

بهینه‌سازی برنامه‌ریزی عملیات زنجیره تأمین مبتنی بر تولید سلولی

حامد فضل‌الله تبار*

استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

خلاصه

زنجیره تأمین به‌عنوان شبکه‌ای از سازمان‌های متصل و وابسته به هم که به‌منظور کنترل، مدیریت و بهبود جریان‌های مواد، اطلاعات و مالی در طول زنجیره (از تأمین‌کننده‌ها تا کاربران نهایی) با یکدیگر همکاری می‌کنند، شناخته شده است. وجود عوامل و اهداف رقابتی گوناگون مابین شرکت‌ها و زنجیره‌ها، آن‌ها را به سمت افزایش سطح رقابت‌پذیری از طریق بهبود عواملی نظیر انعطاف‌پذیری و سرعت پاسخ‌گویی به مشتریان هدایت می‌کند. این تحقیق به بررسی مدل زمان‌بندی در یک زنجیره تأمین مستقیم چندلایه‌ای چندمحصولی و چنددوره‌ای می‌پردازد. زمان تولید که متشکل از مجموعه زمان‌های فرایندهای سلول‌های تولیدی است، تحت یک سیستم تولیدی سلولی بررسی می‌گردد. بدین منظور، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی دوهدفه به‌منظور کمیته‌سازی کل زمان‌های زنجیره و کمیته‌سازی حداکثر زمان تأخیر ارائه شده است. مثال عددی در ابعاد مختلف در نظر گرفته شده و با نرم‌افزار GAMS حل شده و جواب‌های به‌دست آمده گزارش داده شده است. در دو اندازه مثال ارائه شده رفتار مدل منطقی و در اندازه بزرگ زمان حل افزایش یافت که به‌علت افزایش شاخه‌زنی با افزایش تعداد دوره‌های زمانی و محصول و آیتیم در هر لایه قابل توجیه است. علاوه‌براین، تحلیل حساسیت روی پارامترهای مهم مسئله انجام و تغییر رفتار تابع هدف مبتنی بر تغییرات پارامترها بررسی شد. از نتایج به‌دست آمده می‌توان در تصمیم‌گیری برنامه‌ریزی عملیات زنجیره تأمین به‌صورت لایه‌ای مجزا و نیز به‌صورت یکپارچه با انعطاف، در شرایط وجود بحران استفاده کرد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۹/۹/۱۱

پذیرش ۱۴۰۰/۲/۳۰

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

زنجیره تأمین

تولید سلولی

زمان سیکل

زمان‌بندی

۱. مقدمه

تشدید صحنه رقابت جهانی در محیطی که به‌صورت دائم در حال تغییر است ضرورت واکنش‌های مناسب سازمان‌ها و شرکت‌های تولیدی - صنعتی را دوچندان کرده و بر انعطاف‌پذیری آن‌ها با محیط نامطمئن خارجی تأکید دارد. سازمان‌های امروزی در عرصه ملی و جهانی به‌منظور کسب جایگاهی مناسب و حفظ آن نیازمند بهره‌گیری از الگوی مناسب همچون مدیریت زنجیره تأمین در راستای تحقق مزیت رقابتی و انتظارات مشتریان هستند. مشتریان در سازمان‌های امروزی در تولید کالا و ارائه خدمت، رویه‌های انجام امور و فرایندها، توسعه دانش و توان رقابتی همراه و همگام اعضای سازمان می‌باشد. مدیریت

مؤثر زنجیره تأمین از عوامل اصلی بقا می‌باشد ضمن آن که استفاده از فناوری اطلاعات در فعالیت‌های زنجیره تأمین پتانسیل ایجاد ارزش را در زنجیره افزایش داده است. به‌طور کلی مدیریت زنجیره تأمین بر افزایش انطباق‌پذیری و انعطاف‌پذیری شرکت‌ها تأکید دارد و دارای قابلیت واکنش و پاسخ سریع و اثربخش به تغییرات بازار است. یک شبکه زنجیره تأمین به جریان مواد، اطلاعات، وجوه و خدمات از تأمین‌کنندگان مواد خام طی کارگاه‌ها و انبارها تا مشتریان نهایی اشاره دارد و شامل سازمان‌ها و فرایندهایی می‌شود که کالاها، اطلاعات و خدمات را ایجاد و به مصرف‌کنندگان تحویل می‌دهند (هوشیار و همکاران ۲۰۱۶؛ مهدی زاده و رحیمی، ۲۰۱۶). لجستیک معکوس نیز

* نویسنده مسئول: حامد فضل‌الله تبار

تلفن: ۰۲۳۲-۲۳۳۵۲۲۰۲۳۲+۹۸ پست الکترونیکی: h.fazl@du.ac.ir

زنجیره‌تأمین و تولید سلولی به کاهش هزینه تدارکات و توزیع و افزایش پاسخ‌گویی به مشتریان کمک می‌کند. بنابراین رویکرد یکپارچه تولید سلولی و طراحی زنجیره‌تأمین موجب بهتر شدن تجارت و واکنش سریع، کاهش هزینه‌های تولید و هزینه‌های توزیع پایین‌تر برای شرکت‌ها می‌شود که توسط (اسکالر، ۲۰۰۸) ارائه شده است. به‌طور طبیعی تصمیم‌گیری‌های استراتژیک اثرات طولانی‌مدت دارند. افق برنامه‌ریزی به چند دوره تقسیم کرده و تصمیمات استراتژیک برای هر دوره اتخاذ می‌شود که توسط (ملو و همکاران، ۲۰۰۹) ارائه شده است.

بسیاری از مدل‌های آرایش سلولی زنجیره‌تأمین فرض می‌کنند که پارامترهای ورودی قطعی هستند. اگرچه، در عمل پارامترهای بسیاری از جمله تقاضای قطعات، زمان پردازش و ظرفیت ماشین‌ها نامشخص و مبهم هستند. عدم قطعیت در دنیای واقعی در سیستم تولید به دو گروه تقسیم می‌شود: اول عدم قطعیت ناشی از محیط که توسط (پن و ناجی، ۲۰۱۰) به آن اشاره شد و دوم عدم قطعیت ناشی از سیستم که توسط (ساکیان و همکاران، ۲۰۱۲) به آن اشاره شد. ساکسانا و جین، (۲۰۱۲) یک مدل تولید سلولی پویا و طراحی زنجیره‌تأمین را با در نظر گرفتن مکان‌هایی با چند کارخانه، بازارهای چندگانه، دوره‌های چندزمانه و پیکربندی مجدد ارائه دادند. تابع هدف به‌صورت کمینه‌سازی مجموع هزینه‌ها از جمله هزینه حمل‌ونقل، هزینه نگهداری و برون‌سپاری و هزینه‌های ماشین برای تمام افق برنامه‌ریزی است. برای حل مدل، آن‌ها از الگوریتم ترکیبی سیستم ایمنی مصنوعی استفاده کردند. پایدار و همکاران (۲۰۱۴) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی مختلط را برای یکپارچه‌سازی برنامه‌ریزی تدارکات و تولید زنجیره‌تأمین در آرایش سلولی با در نظر گرفتن ماهیت غیردقیق برخی پارامترهای مهم مثل تقاضای مشتریان و ظرفیت ماشین، ارائه دادند. آن‌ها از بهینه‌سازی استوار برای حل مدل ریاضی با هدف کمینه کردن هزینه ماشین، نگهداری و تدارکات استفاده کردند.

