

## تحلیل اثر تولید چندمکانی در افزایش توان کاهش مخاطرات و آسیب پذیری در زنجیره تأمین



محمدعلی بهشتی نیا\*

استادیار، دانشکده مهندسی مواد و صنایع، دانشگاه سمنان

مصطفی مقیمی (nmmoghimi@gmail.com)

کارشناس ارشد MBA، دانشکده مهندسی مواد و صنایع، دانشگاه سمنان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۴/۳/۱۶ - تاریخ پذیرش ۱۳۹۴/۶/۲۵)

### چکیده

مخاطرات در حوزه‌های مختلف ابعاد و جوانب مختلفی دارد. امروزه با توجه به حساسیت موجود در صنایع، افزایش توان سازمان‌ها در مواجهه با بحران‌ها و مقابله با عدم قطعیت‌ها و ریسک‌های تولید ضروری به نظر می‌رسد. یکی از راه‌هایی که برای مقابله با این ریسک‌ها مطرح می‌شود، افزایش چابکی، پایداری و انعطاف‌پذیری یک فرایند تولیدی است. در این تحقیق، نحوه افزایش توان برخورد با بحران‌ها و ریسک‌ها در بخش تولید با رویکرد مدیریت یکپارچه فرایند تولید، استفاده از ناوگان حمل‌ونقل اشتراکی و تولید چندمکانی با هدف کاهش تأخیر در تأمین مواد و قطعات اولیه مورد نیاز شرکت تولیدکننده بررسی می‌شود. به منظور حل مسئله از یک الگوریتم ژنتیک به نام الگوریتم ژنتیک پویا استفاده شده است. سپس به تحلیل نتایج در حالت تک‌مکانی و چندمکانی پرداخته می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که حالت چندمکانی موجب تأخیر کمتری در تأمین قطعات و مواد اولیه برای شرکت سازنده می‌شود. همچنین عواملی نظیر افزایش تعداد تأمین‌کنندگان، تعداد وسایل نقلیه و کاهش تعداد سفارش‌ها، مقدار زمان‌های پردازش و حمل‌ونقل موجب کاهش تأخیر در زنجیره تأمین می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم ژنتیک، تأخیر، تولید چندمکانی، زنجیره تأمین، کاهش آسیب‌پذیری، مخاطرات.

### مقدمه

در دهه‌های اخیر مسئله وجود رابطه مستقیم بین توسعه‌نیافتگی و آسیب‌پذیری در برابر مخاطرات، توجه به مخاطرات را فزونی بخشیده است [۲]. مطالعات در زمینه مخاطرات به بررسی چگونگی سالم ماندن مردم، جلوگیری از خسارات مالی یا جانی، واکنش مناسب به محیط و سالم ماندن محیط می‌پردازد [۲]. مخاطره‌شناسی در اصل برای جلوگیری از ورود یک سیستم به بحران ضروری است [۲] و تحلیل خطر و شدت آن در توان جلوگیری از بروز مخاطرات ناشی از آن از اهمیت زیادی برخوردار است [۱]. مخاطره در حوزه‌های متفاوت ابعاد و جوانب مختلفی دارد. در بخش تولید مهم‌ترین عامل تهدید، عدم موفقیت یک شرکت تولیدکننده در بازار رقابت، حذف از آن است. حذف شرکت‌ها سبب بروز مشکلاتی در اقتصاد کلان نظیر کاهش تولید ناخالص ملی، افزایش بیکاری و کاهش درآمد سرانه مردم نیز خواهد شد.

در این مقاله به معرفی ساختاری مناسب برای یک شرکت تولیدکننده به منظور افزایش رقابت‌پذیری آن در بازار رقابتی و کاهش ریسک حذف از این بازار می‌پردازیم. به این منظور، مدیریت و برنامه‌ریزی زمانی یکپارچه در یک زنجیره تأمین سه‌لایه شامل تأمین‌کنندگان، ناوگان حمل‌ونقل اشتراکی<sup>۱</sup> و یک شرکت تولیدکننده چندمکانی<sup>۲</sup> بررسی شده است.

زنجیره تأمین<sup>۳</sup> مجموعه شرکت‌هایی است که از نظر حقوقی مستقل از یکدیگرند و در تأمین محصولات نهایی با یکدیگر ارتباط داشته و هر یک وظیفه‌ای به‌عهده دارند. سه مؤلفه در نظر گرفته‌شده در این مسئله عبارتند از مدیریت یکپارچه، ناوگان حمل‌ونقل اشتراکی و شرکت سازنده چندمکانی که وظیفه هر یک از آنها در کاهش مخاطرات در بخش تولید در ادامه توضیح داده می‌شود:

### مدیریت یکپارچه

با جهانی شدن اقتصاد و افزایش رقابت در عرصه صنعت، شرکت‌ها به‌منظور بقای خود در بازار رقابتی، به‌جای مدیریت انفرادی شرکت، به مدیریت یکپارچه اجزای زنجیره تأمین روی آوردند. به‌عبارت دیگر اگر یک تولیدکننده‌ای، قطعه‌سازان خود را مدیریت کند تا هزینه‌های خود را کاهش یا کیفیت قطعات را افزایش دهند، در نهایت منفعت کلی که شامل افزایش کیفیت یا کاهش قیمت محصولات خود و در نتیجه افزایش سود می‌شود، نصیب خود او خواهد شد. بسیاری از شرکت‌ها که تنها به فکر مدیریت و بهینه کردن خود هستند، نمی‌توانند در بازار

1. Shared transportation navigation

2. Multi-site manufacturer

3. Supply chain

رقابتی به صورت مؤثری عمل کنند و همین امر به افزایش چشمگیر خطر حذف آنها در بازار رقابتی منجر خواهد شد.

