

مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت وزن و فضای بار دو بعدی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی کولونی زنبور مصنوعی

ندا فروتن^۱، کورش زیارتی^۲

^۱ دانشکده مهندسی و علوم کامپیوتر و فناوری اطلاعات، واحد بین المللی دانشگاه شیراز، شیراز، nfroutan.neda@gmail.com

^۲ دانشکده برق و کامپیوتر، بخش مهندسی و علوم کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه شیراز، شیراز، ziarati@shirazu.ac.ir

چکیده - مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت وزن و فضای بار دو بعدی از انواع مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت وزن است. در این مسئله کالاهایی که مشتریان درخواست داده اند و در انبار مرکزی هستند، توسط تعداد ثابتی از وسایل نقلیه باید تحویل داده شوند. درخواست هر مشتری شامل یک تعداد اشیاء است که وزن و طول و عرض آنها مشخص است و همچنین هر وسیله نقلیه یک محدودیت وزنی و محدودیت فضای بار دو بعدی دارد که بیشتر از آن محدودیت وزنی نمی تواند درخواست های مشتریان را بار کند و مساحت کل اشیاء ای که بار می کند نباید از مساحت کامیون تجاوز کند. هدف این مسئله توزیع کالاها در کوتاهترین مسیر است.

در این مقاله ما یک الگوریتم بهینه سازی کولونی زنبور مصنوعی برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت وزن و فضای بار دو بعدی ارائه می دهیم که محدودیت فضای بار دو بعدی توسط یک الگوریتم اکتشافی حل می شود. نتایج قابل توجه الگوریتم بهینه سازی کولونی زنبور ارائه شده برای حل این مسئله، کارایی این الگوریتم را نشان می دهند.

کلید واژه- بهینه سازی کولونی زنبور مصنوعی، مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت وزن، بسته بندی دو بعدی.

را نمی توان روی همدیگر قرار داد برای مثال حمل و نقل قطعات بزرگ ماشین یا وسایل اشپزخانه مثل یخچال. در چنین مواقعی مسئله مسیریابی وسیله نقلیه باید شامل محدودیت بار کردن اشیاء در فضای دو بعدی باشد. مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت وزن و فضای بار دو بعدی^۴ ابتدا در سال ۲۰۰۵ توسط Iori مطرح شد [۳]. در این مسئله تعداد وسایل نقلیه ثابت و مشخص است و در ابتدای کار در انبار کالا قرار دارند. درخواست هر مشتری شامل یک تعداد اشیاء است که وزن و طول و عرض آنها مشخص است. برای قرار دادن هر شیء در وسیله نقلیه، باید وزن و مساحتی که شیء دارد را بررسی کنیم که محدودیت ها را رعایت کرده باشد.

راه حل های زیادی برای مسئله مسیریابی و بار کردن وسیله نقلیه با محدودیت وزن و فضای بار دو بعدی ارائه شده است. از روش های دقیق^۵ می توان الگوریتم هایی که Iori، Gonzalez و Vigo در سال ۲۰۰۳ برای این مسئله ارائه دادند اشاره کرد که ترکیبی از الگوریتم شاخه و برش^۶ و الگوریتم شاخه و حد تودرتو^۷ است [۴]. الگوریتم های فرا مکاشفه^۸ ای زیادی برای این مسئله ارائه شده اند از جمله الگوریتم Simulated Annealing که

۱- مقدمه

یکی از مسایل بهینه سازی ترکیبی^۱ که مطالعه زیادی روی آن انجام شده مسئله مسیریابی وسیله نقلیه^۲ است [۷، ۸، ۹]. مسئله مسیریابی وسیله نقلیه یک مسئله مهم در صنعت حمل و نقل است که اولین بار در سال ۱۹۵۹ توسط Dantzig و Ramser [۱] مطرح شد. در این مسئله کالاهایی که مشتریان درخواست داده اند و در انبار مرکزی است، توسط تعدادی وسیله نقلیه باید تحویل داده شوند. هدف این مسئله توزیع کالاها با حداقل هزینه و در کوتاهترین مسیر است. این مسئله چون که با افزایش سایز مسئله، زمان حل مسئله بصورت نمایی افزایش پیدا می کند، از دسته مسائل NP-Hard است.