قضاوتی و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل جدید ریاضی برای مسأله تولید سلولی مرتبط با جنبه‌های تاکتیکی تحت ویژگی‌های شبکه زنجیره‌تأمین در حضور عدم قطعیت پارامتر داخلی (زمان پردازش) و پارامتر خارجی (تقاضاها) ارائه کرده‌اند. هدف این مدل به حداقل رساندن هزینه کلی شامل ارزش مورد انتظار و واریانس هزینه تاکتیکی (زمان‌بندی)، هزینه راهبردی (استخدام تأمین‌کنندگان در شبکه زنجیره‌تأمین) برای تولید عناصر استثنایی و نیز هزینه مدیریت منابع است. این مدل می‌تواند مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها را ارائه دهد که نسبت به تغییرات داده‌های ورودی کم‌تر حساس هستند. برای حل مدل، یک روش ترکیبی کارآمد براساس ترکیب جدید الگوریتم ژنتیک (GA)، تریبید شبیه‌سازی شده (SA) در یک ساختار موازی با رویکرد بهینه‌سازی پیشنهاد شده است. قضاوتی (۲۰۱۱) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط (MIP) برای کمینه کردن هزینه نگهداری مورد انتظار و هزینه مربوط به شبکه تأمین‌کنندگان در یک زنجیره‌تأمین ارائه کردند.

پایدار و سعیدی مهرآباد، (۲۰۱۵) به ارائه یک مدل ریاضی

حوزه کوچک ولی مهمی از زنجیره‌تأمین‌کنندگان امروزی است و این اجازه را به مدیریت شرکت‌ها می‌دهد که کالاها و مواد اولیه برگشتی را به عرضه‌کنندگان بازگردانند و برای حفظ تداوم و هماهنگ کردن فعالیت‌های تولید، توزیع و جلوگیری از توقف عملیات به سبب کمبود موجودی و نیز قابل استفاده نمودن اقلام و کالاهای برگشتی؛ خط‌مشی‌ها، نظام‌ها و روش‌هایی را اتخاذ نمایند تا مجموع هزینه‌های مرتبط با زنجیره‌تأمین را کاهش دهند (نیاکان و همکاران ۲۰۱۶؛ دلگشایی و همکاران ۲۰۱۶).

مدیریت زنجیره‌تأمین نیز به معنای یکپارچه‌سازی واحدهای سازمانی درون زنجیره و ایجاد هماهنگی در جریان‌های مواد، اطلاعات و مالی با هدف تأمین نیازهای مشتریان و دستیابی به مزیت رقابتی قابل اتکا و بلندمدت است. یکی از راه‌های افزایش بهره‌وری و حضور قدرتمند در بازار رقابتی، ترکیب و تلفیق مستقیم تولید سلولی در زنجیره‌تأمین می‌باشد. در مدیریت زنجیره‌تأمین یکی از موارد مهم برنامه‌ریزی مبتنی بر زمان عملیات در لایه‌های زنجیره‌تأمین می‌باشد. زمان‌بندی عملیات در زنجیره‌تأمین شامل کلیه فعالیت‌های تأمین، تولید و توزیع می‌باشد. وقتی تعداد لایه‌های زنجیره‌تأمین، تعداد عناصر موجود در هر لایه و نیز تعداد محصولات متعدد باشند، زمان‌بندی مناسب و بهینه عملیات منجر به انطباق زمان سیکل، کاهش فروش از دست‌رفته و افزایش رضایت مشتریان می‌گردد. در این پژوهش، زمان تولید متشکل از مجموعه زمان‌های فرآیندهای سلول‌های تولیدی تحت یک سیستم تولیدی سلولی بررسی می‌شود. زمان‌های حمل درون‌سلولی و بین سلولی نیز مورد مطالعه قرار می‌گیرند. در مراکز تأمین زمان تدارکات به‌علاوه زمان آماده‌سازی به‌علاوه زمان حمل مواد اولیه برای محصولات مختلف در زمان‌های مختلف بررسی می‌شود. در مرکز توزیع زمان‌های تخلیه و چیدمان در انبار و زمان هماهنگ‌سازی برای ارسال تقاضای مشتریان در نظر گرفته می‌شود. با توجه به این عوامل زمانی و برخی دیگر عوامل باهدف زمان‌بندی عملیات، تولید و تحویل محصولات مختلف به مشتریان مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

۲. ادبیات موضوع

همان‌طور که می‌دانیم یکی از اهداف اصلی زنجیره‌تأمین کمینه کردن هزینه‌های تدارکات، تولید و توزیع و بیشینه کردن جریان مواد در زنجیره می‌باشد. از طرفی با استفاده از سیستم تولید سلولی می‌توان بهره‌وری تولید و جریان مواد را افزایش داد و همچنین می‌توان برخی از هزینه‌های تولید را کاهش داد. لذا مطالعات زیادی در این راستا صورت گرفته است (بهنامیان و کمیجانی، ۱۳۹۷).

در سیستم‌های تولید سنتی، در ابتدا زنجیره‌تأمین طراحی می‌شود، تعدادی از امکانات تولید تعیین می‌شود و امکاناتی برای پشتیبانی از هر محصول در هر بازار اختصاص می‌یابد. سپس، سازمان‌دهی فرایندها (خط تولید، تشکیل فرایند یا سلول‌ها) در کارخانه انجام می‌شود. راتو و موهانتی، (۲۰۰۳) نیازمندی یکپارچه‌سازی تولید سلولی و طراحی زنجیره‌تأمین را معرفی کردند. در نظر گرفتن هم‌زمان مفهوم

قرار دادن زمان به‌جای هزینه، وجود دارد. در بخش آینده به تعریف مسأله تحقیق، ارائه و تشریح مدل ریاضی مربوطه پرداخته می‌شود.

۳. تعریف مسأله و ساختار مدل

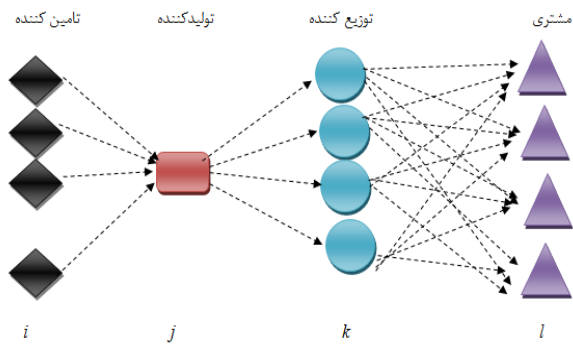
در این پژوهش یک زنجیره‌تأمین شامل چند لایه به نام‌های تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتری چند محصول و چند دوره را در نظر می‌گیریم. محصولات بعد از تأمین ماده اولیه در لایه تأمین‌کننده و تولید در لایه تولیدکننده در مرکز توزیع گردآوری و سپس با توجه به تقاضای مشتریان برای آن‌ها ارسال می‌گردد. با توجه به اهمیت زمان در تحویل به‌موقع محصولات به مشتریان و جلوگیری از تأخیرهای فرآیندی در این پژوهش به بهینه‌سازی زمان در طول زنجیره‌تأمین می‌پردازیم. لذا زمان‌بندی عملیات در لایه‌های مختلف زنجیره‌تأمین مدنظر می‌باشد. در این مسأله به دنبال ارزیابی زمان‌های حرکت محصولات مختلف در دوره‌های زمانی مختلف درون سلول‌ها و بین سلول‌های می‌باشیم به نحوی که اهداف سیستم شامل دو هدف ذیل محقق گردد:

۱. کمینه‌سازی کل زمان‌های زنجیره‌تأمین
 ۲. کمینه‌سازی بیشترین زمان تأخیر
- سایر مفروضات مسأله مورد بررسی عبارتند از:
- تعداد لایه‌های زنجیره‌تأمین چهار لایه می‌باشد که شامل تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتری است.
 - تعداد دوره‌های زمانی چندگانه می‌باشد.
 - تعداد محصولات چندگانه می‌باشد.
 - تعداد مراکز توزیع چندگانه می‌باشد.
 - زمان قطعی می‌باشد.
 - یک تولیدکننده در نظر گرفته شده.
 - سیستم تولیدی از نوع تولید سلولی می‌باشد.
 - چیدمان ماشین‌آلات و توالی عملیات بین ماشین‌ها مشخص می‌باشد.
 - ابعاد سلول‌های تولیدی مشخص می‌باشد.
 - تعداد و ظرفیت‌های کاری سلول‌ها از پیش تعیین شده می‌باشد.
 - تخصیص کارگرها به سلول‌ها و ماشین‌ها از قبل تعیین شده است.
- برای درک بهتر، یک پیکربندی برای مسأله فوق در شکل (۱) نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل (۱) مشخص است تعدادی تأمین‌کننده (i) وجود دارد که نقش تأمین مواد اولیه را برای تنها مرکز تولید (j) این زنجیره‌تأمین را برعهده می‌دارند و همچنین تعدادی مراکز توزیع (k) برای توزیع محصولات نهایی بین مشتریان (l) وجود دارد. در مراکز تأمین زمان تدارکات به‌علاوه زمان آماده‌سازی به‌علاوه زمان حمل مواد اولیه برای محصولات مختلف در زمان‌های مختلف بررسی می‌شود. در مرکز توزیع زمان‌های تخلیه و چیدمان در انبار و زمان هماهنگ‌سازی برای ارسال تقاضای مشتریان در نظر گرفته می‌شود. با توجه به این عوامل زمانی و برخی دیگر از عوامل با هدف بهینه‌سازی زمان سیکل،

بهینه‌سازی مسأله دوهدفه‌شدنی برای یکپارچه‌سازی برنامه‌ریزی تدارکات، تولید و توزیع با در نظر گرفتن اهداف مختلف و متناقض با عدم قطعیت در برخی پارامترهای بحرانی مثل تقاضای مشتریان و ظرفیت ماشین‌ها پرداختند. سپس یک روش برنامه‌ریزی آرمانی تجدیدنظر شده چندگزینه‌ای برای حل مدل ریاضی مطرح و پیدا کردن جواب ارجح مطالعه شد. اعلائی و داودپور، (۲۰۱۶) مدل ریاضی جهت یکپارچه‌سازی سیستم تولید سلولی پویای مجازی با مدیریت زنجیره‌تأمین با پوشش گسترده‌ای از ویژگی‌های مهم تولید ارائه دادند. مدل با در نظر گرفتن مکان‌یابی تسهیلات چندگانه، تخصیص چند بازار، افق برنامه‌ریزی چندهدفه با گوناگونی تقاضا و ترکیب محصول، ظرفیت زمانی ماشین و کارگر، تخصیص اپراتور، آموزش و خرید یا فروش ماشین جدید برای افزایش سطح ظرفیت کارخانه ارائه شده است (پایدار و سعیدی مهرآباد، ۱۳۹۳). محدودیت‌های اصلی، ارضای تقاضای بازار در هر دوره، دسترسی ماشین و اپراتور، حجم تولید برای هر کارخانه میزان اختصاص یافته به هر بازار بود. اعلائی و داودپور (۲۰۱۶) یک مدل جدید جهت ترکیب کردن مستقیم تولید سلولی پویای مجازی با مدیریت زنجیره‌تأمین را معرفی کردند. این مدل شامل تعدادی اجزا زنجیره‌تأمین مثل تولیدکننده، انبارها، بازارها و حمل‌ونقل محصول نهایی از کارخانه به بازار می‌شود. این مدل دوهدفه به کمینه‌سازی کل هزینه‌های زنجیره‌تأمین شامل هزینه نگهداری، هزینه برون‌سپاری، هزینه نگهداری و تعمیرات ماشین‌ها، هزینه ثابت و هزینه حمل‌ونقل خارجی از یک سو و کمینه‌سازی تعداد کل عناصر استثنایی و جابه‌جایی کارگران بین کارخانه‌های تولیدی از سوی دیگر می‌پردازد. اعلائی و داودپور (۲۰۱۷) یک مدل ریاضی جدید در حوزه یکپارچه‌سازی سیستم تولید سلولی و زنجیره‌تأمین با تخصیص کارگران را ارائه دادند. مدل پیشنهادی آن‌ها با هدف کمینه‌سازی هزینه نگهداری، کنترل و اداره مواد بین سلولی، حمل‌ونقل بیرونی، هزینه ثابت جهت تولید هر قطعه و حقوق و هزینه ماشین و کارگر طراحی شده است. پایدار و همکاران (۲۰۱۴) مطالعه‌ای پیرامون تشکیل سلول مجازی پویا را انجام داده‌اند. یک مدل ریاضی جهت یکپارچه‌سازی برنامه‌ریزی تولید، چیدمان ماشین و تخصیص مقدار سفارش به تأمین‌کنندگان واجد شرایط در سیستم تولید سلولی مجازی پویا ارائه نمودند.

در این بخش به مطالعه و بررسی ادبیات و پیشینه پژوهش پرداخته شده است. همان‌گونه که اشاره شد تاکنون تحقیقات فراوانی در حوزه طراحی تولید سلولی و زنجیره‌تأمین به‌صورت جداگانه صورت پذیرفته است و مدل‌های زیادی برای مناسب‌سازی مسأله با دنیای واقعی بررسی گشته است. از طرفی اهمیت تلفیق تولید سلولی و زنجیره‌تأمین از سال ۲۰۰۳ آشکار شده است و براساس بررسی‌های صورت گرفته، تاکنون تعداد کمی تحقیق در این حوزه خصوصاً با هدف کمینه‌سازی زمان کل سیکل و تأخیرات، انجام گرفته است. هدف اکثر تحقیقات صورت گرفته، کمینه‌سازی هزینه بوده است. لذا فضای مناسبی در زمینه یکپارچه‌سازی تولید سلولی با زنجیره‌تأمین با مدنظر



شکل (۱): پیکره‌بندی ساختار مدل زنجیره‌تأمین این پژوهش

تولید و تحویل محصولات مختلف به مشتریان مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در مجموع باتوجه به مطالعات گذشته عوامل زمانی‌ای که می‌توان در لایه‌های مختلف زنجیره‌تأمین مطرح شده در این پژوهش در نظر گرفت به تفکیک لایه‌های مختلف در جدول (۱) نمایش داده شده است. باتوجه به جدول فوق و زمان‌های آورده شده پارامترهای زمان موردنظر برای مدل‌سازی ریاضی استخراج شد. لذا در قسمت بعد فرمول‌بندی ریاضی مسأله و شرح علائم ریاضی مربوط بیان می‌گردد.

