده است و برای استفاده از آن باید مسئله را به صورت مجموعه متناهی از نقاط و کمان‌ها تعریف کرد. به عبارت دیگر مسائلی با الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه قابل حل است که نیاز به بهینه‌سازی داشته باشد یعنی مسئله جواب قطعی نداشته باشد و بتوان مسئله را به صورت یک گراف تعریف کرد (Ginantra, 2019).

لی و همکاران در پژوهشی با عنوان "بهینه‌سازی کلونی مورچه تکمیل شده به کار رفته برای مسئله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار "الگوریتم بهبود یافته‌ای را معرفی کرده اند که در مورد دو سری مسئله ۱۴ تایی و ۲۰ تایی آزمایش شد و در مقایسه با بهینه‌سازی کلونی مورچه و سیستم مورچه در مورد مسائل بزرگ و کوچک نتایج قابل قبول تری را ارایه می‌دهد (Lee, et al., 2010).

قریشی و همکاران در پژوهشی با عنوان "راه حل دقیق برای مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با استفاده از پنجره زمانی نیمه نرم و کاربردهایش" و در این مقاله با استفاده از یک الگوریتم دقیق و مقایسه آن با دو الگوریتم هیوریستیک که هر دو از نوع الگوریتم ژنتیک هستند و در تعداد جمعیت و کروموزوم ها با هم تفاوت دارند به بررسی زمانی و تعداد ماشین مورد استفاده در این الگوریتم‌ها می‌پردازند. آنها در نتیجه گیری خود عنوان می‌کنند که الگوریتم‌های دقیق برای نمونه‌هایی با حجم کوچک و

الگوریتم‌های هیوریستیک برای نمونه‌هایی با حجم بالا مناسب می‌باشد (Qureshi, et. al., 2010).

برای حل این مسئله الگوریتم‌های قطعی و ابتکاری متنوعی وجود دارد (e.g. Mahpour, et al., 2020). الگوریتم‌های قطعی، الگوریتم‌های مفیدی هستند که به‌وسیله محققانی چون بلمن، دیکسترا و درایفوس گسترش یافته‌اند (Mahpour, et al., 2021) که همگی مربوط به الگوریتم‌های کوتاه ترین مسیر استاندارد می‌باشند (e.g. Vidal, et al., 2013; Vidal, et al., 2014; Mahpour, et al., 2018). اما این الگوریتم‌ها زمان محاسباتی و حجم محاسبات بسیار زیادی دارند که در شبکه‌های بزرگ استفاده نمی‌شوند از این رو الگوریتم‌های ابتکاری برای جستجوی کوتاه‌ترین مسیر گسترش یافتند که اغلب آنها از هوش مصنوعی سرچشمه گرفته‌اند از میان آنها می‌توان به الگوریتم ژنتیک اشاره کرد (Ginantra, et al., 2019).

۳-روش‌شناسی

۳-۱-روش فراابتکاری کلونی مورچگان

بهینه‌سازی کلونی مورچه ها یک الگوریتم فرا ابتکاری برای حل مسائل بهینه سازی ترکیبی است. الگوریتم‌های ACO بر پایه رفتار مورچه‌ها بنا نهاده شده‌اند. هنگامی که مورچه‌ها ازمنبع آذوقه به سمت لانه و یا برعکس می‌روند، از خودشان ماده شیمیایی به نام فرمون روی زمین به جا می‌گذارند و بدین ترتیب، ردپایی از فرمون تشکیل می‌شود. مورچه‌ها می‌توانند فرمون را بو کنند و تمایل دارند که به طور احتمالی مسیری را انتخاب کنند که تمرکز فرمون قوی‌تری دارد.

از ابتدایی‌ترین مراحل حل مسئله با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه‌ها تعریف ساختار گراف است در مسائل مسیریابی گراف به صورت نقاط گرهی است که می‌تواند شامل مبدا و مقصد سفرها باشد و کمان‌ها مسیرهای ارتباطی موجود در گروه‌ها است که امکان عبور از آنها وجود دارد. مجمعه کمان‌ها و گره‌ها گراف $G=(N,A)$ را تشکیل می‌دهد که N گره‌ها و A کمان‌های آن است.

