

# یکپارچگی زمانبندی تولید و توزیع در زنجیره تأمین فرآورده‌های لبنی با استفاده از

## الگوریتم بهبودیافته بهینه‌سازی انبوه ذرات

فاطمه مرندی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
سیدحسام‌الدین ذگردی (مسئول مکاتبات)، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

E-mail: zegordi@modares.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۰۶

دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۰۲

### چکیده

در این مقاله به بررسی زمانبندی یکپارچه تولید و توزیع در زنجیره تأمین سه مرحله‌ای شامل تولیدکننده، ناوگان حمل و نقل کالاها و مشتریان پرداخته می‌شود. یک تولیدکننده مسئولیت تولید براساس تقاضای مشتریان را برعهده دارد و ۷ وسیله نقلیه محصولات تولیدی را براساس تقاضای مشتریان با در نظر گرفتن مسیریابی وسیله نقلیه تحویل می‌دهد. وسایل نقلیه بعد از اتمام تولید محصولات مورد تقاضای مشتریان، مجاز به بارگیری و شروع توزیع هستند و با توجه به محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه و فرجه زمانی، سرویس‌دهی به مشتریان انجام می‌شود. مدل به صورت برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح آمیخته با هدف کمینه کردن هزینه‌های تأخیر تولید و هزینه‌های مسافت فرموله شده است. با توجه به سخت بودن مسئله (NP-hard) از الگوریتم بهبودیافته بهینه‌سازی ازدحام ذرات (IPSO) استفاده شده است. در این الگوریتم از اپراتورهای بهبود  $1-opt$ ،  $2-opt$  برای جستجوی گسترده فضای جواب و جلوگیری از همگرا شدن سریع به جواب بهینه محلی بهره گرفته شده است. به منظور اعتبار سنجی روش حل پیشنهادی، الگوریتم ارائه شده در ابعاد کوچک و بزرگ نمونه مسئله‌های ایجاد شده با جواب دقیق مقایسه می‌شود که نتایج حاکی از برتری الگوریتم IPSO پیشنهادی و کارایی آن است. در پایان، مطالعه موردی با داده‌های واقعی بررسی و ارائه می‌شود که نتایج مقایسه با شرایط واقعی حاکی از عملکرد بهتر سیستم پیشنهادی نسبت به سیستم تولید و توزیع مطالعه موردی است که موجب بهبود و کاهش هزینه‌ها می‌شود.

واژه های کلیدی: زمانبندی تولید جریان کارگاهی، مسیریابی وسیله نقلیه، یکپارچگی، موعد تحویل.

## ۱. مقدمه

زنجیره تأمین خواهد شد. انگیزه این تحقیق زمانبندی کاربردی در صنایع تولیدی با دوره عمر محدود محصولات بویژه فرآورده‌های لبنی است که ناوگان حمل‌ونقل در زمان ترخیص بعد از مرحله زمانبندی تولید در دسترس است. شایان ذکر است زمان بارگیری وسائط نقلیه نامشخص بوده و با توجه به اتمام زمانبندی تولید با توجه به محدودیت فرجه زمانی، ارضای رضایت مشتری و کمینه کردن کل هزینه‌های حمل‌ونقل و تأخیر مشخص می‌شود. نوآوری و تمایز تحقیق حاضر در مقایسه با ادبیات زمانبندی یکپارچه تولید و توزیع به شرح زیر است:

- ۱) مسئله جدیدی که زمانبندی یکپارچه تولید و توزیع را
- ۲) بررسی می‌کند. مرحله اول شامل زمانبندی جریان کارگاهی و مرحله دوم شامل توزیع محصولات تولیدی است. مرحله توزیع به طراحی و تعیین مسیر وسائط نقلیه به منظور بارگیری محصولات نهایی تولیدی از کارخانه و تحویل آنها به مشتری‌ها می‌پردازد.
- ۳) مدلسازی جدیدی به صورت برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح آمیخته ارائه شده است که به صورت همزمان و توأم زمانبندی تولید و توزیع را با رویکرد یکپارچه در نظر می‌گیرد. مدل ارائه شده برای شرایط واقعی در اندازه بزرگ همچون صنایع لبنی کاربردی است (انگیزه و مطالعه موردی این تحقیق، کارخانه تولیدی محصولات لبنی در تهران است).
- ۴) الگوریتم بهبودیافته بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای حل مسئله یکپارچه زمانبندی تولید و توزیع ارائه شده است. در این الگوریتم از اپراتورهای بهبود  $2\text{-opt}$ ,  $1\text{-opt}$  برای جستجوی گسترده فضای جواب و جلوگیری از همگراشدن سریع جواب‌ها به جواب بهینه محلی بهره‌گرفته شده است.
- ۵) به علت نوآوری مسئله و نبود نمونه مسائل استاندارد در ادبیات، نمونه مسائل جدیدی برای مسئله مذکور تولید و ارائه شده است که برای تحقیقات آتی و مسائل مشابه قابل استفاده است.

یکپارچگی بین مراحل زنجیره تأمین با تأکید بر هماهنگی روابط متقابل آنها به منظور دستیابی به یک سیستم با اثربخشی مناسب از موضوعاتی است که مورد توجه صنایع مختلف و محققان قرار گرفته است. رضایت مشتری به عنوان عنصر تأثیرگذار در بقا و دوام سازمان‌ها محسوب می‌شود و نقش مشتری به عنوان بخش مهمی از زنجیره تأمین انکارناپذیر است [Schmid, Doerner and Laporte, 2013], [Madronero, Peidro and Mula, 2015]. در این میان یکپارچگی زمانبندی تولید و تحویل به مشتری با ناوگان حمل‌ونقل یکی از مهمترین زمینه‌های مورد بررسی است [Chen, 2010]. در رویکردهای سنتی بدون توجه به تعامل و تأثیر سطوح مختلف زنجیره تأمین، زمانبندی کارها در بخش تولید و توزیع به صورت جداگانه و بدون در نظر گرفتن تأثیر متقابل آنها صورت می‌گیرد. اتخاذ چنین تصمیمات جداگانه‌ای بدون در نظر گرفتن روابط متقابل، رسیدن به جواب بهینه جهانی را تضمین نمی‌کند [Ullrich, 2013]. از طرفی دغدغه سازمان‌های تولیدی با کالاهای فسادپذیر یا دوره عمر کوتاه در این زمینه پررنگ‌تر است و عدم در نظر گرفتن توأم تولید و توزیع موجب فساد محصولات تولیدی، کاهش کیفیت محصول و در نتیجه نارضایتی مشتری می‌شود [Farahani, Grunow and Gunther, 2012]. تأمین رضایت مشتری از لحاظ کیفیت محصول و زمان دریافت سفارش از دغدغه‌های تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان کالاهای فاسدشدنی است. این چالش به ویژه در فرآورده‌های لبنی با توجه به پرتقاضا بودن آن و ضرورت تأثیر آن بر سلامت انسان بسیار مهم است. در این راستا در این تحقیق به بررسی مسئله یکپارچه زمانبندی تولید و توزیع به عنوان یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیران ارشد صنعت فرآورده‌های لبنی پرداخته شده است. با توجه به اهمیت موضوع، یکپارچگی زمانبندی تولید و توزیع در زنجیره تأمین صنعت لبنیات مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بنابراین در نهایت با انجام چنین تحقیقی یک مدل مناسب زمانبندی یکپارچه تولید و توزیع ارائه می‌شود که علاوه بر بهبود سیستم تولید و توزیع موجب بهبود کل زنجیره تأمین می‌شود و دامنه سودمندی آن شامل مشتری نهایی و کلیه اجزای

## یکپارچگی زمانبندی تولید و توزیع در زنجیره تأمین فرآورده‌های لبنی با استفاده از الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی ...

قرار گرفته است از آن جمله زمانبندی یکپارچه تولید و توزیع زنجیره تأمین محصولات فسادپذیر و حساس به زمان بسیار رایج و مهم است [Chen 2010, Chen, Hsueh and Chang, 2009]. در این راستا در حوزه چاپ و توزیع روزنامه [Buer, 2009]، تولید و تحویل در صنایع چسب [Devapriya, Ferrell and Geismar, 2006] تحقیقات در حوزه یکپارچگی به صورت کاربردی انجام شده است. بنابراین توجه به چگونگی یکپارچگی مؤثر تولید و توزیع در سطح تصمیم‌گیری عملیاتی به منظور کاهش هزینه‌های عملیاتی و بهبود سطح سرویس به مشتری حائز اهمیت است. [Chen and Pundoor and Chen, 2005, Vairaktarakis 2005] سودمندی زمانبندی یکپارچه تولید و توزیع در مقایسه با رویکرد مجزا و متوالی در تحقیقات خود نشان دادند. مدل‌های یکپارچه بیشتر در سطح تصمیم تاکتیکی و استراتژیک است [Madronero, 2015, Pedro and Mula, 2015] و تحقیقات کمتری در حوزه عملیاتی انجام شده است که در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین یکپارچگی رویکردی برتر برای بهبود عملکرد و کاهش هزینه‌ها می‌باشد که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. [Chen 2004, 2010] به مروری بر تحقیقات انجام شده در حوزه زمانبندی یکپارچه تولید و توزیع پرداخت. او تحقیقات این حوزه را به دو گروه تحویل مستقیم و مسیریابی وسیله نقلیه تقسیم کرد. وی همچنین به بررسی و دسته‌بندی الگوریتم‌های حل، مدل‌ها و پیچیدگی محاسباتی مسائل این حوزه پرداخت. او به در نظر گرفتن موعد تحویل در مسیریابی وسیله نقلیه به عنوان شکاف تحقیقاتی برای شرایط کاربردی تأکید کرد. [Lee and Chen, 2001] مسئله زمانبندی تولید را با در نظر گرفتن حمل و نقل مورد بررسی قرار دادند. آنها دو نوع شرایط حمل و نقل را در مدلشان تعریف کردند. نوع اول شامل حمل و نقل کار نیمه تمام از یک ماشین به ماشین دیگر برای پردازش‌های بعدی است. نوع دوم شامل حمل کارهای اتمام یافته به مشتری یا انبار است. زمان‌های حمل و نقل و ظرفیت حمل در مدل صریحاً بیان شده است. آنها پیچیدگی محاسباتی مسائل مختلف زمانبندی را با حمل و نقل نوع اول و نوع دوم با اثبات NP-hard بودن مسئله بیان کردند و

