Journal of Soft Computing and Information Technology (JSCIT)
Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
Journal Homepage: jscit.nit.ac.ir
Volume 8, Number 2, Summer 2019, pp. 27-43
Received: 12/17/2017, Revised: 12/14/2018, Accepted: 02/25/2019

A new model for selecting information flow pattern in build-to-order supply chains

Saber Dinparast[1] and Seyyed Alireza Hashemi Golpaygani[2*]
1- Computer Engineering and IT Department, Amirkabir University of Technology, Hafez St., Tehran, Iran.
2- Computer Engineering and IT Department, Amirkabir University of Technology, Hafez St., Tehran, Iran.
[1]s.dinparast@aut.ac.ir, [2*]sa.hashemi@aut.ac.ir

Corresponding author address: Seyyed Alireza Hashemi Golpaygani, Computer Engineering and IT Department, Amirkabir University of Technology, Hafez St., Tehran, Iran, Post Code: 1591634311.

Abstract- Build-to-order supply chains are categorized as agile supply chains, therefore reshaping their physical structure is inevitable. The reshape affects chains material flow pattern, therefore revising the chains information flow pattern becomes a necessity. The revision should create the most coordinated information flow pattern with the new physical structure. Hence, we have tried to study and survey the way material flows in supply chain affects its information flow and vice versa. We have thought up a model in which mathematical modeling establishes coordinated information and material flow patterns. To achieve this, the parameters which build the two flow patterns were studied and considered. Each parameter's effects on others has been studied and relations were extracted. Using the capabilities of mathematical modeling the studied system converted to a Mixed Integer Non-Linear Programming (MINLP) model in which, some parameters as inputs give away the most coordinated information and material flow with chains physical structure considering minimum cost as objective.

Keywords- Data Flow Pattern, Supply Chain, Build to Order Mode, Mathematics Modeling, MINLP.

مجله علمی پژوهشی رایانش نرم و فناوری اطلاعات
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
صفحه مجله: jscit.nit.ac.ir
جلد ۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، صفحه ۴۳-۲۷
دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۶، بازنگری: ۱۳۹۷/۰۹/۲۳، پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۰۶

ارائه مدل جدیدی برای انتخاب الگوی جریان داده و اطلاعات در زنجیره تأمین با مد سفارشی‌ساز

صابر دین‌پرست[۱]، سید علیرضا هاشمی گلپایگانی*[۲]
۱- دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.
*۲- دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.
[1]s.dinparast@aut.ac.ir, and [2*]sa.hashemi@aut,ac.ir

* نشانی نویسنده مسئول: سید علیرضا هاشمی گلپایگانی، تهران، خیابان حافظ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، کد پستی: ۱۵۹۱۶۳۴۳۱۱

چکیده- زنجیره‌های تأمین با مد سفارشی‌ساز، در زمرهٔ زنجیره‌های چابک قرار دارند، بنابراین تغییر در ساختار فیزیکی آنها، اجتناب‌ناپذیر است؛ تغییر ساختار فیزیکی، جریان کالا و مواد آن را متأثر می‌سازد. اینجاست که بازنگری در الگوی جریان داده‌واطلاعات، ضرورت پیدا می‌کند. این بازنگری باید به طراحی و پیاده سازی هماهنگ‌ترین الگوی جریان اطلاعات با ساختار جدید فیزیکی در زنجیره بیانجامد. از این رو ست که در مقالهٔ حا ضر تلاش شده ا ست تا اثرات تغییر در جریان کالا بر جریان اطلاعات مورد بررسی و کنکاش قرار گیرد و مدلی به منظور طراحی الگوی جریان اطلاعاتی، متناسب با جریان موادوکالای زنجیره با استفاده از قابلیت‌های مدل‌سازی ریاضی ارائه گردد. در همین راستا، پارامترهای مهم و تأثیرگذار و سازنده دو الگوی جریان مواد و جریان اطلاعات مورد برر سی و اح صا قرار گرفت و اثرگذاری پارامترهای مرتبط با دو جریان برهمدیگر شنا سایی و برر سی شد. سپس مدلی بر پایه برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط عدد صحیح ارائه شد که با دریافت پارامترهای مربوط به زنجیره‌های سفار شی ساز، الگوی متنا سب جریان داده‌واطلاعات و جریان موادوکالای آن را ارائه میدهد.

واژه‌های کلیدی: الگوی جریان اطلاعات، زنجیره تأمین، مد سفارشی‌سازی، مدل‌سازی ریاضی، برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط عدد صحیح.

۱- مقدمه

امروزه، تأثیر بکارگیری سیستم‌های اطلاعاتی و تبادل روان داده بین شرکای زنجیره تأمین بر بهبود عملکرد زنجیره غیرقابل کتمان است[۶]. اعضای هر زنجیره به‌منظور تبدیل تهدیدات ناشی از حضور فاکتورهای عدم اطمینان به فرصت، نیازمند اطلاعات صحیح و به‌روز در سریع‌ترین زمان ممکن هستند. بنابراین، برنامه‌ریزی و یکپارچه‌سازی لجستیک در زنجیره تأمین نیازمند همکاری همه‌جانبه شرکا در جهت تسهیم داده و اطلاعات کلیدی همچون اطلاعات مربوط به برنامه‌ریزی خط تولید، پیش‌بینی‌ها، برنامه‌های تحویل و غیره است[۲۲], [۴].

از آنجایی که زنجیره‌های تأمین با مد سفارشی‌ساز، وابستگی شدیدتری به ایجاد هماهنگی و برقراری ارتباطات ساختارمند دارند، بحث ایجاد جریان اطلاعاتی مناسب و متناسب در این نوع از زنجیره‌ها از اهمیت بیشتری، برخوردار است. بنابراین به منظور بهره‌مندی از جریان اطلاعاتی سریع و بهینه، نیازمند طراحی الگوی بهینه برای جریان داده‌واطلاعات در زنجیره هستیم.

الگوی جریان اطلاعاتی در جهت هماهنگ‌سازی و یکپارچه‌سازی اعضای زنجیره تلاش می‌کند[۸]. این الگو را در زنجیره‌های تأمین می‌توان به سه دستهٔ الگوی متمرکز، غیرمتمرکز و ترکیبی تقسیم کرد[۷]. از منظر اطلاعات، مدیریت زنجیره تأمین کارا، باید بتواند حجم درستی از اطلاعات مرتبط و متناسب را در زمان مناسب به

دست فرد موثقی که به آن اطلاعات نیاز دارد، برساند[۸]. برای انجام این کار باید الگوی جریان اطلاعات بهینه در زنجیره شکل گیرد. یافتن مدلی به منظور ارائهٔ الگوی جریان اطلاعاتی متناسب و هماهنگ با جریان مواد و کالا در آن زنجیره، مزیت رقابتی ارزشمندی را در اختیار زنجیره قرار می‌دهد.

از این رو در این مقاله بر ایجاد هماهنگی و همزمانی در زنجیره‌های تأمین سفارشی‌ساز تمرکز شده است و تلاش بر آن است تا با ارائهٔ الگوی جریان اطلاعات هماهنگ با جریان موادوکالا، حداکثر هماهنگی و هم‌زمانی مابین شرکا به منظور کاهش هزینه‌ها و بهبود زمان پاسخگویی به سفارشات دریافتی، ایجاد گردد.

بدین منظور یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط عدد صحیح ساخته شده است. در این مدل انواع کانال‌های ارتباطی و کانال‌های فیزیکی بصورت باینری مدل شده‌اند. بهینه‌سازی مدل ساخته شده، بهترین ترکیب کانال‌های مورد مطالعه را برای زنجیره تأمین انتخاب می‌کند.

ادامه مقاله بدین صورت سازماندهی شده است که در بخش پیش‌رو به پیشینه پژوهش و بررسی کارهای مشابه پرداخته شده است. در بخش ۳، به بیان مسئله و مدل ریاضی پرداخته شده است و فرآیند حل مسئله، بررسی مطالعه موردی و تحلیل نتایج بدست آمده در بخش چهارم ارائه شده‌است. نهایتا در بخش ۵ و پایانی نتیجه‌گیری و پیشنهادات آمده است.

۲- پیشینه

مسئلهٔ حاضر در پی مدل‌سازی دو الگوی جریان داده‌واطلاعات و جریان موادوکالا در زنجیره تأمین سفارشی‌ساز به صورت توأمان و درکنار یکدیگر است. بدین منظور تحقیقات در سه بخش دسته‌بندی شده و مورد مطالعه قرار گرفتند. دستهٔ اول شامل مقالات موضوعی و تعریفی است که به تعریف و تبیین مفاهیم مورد استفاده در مقاله پرداخته‌اند؛ دستهٔ دوم، مقالاتی هستند که ساختار و الگوی جریان اطلاعاتی را مورد بحث قرار داده‌اند و دسته سوم به ساخت مدل و بهینه‌سازی زنجیره تأمین پرداخته‌اند. لیست مقالات مورد بررسی در این بخش و دسته‌بندی آنها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: دسته‌بندی کارهای پیشین

دسته	شماره مقاله
تعریفی	[۲]، [۱۱]، [۱۴]، [۱۵]، [۱۷]، [۱۹]، [۲۰]، [۲۱]
ساختار الگوی جریان اطلاعات	[۷]، [۸] ، [۱۲]، [۱۸]
مدل‌سازی ریاضی	[۱]، [۶]، [۹]، [۱۳]، [۱۶]، [۲۳]