گام دوم تعریف مورچه‌ها است، که از طریق حرکت روی گراف جواب تولید می‌کنند و محدودیت‌های مساله همگی روی مورچه‌های ابتکاری سازنده لحاظ می‌شوند. مورچه‌ها همزمان و به طور مستقل از هم عمل می‌کنند و هر مورچه به اندازه‌ای قدرتمند است که برای مساله مورد نظر یک جواب تولید کند و جواب‌های با کیفیت مطلوب در نتیجه ارتباط مورچه‌ها از طریق رد فرمون و ابتکاری و یا به عبارتی با استفاده از استیگمرجی ممکن است. اگر چه هر مورچه قادر است یک جواب تولید کند، اما برای افزایش کارایی، استفاده از یک کلونی مورچه نوعاً می‌تواند انتخاب مطلوب‌تری باشد و این مطلب دقیقا برای مسائلی که از طریق جغرافیایی دارای توزیع باشند صادق است.

در مرحله سوم به تعریف ردهای فرمون در الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه پرداخته می‌شود، که تاثیر بسیار زیادی در ارایه جواب‌های مطلوب دارد. این بخش از دو قسمت تعریف مفهوم ردهای فرمون و به روزآوری فرمون تشکیل می‌شود. به روزآوری فرمون فرآیندی است که توسط آن رد فرمون در مسیرها تعدیل می‌شوند. مقدار رد فرمون موجود روی مسیرها ممکن است به دلیل باقی گذاشتن فرمون افزایش یابد و یا به دلیل تبخیر فرمون از روی مسیرها کاهش یابد. باقی گذاشتن فرمون جدید، احتمال استفاده مورچه‌های بعدی در گره‌ها یا کمان‌هایی که توسط تعداد زیادی مورچه استفاده شده‌اند و یا گره‌ها و کمان‌هایی که حداقل توسط یک مورچه مورد استفاده قرار گرفته‌اند و به تولید جواب بسیار خوب انجام شده است را افزایش می‌دهد. درست برعکس، تبخیر فرمون نوع مفیدی از فراموشی را اجرا می‌کند بدین ترتیب که تبخیر فرمون از همگرایی سریع الگوریتم به یک منطقه بهینه جلوگیری می‌نماید. بنابراین تبخیر فرمون موجب افزایش تمایل مورچه‌ها برای کشف مناطق جدید از فضای جستجو می‌شود.

در مرحله چهارم به تعریف اطلاعات ابتکاری پرداخته می‌شود تا به منظور بهره‌برداری بیشتر به ساخت جواب‌ها بهینه برسد. اطلاعات ابتکاری به دو صورت دینامیک و استاتیک تعریف می‌شود. در مورد مسائلی که اطلاعات ابتکاری ایستا دارند مقادیر η تنها یکبار در زمان راه اندازی الگوریتم محاسبه می‌شوند و از آن به بعد در تمام مدت اجرای الگوریتم بدون تغییر باقی می‌ماند. مثلاً در حل مسئله کوتاهترین مسیر برای تعریف اطلاعات ابتکاری از $\eta_{ij}=1/d_{ij}$ استفاده می‌شود که d_{ij} نشان‌دهنده کمان ارتباطی میان نقاط i و j است. اطلاعات ابتکاری ایستا فقط یکبار

در زمان راه‌اندازی الگوریتم محاسبه می‌شود که به کاهش عمده زمان محاسباتی الگوریتم منجر می‌شود.

در مرحله پنجم باید یکی از مشتقات الگوریتم کلونی مورچه انتخاب شود. تا به حال مشتقات زیادی برای این الگوریتم بدست آمده است اما ساده‌ترین حالت آن الگوریتم سیستم مورچه است که در سال ۱۹۹۲-۱۹۹۱ به وسیله دوریگو و همکاران ارایه گردید. دو مرحله اصلی الگوریتمAS ساختن جواب توسط مورچه‌ها و به روزآوری رد فرمون است. در ابتدا مورچه‌ها به صورت تصادفی نقاط را انتخاب می‌کنند در هرگام مورچهkام با اااستفاده از قانون نسبت تصادفی نقطه بعدی را انتخاب می‌کند:

$$P_{ij}^{k} = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{l\in N_i^k}[\tau_{ij}]^{\alpha}[\eta_{ij}]^{\beta}}, \qquad \text{if } j \in N_i^k, \qquad (۱)$$

به طوری که $\tau_{ij} = 1/d_{ij}$ مقدار ابتکاری است که اولویت نقاط را معین می‌سازد، α وβ دو پارامتری هستند که تاثیر نسبی رد فرمون و اطلاعات ابتکاری را معین می‌کنند و N_i^k همسایگی قابل قبول مورچه kام را ،وقتی که این مورچه در نقطه i می‌باشد، نشان می‌دهد.

