مجله محاسبه و تحلیات و کاربردهای آن، سال سوم، شماره چهارم (پیاپی ۵)، زمستان ۹۱، ص ص ۷-۱
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

الگوریتم ابتکاری جدید برای حل مساله مسیریابی وسایل نقلیه

مجید دره میرکی*
گروه ریاضی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان

رسید مقاله: ۲۱ تیر ۱۳۹۱
پذیرش مقاله: ۳ آبان ۱۳۹۱

چکیده

مساله مسیر یابی وسایل نقلیه یکی از مسایل بسیار مهم و لجستیک در شاخه بهینه سازی ترکیبیاتی است که تاکنون الگوریتم‌های زیادی برای حل آن پیشنهاد شده است. در این مقاله الگوریتمی ابتکاری که تلفیقی از کلونی مورچگان و عمل جهش می‌باشد برای حل مساله مسیریابی وسایل نقلیه ارایه شده است.

کلمات کلیدی: مسیریابی وسایل نقلیه، کلونی مورچگان، جهش.

۱ مقدمه

یافتن مسیرهای نقلیه کارا یک مساله لجستیک است که در چهل سال اخیر مطالعه شده است نوعاً هدف یک مساله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP) پیدا کردن مجموعه‌ای از مسیرها برای چندین وسیله نقلیه از یک انبار به تعدادی مشتری و برگشتن به انبار، بدون این که محدودیت ظرفیت هر وسیله نقلیه نقض شود، با مینیمم هزینه است. چون ترکیب مشتری‌ها به انتخاب مسیرهای حمل و نقل محدود نیست، VRP به عنوان یک مساله بهینه سازی ترکیباتی مورد توجه است به طوری که تعداد جواب‌های شدنی برای مساله به طور نمایی با رشد تعداد مشتری‌ها زیاد می‌شود [۱].

الگوریتم‌های اکتشافی از قبیل شبیه سازی آنیلینگ[۲و۳] ، الگوریتم ژنتیک، جستجوی ممنوع[۴و۵] و بهینه سازی کلون مورچگان [۶، ۷، ۸ و۹] به طور گسترده برای حل مساله مسیر یابی وسایل نقلیه استفاده شده است از میان این الگوریتم‌های اکتشافی، بهینه‌سازی کلون مورچگان یک روش بهینه‌سازی جدید است که توسط محققان ایتالیایی پیشنهاد شده است[۱۰]. این مدل بهینه‌سازی رفتار جستجوی غذا مورچه‌ها در طبیعت را شبیه‌سازی می‌کند. آن به طور موفقیت‌آمیزی برای حل تعدادی از مسایل بهینه‌سازی ترکیباتی کلاسیک از قبیل: فروشنده دوره گرد، تخصیص درجه ۲ [۱۱]، زمان‌بندی کارها [۱۲]، مسیریابی ارتباط و ... به کار برده شده است.

* عهده دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: darehmiraki @gmail.com

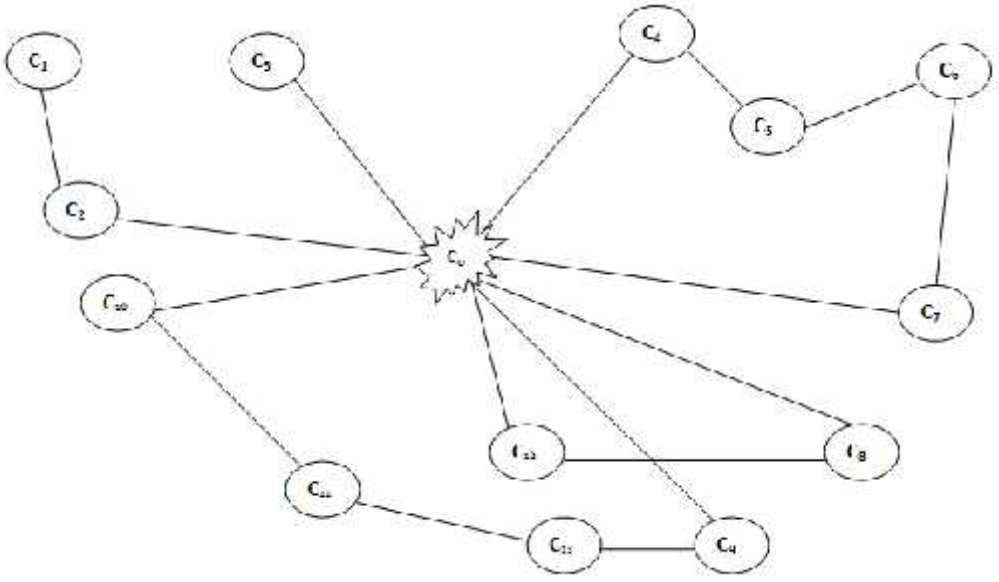
[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