در دستهٔ اول مقالات، مقالهٔ [۲]، نقش فناوری اطلاعات در زنجیره تأمین را مورد بررسی قرار داده است و مقالهٔ [۱۱]، به تعریف و بررسی ویژگی‌های زنجیره‌های تأمین با مد سفارشی‌ساز پرداخته است؛ مقاله [۱۴] در واقع یک مقاله مروری است که به بررسی و جمع‌بندی مفاهیم ارائه شده در تحقیقات مربوط با طراحی شبکه زنجیره تأمین پرداخته است. نویسندگان مقالهٔ [۱۵]، تحقیق خود را به تبیین مفهوم چابکی در زنجیره تأمین و اثرات آن بر کسب قابلیت رقابت‌پذیری اختصاص داده‌اند. ایشان سه محور رقابت‌پذیری فناوری اطلاعات، عملیات و مدیریت را به عنوان محورهای اصلی ایجاد چابکی در زنجیره تأمین معرفی کرده و تأثیر آنها در ایجاد مزیت رقابتی برای سازمان‌ها را بررسی کرده‌اند. مقالهٔ [۱۷]، مفهوم مشاهده‌پذیری زنجیره تأمین را مورد بررسی قرار داده است و در نهایت با انجام یک تحقیق میدانی، صحت تعاریف استخراجی از مقالات را مورد راستی‌آزمایی قرار داده است. در مقالهٔ [۱۹]، هدف رساندن کالا در زمان وعده داده شده به دست مشتری است؛ نتیجهٔ کار ارائهٔ مدل پتری‌نت و محاسبات ماتریسی به منظور محاسبهٔ زمان گردش کار و پاسخ به سفارشات واصله در زنجیره تأمین است که با استفاده از قابلیت‌های پتری‌نت رنگی زمان‌دار انجام شده است. مدل-سازی و بررسی عملکرد انبار هدف کار در مقالهٔ [۲۰] است. در این مقاله پتری‌نت دسته‌ای قطعی معرفی و مورد استفاده قرار گرفته است و با استفاده از قابلیت‌های مدل‌سازی پتری‌نت و فرمول‌های ریاضی مدلی که قابلیت محاسبه و ارزیابی دارد معرفی شده است. در مقالهٔ [۲۱] با استفاده از سه متغیر زمان، مسیر و هزینه تلاش شده است مدلی فرمال به منظور ارزیابی الگوهای زنجیره تأمین ارائه گردد.

مقالات دستهٔ ۲ به مقالاتی اختصاص دارند که به بررسی ساختار الگوی جریان اطلاعات در زنجیره تأمین پرداخته‌اند. در مقالهٔ [۷]، مطالعهٔ شاخص‌های عملکردی زنجیره‌های تأمین مدارمجتمع[۱] در کشور تایوان مدنظر است. این‌کار با توجه به الگوهای مختلف جریان اطلاعات و مواد و بررسی موردهای مطالعاتی، تطبیق شاخصهای KPI[۲] و ساخت BSC[۳] جهت ارائهٔ شاخص‌های عملکردی برای زنجیره تأمین مدارمجتمع در کشور تایوان انجام گرفته است؛ مطالعهٔ الگوهای جریان اطلاعاتی در زنجیره تأمین‌های مطالعه شده و معرفی ساختار آنها از کارهای مهم در این کار است. نویسندگان مقالهٔ [۸]، قصد داشته‌اند جریان اطلاعاتی کاغذی صنایع پارچه کشور بنگلادش را به جریان الکترونیکی بدل کنند؛ بدین منظور پس از شناسایی تمام جریان‌های اطلاعاتی، الگوی مدنظر خود را ساخته و نهایتا پیاده‌سازی کرده‌اند، شناسایی تمام جریان‌های داده‌واطلاعات در

زنجیره تأمین، توجه به کانال انتقال داده‌واطلاعات و ترسیم الگوی برتر و احصای آن کار مهمی است که در این مقاله انجام شده است. در مقالهٔ [۱۲]، نویسندگان قصد دارند الگوی برتر جریان موادوکالا و جریان داده‌واطلاعات را به منظور تهیه و تدارک کالا در هر دورهٔ زمانی انتخاب کنند؛ برای نیل به هدف از قابلیت‌های برنامه‌سازی خطی عدد صحیح[۴] استفاده شده است؛ ترسیم تمام جریان‌های ممکن و انتخاب بهترین آنها در هر دوره با توجه به شرایط و مقداردهی متغیرها در مدل خطی ساخته شده، الگوی بهینهٔ مدنظر را خروجی داده است. علیرغم مشابهت‌های موجو بین مقاله [۱۲] با کار حاضر ولی در مقاله [۱۲] تمامی کانال‌های داده و مواد یکسان فرض شده‌اند در حالیکه در مقاله حاضر، مدل ساخته شده از بین مجموعه روش‌های حمل‌ونقل و مجموعه روش‌های ارسال داده ممکن برای هر کانال، بهترین الگوی جریان داده و جریان کالا انتخاب می‌شود. مقالهٔ [۱۸] با مدل‌سازی زنجیره تأمین مدنظر خود با استفاده از مدل بیزین، موانع تسهیم اطلاعات مابین شرکا و موارد مؤثر در ترغیب شرکا به اینکار را مورد بررسی قرار داده است. میزان تقاضای بازار به عنوان متغیر اصلی در مدل ریاضی ساخته شده مدنظر قرار گرفته است و تحلیل ریاضی بر مبنای متغیر میزان تقاضای بازار و متغیرهای زمان و هزینه انجام گرفته است؛ در این مقاله هیچ‌گونه مدلسازی با استفاده از ابزار مدل‌سازهای شکلی مثل پتری‌نت یا UML[۵] انجام نگرفته است.

در دسته سوم از مقالات بررسی شده به مدل‌سازی ریاضی و بهینه‌سازی زنجیره تأمین پرداخته شده است. در مقاله [۱]، محققان با مدل‌سازی زنجیره تأمین در پنج استراتژی متفاوت و مقایسه آنها به بررسی میزان اثرگذاری تسهیم اطلاعات بر کاهش هزینه زنجیره تأمین سفارشی‌ساز پرداخته‌اند. در واقع در مقاله [۱] فرض بر این است که با افزایش نرخ تسهیم اطلاعات بین شرکای زنجیره، میزان موادوکالا در انبار کاهش می‌یابد و در نتیجه هزینه زنجیره کاهش می‌یابد. مقدار این کاهش با مدل‌سازی ریاضی اندازه‌گیری شده است اما توجهی به الگوی جریان نشده است. در مقاله [۶]، نویسندگان با مطالعه تعدادی از زنجیره‌های تأمین خرد و متوسط در کشورهای ترکیه و بلغارستان و استفاده از روش‌های آماری به تأثیرات بکارگیری سیستم‌های اطلاعاتی بر کارآمدی این زنجیره‌ها پرداخته‌اند و نتایج بدست آمده در مطالعه زنجیره‌های دو کشور را با هم مقایسه کرده‌اند. در مقالهٔ [۹] مدلی ریاضی برای طراحی شبکه فیزیکی زنجیره تأمین با هدف کمینه‌سازی هزینه کلی زنجیره ارائه شده است. همچنین در مقالهٔ [۱۳] با استفاده از قابلیت‌های مدل‌سازی خطی، تلاش شده است تا ریسک‌ها و ناپایداری‌های بازار (رقابت سخت و ناپایداری تأمین‌کنندگان) مدیریت گردد. با وجودی‌که در این مقاله، جریان داده‌ای به عنوان فاکتوری اثرگذار معرفی شده است اما این جریان به عنوان ارتباطی بین شرکا در نظر گرفته شده است و به جزئیات الگوی جریان ارتباطی پرداخته نشده است. مقاله [۱۶] مدلی خطی (با تبدیل روابط غیرخطی ساخته شده به خطی) برای مکان‌گزینی بهینه شرکای زنجیره تأمینی ۴ لایه‌ای و تعیین مقدار بهینه کالای ارسالی از شریکی به شریک دیگر ارائه کرده است.تابع هدف در این مقاله نیز کمینه‌سازی هزینه است. در مقاله [۲۳]، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح برای بهینه‌سازی روند تصمیم‌گیری در زنجیره تأمین نفت خام ارائه شده است. تابع هدف این مسئله، بیشینه‌سازی درآمد زنجیره است. همچنین تحلیل حساسیت برای اندازه‌گیری میزان اثرگذاری بهتر افزایش تولید نفت و یا کاهش هزینه‌های تولید بر بهبود وضعیت تابع هدف انجام گرفته است.

توجه به مسائل مربوط به جریان داده‌واطلاعات در زنجیره تأمین تشابه مسئلهٔ حاضر با مقالات دستهٔ دوم به‌شمار می‌رود. انجام مدل-سازی و بیان مشخصات زنجیره تأمین در قالب مدل، دیگر مشابهت تحقیق حاضر با تحقیقات مشابه به شمار می‌رود.

تمایز اصلی و نوآوری مسئلهٔ حاضر، توجه به مدل‌سازی الگوی جریان اطلاعاتی در تعامل با جریان موادوکالا است که در هیچ‌یک از مقالات مورد مطالعه مورد توجه قرار نگرفته است. توجه به کنش‌ها و اثرات متقابل دو جریان بریکدیگر و شکل‌دهی ساختار زنجیره تأمین مبتنی بر آن مهمترین تمایز کار حاضر با مقالات مورد مطالعه است.

۳- بیان مسئله و مدل ریاضی

برای بیان هر مسئله باید شرایط و مفروضات حاکم بر مسئله بطور کلی شرح داده شوند تا ضمن شکل دادن به مسئله، خواننده نیز بتواند با ضوابط موجود، آشنا گردد. بنابراین در ابتدای این بخش اجزا و مفروضات اصلی مسئله به طور کامل و دقیق ارائه می‌شود. در ادامه به بیان هدف مسئله پرداخته شده است. در پایان مدل ریاضی ساخته شده ارائه و معرفی شده است.

