

یکپارچگی مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با زمانبندی حمل و نقل و تولید در زنجیره تأمین

محمدعلی بهشتی نیا (نویسنده مسئول)، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

داود فیض، دانشیار، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

فاطمیما سدادی، دانش آموخته دوره کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

E-mail: beheshtinia@semnan.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۵ / ۰۵ / ۱۷ پذیرش: ۹۶ / ۰۲ / ۳۱

چکیده

طراحی شبکه‌های حمل و نقل نقش مهمی در کاهش قیمت تمام شده محصولات و افزایش رقابت پذیری آن‌ها دارد. از این رو، سازمان‌ها در پی راهی جهت تسریع حمل و نقل و کاهش هزینه‌های مربوط به آن هستند. این مقاله به ترکیب سه استراتژی نوین در مورد زمانبندی حمل و نقل در زنجیره تأمین شامل زمانبندی جامع تولید در تأمین کنندگان، استفاده از ناوگان حمل و نقل مشترک برای انتقال قطعات تولید شده در تأمین کنندگان به شرکت سازنده و یکپارچگی تصمیمات در حوزه زمانبندی تولید و حمل و نقل می‌پردازد. در زنجیره تأمین مورد بررسی فرض می‌شود که تعداد No سفارش وجود دارد که پس از تولید توسط Ns تأمین کننده باید توسط Nv وسیله نقلیه به یک شرکت سازنده حمل شوند به منظور تحلیل این مدل پیشنهادی، ابتدا مدل ریاضی عدد صحیح مختلط برای مسأله با هدف کمینه سازی مجموع زمان‌های تحویل سفارشات، توسعه داده شده است. سپس جهت حل مسأله یک الگوریتم فراابتکاری کلونی زنبور عسل ارائه شده است. به منظور ارزیابی الگوریتم کلونی زنبور عسل پیشنهادی، نتایج آن با نتایج الگوریتم مطرح شده برای نزدیک‌ترین مسأله در ادبیات موضوع به مسأله مورد بررسی در این مقاله، مقایسه شده است. همچنین نتایج این الگوریتم با جواب بهینه برای مسائل با ابعاد کوچک مقایسه شده است. نتایج مقایسات نشان از کارآیی بالای الگوریتم پیشنهادی دارد. همچنین روی سه پارامتر مسأله شامل تعداد سفارشات، تعداد تأمین کنندگان و تعداد وسایل نقلیه تحلیل حساسیت صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که با افزایش تعداد سفارشات، مجموع زمان‌های تحویل سفارشات کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش تعداد تأمین کنندگان و تعداد وسایل نقلیه مجموع زمانهای تحویل سفارشات کاهش می‌یابد.

واژه های کلیدی: الگوریتم کلونی زنبور عسل، تولید، زمانبندی حمل و نقل، زنجیره تأمین، مسیریابی

۲-۳ مدل ریاضی مسأله

قبل از ارائه مدل ریاضی مسأله ابتدا نمادهای مورد استفاده معرفی می‌شوند. پارامترهای مسأله عبارتند از:

No : تعداد سفارش‌ها

Ns : تعداد تأمین‌کنندگان

Nv : تعداد وسایل نقلیه

q, i : شاخص سفارش

p : شاخص اولویت حمل

s, s' : شاخص تأمین‌کنندگان

m : شاخص وسایل نقلیه

b : شاخص محموله

$size_i$: وزن (حجم) سفارش i ام

Cap_m : ظرفیت حمل وسیله‌نقلیه m ام برحسب تعداد سفارش

pt_i : زمان پردازش سفارش i ام

Due_i : موعد تحویل سفارش i ام

v_i : سرعت پردازش تأمین‌کننده s ام

vv_m : سرعت حمل وسیله‌نقلیه m ام

ttT_s : فاصله بین تأمین‌کننده s و شرکت سازنده

ttS_{ss} : فاصله بین تأمین‌کننده s و s'

A : ماتریسی با ابعاد $No \times Ns$ که اگر $a(i, s) = 1$ به معنای مجاز بودن تخصیص سفارش i به تأمین‌کننده s است و بالعکس

AA : ماتریسی با ابعاد $No \times Nv$ که اگر $aa(i, m) = 1$ باشد به معنای مجاز بودن تخصیص سفارش i به وسیله‌نقلیه m است و بالعکس

M : یک عدد بزرگ مثبت

متغیرهای مدل نیز شامل موارد زیر است:

co_i : زمان تکمیل سفارش i در مرحله تأمین‌کنندگان

$Delivery_i$: زمان تحویل سفارش i به شرکت سازنده

$Load_i$: زمان بارگذاری سفارش i ام روی یکی از وسایل

نقلیه به منظور حمل

$Avmbi$: زمان آمادگی وسیله‌نقلیه m ام جهت حمل

سفارش i ام در b امین مأموریت خود

x_{si} : اگر سفارش i ام به تأمین‌کننده s ام داده شود برابر یک

و در غیر این صورت برابر صفر است.

y_{iq} : اگر در مرحله تأمین‌کنندگان سفارش i قبل از سفارش q قرار گیرد برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.

$Vmbip$: اگر اولویت حمل p ام در b امین حمل به وسیله نقلیه k مربوط به سفارش i ام باشد برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.

پس از تعریف پارامترها و متغیرهای مسأله، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای مسأله به صورت زیر ارائه می‌گردد:

$$\text{Min} Z = \sum_{i=1}^{No} Delivery_i$$

S.t.:

$$\sum_{s=1}^{Ns} x_{si} = 1 \quad i=1,2,\dots,No \quad (1)$$

$$\sum_{m=1}^{Nv} \sum_{b=1}^{No} \sum_{p=1}^{No} Vmbip = 1 \quad i=1,2,\dots,No \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{No} Vmbip \leq 1 \quad \begin{matrix} b=1,2,\dots,No \\ p=1,2,\dots,No \\ m=1,2,\dots,Nv \end{matrix} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{No} \sum_{p=1}^{No} size_i \times Vmbip \leq Cap_m \quad \begin{matrix} b=1,2,\dots,No \\ m=1,2,\dots,Nv \end{matrix} \quad (4)$$

$$co_i \geq Pt_i/v_s - M(1 - x_{is}) \quad \begin{matrix} i=1,2,\dots,No \\ s=1,2,\dots,Ns \end{matrix} \quad (5)$$

$$\begin{matrix} co_i + M(2 + y_{iq} - x_{si} - x_{sq}) & s=1,2,\dots,Ns \\ \geq co_q + Pt_i/v_s & i,q=1,2,\dots,No \\ co_q + M(3 - y_{iq} - x_{si} - x_{sq}) & i < q \\ \geq co_i + Pt_q/v_s & \end{matrix} \quad (6)$$

$$y_{iq} = 0 \quad \begin{matrix} i,q=1,2,\dots,No \\ i < q \end{matrix} \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{No} Vmbi(p+1) \leq \sum_{i=1}^{No} Vmbip \quad \begin{matrix} b=1,2,\dots,No \\ p=1,\dots,No-1 \\ m=1,2,\dots,Nv \end{matrix} \quad (8)$$

یکپارچگی مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با زمانبندی حمل و نقل و تولید ...