جدول (۱): مجموعه زمان‌های عملیات در زنجیره‌تأمین پیشنهادی

زمان تأمین	زمان تولید	زمان توزیع
تدارکات	مجموع زمان‌های فرایندهای سلول‌های تولیدی	تخلیه
آماده‌سازی	حمل درون سلولی (intracell movement)	چیدمان در انبار
بارگیری و حمل مواد اولیه	حمل بین سلولی (intercell movement)	هماهنگ‌سازی برای ارسال (بارگیری) به مشتریان
	زمان انتقال مواد بین سلول‌ها	حمل محصولات
	زمان پردازش هر قطعه روی هر ماشین توسط هر کارگر	
	مجموع زمان‌های فرایندهای سلول‌های تولیدی	
	زمان تغییر مکان ماشین‌ها (درون سلولی و بین سلولی)	
	زمان تغییر مکان workerها (درون سلولی و بین سلولی)	
	زمان راه‌اندازی (set up) ماشین‌ها	
	زمان شکست (break down) ماشین‌ها	
	بارگیری و ارسال محصول به واحدهای توزیع	

جدول (۲): نشانه‌های مربوط به مدل

اندیس‌ها	
$l=1, \dots, L$	اندیس لایه‌های زنجیره‌تأمین
$s=1, \dots, S$	اندیس آیتم‌ها در هر لایه
$t=1, \dots, T$	اندیس دوره‌های زمانی
$p=1, \dots, P$	اندیس محصولات
پارامترها	
I_{ptls}	زمان تدارک برای محصول p که به‌وسیله آیتم s در لایه l در دوره t تهیه می‌شود
E_{ptls}	زمان آماده‌سازی برای محصول p که به‌وسیله آیتم s در لایه l در دوره t آماده می‌شود
U_{ptls}	زمان تخلیه برای محصول p که به‌وسیله آیتم s در لایه l در دوره t تخلیه می‌شود
L_{ptls}	زمان بارگیری برای محصول p که به‌وسیله آیتم s در لایه l در دوره t بارگیری می‌شود
H_{ptls}	زمان حمل برای محصول p که به‌وسیله آیتم s در لایه l در دوره t حمل می‌شود
O_{ptls}	زمان چیدمان در انبار برای محصول p که به‌وسیله آیتم s در لایه l در دوره t در انبار مرتب‌سازی می‌شود
R_{ptls}	موعد تحویل برای محصول p که به‌وسیله آیتم s در لایه l در دوره t پردازش می‌شود
D_{ptls}	مقدار تقاضای محصول p که به‌وسیله آیتم s در لایه l در دوره t پردازش می‌شود
HA_{pt}	زمان حمل درون سلولی برای محصول p در دوره t
HB_{pt}	زمان حمل بین سلولی برای محصول p در دوره t
PT_{pt}	زمان پردازش محصول p در دوره t
N_{pt}	زمان جابه‌جایی محصول p بین سلول‌ها در دوره t
VA_{pt}	زمان تغییر مکان بین سلولی کارگرها برای هر محصول p در دوره t
VB_{pt}	زمان تغییر مکان درون سلولی کارگرها برای هر محصول p در دوره t
SE_{pt}	زمان راه‌اندازی ماشین‌ها برای هر محصول p در دوره t

OP_{pt}	زمان عملیات اپراتور برای هر محصول p در دوره t
BR_{pt}	زمان شکست ماشین‌ها برای هر محصول p در دوره t
متغیر تصمیم	
X_{ptls}	انتخاب یا عدم انتخاب آیتم s در لایه l برای محصول p در دوره t
Y_{ptls}	میزان محصول p که توسط آیتم s در دوره t در لایه l حمل می‌شود
CY_{ptls}	زمان سیکل برای محصول p که به وسیله آیتم s در لایه l در دوره t پردازش می‌شود
DEL_{ptls}	زمان تأخیر برای محصول p که به وسیله آیتم s در لایه l در دوره t پردازش می‌شود
C_{ptls}	زمان تکمیل برای محصول p که به وسیله آیتم s در لایه l در دوره t تکمیل می‌شود

$$X_{ptls} \in \{0,1\} \ \& \ Y_{ptls} \geq 0 \ \text{Integer} \quad (۱۶)$$

$$Y_{ptls} \leq \text{BigM} \cdot X_{ptls} \quad \forall p,t,l,s \quad (۱۷)$$

شرح توابع هدف:

مسئله مورد بررسی از دو مجموعه تابع هدف تشکیل شده است: در تابع هدف عبارت اول (۱) مربوط به کل زمان سیکل زنجیره و عبارت دوم (۲) مربوط به حداکثر زمان تأخیر می‌باشد که در مجموع کمینه می‌گردد.

شرح محدودیت‌ها:

محدودیت (۳) بیانگر زمان تأخیر می‌باشد که برابر با حاصل تفاضل موعد تحویل و زمان تکمیل است که می‌توان آن را به صورت زیر خطی‌سازی کرد:

$$DEL_{ptls} \geq 0; \ DEL_{ptls} \geq C_{ptls} - R_{ptls}; \quad \forall p,t,l,s \quad (۸)$$

محدودیت (۴) نشان می‌دهد که مجموع کل زمان تأخیر دارای یک حد بالا (مجموع زمان سیکل زنجیره) می‌باشد. محدودیت (۵) زمان تکمیل در لایه اول (تأمین‌کننده) که برابر با مجموع زمان تدارک و زمان حمل می‌باشد. رابطه (۶) زمان تکمیل در لایه دوم (تولید) می‌باشد که برابر مجموع زمان حمل بین سلولی و درون سلولی و زمان پردازش محصول و زمان تغییر مکان بین سلولی و درون سلولی کارگرها و زمان راه‌اندازی ماشین‌ها و زمان شکست ماشینها و زمان عملیات اپراتور می‌باشد. رابطه (۷) زمان تکمیل در لایه سوم (توزیع) می‌باشد که برابر با زمان بارگیری و زمان حمل و زمان تخلیه و زمان چیدمان در انبار می‌باشد. محدودیت (۸) نشان می‌دهد که زمان سیکل تمامی محصولات در تمامی دوره‌ها توسط تمامی عوامل در لایه اول کوچکتر مساوی زمان تکمیل تمامی محصولات در تمامی دوره‌ها توسط تمامی عوامل است. محدودیت (۹) نشان می‌دهد که زمان سیکل تمامی محصولات در تمامی دوره‌ها توسط تمامی عوامل در لایه دوم کوچکتر مساوی زمان تکمیل تمامی محصولات در تمامی دوره‌ها توسط تمامی عوامل است. محدودیت (۱۰) نشان می‌دهد که زمان سیکل تمامی محصولات در تمامی دوره‌ها توسط تمامی عوامل در لایه سوم کوچکتر مساوی زمان تکمیل تمامی محصولات در تمامی دوره‌ها توسط تمامی عوامل است. محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲) و (۱۳) تاکید می‌کند که مجموع زمان‌ها در هر لایه به‌ازای تمامی محصولات کمتر مساوی موعد مقرر می‌باشد. رابطه (۱۴) تاکید می‌کند که میزان محصول در دوره‌های مختلف توسط عوامل گوناگون در هر لایه منتقل می‌شود (اگر محصول موردنظر انتخاب شود) باید برابر با میزان تقاضای

۳-۱. مدل‌سازی ریاضی

در این قسمت به تشریح مدل‌سازی ریاضی برای مسأله زمان‌بندی عملیات زنجیره‌تأمین چندلایه‌ای، چندمحصولی و چنددوره‌ای می‌پردازیم.