در این روش میزان فرمون اولیه با استفاده از فرمول $\forall(i,j), \tau_{ij} = \tau_0 = m/C^{nn}$ محاسبه می‌شود به طوری که تعداد مورچه‌ها و C^{nn} طول مسیری است که به وسیله ابتکاری نزدیکترین همسایگی تولید شده است. پس از اینکه تمام مورچه‌ها بر اساس قانون احتمال مسیرهای خود را ساختند ردهای فرمون به روز می‌شود. بر اساس فرمول زیر به طوری که $0 < \rho \leq 1$ نرخ تبخیر است و الگوریتم را قادر می‌سازد که اشتباهات خود را فراموش کند.

$$\tau_{ij} \leftarrow (1-\rho)\tau_{ij}\ , \forall(i,j) \in L \qquad (۲)$$

$$\tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} + \sum_{k=1}^{m} \Delta\tau_{ij}^{k}\ , \forall(i,j) \in L \qquad (۳)$$

$$\Delta\tau_{ij}^{k} = \begin{cases} 1/c^{k}, if\ arc\ (i,j) belong\ to\ T^{k}; \\ 0 \qquad\qquad otherwise; \end{cases} \qquad (٤)$$

و در پایان باید مقدار پارامترها مشخص شود تا نتایج استخراج شوند.

۳-۲-روش قطعی دایکسترا

الگوریتم دایکسترا یکی از معروفترین الگوریتم‌ها جهت انجام مسیریابی است. در این روش همواره سعی می‌شود راحت ترین و در عین حال پرارزش ترین راه حل در هر گام انتخاب شود. الگوریتم دایکسترا کوتاه‌ترین مسیر بین گره‌های معلوم شبکه را از طریق یک ماتریس محاسبه می‌کند. بدین صورت که هر ردیف این ماتریس متناظر با یک گره موجود در شبکه می‌باشد.

در ادامه، الگوریتمی برای حل مساله کوتاه‌ترین مسیر ارایه شده است که در آن وزن یک مسیر در گراف وزندار را طول یا زمان عبور آن مسیر در نظر گرفته می‌شود. به طور مشابه کمترین وزن یک مسیر (u,v) را فاصله و یا کمترین زمان بین u,v نامیده، آن را با d(u,v) نمایش داده می‌شود. فرض شود که تمامی وزن‌ها مثبت هستند و اگر$uv \notin E$، آنگاه $w(uv)=\infty$، الگوریتمی که در ادامه به آن پرداخته شده است توسط دایکسترا (Dijkastra) در سال ۱۹۶۰ و به طور مستقل توسط وایتینگ و هیلبر در سال ۱۹۶۰ ارایه شده است. این الگوریتم علاوه بر کوتاه‌ترین (u_0,v_0) مسیر، کوتاهترین مسیرهای بین u_0 تا تمام رأس‌های دیگر در G را پیدا می‌کند. ایده اصلی آن به صورت زیر است:

فرض کنید که s یک زیر مجموعه از V باشد، به طوری که $u_0 \in s$ و $\overline{S}$ را برای نمایش دادن V/S به کار می بریم. اگر $p=u_0 \ldots \overline{u}\,\overline{v}$ یکی از کوتاه‌ترین مسیرهای بین u_0 تا $\overline{S}$ باشد آنگاه روشن است که $\overline{u} \in S$ و $(u_0, \overline{u})$. در نتیجه :

$$d(u_0,v)=d(u_0,u)+w(u,v) \qquad (۵)$$

و فاصله u_0 تا $\overline{S}$ توسط فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$D(u_0, \overline{S})=\min_{u \in s, v \in s} \{d(u_0,u) + w(uv)\} \qquad (٦)$$

این فرمول، اساس الگوریتم دایکسترا محسوب می‌شود، با شروع از مجموعه $S_0=\{u_0\}$ دنباله افزایشی $s_0,s_1,\ldots s_{v-1}$ از زیرمجموعه‌های V به این طریق ساخته می‌شود که در پایان مرحله iام، کوتاهترین مسیرها از u_0 تا تمام رأس‌های s_i معین شده باشند.

مرحله نخست، تعیین نزدیکترین رأس به u_0 است. این عمل با محاسبه $d(u_0,S_0)$ و انتخاب رأسی مانند $u_1 \in \overline{S}_0$ انجام می‌شود به طوری که $d(u_0,u_1)=d(u_0,\overline{S}_0)$.