در این تحقیق به بررسی زمانبندی یکپارچه تولید و توزیع با جزئیات زمانبندی تولید و تحویل به مشتری پرداخته شده است. مقایسه این تحقیق با تحقیقات انجام شده، نشانگر اهمیت و تمایز حوزه یکپارچگی تولید جریان کارگاهی و مسیریابی وسیله نقلیه محصولات با دوره عمر کوتاه با تأثیر فسادپذیری محصولات از زمان تولید و توزیع است. مسئله تک کارخانه‌ای چندمحصولی با تعداد مشخص ماشین تولیدی در زمانبندی تولید جریان کارگاهی و ناوگان حمل و نقل برای سرویس‌دهی مجموعه‌ای مشتری که در نقاط مختلف جغرافیایی گسترش یافته است که پیچیدگی مسئله به علت ظرفیت حمل و نقل، اندازه تقاضا مشتری، موقعیت مشتری و ثابت نبودن زمان عزیمت وسیله نقلیه تشدید شده است. در تحقیق حاضر با ارائه مدل ریاضی زمانبندی یکپارچه تولید و توزیع، تأثیر تصمیمات یکپارچگی بر هزینه کل، عملکرد، کیفیت محصول و رضایت مشتری مورد بررسی قرار می‌گیرد. کاربرد مسئله مورد بررسی در صنایع شیمیایی، صنایع غذایی و محصولات لبنی با دوره عمر کوتاه است. از آنجاییکه مسئله مذکور NP-hard [Chang and Lee, 2004] می‌باشد، الگوریتم بهبود یافته بهینه سازی ازدحام ذرات ارائه شده است. الگوریتم ارائه شده با بکارگیری دو اپراتور 1-opt, 2-opt برای جلوگیری از همگرایی به جواب بهینه محلی، بهبود یافته است. در ادامه در بخش دوم مرور ادبیات زمانبندی یکپارچه در زنجیره تأمین ارائه می‌شود. در بخش سوم به تشریح مسئله و ارائه مدل ریاضی برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح آمیخته پرداخته می‌شود. در بخش چهارم الگوریتم بهبود یافته بهینه سازی ازدحام ذرات برای حل مسئله ارائه می‌شود. در بخش پنجم به بررسی نتایج محاسباتی به دست آمده از حل مسائل مختلف با الگوریتم پیشنهادی و اعتبارسنجی پرداخته می‌شود و در نهایت در بخش آخر نیز به بیان مطالعه موردی، نتیجه‌گیری و زمینه‌های تحقیقات آتی پرداخته می‌شود.

## ۲. مرور ادبیات

در این بخش، تحقیقاتی که هر دو حوزه تولید و توزیع را در زمانبندی یکپارچه زنجیره تأمین مورد مطالعه قرار داده‌اند، بیان می‌شود. حوزه کاربردی یکپارچگی در تحقیقات، بسیار مورد توجه

تولیدی و در سطح دوم ۷ وسیله نقلیه برای تحویل محصولات تولیدی زمانبندی می‌شود. تحقیق حاضر در شرایط واقعی برای سرویس‌دهی تعدادی مشتری در نواحی مختلف جغرافیایی کاربردی است. تصمیماتی که در سطح عملیاتی از زنجیره تأمین مطرح هستند شامل زمانبندی عملیات و تولید به منظور تضمین تحویل به موقع محصول نهایی به مشتری است اما همانطوریکه در ادبیات مطرح شد، با وجود اهمیت فراوان، تعداد مقالات محدودی در زمینه هماهنگی در سطح عملیاتی زنجیره تأمین ارائه شده است و ادبیات این حوزه تا به حال بصورت کامل و شفاف دسته‌بندی و بررسی نشده است. از آنجا که تصمیمات سطح عملیاتی می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای بر سطح خدمت‌دهی به مشتری مؤثر باشد، به همین دلیل نقش بسیار مهمی را در سیستم یکپارچه زنجیره تأمین، ایفا می‌نماید و لذا توجه به این حوزه تصمیم‌گیری برای حل مشکلات پیش روی سازمانها بسیار ضروری است. در این راستا یکی از کاربردی‌ترین حوزه، بررسی و حل دغدغه‌ها و مشکلات تولیدکنندگان فرآورده‌های فساد پذیر است که با هماهنگی و یکپارچگی زمانبندی مناسب تولید و توزیع که علاوه بر بهبود کیفیت محصول نهایی و افزایش رضایتمندی مشتریان منجر به کاهش هزینه‌ها نیز می‌شود. از این رو توجه توأم و یکپارچه به زمانبندی تولید و توزیع راهکار مناسبی است که با توجه به مشکلات موجود در صنایع و خلأ ادبیات این حوزه، در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۳. تعریف مسئله

این مقاله به بررسی زمانبندی یکپارچه تولید و توزیع در یک زنجیره تأمین سه مرحله‌ای می‌پردازد. مرحله اول شامل تولیدکننده، مرحله دوم شامل ناوگان حمل و نقل محصولات و مرحله سوم توزیع کننده محصولات نهایی است. فرض می‌شود یک تولیدکننده باید  $n$  محصول را روی  $m$  ماشین پردازش کند. به منظور توزیع سفارشات  $C$  مشتری با در نظر گرفتن ناوگان حمل و نقل با محدودیت ظرفیت  $V$  وسیله نقلیه، مسیریابی وسیله نقلیه صورت می‌گیرد.

الگوریتمی برای حل ارائه دادند. [Chang and Lee, 2005] گسترشی از کار چن و لی که هر کار فضای متفاوت ذخیره-سازی در تحویل به مشتری را دارد، مدنظر قرار داد. [Zhong, Dosa and Tan, 2007] مسئله مشابهی با تحقیق چانگ و لی با هدف کمینه کردن بیشینه زمان تکمیل کارها (بازه عملیات) ارائه کردند. برای مسئله اول، کارها روی یک ماشین پردازش و با یک وسیله نقلیه به یک مشتری تحویل داده می‌شود، بهترین الگوریتم تقریبی با نرخ بدترین حالت ارائه کردند. برای مسئله دوم که با مسئله اول متفاوت است کارها روی دو ماشین موازی پردازش می‌شود و الگوریتم بهبود یافته‌ای با نرخ بدترین حالت، ارائه کردند. آنها تابع هدف مدل‌های ارائه شده را وابسته به پارامترهای زمانی ارائه دادند. علاوه بر توجه به حوزه کاربردی یکپارچگی، نوع حمل-ونقل نیز در ادبیات مورد توجه قرار گرفته است. [Hajiaghaei, Keshteli and Aminnayeri, 2014] زمانبندی یکپارچه تولید و حمل‌ونقل ریلی و [Saidi-Mehrabad et al, 2015] مدل جدید یکپارچه زمانبندی یکپارچه تولید و مسیریابی با وسایل نقلیه اتوماتیک هدایت شده مورد بررسی قرار دادند. در بعضی تحقیقات نوع محصول مورد بررسی از اهمیت بیشتری نسبت به نوع حمل-ونقل برخوردار است. [Chen, Hsueh and Chang, 2009] Farahani, Grunow and Gunther, 2012, زمانبندی یکپارچه تولید و توزیع کالاهای فسادپذیر در صنایع غذایی و [Liu, Zhong and Li, 2014] در صنعت سیمان موجب بهبود فرایندهای تولید و توزیع شدند.

[Averbakh and Xue, 2007, Zegordi, Abdi and Beheshtinia, 2007, Cheng, Joseph and Li, 2015] برای حل مسائل یکپارچه از الگوریتم‌های تقریبی و متاهوریستیک‌ها استفاده کردند. همانطور که گفته شد، نوع محصول و حمل‌ونقل در صنایع و شرایط کاربردی دارای اهمیت بسیار است که در این تحقیق نیز مورد توجه قرار گرفته شده است. بررسی ادبیات موضوع تأکید می‌کند که تنها در این تحقیق رویکرد یکپارچه زمانبندی تولید جریان کارگاهی با در نظر گرفتن موعد تحویل به عنوان سطح تولید و مسیریابی وسایل نقلیه با محدودیت فرجه زمانی برای تأمین رضایت مشتری به عنوان سطح توزیع در نظر گرفته شده است. در سطح اول زنجیره تأمین  $m$  ماشین

## یکپارچگی زمانبندی تولید و توزیع در زنجیره تأمین فرآورده‌های لبنی با استفاده از الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی ...

۱. هر مشتری دقیقاً یکبار و دقیقاً توسط یک وسیله نقلیه باید سرویس دهی شود.

۲. همه جریان‌ات و سائل نقلیه باید از دپو (کارخانه تولیدی) آغاز و به آن ختم شود.

۳. مسیریابی هر وسیله نقلیه از دپو آغاز و به دپو ختم می‌شود و نباید مجموع تقاضای مشتریانی که در طول مسیر هستند از ظرفیت وسیله نقلیه تجاوز کند.

۴. کل زمان طی شده در طول یک مسیر برای هر وسیله نقلیه نباید از فرجه زمانی تجاوز کند یعنی آخرین مشتری هر مسیر باید قبل از فرجه زمانی سرویس داده شود.

### ۳-۱ مدل ریاضی

مسئله یکپارچه زمانبندی تولید و توزیع به صورت برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح آمیخته مدل شده است که با پارامترها و متغیرهای تعریف شده در ذیل ارائه می‌شود.  $m$ : تعداد ماشین‌های تولیدی در بخش تولید

$n$ : تعداد محصولات تولیدی (کارها) در بخش تولید

$c$ : تعداد مشتریان

$v$ : تعداد وسایل نقلیه برای توزیع محصولات تولیدی

$r$ : شاخص ماشین‌های تولیدی ( $r=1,2,\dots,m$ )

$i$ : شاخص کارها (محصولات تولیدی) ( $i=1,2,\dots,n$ )

$p$ : شاخص موقعیت کارها ( $p=1,2,\dots,n$ )

$j, l$ : شاخص مشتریان ( $j, l=1,2,\dots,c$ )

$k$ : شاخص وسایل نقلیه ( $k=1,2,\dots,v$ )

$dd_k$ : فرجه زمانی برای تحویل برای وسیله نقلیه  $k$

$du$ : موعد تحویل برای اتمام زمان تولید

$cd$ : هزینه حمل و نقل به ازای واحد مسافت

$cp$ : هزینه تخطی از موعد تحویل در اتمام تولید

$v_k$ : سرعت متوسط وسیله نقلیه  $k$

$T_{ri}$ : زمان پردازش کار  $i$  روی ماشین  $r$

$d_{ij}$ : فاصله (مسافت) بین مشتری  $j$  و مشتری  $i$

$e_{ij}$ : تقاضای مشتری  $j$  از محصول  $i$

$Q^k$ : ظرفیت وسایل نقلیه  $k$

$M$ : عدد بزرگ

فرایند تولید زمانبندی جریان کارگاهی جایگشتی با محدودیت بدون توقف<sup>۳</sup> است، به طوری که ترتیب کارها روی همه ماشین‌ها یکسان است. همچنین ترتیب ماشین‌ها نیز برای همه کارها یکسان است. محصولات تولیدی از تمام ماشین‌ها با ترتیب مشخص شده و یکسانی بمنظور پردازش عبور می‌کند. مفروضات تولید به شرح زیر است:

۱. زمان پردازش هر کار روی هر ماشین معلوم و قطعی است.

۲. تعداد کارها و تعداد ماشین‌های تولیدی نیز قطعی است.

۳. کارها انقطاع ناپذیرند در اینصورت که وقتی تولید محصولی آغاز می‌شود تا پایان باید انجام شود.

۴. هیچ ماشینی در یک زمان نمی‌تواند بیش از یک کار را پردازش نماید و هرکاری که فرایندش روی ماشین آغاز می‌شود تا اتمام فرایندش روی آن ماشین قرار دارد. به عبارت دیگر هیچ فرایندی ناتمام قطع نمی‌شود.