از انواع مسائل مسیریابی وسیله نقلیه، مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت وزن^۳ است که در این مسئله هر وسیله نقلیه یک محدودیت وزن دارد که از آن بیشتر نمی تواند درخواست های مشتریان را بارگیری کند. در بعضی از مسائل حمل و نقل، اشیاء ای که شکننده هستند

آن بیشتر نمی‌تواند درخواست‌های مشتریان را بارگیری کند. درخواست هر مشتری شامل یک تعداد اشیاء است که وزن و طول و عرض آنها مشخص است و همچنین ظرفیت بارگیری، طول و عرض مکان بار در هر وسیله نقلیه مشخص است. برای قرار دادن هر شیء در وسیله نقلیه، باید وزن و مساحتی که شیء دارد را بررسی کنیم که محدودیت‌های وزن و فضای بار دو بعدی را رعایت کرده باشد. هدف این مسأله توزیع کالاها در کوتاهترین مسیر است بطوریکه محدودیت‌ها رعایت شوند. این مسأله را می‌توان به شکل یک گراف نمایش داد. مشتریان و انبار (گره ۰) گره‌های این گراف هستند. هر یال بین هر دو گره مسافت بین آن دو گره است.

شکل ۱ یک راه حل برای نمونه‌ای از مسأله 2L-CVRP که در آن سه کامیون باید اجناس مختلف را از انبار به ۸ مشتری برسانند، نشان می‌دهد که d_i وزن کل اشیاء درخواستی مشتری i ، I_{ij} شیء j ام مشتری i و D ظرفیت وزن هر وسیله نقلیه است. اشیاء در خواستی مشتریان توسط سه وسیله نقلیه با رعایت محدودیت‌های وزن و فضای بار دو بعدی بارگیری شده‌اند. مسیر هر وسیله نقلیه از انبار شروع شده و پس از تحویل اشیاء به مشتریان به انبار برمی‌گردد.

بار کردن نامقید^{۱۱} و بار کردن ترتیبی^{۱۲} از ساختارهای بار کردن اشیاء در وسیله نقلیه هستند. در بار کردن نامقید در هنگام تحویل اشیاء درخواستی به هر مشتری، جابه‌جایی اشیاء (مشتری‌های بعدی) درون وسیله نقلیه امکان پذیر است ولی در بار کردن ترتیبی در هنگام تحویل اشیاء درخواستی هر مشتری، نباید هیچ یک از اشیاء (مشتری‌های بعدی) درون وسیله نقلیه جابه‌جا شوند. در شکل ۲، (a) نمونه‌ای از بار کردن نامقید و (b,c) نمونه‌ای از بار کردن ترتیبی را برای وسیله نقلیه دوم شکل ۱ نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۲-a می‌بینید برای تحویل اشیاء مشتری چهارم احتیاجی به جابه‌جایی اشیاء مشتری پنجم نیست و چون نمونه‌ای از بار کردن ترتیبی است هیچ یک از این اشیاء جابه‌جا نمی‌شوند. ولی در شکل ۲-b برای تحویل اشیاء مشتری چهارم باید شیء سوم مشتری پنجم را جابه‌جا کنیم تا بتوانیم شیء چهارم مشتری چهارم را تحویل دهیم و چون نمونه‌ای از بار کردن نامقید است می‌توانیم این جابه‌جایی را

توسط Zheng و C. H. Leung در سال ۲۰۱۰ پیشنهاد شده است [۶]، Iori و Gendreau که این مسأله را با استفاده از الگوریتم Tabu Search [۲] در سال ۲۰۱۱ حل کرده‌اند و همچنین Fuellerer و Doerner که الگوریتم کولونی مورچه^۹ را برای این مسأله ارائه داده‌اند [۵].