وسيله نقلیه و به یک محموله از آن تخصیص یابد. مجموعه محدودیت (۳) بیانگر این مطلب است که یک سفارش نمی تواند به بیش از یک موقعیت در محموله ها و وسایل نقلیه تخصیص یابد. مجموعه محدودیت (۴) تضمین می کند در هر محموله مجموع فضای اشغالی توسط سفارش های تخصیص یافته به یک وسیله نقلیه نباید از ظرفیت آن وسیله نقلیه بیشتر شود. مجموعه محدودیت (۵) زمان تکمیل هر سفارش در مرحله تأمین کنندگان را در نظر می گیرد. مجموعه محدودیت (۶) بیان می کند که هر تأمین کننده نمی تواند در هر لحظه بیش از یک سفارش را مورد پردازش قرار دهد. مجموعه محدودیت (۷) مقداری از متغیرهای زائد را حذف می کند. مجموعه محدودیت (۸) تضمین می کند که اگر به اولویت p ام محموله b ام از وسیله نقلیه m ام سفارشی تخصیص نیابد، نمی توان به اولویت $p+1$ ام آن محموله سفارشی تخصیص داد. مجموعه محدودیت (۹) تضمین می کند که اگر به محموله b ام از وسیله نقلیه m ام سفارشی تخصیص نیابد، نمی توان به محموله $b+1$ ام آن سفارشی تخصیص داد. مجموعه محدودیت (۱۰) و (۱۱) بیانگر این مطلب است که زمان بارگذاری هر سفارش برابر بیشینه زمان تکمیل پردازش سفارش و زمان آماده بودن وسیله نقلیه مرتبط برای حمل آن است. مجموعه محدودیت (۱۲) زمان آماده بودن یک وسیله نقلیه برای حمل سفارشی که به اولویت اول اولین محموله آن اختصاص یافته است، را تعیین می کند. مجموعه محدودیت (۱۳) زمان آماده بودن یک وسیله نقلیه برای حمل سفارشی که به اولویت اول یک محموله اختصاص یافته است، را با توجه به زمان تحویل سفارش های محموله قبلی، مقصد محموله قبلی و زمان حمل تا تأمین کننده مرتبط تعیین می کند. مجموعه محدودیت (۱۴) زمان آماده بودن یک وسیله نقلیه برای حمل سفارشی که به یک محموله اختصاص یافته است را با توجه به زمان بارگذاری سفارش اولویت حمل قبلی و زمان حمل بین تأمین کنندگان مرتبط تعیین می کند. مجموعه محدودیت (۱۵) زمان تحویل یک سفارش را با توجه به زمان بارگذاری کلیه سفارش های متعلق به محموله خود و مقصد آن تعیین می کند. مجموعه محدودیت (۱۶) از اختصاص سفارش ها به تأمین کنندگان غیرمجاز جلوگیری می کند. مجموعه محدودیت (۱۷) از اختصاص سفارش ها به وسایل نقلیه غیرمجاز جلوگیری می کند.

$$\sum_{i=1}^{No} V_{m(b+1)i1} \leq \sum_{i=1}^{No} V_{mbi1} \quad b=1, \dots, No-1 \quad (9)$$

$$m=1, 2, \dots, Nv$$

$$Load_i \geq Av_{mbi} \quad b=1, 2, \dots, No \quad (10)$$

$$-M(1 - \sum_{p=1}^{No} V_{mbip}) \quad i=1, 2, \dots, No$$

$$m=1, 2, \dots, Nv$$

$$Load_i \geq co_i \quad i=1, 2, \dots, No \quad (11)$$

$$av_{m1i} \geq \frac{ttT_s}{vv_m} \quad s=1, 2, \dots, Ns \quad (12)$$

$$-M(2 - V_{m1i1} - x_{is}) \quad i=1, 2, \dots, No$$

$$m=1, 2, \dots, Nv$$

$$av_{mbi} \geq Delivery_q + \frac{ttT_s}{vv_m} \quad s=1, 2, \dots, Ns \quad (13)$$

$$-M(3 - V_{mbi1} - V_{m(b-1)q1} - x_{is}) \quad i, q=1, 2, \dots, No$$

$$b=1, 2, \dots, No$$

$$m=1, 2, \dots, Nv$$

$$av_{mbi} \geq Load_q + \frac{ttS_s' s}{vv_m} \quad b=1, 2, \dots, No \quad (14)$$

$$-M(4 - V_{mbqp} - V_{mbi(p+1)} - x_{qs'} - x_{is}) \quad m=1, 2, \dots, Nv$$

$$p=1, \dots, No-1$$

$$i, q=1, 2, \dots, No$$

$$s, s'=1, 2, \dots, Ns$$

$$Delivery_i \geq Load_q \quad i, q=1, 2, \dots, No \quad (15)$$

$$+ ttT_s/vv_m - M(3 - \sum_{p=1}^{No} V_{mbip}) \quad s=1, 2, \dots, Ns$$

$$- \sum_{p=1}^{No} V_{mbqp} - x_{qs} \quad b=1, 2, \dots, No$$

$$m=1, 2, \dots, Nv$$

$$x_{is} = 0 \quad i=1, 2, \dots, No \quad (16)$$

$$s=1, 2, \dots, Ns$$

$$a(i, s)=0$$

$$\sum_{b=1}^{No} \sum_{p=1}^{No} V_{mbip} = 0 \quad m=1, 2, \dots, Nv \quad (17)$$

$$i=1, 2, \dots, No$$

$$aa(i, m)=0$$

مجموعه محدودیت (۱) بیانگر این مطلب است که هر سفارش تنها باید به یک تأمین کننده تخصیص داده شود. مجموعه محدودیت (۲) بیان می کند که هر سفارش تنها باید به یک

همانگونه که مشخص است زمان بارگذاری هر سفارش برابر بیشینه زمان تکمیل آن سفارش و رسیدن وسیله نقلیه به تأمین کننده مربوطه است.

حالت خاصی از مسأله مورد بررسی در این تحقیق که در آن زمان حمل و نقل بین تأمین کنندگان برابر صفر در نظر گرفته شود و عناصر کل ماتریس AA برابر ۱ در نظر گرفته شوند، تبدیل به مسأله در نظر گرفته شده توسط دگرودی و بهشتی نیا [Zegordi and Beheshti Nia, 2009] می شود. از آنجا که مسأله آن‌ها از نوع NP-Hard است در نتیجه مسأله مورد بررسی در این تحقیق نیز نوع NP-Hard خواهد بود و باید از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری برای حل آن استفاده نمود. در بخش بعد یک الگوریتم کلونی زنبور عسل برای حل مسأله ارائه می شود.

به منظور تبیین بهتر، یک مسأله با ۴ سفارش، ۲ تأمین کننده و ۲ وسیله نقلیه را در نظر گرفته می شود، که اطلاعات مربوط به هر یک از سفارشات، وسایل نقلیه و کلیه فواصل در شکل ۶ ارائه شده است. با این فرض که سرعت تولید در تأمین کننده اول برابر ۱ و در تأمین کننده دوم برابر ۰,۲۵ است.

شکل ۷ یک جواب شدنی مسأله را نشان می دهد که در آن سفارش‌های تخصیص یافته به تأمین کنندگان و وسایل نقلیه و همچنین توالی آن‌ها مشخص شده است. با توجه به شکل می بایست به ترتیب سفارش‌های ۳، ۱ و ۲ توسط تأمین کننده ۱ پردازش شوند و تأمین کننده ۲ نیز سفارش ۴ را پردازش کند. همچنین بایستی به ترتیب سفارش‌های ۳ و ۴ توسط وسیله نقلیه ۱ و نیز به ترتیب سفارش‌های ۱ و ۲ توسط وسیله نقلیه ۲ را حمل شوند.

با توجه به اطلاعات مسأله و جواب نشان داده شده در شکل ۷، نحوه زمانبندی به صورت شکل ۸ خواهد بود.

			ظرفیت		تأمین کننده		
			سرعت	وسيله نقلیه ۱	شرکت سازنده	تأمین کننده ۱	تأمین کننده ۲
وزن	زمان	سفارش	۱۵	وسيله نقلیه ۱	شرکت سازنده	۱۰	۲۰
۵	۱۰	۱	۲۰	وسيله نقلیه ۲	تأمین کننده ۱	—	۳۰
۱۰	۲۰	۲			تأمین کننده ۲	۲۰	—
۵	۳۰	۳					
۵	۴۰	۴					

الف) اطلاعات فواصل

ب) اطلاعات وسایل نقلیه

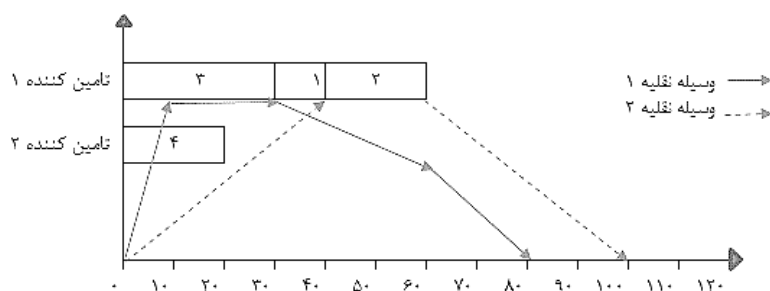
ج) اطلاعات سفارشات

شکل ۶. اطلاعات مربوط به مسأله

تأمین کننده ۱	۲→۱→۳
تأمین کننده ۲	۴
وسيله نقلیه ۱	۳→۴
وسيله نقلیه ۲	۱→۲

شکل ۷. سفارش‌های تخصیص یافته و ترتیب آن‌ها

یکپارچگی مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با زمانبندی حمل و نقل و تولید ...



