مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال یازدهم، شماره سوم (پیاپی ٤٢)، پاییز ٩٣، ص ص ١٤٨-١٣٩
شاپا ٧٢٨٦-٢٢٥١

حل مساله فروشنده دوره گرد با استفاده از الگوریتم ابتکاری

همایون موتمنی*
استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری، گروه مهندسی کامپیوتر، ساری، ایران

رسید مقاله: ١٠ بهمن ١٣٩٢
پذیرش مقاله: ١٨ خرداد ١٣٩٣

چکیده
مساله فروشنده دوره گرد به عنوان یکی از مسایل پرکاربرد در علوم کامپیوتر و نیز در حوزه بهینه سازی ترکیبی شناخته شده و جزء مسایل ان پی کامل (NP-complete) می‌باشد. بنابراین نمی‌توان از الگوریتم‌های قطعی برای بهبود آن استفاده نمود. در این مقاله یک الگوریتم ابتکاری به نام الگوریتم جستجوی تصادفی تقلید نیروی گرانشی، برای حل مسئله فروشنده دوره‌گرد پیشنهاد شده است. این الگوریتم بر پایه مفاهیم جستجوی تصادفی، دو تا از چهار پارامتر اصلی سرعت و نیروی گرانشی در فیزیک استفاده می‌کند. الگوریتم پیشنهادی را GELSTSP نامیده و برای تصدیق کارایی الگوریتم پیشنهادی، آن را پیاده سازی نموده و با چندین نمونه از کتابخانه استاندارد TSPLIB مقایسه کرده‌ایم. نتایج حاصل از شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی نشان دهنده کارایی مناسب این الگوریتم می‌باشد.

کلمات کلیدی: مساله فروشنده دوره گرد، سرعت، قانون نیوتن، نیروی گرانشی.

١ مقدمه
مساله فروشنده دوره گرد (TSP) یکی از مسایل مهم در تئوری پیچیدگی محاسباتی الگوریتم‌ها و یکی از مسایل NP-Complete محسوب می‌شود [١]. مساله فروشنده دوره گرد تعمیم یافته مساله مشهور سیکل همیلتونی است. فرض کنید یک گراف کامل داریم که هر یال یک هزینه و وزن صحیح نامنفی دارد. در مساله فروشنده دوره گرد، رأس‌های گراف معادل شهرها و یال‌های گراف معادل مسیرهای بین شهرها است. فروشنده باید با شروع از یک شهر به عنوان مبدأ، تمامی شهرهای دیگر را دقیقاً یک بار ملاقات کرده و به شهر مبدأ باز گردد، به‌طوری‌که هزینه کل تور حداقل باشد [٢–٥]. در واقع به دنبال یک دور همیلتونی بهینه هستیم این مساله را می‌توان با نوشتن همه دورهای همیلتونی ممکن با نقطه شروع و پایان از رأس و محاسبه کل مسافت پیموده شده برای هر دور حل کرد. اما این کار در عمل برای حتی تعداد کم شهرها بسیار زمان بر است به همین دلیل از روش‌های پویا برای

* عهده دار مکاتبات
پست الکترونیکی: motameni@iausari.ac.ir

حل این مساله استفاده می‌شود و با توجه به اینکه روش پویا برای حل این مساله برای تعداد شهرهای زیاد زمانبر می‌باشد، بنابراین باید از الگوریتم‌های ابتکاری برای حل این مساله استفاده شود. تاکنون روش‌های ابتکاری مختلفی برای حل مساله فروشنده دوره گرد بکارگرفته شده‌اند، که عبارت‌اند از الگوریتم ژنتیک، الگوریتم تپه نوردی، الگوریتم مورچگان و... . در این مقاله می‌خواهیم مساله فروشنده دوره گرد متقارن را با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی حل نماییم. ساختار مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است: در بخش ۲ به بیان مسایل ان پی کامل پرداختیم. در بخش ۳ به شرح شرح مساله فروشنده دوره گرد پرداخته و در بخش ۴ به جزیئات بیشتر الگوریتم جستجوی تقلید نیروی گرانشی برای مساله فروشنده دوره گرد پرداخته والگوریتم جدید را GELSTSP نامیدیم. در بخش ۵ مراحل الگوریتم پیشنهادی و در بخش ۶ نتایج شبیه سازی را نشان دادیم و با نتیجه گیری مقاله را به پایان رساندیم.