نشانه‌گذاری:

در این بخش، نشانه‌های مورد استفاده در مدل پیشنهادی را در قالب نمادهای مشترک بین سطوح زنجیره و نیز به تفکیک بخش‌ها بیان می‌نماییم.

مدل ریاضی:

توابع هدف و محدودیت‌های مسأله به‌شرح زیر ارائه می‌شوند:

$$\text{Min} Z = \sum_p \sum_t \sum_l \sum_s (CY_{ptls}) \cdot Y_{ptls} + NN \quad (۱)$$

که در آن NN برابر حداکثر میزان تأخیر بوده و معادل:

$$NN \geq \sum_p \sum_t \sum_l \sum_s (DEL_{ptls}) \cdot Y_{ptls} \quad (۲)$$

Subject to:

$$DEL_{ptls} = \left(\max(C_{ptls} - R_{ptls}), 0 \right) \quad \forall p,t,l,s \quad (۳)$$

$$\sum_p \sum_t \sum_l \sum_s DEL_{ptls} \leq \sum_p \sum_t \sum_l \sum_s (CY_{pt1s} + CY_{pt2s} + CY_{pt3s}) \cdot X_{ptls} \cdot Y_{ptls} \quad (۴)$$

$$\sum_s C_{pt1s} = \sum_s (I_{pt1s} + H_{pt1s}), \quad \forall p,t \quad (۵)$$

$$\sum_s C_{pt2s} = HA_{pt} + HB_{pt} + PT_{pt} + VA_{pt} + VB_{pt} + SE_{pt} + BR_{pt} + OP_{pt} \quad \forall p,t \quad (۶)$$

$$\sum_s C_{pt3s} = \sum_s (L_{pt3s} + H_{pt3s} + U_{pt3s} + O_{pt3s}) \quad \forall p,t \quad (۷)$$

$$\sum_s CY_{pt1s} \cdot Y_{pt1s} \leq \sum_s C_{pt1s} \cdot X_{pt1s} \quad \forall p,t \quad (۸)$$

$$\sum_s CY_{pt2s} \cdot Y_{pt2s} \leq \sum_s C_{pt2s} \cdot X_{pt2s} \quad \forall p,t \quad (۹)$$

$$\sum_s CY_{pt3s} \cdot Y_{pt3s} \leq \sum_s C_{pt3s} \cdot X_{pt3s} \quad \forall p,t \quad (۱۰)$$

$$\sum_s CY_{pt1s} \cdot X_{pt1s} \leq \sum_s R_{pt1s} \quad \forall p,t \quad (۱۱)$$

$$\sum_s CY_{pt2s} \cdot X_{pt2s} \leq \sum_s R_{pt2s} \quad \forall p,t \quad (۱۲)$$

$$\sum_s CY_{pt3s} \cdot X_{pt3s} \leq \sum_s R_{pt3s} \quad \forall p,t \quad (۱۳)$$

$$\sum_l \sum_s Y_{ptls} \leq \sum_l \sum_s (X_{ptls} \cdot D_{ptls}) \quad \forall p,t \quad (۱۴)$$

$$\sum_l \sum_s X_{ptls} = 1 \quad \forall p,t \quad (۱۵)$$

نرم‌افزار بهینه‌سازی GAMS مدل فوق را اجرا و نتایج به دست آمده را نمایش می‌دهیم. میزان تابع هدف برابر است با: ۸۸۶۶ واحد زمان سیکل برای محصولات و آیتم‌ها و لایه‌های مختلف در سه دوره زمانی (CY_{pts}) در جدول (۳)، عواملی که در لایه‌های مختلف برای محصولات مختلف در دوره‌های زمانی متفاوت انتخاب می‌شوند (X_{pts}) در جدول (۴)، میزان محصول برای آیتم‌ها و لایه‌های مختلف در سه دوره زمانی (Y_{pts}) در جدول (۵) نشان داده شده‌اند.

جدول (۳): مقادیر زمان سیکل (CY_{pts})

L	S	P=1			P=2		
		T=1	T=2	T=3	T=1	T=2	T=3
۱	۱	۱۰۰	۱۷۰	۱۲۰	۱۸۰	۱۴۰	۱۲۰
	۲	۱۲۰	۱۸۰	۱۳۰	۱۷۰	۱۵۰	۱۴۰
۲	۱	۱۳۰	۱۹۰	۱۴۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۵۰
	۲	۱۴۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۸۰	۱۶۰
۳	۱	۱۵۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۴۰	۱۷۰	۱۳۰
	۲	۱۶۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۷۰
۴	۱	۱۹۰	۱۲۰	۱۷۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۴۰
	۲	۱۰۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۸۰	۱۳۰	۱۵۰

جدول (۴): عوامل انتخابی (X_{pts})

L	S	P=1			P=2		
		T=1	T=2	T=3	T=1	T=2	T=3
۱	۱	.	.	.	.	.	.
	۲	.	.	.	.	.	.
۲	۱	.	.	.	.	.	.
	۲	.	.	.	.	.	.
۳	۱	.	.	.	.	.	.
	۲	۱	۱	۱	۱	.	۱
۴	۱	.	.	۱	.	.	.
	۲	۱	.	.	.	.	.

جدول (۵): مقادیر میزان محصول (Y_{pts})

L	S	P=1			P=2		
		T=1	T=2	T=3	T=1	T=2	T=3
۱	۱	.	.	.	.	.	.
	۲	.	.	.	.	.	.
۲	۱	.	.	.	.	.	.
	۲	.	.	.	.	.	.
۳	۱	.	.	.	.	.	.
	۲	۷	۷	۷	۷	.	۷
۴	۱	.	.	۶	.	.	.
	۲	۶	.	.	.	.	.

مقادیر سایر متغیرهای مسئله، زمان تاخیر در جدول (۶) و زمان تکمیل در جدول (۷) نشان داده شده‌اند.

مشتری باشد. رابطه (۱۵) مدل را مجبور به انتخاب یک آیتم در هر لایه برای هر محصول در هر دوره زمانی می‌کند. رابطه (۱۶) نوع متغیرهای تصمیم و محدودیت (۱۷) بیانگر تناسب میزان محصول انتخابی و نیز مقدار آیتم انتخاب شده می‌باشد.

۴. مثال عددی

ما در این بخش به بررسی مثال عددی جهت سنجش مدل ریاضی ارائه شده در بخش قبل برای مسأله زنجیره‌تأمین چندلایه‌ای، چندمحصولی و چنددوره‌ای می‌پردازیم. بدین منظور در مثالی، چهار لایه تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتری، دو محصول و سه دوره زمانی در نظر گرفته می‌شود. تعداد آیتم‌های لایه‌های مختلف غیر از تولیدکننده، دو می‌باشد.