### ناوگان حمل‌ونقل اشتراکی

استفاده از مدیریت یکپارچه، امکان به‌کارگیری ناوگان حمل‌ونقل اشتراکی را فراهم می‌آورد که خود این امر به کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و در نتیجه کاهش قیمت تمام‌شده محصولات نهایی و افزایش توان رقابتی شرکت تولیدکننده منجر می‌شود. در حمل‌ونقل اشتراکی هر یک از قطعه‌سازان به جای حمل مستقل می‌توانند از وسیله نقلیه مشترکی برای حمل محصولات خود به شرکت سازنده استفاده کنند. به طور مثال چند قطعه‌ساز در یک حوزه مشترک جغرافیایی، به جای ارسال چند وسیله نقلیه جداگانه، از یک وسیله نقلیه مشترک با ظرفیت حمل بیشتر برای حمل کالاهای خود به شرکت سازنده استفاده می‌کنند. این امر به کاهش تعداد دفعات و هزینه‌های حمل‌ونقل منجر می‌شود.

### شرکت تولیدکننده چندمکانی

در سیستم‌های تولیدی سنتی از یک کارخانه به منظور تولید استفاده می‌شود. این امر ریسک مختل شدن فرایند تولید را بسیار زیاد می‌کند. مواردی مانند تحریم، حمله به سایت تولید، حمله به راه‌های ارتباطی، حملات تروریستی در منطقه، بلایای طبیعی، شورش‌ها و اعتصابات کارگری، افزایش یا کاهش تقاضا در شرایط خاص سیاسی یا اجتماعی و مشکلات اساسی خطوط تولید، همگی مخاطراتی‌اند که موجب مختل شدن فرایند تولید می‌شوند. در صورتی که شرکت‌های تولیدی در چند مکان اقدام به تولید محصولات خود کنند، در صورت مختل شدن فرایند تولید در یک مکان (به‌علت یکی از موارد اشاره‌شده)، امکان تولید در مکان‌های دیگر وجود خواهد داشت. علاوه بر این، تقسیم شدن واحد تولیدی به چند مکان جداگانه، موجب کاهش هزینه‌ها و تأخیر در تأمین مواد و قطعات اولیه نیز خواهد شد.

ممکن است هزینه ناشی از برنامه‌ریزی‌های کاهش مخاطرات در نگاه اول غیرمنطقی به نظر برسد. در مقابل باید به این نکته توجه داشت که در صورت بروز آسیب احتمالی، چه هزینه‌هایی را باید متحمل شد؟ برای مثال آیا طراحی یک زنجیره تأمین با قدرت تحمل فشار به‌هنگام حملات تروریستی به زیرساخت‌های حمل‌ونقل هزینه‌برتر است یا از چرخه خارج شدن یک یا چند سایت راهبردی به‌علت تخریب راه‌های حمل‌ونقل؟ اگر بپذیریم که کاهش خطر با هزینه همراه است و میزان آن وابسته به نوع خطر است، پذیرفته‌ایم که ایمنی خریدنی است [۱]. پس

باید خطرهای ارزیابی و سرمایه‌گذاری در این زمینه مشخص شود. این سرمایه‌گذاری تا جایی منطقی است که سود ناشی از کاهش خطر با هزینه لازم برای آن برابر یا بیشتر از آن باشد [۱]. این تحقیق سعی دارد تأثیر تولید چندمکانی در زمان‌بندی یکپارچه یک زنجیره تأمین با حمل‌ونقل اشتراکی را در کاهش تأخیر در تأمین مواد اولیه و قطعات مورد نیاز تولید بررسی کند. هدف تعیین نحوه تخصیص سفارش‌ها به قطعه‌سازان و وسایل نقلیه، تعیین اولویت‌های تولید برای قطعه‌سازان و اولویت حمل توسط وسایل نقلیه به نحوی است که قطعات و مواد اولیه با حداقل تأخیر به شرکت سازنده محصولات نهایی تحویل داده شوند. نوع مسئله حمل‌ونقل اشتراکی در نظر گرفته شده در مسئله از نوع مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP)<sup>۱</sup> است. مسئله VRP دارای نسخه‌های متعددی است که در این تحقیق حالتی از آن در نظر گرفته می‌شود که چند وسیله نقلیه ناهمگن وظیفه جمع‌آوری سفارش‌ها از تأمین‌کنندگانی را که در نقاط جغرافیایی متفاوتی پراکنده‌اند بر عهده دارند. تفاوت مسئله مورد بررسی در این تحقیق با مسئله VRP این است که در مسئله VRP فرض بر این است که مقدار کالایی که باید از هر تأمین‌کننده حمل شود، مشخص است؛ اما در مسئله مورد بررسی در این تحقیق، فرض می‌شود که تخصیص سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان و همچنین تعیین توالی تولید آنها، جزو متغیرهای تصمیم مسئله است.

## مرور ادبیات

در این بخش به بررسی دو موضوع ریسک در زنجیره تأمین و همچنین زمان‌بندی در زنجیره تأمین پرداخته می‌شود.

### ۱. ریسک در زنجیره تأمین

زنجیره تأمین جهانی به سمت پیچیدگی و در نتیجه آسیب‌پذیری و تخریب بیشتر ناشی از آن در حرکت است [۵]. نمونه‌های بسیاری از شکست شدید زنجیره‌های تأمین در اثر مخاطرات موجود است. قحطی در سومالی، حمله یازدهم سپتامبر، زلزله و سونامی ژاپن، سیل تایلند، سیل پاکستان، درگیری‌های منطقه خاورمیانه، تحریم ایران (دارویی، تکنولوژی، قطعات راهبردی و ...) توسط برخی کشورها، توفان گردوغبار در سراسر ایران به‌خصوص در شهرهای جنوبی، نوسان شدید تقاضا در بازارهای مختلف ایران به‌علت عدم ثبات و ... ضربات شدیدی را از طریق تأمین نشدن به‌موقع تجهیزات لازم برای مقابله با تأثیرات این اتفاقات (از قبیل دارو،