با توجه به معادله ٦:

$$d(u_0,\overline{S_0}) = \min\{d(u_0,u)+w(uv)\} = \min_{v\in s-}\{w(u_0v)\} \quad (۷)$$

$s0 \in S, v \in u$

بنابراین $d(u_0,\overline{S}_0)$ محاسبه می‌گردد. اکنون قرار می‌دهیم $s_1=\{u_0,u_1\}$ و فرض میکنیم p_1 نشان دهنده مسیر u_0u_1 باشد که به وضوح کوتاهترین (u_0,u_1) – مسیر است. در حالت کلی اگر مجموعهٔ u_k، $\{u_0,u_1\ldots\}$ و $S_k=\{u_0,u_1\ldots\}$ و کوتاهترین مسیرهای متناظر $P_k,\ldots,P_2, P_1$ معین شده باشند، $d(u_0,\overline{S}_k)$ را توسط (معادله ٦) محاسبه کرده، رأس $u_{k+1}\in\overline{S}_k$ را طوری انتخاب می‌شود که $d(u_0,u_{k+1})=d(u_0,\overline{S}_K)$ باشد. بنابراین از رابطه ٦ به ازای یک مقدار $k\leq j$ رابطه ۸ نتیجه می‌شود:

$$d(u_0,u_{k+1})=d(u_0,u_j)+w(u_j,u_{k+1}) \quad (۸)$$

با افزودن $u_j u_{k+1}$ به مسیر P_j کوتاهترین مسیر بدست می‌آید.

۳-۳-روش ابتکاری ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه‌سازی الهام گرفته از طبیعت جاندار (موجودات زنده) است که می‌توان در طبقه‌بندی‌ها، از آن به عنوان یک روش عددی، جستجوی مستقیم و تصادفی یاد کرد. این الگوریتم، الگوریتمی مبتنی بر تکرار است و اصول اولیهٔ آن از علم ژنتیک اقتباس گردیده است. از میان الگوریتم‌های فراابتکاری، مطالعات زیادی روی الگوریتم ژنتیک انجام شده است. از این الگوریتم در مسائل مختلف در زمینه یافتن کوتاه‌ترین مسیر بارها استفاده شده است ونتایج قابل قبولی داشته است (Wanto, et al., 2017). در الگوریتم ژنتیک، مجموعه ای از متغیرهای طراحی را توسط رشته‌هایی با طول ثابت یا متغیر کدکذاری می‌کنند که در سیستم‌های بیولوژیکی آنها را کروموزوم یا فرد می‌نامند. هر رشته یا کروموزوم یک نقطهٔ پاسخ در فضای جستجو را نشان می‌دهد. به ساختمان رشته‌ها یعنی مجموعه‌ای از پارامترها که توسط یک کروموزوم خاص نمایش داده می‌شود ژنوتیپ و به مقدار رمزگشایی آن فنوتیپ می‌گویند. الگوریتم‌های وراثتی فرآیندهای تکراری هستند، که هر مرحلهٔ تکراری را نسل و مجموعه‌هایی از پاسخ‌ها در هر نسل را جمعیت نامیده‌اند.

الگوریتم‌های ژنتیک، جستجوی اصلی را در فضای پاسخ به اجرا می‌گذارند. این الگوریتم‌ها با تولید نسل آغاز می‌شوند که وظیفه ایجاد مجموعه نقاط جستجوی اولیه به نام «جمعیت اولیه» را بر عهده دارند و به طور انتخابی یا تصادفی تعیین می‌شوند. از آنجایی که الگوریتم‌های ژنتیک برای هدایت عملیات جستجو به طرف نقطه بهینه از روش‌های آماری استفاده می‌کنند، در فرآیندی که به انتخاب طبیعی وابسته است، جمعیت موجود به تناسب برازندگی افراد آن برای نسل بعد انتخاب می‌شود. سپس عملگرهای ژنتیکی شامل انتخاب، پیوند، ترکیب، جهش و دیگر عملگرهای احتمالی اِعمال شده و جمعیت جدید به وجود می‌آید. پس از آن جمعیت جدیدی جایگزین جمعیت پیشین می‌شود و این چرخه ادامه می‌یابد.