۳-۱- مفروضات

۱. فرض بر این است که تمام شرکا، تک‌محصولی هستند.
۲. برای ساخت هر محصول، مصرف یک یا بیش از یک ماده اولیه مورد نیاز است؛ و این مواد اولیه مورد نیاز باید تأمین شوند.
۳. هزینه راه‌اندازی هر ارتباط بین دو شریک از کانال c، به دو بخش هزینه ثابت در دوره و هزینه متغیر تقسیم می‌شود.

۴. هزینه متغیر ارسال پیام از کانال c بین دو شریک متناسب با نوع پیام می‌باشد.
۵. هر کانال دارای فرمت داده‌ای مخصوص به خود است که پیام‌ها در صورت ارسال از آن کانال، باید در آن فرمت داده‌ای ارسال شوند.
۶. سرعت پردازش پیام‌ها در مقاصد متفاوت با یکدیگر برابر نیست.
۷. سرعت ایجاد پیام‌ها در مبدأهای متفاوت، با یکدیگر برابر نیست.
۸. لزوما پیام‌ها مابین دو شریکِ دارای تبادلات کالایی، منتقل نمی‌شوند.
۹. مجموعهٔ تمام پیام‌های رد و بدل شونده در زنجیره، مشخص است.
۱۰. هر پیام، منجر به حرکت در یک مسیر موادوکالا می‌شود.
۱۱. مسیر حرکت موادوکالای مرتبط با هر پیام تعیین شده است؛ لذا فرستنده و دریافت‌کنندهٔ هرپیام نیز معین است.
۱۲. ایجادکننده و فرستندهٔ پیام، باید تعیین گردد. (واسط‌های ارسال پیام باید تعیین گردند.)
۱۳. نوع فناوری ارتباطی مورد استفاده مابین دو شریک را کانال می‌نامیم.
۱۴. نوع کانال ارتباطی مابین دو شریک باید تعیین گردد.
۱۵. مدت زمان انتقال یک پیام در هر کانال ارتباطی به صورت مجزا محاسبه می‌شود.
۱۶. مدت زمان انتقال یک پیام از یک شریک به شریک دیگر حاصل مجموع سه پارامترِ زمان ساخت پیام در مبدأ، مدت زمان ارسال در کانال ارتباطی و مدت زمان پردازش در مقصد، است.
۱۷. ایجاد مسیر ارتباطی مستقیم و بدون واسطه، مابین دو شریک که باهم تبادل موادوکالا دارند، در اولویت است.
۱۸. برای ایجاد هر مسیر ارتباطی مابین دو شریک باید مابین این‌دو قرارداد تبادل داده وجود داشته باشد.
۱۹. در صورت عدم وجود قرارداد تبادل داده مابین دو شریک که باهم تبادل موادوکالا دارند، باید واسط داده‌ای بین این دو ایجاد شود.
۲۰. شریک p تنها در صورتی می‌تواند بین دو شریک دیگر در زنجیره، به عنوان واسط داده‌ای عمل کند که قبلا وجود این قابلیت در آن، مشخص شده باشد.
۲۱. فرض بر این است که بیش از یک واسط داده‌ای مابین دو شریک، مجاز نیست.
۲۲. سیستم حمل‌ونقل به صورت مستقل در نظر گرفته نشده و فرض بر اینست که هر شریک خود می‌تواند به نیازهای حمل‌ونقلی‌اش پاسخ دهد.
۲۳. هر مسیر موادوکالا یک نوع ماده‌ی اولیه یا کالا را تأمین می‌کند و هر نوع ماده‌ی اولیه یا کالا فقط و فقط از طریق یک مسیر تأمین می‌شود.
۲۴. هیچ انباری برای محصولات وجود ندارد و محصولات فقط پس از دریافت سفارش تولید می‌شوند. اما انبار مواد اولیه وجود دارد.
۲۵. زمان انجام کار از مجموع سه مدت زمان مربوط به پردازش و انتقال اطلاعات، تولید کالا و حمل‌ونقل تشکیل می‌شود.
۲۶. سطح موجودی انبار در ابتدای آغاز به پاسخگویی به سفارشات تجمیعی دریافتی همواره در سطح نقطهٔ سفارش مجدد خواهد بود.
۲۷. بودجهٔ راه‌اندازی کانال‌های جدید ارتباطی در هر شریک محدود است و نباید بیش از آن برای توسعهٔ زیرساخت‌های جدید ارتباطی هزینه شود.
۲۸. هزینه‌ای دوره‌ای برقراری ارتباط مابین دوشریک محدودیتی ندارد.
۲۹. زیرساخت‌های مربوط به نوع کانال انتخاب‌شده، حداکثر تا زمان اتمام زمان تجمیع ایجاد می‌شوند و زمانی بیش از آن صرف آماده‌سازی زیرساخت ارتباطی نمی‌گردد.
۳۰. سفارشات در طی زمان مشخص (زمان پاسخگویی به سفارشات قبلی) دریافت و تجمیع می‌شوند.
۳۱. سفارشات تجمیع‌شده، در انتهای زمان تجمیع به صورت همزمان وارد خط تولید می‌شوند.
۳۲. جریان اطلاعات، پس از تجمیع سفارشات در زنجیره به جریان می‌افتند.

۳۳. سفارشات جدید در مدت زمان پاسخگویی به سفارشات قبلی دریافت می‌گردند؛ پس از اتمام پاسخگویی به سفارشات و قبل از آغاز به پاسخگویی به سفارشات جدید دریافتی، حجم انبارها به حجم نقطه سفارش مجدد بازگردانده می‌شود.

۳۴. برای تأمین‌کنندگان لایهٔ آخر، مقدار مواد اولیهٔ در دسترس بی‌نهایت فرض می‌شود.

۳۵. تولید نباید به دلیل عدم وصول ماده اولیه مورد نیاز، تعطیل شود. همواره پیوستگی تولید تا پاسخگویی به سفارشات تجمیع شده، بدون هیچگونه توقف ادامه پیدا می‌کند.

۳۶. حجم سفارشات دریافتی به مقداری است که به مواد اولیه بیشتر از نقطهٔ سفارش آن احتیاج دارد.

۳۷. مسیرهای ممکن برای انتقال هر پیام، احصاء شده و به عنوان پارامتر ورودی در مدل به منظور انتخاب مسیر برتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۳- اهداف

تعیین الگوی جریان داده‌واطلاعات متناسب با ساختار جریان موادوکالایی شکل گرفته در زنجیره به منظور کمینه‌سازی هزینه در زنجیره تأمین سفارشی‌ساز هدف اصلی مقاله است. از این رو، کمینه‌سازی هزینه، تابع هدف مدل ارائه شده است.

در الگوی معرفی شده، علاوه بر نوع کانال ارتباطی، نوع وسیلهٔ حمل‌ونقل مورد استفاده در مسیرهای کالایی به عنوان یکی از متغیرهای تصمیم در مدل وارد شده و با توجه به شرایط پارامترهای ورودی مسئله، در مورد آن تصمیم‌گیری می‌شود.

همچنین با توجه به اینکه انبارها در تمام شرکای زنجیره تأمین از تأمین‌کنندگان گرفته تا تولیدکننده، حجم مهمی از هزینه و سرمایه‌گذاری را شامل می‌شوند[۲۰]، ارتباطات مابین الگوهای جریان اطلاعاتی و موادوکالا با میزان موجودی انبار مرتبط شده‌اند.

۳-۳- مدل مسئله و نحوه بیان ریاضی مسئله

راه‌حل پیشنهادی را بطور کلی می‌توان به سه جز تقسیم‌بندی کرد که عبارتند از:

۱. پارامترهای ورودی: پارامترهای ورودی، معلومات مسئله را شامل می‌شوند. لیست کامل این پارامترها در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است.

۲. پردازش مرکزی: مدل پیشنهادی در این قسمت قرار دارد و شامل چهار فرآیند دریافت ورودی، محاسبه متغیرهای میانی، بهینه‌سازی و تبدیل فرمت خروجی می‌باشد.

۳. خروجی: الگوی جریان داده‌واطلاعات و الگوی جریان موادوکالایی که هزینه زنجیره را کمینه می‌کند، خروجی مدل ایجاد شده است. نوع کانال‌های ارتباطی برای انتقال داده و حمل‌ونقل کالا و نحوه ارتباط بین شرکا (مستقیم یا با واسطه بودن آن) با در نظر گرفتن هزینه نهایی زنجیره در خروجی مدل، تعیین می‌گردند.