۵. هر کار در آن واحد تنها توسط یک ماشین قابل پردازش است و از هر ماشین یک عدد وجود دارد.

۶. هیچ ماشینی در طول عملیات دچار خرابی نمی‌شود و در طول زمانبندی همواره قابل دسترسی است.

همانطور که ذکر شد هدف بررسی یکپارچه و توأم زمانبندی تولید و توزیع (تحویلی به مشتری) است بنابراین توجه به توزیع بسیار با اهمیت است و از آنجا که مورد مطالعاتی چندین مشتری (مقصد) را تحت سرویس دارد بنابراین توزیع با مسیریابی وسیله نقلیه صورت می‌گیرد. مسئله مسیریابی وسایل نقلیه<sup>۴</sup> اولین بار توسط دانتزیگ و رامسزر در سال ۱۹۵۹ معرفی شد که یک نام عمومی برای تمام مسائلی است که می‌بایست مجموعه‌ای از مسیرها برای جریانی از وسایل نقلیه مستقر در دپو (کارخانه تولیدکننده) به منظور سرویس دهی به مشتریان پراکنده در نواحی مختلف جغرافیایی، تعیین شود. وسایل نقلیه محدودیت ظرفیت حمل دارند و تعداد آنها مشخص است (مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت ظرفیت). هدف سرویس به همه مشتریان با تعداد مشخص و از پیش تعیین شده وسیله نقلیه با ارضای محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه، عدم تخطی از فرجه زمانی<sup>۵</sup> با هدف کمینه کردن کل هزینه مسافت طی شده و هزینه‌های تولید است. مفروضات مسیریابی وسیله نقلیه شامل موارد زیر است:

$$c_{\max} = B_{mn} + \sum_{i=1}^n T_{mi} Z_{in} \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^v \sum_{l=1}^c x_{jl}^k = 1 \quad j = 1, 2, \dots, c \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^v \sum_{j=1}^c x_{jl}^k = 1 \quad l = 1, 2, \dots, c \quad (10)$$

$$\sum_{l=0}^c x_{lh}^k - \sum_{j=0}^c x_{hj}^k = 0 \quad \begin{matrix} h = 1, 2, \dots, c \\ k = 1, 2, \dots, v \end{matrix} \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^c x_{0j}^k = 1 \quad k = 1, 2, \dots, v \quad (12)$$

$$u_j + 1 \leq u_l + c(1 - x_{jl}^k) \quad \begin{matrix} j = 1, 2, \dots, c \\ l = 1, 2, \dots, c \\ k = 1, 2, \dots, v \end{matrix} \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^v \sum_{j=1}^c x_{0j}^k = v \quad (14)$$

$$\sum_{k=1}^v \sum_{l=1}^c x_{l0}^k = v \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^c \sum_{l=0}^c e_{ij} x_{ij}^k \leq Q^k \quad k = 1, 2, \dots, v \quad (16)$$

$$r^k \geq c_{\max} \quad k = 1, 2, \dots, v \quad (17)$$

$$r^k + \sum_{l=1}^c \sum_{j=0}^c d_{jl} / v_k x_{jl}^k \leq dd_k \quad k = 1, 2, \dots, v \quad (18)$$

$$c_{\max} \geq du - M(1 - y) \quad (19)$$

$$c_{\max} \leq du + My \quad (20)$$

با توجه به وابستگی و تأثیرگذاری زمان اتمام تولید بر زمان آغاز توزیع، هزینه بر بودن تأخیر تولید و هزینه‌های مسافت طی شده، در تابع هدف مسئله یکپارچه تولید و توزیع به کمینه کردن هزینه‌های تأخیر و هزینه‌های توزیع پرداخته شده است. محدودیت‌های ۱ و ۲ تضمین می‌کند که به هر موقعیت یک کار و به هر کار یک موقعیت تخصیص داده شود. محدودیت‌های ۳، ۴ و ۵ بیان می‌کند

$Z_{ij}$ : متغیر صفر و یک است که وقتی مقدار یک می‌گیرد که کار  $i$  در موقعیت  $j$  در ترتیب تولید قرار گیرد.

$B_{ij}$ : زمان شروع کاری که در موقعیت  $j$  قرار دارد در ماشین  $i$   
 $x_{jl}^k$ : متغیر صفر و یک است که وقتی مقدار یک می‌گیرد که مشتری  $l$  بعد از مشتری  $j$  با وسیله نقلیه  $k$  سرویس دهی شود.

$u_j$ : نشانگر حجم جریان ارسالی توسط دپو به منظور حذف زیرتور  
 $\Gamma_k$ : زمان در دسترس بودن وسیله نقلیه برای شروع سرویس دهی  
 $C_{\max}$ : بیشینه زمان تکمیل کارها که در حقیقت زمان تکمیل کار در آخرین موقعیت ترتیب تولید در آخرین ماشین است.

$y$ : متغیری صفر و یک است که در شرایطی که بیشینه زمان تکمیل تولید از موعد تحویل بیشتر باشد، مقدار یک می‌گیرد.  
 لذا مدل ریاضی پیشنهادی به صورت زیر است:

Min

$$cd \sum_{k=1}^v \sum_{l=0}^c \sum_{j=0}^c d_{lj} x_{lj}^k + cp.y(c_{\max} - du)$$

$$\sum_{p=1}^n Z_{ip} = 1 \quad 1 \leq i \leq n \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n Z_{ip} = 1 \quad 1 \leq p \leq n \quad (2)$$

$$B_{1p} + \sum_{i=1}^n T_{1i} Z_{ip} = B_{1,p+1} \quad 1 \leq p \leq n-1 \quad (3)$$

$$B_{11} = 0 \quad (4)$$

$$B_{r1} + \sum_{i=1}^n T_{ri} Z_{i1} = B_{r+1,1} \quad 1 \leq r \leq m-1 \quad (5)$$

$$B_{rp} + \sum_{i=1}^n T_{ri} Z_{ip} \leq B_{r+1,p} \quad \begin{matrix} 1 \leq r \leq m-1 \\ 2 \leq p \leq n \end{matrix} \quad (6)$$

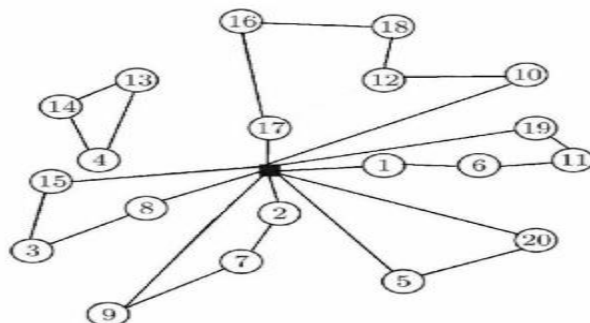
$$B_{rp} + \sum_{i=1}^n T_{ri} Z_{ip} \leq B_{r,p+1} \quad \begin{matrix} 2 \leq r \leq m \\ 1 \leq p \leq n-1 \end{matrix} \quad (7)$$

$$1 \leq p \leq n$$

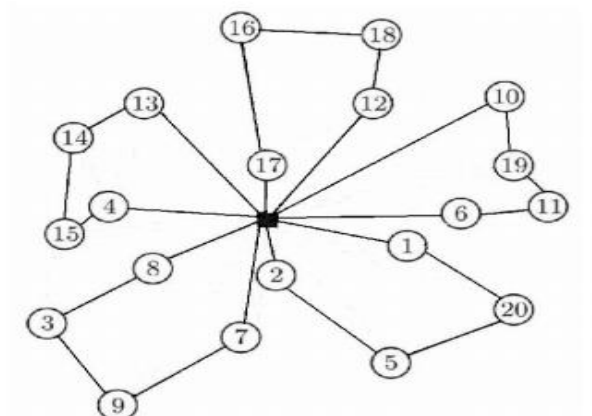
## یکپارچگی زمانبندی تولید و توزیع در زنجیره تأمین فرآورده‌های لبنی با استفاده از الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی ...

نشدنی و شکل ۲. به عنوان جواب شدنی به تصویر کشیده شده است. محدودیت ۱۴ و ۱۵ تضمین می‌کند که دقیقاً به تعداد ۷ وسیله نقلیه برای سرویس‌دهی به مشتریان استفاده شود. محدودیت ۱۶ محدودیت ارضای ظرفیت وسیله نقلیه در سرویس‌دهی به مشتریان را تضمین می‌کند. آنچه در مدل یکپارچه زمانبندی تولید و توزیع اهمیت دارد تعیین ارتباط و تأثیر تولید و توزیع بر یکدیگر است. در محدودیت ۱۷ زمان شروع سرویس‌دهی وسایل نقلیه بعد از اتمام تولید محصولات را بیان می‌کند این محدودیت ارتباط بین اتمام تولید و آغاز توزیع را بیان می‌کند. محدودیت ۱۸ تضمین می‌کند که کل زمان سرویس‌دهی وسیله نقلیه در هر تور با توجه به زمان شروع سرویس‌دهی توسط وسیله نقلیه و مجموع فاصله زمانی طی شده در سرویس‌دهی به مشتریان از فرجه زمانی تعیین شده تخطی نکند. محدودیت ۱۷ و ۱۸ ارتباط بین زمانبندی تولید و مسیریابی را یکپارچه می‌کند. محدودیت ۱۹ و ۲۰ به تخصیص مقدار متغیر  $\gamma$  با توجه به تخطی بیشینه زمان تکمیل کارها از موعد تحویل و ارضای این محدودیت به ترتیب به مقادیر یک و صفر می‌پردازد. محدودیت ۱۹ و ۲۰ به تخصیص مقدار متغیر  $\gamma$  با توجه به تخطی بیشینه زمان تکمیل کارها از موعد تحویل و ارضای این محدودیت به ترتیب به مقادیر یک و صفر می‌پردازد.

که هیچ زمان بیکاری روی ماشین ۱ نیست و کار ۱ روی همه ماشین‌ها بدون تأخیر پردازش می‌شود. محدودیت ۶ بیان می‌کند که زمان شروع هر کار روی ماشین  $I+1$  زودتر از زمان اتمام روی ماشین  $I$  نیست. محدودیت ۷ بیان می‌کند کاری که در ترتیب تولید در موقعیت  $I+1$  باشد روی ماشین  $I$  شروع نمی‌شود تا وقتی که کار در موقعیت  $J$  روی ماشین  $I$  تمام شود. در حقیقت این دو محدودیت اخیر این نکته را الزام می‌کنند که در ارتباط با یک کار، زمان شروع آن روی ماشین بعدی منوط به اتمام پردازش همان کار روی ماشین قبلی است و در ارتباط با زمان شروع کارهای متوالی روی یک ماشین، زمان شروع کار بعدی منوط به اتمام پردازش کار قبلی روی همان ماشین است. محدودیت ۸ مقدار بیشینه زمان تکمیل کارها را محاسبه می‌کند. محدودیت ۱۰ و ۹ تضمین می‌کند که هر مشتری فقط از یک وسیله نقلیه سرویس بگیرد. محدودیت ۱۱ بیان می‌کند اگر وسیله نقلیه‌ای به گره (مشتری) وارد شود بایستی از آن خارج شود تا پیوستگی مسیرها برقرار شود. محدودیت ۱۲ تضمین می‌کند که از هر وسیله نقلیه حتماً یکبار برای سرویس‌دهی استفاده شود. محدودیت ۱۳ محدودیت بسیار مهمی محسوب می‌شود. این محدودیت، محدودیت حذف زیرتور است که از ایجاد جوابی که همبند نباشد، جلوگیری می‌شود که در شکل ۱. به عنوان جواب



شکل ۱. نمونه ای از حل غیر قابل قبول



شکل ۲. نمونه ای از حل قابل قبول مسئله مسیریابی وسیله نقلیه.