	سفارش ۱	سفارش ۲	سفارش ۳	سفارش ۴
زمان تکمیل	۴۰	۶۰	۳۰	۳۰
زمان بارگذاری	۴۰	۶۰	۳۰	۶۰
زمان تحویل	۱۰۰	۱۰۰	۸۰	۸۰

شکل ۸. نمودار گانت و نتایج زمانبندی

گام ۳. بر مبنای عملگر انتخاب، اطلاعات هر یک از زنبورهای کارگر را به زنبورهای تماشاچی n_v منتقل کنید. زنبورهای تماشاچی یک انتخاب حریصانه بین جواب قبلی ذخیره شده در حافظه خود و جواب‌های جدید انجام می‌دهند.

گام ۴. برای هر یک از جواب‌های مربوط به زنبور-های تماشاچی یک همسایگی ایجاد کنید و یک انتخاب حریصانه انجام دهید.

گام ۵. اگر جواب موجود در حافظه هر یک از زنبورهای کارگر در R تکرار متوالی بهبود نیافته است، آن را حذف و با یک زنبور پیشرو جایگزین کنید (جواب موجود در حافظه آن‌ها را حذف و یک جواب تصافی تولید و جایگزین آن کنید).

گام ۶. اگر بهترین جوابی که تاکنون یافت شده است در T تکرار متوالی بهبود نیافته است، الگوریتم را خاتمه دهید؛ در غیر این صورت به گام ۲ برگردید.

در این مقاله از ساختاری خاص جهت رمزنگاری و ذخیره هر جواب در حافظه زنبورها استفاده شده است. در این ساختار هر جواب از دو رشته اعداد حقیقی تصادفی تشکیل شده است. رشته اول مربوط به تأمین‌کنندگان و رشته دوم مربوط به وسایل نقلیه هستند (شکل ۹). اعداد رشته اول به صورت تصادفی از بازه $(1, N_s+1)$ و اعداد رشته دوم به صورت تصادفی از بازه

۴. الگوریتم کلونی زنبور عسل

الگوریتم کلونی زنبور عسل با شبیه‌سازی از رفتار جستجوی غذا توسط گروه‌های زنبور عسل به حل مسائل می‌پردازد. نسخه الگوریتم به کار گرفته شده در این مقاله شامل ۳ نوع زنبور کارگر^{۱۲}، تماشاچی^{۱۳} و پیشرو^{۱۴} است. ابتدا جستجوی تصادفی در محیط توسط زنبورهای کارگر انجام شده، سپس اطلاعات هر یک از زنبورهای کارگر با استفاده از عملگر انتخاب به زنبورهای تماشاچی منتقل می‌شود. اگر جواب تولیدی توسط یک زنبور کارگر در چند تکرار متوالی بهبود نیابد حذف شده و یک زنبور پیشرو به صورت تصادفی تولید و به محیط جستجو فرستاده می‌شود. این الگوریتم در سال ۲۰۰۵ توسط کارابوگا ارائه گردید [Karaboga 2005]. به منظور تبیین بیشتر، گام‌های الگوریتم پیشنهادی در زیر بیان گردیده است:

گام ۱. به اندازه n_w (زنبورهای کارگر) جواب اولیه تصادفی تولید کنید.

گام ۲. برای هر جواب (مرتبط با زنبورهای کارگر) یک همسایگی ایجاد کنید و یک انتخاب حریصانه بین جواب قبلی ذخیره شده در حافظه زنبور و جواب همسایگی انجام دهید (هر کدام بهتر بود، آن را انتخاب کنید).

نیافته است را در نظر بگیرید و آن را به دسته دارای کوچکترین اندیس اختصاص دهید، به طوری که مجموع ظرفیت اشغالی سفارشات تخصیص داده شده به هر دسته از ظرفیت وسیله نقلیه بیشتر نشود. در صورتی که اندازه سفارش های تخصیص داده شده به هر دسته از ظرفیت ماشین بیشتر می شود، دسته جاری را بسته و یک دسته دیگر با اندیس جدید ایجاد کنید. گام ۳. پس از اتمام دسته بندی سفارشات، به زمان بندی حمل سفارشات پردازید و مقدار تابع هدف متناظر با جواب را محاسبه کنید. زمان بندی تحویل سفارشات هر محموله با توجه به مواردی چون اولویت حمل، زمان تکمیل هر سفارش در مرحله تولید، مکانی که سفارش باید از آنجا حمل شود (تأمین کننده مربوطه)، فواصل و سرعت وسیله نقلیه مربوطه قابل محاسبه است.

عملگر انتخاب در الگوریتم پیشنهادی از نوع چرخ رولت است. به علاوه جهت ایجاد همسایگی از عملگر جابجایی استفاده شده است. به این صورت که دو مکان به صورت تصادفی از هر دو رشته انتخاب شده و اعداد متناظر با این دو مکان را در هر دو قسمت تأمین کنندگان و وسایل نقلیه با یکدیگر تعویض می شود. شکل ۱۰ نحوه تولید همسایگی را نشان می دهد که در آن دو مکان تصادفی از جواب اولیه انتخاب شده و مقادیر مکان های هر دو رشته مربوط به تأمین کنندگان و وسایل نقلیه تعویض می گردد. همانگونه که مشخص است در جواب اولیه سفارش ۲ به تأمین کننده ۱ و سفارش ۴ به تأمین کننده ۲ تخصیص یافته اند. اما در جواب همسایگی سفارش ۲ به تأمین کننده ۲ و سفارش ۴ به تأمین کننده ۱ تخصیص یافته اند. به علاوه با توجه به بخش اعشار توالی پردازش روی ماشین های مربوطه نیز تغییر می نماید. همین اتفاق در تخصیص سفارشات به وسایل نقلیه نیز رخ داده است.

$(1, N_v + 1)$ انتخاب می شوند. شماره ستون نشان دهنده شماره سفارش است. قسمت صحیح هر عدد در سطر اول (دوم) نشان دهنده شماره تأمین کننده (وسیله نقلیه) ای است که سفارش متناظر، به آن تخصیص یافته است. اعداد اعشار نیز اولویت تولید (حمل) هر سفارش را تعیین می کند. به این صورت که هر سفارشی که عدد اعشاری آن کمتر است اولویت بالاتری برای تولید (حمل) خواهد داشت. شکل ۹ یک ساختار برای جواب یک مسئله با ۵ سفارش، ۳ تأمین کننده و ۲ وسیله نقلیه را نشان می دهد. سفارشات ۲ و ۵ به تأمین کننده ۱، سفارشات ۳ و ۴ به تأمین کننده ۲ و سفارش ۱ به تأمین کننده ۳ تخصیص یافته اند. اولویت پردازش سفارشات در تأمین کننده ۱ به ترتیب با سفارش ۵ و سپس ۲ است. این اولویت در تأمین کننده ۲ نیز به ترتیب با سفارش ۴ و سپس ۳ است. رشته دوم نیز نشان می دهد که سفارشات ۱ و ۲ باید توسط وسیله نقلیه ۱ و سفارشات ۳، ۴ و ۵ باید توسط وسیله نقلیه ۲ حمل شوند.