جدول ۲: مجموعه‌ها و اندیس‌ها و پارامترهای بکار رفته در مدل

علامت	توضیحات	علامت	توضیحات
P	مجموعه عناصر و شرکای زنجیره	Mtde	وجود ارتباط مواد و کالا مابین شرکای e و d
L	مجموعه مواد اولیه	IBp	حداکثر بودجهٔ اختصاصی برای حفظ و نگهداری زیرساخت‌های لازم برای بکارگیری فناوری انتقال اطلاعات در یک دوره در شریک p
K	مجموعه وسایل حمل و نقل	PUPTdl	سرعت تولید ماده l در شریک d در واحد زمان (تعداد در زمان)
C	مجموعه کانال-های ارتباطی	MCPTel	سرعت مصرف ماده اولیه l در شریک e به منظور تولید محصول
M	مجموعه پیام‌های ارسالی و دریافتی در زنجیره تأمین	TCostdelk	هزینه حمل و نقل کالای l از d به e توسط k (وسیله نقلیه) در واحد حجم
E	مجموعه شرکایی (گره‌هایی) که پیام می‌فرستند (ماده اولیه دریافت می‌کنند)	ICel	هزینه انبارداری یک واحد از ماده l در شریک e در طول یک واحد زمان
D	مجموعه شرکایی(گره-هایی) که پیام دریافت می‌کنند (ماده اولیه می-فرستند)	TP	مدت زمان دوره تجمیع در واحد زمان

S1	مجموعه تأمین-کنندگان سطح ۱		TTdek	زمان حمل و نقل با وسیله k از d به e
S2	مجموعه تأمین-کنندگان سطح ۲		ISCepd(ppp(	**وجود قراردادی برای واسطه‌گری داده توسط p مابین e و d**
Man	مجموعه تولیدکنندگان		ISMedm	**نشان می‌دهد که e مبدأ ساخت پیام m و d گره مقصدی است که پیام باید به آن برسد**
Fl	مجموعه مواد و کالاهای تأمین شده توسط تأمین‌کنندگان سطح ۱		ISSpdel	**آیا d ماده l را برای e تأمین می‌کند؟**
Sl	مجموعه مواد و کالاهای تأمین شده توسط تأمین‌کنندگان سطح ۲		MCdl	**هزینه تولید یک واحد l در شریک p**
ChCedmc	هزینهٔ بکارگیری کانال ارتباطی c در یک دوره بین e و d برای ارسال پیام m		MPRedl	**حداکثر مقدار تولید ماده اولیه l در واحد تولیدی d برای تأمین شریک e در زنجیره اختصاص دارد**
ChSCpc	هزینهٔ آبونمان کانال c در شریک p در یک دوره		elm-l	**مقدار ماده اولیه l مورد نیاز برای پاسخگویی به سفارش مشتریان (سفارشی که به تولیدکننده رسیده)**
ChinCedc	هزینهٔ نگهداری و تعمیرات لازم جهت حفظ ارتباط بین e و d از طریق کانال c		ISMLmdl	**وجود ارتباط مابین پیام m و ماده اولیه l بطوری‌که تا پیام m جریان پیدا نکند ماده اولیه l**

				هم جریان پیدا نمی‌کند.
CMTemc	مدت زمان متوسط تولید پیام m در فرستنده e، مناسب کانال c		(mp(s1)(fl)(sL	**نسبت ماده اولیه sl مورد نیاز در شریک s1 به منظور ساخت یک واحد کالای fl**
MSTedmc	مدت زمان ارسال پیام m با کانال c از فرستنده e به گیرنده d		Mtde	**وجود ارتباط مواد و کالا مابین شرکای e و d**
MPTdmc	مدت زمان پردازش پیام دریافتی m با فرمت مناسب کانال c در گیرنده d		IBp	**حداکثر بودجهٔ اختصاصی برای حفظ و نگهداری زیرساخت‌های لازم برای بکارگیری فناوری انتقال اطلاعات در یک دوره در شریک p**
MtPtedm	وجود ارتباط پیام m با مسیرمواد وکالای مابین e و d		PUPTdl	**سرعت تولید ماده l در شریک d در واحد زمان (تعداد در زمان)**

جدول ۳: متغیرهای واسط (معیار)، تصمیم و تابع هدف

نماد	توضیح		نماد	توضیح
MTimedel	زمان تولید کل مقدار ماده اولیه l که در d به منظور تأمین e تولید می‌شود		infCostedm	هزینه اطلاعاتی کانال c مابین شرکای e و d و برای انتقال پیام m
TrTimedel	زمان حمل و نقل کالای l از d به e		ROPel	نقطه سفارش مجدد (حداکثر میزان موجودی انبار) ماده اولیه l در شریک e در صورتی‌که پیام m مابین آن دو رد و بدل شود.

TrMCostdel	مجموع هزینه تولید و انتقال ماده اولیه l از d به e	PICel	هزینه کل انبارداری ماده اولیه l در شریک e در یک دوره
TrMTimedel	مجموع زمان تولید و حمل‌ونقل ماده اولیه l از d به e	TMTimeel	حداکثر زمان تأمین ماده اولیه l برای دریافت‌کنندهٔ e با تبادل داده‌ای m
ISMaxd	متغیر باینری برای انتخاب ماکسیموم مقدار زمان تأمین	Xepdmc	وجود ارتباط اطلاعاتی با کانال ارتباطی c مابین فرستنده e و دریافت‌کننده p
MSQ1s1manfl	میزان ماده اولیه l که توسط تأمین-کننده سطح اول به تولیدکننده ارسال می‌شود	Yepdmc	وجود ارتباط اطلاعاتی مابین شریک p و d با کانال c
MSQ2s2s1sl	میزان ماده اولیه l که توسط تأمین-کننده سطح دوم به تأمین‌کننده سطح اول ارسال می‌شود	ISKdelk	استفاده از وسیله حمل و نقل k برای انتقال l از d به e
infTimeedm	مجموع زمان لازم برای ارسال پیام m با استفاده از کانال c از e به d	Cost	هزینه کلی زنجیره تأمین (تابع هدف)

پارامترهای معرفی شده در مدل را می‌توان از حیث نوع به دو دسته کلی تقسیم کرد:

دستهٔ اول : دستهٔ پارامترهای ساختاری هستند که به صورت باینری تعریف می‌شوند و ساختار زنجیرهٔ تأمین را معرفی و مشخص می-کنند (جدول۴).

جدول ۴: دسته اول پارامترهای مورد استفاده در مدل

ISML(l,m)	MtPt(e,d,m)	ISC(e,p,d,m)	ISSP(e,d,l)	ISM(e,d,m)

دسته دوم : دستهٔ پارامترهای کمیتی هستند که مقدار ورودی‌ها و معلومات کمی، زنجیره مانند هزینهٔ حمل و نقل کالا، هزینه راه-اندازی کانال ارتباطی خاص و ... را مشخص می‌کنند (جدول ۵).

جدول ۵: پارامترهای دسته دوم مورد استفاده در مدل

CMT(p,m,c)	ChinC(p,p,c)	ChC(p,p,m,c)	MPT(p,m,c)
elm(l)	MPR(e,d,l)	MC(d,l)	TCost(d,e,l,k)
IC(e,l)	MCPT(e,l)	ChSC(p,c)	TT(d,e,k)
mp(s1,fl,sL)	PUPT(d,l)	IB(P)	TP
			MST(p,p,m,c)

متغیرهای مورد محاسبه در مدل نیز، به دو دسته تقسیم می‌شوند، متغیرهای باینری که فقط مقادیر صفر و یک می‌گیرند و به منظور نشان دادن وجود یا عدم وجود یک جریان یا معتبر بودن یا نبودن یک رابطه مورد استفاده قرار می‌گیرد (جدول ۶) و متغیرهای حقیقی که شامل متغیرهای محاسباتی هستند که مقادیر متفاوتی را بسته به نوع محاسبات، کسب می‌کنند (جدول ۷).

جدول ۶: دسته اول متغیرهای مورد محاسبه در مدل

y(e,p,d,m,c)	x(e,p,d,m,c)	ISMax(d,l)	ISK(d,e,l,k)

جدول ۷: دسته دوم متغیرهای مورد محاسبه در مدل

PIC(e,l)	ROP(e,l)	infCost(e,d,m)	infTime(e,d,m)
TrMCost(e,l)	MSQ2(p,p,l)	MSQ1(p,p,l)	TMTime(e,l)
	TrTime(d,e,l)	MTime(d,e,l)	TrMTime(d,e,l)

۱-۳-۳- روابط مدل

روابط ریاضی مدل ارائه شده در این قسمت ارائه شده است. پس از ارائه هر رابطه، توضیحات مختصری در رابطه با آن داده شده است. روابط ۱ تا ۱۰ روابط مربوطه به محاسبه مقادیر متغیرهای میانی (واسط) و متغیر تصمیم را نشان می‌دهد. همچنین تمامی روابط، فرمول‌ها و عبارات بعد از عبارت شماره ۱۲، محدودیت‌های اعمال شده در مدل هستند. تابع هدف نیز، تابع می‌نی‌مم‌سازی است.

$$\forall e,l \rightarrow TrMCost_{el} = \sum_{d=1}^{D}\left(\begin{array}{c}\sum_{k=1}^{K}\left(\begin{pmatrix}MSQ1_{del}\times TCost_{delk}\times\\ ISK_{delk}\end{pmatrix}\right)\times\\ +MSQ1_{del}\times MC_{dl}\\ ISSp_{del}+\\ \sum_{k=1}^{K}\left(\begin{pmatrix}MSQ2_{del}\times TCost_{delk}\times\\ ISK_{delk}\end{pmatrix}+\right)\times\\ MSQ2_{del}\times MC_{dl}\\ ISSp_{del}\end{array}\right) \quad (۱)$$

در فرمول شماره ۱، مجموع هزینه تولید و انتقال ماده اولیه l از تأمین‌کنندگان به تولیدکننده e مورد محاسبه قرار می‌گیرد. ضریب ISK که متغیر تصمیم باینری است در رابطه مذکور ضرب می‌شود، این متغیر فقط به ازای یک وسیله حمل‌ونقل (k) مقدار ۱ به خود می‌گیرد.

$$\forall d,e,l \rightarrow MTime_{del} = (MSQ1_{del}+MSQ2_{del})\times PUPT_{dl}\times ISSP_{del} \quad (۲)$$

فرمول شماره ۲، مدت زمان تولید حجم سفارش دریافتی برای ماده اولیه l در شریک d را محاسبه می‌کند. این ماده اولیه به منظور تأمین شریک e تولید می‌شود.