غذا، امکانات بهداشتی، ناکارایی تجهیزات به‌علت تأمین نشدن قطعات، سرعت کم واکنش بعد از فرونشست مخاطرات و ...) به زنجیره‌های تأمین تحمیل کردند. این مخاطرات سبب افزایش ریسک در زنجیره‌های تأمین و در نتیجه بروز مخاطره‌ای جدید در یک زنجیره تأمین می‌شوند و در نهایت یک یا چند هدف از اهداف زنجیره تأمین محقق نمی‌شود که بسته به هدف از دست‌رفته در کل یا قسمتی از زنجیره در بهترین حالت اختلالات مالی ایجاد می‌شود و در حالت‌های وخیم‌تر، خطر ورشکستگی (در صنایع خودرو، فولاد و ...)، خطرهای جانی (در سازمان‌های بهداشتی و درمانی) و خطرهای تهدیدکننده، آینده یک نسل (سازمان‌های تصمیم‌گیرنده راهبردی)، یک سازمان، یک شهر، یک کشور یا یک منطقه را تهدید می‌کند. علاوه بر مخاطرات بیرونی، زنجیره‌های تأمین با مخاطرات درونی از قبیل نوسانات تقاضا، تغییر ظرفیت تأمین‌کنندگان، زمان رسیدن مواد خام، نوسان در نرخ تبادلات و ... مواجه‌اند [۶]. برخی از راهبردهای معمول برای کاهش ریسک‌های زنجیره تأمین شامل مدیریت آسیب‌پذیری از طریق چابکی [۱۳] و قابلیت انعطاف [۲۱] در پژوهش‌های انجام‌گرفته بررسی شده‌اند. ریسک‌ها به‌طور کلی براساس یک دیدگاه، به شش دسته تأمین، تولید، تقاضا، لجستیک، ریسک با عوامل طبیعی کنترل‌ناپذیر و ریسک‌های اجتماعی کنترل‌ناپذیر [۱۷] و براساس دیدگاهی دیگر، به پنج دسته تأمین، تقاضا، فرایند، کنترل و محیطی [۹] و نیز در دیدگاهی دیگر به چهار دسته تأمین، تقاضا، عملیاتی و ایمنی [۱۶]، یا تأمین، تقاضا، شکست‌ها و حوادث طبیعی [۱۱] تقسیم می‌شوند.

## ۲. زمان‌بندی در زنجیره تأمین

لی و همکاران [۱۲] به بررسی برنامه‌ریزی پیشرفته و زمان‌بندی در زنجیره تأمین پرداخته‌اند. در مسئله آنها فرض می‌شود که هر سفارش دارای یک تاریخ تحویل است. محصولاتی که در هر سفارش باید تکمیل شوند، باید به ترتیب در مراحل اتصال<sup>۱</sup> و مونتاژ پردازش شوند. ممکن است بین عملیات لازم برای تکمیل هر قلم محدودیت‌های تقدمی وجود داشته باشد. گنونی و همکاران [۸] به بررسی برنامه‌ریزی تولید در سیستم‌های تولید چندمکانی<sup>۲</sup> پرداخته‌اند. آنها برای حل مسئله از ترکیب مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط و شبیه‌سازی استفاده کرده‌اند. لین و همکاران [۱۵] به مطالعه زمان‌بندی در یک زنجیره تأمین دومرحله‌ای با هدف کمینه‌سازی حداکثر زمان تکمیل کارها پرداختند. آنها فرض کردند که در مرحله اول

1. Fabrication  
2. Multi site manufacturing systems

دو تأمین‌کننده و در مرحله دوم یک شرکت سازنده که قطعات تولیدشده توسط تأمین‌کنندگان را مونتاژ می‌کند وجود دارند. چایهان و همکاران [۴] به بررسی مسئله زمان‌بندی در زنجیره تأمین با هدف کمینه کردن حداکثر زمان تکمیل کارها پرداخته‌اند. لی و ومر [۱۴] به بررسی مسئله ترکیب‌بندی زنجیره تأمین با در نظر گرفتن محدودیت منابع پرداخته‌اند. کامینسکای و کایا [۱۰] شبکه‌های متفاوتی از زنجیره تأمین را بررسی کرده و الگوریتم‌های ابتکاری مختلفی برای تعیین موجودی، زمان‌بندی سفارش‌ها و تاریخ‌های تحویل مطمئن برای زنجیره تأمین ارائه کردند. وانگ و چن [۲۳] به بررسی زمان‌بندی لجستیک در یک زنجیره تأمین متشکل از یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و یک مشتری با هدف کمینه کردن مجموع هزینه‌های موجودی و حمل‌ونقل پرداختند. وانگ و چنگ [۲۴] به بررسی مسئله زمان‌بندی عرضه و تحویل سفارش‌ها با هدف کمینه‌سازی بازه ساخت پرداختند. در مسئله آنها یک وسیله نقلیه با ظرفیت بارگذاری محدود و زمان حمل ثابت، سفارش‌ها را از انبار تأمین‌کنندگان به کارخانه انتقال می‌دهد. یک وسیله نقلیه دیگر نیز که دارای ظرفیت محدود است، کالاهایی را بین کارخانه و مشتریان حمل می‌کند. آنها نشان دادند که مسئله از نوع NP-hard است و یک الگوریتم ابتکاری برای حل مسئله ارائه کردند. ذگردی و همکاران [۲۶] الگوریتم ژنتیک جدیدی را برای یک زنجیره تأمین دومرحله‌ای تک‌کارخانه‌ای ارائه دادند. آنها از تأمین‌کنندگانی با سرعت‌های متفاوت و ناوگان حمل‌ونقل با ظرفیت‌های متفاوت استفاده کردند. آنها تأمین‌کنندگان را به نواحی جغرافیایی تقسیم و از فاصله بین تأمین‌کنندگان در یک ناحیه چشم‌پوشی کردند. ذگردی و بهشتی‌نیا [۲۷] یکپارچگی حمل‌ونقل در زنجیره تأمین دومرحله‌ای تک‌کارخانه‌ای را با در نظر گرفتن تخصیص کارها به تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن نواحی جغرافیایی بررسی کردند. رستمیان دلاور و همکاران [۱۸] یک الگوریتم ژنتیک به‌منظور یکپارچگی زمان‌بندی تولید و حمل‌ونقل هوایی ارائه کردند. پس از ارائه مدل ریاضی مسئله، دو الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله پیشنهاد شده است. همچنین از روش تاگوچی مقدار پارامترهای بهینه برای الگوریتم‌های ژنتیک به‌دست آمده است. آوریباخ و بیسان [۳] به بررسی مسئله زمان‌بندی بر خط<sup>۱</sup> در یک زنجیره تأمین دوسطحی با چند مشتری پرداختند و یک الگوریتم تخمینی برای آن ارائه کردند. در مسئله آنها قطع عملیات مجاز بوده و تحویل سفارش‌ها به‌صورت دسته‌ای در نظر گرفته شده است. تابع هدف، کمینه کردن مجموع جریان سفارش‌ها و هزینه‌های تحویل کالاها لحاظ شده است. ساویک [۱۹] به بررسی ارتباط