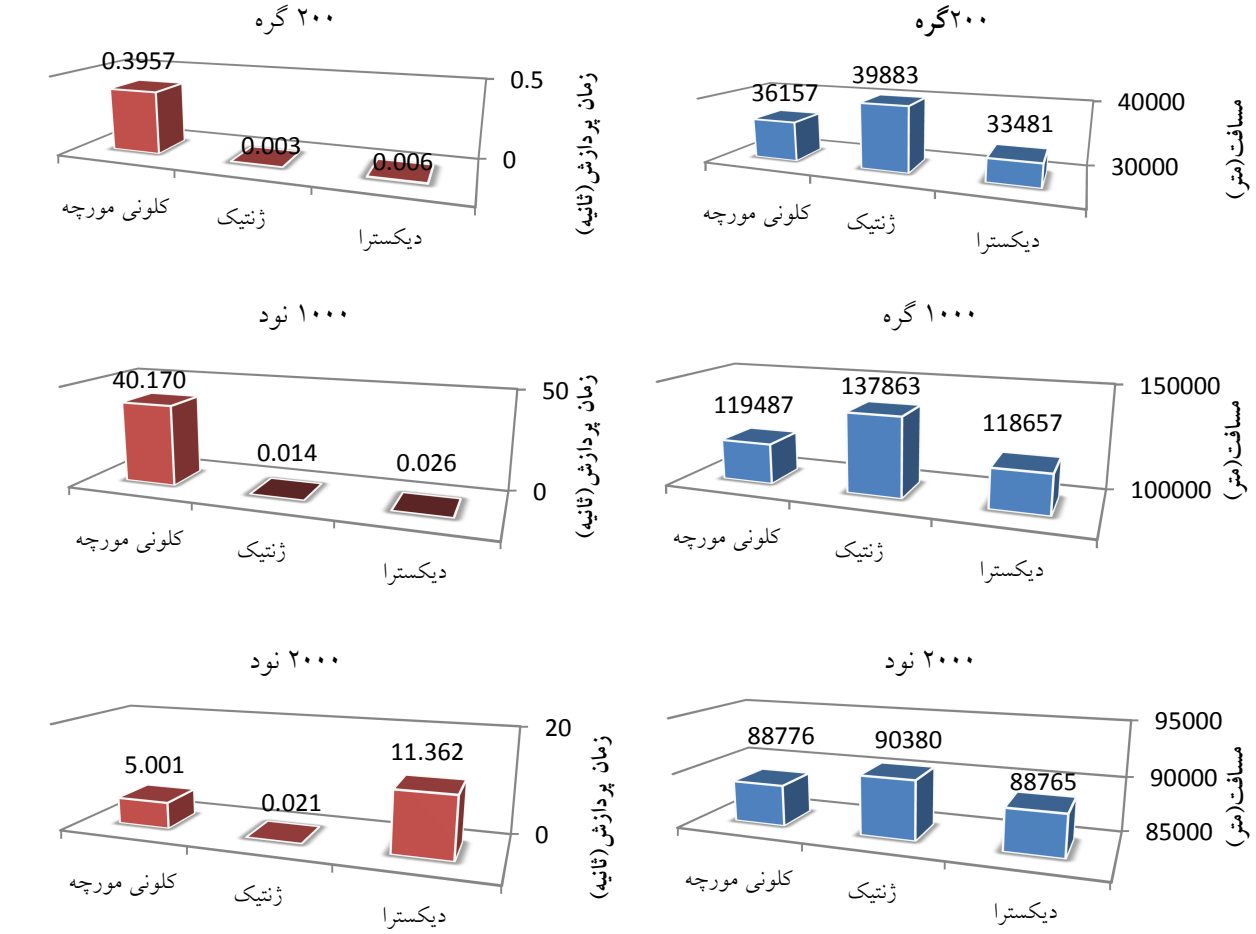
در هر تکرار هر یک از رشته‌های موجود در جمعیت رشته‌ها، رمزگشایی شده و مقدار تابع هدف برای آن به دست می‌آید. بر اساس مقادیر به دست آمده تابع هدف در جمعیت رشته‌ها، به هر رشته یک عدد برازندگی نسبت داده می‌شود. این عدد برازندگی احتمال انتخاب را برای هر رشته تعیین خواهد کرد. بر اساس این احتمال انتخاب، مجموعه‌ای از رشته‌ها انتخاب شده و با اعمال عملکردهای ژنتیکی روی آنها رشته‌های جدید جایگزین رشته‌هایی از جمعیت اولیه می‌شوند تا تعداد جمعیت رشته‌ها در تکرارهای محاسباتی مختلف ثابت باشد. معمولاً جمعیت جدید برازندگی بیشتری دارد این بدان معناست که از نسلی به نسل دیگر جمعیت بهبود می‌آید. هنگامی جستجو نتیجه‌بخش خواهد بود که به حداکثر نسل ممکن رسیده باشیم یا همگرایی حاصل شده باشد و یا معیارهای توقف برآورده شده باشد.

در حالت کلی وقتی یک الگوریتم ژنتیکی اعمال می‌شود، چرخه اتفاق می‌افتد که درآن ابتدا یک جمعیت اولیه از افراد به طور اتفاقی و بدون در نظرگرفتن معیار خاصی انتخاب می‌شود. برای تمامی کروموزوم‌های (افراد) نسل صفر مقدار برازش با توجه به تابع پردازش که ممکن است بسیار ساده یا پیچیده باشد تعیین می‌شود.