۲ مسایل NP-Complete

مجموعه " ان‌پی کامل" شامل چندهزار مساله مختلف با کاربردهای فراوان است که تاکنون برای آن‌ها راه حل سریع و قابل انجام در زمان معقول پیدا نشده‌است و به احتمال زیاد در آینده نیز یافت نخواهد شد. این که راه حل سریعی برای آن‌ها وجود ندارد هم اثبات شده است. البته ثابت شده است که اگر فقط برای یکی از این مساله‌ها راه حل سریعی پیدا شود این راه حل موجب حل سریع بقیه مساله‌ها خواهد شد. البته احتمال پیدا شدن چنین الگوریتمی ضعیف است. منظور از راه حل سریع آن است که زمان اجرا با اندازه ورودی مساله به صورت چندجمله‌ای رابطه داشته باشد. برخی از این مسایل عبارت‌اند از: مساله فروشنده دوره گرد، مساله مسیر همیلتونی، مساله کوله پشتی، مساله رنگ آمیزی گراف و غیره [۶-۸]. راه‌های معمول مقابله با چنین مسایلی عبارت‌اند از:

- طراحی الگوریتم‌هایی برای پیدا کردن جواب‌های دقیق که استفاده از این روش فقط برای مسایل با اندازه کوچک صورت می گیرد.
- استفاده از الگوریتم‌های مکاشفه‌ای یا ابتکاری که جواب‌هایی به‌دست می‌دهد که احتمالاً درست هستند.
- پیدا کردن زیرمساله‌هایی از مساله یعنی تقسیم مساله به مساله‌های کوچک‌تر تا بتوان الگوریتم‌های مکاشفه‌ای بهتر و دقیق‌تری ارایه کرد.

۳ شرح مساله فروشنده دوره گرد

مساله فروشنده دوره‌گرد به انگلیسی (Travelling salesman problem=TSP) مساله‌ای مشهور است که ابتدا در سده ۱۸ مسایل مربوط به آن توسط ویلیام همیلتون و توماس کرکمن مطرح شد و سپس در دهه ۱۹۳۰ شکل عمومی آن به وسیله ریاضیدانانی مثل کارل منگر از دانشگاه هاروارد و هاسلر ویتنی از دانشگاه پرینستون مورد مطالعه قرار گرفت.

شرح مساله بدین صورت است: تعدادی شهر وجود دارد به طوری‌که هزینه رفتن مستقیم از یک شهر به شهر دیگر را می‌دانیم. مطلوب است کم‌هزینه‌ترین مسیری که از یک شهر شروع شود و از تمامی شهرها دقیقاً یکبار عبور کند و به شهر شروع بازگردد. تعداد جواب‌های حل مساله، برابر است با !(n-1) ۱/۲ برای n>۲ که n تعداد شهرها می‌باشد. در واقع این عدد برابر است با تعداد دورهای همیلتونی در یک گراف کامل با n رأس. مساله فروشنده دوره گرد متقارن به صورت زیر به روش ریاضی فرموله می‌شود [۹]:

$$\min \quad \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}\, x_{ij}$$

$$\text{such that} \quad \sum_{i=1}^{n} x_{ij}, \quad j=1,\ldots,n,$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}=1, \quad i=1,\ldots,n,$$

$$\sum_{i\in P}\ \sum_{j\in P, i\neq j} x_{ij} \leqslant |P|-1, \quad \forall P\subset\{1,2,\ldots,n\}, 2\leqslant |P| \leqslant n-2$$