#### ۴. رویکرد حل مسئله

جواب بهینه مسئله یکپارچه زمانبندی تولید (جریان کارگاهی) و توزیع (مسیریابی وسیله نقلیه) منوط به حل همزمان آنها است. جیسمار و همکاران [Geismar, Laporte and Sriskandarajah, 2008] مسئله یکپارچه زمانبندی تولید و توزیع کالاهای با عمر کوتاه<sup>۶</sup> را با هدف کمینه کردن کل زمان لازم برای تولید و تحویل تقاضای مجموعه‌ای از مشتریان که در نقاط پراکنده جغرافیایی قرار دارند، مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که پیچیدگی مسئله از نوع NP-hard است و از آنجا که مسئله مورد بررسی در این تحقیق تعمیم یافته این دسته مسائل می باشد بنابراین مسئله مورد بررسی حداقل از نوع NP-hard خواهد بود. در نتیجه پیدا کردن جواب بهینه در زمان معقول برای مسئله غیر ممکن است و باید از راه‌حلهای ابتکاری و یا فرا ابتکاری برای حل مسئله استفاده کرد در این راستا در این تحقیق از الگوریتم بهبودیافته بهینه‌سازی ازدحام ذرات (IPSO) استفاده شده است.

#### ۴-۱ الگوریتم بهبودیافته بهینه سازی ازدحام ذرات (IPSO)

الگوریتم ازدحام ذرات الگوریتمی تکاملی است که اولین بار توسط کندی و ابرهات ۱۹۹۵ مطرح شد [Kennedy and Eberhart, ۱۹۹۵].

[1995] این الگوریتم با جمعیت اولیه تصادفی که ذرات نامیده می‌شود، آغاز می‌شود و برای رسیدن به جواب نزدیک به بهینه نسل‌ها را به روز می‌کند. هر ذره یا جواب در فضای چند بعدی مسئله با سرعتی که به صورت پویا با توجه به تجربه قبلی ذره و همسایگانش به روز می‌شود، برای یافتن جواب جستجو می‌کند. این الگوریتم از رفتار پرواز پرندگان و نحوه تبادل اطلاعات آنها برای یافتن جواب الگوبرداری می‌کند. این الگوریتم، یک الگوریتم جستجوی اجتماعی است که ذرات در فضای جستجو جاری می‌شوند. تغییر مکان ذرات در فضای جستجو تحت تأثیر تجربه و دانش خود و همسایگان است بنابراین موقعیت دیگر ذرات روی چگونگی جستجوی یک ذره اثر می‌گذارد. اساس کار این الگوریتم بر این اصل استوار است که در هر لحظه هر ذره مکان خود را در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته است<sup>۷</sup> و بهترین مکانی که در کل همسایگی‌اش وجود دارد<sup>۸</sup> تنظیم می‌کند. در حقیقت هر ذره تلاش می‌کند فاصله خاصی را نسبت به دیگر ذرات گروه ایجاد کرده و به مرور آنرا بهبود بخشد. بدین منظور هر ذره دارای حافظه-ای است که در آن سابقه حرکت‌های موفق گذشته خود را ذخیره کرده است و از آن به منظور بهبود جواب‌های مسئله بهره می‌برد. هوش جمعی خاصیتی است سیستماتیک که در این سیستم، عامل‌ها به طور محلی با هم همکاری می‌کنند و رفتار جمعی تمام عامل‌ها باعث همگرایی در نقطه‌ای نزدیک به جواب بهینه سراسری می‌شود. نقطه قوت این الگوریتم وجود خاصیت هوش جمعی است و علت



## یکپارچگی زمانبندی تولید و توزیع در زنجیره تأمین فرآورده‌های لبنی با استفاده از الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی ...

ارائه رویکرد حل بر مبنای این الگوریتم وجود این خاصیت برای حل توأم و یکپارچه زمانبندی تولید و توزیع است.  $D$  بعد فضای جستجو در مسئله یکپارچه تولید و توزیع برابر است با مجموع تعداد مشتریان و کارها و یکی کمتر از تعداد وسایل نقلیه است در نتیجه هر ذره در الگوریتم بهبود یافته از سه بردار  $d$  بعدی تشکیل می‌شود. برای هر ذره  $i$ -ام این سه بردار شامل  $x_i$  موقعیت فعلی ذره،  $v_i$  سرعت حرکت ذره،  $pbest_i$  بهترین موقعیت ذره که تاکنون کسب کرده است و  $gbest$  بهترین موقعیت که تاکنون توسط کلیه ذرات کسب شده است. تمام مقادیر مذکور طبق روابط زیر به روز می‌شود.

$$v_i^{t+1} = w.v_i^t + c_1.r_1.(pbest_i - x_i^t) + c_2.r_2.(gbest - x_i^t) \quad (21)$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1} \quad (22)$$

در روابط بالا  $w$  ضریب اینرسی،  $\Gamma_1, \Gamma_2$  اعداد تصادفی بین صفر و یک و  $c_1, c_2$  اعداد ثابتی که به ضرایب شتاب‌دهنده معروف هستند و به ترتیب پارامتر ادراکی و پارامتر اجتماعی نامیده می‌شوند.  $\Gamma_1, \Gamma_2$  باعث ایجاد تنوع در جوابها می‌شود و به این نحو جستجوی کامل-تری روی فضا انجام می‌گیرد اما کافی نیست.  $c_1$  ضریب یادگیری مربوط به تجارب شخصی هر ذره و  $c_2$  ضریب یادگیری برای کل جامعه است. در این مقاله برای رویکرد حل مسئله یکپارچه زمانبندی تولید و توزیع از الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی ازدحام ذرات<sup>9</sup> استفاده شده است. در الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی ازدحام ذرات پیشنهادی به صورت تصادفی یکی از دو اپراتور بهبود  $1-opt, 2-opt$  انتخاب می‌شود که در صورت بهبود ذره نسبت به موقعیت قبلی خود، جایگزین شده و در غیر این صورت موقعیت قبلی ذره انتخاب می‌شود. بعد از بهبود ذرات و جایگزینی آنها با ذره بهبود یافته، بقیه مراحل جستجو به منظور یافتن جواب نزدیک بهینه ادامه می‌یابد. انتخاب تصادفی از بین دو اپراتور مذکور موجب جستجوی گسترده فضای جواب، عدم توقف و به دام افتادن در جوابهای بهینه محلی که از مشکلات شایع در رویکردهای متاهوریستیک است [Peer, Van and Engelbrech, 2003].

می‌شود. به این منظور در الگوریتم بهبود داده شده از اپراتورهای به شرح زیر، بمنظور جستجوی گسترده‌تر فضای جواب و در نتیجه از دست ندادن جواب‌های خوب استفاده شده است. اپراتور  $1-opt$  : در این اپراتور، دو مسیر جداگانه بصورت تصادفی انتخاب می‌شود و یک گره از یک مسیر حذف و به مسیر دیگر اضافه می‌شود بطوریکه محدودیت‌های ظرفیت وسیله نقلیه و فرجه زمانی نقض نشود. اپراتور  $2-opt$  : در این اپراتور، دو مسیر جداگانه بصورت تصادفی انتخاب می‌شود و دو گره از آنها باهم بطور متقابل با توجه به محدودیت‌ها جابجا می‌شوند.

### ۴-۲ نمایش جواب‌ها

در این بخش با یک مثال عددی نمایش جواب‌ها توضیح داده می‌شود. بعد هر ذره  $d = n + c + v - 1$  است، در مرحله تولید، زمانبندی جریان کارگاهی جایگشتی است که در آن ترتیب کارها رو ماشین‌ها و ترتیب ماشین‌ها رو کارها یکسان است. کمینه بیشترین زمان اتمام کارها ( $C_{max}$ ) با توجه به کمینه کردن هزینه تأخیر در تابع هدف با جایگشت متفاوت کارها تعیین می‌شود. بعد از اتمام تولید کارها که با خانه‌های زرد رنگ به تعداد 3 عدد ( $n$ ) که این زمان با فلش نشان داده شده است، توزیع محصولات تولید شده به مشتری-ها (خانه‌های سفید) ( $c$ ) که به تعداد 8 نفر هستند، آغاز می‌شود. وسایل نقلیه ( $v$ ) (خانه‌های سیاه رنگ) به تعداد ( $v-1$ ) بصورت تصادفی بین مشتریان قرار می‌گیرند که نشانگر تخصیص مشتریان به وسائل نقلیه می‌باشد. در این مثال به وسیله نقلیه اول یک مشتری با شماره 1، وسیله نقلیه دوم 5 مشتری با شماره‌های 2 و 3 و 4 و 5 و 6 و وسیله نقلیه سوم 2 مشتری با شماره‌های 7 و 8 تخصیص داده شده

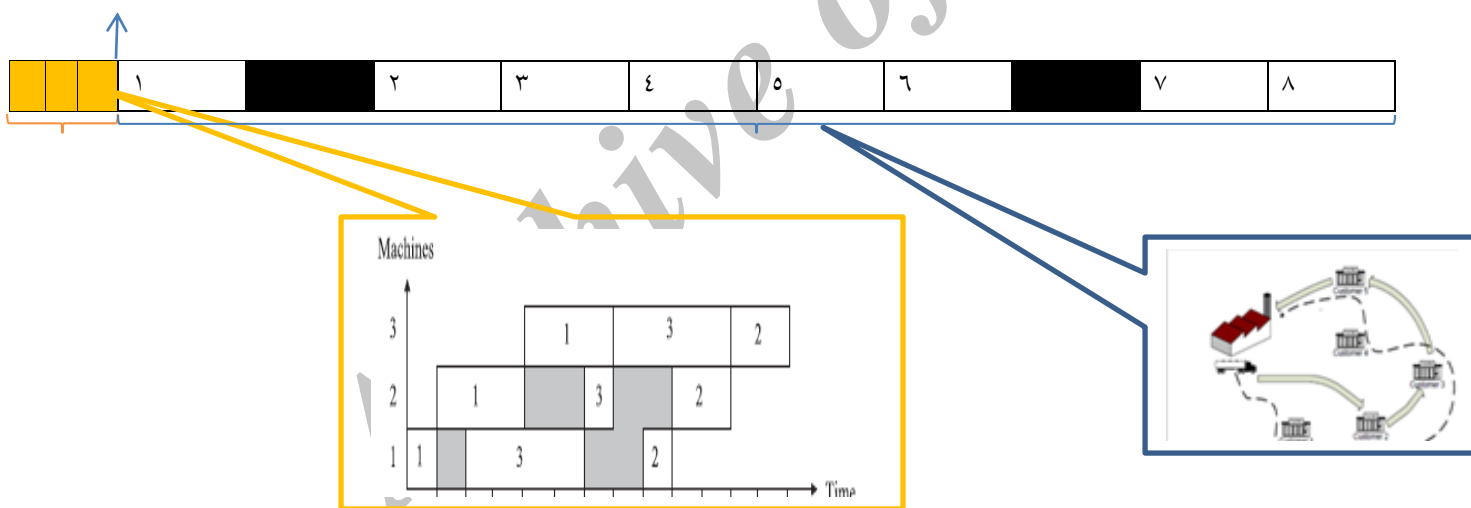
### ۴-۳ مراحل الگوریتم IPSO

در حل مسئله یکپارچه زمانبندی تولید و توزیع با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات بهبود یافته، هر ذره شامل  $n + c + v - 1$  بعد است که شامل مجموع تعداد کارها، تعداد مشتریان و تعداد وسایل نقلیه