$$\forall d,e,l \rightarrow TrTime_{del} = \sum_{k=1}^{K} TT_{dek}\times ISK_{delk} \quad (۳)$$

در فرمول شماره ۳، با ضرب کردن پارامتر TT (مدت زمان حمل کالا از شریک d به شریک e با استفاده از وسیله حمل‌ونقل k) در متغیر تصمیم ISK، مدت زمان لازم به منظور حمل‌ونقل موادوکالا مابین دو شریک محاسبه می‌گردد.

$$\forall d,e,l \rightarrow TrMTime_{del} = MTime_{del}+TrTime_{del} \quad (۴)$$

فرمول شماره ۴، با انجام حاصل‌جمع مدت زمان تولید با مدت زمان حمل، مدت زمان تأمین ماده اولیه l از تأمین‌کننده‌ی d به تولیدکننده e را محاسبه می‌کند.

$$\forall e,l \rightarrow TMTime_{el} = \sum_{d=1}^{D}\left(\begin{array}{c}TrMTime_{del}+\\ \left(\sum_{m=1}^{M} infTime_{edm}\times ISML_{mdl}\right)\times\\ ISMax_{d}\end{array}\right) \quad (۵)$$

فرمول شماره ۵، به محاسبه مقدار متغیر TMTime می‌پردازد که نشان‌دهنده مدت زمان دریافت آخرین محموله کالای l سفارش داده‌شده توسط شریک e است. متغیر باینری ISMax، متغیری است که فقط در صورت رسیدن به مقدار ماکسیموم TMTime، یک می‌شود تا زمان دریافت آخرین سفارش در متغیر TMTime قرار گیرد.

$$\forall e,d,m \rightarrow infTime_{edm} = \sum_{p=1}^{P}\left(\begin{array}{c}\left(\sum_{c=1}^{C}\begin{pmatrix}CMT_{emc}+\\ (MST_{epmc}+MPT_{dmc})\times\\ x_{epdmc}\end{pmatrix}+\right)\\ \left(\sum_{c=1}^{C}\begin{pmatrix}MPT_{pmc}+CMT_{pmc}+\\ MST_{pdmc}\\ y_{epdmc}\end{pmatrix}\times\right)\\ ISM_{edm}\end{array}\right)\times \quad (۶)$$

محاسبه مدت زمان ساخت، ارسال، دریافت و پردازش سفارش که با علامت infTime نشان داده می‌شود در فرمول شماره ۶ انجام می‌شود. مقدار این متغیر از مجموع سه مقدار مدت زمان ساخت پیام سفارش، مدت زمان ارسال پیام بر روی کانال انتقال و مدت زمان پردازش پیام در گیرنده محاسبه می‌شود. پارامتر CMT زمان ساخت پیام در فرستنده را نشان می‌دهد. پارامتر MST زمان ارسال پیام از e به p با استفاده از کانال c و پارامتر MPT زمان پردازش پیام دریافتی توسط گیرنده را نشان می‌دهد.

متغیر باینری x زمانی مقدار یک می‌گیرد که مسیر ارتباطی برای انتقال پیام m مابین فرستنده e و گیرنده d با استفاده از کانال c با استفاده از شریک واسط p ارسال گردد. نکته قابل توجه در اینجاست که وقتی پیامی بدون واسطه مابین e و d ارسال می‌شود، واسط پیام در متغیر x، همان شریک d خواهد بود. زمانی‌که واسطی برای ارسال پیام مابین گیرنده و فرستنده وجود داشته باشد، در اینصورت p مقداری غیر از d خواهد داشت و پیام در دو مسیر از e به p و مسیر دوم از p به d ارسال خواهد شد. در اینصورت متغیر باینری y در صورت انتخاب کانال c مناسب، برای مسیر دوم، مقدار ۱ خواهد گرفت. در نتیجه صفر بودن متغیر y به معنی ایجاد مسیر مستقیم و بدون واسط مابین دو شریک برای انتقال پیام است؛ ولی ۱ بودن این متغیر نشان دهنده وجود مسیر با واسطه است.

$$\forall e,d,m \rightarrow infCost_{edm} = \sum_{p=1}^{P}\left(\begin{array}{c}\left(\sum_{c=1}^{C}\left(\begin{pmatrix}ChSC_{ec}+\\ ChC_{epmc}+\\ ChinC_{epc}+ChSC_{pc}\end{pmatrix}\times\right)+\right)\\ \left(\sum_{c=1}^{C}\begin{pmatrix}ChSC_{pc}+Chc_{pdmc}+\\ ChinC_{pdc}+ChSC_{dc}\end{pmatrix}\times\right)\\ x_{epdmc}\\ y_{epdmc}\\ ISM_{edm}\end{array}\right)\times \quad (۷)$$

فرمول شماره ۷، هزینه ارسال پیام از فرستنده به گیرنده را محاسبه می‌کند. نحوه محاسبه مشابه طریقه محاسبه زمان ارسال پیام مابین دو شریک است.

$$\forall e,l \rightarrow ROP_{el} = TMTime_{el}\times MCPT_{el} \quad (۸)$$

مقدار موجودی انبار در فرمول شماره ۸ محاسبه می‌گردد. این مقدار، مقداری از مواد اولیه است که باید در انبار موجود باشد. قابل توجه است که در زمان تجمیع سفارشات و در انتهای پاسخ‌گویی به سفارشات، مقدار موجودی انبار باید مساوی با مقدار ROP باشد. از آنجایی که مقدار سفارش ماده اولیه براساس سفارشات دریافتی از مشتری است، بنابراین مقدار موجودی انبار در حد کمینه خواهد بود.

$$\forall e,l \rightarrow PIC_{el} = (ROP_{el} \times TP \times IC_{el}) + \left(ROP_{elm} \times \frac{1}{2}(TMTime_{el}-1) \times IC_{el}\right) + \sum_{d=1}^{D}\left(\left(\sum_{p=1}^{P} MTime_{epl}-TrMTime_{del}\right) \times \frac{MSQ1_{del} \times}{IC_{el}}\right) + \sum_{d=1}^{D}\left(\left(\sum_{p=1}^{P} MTime_{epl}-TrMTime_{del}\right) \times \frac{MSQ2_{del} \times}{IC_{el}}\right) \quad (۹)$$

پس از محاسبه مقدار موجودی انبار، هزینه انبارداری در فرمول ۹ محاسبه می‌گردد. توجه به سه نکته برای محاسبه این مقدار ضروری است. نکته اول اینکه، در زمان تجمیع سفارشات، مقدار موجودی انبار مساوی با ROP خواهد بود. سپس، مواد اولیه موجود در انبار به سمت خط تولید ارسال خواهند شد و رفته رفته مقدار آنها کاهش خواهد یافت. اما با رسیدن مواداولیه سفارش داده شده از تأمین-کنندگان دوباره مقدار موجودی انبار افزایش پیدا خواهد کرد. تمام این موارد در محاسبه‌ی فرمول بالا در نظر گرفته شده است.

$$Cost = \sum_{e=1}^{E}\sum_{l=1}^{L} PIC_{el} + \sum_{e=1}^{E}\sum_{d=1}^{D}\sum_{m=1}^{M} infCost_{edm} + \sum_{e=1}^{E}\sum_{l=1}^{L} TrMCost_{el} \quad (۱۰)$$

فرمول شماره ۱۰، هزینه کلی زنجیره تأمین را که شامل هزینه انبارداری (PIC)، هزینه اطلاعاتی (infCost) و هزینه تولید و حمل-ونقل موادوکالا (TrMCost) است را محاسبه می‌کند.

$$objFunction: \quad min: Cost \quad (۱۱)$$

عبارت شماره ۱۱، تابع هدف و نوع آن را مشخص کرده است.

$$subject\ to: \quad (۱۲)$$

$$\forall man, fl \rightarrow \sum_{s1=1}^{S1} MSQ1_{(s1)(man)(fl)} \times ISSp_{(s1)(man)(fl)} \times \sum_{k=1}^{K} ISK_{(s1)(man)(fl)k} = elm_{(fl)} \quad (۱۳)$$

عبارت شماره ۱۳، محدودیتی است که اعمال شده است تا مقدار سفارشی که تولیدکننده (man) به تأمین‌کننده‌گان سطح اول (s1) ارسال می‌کند، مساوی با سفارش دریافتی از مشتریان باشد.

$$\forall d,e,l \rightarrow MPR_{edl}-MSQ1_{del} \geq 0 \quad (۱۴)$$

رابطه‌ی شماره ۱۴، محدودیتی است که مشخص می‌کند مقدار سفارش ارسالی به شریک d نباید بیشتر از ظرفیت تولیدی اختصاصی آن باشد.

$$\forall e,p,d,m \ \&\ if(e==p) \rightarrow \sum_{c=1}^{C} x_{epdmc} = 0 \quad (۱۵)$$

رابطه‌ی شماره ۱۵، معرف محدودیتی است که نشان می‌دهد، هیچ پیامی با فرستنده و گیرنده یکسان نمی‌تواند ارسال گردد.

$$\forall e,d,m \rightarrow \sum_{p=1}^{P}\sum_{c=1}^{C} x_{epdmc} \leq 1 \quad (۱۶)$$

معادله‌ی شماره ۱۶، نشان می‌دهد که هر پیام فقط از یک مسیر می‌تواند ارسال گردد.

$$\forall d,e,l \rightarrow ISSp_{del}-\sum_{k=1}^{K} ISK_{delk} \geq 0 \quad (۱۷)$$