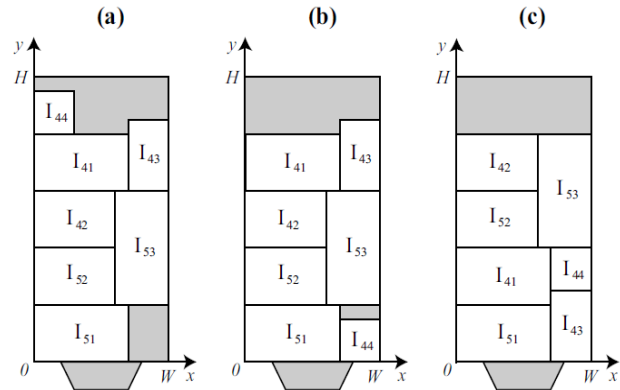
یکی از الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای که به تازگی مورد توجه قرار گرفته و در مسائل گوناگون بهینه‌سازی و ترکیبی استفاده شده است الگوریتم بهینه‌سازی کولونی زنبور مصنوعی^{۱۰} است. الگوریتم بهینه‌سازی کولونی زنبور مصنوعی الگوریتم جستجو بر پایه جمعیت است که از رفتار گروهی زنبوران عسل برای پیدا کردن غذا ایده گرفته است. الگوریتم اصلی زنبور یک جستجوی همسایگی که با جستجوی تصادفی ترکیب شده است، را انجام می‌دهد. این الگوریتم برای مسائل بهینه‌سازی ترکیبی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

در این مقاله ما یک الگوریتم اکتشافی بر پایه الگوریتم بهینه‌سازی کولونی زنبور مصنوعی برای مسأله مسیریابی و بار کردن ارائه می‌دهیم که الگوریتم بهینه‌سازی کولونی زنبور مصنوعی را با الگوریتم‌های اکتشافی بار کردن ترکیب می‌کنیم. این الگوریتم با استفاده از الگوریتم کولونی زنبور مصنوعی راه‌حلهایی برای مسأله مسیر یابی می‌دهد در حالی که محدودیت وزنی و محدودیت بار کردن را به وسیله سریعترین الگوریتم اکتشافی نیز چک می‌کند.