این ساختار تخصیص سفارشات به تأمین کنندگان و وسایل نقلیه را نشان می دهد. به منظور محاسبه میزان تابع هدف این جواب از الگوریتم زیر استفاده می شود:

گام ۱. زمان بندی سفارشات در مرحله تأمین کنندگان را بر اساس تخصیص و اولویت پردازش مشخص شده، زمان پردازش هر سفارش و سرعت تولید تأمین کننده مرتبط انجام دهید.

گام ۲. سفارشات را به محموله های مختلف وسایل نقلیه به صورت زیر اختصاص دهید:

گام ۱-۲. اولویت سفارش های اختصاص داده شده به وسیله نقلیه مورد نظر را بر اساس ساختار جواب در نظر بگیرید.

گام ۲-۲. سفارش با اولویت اول را به اولین محموله (B_1) اختصاص دهید.

گام ۳-۲. به همین ترتیب سفارشی که بالاترین اولویت حمل را داشته و هنوز به محموله ها تخصیص

	سفارش ۱	سفارش ۲	سفارش ۳	سفارش ۴	سفارش ۵
تأمین کنندگان	۳/۰۴	۱/۶۹	۲/۹۸	۲/۲۳	۱/۴۸
وسایل نقلیه	۱/۱۵	۱/۶۳	۲/۹۹	۲/۶۸	۲/۵

شکل ۹. ساختار رمزنگاری شده هر جواب

یکپارچگی مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با زمانبندی حمل و نقل و تولید ...

	سفارش ۱	سفارش ۲	سفارش ۳	سفارش ۴	سفارش ۵	
تأمین کنندگان	۳/۰۴	۱/۶۹	۲/۹۸	۲/۲۳	۱/۴۸	جواب اولیه
وسایل نقلیه	۱/۱۵	۱/۶۳	۲/۹۹	۲/۶۸	۲/۵	
	سفارش ۱	سفارش ۲	سفارش ۳	سفارش ۴	سفارش ۵	
تأمین کنندگان	۳/۰۴	۲/۲۳	۲/۹۸	۱/۶۹	۱/۴۸	جواب همسایگی
وسایل نقلیه	۱/۱۵	۲,۶۸	۲/۹۹	۱/۶۳	۲/۵	

شکل ۱۰. نحوه ایجاد همسایگی

گام ۵. با استفاده از ترکیب عملگرهای انتخاب نخبه‌گرایی و چرخ رولت، کروموزوم‌ها را برای انتخاب جمعیت بعدی انتخاب کنید. در این حالت ۷۰ درصد از کروموزوم‌های نسل بعد را با استفاده از عملگر نخبه‌گرایی و بقیه را با استفاده از عملگر چرخ رولت انتخاب نمایید. پارامترهای الگوریتم مشابه مقاله ذگردی و بهشتی‌نیا [۲۰۰۹] در نظر گرفته شده‌اند (مقادیر ۱۰۰ برای جمعیت اولیه، ۰,۶ برای نرخ تقاطع، ۰,۸ برای نرخ جهش، ۱۰ برای T). اگر از ۱۰۰ کروموزوم اولیه که فقط یک بار و در نسل اول تولید می‌شود چشم پوشی کنیم، در هر نسل ۶۰ کروموزوم (جواب) جدید با استفاده از عملگر تقاطع و ۸۰ کروموزوم (جواب) جدید با استفاده از عملگر تلفیق ایجاد می‌شوند (در مجموع ۱۴۰ جواب در هر نسل). در الگوریتم زنبور عسل نیز اگر در تکرار اول از n_w جواب تصادفی اولیه چشم پوشی شود، در هر تکرار یک بار به اندازه تعداد زنبور کارگر (n_w) و بار دیگر به اندازه تعداد زنبور تماشاچی (n_v) جواب جدید با استفاده از مکانیزم ایجاد همسایگی به وجود می‌آید. از این رو به منظور انجام عادلانه مقایسات مقدار پارامتر n_w برابر ۰,۸ و مقدار پارامتر n_v برابر ۶۰ در نظر گرفته شده است. مقدار پارامتر T نیز مشابه الگوریتم ژنتیک برابر ۱۰ در نظر گرفته شده است. پارامتر R نیز به صورت تجربی برابر ۵ در نظر گرفته شده است.

ساختار کروموزوم در الگوریتم ژنتیک پویا دو بعدی است. بعد عمودی نشان دهنده تأمین کنندگان و وسایل نقلیه، و بعد افقی نشان دهنده سفارشات تخصیص یافته و ترتیب آن‌ها به هر یک از تأمین کنندگان و وسایل نقلیه است. برای هر یک از تأمین کنندگان و وسایل نقلیه یک رشته آرایه وجود دارد که

۵. اعتبار سنجی روش حل پیشنهادی

همانگونه که اشاره شد، این مسأله تاکنون در ادبیات موضوع مورد بررسی قرار نگرفته است. نزدیکترین مسأله در ادبیات موضوع به مسأله مورد بررسی در این تحقیق، مسأله مورد بررسی توسط ذگردی و بهشتی‌نیا [Zegordi and Beheshti, 2009] است. آن‌ها به منظور حل مسأله از یک الگوریتم ژنتیک به نام الگوریتم ژنتیک پویا^{۱۵} استفاده نموده‌اند که دارای کروموزوم‌هایی با ساختار متغیر است. در این قسمت به منظور ارزیابی کیفیت الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم ژنتیک پویا ارائه شده توسط ذگردی و بهشتی‌نیا [۲۰۰۹] برای مسأله مورد بررسی در این تحقیق توسعه داده می‌شود و عملکرد این دو الگوریتم با یکدیگر مقایسه می‌شود. همچنین نتایج این الگوریتم با جواب بهینه برای چند مسأله با ابعاد کوچک مقایسه می‌شود. ابتدا به تشریح مختصر الگوریتم ژنتیک پویا پرداخته می‌شود.

۱-۵ الگوریتم ژنتیک پویا

گام‌های الگوریتم ژنتیک پویا به شرح زیر است:

- گام ۱. جمعیت اولیه از کروموزوم‌های تصادفی ایجاد کنید.
- گام ۲. عمل تلفیق را توسط عملگر تلفیق یکنواخت پارامتری شده^{۱۶} انجام دهید.
- گام ۳. عمل جهش را توسط عملگرهای معکوس^{۱۷} و تعویض^{۱۸} انجام دهید.
- گام ۴. اگر بهترین مقدار تابع شایستگی کروموزوم‌ها T نسل متوالی بهبودی نیابد، الگوریتم را خاتمه دهید. در صورتی که معیار توقف محقق نشد به گام ۵ بروید.

دیگر بدهد، حال آنکه در مسایل با تعداد سفارش زیاد نتایج بدتری بدهد. مسأله مورد بررسی دارای پارامترهای مختلفی است. برای بررسی بهتر عملکرد حالات بهتر است مسائل متنوعی با ایجاد مقادیر مختلفی برای پارامترهای آن ایجاد شود. به همین منظور سطوحی مانند بالا، پایین و متوسط برای مسأله و به صورت تصادفی در نظر گرفته شده است. پارامترها به هفت دسته تقسیم شده‌اند که در ستون اول جدول ۱ آمده است. همچنین سه سطح برای هر پارامتر در نظر گرفته شده که در جدول ۱ نشان داده شده است. به عنوان مثال، برای پارامتر تعداد سفارش‌ها سه سطح کم، متوسط و زیاد با ارقام ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. برای پارامتر تعداد تأمین‌کنندگان برای سه سطح به ترتیب توزیع‌های یکنواخت [۱,۵]، [۵,۱۰] و [۱۰,۱۵] در نظر گرفته شده است. همچنین برای پارامتر تعداد وسایل نقلیه برای سه سطح کم، متوسط و زیاد به ترتیب توزیع‌های یکنواخت [۱,۲۰] و [۲۰,۳۰] به ترتیب برای دو سطح کم و بالا می‌باشند و در آخر برای حجم سفارش‌ها و ظرفیت ماشین یک سطح متوسط با توزیع‌های یکنواخت [۱,۵] و [۵,۲۰] در نظر گرفته شده است. در نتیجه $1 \times 1 \times 2 \times 3 \times 3 \times 3$ که برابر با ۱۰۸ مسأله تصادفی است، تولید می‌شود. کلیه برنامه‌های کامپیوتری این مقاله توسط زبان برنامه‌نویسی Matlab نوشته شده و توسط یک پردازنده AMDA4 3400 اجرا گردیده است.