(sub tour elimination constraint)

$$x_{ij}\in\{0,1\}, \quad i=1,\ldots,n,\ j=1,\ldots,n.$$

سه روش کلی برای کد کردن راه حل‌های مساله TSP ارایه شده است که در الگوریتم‌های مختلفی قابل استفاده هستند. این راه حل‌ها عبارت‌اند از:

- نمایش جواب به صورت رشته گسسته جایگشتی که در الگوریتم‌های زیر قابل استفاده است: الگوریتم‌های ژنتیک، شبیه سازی تبرید، جستجوی ممنوعه، بهینه سازی کلونی مورچگان و سایر الگوریتم‌های بهینه سازی گسسته.
- نمایش جواب به صورت کلیدهای تصادفی که در الگوریتم‌های زیر قابل استفاده است: الگوریتم‌های ژنتیک، بهینه سازی ازدحام ذرات، الگوریتم رقابت استعماری، تکامل تفاضلی.
- نمایش جواب به شکل ماتریس‌های شبیه فرومون که توسط تمامی الگوریتم‌های اشاره شده در مورد (ب) قابل استفاده می‌باشد.

باقر زارعی و محمدرضا میبدی [۱۰] یک روش ترکیبی برای حل مساله فروشنده دوره گرد با استفاده از آتوماتای یادگیر و الگوریتم ژنتیک ارایه داده‌اند که به طور همزمان برای جستجو در فضای حالت استفاده می‌شود. آتوماتای یادگیر و الگوریتم ژنتیک هر دو ابزاری جستجوی عمومی می‌باشند که برای حل بسیاری از مسایل NP-Complete از جمله افراز اشیا، افراز گراف، بهینه سازی صفحه کلید و پیدا کردن ساختار بهینه شبکه عصبی به‌کار برده شده است. در این مقاله یک الگوریتم ترکیبی برای حل مساله فروشنده دوره گرد پیشنهاد شده است. این الگوریتم از دو روش الگوریتم‌های ژنتیک و آتوماتای یادگیر به طور همزمان برای جستجو در فضای حالت استفاده می‌نماید. نشان داده شده است که با استفاده همزمان از آتوماتای یادگیر و الگوریتم ژنتیک در فرایند جستجو سرعت رسیدن به جواب افزایش چشمگیری پیدا می‌کند. یادگیری در آتوماتاهای یادگیر انتخاب یک

اقدام بهینه از میان یک مجموعه از اقدام‌های مجاز آتوماتا می‌باشد. این اقدام روی یک محیط تصادفی اعمال می‌شود و محیط به این اقدام اتوماتا بوسیله یک پاسخ تصادفی از مجموعه پاسخ‌های مجاز جواب می‌دهد. پاسخ محیط به صورت آماری به اقدام آتوماتا وابسته است. اصطلاح محیط شامل اجتماع تمام شرایط خارجی و تاثیرات آن‌ها روی عملکرد آتوماتا می‌باشد. شبه کد ترکیبی که برای حل استفاده شده به صورت زیر می‌باشد.

کیوان قیصری و حسن سرحدی در [۱۱] به یافتن کوتاه‌ترین تور همیلتونی با استفاده از ترکیب الگوریتم سیستم اجتماع مورچه‌ها و جستجوی محلی پرداخته‌اند. در این مقاله با ترکیب الگوریتم سیستم اجتماع مورچه‌ها و جستجوی محلی (ACS+2-OPT) رویکردی موفقیت آمیز در حل این مساله ارایه داده است. الگوریتم جستجوی محلی بکار رفته در این ترکیب الگوریتم 2-OPT است. در این الگوریتم ابتدا تور در محل دو یال شکسته می‌شود. لبه‌های این دو یال به صورت ضربدری به هم متصل می‌شوند. اگر این تغییر منجر به بهبود و کاهش در تابع هدف شود به تور اعمال می‌شود. در غیر این صورت این تغییر در نظر گرفته نمی‌شود و به دنبال شکستن دو یال دیگر از این تور می‌رویم. این کار آنقدر تکرار می‌شود تا با شکستن هیچ دو یالی دیگر نتوان تابع هدف را کاهش داد. در این حالت به کمینه محلی رسیده‌ایم.