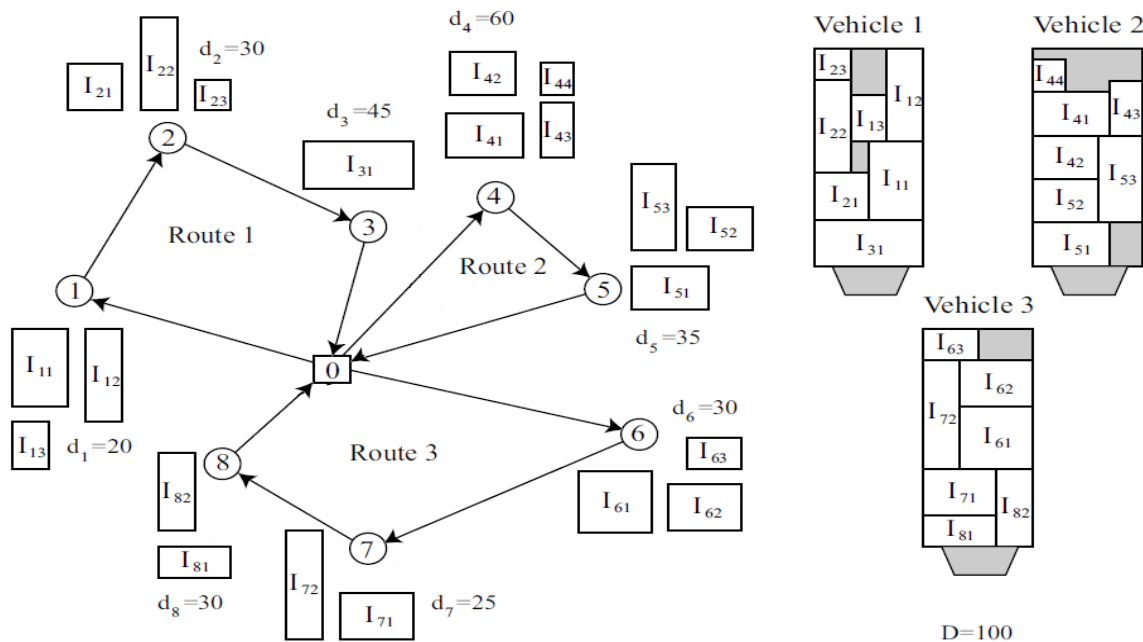
۲- بیان مسأله

مسأله مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت وزن و فضای بار دو بعدی ترکیبی از دو مسأله بسیار مهم مسیریابی و بار کردن در فضای دو بعدی است. در این مسأله کالاهایی که مشتریان درخواست داده‌اند و در انبار مرکزی است، باید توسط تعدادی وسیله نقلیه تحویل داده شوند. که تعداد وسایل نقلیه ثابت و مشخص K است. هر وسیله نقلیه باید از انبار کالاها را بارگیری کند و به مشتریان تحویل دهد و در انتها به انبار برگردد. هر مشتری فقط باید توسط یک وسیله نقلیه سرویس بگیرد و نمی‌توان کالاها ی یک مشتری را جدا کرد و هر قسمت را یک وسیله نقلیه تحویل دهد. هر وسیله نقلیه یک محدودیت وزن دارد که از

انجام دهیم. در این مقاله ساختار بار کردن نامقید در نظر گرفته شده است.



شکل ۲: (a) بار کردن ترتیبی و (b,c) بار کردن نامقید [۲]



شکل ۳: راه حل برای نمونه ای از مسأله ۲L-CVRP که در آن سه کامیون باید اجناس مختلف را از انبار به ۸ مشتری برسانند. [۲]

زنبورهای کارگر برای انتخاب یک منبع غذایی است، زنبور ناظر^{۱۴} نامیده می‌شود. زنבורی که بصورت دلخواهانه حرکت می‌کند را زنبور پیشاهنگ^{۱۵} می‌نامند.

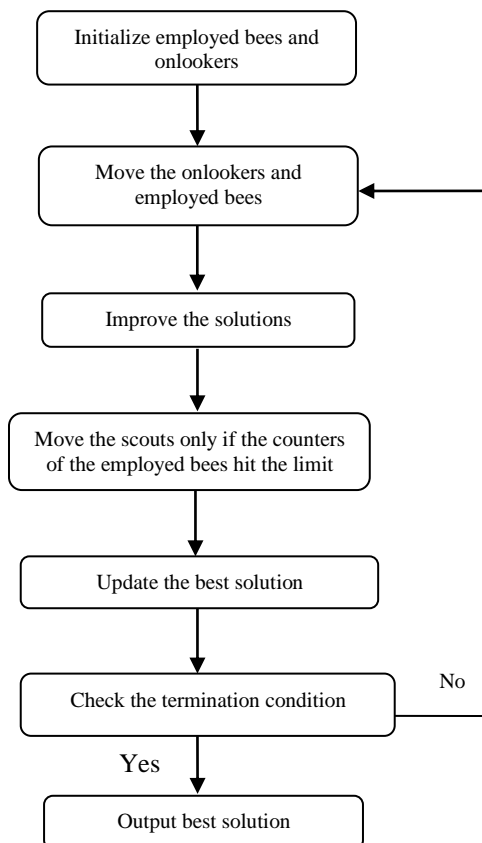
در شکل ۳ نمودار گردش الگوریتم ABC نشان داده شده است. ابتدا باید راه‌حل زنبورهای کارگر و ناظر مقداردهی اولیه شوند. الگوریتم ABC برای مسائل پیوسته است و مسأله ۲L-CVRP یک مسأله گسسته است. باید این مسأله را به یک مسأله پیوسته تبدیل کنیم تا بتوانیم الگوریتم ABC را روی این مسأله