معادله‌ی شماره ۱۷، محدودیتی را تعریف می‌کند که امکان یک شدن مقدار متغیر ISK را فقط و فقط در زمانی شدنی می‌کند که پارامتر ISSp حتما یک باشد. یعنی یک تأمین‌کننده فقط درصورتی می‌تواند مواد اولیه شریک دیگری را تأمین کند که قرارداد تأمین بین آن دو موجود باشد.

$$\forall p \rightarrow IB_p \geq \sum_{c=1}^{C} ChSC_{pc} \quad (۱۸)$$

رابطه‌ی شماره ۱۸ نشان می‌دهد که هزینه ایجاد زیرساخت‌های جدید اطلاعاتی، باید همیشه کمتر از بودجه‌ی اختصاص یافته برای آن باشد.

$$\forall e,d,m \rightarrow ISM_{edm}-\sum_{p=1}^{P}\sum_{c=1}^{C} x_{epdmc} = 0 \quad (۱۹)$$

رابطه‌ی شماره ۱۹، مجموع مقادیر متغیر x بر روی اندیس‌های c و p را زمانیکه پارامتر ISM مقدار یک داشته باشد، حتما یک می‌کند.

$$\forall e,p,d,m \rightarrow ISC_{epdm} - \sum_{c=1}^{C} y_{epdmc} \geq 0 \quad (۲۰)$$

عبارت شماره ۲۰، محدودیتی برای متغیر y تعریف می‌کند و آن نشان دهنده این است که این متغیر فقط زمانی می‌تواند مقدار یک داشته باشد که پارامتر ISC مقدار یک داشته باشد.

$$\forall e,p,d,m \rightarrow \sum_{c=1}^{C} x_{epdmc} - \sum_{c=1}^{C} y_{epdmc} \geq 0 \quad (۲۱)$$

در رابطه‌ی شماره ۲۱، محدودیتی به مدل اضافه می‌شود که در آن یک شدن مقدار متغیرy را وابسته به یک شدن متغیر x می‌کند.

$$\forall e,d,l \rightarrow TMTime_{el} \geq TrMTime_{del} + \sum_{m=1}^{M} infTime_{edm} \times ISML_{mdl} \quad (۲۲)$$

رابطه‌ی شماره ۲۲، محدودیتی را تعریف می‌کند که در آن نشان می‌دهد که TMTime حتما باید از مجموع زمان ارسال تمام سفارشات به تأمین‌کنندگان متفاوت بزرگتر باشد. یعنی ماکسیموم مقدار مدت زمان تأمین باید در TMTime قرار گیرد.

$$\forall s1,sl \rightarrow \sum_{s2=1}^{S2} MSQ2_{(s2)(s1)(sl)} \times ISSp_{(s2)(s1)(sl)} + \sum_{k=1}^{K} ISK_{(s2)(s1)(sl)k} = \sum_{fl=1}^{FL} elm_{(fl)} \times mp_{(s1)(fl)(sl)} \quad (۲۳)$$

در محدودیت ارائه شده در عبارت شماره ۲۳، مقادیر گرفته شده توسط MSQ2 باید مساوی با سفارش دریافتی توسط تأمین‌کننده لایه بالاتر باشد.

$$\forall p \rightarrow \sum_{l=1}^{L} MSQ1_{ppl} + \sum_{l=1}^{L} MSQ2_{ppl} = 0 \quad (۲۴)$$

عبارت شماره ۲۴، محدودیتی بر متغیرهای MSQ1 و MSQ2 تحمیل می‌کند که نشان می‌دهد، هیچ ارسالی از مبدأ به همان مقصد وجود ندارد.

$$\forall e,d,l \rightarrow MPR_{edl} - MSQ2_{del} \geq 0 \quad (۲۵)$$

رابطه‌ی شماره ۲۵، همان محدودیت معرفی شده در رابطه شماره ۱۴ است که این‌بار برای متغیر MSQ2 اعمال شده است.

$$\sum_{p=1}^{P} \sum_{l=1}^{L} \left(\sum_{s2=1}^{S2} MSQ1_{s2pl} + \sum_{s1=1}^{S1} MSQ2_{s1pl} \right) = 0 \quad (۲۶)$$

عبارت شماره ۲۶، نشان می‌دهد که MSQ1 فقط سفارشات مابین تأمین‌کنندگان سطح ۱ و تولیدکنندگان را نشان می‌دهد و متغیر MSQ2 سفارشات مابین تأمین‌کنندگان سطح ۱ و سطح ۲ را نشان می‌دهد.

$$\forall e,p,d,m \;\&\; if(p \neq d+1) \rightarrow \sum_{c=1}^{C} x_{epdmc} - \sum_{c=1}^{C} y_{epdmc} = 0 \quad (۲۷)$$

عبارت شماره ۲۷، نشان می‌دهد که اگر واسطی در ارسال پیام m وجود داشته باشد، آنگاه باید y مقدار یک بگیرد.

$$\forall e,p,d,m \;\&\; if(p = d+1) \rightarrow \sum_{c=1}^{C} y_{epdmc} = 0 \quad (۲۸)$$

رابطه شماره ۲۸، محدودیتی ارائه می‌کند که متغیر y را زمانیکه مسیر بدون واسطه برای ارسال پیام وجود داشته باشد، صفر می‌کند.

$$\forall e,d,m \rightarrow \sum_{p=1}^{P} \sum_{c=1}^{C} y_{epdmc} \leq 1 \quad (۲۹)$$

نهایتا رابطه‌ی شماره ۲۹، نشان می‌دهد که مجموع متغیر y بر روی اندیس‌های p و c کوچکتر مساوی یک است. یعنی لزومی برای وجود واسطه به منظور ارسال پیام نیست.

۴- روش‌شناسی پژوهش

۴-۱- فرآیند حل مسئله

پس از انجام مدل‌سازی اولیه، راه‌حل‌های مختلف حل مسئله مورد احصا قرار گرفت. سه راه‌حل استفاده از قابلیت‌های تئوری گراف، بکارگیری و استفاده از شبکهٔ پتری و مدل‌سازی مسئله با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی، به عنوان گزینه‌های پیش رو به منظور حل مسئله مورد شناسایی قرار گرفتند.

با توجه به اینکه تئوری گراف و شبکه پتری‌نت قابلیت نمایش و ترسیم الگوی ساخته شده را در اختیار ما قرار می‌دهد ولی از عملیات بهینه‌سازی پشتیبانی نمی‌کند، لذا این دو روش نمی‌توانست اهداف مدنظر ما را برآورده سازد. بنابراین استفاده از مدل‌سازی ریاضی، برای ساخت و حل مدل مدنظر قرار گرفت و نهایتا با توجه به ویژگی مدل ساخته شده از روش برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط عدد صحیح برای حل مدل استفاده شد.

۴-۱-۱- ابزار حل مسئله

نظر به اینکه مدل ساخته شده از نوع مدل خطی مختلط عدد صحیح می‌باشد، حل‌کننده SCIP در نرم‌افزار گمز برای حل آن بکار گرفته شد. این حل‌کننده که حل‌کننده‌ای کدباز[۶] است[۱۰]، قابلیت حل مسائل خطی و غیرخطی مختلط عدد صحیح را دارد و توانایی بهینه‌سازی سراسری[۷] را دارد[۳]. پس از حل کردن مسئله با

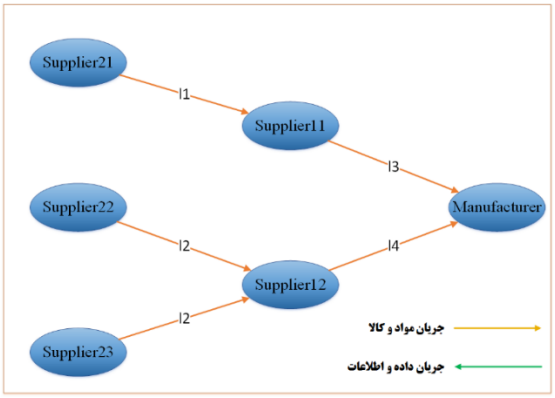
مدل SCIP[۳]، نتایج بدست آمده با استفاده از مدل BARON[۲۴] که دارای توانایی مشابه ولی تکنیک حل متفاوت است، راستی‌آزمایی گردید.

۴-۲- مطالعه موردی

به منظور انجام مطالعه موردی، زنجیره تأمینی به عنوان مسئله نمونه تعریف شد. مدل ساخته شده در شرایط مختلف در نظر گرفته شده برای مدل نمونه، مقداردهی شده و حل گردید. در این بخش به تعریف مسئله نمونه پایه و آزمایشات انجام گرفته پرداخته شده است.

۴-۲-۱- تعریف مسئله نمونه پایه

مسئلهٔ نمونهٔ پایه، زنجیره تأمینی با ۶ عضو است که شامل یک تولیدکننده، دو تأمین‌کنندهٔ سطح یک و سه تأمین‌کنندهٔ سطح دو است. در این زنجیره، مواد و کالای تبادل شده مابین شرکا، سازنده و دریافت‌کنندهٔ هر پیام و ارتباط هر پیام با مواد مبادله شده به عنوان پارامترهای معین و مشخص وارد مدل می‌شوند. در شکل ۱ ساختار کلی زنجیره مفروض قابل مشاهده است. برچسب‌های موجود بر روی مسیرهای موادوکالا نشانگر حرکت آن موادوکالا در آن مسیر است. زنجیره تأمین پایه، به عنوان ساختار پایهٔ مورد بررسی انتخاب شده است و با ایجاد تغییراتی در پارامترهای ورودی و ایجاد ۱۸ مسئله نمونه متفاوت، نتایج به دست آمده مورد بررسی، تحلیل و مقایسه قرار گرفته‌اند. در تمام نمونه‌های ایجاد شده به غیر از نمونهٔ ۱۵، ساختار زنجیره ثابت است و تعدادی از پارامترهای مقدار سفارش، مدت زمان مصرف مواد اولیه، مقدار ماده اولیه مورد نیاز، هزینه و سرعت حمل‌ونقل مواد، هزینه و سرعت کانال‌های ارتباطی و هزینه ایجاد پیام تغییر پیدا کرده‌اند و اثر این تغییرات بر خروجی مدل ثبت شده است.