۳-۵ بررسی نتایج محاسباتی

به منظور بررسی کارایی الگوریتم کلونی زنبور عسل پیشنهادی، تمامی ۱۰۸ مسأله تصادفی ایجاد شده توسط الگوریتم کلونی زنبور عسل و الگوریتم ژنتیک پویا حل شده‌اند و نتایج به ازای حالات مختلف در جدول ۲ و شکل ۱۳ نشان داده شده‌اند. در این جدول نتایج حاصل از اجرای الگوریتم کلونی زنبور عسل پیشنهادی با جواب‌های الگوریتم ژنتیک پویا مقایسه و کیفیت الگوریتم پیشنهادی بررسی شده است. این مقایسه هم در حالت کلی و هم به ازای مقادیر خاص برای هر یک از پارامترها انجام شده است. به عبارت دیگر این ۱۰۸ مسأله به ازای حالات هر پارامتر افزای شده و نتایج به ازای هر حالت بررسی شده‌اند.

طول و ترتیب عناصر آن نشان‌دهنده تعداد و ترتیب سفارش‌های تخصیص یافته به آن تأمین‌کننده یا وسیله نقلیه است. اگر تعداد سفارش‌های تخصیص یافته به تأمین‌کنندگان یا وسیله نقلیه کم یا زیاد شود، طول رشته متناظر نیز کم یا زیاد خواهد شد. به عبارت دیگر برخلاف ساختارهای کروموزوم متداول در الگوریتم ژنتیک که یک بعدی بوده و طول رشته در آن‌ها ثابت است، در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی ساختار کروموزوم دو بعدی بوده و طول رشته‌ها نیز در آن متغیر است. به منظور توضیح بیشتر، فرض کنید ۵ سفارش، ۳ تأمین‌کننده و ۲ وسیله نقلیه داریم. وسیله نقلیه ۱ قادر به حمل دو محموله و وسیله نقلیه ۲ قادر به حمل سه محموله است. فرض کنید تخصیص سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه و همچنین اولویت پردازش و حمل آن‌ها به صورت شکل ۱۱ باشد. آنگاه ساختار کروموزومی که بیان‌کننده تخصیص شکل ۱۱ باشد، به صورت نشان داده شده در شکل ۱۲ خواهد بود.

تأمین‌کننده ۱	۱
تأمین‌کننده ۲	۲→۳→۵
تأمین‌کننده ۳	۴
وسيله نقلیه ۱	۵→۳→۱→۴
وسيله نقلیه ۲	۲

شکل ۱۱. سفارش‌های تخصیص یافته و ترتیب آن‌ها

تأمین‌کننده ۱	۱			
تأمین‌کننده ۲	۲	۳	۵	
تأمین‌کننده ۳	۴			
وسيله نقلیه ۱	۵	۳	۱	۴
وسيله نقلیه ۲	۲			

شکل ۱۲. ساختار کروموزوم در الگوریتم ژنتیک پویا

۲-۵ تولید داده‌های تصادفی

اعتبار مقایسات در صورتی که نتایج به دست آمده از دو الگوریتم از حل مسائل متعدد با طیفی متنوع مورد مقایسه قرار گیرد بیشتر خواهد شد. به طور مثال ممکن است یک الگوریتم در مسایل با تعداد سفارش کم نتایج خوبی نسبت به الگوریتم

یکپارچگی مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با زمانبندی حمل و نقل و تولید ...

زمان‌های حل افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش تعداد تأمین-کنندگان، میانگین جواب‌ها و زمان‌ها برای دو الگوریتم کاهش می‌یابد. با افزایش تعداد وسایل نقلیه، میانگین جواب‌های دو الگوریتم کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش زمان پردازش سفارش‌ها در تأمین‌کنندگان، میانگین جواب‌های هر دو روش افزایش می‌یابد. با افزایش مسافت‌ها هم، میانگین جواب‌های دو الگوریتم افزایش می‌یابد. نتایج مقایسه این دو الگوریتم برای حل مسأله، نشان از برتری الگوریتم کلونی زنبور عسل پیشنهادی نسبت به الگوریتم ژنتیک پویا در حالت کلی دارد.

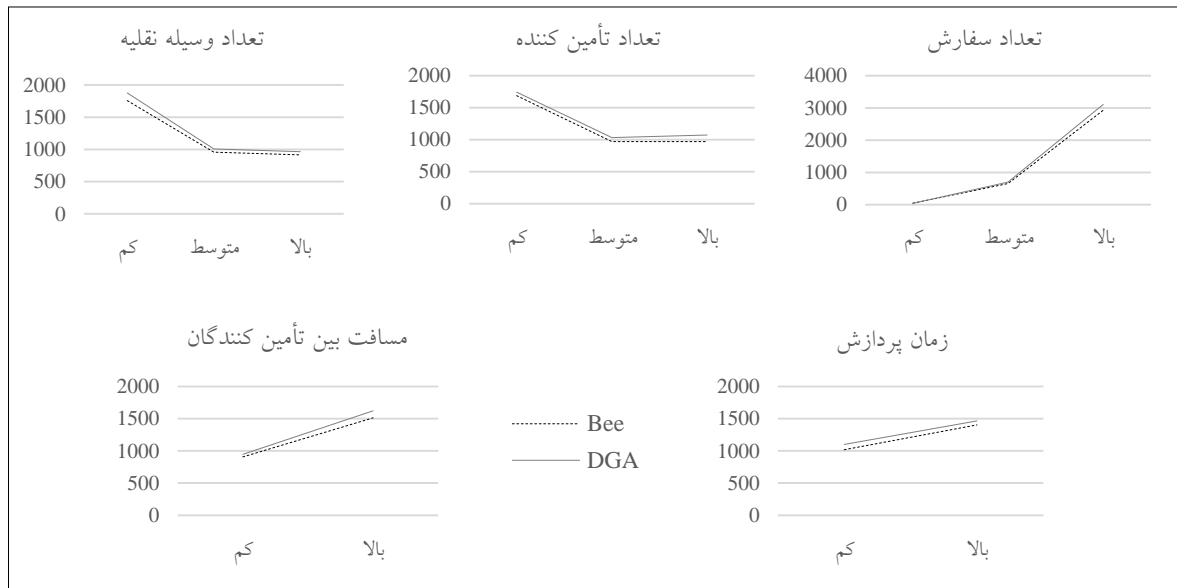
در این جدول، تعداد دفعات برتری الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم مورد مقایسه^{۱۹} (NBR)، تعداد دفعاتی که دو الگوریتم جواب یکسان داده‌اند (NER)^{۲۰} و همچنین تعداد دفعاتی که الگوریتم پیشنهادی جواب بدتری نسبت به الگوریتم مورد مقایسه داده است (NWR)^{۲۱}، نیز محاسبه شده است. همانطور که در جدول ۲ مشخص است، نتایج نشان می‌دهد که در تمام حالات به جز حالتی که تعداد سفارشات برابر ۱۰ است الگوریتم کلونی زنبور عسل بر الگوریتم ژنتیک برتری دارد. با بررسی نتایج به‌دست آمده مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد سفارش‌ها، تابع هدف به‌دست آمده از هر دو روش و همچنین

جدول ۱. پارامترهای مختلف برای ایجاد جواب تصادفی

سطح بالا	سطح متوسط	سطح پایین	
۱۰۰	۵۰	۱۰	تعداد سفارشات
U[۱۰,۱۵]	U[۵,۱۰]	U[۱,۵]	تعداد تأمین‌کنندگان
U[۱۰,۱۵]	U[۵,۱۰]	U[۱,۵]	تعداد وسایل نقلیه
U[۲۰,۳۰]		U[۱,۲۰]	زمان پردازش سفارشات
U[۲۰,۳۰]		U[۱,۲۰]	مسافت‌ها
	U[۱,۵]		حجم سفارشات
	U[۵,۲۰]		ظرفیت ماشین