۳- الگوریتم بهینه سازی کولونی زنبور مصنوعی

در ابتدا الگوریتم بهینه سازی کولونی زنبور مصنوعی (ABC) توسط Karaboga ارائه شد [۱۰]. الگوریتم جستجو بر پایه جمعیت است که از رفتار گروهی زنبوران عسل برای پیدا کردن غذا ایده گرفته است. سه نوع زنبور در ABC وجود دارد. زنבורی که به منبع غذایی که قبلاً پیدا کرده است بر می‌گردد را زنبور کارگر^{۱۳} می‌گویند. زنבורی که در ناحیه رقص، ناظر رقص

حلش حاصل نشد، آن زنبور کارگر حذف می‌شود و یک زنبور پیشاهنگ جدید طبق فرول (۳) جایگزین آن می‌شود. که در اینجا دو راه حل برای این زنبور بطور تصادفی همانطور که گفته شد مقداردهی می‌شوند و جایگزین راه‌حل‌های زنبور کارگر می‌شوند. این روند تکرار می‌شود تا شرایط خاتمه حاصل شود. در فرمول ۳، x_{jmin} و x_{jmax} به ترتیب حداکثر و حداقل محلی که یک زنبور در بعد j می‌تواند داشته باشد و r یک عدد تصادفی بین $[0,1]$ است.

$$x_{ij} = x_{jmin} + r \cdot (x_{jmax} - x_{jmin}) \quad (3)$$



شکل ۳: نمودار گردش الگوریتم ABC

بعد از جابه‌جایی، راه حل هریک از زنبورها بهبود داده می‌شوند. هر مسیر با جابه‌جا کردن دو تا از مشتری‌هایش، در صورتیکه هزینه مسیر کاهش یابد بهبود داده می‌شود و همچنین هر راه حل با جابه‌جا کردن یک مشتری از یک مسیر با یک مشتری از یک مسیر دیگر در صورتیکه هزینه کل راه حل کاهش یابد بهبود داده می‌شود.

پیاده‌سازی کنیم. برای این کار دو راه حل برای هر زنبور در نظر می‌گیریم، راه حل اول شامل مسیرهای کل وسایل نقلیه است که هر مسیر با صفر (انبار) شروع می‌شود، با صفر خاتمه می‌یابد و شامل تعدادی مشتری است. هر راه حل بصورت تصادفی مقداردهی اولیه می‌شود و امکان پذیر^{۱۶} است. راه‌حلی امکان پذیر است که محدودیت‌ها رعایت شده باشند (محدودیت بار کردن توسط الگوریتم اکتشافی که ارائه می‌دهیم بررسی می‌شود). راه حل دوم که به ازای هر مشتری در راه حل اول یک عدد بین صفر و یک بطور تصادفی تولید می‌کنیم و برای انبار عدد صفر را در نظر می‌گیریم. هر مسیر در راه حل دوم را به صورت نزولی مرتب می‌کنیم و با جابه‌جایی هر مقدار در راه حل دوم، مشتری متناظرش در راه حل اول نیز جابه‌جا می‌شود.

سپس هر یک از زنبورهای ناظر با استفاده از احتمال تابع هدف، فرمول (۱)، یکی از زنبورهای کارگر را براساس مقدار تابع هدف آن‌ها انتخاب کرده، هرچی مقدار تابع هدف یک زنبور کارگر بیشتر باشد احتمال انتخاب آن بیشتر است، و طبق فرمول (۲) به سمت آن حرکت می‌کند. هر یک از زنبورهای کارگر یکی از زنبورهای کارگر را بطور تصادفی انتخاب می‌کند و طبق فرمول (۲) به سمت آن حرکت می‌کند.

$$P_i = \frac{F(x_i)}{\sum_{k=1}^S F(x_k)} \quad (1)$$

در فرمول (۱)، P_i احتمال انتخاب زنبور کارگر i ام است. S کل تعداد زنبورهای کارگر، x_i محل زنبور کارگر i ام (راه حل زنبور کارگر i ام) و $F(x_i)$ مقدار تابع ارزیابی^{۱۷} هدف که در اینجا مسافت کل راه حل اول زنبور کارگر i ام است. در فرمول (۲)، x_i محل زنبور ناظر یا کارگر i ام، j بعد راه حل^{۱۸} x_{ij} مقدار متناظر با مشتری j در راه حل دوم زنبور i ام، t شماره تکرار^{۱۹} x_k محل زنبور کارگر انتخاب شده (هر مقدار در راه حل دوم زنبور کارگر k ام) و ϕ یک عدد تصادفی بین $[0,1]$ است.