زمان‌بندی با انتخاب تأمین‌کنندگان در حالت وجود ریسک‌های قطع پرداخت و یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و احتمالی برای مسئله ارائه کرد. در این تحقیق فرض شد که تأمین‌کنندگان دو دسته‌اند: دسته اول تأمین‌کنندگانی‌اند که داخل ناحیه تولیدی شرکت اصلی قرار دارند و دسته دوم تأمین‌کنندگانی‌اند که خارج این ناحیه واقع‌اند. تأمین‌کنندگان دسته اول هزینه زیادی را به سیستم تحمیل می‌کنند، ولی مطمئن‌ترند. این در حالی است که تأمین‌کنندگان دسته دوم هزینه کمتری دارند، ولی نامطمئن‌ترند. تابع هدف کمینه کردن هزینه‌ها و افزایش سطح سرویس است.

بررسی ادبیات موضوع نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی زمانی یکپارچه تولید و حمل‌ونقل، با در نظر گرفتن حمل‌ونقل اشتراکی از نوع VRP، چه در حالت تک‌مکانی و چه در حالت چندمکانی تا کنون بررسی نشده است. در بخش بعد به تعریف مسئله و بیان مفروضات آن پرداخته می‌شود.

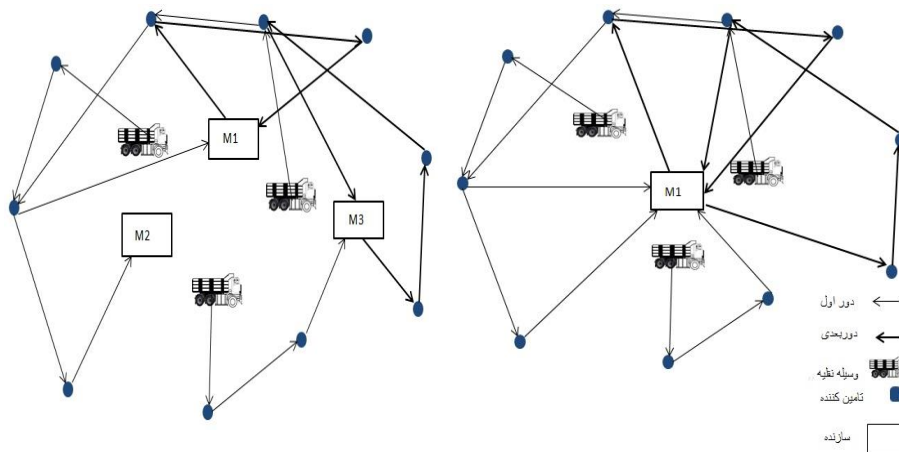
### بیان مسئله

همان‌گونه که اشاره شد این مقاله به بررسی تأثیر تولید چندمکانی در زمان‌بندی یکپارچه یک زنجیره تأمین با حمل‌ونقل اشتراکی با هدف کاهش تأخیر در تأمین مواد اولیه و قطعات مورد نیاز تولید می‌پردازد. فرضیه‌های مسئله به صورت زیر است:

- تعداد  $n$  سفارش وجود دارد که باید به تأمین‌کنندگان تخصیص یابد. هر سفارش نیاز به پردازش توسط یک و فقط یک تأمین‌کننده دارد؛
- تعداد  $m$  تأمین‌کننده وجود دارند که قادر به پردازش سفارش‌ها هستند و سفارش‌ها باید به آنها تخصیص یابند. این تأمین‌کنندگان در نقاط مختلف جغرافیایی پراکنده‌اند؛
- برای مشخص شدن توانایی یا ناتوانی تولید تأمین‌کننده  $m$  برای پردازش سفارش  $n$ ، از فرض تخصیص سفارش استفاده شده است که از دو جهت توانایی تولید و سرعت تولید برای هر تولیدکننده تعریف می‌شود؛
- تعداد  $1$  وسیله نقلیه وظیفه حمل سفارش‌ها از تأمین‌کنندگان به شرکت تولیدکننده را بر عهده دارند؛
- ظرفیت حمل وسایل نقلیه متفاوت است؛
- حجم هر سفارش مختلف است. به عبارت دیگر هر سفارش ظرفیت متفاوتی از وسایل نقلیه را اشغال می‌کند؛

- هر وسیله نقلیه می تواند چند سفارش مختلف را در یک محموله به شرکت سازنده حمل کند (حتی اگر این سفارش ها به تأمین کنندگان مختلفی تخصیص یافته شده باشند). این امر سبب کاهش هزینه های حمل و نقل و استفاده مؤثرتر از آنها می شود؛
- هر وسیله نقلیه پس از حمل کالا از شرکت های تأمین کننده به شرکت های سازنده از مسئله حذف نمی شود، بلکه می تواند دوباره استفاده شود؛
- تعداد F سایت مختلف تولیدی وجود دارند که در نقاط مختلف جغرافیایی پراکنده اند؛
- فاصله زمان های حمل بین تأمین کنندگان و همچنین زمان های حمل تا هر یک از مکان های تولید مشخص است؛
- مقصد نهایی هر سفارش یکی از سایت های تولیدی است که از ابتدا مشخص است؛
- سفارش هایی که باید توسط یک وسیله نقلیه و توسط یک محموله حمل شوند باید دارای مقدار یکسانی باشند؛
- مجموع حجم سفارش هایی که به یک محموله از یک وسیله نقلیه اختصاص می یابد باید کمتر از ظرفیت وسیله نقلیه باشد.