اگر انبار مرکزی به عنوان لانه و مشتری‌ها را به عنوان غذا تصور کنیم، VRP خیلی شبیه به رفتار جستجوی غذای کلونی مورچه‌ها در طبیعت است. این مطلب کد کردن بهینه سازی کلونی مورچگان برای مساله مسیریابی وسایل نقلیه را خیلی ساده می‌کند. در میان مطالعات اخیر، یکی از کارهای جالب مطالعه بولنیمر است که یک الگوریتم سیستم مورچه هیبریدی، که در آن از روش 2-opt و الگوریتم ذخیره سازی استفاده شده است، را برای حل VRP پیشنهاد می‌کند. دیگر تحقیقات انجام شده که در آن‌ها از کلون مورچگان برای حل مساله مسیریابی وسایل نقلیه استفاده شده است شامل کارهایی که در [۱و۶و۱۳] و غیره انجام شده، است. در کلون مورچگان، روش 2-opt برای بهبود بخشیدن مسیرهای یافت شده استفاده می‌شود و روش کار آن بدین صورت است که در داخل یک مسیر یافت شده، مشتری‌ها را با هم جابه‌جا کند تا هزینه کمتری به دست آید وهمچنین بروز رسانی فورمون‌ها یک نقش بسیار مهم در پیدا کردن جواب نهایی را بازی می‌کند.

۲ مساله مسیریابی وسایل نقلیه

VRP توصیف شده به وسیله یک گراف وزن دار $G = (G, L)$ که رأس‌هایش به وسیله $C = \{C_0, ..., C_n\}$ و یال‌هایش به وسیله $L = \{(C_i, C_j)\}$ نمایش داده می‌شوند. در این مدل از گراف، C_0 انبار مرکزی و دیگر رأس‌ها n مشتری هستند که باید سرویس دهی شوند. هر رأس متناظر است با مقدار q_i که نشان دهنده مقدار کالایی است که باید به آن شهر اختصاص یابد $(q_0 = 0)$.

به هر یال (C_i, C_j) مقدار d_{ij} که نمایش دهنده فاصله آن دو رأس است اختصاص می‌یابد. هر مسیر از C_0 شروع و به C_0 ختم می‌شود و هر رأس C_i باید دقیقاً یک بار ملاقات شود و همچنین مقدار کالایی که در یک مسیر سرویس دهی می‌شود نباید بیشتر از Q یعنی ظرفیت وسیله نقلیه باشد.



شکل ۱. یک مثال از VRP

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

۳ کلونی مورچگان پیشرفته برای VRP

۳-۱ تولید جواب

برای تولید جواب‌های مساله VRP از یک کلون مورچگان با ضریب تنظیم ° استفاده می‌کنیم در این شیوه یک مورچه یک وسیله نقلیه را شبیه‌سازی می‌کند که مسیرش به وسیله اضافه کردن تک تک شهرها تا زمانی که ظرفیتش تکمیل شود، ایجاد می‌شود. به این ترتیب با اختیار کردن مورچه‌ها به تعداد کافی همه شهرها سرویس‌دهی می‌شوند و یک جواب برای مساله VRP تولید می‌شود. مشتری‌هایی که بوسیله یک مورچه ملاقات می‌شوند در یک لیست (tabu) ذخیره می‌شوند تا دیگر انتخاب نشوند.