سپس با مکانیزم‌های مختلف تعریف شده برای عملگر انتخاب زیرمجموعه‌ای از جمعیت اولیه انتخاب خواهد شد. سپس روی این افراد انتخاب شده عملیات برش و جهش در صورت لزوم با توجه به صورت مسأله اعمال خواهد شد. این تکرار نسل به تعداد معین با توجه به شرط توقف ادامه پیدا خواهد کرد. از الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله کوتاهترین مسیر استفاده می‌شود. بدین منظور، بر اساس ارزیابی تابع فیت، مسیر بهینه را از گره مبدأ تا گره مقصد می‌یابد. برای ارزیابی تابع فیت از وزنهای منتسب به آرکها استفاده می‌شود. بدین نحو که ابتدا، به صورت تصادفی جمعیت اولیه تشکیل می‌شود.

جدول ۱. مقایسه نتایج الگوریتم‌های مسیریابی

شبکه		شاخص	روش		
			فراابتکاری (کلونی مورچه)	ابتکاری (ژنتیک)	قطعی (دیکسترا)
کوچک، ۲۰۰ گره	بهترین	زمان پردازش	۰,۲۷۷	۰,۰۰۱	۰,۰۰۶
		مسافت	۳۶۱۵۷	۳۶۱۵۷	۳۳۴۸۱
	میانگین	زمان پردازش	۰,۳۹۵	۰,۰۰۳	۰,۰۰۶
		مسافت	۳۶۱۵۷	۳۹۸۸۳	۳۳۴۸۱
متوسط، ۱۰۰۰ گره	بهترین	زمان پردازش	۳۶,۵۰۷	۰,۰۱۳	۰,۰۲۵
		مسافت	۱۱۸۶۵۷	۱۲۸۱۶۵	۱۱۸۶۵۷
	میانگین	زمان پردازش	۴۰,۱۷۰	۰,۰۱۴	۰,۰۲۶
		مسافت	۱۱۹۴۸۷	۱۳۷۸۳۶	۱۱۸۶۵۷
بزرگ، ۲۰۰۰ گره	بهترین	زمان پردازش	۰,۸۷۵	۰,۰۱۹	۱۱,۳۶۰
		مسافت	۸۸۷۸۲	۸۸۷۸۲	۸۸۷۶۵
	میانگین	زمان پردازش	۵,۰۰۰	۰,۰۲۰	۱۱,۳۶۲
		مسافت	۸۸۷۷۶	۹۰۳۸۰	۸۸۷۶۵



شکل ۲. مسافت طی شده و زمان پردازش در شبکه‌های مختلف برای روش‌های فراابتکاری، ابتکاری و قطعی

در این مرحله هر مسیر موجود در جمعیت اولیه دارای یک تابع فیت است. در نتیجه با استفاده از تابع فیت، هر مسیر از مسیرهای دیگر متمایز می‌شود. اپراتورهای ژنتیکی بر روی مسیرها اعمال می‌شوند و مسیرهای بهتر بعدی تولید می‌شوند. بدین معنی که در هر نسل جدید مسیرها درجهٔ فیت بهتری نسبت به جمعیت نسل قبل دارند.

٤-نتایج

برای مقایسه الگوریتم‌ها ازبسته نرم‌افزاری آرک‌جی‌آی‌اس استفاده شده است. این فایل‌ها همه از فایل شبکه راه‌ها در بروش‌شهری ایران استخراج گردیده است، تفاوت فایل‌ها باهم در تعداد گره آنها می‌باشد که حجم شبکه را نشان می‌دهد. در پژوهش جاری روی سه شبکه کوچک با ۲۰۰ گره، متوسط با ۱۰۰۰ گروه و بزرگ با ۲۰۰۰ گره تحلیل‌ها انجام شد.

در این مرحله آزمایش‌های هر فایل بین دو نقطه خاص انجام شد و هر آزمایش سه بار تکرار گردید و از نتایج به دست آمده میانگین گرفته شد و در کنار بهترین نتیجه در هر آزمایش قرار گرفت تا مقایسه انجام شود. که نتایج حاصل در جدول ۱ دیده می‌شود.

نتایج نشان می‌دهد که برای شبکه‌های بزرگ با ۲۰۰۰ گره، زمان پردازش الگوریتم کلونی مورچه نیز پائین می‌آید و از الگوریتم‌های قطعی کمتر می‌شود و در کنار آن مسیر کوتاهی را نیز مشخص می‌کند.