شکل ۱: مسئله نمونه پایه

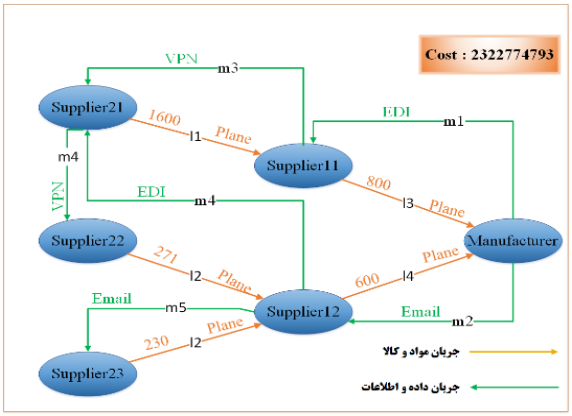
۴-۲-۲- ویژگی داده‌های بکار رفته

مقادیر اختصاص یافته به پارامترها از دامنه‌های مشخص و محدود اما بصورت تصادفی انتخاب شده‌اند.

۴-۳- نتایج حاصل از حل مسئله نمونه پایه

نتایج حاصل از پیاده‌سازی متدولوژی پیشنهادی بر حل مسئله نمونه پایه در شکل ۲ نمایش داده شده است. مقدار تابع هدف در پایین شکل سمت چپ در مقابل عبارت cost نوشته شده است. جریان داده و اطلاعات با خطوط سبز رنگ مشخص شده است و نوع وسیلهٔ حمل و نقل که توسط مدل انتخاب می‌شود بر روی جریان موادوکالا نوشته شده است. نوع کانال اطلاعاتی و پیام انتقال یافته با هر کانال هم روی کانال برچسب زده شده است.

با توجه به توضیحات بالا، مدل ساخته شده با انتخاب بهترین ترکیب الگوی جریان داده‌واطلاعات و جریان کالا به بهینه‌سازی تابع هدف پرداخته است.



شکل ۲: نتایج حاصل از اجرای مدل بر روی مسئله نمونهٔ پایه

۴-۴- نتایج حاصل از حل مسائل نمونه

با انجام آزمایش بر روی مسئله نمونه پایه و ۱۸ مسئله نمونه منبعث از آن و بررسی تفاوت‌های هر مجموعه با مسئلهٔ نمونه پایه نتیجه گرفته شد که با تغییر ساختار زنجیره به منظور دستیابی به کمینه هزینه، لازم است تا الگوی جریان داده‌واطلاعات تغییر پیدا کند. همچنین با ثابت نگه داشتن ساختار کلی زنجیره و تغییر مقادیر پارامترها، نشان داده شد که به منظور حفظ وضعیت ایده‌آل، لازم است تا الگوی جریان داده‌واطلاعات در زنجیره تغییر پیدا کند و با شرایط جدید هماهنگ شود.

نتایج حاصل از اجرای مدل بر روی مجموعهٔ دادهٔ پایه و ۱۸ مجموعهٔ داده‌ای نمونه، نشان داد که از میان تعداد بسیار زیاد الگوهای جریان داده‌واطلاعات که می‌توان برای هر زنجیره متصور شد، یک الگو می‌تواند باعث کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره گردد. همچنین مدل ارائه شده همانطور که از وضعیت الگوی موادوکالا تأثیر می‌پذیرد با انتخاب نوع وسایل حمل‌ونقل استفاده شده برای ترابری، بر روی الگوی موادوکالا در زنجیره تأمین اثرگذار است.

همچنین مشاهده شد که انتخاب الگوی مناسب جریان

داده‌واطلاعات در زنجیرهٔ تأمین سفارشی‌ساز می‌تواند باعث کاهش هزینه‌های زنجیره و در نتیجه افزایش سوددهی آن گردد. با توجه به نتایج به دست آمده، هرچه فناوری بکار رفته در تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان پیشرفته‌تر و سرعت تولید بالاتر باشد و نیز هزینهٔ انبارداری بالاتر باشد، توجه به انتخاب الگوی بهینه اثرات بیشتری بر کاهش هزینه‌های زنجیره خواهد داشت.

تغییرات اعمال شده بر الگوی جریان داده و اطلاعات در جدول ۸ ارائه شده است. با استفاده از داده‌های این جدول، می‌توان نتیجه گرفت تغییرات مقادیر کدام پارامترها در رنج تغییر ارائه شده، می‌تواند به منظور جلوگیری از افزایش هزینه‌ها و رسیدن به کمینهٔ هزینه، باعث ایجاد تغییر در الگوی جریان داده‌واطلاعات شود. میزان اثرگذاری این تغییر را نیز می‌توان با توجه به میزان تغییر انجام شده، برآورد کرد.

با توجه به مقادیر جدول ۸ می‌توان نتیجه گرفت که افزایش بیش از اندازهٔ سفارش دریافتی یا کاهش زیاد آن، افزایش یا کاهش هزینهٔ استفاده از کانال‌های مورد استفاده و نوسان در سرعت انتقال داده با استفاده از هر کانال و تغییر ساختاری زنجیره تأمین مهم‌ترین عوامل ایجاد تغییر در الگوی جریان داده‌واطلاعات زنجیره تأمین به شمار می‌روند. اما انجام تغییر بر روی ساختار زنجیره و تغییر شرکا، باعث تغییر ساختار الگوی زنجیره تأمین می‌شود.

جدول ۸: مقایسه تغییرات ایجاد شده در الگوی جریان اطلاعات نسبت به مسئلهٔ نمونهٔ پایه

شماره مسئله	تغییر نسبت به مسئله پایه	تعداد تغییرات مسیر انتقال پیام	تعداد تغییرات نوع مسیر انتقال پیام	تغییر وسیله حمل و نقل	هزینه کل
۱	سفارش مشتری	۱	۰	۰	۹۱۶۸۲۷۵۶۳۵
۲	سفارش مشتری	۱	۰	۰	۵۹۶۱۲۴۲۷۳
۳	نیاز به ماده اولیه	۰	۰	۰	۱۵۶۹۳۶۱۵۹
۴	هزینه حمل و نقل	۰	۰	۰	۲۳۲۳۰۰۶۱۰۰
۵	هزینه حمل و نقل	۰	۰	۲	۲۳۳۰۸۹۲۷۳۲
۶	مدت زمان حمل و نقل	۰	۰	۰	۲۳۲۸۹۱۵۷۳۰
۷	سرعت مصرف ماده اولیه	۰	۰	۰	۲۳۸۳۷۴۰۶۱۷
۸	سرعت مصرف ماده اولیه	۰	۰	۰	۲۲۸۶۱۹۵۲۹۸
۹	هزینه انبارداری	۰	۰	۰	۴۶۴۳۹۳۲۹۷۳
۱۰	هزینه انبارداری	۰	۰	۰	۱۱۱۱۲۹۲۳۶۹
۱۱	هزینه استفاده از کانال‌های ارتباطی	۰	۰	۰	۲۳۲۲۷۷۵۲۷۹
۱۲	ترکیبی از تغییرات بالا	۱	۰	۵	۴۳۲۵۵۱۰۰۰۶
۱۳	ترکیبی از تغییرات بالا	۱	۲	۵	۲۷۲۵۳۶۷۵۸۲
۱۴	استفاده از روش‌های سنتی	۱	۴	۰	۲۳۳۳۷۵۵۹۲۵
۱۵	تغییر ساختار فیزیکی	۱	۱	۱	۱۴۷۸۷۹۲۴۲۵
۱۶	هزینه تولید و ارسال پیام	۰	۰	۰	۲۳۲۲۷۷۵۷۵۷
۱۷	سرعت ارسال مستقیم پیام	۲	۰	۰	۲۳۲۳۲۱۶۵۶۵
۱۸	هزینه و سرعت ارسال مستقیم پیام	۲	۰	۰	۲۳۲۳۲۱۷۵۱۵

همچنین با تحلیل حساسیت‌های انجام گرفته و با توجه به نتایج حاصل از حل مسائل نمونه، مشخص شد که تغییر در سرعت تولید یا مصرف مواد اولیه، تغییر در نوع وسیلهٔ حمل و نقل انتخاب شده و تغییر در هزینهٔ انبارداری، تأثیری در شکل الگوی جریان داده و اطلاعات در زنجیره تأمین مورد مطالعه نداشته است.

در انتها متذکر می‌شود که تمامی مسائل پس از حل با حل‌کننده اصلی (SCIP) به منظور اعتبارسنجی با حل‌کننده BARON نیز حل شده‌اند و نتایج مشابه به دست آمده است.