داده‌های ورودی

زمان حمل درون سلولی برای محصولات مختلف در دوره‌های گوناگون (HA_{pt}) عبارتند از: 30, 40, 50, 60, 70, 80
 زمان حمل بین سلولی برای محصولات مختلف در دوره‌های گوناگون (HB_{pt}) عبارتند از: 35, 45, 55, 65, 75, 85
 زمان پردازش برای محصولات مختلف در دوره‌های گوناگون (PT_{pt}) عبارتند از: 55, 65, 75, 85, 95, 105
 زمان جابه‌جایی محصولات بین سلول‌ها در دوره‌های گوناگون (N_{pt}) عبارتند از: 20, 30, 50, 40, 60, 80
 زمان تغییر مکان بین سلولی کارگرها برای محصولات مختلف در دوره‌های گوناگون (VA_{pt}) عبارتند از: 90, 80, 70, 60, 50, 40
 زمان تغییر مکان درون سلولی کارگرها برای محصولات مختلف در دوره‌های گوناگون (VB_{pt}) عبارتند از: 100, 110, 120, 130, 140, 150
 زمان راه‌اندازی ماشین‌ها برای محصولات مختلف در دوره‌های گوناگون (SE_{pt}) عبارتند از: 10, 20, 30, 40, 50, 60
 زمان عملیات اپراتور برای محصولات مختلف در دوره‌های گوناگون (OP_{pt}) عبارتند از: 120, 140, 160, 180, 200, 220
 زمان شکست ماشین‌ها برای محصولات مختلف در دوره‌های گوناگون (BR_{pt}) عبارتند از: 200, 250, 300, 350, 400, 450
 سایر داده‌های ورودی مانند زمان تدارک برای محصولات مختلف تحت آیتم‌های مختلف در لایه‌ها و دوره‌های گوناگون (I_{pts}), داده‌های ورودی زمان آماده‌سازی برای محصولات مختلف تحت آیتم‌های مختلف در لایه‌ها و دوره‌های گوناگون (E_{pts}), داده‌های ورودی زمان حمل برای محصولات مختلف تحت آیتم‌های مختلف در لایه‌ها و دوره‌های گوناگون (H_{pts}), داده‌های ورودی موعد تحویل برای محصولات مختلف تحت آیتم‌های مختلف در لایه‌ها و دوره‌های گوناگون (R_{pts}), داده‌های ورودی محصولات پردازش شده تحت آیتم‌های مختلف در لایه‌ها و دوره‌های گوناگون (مقدار تقاضا), (D_{pts}), نیز به‌عنوان ورودی داده شده‌اند.
 با استفاده از داده‌های ورودی مطرح شده فوق با کمک

توجه شود که به جهت پیچیدگی محاسباتی مدل ریاضی و حجم محاسبات، زمان حل برای این اندازه مدل حدود ۶ ساعت شده است. این نکته ضرورت استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای بهینه‌سازی مدل با ابعاد بزرگتر را نشان می‌دهد.

جدول (۷): مقادیر زمان تکمیل (C_{p1st})

L	S	P=1			P=2		
		T=1	T=2	T=3	T=1	T=2	T=3
۱	۱	۲۵۰	۳۰	۴۰	۴۷۵	۳۰	۴۰
	۲	۵۰	۳۲۰	۳۵۰	۵۰	۵۲۵	۴۹۵
۲	۱	۵۸۵	۶۸۵	۷۸۵	۹۱۵	۱۰۱۵	۱۱۱۵
	۲	۵۵	۶۵	۷۵	۷۵	۶۵	۷۵
۳	۱	۳۰۰	۳۰۶	۳۱۲	۳۴۰	۳۷۱	۴۱۲
	۲	۵۰	۶۰	۷۰	۵۰	۶۰	۷۰

جدول (۶): مقادیر زمان تأخیر (DEL_{p1st})

L	S	P=1			P=2		
		T=1	T=2	T=3	T=1	T=2	T=3
۱	۱	۲۳۰			۴۵۵		
	۲		۲۶۰	۲۸۰		۴۶۵	۴۲۵
۲	۱	۵۶۰	۶۵۰	۷۴۰	۸۹۰	۹۸۰	۱۰۷۰
	۳	۲۸۰	۲۷۶	۲۷۲	۳۲۰	۳۴۱	۳۷۲

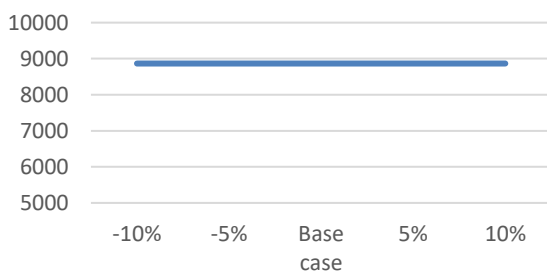
برای بررسی صحت مدل، یک مثال با ابعاد بزرگتر که نزدیک واقعیت می‌باشد را اجرا می‌نماییم. لذا برای این منظور داده‌های ورودی را همچون مثال قبل با استفاده از مقالات موجود گردآوری می‌نماییم. سپس تنظیمات لازم روی مدل را اعمال و در محیط GAMS اجرا می‌کنیم. نتیجه پیاده‌سازی برای متغیرهای تصمیم کلیدی مدل در جدول (۸) نشان داده شده است.

جدول (۸): مقادیر زمان تأخیر (DEL_{pts})، عوامل انتخابی (X_{pts})، میزان محصول (Y_{pts})، و مقادیر (Z_{pts}) در مسأله سایز بزرگ

DEL	DEL	X	Y	Z
DEL(1,1,3,1) ۲۶۳۰	DEL(3,1,3,1) ۲۱۳۰	X(1,1,4,3) ۱	Y(1,1,4,3) ۷	Z(1,1,4,3) ۷
DEL(1,2,3,1) ۲۹۳۰	DEL(3,1,3,3) ۱۹۰	X(1,2,3,3) ۱	Y(1,2,3,3) ۴	Z(1,2,3,3) ۴
DEL(1,2,3,3) ۱۹۰	DEL(3,2,3,1) ۳۲۱۰	X(1,3,3,3) ۱	Y(1,3,3,3) ۴	Z(1,3,3,3) ۴
DEL(1,3,1,1) ۲۴۰	DEL(3,3,2,3) ۴۲۰	X(2,1,4,3) ۱	Y(2,1,4,3) ۷	Z(2,1,4,3) ۷
DEL(1,3,3,1) ۲۲۶۰	DEL(3,3,3,1) ۲۱۴۰	X(2,2,2,3) ۱	Y(2,2,2,3) ۷	Z(2,2,2,3) ۷
DEL(1,3,3,3) ۱۵۰	DEL(4,1,2,3) ۲۱۰	X(2,3,3,3) ۱	Y(2,3,3,3) ۴	Z(2,3,3,3) ۴
DEL(2,1,2,1) ۴۰	DEL(4,1,3,3) ۳۰۶۰	X(3,1,3,3) ۱	Y(3,1,3,3) ۴	Z(3,1,3,3) ۴
DEL(2,1,3,1) ۲۹۴۰	DEL(4,2,1,3) ۳۰	X(3,2,4,3) ۱	Y(3,2,4,3) ۷	Z(3,2,4,3) ۷
DEL(2,2,2,3) ۲۱۰	DEL(4,2,3,3) ۱۹۶۰	X(3,3,2,3) ۱	Y(3,3,2,3) ۷	Z(3,3,2,3) ۷
DEL(2,2,3,1) ۲۲۶۰	DEL(4,3,2,2) ۳۶۰	X(4,1,2,3) ۱	Y(4,1,2,3) ۷	Z(4,1,2,3) ۷
DEL(2,3,1,1) ۴۵	DEL(4,3,3,1) ۳۱۲۰	X(4,2,4,3) ۱	Y(4,2,4,3) ۷	Z(4,2,4,3) ۷
DEL(2,3,3,1) ۲۴۵۰	.	X(4,3,2,2) ۱	Y(4,3,2,2) ۶	Z(4,3,2,2) ۶
DEL(2,3,3,3) ۳۱۰	.	.	.	.