جدول ۲. نتایج اجرا و مقایسات الگوریتم‌ها

PER	PWR	PBR	میانگین زمان‌های الگوریتم		میانگین جواب‌های الگوریتم				
			DGA	Bee	DGA	Bee			
۰	۳	۳۳	۲۸/۷۰۵۸۹	۲۵/۳۲۴۸	۴۰/۶۷۸۴	۴۴/۲۰۱۴۲	۱۰	کم	تعداد سفارش‌ها
۰	۱	۳۵	۱۲۷/۳۳۹۸	۱۱۳/۴۶۱۳	۶۹۹/۴۳۲۷	۶۵۴/۹۵۹۵	۵۰	متوسط	
۰	۰	۳۶	۳۳۳/۳۲۲۲	۲۷۸/۹۵۰۱	۳۱۰۸/۵۹۴	۲۹۲۹/۵۴	۱۰۰	بالا	
۰	۱	۳۵	۱۹۰/۱۸۳۳	۱۵۶/۹۰۹	۱۷۴۳/۹۶	۱۶۸۷/۷۱۱	U[۱,۵]	کم	تعداد تأمین‌کنندگان
۰	۲	۳۴	۱۵۰/۵۸۱۹	۱۳۲/۴۶۲۴	۱۰۳۱/۹۰۶	۹۷۱/۱۹۷۹	U[۵,۱۰]	متوسط	
۰	۱	۳۵	۱۴۸/۶۰۲۷	۱۲۸/۳۶۴۸	۱۰۷۲/۸۳۹	۹۶۹/۷۹۱۹	U[۱۰,۱۵]	بالا	
۰	۱	۳۵	۱۷۴/۶۰۸	۱۵۲/۵۱۷۲	۱۸۷۷/۴۴	۱۷۵۸/۱۴	U[۱,۵]	کم	تعداد وسیله‌نقلیه
۰	۲	۳۴	۱۵۲/۵۴۹۵	۱۳۰/۵۳۲۱	۱۰۰۷/۶۸۱	۹۵۶/۱۱۷۳	U[۵,۱۰]	متوسط	
۰	۱	۳۵	۱۶۲/۲۱۰۴	۱۳۴/۶۸۶۹	۹۶۳/۵۸۴۱	۹۱۴/۴۴۳۲	U[۱۰,۱۵]	بالا	
۰	۲	۵۲	۱۶۵/۰۴۵۴	۱۴۱/۹۰۸۷	۱۱۰۰/۵۷۱	۱۰۱۷/۵۵۳	U[۱,۲۰]	کم	زمان پردازش
۰	۲	۵۲	۱۶۱/۱۹۹۹	۱۳۶/۵۸۲۱	۱۴۶۵/۲۲۳	۱۴۰۱/۵۸۱	U[۲۰,۳۰]	بالا	
۰	۳	۵۱	۱۶۸/۰۱۳۳	۱۳۹/۱۱۵۶	۹۴۵/۳۱۲۷	۹۰۶/۷۸۶۸	U[۱,۲۰]	کم	مسافت بین
۰	۱	۵۳	۱۵۸/۲۳۱۹	۱۳۹/۳۷۵۲	۱۶۲۰/۴۹۱	۱۵۱۲/۳۴۷	U[۲۰,۳۰]	بالا	تأمین‌کنندگان
۰	۴	۱۰۴	۱۶۳/۱۲۲۶	۱۳۹/۲۴۵۴	۱۲۸۲/۹۰۲	۱۲۰۹/۵۶۷		تمام مسائل	



شکل ۱۳. نمودار مقایسات الگوریتم‌ها

رابطه (۱۸) محاسبه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی در بیشتر مواقع نتایجی برابر با جواب بهینه داده است و در مواردی که اختلاف وجود دارد، این اختلاف کم است. همچنین زمان حل الگوریتم پیشنهادی خیلی کمتر از زمان حل بهینه است.

$$\text{درصد اختلاف نسبی} = \left| \frac{\text{جواب بهینه} - \text{جواب الگوریتم}}{\text{جواب الگوریتم}} \right| \times 100 \quad (18)$$

جدول ۳ نتایج حاصل از مقایسه الگوریتم کلونی زنبور عسل با جواب بهینه برای چند مسأله تصادفی با ابعاد کوچک را نشان می‌دهد. جواب بهینه با استفاده از اجرای مدل توسط نرم افزار Lingo 8 به دست آمده است. در این جدول هر مسأله با سه عدد نشان داده شده است. عدد اول تعداد سفارشات، عدد دوم تعداد تأمین کنندگان و عدد سوم تعداد وسایل نقلیه را نشان می‌دهد. سایر پارامترهای مسأله بر مبنای توزیع‌های مشخص در مقایسه قبلی ایجاد شده‌اند. در این جدول از شاخصی به نام درصد اختلاف نسبی استفاده شده است که از

یکپارچگی مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با زمانبندی حمل و نقل و تولید ...

جدول ۳. مقایسه نتایج الگوریتم کلونی زنبور عسل با جواب بهینه

مشخصات مسأله	جواب بهینه		الگوریتم کلونی زنبور عسل		درصد اختلاف نسبی
	جواب	زمان حل (ثانیه)	جواب	زمان حل (ثانیه)	
۵×۲×۲	۲۲/۹۹	۲۷/۹۸	۲۲/۹۹	۱۳/۵۹	۰
۵×۲×۳	۲۱/۷۶	۲۵/۸	۲۱/۷۶	۱۲/۳۹	۰
۵×۳×۲	۱۸/۸۴	۲۵/۶۸	۱۸/۸۴	۱۱/۱۱	۰
۶×۲×۲	۲۴/۳۴	۳۴/۴۱	۲۶/۴	۱۶/۴۲	۵/۹۸۷
۶×۲×۳	۲۵/۱۷	۳۱/۸	۲۵/۱۷	۱۴/۷۲	۰
۶×۳×۲	۲۲/۲۵	۳۱/۷۸	۲۲/۲۵	۱۳/۵۸	۰
۷×۲×۲	۲۸/۰۷	۴۰/۲	۲۹/۸۱	۲۰/۱۲	۴/۳۲۸
۷×۲×۳	۲۶/۰۸	۳۷/۸۹	۲۸/۵۸	۱۸/۱۳	۶/۵۹۸
۷×۳×۲	۲۵/۶۶	۳۷/۷۵	۲۵/۶۶	۱۶/۷۹	۰
۷×۳×۳	۲۴/۴۳	۳۴/۷	۲۴/۴۳	۱۵/۴۳	۰

می‌شود. جدول ۴ مقادیر در نظر گرفته شده برای هر پارامتر و

نتایج به دست آمده در هر حالت را نشان می‌دهد.

شکل ۱۴ نمودارهای تغییر تابع هدف مربوط به تغییرات تعداد سفارش، تعداد وسیله نقلیه و تعداد تأمین‌کننده را نشان می‌دهند. مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد سفارشات میزان تابع هدف نیز افزایش می‌یابد.