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + \phi(x_{ij}(t) - x_{kj}(t)) \quad (2)$$

با تغییر کل مقادیر راه حل دوم، هر مسیر در آن راه حل را به صورت نزولی مرتب می‌کنیم و با جابه‌جایی هر مقدار در راه حل دوم، مشتری متناظرش در راه حل اول نیز جابه‌جا می‌شود. اگر زنبور کارگری برای یک مدت زمان مشخصی بهبودی در راه

۵- نتایج

در جدول ۱ بهترین مقدار پارامترهای الگوریتم ABC برای مسأله 2L-CVRP نشان داده شده‌اند (n تعداد مشتری‌ها است و K تعداد وسایل نقلیه است).

جدول ۱: بهترین مقدار پارامترهای ABC برای مسأله 2L-CVRP

$\Delta + n$	تعداد زنبورهای کارگر
n	تعداد زنبورهای ناظر
$4 * \max\{\Delta, n\}$	تعداد تکرارهای ABC
$(n + K + 1) / 2$	تعداد بهبودها

الگوریتم ABC روی هر کلاس ۱۰ بار اجرا شده است و در جدول ۲ میانگین اجراها برای هر نمونه نشان داده شده‌اند. همانطور که در جدول (۲) می‌بینید ۳۶ نمونه داریم که هر نمونه شامل ۵ تا ۱۸۰ نمونه اجرا شده است. در کل الگوریتم ABC روی ۱۸۰ نمونه اجرا شده است. Z_{avg} میانگین هزینه‌های بهترین راه‌حل‌های بدست آمده از ۱۰ بار اجرا روی هر یک از کلاس‌های یک نمونه است. ستون I، شماره نمونه را و ستون n تعداد مشتری‌ها را در آن کلاس مشخص می‌کند. همانطور که در جدول ۲ می‌بینید نتایج ABC تقریباً برابر با نتایج ACO هستند.

جدول ۲: نتایج نمونه‌های بار کردن نامقید

		Aco [5]	ABC
I	n	Z_{avg}	Z_{avg}
۱	۱۵	۲۸۴,۶۳	۲۸۴,۶۴
۲	۱۵	۳۳۹,۸۱	۳۳۹,۸۰
۳	۲۰	۳۷۲,۷۳	۳۷۲,۷۳
۴	۲۰	۴۳۷,۱۰	۴۳۷,۰۹
۵	۲۱	۳۷۸,۲۸	۳۷۸,۲۸
۶	۲۱	۴۹۶,۹۹	۴۹۷,۰۵
۷	۲۲	۶۷۱,۲۴	۶۷۱,۲۳
۸	۲۲	۶۶۶,۶۲	۶۶۶,۶۲
۹	۲۵	۶۱۱,۱۵	۶۱۱,۱۴
۱۰	۲۹	۶۵۳,۱۸	۶۵۶,۱۴
۱۱	۲۹	۶۷۸,۴۶	۶۷۸,۴۶
۱۲	۳۰	۶۱۱,۰۱	۶۱۱,۰۹
۱۳	۳۲	۲۴۱۷,۸۵	۲۴۲۱,۲۲

۴- الگوریتم اکتشافی بار کردن در فضای دو بعدی

بعد از مقداردهی اولیه هر راه‌حل، حرکت هر زنبور و بهبود هر راه‌حل، الگوریتم اکتشافی بار کردن در فضای دو بعدی امکانپذیر بودن راه حل را بررسی می‌کند. بررسی می‌کند آیا اشیاء درخواستی مشتریان هر مسیر را، با توجه به طول و عرض اشیاء و طول و عرض وسیله نقلیه، می‌توان در وسیله نقلیه بار کرد. در صورت بار شدن و رعایت محدودیت وزنی آن راه‌حل امکان پذیر است.