هدف تعیین چگونگی تخصیص سفارش ها به قطعه سازان و وسایل نقلیه، تعیین اولویت های تولید برای قطعه سازان و اولویت حمل توسط وسایل نقلیه به نحوی است که قطعات و مواد اولیه با حداقل تأخیر به شرکت سازنده محصولات نهایی تحویل داده شوند. در شکل ۱ حالت تولید تک مکانی و چند مکانی در مسئله ای با ۱۰ تأمین کننده و ۳ وسیله نقلیه مقایسه شده اند.



شکل ۱. مقایسه حالت تک مکانی و چند مکانی (شکل راست: تک مکانی، شکل چپ: چند مکانی)



گری و همکاران [۷] نشان دادند که حالت خاصی از مسئله، وقتی که تعداد مکان‌های تولید، وسایل نقلیه و تعداد تأمین‌کنندگان برابر ۱ و همچنین حجم سفارش‌ها و ظرفیت وسیله نقلیه برابر ۱ باشد، دارای پیچیدگی حل از نوع NP-hard است، بنابراین پیچیدگی حل مسئله ما نیز حداقل از نوع NP-hard خواهد بود. در نتیجه به‌دست آوردن جواب بهینه برای مسائل متوسط یا بزرگ در زمان معقول امکان‌پذیر نیست و باید از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری برای حل مسئله استفاده کرد. در بخش بعد از یک الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله استفاده شده است.

### الگوریتم ژنتیک پویا

همان‌گونه که ذکر شد، به‌علت NP-hard بودن مسئله باید از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری برای حل مسئله استفاده کرد. به‌علت اینکه در ادبیات موضوع استفاده از الگوریتم ژنتیک از اقبال بیشتری نسبت به سایر روش‌های فراابتکاری برخوردار بوده است، برای حل مسئله سعی شد از الگوریتم ژنتیک استفاده شود. یکی از مهم‌ترین گام‌ها در حل یک مسئله به‌وسیله الگوریتم ژنتیک، ارائه یک سیستم کدینگ مناسب است تا بتواند بین هر جواب در فضای مسئله یک جواب در فضای الگوریتم ژنتیک به‌وجود آورد. در این قسمت به‌منظور حل مسئله یک الگوریتم ژنتیک ارائه می‌شود که الگوریتم ژنتیک پویا نامیده شده است و دارای کروموزوم‌هایی با ساختار متغیر است. ساختار کروموزوم در الگوریتم ژنتیک ارائه‌شده دویعدی است. بعد عمودی نشان‌دهنده تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه و بعد افقی نشان‌دهنده سفارش‌های تخصیص‌یافته و ترتیب آنها به هر یک از تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه است. برای هر یک از تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه یک رشته آرایه وجود دارد که طول و ترتیب عناصر آن نشان‌دهنده تعداد و ترتیب سفارش‌های تخصیص‌یافته به آن تأمین‌کننده یا وسیله نقلیه است. اگر تعداد سفارش‌های تخصیص‌یافته به تأمین‌کنندگان یا وسیله نقلیه کم یا زیاد شود، طول رشته متناظر نیز کم یا زیاد خواهد شد. وجه تمایز الگوریتم ژنتیک پویا از الگوریتم‌های ژنتیک کلاسیک این است که در الگوریتم‌های ژنتیک کلاسیک طول کروموزوم‌ها ثابت است، در صورتی که در الگوریتم ژنتیک ارائه‌شده کروموزوم از چند رشته تشکیل شده که طولشان متغیر است. برای توضیح بیشتر، فرض کنید پنج سفارش، دو تأمین‌کننده و دو وسیله نقلیه داریم. وسیله نقلیه ۱ قادر به حمل دو محموله و وسیله نقلیه ۲ قادر به حمل سه محموله است. فرض کنید سفارش‌های ۱ و ۴ به تأمین‌کننده ۱ و سفارش‌های ۲، ۳ و ۵ به تأمین‌کننده ۲ اختصاص یافته‌اند. اولویت پردازش در تأمین‌کننده ۱ ابتدا با سفارش ۱ و سپس با سفارش ۴ و اولویت پردازش در تأمین‌کننده ۲ دوم به ترتیب با سفارش‌های ۲، ۳ و ۵ است. در بخش حمل‌ونقل نیز

سفارش‌های ۱، ۳، ۴ و ۵ باید توسط وسیله نقلیه ۱ و سفارش ۲ نیز باید توسط وسیله نقلیه ۲ حمل شوند. اولویت حمل در وسیله نقلیه ۱ نیز به ترتیب با سفارش‌های ۵، ۳، ۱ و ۴ است. آن‌گاه ساختار کروموزومی بیان‌کننده جواب بالا، به صورت نشان‌داده شده در شکل ۲ خواهد بود. در ادامه، دیگر پارامترها و عملگرهای این الگوریتم ژنتیک شرح داده می‌شوند.

تأمین‌کننده ۱	۱	۴		
تأمین‌کننده ۲	۲	۳	۵	
وسیله نقلیه ۱	۵	۳	۱	۴
وسیله نقلیه ۲	۲			

شکل ۲. ساختار کروموزوم در الگوریتم ژنتیک پویا

همچنین نحوه دسته‌بندی سفارش‌های تخصیص‌یافته به یک وسیله نقلیه به محموله‌های مختلف آن وسیله نقلیه براساس الگوریتم زیر تعیین می‌شود:

اولویت سفارش‌های اختصاص‌داده شده به وسیله نقلیه مورد نظر را براساس ساختار کروموزوم در نظر بگیرید.

سفارش با اولویت اول را به اولین دسته (B1) اختصاص دهید.

به همین ترتیب ژامین سفارش از نظر اولویت را در نظر بگیرید و آن را به دسته دارای کوچک‌ترین اندیس اختصاص دهید، به طوری که تعداد سفارش‌های تخصیص‌داده شده به هر دسته از ظرفیت وسیله نقلیه بیشتر نشود. در صورتی که اندازه سفارش‌های تخصیص‌داده شده به هر دسته از ظرفیت ماشین بیشتر شود، دسته جاری را ببندید و یک دسته دیگر با اندیس جدید ایجاد کنید.