مجید یوسفی و فرزاد دیده ور و فرهاد رحمتی [۱۲] از روش رقابت استعماری اصلاح شده برای حل این مساله ارایه کرده‌اند. این الگوریتم برای رسیدن به جواب از سیستم‌های تکاملی استفاده می‌کند و از نظر قابلیت تعمیم پذیری در مسایل موفق می‌باشد و در بسیاری از کاربردها ظاهر می‌شود. در این مسایل با توجه به اینکه الگوریتم اطلاعات اندکی مانند فضای جستجو و تعریف جواب شدنی برای مساله اصلی دارد می‌تواند با ایجاد جواب‌های تصادفی در مسیر یافتن جواب هاب بهتر حرکت کند و در فضای جستجو تا حد امکان به خوبی پیشروی نماید. محمد باقر دولتشاهی و حسین نظام آبادی پور و ماشاالله ماشین چی [۱۳] این مساله را با استفاده از یک الگوریتم جستجوی گرانشی گسسته ترکیبی حل کرده‌اند.

٤ الگوریتم جستجوی تقلید نیروی گرانشی

در سال ۱۹۹۵ وادوریس و تسانگ [۱۴] برای اولین بار الگوریتم GLS برای جستجو در یک فضای جستجو و حل مسایل NP-complete پیشنهاد داد و در سال ۲۰۰۴ بری وبستر [۱۵] آن را به عنوان یک الگوریتم نیرومند ارایه داد و آن را GELS نام گذاری کرد. ایده این الگوریتم بر اساس اصل نیروی گرانشی است که در طبیعت سبب می‌شود اشیا به سمت یکدیگر جذب شوند به‌طوری‌که شیئ سنگین تر دارای نیروی گرانش بیشتر است و آن را بر اشیای دیگر اعمال کرده و اشیای با وزن کمتر را به سوی خود جذب می‌کند. البته فاصله دو شیئ بر اندازه این نیرو بسیار موثراست به‌طوری‌که، دو جسم با وزن یکسان و با فاصله‌های مختلف نسبت به شیئ با وزن کمتر را در نظر بگیرید جسمی که دارای فاصله کمتری با شیئ کم وزن است نیروی جاذبه بیشتری بر آن اعمال می‌کند. در الگوریتم جستجوی تقلید نیروی گرانشی ، فرمول قانون نیروی گرانشی نیوتن بین دوشی عبارت است از:

$$F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2} \tag{1}$$

که در آن m_1 و m_2 به ترتیب جرمشی اول و دوم می‌باشد. G نیز برابر مقدار ثابت نیروی گرانشی ۶/۶۷۲ ، r نیز پارامتر شعاع و فاصله بین دوشی است.

الگوریتم جستجوی تقلید نیروی گرانشی نیز برای جستجو در میان یک فضای جستجو از این فرایند طبیعت تقلید می کند. بطوری که فضای جستجو دنیا و اشیائ در این دنیا پاسخ‌های ممکن برای جستجو می‌باشند. هر یک از این اشیا دارای وزن می‌باشد، وزن هر شیئ عبارت است از کارایی و یا معیار جستجو کـه در آن بهترین پاسخ دارای بیشترین وزن است و هیچ یک از اشیا نیز نمی‌توانند دارای وزن صفر باشند[۱۴-۱۶]. در این روش، پاسخ‌های ممکن در فضای جستجو بر اساس معیاری که به نوع مساله بستگی دارد به دسته‌هایی تقسیم می‌شوند که هریک از این دسته‌ها یک بعد از پاسخ مساله نامیده می‌شود و برای هر بعد از پاسخ مساله یک مقدار با نام سرعت اولیه در نظر گرفته می‌شود که در ادامه توضیح داده خواهد شد.