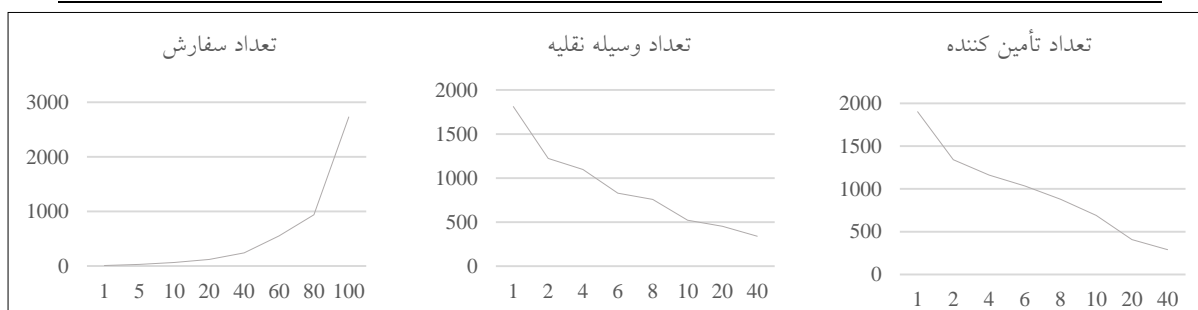
۵-۴ تحلیل حساسیت

در این بخش به منظور تحلیل بیشتر، به تحلیل حساسیت روی سه پارامتر اصلی پرداخته می‌شود. بدین منظور به بررسی تغییرات مقدار تابع هدف با تغییر مقادیر سه پارامتر اصلی تعداد سفارشات، تعداد تأمین‌کنندگان و تعداد وسایل نقلیه به صورت صعودی، ضمن ثابت نگه داشتن مقدار سایر پارامترها، پرداخته

جدول ۴. تحلیل حساسیت برای سه پارامتر اصلی

مسأله	سفارش	وسيله نقلیه	تأمین کننده	تابع هدف	زمان
۱	۱			۱۰/۵۴۴۷۲	۲۲/۰۶۳۹۸
۲	۵			۳۱/۳۶۲۷۴	۲۷/۷۰۳۲۹
۳	۱۰			۶۴/۴۸۱۹۴	۴۱/۳۸۹۴۳
۴	۲۰	۷	۷	۱۲۱/۵۱۹۷	۵۹/۴۶۱۵۸
۵	۴۰			۲۴۱/۱۸۹۱	۸۵/۱۷۳۳۱
۶	۶۰			۵۵۲/۲۶۰۳	۱۱۸/۵۰۹۴
۷	۸۰			۹۳۹/۷۶۷۲	۱۳۵/۹۵۳۳
۸	۱۰۰			۲۷۳۱/۳۵۹	۲۷۱/۶۹۵۳
مسأله	سفارش	وسيله نقلیه	تأمین کننده	تابع هدف	زمان
۱		۱		۱۸۱۱/۵۴۶	۱۶۱/۸۴۲۹
۲		۲		۱۲۲۳/۶۳۸	۱۶۰/۵۰۵۲
۳		۴		۱۰۹۸/۶۳	۱۴۴/۹۱۸۲
۴	۵۰	۶	۷	۸۲۹/۰۷۳۲	۱۴۳/۱۰۹۹
۵		۸		۷۵۸/۹۸۷۶	۱۳۵/۹۶۲۳
۶		۱۰		۵۲۲/۳۶۲۶	۱۳۰/۹۳۸۱

۹۱/۱۸۱۶۴	۴۵۳/۸۶۰۹	۲۰	۷
۲۶/۶۴۵۰۹	۳۴۰/۲۳۹۸	۴۰	۸
زمان	تابع هدف	تأمین کننده	مسأله
۱۴۴/۹۳۱۷	۱۹۰۲/۲۳۴	۱	۱
۱۴۸/۱۹۴	۱۳۴۰/۳۴	۲	۲
۱۳۸/۸۸۰۱	۱۱۶۱/۶۹۸	۴	۳
۱۳۷/۴۸۷۱	۱۰۳۴/۶۱۶	۶	۴
۱۳۱/۷۸۱	۸۷۸/۶۴۸۷	۸	۵
۱۳۲/۰۷۱۴	۶۹۰/۱۶۶	۱۰	۶
۱۰۸/۳۸۴۸	۴۰۸/۴۵۶۴	۲۰	۷
۷۷/۱۱۱۶۴	۲۸۸/۹۷۱۸	۴۰	۸



شکل ۱۴. نمودارهای تغییر تابع هدف

متوسط بارکاری روی هر یک از آن‌ها کاهش یابد و میانگین زمان‌های تحویل سفارشات به مقدار مورد نظر برسد.

۶. خلاصه، نتیجه‌گیری و زمینه تحقیقات آتی

در این مقاله مدلی جدید در مدیریت زنجیره تأمین با تلفیق استراتژی‌های مدیریت جامع تولید در تأمین کنندگان، استفاده از ناوگان حمل و نقل مشترک برای انتقال قطعات تولید شده در تأمین کنندگان به شرکت سازنده و یکپارچگی تصمیمات تولید و حمل و نقل، مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا مدل ریاضی عدد صحیح مختلط برای مسأله با هدف کمینه سازی مجموع زمان-های پردازش و حمل سفارش‌ها، ارائه شد. سپس از یک الگوریتم فراابتکاری کلونی زنبور عسل جهت حل مسأله استفاده شد. برای ارزیابی الگوریتم کلونی زنبور عسل نتایج به دست آمده از آن با نتایج توسعه الگوریتم ژنتیک پویا که برای نزدیک‌ترین مسأله موجود در ادبیات موضوع به مسأله مورد بررسی ارائه شده بود، مقایسه شد. نتایج حکایت از برتری الگوریتم کلونی زنبور عسل نسبت به الگوریتم مورد مقایسه

از آنجایی که سفارشات بیشتری، به تعداد ثابتی از تأمین کنندگان و وسایل نقلیه تخصیص می‌یابد، در نتیجه به طور متوسط بار کاری تأمین کنندگان و وسایل نقلیه افزایش خواهد یافت و زمان تحویل سفارشات طولانی‌تر می‌شود. جهت جلوگیری از افزایش زمان تحویل سفارشات، از نگاه مدیریتی می‌توان با استفاده از سیاست خرید قطعات آماده از بازار، تعداد سفارشات مورد نیاز جهت برنامه‌ریزی را کاهش داده و در نتیجه میانگین زمان‌های تحویل را به مقدار مورد نظر رسانید. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش وسایل نقلیه و تأمین کنندگان تابع هدف کاهش می‌یابد. زیرا سفارشات مشخصی به وسایل نقلیه و تأمین کنندگان مختلفی تخصیص داده شده و به طور متوسط بار کاری هر یک از آن‌ها کمتر و زمان‌های تحویل کوتاهتر می‌شود. اما زمان حل، همچنان به دلیل افزایش فضای جواب، افزایش می‌یابد. از منظر مدیریتی می‌توان نتیجه گرفت که جهت جلوگیری از زیاد شدن زمان تحویل سفارشات، می‌توان تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده یا تأمین کنندگان طرف قرارداد را افزایش داد. این امر باعث می‌شود

of Operational Research, Vol. 200, No. 2, pp. 377-384.

-Averbakh, I. and Baysan, M. (2013) "Approximation algorithm for the on-line multi-customer two-level supply chain scheduling problem", Operations Research Letters, Vol. 41, No. 6, pp. 710-714.

-Bhatnagar, R., Mehta, P. and Chong Teo, C. (2011) "Coordination of planning and scheduling decisions in global supply chains with dual supply modes", International Journal of Production Economics, Vol. 131, No. 2, pp. 473-482.

-Bruque-Cámara, S., Moyano-Fuentes, J. and Maqueira-Marín, J. M. (2016) "Supply chain integration through community cloud: Effects on operational performance", Journal of Purchasing and Supply Management, Vol. 22, No. 2, pp. 141-153.

-Chandra, P. and Fisher, M. L. (1994) "Coordination of production and distribution planning", European Journal of Operational Research, Vol. 72, No. 3, pp. 503-517.

-Chang, Y.-C. and Lee, C.-Y. (2004) "Machine scheduling with job delivery coordination", European Journal of Operational Research, Vol. 158, No. 2, pp. 470-487.

-Ehm, J. & Freitag, M. (2016) "The Benefit of Integrating Production and Transport Scheduling", Procedia CIRP, Vol. 41, pp. 585-590.

-Han, B., Zhang, W., Lu, X. and Lin, Y. (2015) "On-line supply chain scheduling for single-machine and parallel-machine configurations with a single customer: Minimizing the makespan and delivery cost", European Journal of Operational Research, Vol. 244, No. 3, pp. 704-714.

-Han, B. and Zhang, W. J. (2015) "On-line Supply Chain Scheduling Problem with Capacity Limited Vehicles", IFAC-PapersOnLine, Vol. 48, No. 3, pp. 1539-1544.