تابع شایستگی برای هر کروموزوم نیز برابر  $(MaxT - T)$  است، که  $T$  نشان‌دهنده مقدار تابع هدف کروموزوم مربوط است و از زمان‌بندی کروموزوم به دست می‌آید و  $Max T$  بیانگر حداکثر مقدار  $T$  در بین کروموزوم‌های جمعیت فعلی است. به منظور انجام دادن عمل تلفیق در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی از عملگر تلفیق یکنواخت پارامتری شده<sup>۱</sup> استفاده شده است. به این منظور دو عدد تصادفی بین ۰ و ۱ ایجاد می‌شود. اگر این عدد تصادفی اول (دوم) کمتر از ۰/۵ بود، آن‌گاه رشته‌های مرتبط با تأمین‌کنندگان (وسایل نقلیه) در کروموزوم فرزند از والد ۱ و در غیر این صورت از والد ۲ به ارث برده می‌شوند.

به‌منظور اجرای عمل جهش نیز از عملگرهای جهش وارونگی<sup>۱</sup> و تعویض<sup>۲</sup> استفاده می‌شود. تعداد در عملگر وارونگی دو سفارش از یک تأمین‌کننده (وسیله نقلیه) انتخاب و توالی سفارش‌ها بین آنها تعویض می‌شود. در عملگر تعویض دو سفارش از دو تأمین‌کننده (وسیله نقلیه) مختلف انتخاب و جای آن دو با یکدیگر تعویض می‌شود. علت استفاده از عملگر دوم این است که عملگر وارونگی تنها موجب تغییر در توالی سفارش‌ها می‌شود و تخصیص سفارش‌ها را تغییر نمی‌دهد؛ بنابراین از عملگر جابه‌جایی به‌منظور ایجاد این تغییر استفاده شده است.

برای انتخاب جمعیت بعدی، ابتدا این کروموزوم‌ها براساس تابع شایستگی آنان به‌ترتیب نزولی مرتب می‌شوند. سپس تعدادی از کروموزوم‌ها که بهترین مقدار تابع هدف را دارند، براساس روش نخبه‌گرایی به‌طور مستقیم به نسل بعد منتقل می‌شوند. دیگر کروموزوم‌ها نیز براساس روش چرخ رولت<sup>۳</sup> به نسل بعد منتقل می‌شوند. تعداد کروموزوم‌هایی که به‌روش نخبه‌گرایی به نسل بعد منتقل می‌شوند، درصدی از اندازه جمعیت اولیه است. این درصد جزو پارامترهای الگوریتم است و با best نشان داده می‌شود. معیار توقف برای الگوریتم بدین صورت است که اگر بهترین مقدار تابع شایستگی کروموزوم‌ها در چند نسل متوالی بهبودی نیابد، الگوریتم به پایان می‌رسد. تعداد این تکرارهای متوالی توسط پارامتری به‌نام termination مشخص می‌شود.

### نتایج محاسباتی

پس از کدنویسی الگوریتم پیشنهادی، این الگوریتم روی تعداد زیادی مسائل تصادفی اجرا شد. در این بخش ابتدا ساختار مسائل تصادفی ایجادشده به‌منظور پوشش طیف متنوعی از مسائل، بررسی شده و سپس به مقایسه و ارزیابی الگوریتم پیشنهادی پرداخته می‌شود. کلیه برنامه‌های کامپیوتری این تحقیق با زبان برنامه‌نویسی Matlab R2013a نوشته و توسط یک کامپیوتر Intel Core i5, 2.6 GHz اجرا شده‌اند. پس از اجراهای متعدد و به‌صورت تجربی مشخص شد که مقادیر ۱۰۰ برای اندازه جمعیت، ۰/۷ برای نرخ تلفیق، ۰/۲ برای نرخ جهش، ۰/۲۵ برای پارامتر best و ۵۰ برای پارامتر termination منجر به جواب‌های به‌نسبت خوب در زمان حل معقول می‌شوند.

---

1. Reverse operator  
2. Swap operator  
3. Roulette wheel

در این بخش ابتدا ساختار مسائل تصادفی ایجاد شده به منظور پوشش دامنه متنوعی از مسائل تعیین می‌شود. مسئله مورد بررسی دارای پارامترهای مختلفی است که برای برخی از آنها سطوحی چون بالا، پایین و متوسط در نظر گرفته شده و به هفت دسته تقسیم شده‌اند که عبارتند از: ۱. تعداد سفارش‌ها، ۲. تعداد تأمین‌کنندگان، ۳. تعداد وسایل نقلیه، ۴. زمان پردازش، ۵. زمان حمل، ۶. حجم هر سفارش، و ۷. ظرفیت وسایل نقلیه. علاوه بر این سه سناریو نیز برای تعداد مکان‌های تولید در نظر گرفته شده است.

برای پارامترهای تعداد سفارش، تعداد تأمین‌کنندگان و تعداد وسایل نقلیه سه سطح پایین، متوسط و بالا در نظر گرفته شده است. این سطوح برای پارامتر تعداد سفارش‌ها به ترتیب برابر ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. برای تعداد تأمین‌کنندگان نیز سه سطح در نظر گرفته شده است. در سطح پایین، تعداد تأمین‌کنندگان به صورت تصادفی از توزیع یکنواخت  $U[1,5]$  و در سطوح متوسط و بالا به ترتیب از توزیع‌های یکنواخت  $U[5,10]$  و  $U[10,15]$  تعیین می‌شود. این رویکرد برای پارامتر تعداد وسایل نقلیه نیز در نظر گرفته شده است. در سطوح پایین، متوسط و بالا، پارامتر تعداد وسایل نقلیه به ترتیب از توزیع‌های یکنواخت  $U[1,5]$ ،  $U[5,10]$  و  $U[10,15]$  تعیین می‌شود. برای پارامترهای زمان‌های پردازش و زمان‌های حمل تنها دو سطح پایین و بالا در نظر گرفته شده است. سطوح پایین و بالا برای پارامترهای زمان‌های پردازش و همچنین زمان حمل به ترتیب توزیع‌های یکنواخت  $U[1,20]$  و  $U[20,30]$  در نظر گرفته شده‌اند. برای دیگر پارامترها تنها یک سطح متوسط در نظر گرفته شده است. حجم هر سفارش به صورت تصادفی از توزیع یکنواخت  $U[1,5]$ ، ظرفیت حمل هر وسیله نقلیه به صورت تصادفی از توزیع یکنواخت  $U[5,20]$  و موعدهای تحویل از توزیع یکنواخت  $U[30,60]$  تعیین می‌شود. سه سناریو برای پارامتر تعداد مکان‌های تولید در نظر گرفته می‌گیریم. در سناریوی اول تعداد مکان‌های تولید برابر ۱ در نظر گرفته شده است که بیانگر تولید تک‌مکانی است. برای سناریوهای دوم و سوم نیز تعداد مکان‌های تولید به ترتیب برابر ۲ و ۳ در نظر گرفته شده است. از ترکیب این حالت‌ها برای پارامترها ۳۲۴ مسئله به دست می‌آید ( $3 \times 3 \times 3 \times 2 \times 2 \times 3$ ). پس از ایجاد تصادفی این ۳۲۴ مسئله، آنها توسط الگوریتم پیشنهادی حل شده‌اند که به ارائه نتایج حاصل از حل آنها می‌پردازیم. جدول ۱ به مقایسه نتایج حاصل از هر سناریو به‌ازای مختلف می‌پردازد. در این جدول میانگین تأخیرها در هر سناریو و به‌ازای مختلف برای پارامترها نشان داده شده است.