الگوریتم جستجوی تقلید نیروی گرانشی به دو صورت نیروی گرانشی میان پاسخ‌ها یا اشیا در فضای جستجو را محاسبه می کند. در روش اول یک پاسخ از فضای همسایگی محلی پاسخ جاری انتخاب شده و نیروی گرانشی بین این دو پاسخ محاسبه می‌شود. در روش دوم، نیروی گرانشی بین تمام پاسخ‌های همسایه در فضای همسایگی پاسخ جاری محاسبه می‌شود و به یک پاسخ همسایه محدود نمی‌شود. در حرکت درون فضای جستجو نیز الگوریتم جستجوی تقلید نیروی گرانشی به دو روش عمل می کند، روش اول حرکت از پاسخ جاری به پاسخ‌هایی را اجازه می‌دهد که در فضای محلی پاسخ جاری هستند و در روش دوم حرکت به پاسخ‌هایی در خارج از فضای همسایگی محلی پاسخ جاری را اجازه می‌دهد. هر کدام از این روش‌های انتقال می‌تواند با هریک از روش‌های محاسبه نیروی گرانش بکار برده شوند که در نتیجه آن چهار مدل برای الگوریتم جستجوی تقلید نیروی گرانشی ایجاد می‌شود.

الگوریتم جستجوی تقلید نیروی گرانشی شامل یک بردار است که سایز آن مشخص کننده تعداد ابعاد پاسخ می‌باشد. مقادیر این بردار نشان دهنده سرعت نسبی در هر بعد است. الگوریتم با یک پاسخ اولیه، بردار سرعت اولیه و جهت حرکت شروع می‌شود. برای هر بعد در بردار سرعت، یک عدد تصادفی بین یک و ماکزیمم سرعت انتخاب می‌شود و این مقدار هر عنصر در هر بعد می‌باشد. پاسخ اولیه به عنوان پاسخ جاری توسط کاربر و یا تصادفی ایجاد می‌شود. برای هر بعد در بردار سرعت اولیه، با توجه به بردار سرعت اولیه بعدهای پاسخ، جهتی برای حرکت انتخاب می‌شود که این جهت برابر است با بعد پاسخی که دارای بیشترین سرعت اولیه در بردار سرعت اولیه است.

الگوریتم شامل یک شیئ اشاره گر است که می‌تواند در میان فضای جستجو حرکت کند و وزنی که برای شیئ اشاره گر در نظر گرفته می‌شود در تمام محاسبات ثابت است و این شیئ همیشه به پاسخی با بیشترین وزن اشاره می کند. الگوریتم با رخ دادن یکی از دو شرط فوق پایان می‌پذیرد: تمامی عناصربردار سرعت اولیه برابر صفر شود و یا تعداد تکرار الگوریتم به ماکزیمم تعداد خود برسد.

در هر تکرار الگوریتم به روش اول یک پاسخ نامزد از فضای همسایگی محلی پاسخ جاری بر حسب جهت حرکت جاری انتخاب می‌شود و نیروی گرانش بین پاسخ جاری و پاسخ نامزد محاسبه شده و سپس بردار سرعت اولیه با توجه به این نیرو به روزرسانی می‌شود. برای تکرار بعدی نیز بردار سرعت اولیه چک شده و با توجه به آن جهت حرکتی برای ادامه جستجو انتخاب می‌شود. هر تکرار الگوریتم به روش دوم نیز کاملاً مشابه روش اول است با این تفاوت که به جای محاسبه نیروی گرانش و به روز رسانی بردار سرعت اولیه برای فقط یک پاسخ نامزد به‌دست آمده از جهت جاری، نیروی گرانش و به روزرسانی سرعت اولیه برای هر یک از پاسخ‌های نامزد محاسبه می‌شود.