تعداد وسائل نقلیه وجود دارد که از کارخانه بارگیری و دوباره به کارخانه (دپو) برمی‌گردد در شکل نشان داده شده است. برای شدنی بودن جواب‌های ایجاد شده جریمه برای تخطی از محدودیت‌های ظرفیت وظیفه نقلیه و فرجه زمانی در نظر گرفته شده است. قدم اول:  $n$  ذره در ابعاد  $n+c+v-1$  به صورت تصادفی ایجاد می‌شود. قدم دوم: برای تمام ذرات همانند ذره  $i-1$ ،  $X_i$  موقعیت فعلی ذره،  $V_i$  سرعت حرکت ذره را به صورت تصادفی ایجاد می‌شود. قدم سوم: تا زمانی که شرط توقف الگوریتم (حداکثر تکرار) بوجود نیامده است به ازای هر یک از ذرات  $i=1, \dots, n$  مراحل زیر برای همه ذرات جمعیت تکرار شود:

- به صورت تصادفی یکی از دو اپراتور بهبود  $1-opt, 2-opt$  برای هر ذره انتخاب شود.

منهای یک است. مسئله مورد بررسی شامل دو حوزه تولید و توزیع است. بعد از اعمال تصادفی یکی از دو اپراتور بهبود  $1-opt, 2-opt$  بر هر ذره و بررسی شدنی بودن محدودیت‌ها، مقدار تابع شایستگی که همان تابع هدف است، بررسی می‌شود و در صورت بهبود جایگزین ذره قبلی می‌شود، در غیر این صورت ذره قبلی باقی می‌ماند. سپس با تعیین مقادیر  $pbest_i$  بهترین موقعیت ذره که تاکنون کسب کرده است و  $gbest$  بهترین موقعیت که تاکنون توسط کلیه ذرات کسب شده است، مقادیر روابط ۲۱ و ۲۲ به روز می‌شود که همان موقعیت و سرعت ذره است و این کار تا برآورده شدن شرط توقف ادامه می‌یابد. با اعمال شرط توقف، حداکثر تعداد تکرارها به اندازه ۳۰۰ تکرار، الگوریتم متوقف شده و جواب با بهترین مقدار تابع هدف یعنی کمترین مقدار تابع هدف برای مسئله یکپارچه تولید و توزیع ارائه می‌شود. پارامترهای الگوریتم IPSO در جدول ۱ ارائه شده است. در مسئله موجود چندین تور براساس



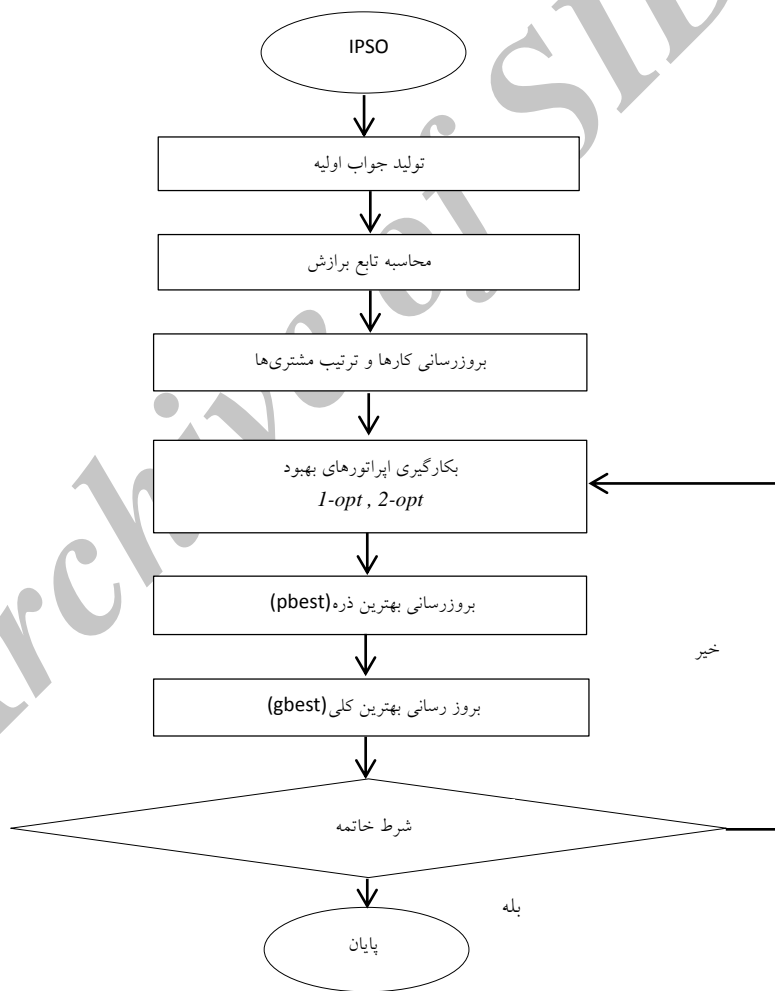
شکل ۳. نحوه نمایش و کدینگ ذرات

جدول ۱. پارامترهای الگوریتم IPSO

۳۰	تعداد ذره‌ها
۲۰۰	تعداد تکرارها
۱,۵	پارامتر $C_1$
۱,۵	پارامتر $C_2$
۰,۷۲	پارامتر $W$

## یکپارچگی زمانبندی تولید و توزیع در زنجیره تأمین فرآورده‌های لبنی با استفاده از الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی ...

- قدم چهارم: به ازای هر یک از ذرات  $i=1, \dots, n$  مراحل زیر انجام شود:  
سرعت هر ذره طبق رابطه ۲۱ محاسبه شود.  
موقعیت هر ذره طبق رابطه ۲۲ به روز شود.  
پایان حلقه که اتمام حداکثر تعداد تکرارهاست، بهترین جواب شدنی با کمترین جریمه ارائه می‌شود (۲۰۰ تکرار).
- تابع برازش محاسبه شود، اگر تابع برازش (همان تابع هدف است) ذره  $i$ -ام بهبود یابد آنگاه مقدار بهبود یافته جایگزین مقدار قبلی شود در غیر اینصورت مقدار قبلی باقی بماند.
- هزینه جریمه تخطی برای هر ذره محاسبه شود.
- بهترین ذره از میان اعضای جمعیت فعلی که دارای بهترین تابع برازش با کمترین مقدار جریمه که همان  $gbest$  است، انتخاب شود.



شکل ۴. فلوچارت الگوریتم IPSO

## ۵. نتایج محاسباتی

در این بخش ابتدا مسائل مختلف با اندازه‌های مختلف ایجاد و سپس به مقایسه و ارزیابی نتایج الگوریتم ارائه شده، پرداخته می‌شود. در اینجا عملکرد الگوریتم پیشنهادی IPSO مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

### ۵-۱ تولید داده‌های تصادفی برای مسائل نمونه

بدلیل نبود نمونه مسئله<sup>۱۱</sup> در ادبیات موضوع مسئله یکپارچه زمانبندی تولید و توزیع، دو دسته نمونه مسئله یکی در سایز کوچک به تعداد ۳۰ مسئله که در جدول ۲ ارائه شده است و دیگری در سایز بزرگ به تعداد ۲۵ مسئله در جدول ۳ ارائه شده است، طراحی و تولید شده است.

هر سطر جداول مذکور نشانگر یک نمونه مسئله که با پارامترهای مشخص که شامل تعداد مشتری، تعداد وسیله نقلیه برای سرویس-دهی، تعداد کار یا محصول تولیدی، تعداد ماشین‌های تولیدی است،

• برای تولید پارامترهای مربوط به ظرفیت وسیله نقلیه از

$$\sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^n e_{ij} / v \quad \text{توزیع یکنواخت در بازه } ( ) \text{ و } ( )$$

تولید فرجه زمانی از توزیع یکنواخت در بازه رابطه (۲۳) استفاده شده است که به ترتیب بیانگر مجموع کل تقاضای مشتریان تقسیم بر تعداد وسایل نقلیه و مجموع کل تقاضای مشتریان است، استفاده می‌شود.

• تولید فرجه زمانی از توزیع یکنواخت در بازه رابطه (۲۳) استفاده شده است که جمله اول بیانگر ضریبی ( $\alpha$ ) از مجموع کل زمان پردازش کارها روی تمام ماشین‌های تولیدی است.

استفاده شده است که جمله اول بیانگر ضریبی ( $\alpha$ ) از مجموع کل زمان پردازش کارها روی تمام ماشین‌های تولیدی است.

نمایش داده شده است. در هر نمونه مسئله به منظور بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی، جواب حاصل از حل الگوریتم پیشنهادی IPSO که با نرم افزار مطلب ۱۱ کدنویسی شده است با جواب شاخه و کران حاصل از حل دقیق مدل ارائه شده که با نرم افزار لینگو ۱۲ کد نویسی شده است، مورد مقایسه و بررسی قرار می‌گیرد. پارامترهای مسائل نمونه که شامل (۱) زمان پردازش کارها، (۲) مسافت (فاصله) بین مشتریان، (۳) تقاضای مشتریان، (۴) ظرفیت وسیله نقلیه، (۵) فرجه زمانی و (۶) موعده تحویل تولید است، به شرح زیر تولید می‌شود:

- برای تولید پارامترهای مربوط به زمان پردازش کارها از توزیع یکنواخت در بازه ۱ و ۹۹ استفاده می‌شود.
- برای تولید پارامترهای مربوط به مسافت بین مشتریان از توزیع یکنواخت در بازه ۱ و ۱۰۰ استفاده می‌شود.
- برای تولید پارامترهای مربوط به تقاضای مشتریان از توزیع یکنواخت در بازه ۱ و ۱۰ استفاده می‌شود.