جدول ۱. مقایسه سناریوهای مختلف در حالت‌های مختلف

تعداد سفارش‌ها		زمان پردازش سفارش‌ها		
۱۰	۵۰	۱۰۰	حالت ۱	حالت ۲
۸۱۸/۶	۲۱۶۰/۷	۴۰۰۰/۷	۲۲۳۴/۶	۲۴۲۱/۴
۹۰۵/۱۱	۲۰۷۵/۹	۳۸۰۸/۸	۲۱۷۷/۵	۲۳۴۹/۹
۷۹۰/۷۷	۲۰۴۸/۱	۳۸۹۳/۷	۱۹۱۲/۹	۲۵۷۵/۶
تعداد تأمین‌کنندگان		زمان حمل		
حالت ۱	حالت ۲	حالت ۳	حالت ۱	حالت ۲
۲۹۹۱	۲۰۶۳/۴	۱۹۲۵/۶	۱۷۳۷/۴	۲۹۱۴/۹
۲۷۹۶/۹	۲۰۰۰/۲	۱۹۹۲/۶	۱۷۰۸/۶	۲۸۱۸
۲۹۱۲	۱۹۸۹	۱۸۳۱/۷	۱۸۴۷/۹	۲۶۴۰/۵
تعداد وسایل نقلیه		کل مسائل		
۳۴۴۱/۵	۲۳۴۲/۹	۱۱۹۵/۵	۲۳۲۶/۷	
۳۳۳۶/۷	۲۳۴۵/۵	۱۱۰۷/۶	۲۲۶۳/۳	
۳۴۳۱/۶	۲۲۰۱	۱۱۰۰/۱	۲۲۴۴/۲	

نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که افزایش تعداد مکان‌های تولیدی در حالت کلی سبب کاهش میانگین تأخیر سفارش‌ها و در نتیجه کاهش مشکل تأمین مواد اولیه برای کارخانه خواهد شد. این برتری در بسیاری از حالت‌های جزئی نیز قابل مشاهده است. همچنین داده‌های جدول نشان می‌دهد با افزایش تعداد سفارش‌ها، میانگین تأخیرها بیشتر می‌شود. همچنین با افزایش تعداد تأمین‌کنندگان و وسایل نقلیه، روند کاهش زمان تأخیر محسوس است. افزایش زمان‌های پردازش یا زمان‌های حمل نیز به افزایش تأخیر منجر می‌شود. به عبارت دیگر عواملی نظیر افزایش تعداد مراکز تولیدی، تعداد تأمین‌کنندگان، تعداد وسایل نقلیه و همچنین کاهش زمان‌های پردازش و حمل‌ونقل موجب کاهش تأخیرها در زنجیره تأمین می‌شود.

### خلاصه و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی

مخاطرات در حوزه‌های مختلف ابعاد و جوانب مختلفی دارد. یکی از راه‌هایی که به عنوان مقابله با این ریسک‌ها مطرح می‌شود ارتقای چابکی، پایداری و انعطاف‌پذیری یک فرایند تولیدی است. در این تحقیق به بررسی نحوه افزایش توان برخورد با بحران‌ها و ریسک‌ها در بخش تولید با تأکید بر سه عامل رویکرد مدیریت یکپارچه فرایند تولید، استفاده از ناوگان حمل‌ونقل

اشتراکی و تولید چندمکانی پرداخته شد. هر یک از این سه عامل تأثیرات مهمی در کاهش هزینه‌ها و افزایش رقابت‌پذیری سازمان‌ها و در نتیجه کاهش خطر حذف شدن در دنیای رقابتی دارند. هدف تعیین نحوه تخصیص سفارش‌ها به قطعه‌سازان و وسایل نقلیه، تعیین اولویت‌های تولید برای قطعه‌سازان و اولویت حمل توسط وسایل نقلیه به نحوی است که قطعات و مواد اولیه با حداقل تأخیر به شرکت سازنده محصولات نهایی تحویل داده شوند. پس از بیان مسئله به ارائه یک الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله به نام الگوریتم ژنتیک پویا که دارای کروموزوم‌هایی با ساختار متغیر است پرداخته شد. به منظور بررسی نتایج تعداد زیادی از مسائل تصادفی با ساختار خاص ایجاد شدند به نحوی که بیانگر طیف متنوعی از مسائل می‌شدند. سپس این مسائل تصادفی توسط الگوریتم پیشنهادی حل شدند.

در ادامه سعی شد اثر تولید چندمکانی در کاهش میزان تأخیر در تأمین قطعات مورد نیاز یک شرکت تولیدی بررسی شود. نتایج نشان دادند عواملی نظیر افزایش تعداد مراکز تولیدی، تعداد تأمین‌کنندگان، تعداد وسایل نقلیه و همچنین کاهش تعداد سفارش‌ها، زمان‌های پردازش و حمل و نقل موجب کاهش تأخیرها در زنجیره تأمین می‌شود.