در فرمول نیوتن استفاده شده، با تعویض کردن دو جرم در صورت کسر معادله و جایگزین نمودن با مقدار تفاوت بین هزینه پاسخ نامزد و پاسخ جاری، نیروی گرانش بین دو شیئ با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$f = \frac{G(CU - CA)}{R^2} \qquad (۲)$$

که در آن CU و CA به ترتیب هزینه پاسخ جاری و پاسخ نامزد می‌باشد. این فرمول مقدار مثبت دارد اگر هزینه پاسخ جاری بزرگ‌تر از هزینه پاسخ نامزد باشد و مقدار منفی، اگر هزینه پاسخ نامزد بزرگ‌تر باشد. سپس مقدار این نیرو، منفی یا مثبت، به بردار سرعت دروضعیت مسیرحرکت جاری اضافه می‌شود. اگر این عمل موجب شود که مقدار پارامتر سرعت از ماکزیمم تنظیمات تجاوز کند، آن مقدار ماکزیمم را می‌گیرد. اگر بروزرسانی موجب منفی شدن مقدار شود، آن مقدارصفر را می‌گیرد.

پارامترهایی که در GELSTSP قابل دسترس باشند عبارت‌اند از:

Maximum Velocity: ماکزیمم مقداری که می‌توان به هریک از عناصر بردار سرعت اولیه تخصیص دادو این پارامتر از بزرگ شدن بیش از حد این عنصر جلوگیری می‌کند.

Radius: شعاعی است که در فرمول محاسبه نیروی گرانشی استفاده می‌شود.

Iteration: ماکزیمم تعداد تکرار الگوریتم را مشخص می‌کند که تضمین می‌کند الگوریتم پایان می‌پذیرد.

تنظیمات این پارامترها را می‌توان با انجام آزمایش‌ها و آزمون و خطا به‌دست آورد.

با این توضیحات شبه کد الگوریتم جستجوی GELSTSP در شکل ۱ نشان داده شده است.

```
procedure GELSTSP is
   --Number of solution dimensions is a predefined  number "n"
 integer dim;  --Dimension iteration counter
   integer cnt;  --Loop iteration counter
   begin
      for dim = 1 to n do
         --Assign a predefined starting solution component as the current solution component for
         --  dimension "dim" and as the best solution component seen thus far for that dimension
         --Randomly assign an initial velocity in the dimension "dim" within the bounds of  1 to  n,
            number of city
      end;
      cnt = 0;
      --Calculate an initial vector velocity sum, based on the random initial velocity components
      --  assigned in the previous step
      while (the velocity sum <> 0) and (cnt < ITER) do
         --Reset the velocity sum to 0
         for dim = 1 to n do
            --Calculate the solutions adjacent to the current solution and their respective RF values
            --If any of these is better than the best solution seen thus far, then make that solution
            --  the new best solution
            --Calculate the net difference in gravitational "force" between the adjacent solutions and
            --  the current solution for the current dimension "dim", using the Newtonian equation for
            --  gravitational attraction
            --Calculate change in acceleration for the current dimension "dim"
            --Calculate change in velocity for the current dimension "dim"
            --Calculate new current solution component for the dimension "dim", which will be the next
            --  adjacent node in the dimension "dim" in the current direction of movement as indicated
            --  by the velocity component for the dimension "dim"
         end;
         --Calculate the new velocity sum
         cnt = cnt + 1;
      end;
      return best solution found for TSP is the sequence of visit city, its RF value, and the iteration
         count (cnt)
   end
```

شکل ۱. شبه کد الگوریتم GELSTSP

۵ مراحل الگوریتم پیشنهادی

به منظور بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی GELSTSP آن را با نمونه مسایل TSPLIB [۱۷] مقایسه می‌کنیم.

جدول ۱ نتایج را برای هر یک از مسایل حل شده نشان داده شده است.

روش بیان شده را توسط نرم افزار C#.net و اجرای آن بر روی کامپیوتری با پردازنده پنتیوم ۴ انجام شده است. که این سیستم شامل بخش‌ها و امکانات زیر است:

در سیستم شبیه سازی شده در ابتدا تعداد مراحل، تعداد شهرها و مسافت بین شهرها مشخص می‌شود.

با توجه به تعداد شهرها، شعاع مشخص می‌شود.

مقادیر بردارسرعت را به صورت تصادفی از بازه مقادیر ۱ تا تعداد کل شهرها انتخاب می‌کنیم.