الگوریتم اکتشافی بار کردن نامقید در شکل ۴ نشان داده شده است. هر راه‌حل به این الگوریتم اکتشافی داده می‌شود. اشیاء هر مسیر بر اساس ارتفاعشان بصورت نزولی مرتب می‌شوند. اولین شیء در محل (۰ و ۰) در وسیله نقلیه گذاشته می‌شود. برای قرار دادن اشیاء بعدی سعی می‌شود هر شیء، بدنه‌ی وسیله نقلیه یا اشیاء قبلی را لمس کند (Touching perimeter). هر شیء را در سمت راست اشیاءای که قبلاً گذاشتیم، $(x' + w', y')$ یا در بالای آنها، $(x', y' + h')$ می‌توان قرار داد (normal position). محل شیء که قبلاً بار شده است و w' و h' به ترتیب عرض و ارتفاع آن شیء هستند. پس از پیدا کردن یک محل خالی (x, y) ، بررسی می‌شود که آن شیء با عرض w و ارتفاع h در وسیله نقلیه جا می‌شود و فضای لازم برای قرار دادن شیء در محل موردنظر، خالی است. اگر محلی برای یک شیء در وسیله نقلیه مورد نظر پیدا نشد، آن راه‌حل امکانپذیر نیست.

- Sort items of each route according to descending height.
- Put the first item in position (۰, ۰).
- for each successive item of size (w, h), Check normal packing positions (x, y) that (a), (b) below hold:
 - $x + w \leq W$ and $y + h \leq H$;
 - The rectangle of sides $[(x, y), (x + w, y)], [(x, y), (x, y + h)]$ is empty;
 end of for;
- If a position is not found for an item, the solution is infeasible.

شکل ۴: الگوریتم اکتشافی برای بار کردن نامقید

دو بعدی بوسیله یک الگوریتم اکتشافی بررسی می‌شد. با توجه به این که الگوریتم ABC برای مسائل پیوسته و 2L-CVRP یک مسأله گسسته است، می‌توان گفت نتایج بدست آمده قابل ملاحظه هستند.

مراجع

- [۱] Dantzig, G.B., Ramser, J.H.: *The truck dispatching problem*. Management Science ۶(۱), ۸۰-۹۱ (۱۹۵۹).
- [۲] Gendreau M, Iori M, Laporte G, Martello S. *A Tabu search heuristic for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints*. Networks ۲۰۰۸;۵۱(۱): ۴-۱۸.
- [۳] M. Iori. *Metaheuristic algorithms for combinatorial optimization problems*. ۴OR, ۳:۱۶۳-۱۶۶, ۲۰۰۵.
- [۴] M. Iori, J.J. Salazar Gonz_alez, and D. Vigo. *An exact approach for the symmetric capacitated vehicle routing problem with two dimensional loading constraints*. Technical Report OR/۰۳۱۰۴, DEIS, Università di Bologna, (۲۰۰۳)
- [۵] Fuellerer G, Doerner KF, Hartl RF, Iori M. *Ant colony optimization for the two-dimensional loading vehicle routing problem*. Computers and Operations Research ۲۰۰۹;۳۶(۳):۶۵۵-۷۳.
- [۶] Stephen C. H. Leung, Jiemin Zheng, Defu Zhang and Xiyue Zhou "Simulated annealing for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints" Flexible Services and Manufacturing Journal (۲۰۱۰). ۲۲:۶۱-۸۲.
- [۷] J.-F. Cordeau, M. Gendreau, A. Hertz, G. Laporte, and J.-S. Sormany. *New heuristics for the vehicle routing problem*. In A. Langevin and D. Riopel, editors, Logistics Systems: Design and Optimization, pages ۲۷۹-۲۹۸. Kluwer, Boston, ۲۰۰۵.
- [۸] J.-F. Cordeau and G. Laporte. *Tabu search heuristics for the vehicle routing problem*. In C. Rego and B. Alidaee, editors, Metaheuristic Optimization via Memory and Evolution: Tabu Search and Scatter Search, pages ۱۴۵-۱۶۳. Kluwer, Boston, ۲۰۰۴.
- [۹] N. Christofides, A. Mingozzi, and P. Toth. *The vehicle routing problem*. In N. Christofides, A. Mingozzi, P. Toth, and C. Sandi, editors, Combinatorial Optimization, pages ۳۱۵-۳۳۸. Wiley, Chichester, ۱۹۷۹.
- [۱۰] D. Karaboga, B. Basturk, *A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm*, Journal of Global Optimization ۳۹ (۲۰۰۷) ۴۵۹-۴۷۱.