بررسی تأثیر یکپارچگی یا عدم یکپارچگی و همچنین اثر ناوگان حمل و نقل اشتراکی یا اختصاصی در کاهش تأخیر در مسئله مذکور می‌تواند زمینه‌ای برای تحقیقات آتی باشد. در نظر گرفتن اثر دیگر هزینه‌ها در تابع هدف می‌تواند زمینه‌ای دیگر برای تحقیقات آتی باشد. در نظر گرفتن زمان‌های پردازش و حمل غیرقطعی در مسئله مورد نظر می‌تواند زمینه‌ای دیگر برای تحقیقات آتی باشد.

## منابع

- [۱]. اسمیت، کیت، مخاطرات محیطی، ترجمه مقیمی، الف و گودرزی‌نژاد، ش، ۱۳۸۲، انتشارات سمت: ۱۱۶-۱۰۰.
- [۲]. مقیمی، ابراهیم، ۱۳۹۴، دانش مخاطرات، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران: ۱۳-۷.
- [3]. Averbakh, I. and Baysan, M., (2013), Approximation algorithm for the on-line multi-customer two-level supply chain scheduling problem, *Operations Research Letters*, 41, 710-714.
- [4]. Chauhan, S.S., Valery, G., Jean-Marie, P. (2007) "Scheduling in supply chain environment", *European Journal of Operational Research*, 183, 961-970.
- [5]. Craighead, C.W., Blackhurst, J., Rungtusanatham, M.J., & Handfield, R.B. (2007). The Severity of supply chain disruptions: Design characteristics and mitigation capabilities. *Decision Sciences*, 38, 131-156.

- [6].Esmailikia, M., Fahimnia, B., Sarkis, J., Govindan, K., Kumar, A., & Mo, J. (2014). A tactical supply chain planning model with multiple flexibility options: An empirical evaluation. *Annals of Operations Research*, doi:10.1007/s10479-013-1513.
- [7].Garey, M.R., Johnson, D.S.and Sethi, R. (1976) "The complexity of flow shop and job shop scheduling", *Mathematics of Operation Research*, Vol. 1, pp. 117–129.
- [8].Gnonia, M.G., Iavagnilio, R., Mossa, G.,Mummolo, G. and DiLeva, A. (2003) "Production planning of a multi-site manufacturing system by hybrid modeling: A case study from the automotive industry", *International Journal Production Economics*, Vol. 85, pp. 251–262.
- [9].Juttner, U., (2005). Supply chain risk management: Understanding the business requirements from a practitioner perspective. *The International Journal of Logistics Management*, 16 (1), 120-141.
- [10]. Kaminsky, P. and Kaya, O., 2008, Inventory positioning, scheduling and lead-time quotation in supply chains, *Int. J. Production Economics*, 114, 276–293.
- [11]. Kleindorfer, P. R., Saad. G. H., (2005). Managing Disruption Risks in Supply Chains. *Production and Operations Management*, 14 (1), 53-58.
- [12]. Lee, Y.H., Jeong, C.J. and Moon, C. (2002) "Advanced planning and scheduling with outsourcing in manufacturing supply chain", *Computer and Industrial Engineering*, Vol. 43, pp. 351-374.
- [13]. Lee, H.L. (2004). The triple-A supply chain. *Harvard Business Review*, 102–112.
- [14]. Li, H. and Womer K., 2008, Modeling the supply chain configuration problem with resource constraints, *International Journal of Project Management*, 26, 646–654.
- [15]. Lin, B. M. T., Cheng, T. C. E., & Chou, A. S. C. (2007). Scheduling in an assembly-type production chain with batch transfer. *Omega*, 35(2), 143–151.
- [16]. Manuj, I., Mentzer, J. T., (2008). Global supply chain risk management strategies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38 (3), 192-223.
- [17]. Maravelias, C. T. and Sung, C., Integration of production planning and scheduling: Overview, challenges and opportunities, *Computers and Chemical Engineering*, 33, 1919–1930.
- [18]. Rostamian Delavar, M., Hajiaghaei-Keshteli, M. and Molla-Alizadeh-Zavardehi, S., 2010, Genetic algorithms for coordinated scheduling of production and air transportation, *Expert Systems with Applications*, 37, 8255–8266.
- [19]. Sawik, T., Joint supplier selection and scheduling of customer orders under disruption risks: Single vs. dual sourcing, *Omega*, 43, 83–95.
- [20]. Sodhi, M.S., Son, B.G., & Tang, C.S. (2012). Researchers' perspectives on supply chain risk management. *Production and Operations Management*, 21, 1–13.

- 
- [21]. Tang, C.S., & Tomlin, B. (2008). The power of flexibility for mitigating supply chain risks. *International Journal of Production Economics*, 116, 12–27.
- [22]. Thomas, A., Venkateswaran, J., Singh, G. and Krishnamoorthy, M., 2013, resource constrained scheduling problem with multiple independent producers and a single linking constraint: A coal supply chain example, *European Journal of Operational Research*, olume 236, Issue 3, 1 August 2014, pp. 946-956.
- [23]. Wang, X. and Cheng, T.C.E., 2009, Logistics scheduling to minimize inventory and transport costs, *Int. J. Production Economics*, 121, 266–273.
- [24]. Wang, X. and Cheng, T.C.E., 2009, Production scheduling with supply and delivery considerations to minimize the makespan, *European Journal of Operational Research*, 194, 743–752.
- [25]. Yeung, W., Choi, T. and Cheng, T.C.E., 2011, Supply chain scheduling and coordination with dual delivery modes and inventory storage cost, *Int. J. Production Economics*, 132, 223–229.
- [26]. Zegordi, S.H, Kamal Abadi, I.N, Beheshti Nia, M.A., 2010, A novel genetic algorithm for solving production and transportation scheduling in a two-stage supply chain, *Computers & Industrial Engineering*, 58, 373-381.
- [27]. Zegordi, S.H, Beheshti Nia, M.A., 2009, Integrating production and transportation scheduling in a two-stage supply chain considering order assignment, *Int. J. Manufacturing Technology*, 44, 928-939.