در هر مرحله اندیس بزرگ‌ترین مقدار بردار سرعت انتخاب می‌شود و سپس شهر تخصیص داده شده به آن بعد را تغییر می‌دهیم. درواقع شئ جدید بوجود می‌آید، سپس هزینه پاسخ جاری محاسبه می‌شود. اگر هزینه پاسخ

جاری از بهترین هزینه پاسخ به‌دست آمده تاکنون بیشتر بود آن را به عنوان بهترین شئ تا این مرحله انتخاب می کنیم.

نیروی گرانش بر اساس هزینه پاسخشی جاری و نامزد محاسبه می‌شود.

سپس نیروی گرانشی به‌دست آمده در مرحله ۵ را به مقدار بردار سرعت در هر اندیس اضافه می کنیم.

مراحل ۱ تا ۶ را تا زمانی که یکی از دو شرط زیر اتفاق نیافتد ادامه می‌یابد: تمامی عناصربردار سرعت اولیه برابر صفر شود و یا تعداد تکرار الگوریتم به ماکزیمم تعداد خود برسد.

در جدول۱ الگوریتم GELSTSP را اجرا کرده، سپس با الگوریتم ژنتیک، تپه نوردی، تبرید فلزات شبیه‌سازی شده مقایسه نمودیم.

جدول ۱. نمونه‌های استفاده شده برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی با ۱۱ نمونه TSPLIB

الگوریتم پیشنهادی GELSTSP	الگوریتم ژنتیک	تپه نوردی	تبرید فلزات شبیه‌سازی شده	مقدار هدف بهینه	نام نمونه
۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	5sample1
۵۴	۵۶	۵۶	۵۶	۵۶	6sample2
۳۲۳	۳۲۴	۳۲۳	۳۲۴	۳۲۳	10sample3
۷۲۰	۷۶۱	۷۲۵	۷۴۲	۷۲۵	10sample4
۱۷۰	۲۲۷	۱۹۵	۱۷۷	۱۷۴	11eil51
۲۳۰	۲۵۵	۲۴۷	۲۵۵	۲۰۹	16eil76
۱۱۸۲۰	۱۱۷۹۲	۱۱۷۲۳	۱۱۷۹۲	۹۷۱۱	20kora100
۲۷۷۰۰	۳۳۳۳	۳۳۰۳	۳۳۳۳	۲۷۰۷	Gr21
۱۲۵۱	۱۵۲۸	۱۴۲۳	۱۵۵۳	۱۲۷۲	Gr24
۴۲۳	۴۹۷	۴۹۵	۴۹۷	۴۲۶	Eil51
۵۳۳	۶۶۱	۶۵۱	۶۶۱	۵۳۸	Eil76

همچنین در جدول ۲ الگوریتم GELSTSP را با الگوریتم ژنتیک مقایسه نمودیم.

جدول ۲. نمونه‌های استفاده شده برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی با ۴ نمونه TSPLIB

الگوریتم پیشنهادی GELSTSP	الگوریتم ژنتیک	مقدار هدف بهینه	نام نمونه
۲۱۲۸۰	۲۱۸۰۲	۲۱۲۸۲	kroA100
۲۲۱۳۴	۲۲۶۴۱	۲۲۱۴۱	kroB100
۲۹۵۴۵	۳۰۲۷۷	۲۹۴۳۷	kroB200
۷۳۵۶۷	۷۴۹۷۶	۷۳۶۸۲	Pr152

٦ نتیجه‌گیری

مساله فروشنده دوره گرد جزء مسایل ان پی کامل (NP-complete) محسوب می‌شود. بنابراین نمی‌توان از الگوریتم‌های قطعی برای بهبود آن استفاده نمود. در این مقاله روش ابتکاری جدیدی به نام الگوریتم جستجوی تقلید نیروی گرانشی را برای حل مسئله فروشنده دوره‌گرد نشان داده‌ایم. نتایج پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی و مقایسه آن با سایر الگوریتم‌ها، نشان دهنده کارایی مناسب الگوریتم پیشنهادی می‌باشد. در کارهای آینده می‌توان این الگوریتم را بر روی مساله فروشنده دوره گرد نامتقارن ویا مسایل ان پی کامل اجرا و اعمال کرد.