افزایش و پس از آن در بازه تغییرات ۱۰ درصد به صورت تدریجی کاهش می‌باشد. تغییرات در بازه‌های مختلف برای موعده تحویل در شکل ۳ نمایش داده شده است.

OBJ



شکل (۲): تحلیل حساسیت مربوط به تغییرات تقاضا

توجه شود که به جهت پیچیدگی محاسباتی مدل ریاضی و حجم محاسبات، زمان حل برای این اندازه مدل حدود ۶ ساعت شده است. این نکته ضرورت استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای بهینه‌سازی مدل با ابعاد بزرگتر را نشان می‌دهد.

۴-۱. تحلیل حساسیت

برای ارزیابی رفتار مدل تحلیل حساسیت روی سه پارامتر مهم مدل ریاضی و بررسی تأثیر آن روی مقدار تابع هدف انجام می‌شود.

تغییر میزان تقاضا:

با تغییر میزان تقاضا و حل مدل با چندین مجموعه داده مختلف، همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود مدل نسبت به تغییرات تقاضا حساس نمی‌باشد.

تغییر میزان موعده تحویل:

با تغییر میزان موعده تحویل با افزایش آن تابع هدف در بازه ۵ درصد

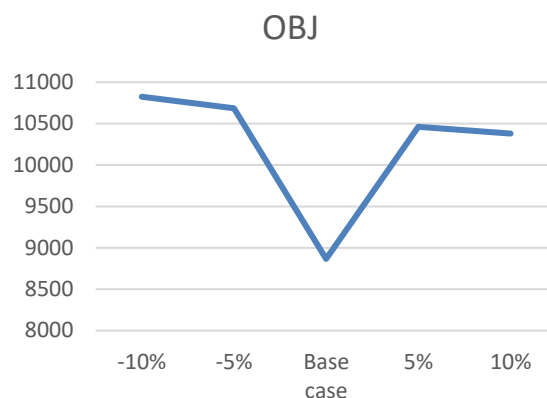
مختلف از این حیث نیازمند توجه است که تغییر در هر لایه نیازمند تعدیل در لایه‌های دیگر می‌باشد تا بتوان تقاضا را در موعد مقرر پوشش داد و رضایت مشتریان تماماً با صرفه اقتصادی تولید حفظ شود. باتوجه به ساختار مسأله، بهترین محل برای تعدیل تغییرات پیش‌بینی نشده لایه تولید می‌باشد چراکه از طریق بهینه‌سازی استقرار تجهیزات و سلول‌ها و نیز استفاده از اضافه‌کار و قرارداد جنبی می‌توان بر مشکلات لایه قبل فایز آمد.

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک زنجیره‌تأمین شامل چند لایه به‌نام‌های تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتری چند محصول و چند دوره را در نظر گرفته شد. محصولات بعد از تأمین ماده اولیه در لایه تأمین‌کننده و تولید در لایه تولیدکننده در مرکز توزیع گردآوری و سپس باتوجه به تقاضای مشتریان برای آن‌ها ارسال شد. باتوجه به اهمیت زمان در تحویل به‌موقع محصولات به مشتریان جلوگیری از تأخیرهای فرایندی در این پژوهش به بهینه‌سازی زمان در طول زنجیره‌تأمین پرداخته شد. لذا زمان‌بندی عملیات در لایه‌های مختلف زنجیره‌تأمین مدنظر بود. سپس به بررسی مثال عددی جهت سنجش مدل ریاضی ارائه شده برای مسأله زنجیره‌تأمین چندلایه‌ای، چندمحصولی و چنددوره‌ای پرداختیم. با استفاده از داده‌های ورودی و با کمک نرم‌افزار بهینه‌سازی GAMS، مدل طراحی شده را اجرا و نتایج به‌دست آمده را نمایش دادیم. مدل یکپارچه شده را در نرم‌افزار پیاده و جواب‌های به‌دست آمده را گزارش نمودیم. به‌جهت پیچیدگی محاسباتی مدل ریاضی و حجم محاسبات، زمان حل برای اندازه مدل بزرگ حدود ۶ ساعت شده است. این نکته ضرورت استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای بهینه‌سازی مدل با ابعاد بزرگتر را نشان می‌دهد.

باتوجه به نتایج حاصل از تحقیق و دستاوردهای مورد بحث، برای تحقیقات آتی مباحث زیر پیشنهاد می‌شود:

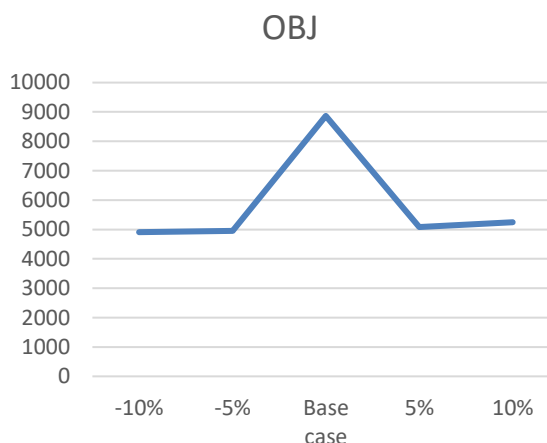
- در این پژوهش برای زمان‌بندی عملیات زنجیره‌تأمین چندلایه‌ای چندمحصولی چنددوره‌ای، یک تولیدکننده در نظر گرفته شد. درحالی‌که می‌توان در تحقیقات بعدی تعداد تولیدکنندگان چندگانه را نیز به مدل اضافه کرد.
- اهداف مورد بررسی در این تحقیق، کمینه‌سازی مجموع زمان سیکل و تأخیرات بوده است. حال آن‌که می‌توان اهدافی نظیر بهینه‌سازی زمان تحویل به مشتری، و بهینه‌سازی وسایل نقلیه در لایه توزیع‌کننده را نیز مورد بررسی قرار داد.
- اضافه کردن مفهوم خوشه‌بندی عوامل در هر لایه زنجیره‌تأمین نیز می‌تواند به‌عنوان یک مفهوم جدید به مدل اضافه گردد.
- باتوجه به پیچیدگی محاسباتی مدل که موجب افزایش زمان حل می‌شود می‌توان برای ابعاد بزرگتر از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده کرد.



شکل (۳): تحلیل حساسیت مربوط به تغییرات موعد تحویل

تغییر میزان زمان حمل:

با تغییر میزان زمان حمل با افزایش آن تابع هدف در بازه ۵ درصد کاهش و پس از آن در بازه تغییرات ۱۰ درصد به‌صورت تدریجی افزایش می‌باشد. تغییرات در بازه‌های مختلف برای زمان حمل در شکل (۴) نمایش داده شده است.