از مجموع کل زمان پردازش کارها روی تمام ماشین‌های تولیدی است. این ضریب با سعی و خطا برابر ۰٫۲ در نظر گرفته شده است جمله دوم بیانگر متوسط ضریبی از مجموع بیشینه و کمینه زمان پردازش کارها  $\lambda(T_{\min} + T_{\max})$  و مجموع بیشینه و کمینه فاصله

زمانی بین مشتریان  $(d_{\min} + d_{\max}) / v_k$  است. این ضریب ( $\lambda$ ) برابر ۱٫۵ با سعی و خطا در نظر گرفته شده است. رابطه

$$[\lambda(T_{\min} + T_{\max}) + (t_{\min} + t_{\max})] / 2 \quad \text{توسط Pundoor}$$

[and Chen, 2005] به عنوان پارامترهای توزیع یکنواخت به منظور تولید فرجه زمانی برای تحویل به مشتری ارائه شده بود که در این تحقیق با تغییر زمان به مسافت و سرعت به منظور تولید فرجه زمانی از آن بهره گرفته شده است.

$$[\lambda(T_{\min} + T_{\max}) + (d_{\min} + d_{\max}) / v_k] / 2 \quad \left( \alpha \sum_{r=1}^m \sum_{i=1}^n T_{ri} \right) \quad (23)$$

یکپارچگی زمانبندی تولید و توزیع در زنجیره تأمین فرآورده‌های لبنی با استفاده از الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی ...

کنترل می‌کند. موعده‌تحويل تولید دارای توزیع یکنواخت

در بازه  $d\bar{u}(1-R/2)$  و  $d\bar{u}(1+R/2)$  است

$$d\bar{u} = \sum_{r=1}^m \sum_{i=1}^n T_{ri} \times (1-\tau)$$

مقادیر  $\tau=0,2$  و  $R=0,6$  و انتخاب می‌شود و با سعی و خطا  $\tau=0,2$  و  $R=0,6$  در نظر گرفته شده است.

نتایج محاسبات خطا در جدول ۲. نشان می‌دهد ۱۳٪ نمونه مسائل سائز کوچک خطایی بیش از ۵٪ درصد داشته‌اند و ۸۷٪ نمونه های سائز کوچک خطایی کمتر از ۵٪ داشته‌اند. از آنجا که تنها ۱۳٪ نمونه‌ها خطایی بیش از ۱۰٪ دارند نشانگر نتایج مطلوب خروجی و عملکرد مناسب متاهوریستیک ارائه شده است. میانگین کل خطای IPSO نسبت به روش شاخه کران حدوداً ۲٪ است که

$$(24) \quad \frac{\text{جواب IPSO-B and B}}{\text{خطا}} = \frac{\text{جواب B and B}}{\text{خطا}}$$

نشانگر کارایی الگوریتم پیشنهادی است. از طرفی میانگین زمان حل روش شاخه کران برابر ۸۳ ثانیه است در صورتی که متوسط زمان حل IPSO برابر ۱۹,۲ ثانیه است که نشانگر مزیت زمان حل IPSO است.

جدول ۲. مقایسه نتایج برای مسائل با ابعاد کوچک

نمونه مسئله	تعداد مشتری	تعداد وسیله نقلیه	تعداد کار	تعداد ماشین	تعداد ماشین	حل با شاخه کران	IPSO
						بهترین جواب	زمان ثانیه
۱	۶	۲	۵	۲	۲۹۴۹۳	۴	۲۲
۲	۶	۳	۱۰	۲	۳۸۱۳۶	۱۷	۱۹,۲
۳	۶	۳	۱۵	۲	۳۹۹۳۶,۸	۴۲	۱۹,۵
۴	۶	۲	۵	۵	۳۳۵۱۶,۶	۱۲	۱۹
۵	۶	۲	۱۰	۵	۳۳۰۸۳,۸	۸	۲۰,۱۳
۶	۶	۲	۱۵	۵	۴۲۲۳۴	۶۰	۲۰,۲
۷	۷	۳	۵	۲	۲۹۹۹۳,۳	۳۸	۲۱,۱
۸	۷	۳	۱۰	۲	۳۲۵۸۶,۳	۲۷	۱۹,۸
۹	۷	۳	۱۵	۲	۳۲۸۳۶,۸	۵۱	۲۱
۱۰	۷	۲	۵	۵	۲۹۴۶۶,۶	۱۵	۱۹,۱۵
۱۱	۷	۲	۱۰	۵	۲۹۷۳۳,۸	۱۶	۲۱,۳

• به منظور ایجاد موعده‌تحويل تولید از تحقیق [Zegordi, Dosa and Tan, 1995] استفاده شده است. دو فاکتور مورد بررسی است، یکی فاکتور تاخیر (τ) است که نسبت یا سهم<sup>۱۳</sup> کارهایی که انتظار می‌رود دیرکرد داشته باشند را بیان می‌کند. فاکتور دیگر حدود<sup>۱۴</sup> موعده‌تحويل (R) است که حدود توزیع موعده‌تحويل را

## ۲-۵ ارزیابی الگوریتم IPSO

هدف از اجرای الگوریتم پیشنهادی، بررسی توانایی مدل در یافتن جوابهای بهینه است. به همین منظور تعداد ۳۰ مسئله با ابعاد کوچک ایجاد شد. مشخصات مسائل در جدول ۲. شامل نتایج محاسباتی الگوریتم پیشنهادی (IPSO) و حل دقیق (روش شاخه و کران) است. هدف از انجام بررسی در سائز کوچک، بررسی و توجه به توانایی الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی IPSO به منظور یافتن جوابهای بهینه در مقایسه با حل دقیق مسائل است. معیار مقایسه، مقدار خطا است که محاسبه خطا طبق رابطه ۲۴ محاسبه می‌شود. معیار مقایسه در هر دو دسته نمونه مسئله، محاسبه خطا است که طبق روابط زیر است:

0.01	۲۲,۳	۳۸۶۰۰,۹	۵۲	۳۸۱۸۴	۵	۱۵	۲	۷	۱۲
.	۱۶,۹	۲۹۹۴۳,۳	۲۳	۳۲۴۴۳	۲	۵	۳	۸	۱۳
0	۱۷,۱	۳۹۸۸۶,۳	۱۶۰	۳۹۸۸۶,۳	۲	۱۰	۳	۸	۱۴
0.000۴	۲۱,۱	۴۰۱۵۳,۵	۱۲۹	۴۰۱۳۶,۸	۲	۱۵	۳	۸	۱۵
0	۲۰,۵	۳۴۴۶۶,۶	۱۰۷	۳۴۴۶۶,۶	۵	۵	۲	۸	۱۶
0.1۲	۲۰,۱	۳۷۶۰۸,۵	۱۰	۳۳۵۸۳,۸	۵	۱۰	۲	۸	۱۷
0.003	۱۶,۶	۴۳۹۸۴,۳	۱۳۶	۴۳۸۳۴	۵	۱۵	۲	۸	۱۸
.	۱۶,۹۷	۳۰۱۴۳,۳	۱۱۶	۳۳۸۴۳	۲	۵	۳	۹	۱۹
0	۱۸,۸	۴۰۲۳۶,۳	۱۶۰	۴۰۲۳۶,۳	۲	۱۰	۳	۹	۲۰
0.00۴	۱۹,۹	۴۰۶۳۷,۱	۹۲	۴۰۴۸۶,۸	۲	۱۵	۳	۹	۲۱
0	۱۸,۹	۳۳۴۱۶,۶	۷۲	۳۳۴۱۶,۶	۵	۵	۲	۹	۲۲
0.13	۱۹,۰۶	۳۸۲۲۶	۱۶	۳۳۷۳۳,۸	۵	۱۰	۲	۹	۲۳
0.0۲	۱۶,۷	۴۴۴۸۴,۲	۱۷۳	۴۳۴۳۴,۱	۵	۱۵	۲	۹	۲۴
0.001	۱۹,۱۲	۲۴۹۸۳,۳	۵۹	۲۴۹۴۳,۳	۲	۵	۳	۱۰	۲۵
0.00۹	۱۶,۱	۳۴۲۳۶,۳	۶۷	۳۳۹۳۶	۲	۱۰	۲	۱۰	۲۶
0.02	۱۶,۶	۳۸۱۸۶,۸	۱۵۳	۳۷۲۳۶,۸	۲	۱۵	۲	۱۰	۲۷
0.003	۲۰,۷	۲۸۴۱۶,۶	۳۷	۲۸۳۱۶,۶	۵	۵	۲	۱۰	۲۸
.	۱۹,۶	۳۴۷۵۸,۵	۹۰	۳۴۷۵۸,۵	۵	۱۰	۲	۱۰	۲۹
0.02	۱۶,۴۴	۴۴۰۳۴	۵۴۸	۴۳۱۴۷,۱	۵	۱۵	۲	۱۰	۳۰
۰,۰۱۹۱	۱۹,۲		۸۳						میانگین

از ۱۲٪ دارند که کیفیت مناسب عملکرد الگوریتم فراابتکاری را نشان می‌دهد. همچنین مقایسه میانگین زمان حل مسائل با الگوریتم پیشنهادی برابر ۲۳,۷۶ ثانیه است که در مقایسه میانگین زمان حل دقیق که برابر ۲۰۰۰ ثانیه است بسیار ناچیز است که کارایی الگوریتم پیشنهادی به منظور حل مسائل در زمان کوتاه و مطلوب است.

نتایج محاسباتی جدول ۳. عملکرد الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی در حل مسائل بزرگ را نشان می‌دهد. در این دسته مسائل دستیابی به جواب دقیق بسیار زمان‌بر است بنابراین با محدود کردن زمان حل تا ۲۰۰۰ ثانیه بهترین جواب بدست آمده گزارش می‌شود. محاسبه خطا طبق رابطه ۲۳ نشان می‌دهد که تنها ۳۶٪ از مجموعه نمونه ۲۵ تایی خطایی بالاتر از ۱۵٪ و ۶۴٪ نمونه‌ها خطایی کمتر

جدول ۳. نتایج محاسباتی برای مسائل در ابعاد بزرگ

نمونه مسئله	تعداد مشتری	تعداد وسیله نقلیه	تعداد کار	تعداد ماشین	حل شاخه کران		IPSO
					بهترین جواب	زمان ثانیه	
1	10	10	100	2	122976.4	2000	21.4
2	10	20	50	2	۹۶۷۰۵,۹	2000	22.6
3	20	10	50	2	۹۶۵۳۴,۶	2000	22.3
4	100	10	10	5	۱۴۱۱۱۳,۳	2000	28.7

یکپارچگی زمانبندی تولید و توزیع در زنجیره تأمین فرآورده‌های لبنی با استفاده از الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی ...