منابع

[۱۰] زارعی، ب.، میبدی، م.ر.، (۱۳۸۶). یک روش ترکیبی برای حل مساله فروشنده دوره گرد. سومین کنفرانس فناوری اطلاعات و دانش، ۶ تا ۸ آذر.

[۱۱] قیصری، ک.، سرحدی، ح.، (۱۳۸۸). یافتن کوتاه‌ترین تور همیلتونی ایران با استفاده از ترکیب الگوریتم سیستم اجتماع مورچه‌ها و جستجوی محلی. پژوهشنامه حمل و نقل، ۶(۲).

[۱۲] یوسفی خوشبخت، م.، دیده‌ور، ف.، رحمتی، ف.، (۱۳۹۰). کاربرد یک الگوریتم رقابت استعماری برای حل مساله فروشنده دوره گرد. مجله مدلسازی پیشرفته ریاضی، ۱(۲).

[۱۳] دولت شاهی، م. ب.، نظام‌آبادی‌پور، ح.، ماشین چی، م.، (۱۳۹۰). حل نمونه‌های بزرگ مساله فروشنده دوره گرد متقارن با استفاده از یک الگوریتم جستجوی گرانشی پیوسته. نشریه علمی و پژوهشی انجمن کامپیوتر ایران، ۹(۱و۳) الف، ۱۱-۱.

[1] Garey, M. R., Johnson, D. S., (1979). Computers and Intractability: AGuide to the Theory of NP-Completeness, W. H. Freeman press.

[2] Cirasella, J., Johnson, D. S., McGeoch, L. A., Zhang, W., (2001). The Asymmetric Traveling Salesman Problem: Algorithms, Instance Generators, and Tests, in Algorithm Engineering and Experimentation, Third International Workshop, ALENEX 2001, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2153, Springer, 32-59.

[3] Grötschel, M., Holland, O. (1991). Solution of Large-Scale Symmetric Traveling Salesman Problems. Mathematical Programming, 51, 1991, 141-202.

[4] Moscato, P., Norman, M. G., (1994). An Analysis of the Performance of Traveling Salesman Heuristics on Infinite- Size Fractal Instances in the Euclidean Plane, Oct.

[5] Gutin, G., Punnen, A. P., (2002). Traveling Salesman Problem and Its Variations. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

[6] Lawler, E., Lenstra, J., Rinnooy Kan, A., Shmoys, D., (1985). The traveling salesman problem: a guided tour of combinatorial optimization. Wiley, New York.

[7] Lin, S., Kernighan, B., (1973). An effective heuristic algorithm for the traveling salesman problem. Operations Research, 21, 498–516.

[8] Litke, J., (1984). An improved solution to the traveling salesman problem with thousands of nodes. Communications of the ACM, 27, 1227–1236.

[9] Raja Balachandar, S., Kannan, K., (2007). Randomized gravitational emulation search algorithm or symmetric traveling salesman problem. Applied mathematics and compution, 413-421.

[14] Chris, V., Tsang, E., (1995). Guided Local Search. Technical Report CSM-247, Department of Computer Science, University of Essex, UK.

[15] Webster, B. L., (2004). Solving Combinatorial Optimization Problems Using a New Algorithm Based on Gravitational Attraction,Ph.D., thesis, Melbourne, Florida Institute of Technology.

[16] Webster, B., Bernhard, P. J., (2003). A Local Search Optimization Algorithm Based on Natural Principles of Gravitation. Proceedings of the InternationalConference on Information and Knowledge Engineering, 1, 255-261.

[17] Reinelt, G. , (1991) . TSPLIB - A Traveling Salesman Problem Library. ORSA Journal on Computing, 376 – 384.