تصمیم‌گیری در مورد انتخاب شهر بعدی در یک مسیر بر اساس قوانین احتمال گرفته می‌شود این قوانین بر پایه دو فاکتور اطلاعات فورمون و نمایانی است. بنابراین، برای انتخاب شهر j بعدی برای K امین مورچه در i امین رأس مورچه از فرمول احتمال زیر استفاده می‌کند:

$$p_{ij}(k)=\begin{cases}\dfrac{{}^{2}\tilde{}_{ij}\times \text{«}_{ij}}{\sum_{h\in tabu_k}{}^{2}\tilde{}_{ih}\times \text{«}_{ih}} & j\notin tabu_k\\ \text{در غیر این‌صورت} \quad \text{○} & \end{cases} \qquad (۱)$$

که $P_{ij}(k)$ احتمال انتخاب ترکیب شهر j و i در مسیر، ${}^{2}{}_{ij}$ چگالی فورمون یال (i,j)، «_{ij} نمایانی یال (i,j)، $\tilde{}$، به ترتیب ضرایب تأثیر مقادیر فورمون و نمایانی بودن و tabu مجموعه رأس‌هایی است که مورچه نمی‌تواند انتخاب کند و نمایانی هر یال برابر است با:

$$\text{«}_{ij}=\frac{1}{d_{ij}} \qquad (۲)$$

۳-۲ عمل جهش

عمل جهش مربوط است به الگوریتم ژنتیک که هر فرزند را با یک احتمال از پیش تعیین شده تغییر می‌دهد [۱۴]. این عملگر می‌تواند به الگوریتم ارایه شده کمک کند به‌طوری‌که به جواب‌های بهتری در فضای جستجو برسیم. ایده عملگر جهش به طور تصادفی تغییر دادن یک مسیر است به طوریکه جواب جدید خیلی با جواب قبلی فرق نمی‌کند. فرض کنیم $S_i^k=(S_{1i},...,S_{ki})$ و $S_j^k=(S_{1j},...,S_{kj})$ جواب مساله برای i و j امین مورچه به ترتیب در تکرار kام باشد بطور تصادفی یکی یا بیشتر از مولفه های S_i^k و S_j^k را با یکدیگر جابه‌جا می‌کنیم اگر جواب ایجاد شده بهتر بود آن را جای‌گزین قبلی می‌نماییم در غیر این صورت همان جواب قبلی را نگه می‌داریم.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

۳-۳ جستجوی محلی

در الگوریتم جابه‌جایی 2-opt همه حالت‌های حاصل از جابه‌جایی مشتری‌های موجود در یک مسیر خاص برای به دست آوردن کمترین مقدار هزینه بررسی می‌شوند این الگوریتم در چندین کلونی مورچگان که برای حل مساله مسیریابی وسایل نقلیه نوشته شده‌اند استفاده شده است [۱و۱۵].

۳-۴ بروز رسانی اطلاعات فورمون

بروزرسانی مقادیر فورمون یک عنصر کلیدی در کلون مورچگان به منظور دست یافتن به جواب‌های بهتر می‌باشد. فرآیند بروزرسانی فورمون‌ها توسط رابطه زیر انجام می‌شود[۱۴]:

$$^{2}_{ij} = \left[(۱-\circ).^{2}_{ij} + \Delta^{2\,best}_{ij} \right]^{2_{\max}}_{2_{\min}} \qquad (۳)$$

که $^{2}_{\max}$ و $^{2}_{\min}$ به ترتیب کران‌هایی برای مقادیر فورمون در یال‌ها می‌باشند و به صورت زیر تعریف می‌شوند[۱۵]:

$$^{2}_{\min} = Q / \sum_{i} ۲d_{oi} \qquad ^{2}_{\max} = Q / \sum_{i} d_{oi} \qquad (۴)$$

که d_{oi} فاصله از انبار مرکزی برای مشتری iام و Q ظرفیت وسیله نقلیه است. همچنین $\Delta^{2\,best}_{ij}$ به صورت زیر تعریف می‌شود[۱۴]:

$$\Delta^{2\,best}_{ij} = \begin{cases} \dfrac{۱}{L_{best}} & if\ \ (i\,,j)\,belong\ to\ the\ best\ tour \\ \circ & \text{در غیر این‌صورت} \end{cases} \qquad (۵)$$