٥-نتیجه‌گیری

در این تحقیق تلاش شد که به انجام مسیریابی در یک شبکه شهری پرداخته شود برای انجام مسیریابی از الگوریتم‌های قطعی و فراابتکاری استفاده شد که نتایج آن با الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچه مقایسه شود. الگوریتم دایکسترا و ژنتیک دو الگوریتمی بودند که برای این منظور انتخاب شدند، الگوریتم دایکسترا یکی از معروف‌ترین الگوریتم‌های دقیق است که از روش برچسب زنی استفاده می‌کند و الگوریتم ژنتیک به عنوان الگوریتم فرا ابتکاری که تا به حال در علوم زیادی از جمله مسیریابی از آن استفاده شده است، هر سه الگوریتم روی شبکه‌های محاسبه شدند. با بررسی جداول و نمودارها مشخص شد که الگوریتم دایکسترا به عنوان الگوریتمی دقیق، در هر بار تکرار، نتایج تقریباً یکسانی داشته است و اغلب کوتاه‌ترین مسیر را بین مبدا و مقصد انتخاب می‌کند. در این الگوریتم زمان پردازش نسبت مستقیم با حجم داده‌ها دارد به نحوی که با افزایش میزان داده‌ها زمان پاسخگویی نیز افزایش می‌یابد. این افزایش زمان پردازش دلیل عدم کارآیی این الگوریتم در شبکه‌های وسیع می‌باشد. در ادامه بررسی‌ها در می‌یابیم که مسیرهای انتخاب شده توسط الگوریتم ژنتیک نسبت به دو الگوریتم دیگر بهینه نیستند هر چند سرعت پردازش در آن بالاتر است. در نهایت مشخص می‌شود که نتایج الگوریتم کلونی مورچه تفاوت عمده‌ای با دو الگوریتم دیگر دارد در این الگوریتم با افزایش حجم نمونه (تعداد گره‌ها) قابلیت الگوریتم افزایش می‌یابد به نحوی که در نمونه‌های با حجم بالا سرعت پردازش به الگوریتم ژنتیک نزدیک می‌شود و مسیر بهینه‌ای مانند مسیر الگوریتم دایکسترا انتخاب می‌شود.

٦-مراجع

-Bin, Yu; Zhong-Zhen, Yang; (2010), "An ant colony optimization model: The period vehicle routing problem with time windows", Transportation Research Part E.

-Bin, Yu; Zhong-Zhen, Yang; Baozhen, Yao; (2009), "An improved ant colony optimization for vehicle routing problem", European Journal of Operational Research 196, pp.171–176.

-Davies, C., Lingras, P., (2003), "Discrete Optimization, Genetic algorithms for rerouting shortest paths in dynamic and stochastic networks", European Journal of Operational Research 144, pp. 27–38.

-Dorigo, M., and Blum, C., (2005), "Ant colony optimization theory: A survey", Theoretical Computer Science 344, pp. 243 – 278.

-Dorigo, M., Stutzle, T., 2004; Ant Colony Optimization; the MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, ISBN 0-262-04219-3.

-Gajpal, Yuvraj; Abad, Prakash; (2009), "An ant colony system (ACS) for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup", Computers &Operations Research 36; pp.3215-3223.

-Gao, S., Wang, Y., Cheng, J., Inazumi, Y. and Tang, Z., (2016), "Ant colony optimization with clustering for solving the dynamic location routing problem", Applied Mathematics and Computation, 285, pp.149-173.