-Kabra, S., Shaik, M. A. and Rathore, A. S. (2013) "Multi-period scheduling of a multi-stage multi-product bio-pharmaceutical process", Computers & Chemical Engineering, Vol. 57, pp.95-103.

دارد. همچنین مقایسه نتایج الگوریتم کلونی زنبور عسل با جواب بهینه برای چند مسأله با ابعاد کوچک نشان از عملکرد مناسب این الگوریتم دارد.

در نظر گرفتن استراتژی‌های دیگر در مدیریت زنجیره تأمین مورد بررسی مانند استراتژی استفاده از خرید بخشی از سفارشات به جای تولید همه آنها در تأمین‌کنندگان (سیاست برون‌سپاری) با در نظر گرفتن هزینه‌های متفاوت جهت تولید و خرید، می‌تواند زمینه‌ای برای تحقیقات آتی باشد. افزودن سطح یکپارچگی زنجیره تأمین و وارد کردن بخش توزیع و همچنین ارائه روش‌های فرابتنکاری دیگر برای حل مسأله می‌تواند به عنوان زمینه‌ای برای تحقیقات آتی در نظر گرفته شود.

۷. پی‌نوشتها

1. Supply Chain Management
2. Supplier
3. Vehicle Routing Problem
4. Bee Colony Algorithm
5. on line
6. Work in process
7. Mixed Integer Programming
8. Sequence dependent changeover
9. Multiple intermediate due dates
10. Shelf-life date
11. Disruption
12. Worker Bee
13. Onlooker Bee
14. Scout Bee
15. Dynamic Genetic Algorithm
16. Parametrized uniform
17. Reverse
18. Swap
19. Number of better results
20. Number of equivalent results
21. Number of worse results

۸. مراجع

-Acur, N. and Bititci, U. (2003) "Managing strategy through business processes", Production Planning & Control, Vol. 14, No. 4, pp. 309-326.

-Averbakh, I. (2010) "On-line integrated production-distribution scheduling problems with capacitated deliveries", European Journal

- of Operational Research, Vol. 244, No. 1, pp. 13-25.
- Pinha, D. C., Ahluwalia, R. S., Carvalho, A. N. and Senna, P. (2015) "Supply Chain Scheduling: A motorcycle assembly case study", IFAC-PapersOnLine, Vol. 48, No. 3, pp. 1527-1532.
- Ren, J., Du, D. and Xu, D. (2013) "The complexity of two supply chain scheduling problems", Information Processing Letters, Vol. 113, No. 17, pp. 609-612.
- Rostamian Delavar, M., Hajiaghahi-Keshteli, M. and Molla-Alizadeh-Zavardehi, S. (2010) "Genetic algorithms for coordinated scheduling of production and air transportation", Expert Systems with Applications, Vol. 37, No. 12, pp. 8255-8266.
- Sawik, T. (2014) "Joint supplier selection and scheduling of customer orders under disruption risks: Single vs. dual sourcing", Omega, Vol. 43, pp. 83-95.
- Scholz-Reiter, B., Frazzon, E. M. & Makuschewitz, T. (2010) "Integrating manufacturing and logistic systems along global supply chains", CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 2, No. 3, pp. 216-223.
- Selvarajah, E. and Zhang, R. (2014) "Supply chain scheduling at the manufacturer to minimize inventory holding and delivery costs", International Journal of Production Economics, Vol. 147, Part A, pp. 117-124.
- Shaik, M. A. and Floudas, C. A. (2007) "Improved unit-specific event-based continuous-time model for short-term scheduling of continuous processes: Rigorous treatment of storage requirements", Industrial & Engineering Chemistry Research, Vol. 46, No. 6, pp. 1764-1779.
- Thomas, A., Venkateswaran, J., Singh, G. and Krishnamoorthy, M. (2014) "A resource constrained scheduling problem with multiple independent producers and a single linking constraint: A coal supply chain example", European Journal of Operational Research, Vol. 236, No. 3, pp. 946-956.
- Karaboga, D. (2005) "An idea based on honey bee swarm for numerical optimization". Technical Report, Erciyes University, Kayseri, Turkey.
- Lee, H. L. (2002) "Aligning supply chain strategies with product uncertainties", California Management Review, Vol. 44, No. 3, pp. 105-119.
- Liu, S.-C. and Chen, A.-Z. (2012) "Variable neighborhood search for the inventory routing and scheduling problem in a supply chain", Expert Systems with Applications, Vol. 39, No. 4, pp. 4149-4159.
- Liu, W., Liang, Z., Ye, Z. and Liu, L. (2016) "The optimal decision of customer order decoupling point for order insertion scheduling in logistics service supply chain", International Journal of Production Economics, Vol. 175, pp. 50-60.
- Liu, W., Wang, Q., Mao, Q., Wang, S. and Zhu, D. (2015) "A scheduling model of logistics service supply chain based on the mass customization service and uncertainty of FLSP's operation time", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 83, pp. 189-215.
- Mehravaran, Y. and Logendran, R. (2012) "Non-permutation flowshop scheduling in a supply chain with sequence-dependent setup times", International Journal of Production Economics, Vol. 135, No. 2, pp. 953-963.
- Muñoz, E., Capón-García, E., Laínez-Aguirre, J. M., Espuña, A. and Puigjaner, L. (2015) "Supply chain planning and scheduling integration using Lagrangian decomposition in a knowledge management environment", Computers & Chemical Engineering, Vol. 72, pp. 52-67.
- Osman, H. and Demirli, K. (2012) "Economic lot and delivery scheduling problem for multi-stage supply chains", International Journal of Production Economics, Vol. 136, No. 2, pp. 275-286.
- Pei, J., Pardalos, P. M., Liu, X., Fan, W. and Yang, S. (2015) "Serial batching scheduling of deteriorating jobs in a two-stage supply chain to minimize the makespan", European Journal

-Zegordi, S. H. & Beheshti Nia, M. A. (2009) "Integrating production and transportation scheduling in a two-stage supply chain considering order assignment", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 44, No. 9, pp. 928-939.

-Zegordi, S. H. and Marandi, F. (2016) "Integrated production and distribution scheduling in dairy products with improved particle swarm optimization", *Quarterly Journal of Transportation Engineering*, (*in Persian*).

-Ullrich, C. A. (2013) "Integrated machine scheduling and vehicle routing with time windows", *European Journal of Operational Research*, Vol. 227, No. 1, pp. 152-165.

-Yeung, W.-K., Choi, T.-M. & Cheng, T. C. E. (2011) "Supply chain scheduling and coordination with dual delivery modes and inventory storage cost", *International Journal of Production Economics*, Vol. 132, No. 2, pp. 223-229.

-Yimer, A. D. and Demirli, K. (2010) "A genetic approach to two-phase optimization of dynamic supply chain scheduling", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 58, No. 3, pp. 411-422.

محمد علی بهشتی نیا، داود فیض، فاطیما سدادی

محمدعلی بهشتی نیا درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸۲ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸۴ از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود. در سال ۱۳۸۸ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه تربیت مدرس گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مسیریابی، زنجیره تأمین و الگوریتم‌های فرا ابتکاری بوده و در حال حاضر عضو هیأت علمی با مرتبه دانشیاری در گروه صنایع دانشگاه سمنان است.



داود فیض درجه کارشناسی در رشته مدیریت دولتی را در سال ۱۳۷۵ از دانشگاه تهران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مدیریت صنعتی را در سال ۱۳۷۹ از دانشگاه تهران اخذ نمود. در سال ۱۳۸۵ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مدیریت استراتژیک از دانشگاه تربیت مدرس گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدیریت استراتژیک و بازاریابی بوده و در حال حاضر عضو هیأت علمی با مرتبه دانشیاری در گروه مدیریت دانشگاه سمنان است.



فاطمیما سدادی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی برق را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه گیلان و درجه کارشناسی ارشد در رشته مدیریت بازرگانی را در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه سمنان اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان زمان‌بندی حمل‌ونقل، MCDM و QFD است.