شکل (۴): تحلیل حساسیت مربوط به تغییرات زمان حمل

۴-۲. تحلیل و تفسیر نتایج

با توجه به اثرات پارامترهای مهم مسأله در میزان تابع هدف نیاز است تیم تصمیم‌گیری در واحد صنعتی برنامه عملیاتی مدونی را به‌کار گیرد. مفاهیمی نظیر حرکت درون سلولی و بین سلولی، قرارداد فرعی، موجودی و سفارش معوق، مقدار و حجم تولید بهینه در هر دوره، میزان تأخیرها از جمله مواردی هستند که می‌بایست در کنار یکدیگر به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی بهینه منجر شود. باتوجه به حساسیت مدل به افزایش موعد تحویل، استفاده از قرارداد جنبی برای پوشش تقاضا پیشنهاد می‌شود؛ چراکه منجر به کاهش تأخیر و بهبود زمان سیکل و در کل علی‌رغم افزایش هزینه تولید تابع هدف را بهبود می‌دهد. از سوی دیگر عملیات حمل درون و بین سلولی بسیار حایز اهمیت می‌باشند که نیاز است به‌صورت دوره‌ای پیکره‌بندی مجدد سلول‌های تولید مدنظر قرار گیرد. از سوی دیگر نگرش یکپارچه به برنامه‌ریزی در زنجیره‌تأمین با تمرکز بر زمان عملیات در لایه‌های

مراجع

- [1] بهنامیان، جواد، کمیجانی، فاطمه. (۱۳۹۷). ارائه الگوریتم شاخه و برش برای حل مساله زمان‌بندی تولید کارگاهی با استفاده از نامعادلات معتبر نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید. ۱۴۹-۱۳۹. (۱۳)۶.
- [2] پایدار، محمد مهدی، سعیدی مهرآباد، محمد، (۱۳۹۳). طراحی یک مدل یکپارچه استوار دوهدفه زنجیره‌تأمین و آرایش سلولی مجازی پویا. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۲(۳)، ۴۵-۳۳.
- [3] Aalaei, A., and Davoudpour, H. (2016). *Revised multi-choice goal programming for incorporated dynamic virtual cellular manufacturing into supply chain management: a case study*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 47, 3-15.
- [4] Aalaei, A., and Davoudpour, H. (2016). *Two bounds for integrating the virtual dynamic cellular manufacturing problem into supply chain management*. Journal of industrial and management optimization, 12(3), 907-930.
- [5] Aalaei, A., and Davoudpour, H. (2017). *A robust optimization model for cellular manufacturing system into supply chain management*. International Journal of Production Economics, 183, 667-679.
- [6] Chang, C, T. (2007). *Multi-choice goal programming*. Omega 35, 389-396.
- [7] Charnes, A. and Cooper, W.W. (1977), *Goal Programming and Multiple Objective Optimizations*, Part I, European Journal of Operational Research 1(1), 39-54.
- [8] Delgoshaei, A., Ariffin, M. K. A., Baharudian, B. H. B., and Leman, Z. (2016). *A new method for decreasing cell-load variation in dynamic cellular manufacturing systems*. International Journal of Industrial Engineering Computations, 7(1), 83-110.
- [9] Ghezavati, V. R. (2011). *A new stochastic mixed integer programming to design integrated cellular manufacturing system: A supply chain framework*. International Journal of Industrial Engineering Computations, 2(3), 563-574.
- [10] Ghezavati, V. R., Sadjadi, S. J., and Nayeri, M. D. (2011). *Integrating strategic and tactical decisions to robust designing of cellular manufacturing under uncertainty: Fixed suppliers in supply chain*. International Journal of Computational Intelligence Systems, 4(5), 837-854.
- [11] Houshyar, A.N., Leman, Z., Ariffin, M. K. A., and Ismail, N. (2016). *Proposed linear-mathematical model for configuring cell and designing unequal-area facility layout in dynamic cellular manufacturing system*. International Journal of Industrial and Systems Engineering, 22(3), 332-357.
- [12] Jadidi, O., Cavalieri, S., and Zolfaghari, S., (2015). *An improved multi-choice goal programming approach for supplier selection problems*, Applied Mathematical Modelling 39(14), 4213- 4222.
- [13] Mehdizadeh, E., and Rahimi, V. (2016). *An integrated mathematical model for solving dynamic cell formation problem considering operator assignment and inter/intra cell layouts*. Applied Soft Computing, 42, 325-341.
- [14] Melo, M.T., Nickel, S., and Saldanha-Da-Gama, F. (2009). *Facility location and supply chain management–A review*. European journal of operational research, 196(2), 401-412.
- [15] Niakan, F., Baboli, A., Moyaux, T., and Botta-Genoulaz, V. (2016). *A bi-objective model in sustainable dynamic cell formation problem with skill-based worker assignment*. Journal of Manufacturing Systems, 38, 46-62.
- [16] Pan, F., and Nagi, R. (2010). *Robust supply chain design under uncertain demand in agile manufacturing*. Computers & operations research, 37(4), 668-683.
- [17] Paydar, M.M., and Saidi-Mehrabad, M. (2015). *Revised multi-choice goal programming for integrated supply chain design and dynamic virtual cell formation with fuzzy parameters*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 28(3), 251-265.
- [18] Paydar, M.M., and Saidi-Mehrabad, M. (2017). *A hybrid genetic algorithm for dynamic virtual cellular manufacturing with supplier selection*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 92(5-8), 3001-3017.
- [19] Paydar, M.M., Saidi-Mehrabad, M., and Teimoury, E. (2014). *A robust optimisation model for generalised cell formation problem considering machine layout and supplier selection*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 27(8), 772-786.
- [20] Rao, P.P., and Mohanty, R. P. (2003). *Impact of cellular manufacturing on supply chain management: exploration of interrelationships between design issues*. International journal of manufacturing technology and management, 5(5-6), 507-520.
- [21] Sakiani, R., Ghomi, S. F., and Zandieh, M. (2012). *Multi-objective supply planning for two-level assembly systems with stochastic lead times*. Computers & Operations Research, 39(7), 1325-1332.
- [22] Saxena, L.K., and Jain, P. K. (2012). *An integrated model of dynamic cellular manufacturing and supply chain system design*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 62(1), 385-404.
- [23] Schaller, J. (2008). *Incorporating cellular manufacturing into supply chain design*. International Journal of Production Research, 46(17), 4925-4945.



DOI: 10.22084/IER.2021.23156.2000

Optimizing Supply Chain Operation Planning based on a Multi-Item Cell Manufacturing using a Modified Multi-Choice Goal Programming

H. Fazlollah Tabar*

Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, School of Engineering, Damghan University, Damghan, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 01 December 2020

Accepted 20 May 2021

Keywords:

Supply chain
Cell manufacturing
Cycle time
Scheduling

ABSTRACT

Supply chain is known as a network of linked and organized elements to control, manage and improve the flow of material, finance and information within the chain (from supplier to final consumer). Evolving competitive objectives among enterprises leading them to increase competitiveness via improving flexibility and response to customers. This research is to optimize time in a forward, multi-layer, multi-product, and multi-period supply chain. Production time is composed of processes times of all manufacturing cells being investigated in cell manufacturing system. Therefore, a bi-objective nonlinear integer mathematical program is formulated to minimize the total cycle time and to minimize the maximum delay time of the supply chain. Then, using a modified multi-choice goal programming the proposed model is transformed to a single-objective one and numerical instances are solved in Lingo software package by Branch & Bound method.

* Corresponding author. H. Fazlollah Tabar
Tel.: +98-2335220232; E-mail address: h.fazl@du.ac.ir