0	25.2	98767.6	2000	۱۳۵۹۰۱,۴	۴	۲۰	۱۰	۵۰	۵
0	28.7	214359.2	2000	۲۱۸۸۷۰,۸	۴	۲۰۰	۱۰	۱۰	۶
0.02	26.2	125039.4	2000	۱۲۲۶۰۰,۴	۴	۵۰	۴۰	۱۰	۷
0.12	26	150885.4	2000	۱۳۳۶۶۵,۷	۵	۱۰۰	۱۰	۲۰	۸
0.04	27.6	220857.3	2000	۲۱۱۸۳۸,۱	۵	۲۰۰	۵	۲۰	۹
0.30	20.1	159283.2	2000	۱۲۱۹۸۱,۵	۶	۱۰۰	۵	۴۰	۱۰
0.32	28.9	173506.8	2000	۱۳۱۴۸۹,۱	۷	۱۰۰	۴	۵۰	۱۱
0	26.01	127811.1	2000	۱۳۷۷۸۱,۳	۷	۲۰	۲۰	۵۰	۱۲
0.31	21.6	149300.5	2000	۱۱۳۷۲۹,۸	۷	۸۰	۵	۵۰	۱۳
0	23.3	19727.1	2000	۷۳۱۸۷,۶	۷	۲۰	۱۰	۱۰۰	۱۴
0	22.22	164774.7	2000	۱۷۴۴۶۹,۷	۶	۶۰	۱۰	۵۰	۱۵
0	21.42	167996.2	2000	۱۸۱۱۵۹,۲	۵	۱۰۰	۱۰	۳۰	۱۶
۰,۲۵	23.6	216092.7	2000	۱۷۱۵۰۹,۴	۶	۳۰	۱۰	۱۰۰	۱۷
0.03	21.65	164421.8	2000	۱۵۸۷۵۶,۳	۵	۵۰	۱۰	۶۰	۱۸
0	21.8	158728.5	2000	۱۶۴۴۵۶	۵	۶۰	۱۰	۵۰	۱۹
0	21.7	117182.1	2000	۱۷۱۴۵۰,۳	۶	۳۰	۲۰	۵۰	۲۰
0	22.23	128992.9	2000	143767.9	۳	۵۰	۴۰	۱۵	۲۱
0.16	21.8	188416.3	2000	۱۶۲۶۳۱	۴	۱۵۰	۱۰	۲۰	۲۲
۰,۳۲	23.4	211993	2000	۱۶۰۲۹۲	۵	۳۰	۱۰	۱۰۰	۲۳
۰,۶۵	22.1	174107.7	2000	۱۰۵۳۶۹,۰۹	۶	۴۰	۱۰	۷۵	۲۴
0.90	23.6	159411.3	2000	۸۳۶۷۵,۹	۶	۲۰	۲۰	۷۵	۲۵
۰,۱۴۴۸	۲۳,۷۶		۲۰۰۰						میانگین

## ۶. مطالعه موردی

واقعی و همچنین توانایی الگوریتم حل پیشنهادی، زمانبندی تولید تقاضا، مسیریابی وسیله نقلیه در تحویل به موقعیت مشتریان در شرایط مورد مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اهمیت فرآورده‌های لبنی در سبد مصرفی خانوار و فسادپذیر بودن این محصولات، توجه به زمانبندی تولید و توزیع بسیار مهم است و توجه توأم و یکپارچه به زمانبندی تولید و توزیع موجب کاهش هزینه‌ها، افزایش سطح رضایت مشتری از لحاظ زمان دریافت تقاضا (ارضای فرجه زمانی) و عدم کاهش کیفیت محصول توزیع شده به مشتری می‌شود که محور این تحقیق است. با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق زمانبندی یکپارچه تولید و توزیع فرآورده‌های لبنی (ماست) در کارخانه مورد بررسی قرار گرفته است.

به منظور حل مدل پیشنهادی، کارخانه تولیدی فرآورده‌های لبنی در شهر تهران مورد بررسی قرار گرفت. مشتریان مورد بررسی فروشگاه‌های عرض مستقیم محصولات می‌باشد که به علت وجود فرجه زمانی در تحویل محصولات کارخانه از اهمیت بیشتری برخوردار است تعداد مشتریان ۵۴ است. با توجه به مشخص بودن مکان مشتریان، برای تعیین فاصله بین مشتریان لازم است با توجه مختصات استخراج شده از نرم افزار google map که در پیوست ارائه شده است، فاصله بین مشتریان تعیین شود که براساس آن مسیریابی وسائل نقلیه تعیین شود. برای بررسی توانایی مدل یکپارچه زمانبندی تولید و توزیع ارائه شده در بهبود مسائل دنیای

محصول به صورت یکپارچه به منظور رضای مشتری و کاهش هزینه‌های توزیع و تولید با رضای فرجه زمانی و همچنین توجه به تاثیر زمانبندی تولید و زمان اتمام تولید محصولات بر زمان شروع توزیع و مسیریابی تحویل به مشتری بسیار مورد توجه است. در کارخانه مورد بررسی تاخیر تحویل و مستقل عمل کردن توزیع بدون توجه به زمان اتمام تولید، منجر به تخطی از فرجه زمانی و عدم رضایت مشتری می‌شود که منجر به از دست دادن مشتری‌های فروشگاه‌های عرضه مستقیم که همان مصرف کننده‌های محصول نهایی هستند باعث تاخیر زمانی در تحویل، می‌شود. در کارخانه بعد از اتمام فرایند کشت میکروبی و اطمینان از کیفیت و سلامت ماست به عنوان آخرین فرایند تولید، محصولات برای بارگیری ترخیص می‌شوند و در این حین به علت در دسترس نبودن وسیله نقلیه و تاخیر در بارگیری با توجه به فسادپذیر بودن محصولات منجر به کاهش کیفیت آنها می‌شود. این تاخیر علاوه بر کیفیت محصول نهایی موجب کاهش رضایت مشتری می‌شود. از طرفی عدم زمانبندی مناسب تولید موجب تاخیر در اتمام تولید، تخطی از موعد تحویل، برگشت حواله‌ها و هزینه‌های اضافی تولید بابت اضافه کاری کارگران می‌شود. بنابراین با ارائه مدل یکپارچه زمانبندی تولید و توزیع با دخیل کردن هزینه‌های تاثیرگذار در تولید و توزیع از جمله هزینه‌های تاخیر تولید و هزینه‌های حمل و نقل با یکپارچگی تولید و توزیع از انتظار محصولات برای توزیع و در نتیجه کاهش کیفیت آنها جلوگیری می‌کند و موجب کاهش ۷,۳ درصد در هزینه‌های تولید و توزیع کارخانه می‌شود و افزایش سطح رضایت مشتری با رضای فرجه زمانی در زمان تحویل به مشتری، حفظ کیفیت محصول تولیدی و کاهش هزینه‌های تاخیر می‌شود.

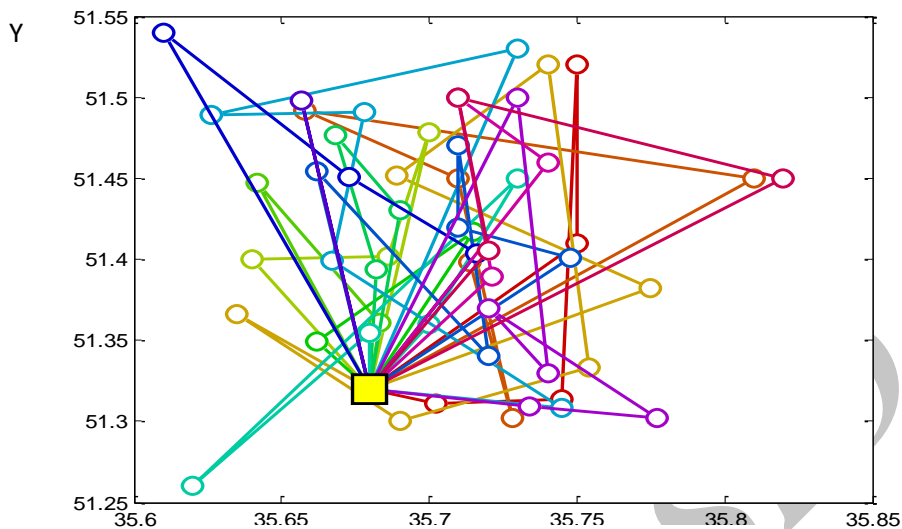
آنچه در تحویل به مشتری مورد توجه است رضای محدودیت فرجه زمانی و محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه است. توزیع و تولید ماست با توجه به پرتقاضا بودن این محصول، روزانه صورت می‌گیرد بنابراین اهمیت زمانبندی تولید و توزیع این محصول به صورت یکپارچه به منظور رضای مشتری و کاهش هزینه‌های توزیع و تولید با رضای فرجه زمانی مورد توجه است. توجه به تاثیر زمانبندی تولید و زمان اتمام تولید محصولات بر زمان شروع توزیع و مسیریابی تحویل به مشتری بسیار مهم است. بعد از اتمام تولید و اتمام زمان کنترل کیفی، توزیع آغاز می‌شود. در حقیقت اتمام زمان تولید بر زمان تحویل محصول به مشتری تاثیرگذار است. از طرفی زمان شروع بارگیری وسیله نقلیه با توجه به اینکه مشتریان متقاضی تمام محصولات تولیدی هستند بعد از اتمام تولید همه محصولات (بیشینه زمان تکمیل) است. بنابراین اهمیت توجه توأم به تولید و توزیع و ارائه زمانبندی یکپارچه تولید و توزیع بسیار ضروری است.

## ۶-۱ نتایج محاسبات

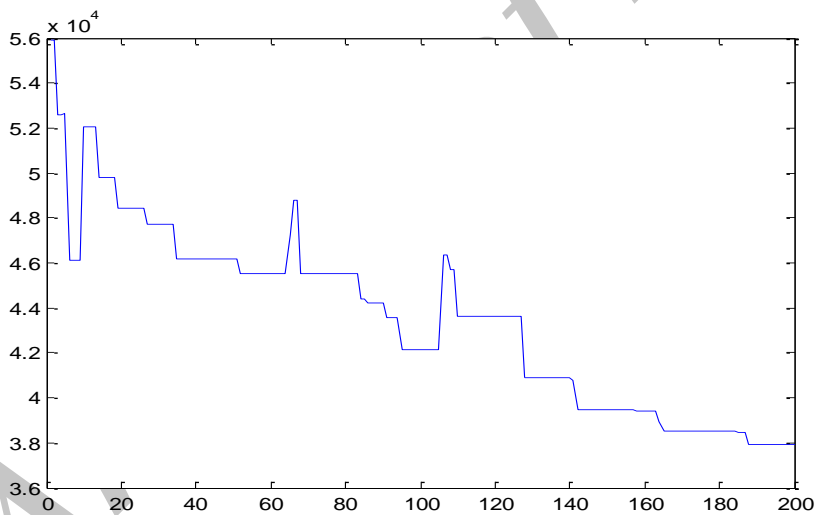
فروشگاه‌های عرضه مستقیم محصولات تولیدی کارخانه به تعداد ۵۴ فروشگاه (برای محاسبه فاصله بین مشتریان با توجه به عدم تقارن ماتریس فاصله بین مشتریان در شرایط واقعی از برنامه google map استفاده شد) در سراسر تهران پراکنده شده اند. آنچه در توزیع و تحویل به مشتری مورد توجه است رضای محدودیت فرجه زمانی در تحویل به مشتری (که تا ۱۱ صبح است) و محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه (۸۵۰ کیلوگرم برای محصول ماست) است. توزیع و تولید ماست با توجه به مورد تقاضا بودن، روزانه صورت می‌گیرد بنابراین اهمیت زمانبندی تولید و توزیع این



یکپارچگی زمانبندی تولید و توزیع در زنجیره تأمین فرآورده‌های لبنی با استفاده از الگوریتم بهبود یافته بهینه‌سازی ...



شکل ۵. مسیریابی وسیله نقلیه در مورد مطالعاتی



شکل ۶. نحوه تغییر تابع هدف

است. که منجر به بهبود در شرایط تولید و توزیع مورد مطالعاتی و کاهش ۷,۳ درصد هزینه می‌شود.