"A heuristic method to determine traffic bottlenecks based on ant colony, A case study of Iran, Case Studies on Transport Policy, 6(4), pp.716-721.
-Mahpour, A., Mamdoohi, A. and Hakimelahi, A., (2020), "A heuristic technique for traffic assignment with variable step size and number of iterations", Transportation Research Procedia, 48, pp.2569-2579.
-Mahpour, A., Nazifi, A. and Amiri, A.M., 2021. Development of Optimization Model to Reduce Unloading and Loading Time at Berth in Container Ports. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, pp.1-10.
-Min, F., Zhang, Z.H. and Dong, J., (2018), "Ant colony optimization with partial-complete searching for attribute reduction", Journal of Computational Science, 25, pp.170-182.
-Qureshi, A. G., Taniguchi, E., Yamada, T., (2010), "Exact solution for the vehicle routing problem with semi soft time windows and its application, Procedia Social and Behavioral Sciences 2, pp.5931–5943.
-Vidal, T., Crainic, T.G., Gendreau, M. and Prins, C., (2013), "Heuristics for multi-attribute vehicle routing problems, A survey and synthesis", European Journal of Operational Research, 231(1), pp.1- 21.
-Vidal, T., Crainic, T.G., Gendreau, M. and Prins, C., (2014), "A unified solution framework for multi attribute vehicle routing problems", European Journal of Operational Research, 234(3), pp.658-673.
-Wanto, A., Zarlis, M. and Hartama, D., (2017), "Analysis of Artificial Neural Network Back propagation Using Conjugate Gradient Fletcher Reeves in the Predicting Process", IOP Publishing, In Journal of Physics, Conference Series,Vol. 930, No. 1, pp. 012018.
-Wu, J., Chen, B., Zhang, K., Zhou, J. and Miao, L., (2018), "Ant pheromone route guidance strategy in intelligent transportation systems", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 503, pp.591-603.
-Yang, X., Dong, H. and Yao, X., (2017), "Passenger distribution modeling at the subway platform based on ant colony optimization algorithm", Simulation Modeling Practice and Theory, 77, pp.228- 244.
-Gao, Yu., (2011), "Shortest path problem with uncertain arc lengths", Computers and Mathematics with Applications 62, pp.2591–2600.
-Ghezavati, V.R. and Beigi, M., (2016), "Solving a bi-objective mathematical model for location-routing problem with time windows in multi-echelon reverse logistics using metaheuristic procedure", Journal of Industrial Engineering International, 12(4), pp.469-483.
-Ghoseiri, Keivan; Nadjari, Behnam, (2010), "An ant colony optimization algorithm for the bi-objective shortest path problem", Applied Soft Computing 10, pp.1237–1246.
-Ginantra, N.L.W.S.R., Taufiqurrahman, T., Bhawika, G.W., Iswara, I.B.A.I. and Wanto, A., (2019), "Determination of the Shortest Route towards the Tourist Destination Area Using the Ant Algorithma", IOP Publishing, In Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1339, No. 1, pp. 012038.
-Ginantra, N.L.W.S.R., Taufiqurrahman, T., Bhawika, G.W., Iswara, I.B.A.I. and Wanto, A., (2019), "Determination of the Shortest Route towards the Tourist Destination Area Using the Ant Algorithma", IOP Publishing, In Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1339, No. 1, pp. 012038.
-Ginantra, N.L.W.S.R., Taufiqurrahman, T., Bhawika, G.W., Iswara, I.B.A.I. and Wanto, A., (2019), "December. Determination of the Shortest Route towards the Tourist Destination Area Using the Ant Algorithma", IOP Publishing, In Journal of Physics, Conference Series, Vol. 1339, No. 1, pp. 012038.
-Ji, X., (2005), "Models and algorithm for stochastic shortest path problem", Applied Mathematics and Computation 170, pp.503–514.
-Lee, Chou-Yuan; Lee, Zne-Jung; Lin, Shih-Wei; Ying, Kuo-Ching, (2010), "An enhanced ant colony optimization (EACO) applied to capacitated vehicle routing problem", Appl Intell 32, pp.88–95.
-Machuca, E.; Mandow, L.; J.L. Pérez de la Cruz; A. Ruiz-Sepulveda, (2011), "A comparison of heuristic best-first algorithms for bicriterion shortest path problems", European Journal of Operational Research.
-Mahpour, A., Amiri, A.M., Deldar, M., Saffarzadeh, M. and Nazifi, A., (2018),

Analysis and Evaluation of Metaheuristic, Heuristic, and Deterministic Methods in Providing an Optimal Path for Small, Medium, and Large Networks

Alireza Mahpour, Assistant Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Alireza Vafaeenejad, Assistant Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Zeynab Forsi, M.Sc., Graduated, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: a_mahpour@sbu.ac.ir

Received: August 2021-Accepted: February 2022

ABSTRACT

Optimal routing is one of the most widely used network issues in transportation planning and aims to find the shortest route among the available routes. Shortest Path Problem Focuses on finding the path with the least distance, time, or cost from source node to destination node. On the other hand, this processing time is very important in applications related to intelligent and user-based transportation. Various deterministic and innovative algorithms are used to perform routing. One of these algorithms is the ant colloquial ant colony optimization algorithm, which is inspired by the ant feeding behavior of ants and deals with the issue of routing from nest to feed, and in the present article, its results with two other algorithms, namely genetics. And Dijkstra is compared. Genetic algorithm is a meta-heuristic algorithm and Dijkstra is a definite algorithm. All three algorithms were tested on three small networks with 200 nodes, medium with 1000 nodes and large with 2000 nodes. Examination of the results showed that the ant colony algorithm gives better results in large networks. The computational time of the ant colony algorithm algorithm is close to the computational time of the genetic algorithm, but it is more accurate and its computational accuracy is the same as the Diextra definitive algorithm method.

Keywords: Ant Colony Optimization Algorithm, Genetic Algorithm, Dijkstra Algorithm, Routing, Network