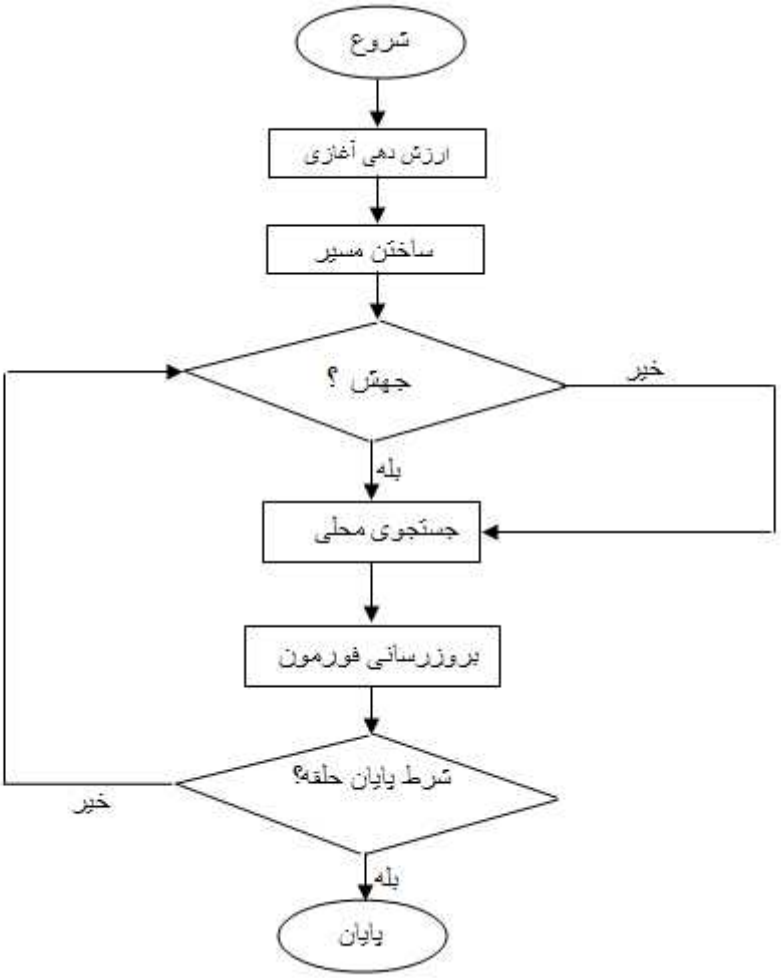
L_{best} طول بهترین جوابی است که تاکنون پیدا شده و همچنین عملگر $[x]^{b}_{a}$ به صورت زیر عمل می‌کند [۱۴]:

$$[x]^{b}_{a} = \begin{cases} a & x > a \\ b & x < b \\ x & \text{در غیر این‌صورت} \end{cases} \qquad (۶)$$

۳-۵ فلوچارت فرایند

فلوچارت الگوریتم استفاده شده در این مقاله برای حل مساله VRP در شکل ۲ نشان داده شده است.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]



شکل ۲. فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

۴ نتایج عددی

الگوریتم اکتشافی توصیف شده در بخش قبل برای حل کردن ۱۱ مساله VRP، که می‌توان آن‌ها را از سایت OR- Library دریافت کرد [۱۶] که به طور گسترده به عنوان معیارهایی برای بررسی کیفیت الگوریتم‌های ارایه شده برای حل مساله VRP استفاده می‌شوند، به کار برده شده است. اطلاعات مربوط به این ۱۱ مساله در ستون‌ها ۲ تا ۳ جدول ۱ نشان داده شده‌اند که شامل اندازه مساله n، گنجایش وسیله نقلیه Q و بهترین نتایج انتشار یافته هستند. پارامترهای استفاده شده برای حل مسایل نمونه در این مقاله عبارتند از Q= ۱۰۰۰، ۱ = ~، ۲/۳ = و ۰/۷ = °. الگوریتم ارایه شده در متلب ۷.۸، کد شده و در یک لپ‌تاپ با پارامترهای ۵۱۲mb حافظه و ۱۰۰۰MHZ cpu اجرا شده است.

نتایج مربوط به الگوریتم ارائه شده شامل بهترین جواب و بهترین جواب شناخته شده است. اعداد تیره در جدول نشان‌گر نتایجی هستند که با بهترین جواب‌ها مطابقت دارند یا از آن‌ها بهترند.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