## ۷. جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله رویکرد و مدل یکپارچه زمانبندی تولید و توزیع با کمینه کردن هزینه‌های دیرکرد تولید و هزینه‌های کل مسافت طی

شکل ۵. مسیریابی و تخصیص مشتریان به مسیرها برای سرویس دهی به مشتریان را نمایش می‌دهد، محور افقی نشان‌دهنده مختصات X با طول جغرافیایی، محور عمودی نشان‌دهنده مختصات Y یا عرض جغرافیایی موقعیت مشتریان است که از نرم افزار google map استخراج شده است. شکل ۶. نحوه تغییر تابع هدف برای رسیدن به بهترین جواب در طی ۲۰۰ تکرار نمایش می‌دهد که محور افقی نشان‌دهنده تعداد تکرار و محور عمودی نشان‌دهنده مقدار تابع هدف

علاوه بر این به منظور حل مسئله واقعی، یک کارخانه فرآورده لبنی در شهر تهران مورد بررسی قرار گرفت که با پیاده سازی رویکرد یکپارچه زمانبندی تولید و توزیع پیشنهادی منجر به کاهش ۷,۳ درصد هزینه ها و بهبود عملیات تولید و توزیع مورد مطالعاتی شد. بنابراین پیشنهاد می‌شود توجه به چندسطحی در نظر گرفتن مدل یکپارچه، دخیل کردن کردن شرایط عدم قطعیت با توجه به شرایط واقعی و همچنین در نظر گرفتن رویکردهای مختلف مسیریابی وسیله نقلیه با توجه به موارد کاربردی در تحقیقات آتی مورد توجه و بررسی قرار گیرد. یکپارچگی در سطوح تصمیم‌گیری از رویکردهای دیگر در تحقیقات آتی می‌باشد.

شده، ارائه گردید. با توجه به سخت بودن مسئله، الگوریتم بهبودیافته بهینه سازی ازدحام ذرات (IPSO) با بکارگیری اپراتورهای بهبود  $2\text{-opt}, 1\text{-opt}$  برای جستجوی گسترده فضای جواب و جلوگیری از همگراشدن سریع جواب‌ها به عنوان رویکرد حل بهره گرفته شد. به منظور اعتبار سنجی روش حل پیشنهادی، الگوریتم پیشنهادی در نمونه مسئله‌های سائز کوچک و بزرگ با جواب دقیق مقایسه شد که نتایج حاکی از رویکرد مناسب الگوریتم IPSO بود. با توجه به جدید بودن مدل ارائه شده، نمونه مسائل جدیدی ارائه شد که نتایج محاسبات عددی در ۳۰ نمونه مسئله در سائز کوچک نشان‌دهنده قابلیت رویکرد ارائه شده IPSO در حل بهینه مسائل با اندازه کوچک با متوسط انحراف نسبی ۰,۹٪ بود. برای ۲۵ نمونه مسئله در سائز بزرگ، متوسط انحراف نسبی ۹,۵٪ بود.

8. gbest
9. Improved Particle Swarm Optimization (IPSO)
10. test problem
11. Matlab
12. Lingo
13. proportion
14. Range

#### ۸۰ پی نوشتها

1. Makespan
2. Worst-case
3. No-wait Permutation Flow-shop Scheduling
4. Vehicle Routing Problem (VRP)
5. Deadline
6. Short shelf life product
7. pbest

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.

-Chen, Z. L. (2010) "Integrated production and outbound distribution scheduling: Review and extensions", Operations Research, Vol.58, No.1. Pp.130–148.

-Chen, H. K. Hsueh, C. F. and Chang, M. S. (2009) "Production scheduling and vehicle routing with time windows for perishable food

#### ۹. مراجع

-Averbakh, I. and Xue, Z. (2007) "On-line supply chain scheduling problems with Preemption", European Journal of Operational Research, Vol.181, No.1, pp. 500–504.

-Buer, M. G. V., Woodruff, D. L and Olson, R. T. (1999) "Solving the medium newspaper production/distribution problem", European Journal of Operational Research, Vol.115, No.2, pp. 237–253.

-Chandra, P. and Fisher, M. L. (1994) "Coordination of production and distribution

products", *Computers and Operation Research*, Vol.36, No.7, pp. 2311-2319.

-Chen, H. K., Hsue, C. F. and Chang, M. S. (2009) "Production scheduling and vehicle routing with time windows for perishable food products", *Computers and Operation Research*, Vol.36, No.7, pp. 2311-2319.

-Chen, Z. L. and Pundoor, G.(2006)"Order assignment and scheduling in a supply chain", *Operations Research*, Vol. 3, pp. 555-572.

-Chen, Z. L. and Vairaktarakis, G. L. (2005) "Integrated scheduling of production and distribution operations", *Management Science*. Vol.51, No.4, pp.614-628.

-Chen, Z. L. (2004) "Handbook of quantitative supply chain analysis: modeling in the EBusiness era", *Kluwer Academic Publishers: Norwell, MA, USA*.

-Cheng, B. Y., Joseph, Y. T. and Li, K. (2015) "Integrated scheduling of production and distribution to minimize total cost using an improved ant colony optimization method", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 83, pp. 217-225.

-Devapriya, P., Ferrell, W. and Geismar, N. (2006) "Optimal fleet size of an integrated production and distribution scheduling problem for a perishable product", *Working Paper*, *Clemson University*.

-Farahani, P., Grunow, M. and Gunther, H. O. (2012) "Integrated production and distribution planning for perishable food products", *Flexible Service Manufacturing Journal*, Vol. 24, No. 1, pp. 28-51.

-Geismar, H. N., Laporte, G. L. L. and Sriskandarajah, C. (2008) "The integrated production and transportation scheduling problem for a product with a short lifespan", *Informatics Journal on Computing*, No. 20, pp. 21-33.

-HajiaghayiKeshteli, M. and Aminnayeri, M. (2014) "Solving the integrated scheduling of production and rail transportation problem by Keshtel algorithm", *Applied Soft Computing*, Vol. 25, pp. 184-203.

-Lee, C. Y. and Chen, Z. L. (2001) "Machine scheduling with transportation considerations", *Journal of Scheduling*, Vol. 4, No.1, pp. 3-24.

-Liu, Z., Zhang, Y. and Li, M. (2014) "Integrated scheduling of ready-mixed concrete production and delivery", *Automation in Construction*, Vol. 48, pp. 31-43.

-Miller, C. E., Tucker, A. W. and Zemlin, R. A. (1960) "Integer programming formulations and traveling salesman problems", *Journal of the ACM*, Vol. 7, pp. 326-329.

-Madronero, M. D., Peidro, D. and Mula, J. (2015) "A review of tactical optimization models for integrated production and transport routing planning decisions", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 88, Issue C., pp. 513-535

-Peer, E. S., Van Den Bergh, F. and Engelbrecht, A. P. (2003) "Using neighborhoods.

-Pundoor, G. and Chen, Z. L. (2005) "Scheduling a production-distribution system to optimize the tradeoff between delivery tardiness and total distribution cost", *Naval Research Logistics*, Vol. 52, No. 6, pp. 571-589.

-SaidiMehrabad, M., DehnaviArani, S. Evazabadian, F. and Mahmoodian, V. (2015) "An ant colony algorithm (ACA) for solving the new integrated model of job shop scheduling and conflict-free routing of AGVs.", Vol. 86, pp. 2-13.

-Schmid, V., Doerner, K. F. and Laporte, G. (2013) "Rich routing problems arising in supply chain management", *European Journal of Operational Research*, Vol. 228, pp. 435-448.

-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.

-Zegordi, S. H., Itoh, K. and Enkawa, T. (1995) "A knowledgeable simulated annealing scheme for the early/tardy flow shop scheduling problem", International Journal of Production Research., Vol. 33, No.5, pp.1449-1466.

-Zegordi, S. H., Abadi, I. N. K. and BeheshtiNia, M. A. (2007) "A novel genetic

algorithm for solving production and transportation scheduling in a two-stage supply chain", Computers and Industrial Engineering, Vol. 58, No. 3, pp. 373–381.

-Zhong, W. Y. Dosa, G. and Tan, Z. Y. (2007)"On the machine scheduling problem with job delivery coordination", European Journal of Operational Research., Vol. 182, No. 3, pp.1057–1072.

۹. پیوست

مشتری	Y	X
۱	51.45	35.82
۲	51.45	35.81
۳	51.41	35.75
۴	51.26	35.62
۵	51.4	35.64
۶	51.3	35.69
۷	51.52	35.74
۸	51.46	35.74
۹	51.5	35.73
۱۰	51.53	35.73
۱۱	51.5	35.71
۱۲	51.43	35.69
۱۳	51.45	35.73
۱۴	51.42	35.71
۱۵	51.5	35.71
۱۶	51.47	35.71
۱۷	51.52	35.75
۱۸	51.45	35.71
۱۹	51.36	35.7
۲۰	51.33	35.74
۲۱	51.34	35.72
۲۲	51.37	35.72
۲۳	51.314	35.745
۲۴	51.311	35.702
۲۵	51.478	35.7
۲۶	51.491	35.678
۲۷	51.452	35.689
۲۸	51.451	35.673
۲۹	51.498	35.657
۳۰	51.477	35.668
۳۱	51.492	35.658
۳۲	51.302	35.777
۳۳	51.309	35.734
۳۴	51.382	35.775
۳۵	51.333	35.754
۳۶	51.308	35.745

یکپارچگی زمانبندی تولید و توزیع در زنجیره تأمین فرآورده‌های لبنی با استفاده از الگوریتم بهبودیافته بهینه‌سازی ...

۳۷	51.302	35.728
۳۸	51.402	35.686
۳۹	51.3938	35.682
۴۰	51.355	35.68
۴۱	51.399	35.667
۴۲	51.361	35.683
۴۳	51.349	35.662
۴۴	51.366	35.635
۴۵	51.405	35.72
۴۶	51.389	35.721
۴۷	51.417	35.715
۴۸	51.404	35.716
۴۹	51.401	35.748
۵۰	51.398	35.714
۵۱	51.489	35.626
۵۲	51.54	35.61
۵۳	51.454	35.662
۵۴	51.447	35.642

سید حسام الدین ذگردی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۶۶ (۱۹۸۷) از دانشگاه صنعتی اصفهان و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع در سال ۱۳۶۹ (۱۹۹۰) را از دانشگاه صنعتی شریف اخذ نمود. در سال ۱۳۷۴ (۱۹۹۴) موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه صنعتی توکیو (ژاپن) گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مسایل مدیریت تولید و مدلسازی ریاضی، طراحی جایابی و مکان یابی، الگوریتم های فراابتکاری، مدیریت زنجیره تامین بویژه مدیریت اختلال در زنجیره، ارزیابی عملکرد و بهره وری و مدیریت کیفیت بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد در دانشگاه تربیت مدرس است.



فاطمه مرندی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع گرایش برنامه ریزی و تحلیل سیستمها را در سال ۱۳۸۷ از دانشگاه الزهرا و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع گرایش صنایع را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود. در سال ۱۳۹۳ موفق به قبولی در دوره دکتری مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی امیرکبیر گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان زمانبندی، یکپارچگی، برنامه ریزی تولید، بهینه سازی، مدلسازی ریاضی و مدیریت



زنجیره تامین است.