۱۴	۳۲	۹۶۰,۵۴	۹۶۴,۷۷
۱۵	۳۲	۱۱۰۱,۳۶	۱۱۰۶,۷۲
۱۶	۳۵	۶۹۹,۵۶	۷۰۰,۴۶
۱۷	۴۰	۸۶۳,۶۰	۸۶۴,۲۰
۱۸	۴۴	۹۷۹,۳۶	۹۸۵,۶۰
۱۹	۵۰	۷۰۶,۵۶	۷۰۶,۶۲
۲۰	۷۱	۴۷۰,۹۳	۴۶۹,۰۵
۲۱	۷۵	۹۵۰,۰۸	۹۵۲,۹۴
۲۲	۷۵	۹۸۴,۱۸	۹۸۷,۷۴
۲۳	۷۵	۱۰۰۶,۸۵	۱۰۱۲,۶۶
۲۴	۷۵	۱۱۰۳,۸۱	۱۱۰۹,۴۶
۲۵	۱۰۰	۱۲۵۸,۷۸	۱۲۶۵,۹۸
۲۶	۱۰۰	۱۲۴۰,۸۹	۱۲۴۶,۸۸
۲۷	۱۰۰	۱۲۹۳,۸۷	۱۳۰۷,۵۵
۲۸	۱۲۰	۲۲۹۷,۹۵	۲۳۰۶,۳۸
۲۹	۱۳۴	۲۰۱۹,۳۰	۲۰۲۳,۵۰
۳۰	۱۵۰	۱۶۴۲,۳۸	۱۶۴۹,۹۵
۳۱	۱۹۹	۲۱۰۲,۳۰	۲۱۰۹,۴۸
۳۲	۱۹۹	۲۰۵۳,۰۳	۲۰۶۰,۶۵
۳۳	۱۹۹	۲۱۱۰,۹۲	۲۱۱۸,۶۵
۳۴	۲۴۰	۱۰۹۰,۸۵	۱۰۹۶,۹۵
۳۵	۲۵۲	۱۳۱۹,۲۶	۱۳۲۳,۰۰
۳۶	۲۵۵	۱۵۰۹,۹۱	۱۵۱۳,۲۲
AVG		۱۰۷۳,۲۰	۱۰۶۹,۶۶

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک الگوریتم بهینه سازی کولونی زنبور مصنوعی برای مسأله مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت وزن و فضای بار دو بعدی ارائه دادیم که محدودیت بار کردن در فضای

^{۱۷} Fitness / Evaluation function

^{۱۸} Dimension of solution

^{۱۹} Iteration number

^{۲۰} Improve

^۱ Combinatorial

^۲ Vehicle Routing Problem (VRP)

^۳ Capacitated Vehicle Routing Problem

^۴ Two dimensional loading capacitated Vehicle Routing Problem (۲L-CVRP)

^۵ Exact methods

^۶ Branch and cut

^۷ Nested branch and bound

^۸ Meta-heuristic

^۹ Ant Colony Optimization

^{۱۰} Artificial Bee Colony Optimization

^{۱۱} Unrestricted loading

^{۱۲} Sequential loading

^{۱۳} Employed bee

^{۱۴} Onlooker bee

^{۱۵} Scout

^{۱۶} Feasible