جدول ۱. نتایج محاسباتی مربوط به الگوریتم پیشنهادی و بهترین جواب‌های منتشر شده

شماره	تعداد مشتری	ظرفیت	بهترین جواب شناخته شده	جواب الگوریتم پیشنهادی
۱	۵۰	۱۶۰	۵۲۴/۶۱	۵۴۷/۲۲۱۶
۲	۷۵	۱۴۰	۸۳۵/۲۶	**۷۲۳/۱۹۴۸**
۳	۱۰۰	۲۰۰	۸۲۶/۱۴	۸۵۰/۴۵۶۶
۴	۱۵۰	۲۰۰	۱۰۲۸/۴۲	۱۲۴۷/۵۷۳۹
۵	۵۰	۱۶۰	۵۵۵/۴۳	**۵۴۷/۴۰۹۴**
۶	۷۵	۱۴۰	۹۰۹/۶۸	**۷۲۹/۱۵۲۲**
۷	۱۰۰	۲۰۰	۸۶۵/۹۴	۸۷۱/۶۱۳۳
۸	۱۵۰	۲۰۰	۱۱۶۲/۵۵	۱۲۶۶/۲۱۵۳
۹	۱۰۰	۲۰۰	۸۱۹/۵۶	۸۹۸/۲۰۸۲
۱۰	۱۲۰	۲۰۰	۱۵۴۱/۱۴	**۱۲۸۸/۲۴۳۵**
۱۱	۱۰۰	۲۰۰	۸۶۶/۳۷	۹۳۱/۱۶۵۸

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهاد

مساله مسیریابی وسایل نقلیه یک مساله مهم در زمینه توزیع لجستیک است، چون مسیرهای تحویل دادن شامل هر ترکیبی از مشتری‌هاست لذا این مساله متعلق به کلاس مسایل NP- hard است. این مقاله یک الگوریتم ترکیبی از استراتژی کلونی مورچگان وعمل جهش را پیشنهاد کرده است. نتایج محاسباتی مربوط به چهارده مساله شاخص آشکار می‌کنند که الگوریتم پیشنهادی کارا و بهینه است، تحقیقات آینده می توانند شامل اصلاحاتی از الگوریتم پیشنهاد شده برای توسعه به منظور حل مساله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی یا با انبارهای بیشتری باشند.

منابع

[1] Bell, J. E., McMullen, P. R., (2004). Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem. Advanced Engineering informatics, 1(8), 41-48.

[2] Chiang, W. C., Russell, R., (1996). Simulated annealing meta-heuristic for the vehicle routig problem with time windows. Annal of operation research, 93, 3-27.

[3] Osman, I. H., (1993). Meta strategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem. Annals of operations Research, 41, 421-451.

[4] Brando, J., Mercer, A., (1997). A tabu search algorithm for the multi-trip vehicle routing and scheduling problem. European journal of operational research, 100, 180-191.

[5] Gendreau, M., Laporte, G., Musaraganyi, C., Taillard, E. D., (1999). A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem. Computer & Operation research, 26, 1153-1173.

[6] Bullnheimer, B., Hartl, R. F., Strauss, C., (1999). An improved ant system algorithm for the vehicle routing problem. Annals of operations research, 89, 319-328

[7] Doerner, K. F., Gronalt, M., Hartl, R. F., Reimann, M., Strauss, C., Stummer, M., (2002). Saving ants for the vehicle routing problem. Application of Evolutionary computing, springer, Berlin.

[8] Doerner, K. F., Hartl, R. F., Kiechle, G., Lucka, M., Reimann, M., (2004). Parallel ant systems for the capacited vehicle routing problem. In: Evolutionary computation in Combinatorial Optimization: 4th European conference, EvoCop 2004, LNCS 3004, 72-83.

[9] Mazzeo, S., Loiseau, I., (2004). An Ant colony algorithm for the capacited vehicle routing. Electronic Notes in Discrete Mathematics, 18, 181-186.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[10] Dorigo, M., Maniezzo, V., Colorni, A., (1996). Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetic, 1(26), 29-41.
[11] Gambardella, L., Taillard, E., Dorigo, M., (1997). Ant colonies for the QAP, Technical Report 97-4, IDSIA, Lugano, Switzerland.
[12] Colorni, A., Dorigo, M., Maniezzo, V., Trubian, M., (1994). Ant system for job-shop scheduling. Jorbel-Belgian journal of operation research statistic and computer science, 34(1), 39-53.
[13] Chen, C. H., Ting, C. J., (2006). An improved ant colony system algorithm for the vehicle routing problem. Journal of the Chinese institute of industrial engineers, 23(2), 115-126.
[14] Zhao, N., Wu, Z., Zhao, Y., Quan, T., (2010). Ant colony optimization algorithm with mutation mechanism and its applications, 37, 4805-4810.
[15] Yu, B., Yang, Z. Z., Yao, B., (2009). An improved ant colony optimization for vehicle routing problem. European journal of operational research, 196, 171-176.
[16] Beasley, J. E., (1990). OR-Library: distributing test problems by electronic mail. Journal of the operational research society, 41, 1069-1072.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]