۵-۴- مقایسه با کارهای پیشین

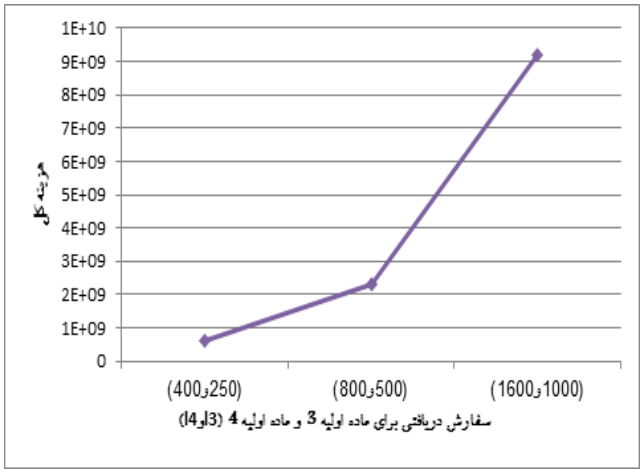
در تحقیقات مورد مطالعه حتی تحقیقاتی که مدل پیچیده مشابه این مقاله ارائه شده است مانند [۲۳]، اثرات حضور تک‌تک کانال‌های جریان داده‌واطلاعات در زنجیره تأمین به صورت کمی مورد بررسی قرار نگرفته است. در مسائل مدل‌سازی، توجهی به جزئیات جریان داده‌واطلاعات نشده است و در تحقیقات مرتبط با جریان داده‌واطلاعات مباحث بصورت کیفی و مقایسه‌ای و یا ارائهٔ الگوها و فریم‌ورک‌های نوین اطلاعاتی به منظور جایگزینی الگوهای قدیمی مورد بحث قرار گرفته است؛ مانند مقالهٔ [۸] که در پی الکترونیکی کردن، جریان داده و اطلاعات سنتی و غیرالکترونیکی است. یا مقاله [۱۲] که علیرغم توجه به ساخت الگوی جریان موادوکالا و داده‌واطلاعات بهینه، تمام کانال‌ها از یک نوع فرض شده‌اند در حالیکه در کار حاضر انواع مختلف روش‌های حمل‌ونقل و ارتباط داده‌ای نیز داخل در مدل شده‌اند.

کمی کردن اثرات جریان داده و اطلاعات و بررسی میزان اثرات آن بر روی هزینهٔ زنجیره تأمین، توجه به مد زنجیره و انتخاب مد سفارشی‌ساز و بررسی تأثیرات متقابل دو الگوی موادوکالا و داده‌واطلاعات بر یکدیگر که در شکل‌گیری الگوی داده‌واطلاعات و انتخاب وسایل حمل‌ونقل و نوع کانال ارتباطی نمود عینی داشت به عنوان نوآوری‌های مقالهٔ حاضر در مقایسه با مقالات مشابه مطالعه شده که قسمتی از آن در قسمت مراجع معرفی شده‌اند، به شمار می‌آیند.

۶-۴- تحلیل نتایج

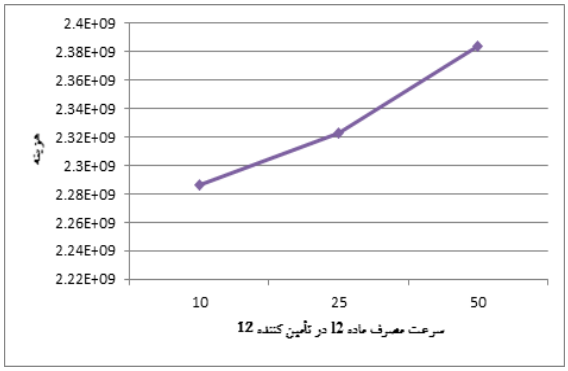
در این بخش یافته‌های حاصل از مقایسهٔ نتایج به دست آمده از حل مسائل مختلف با نتایج به دست آمده از حل مسئلهٔ نمونهٔ پایه مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد.

مقادیر تابع هدف با توجه به شکل ۳ نشان می‌دهد که افزایش یا کاهش مقدار سفارش دریافتی از مشتری، تغییرات شدیدی را در مقدار تابع هدف ایجاد می‌کند. بنابراین مدیریت زنجیرهٔ تأمین سفارشی‌ساز باید توجه خاصی به حجم سفارشات مشتری (و امکان پیش‌بینی و تقریب صحیح آن را) داشته باشد تا بتواند جلوی نوسانات شدید هزینه‌های زنجیره را گرفته و برنامه‌ریزی صحیح انجام دهد. با این وجود در جدول ۷ مشاهده می‌شود که الگوی جریان داده‌واطلاعات مسائل نمونه ۱ و ۲ هیچ تغییری نسبت به الگوی جریان داده‌واطلاعات مسئلهٔ نمونه پایه نداشته است؛ بنابراین در مسئلهٔ مورد فرض، تغییرات مقدار سفارش مشتری تأثیری در شکل‌گیری الگوی جریان داده‌واطلاعات ندارد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که رفتار مشتری به عنوان متغیری محیطی بر الگوی جریان داده‌واطلاعات اثرگذار نیست.



شکل ۳: نمودار اثرات تغییر مقدار سفارش دریافتی بر هزینهٔ زنجیره

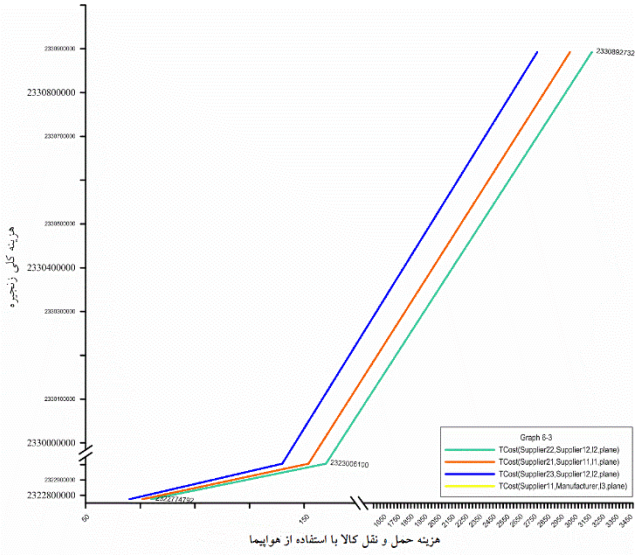
همچنین با توجه به مقادیر جدول ۷ و شکل ۴ و مقایسهٔ مقادیر تابع هدف مسئله‌های نمونهٔ ۷ و ۸ نشان می‌دهد که تغییر در سرعت خط تولید هر یک از تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان در صورتی‌که به هر علتی اتفاق بیفتد، نوسانات هزینه‌ای نسبتا شدیدی را به زنجیره تحمیل خواهد کرد، اما با این وجود باز هم شاهد ایجاد تغییر در ساختار الگوی جریان داده‌واطلاعات پس از ایجاد تغییرات فوق‌الذکر نیستیم.



شکل ٤: نمودار اثرات نوسان سرعت خط تولید برهزینه

تغییر ساختار زنجیره نیز می‌تواند باعث کاهش یا افزایش هزینه‌های زنجیره تأمین گردد. با تغییر ایجاد شده در ساختار زنجیره که در مسئله نمونه ۱۵ انجام شد نه تنها هزینهٔ کلی زنجیره عوض شد بلکه ساختار الگوی جریان داده و اطلاعات نیز دستخوش تغییر شد.

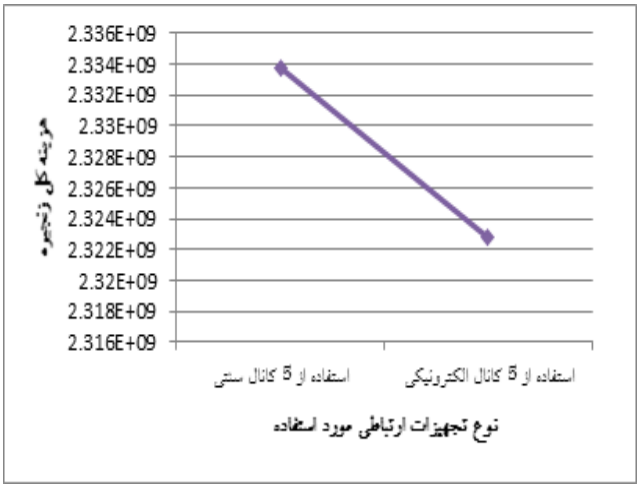
همچنین شبیه‌سازی انجام شده نشان داد که تغییرات در هزینهٔ بکارگیری و سرعت وسایل حمل‌ونقل و کانال‌ها و مسیرهای ارتباطی، نوسانات خفیف هزینه‌ای به زنجیره تحمیل می‌کند (شکل ۵). به نظر می‌رسد علت توجه اندک به این موارد در تحقیقات و مقالات نوشته شده هم همین تأثیر اندک آنها در کاهش یا افزایش هزینه باشد.



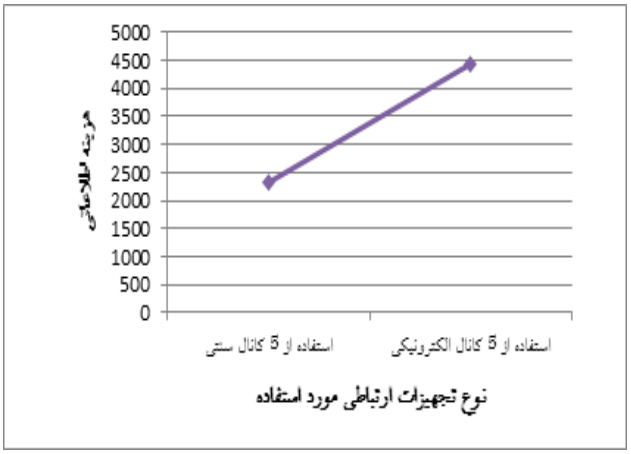
شکل ۵: نمودارتأثیرات افزایش هزینه حمل و نقل بر هزینه زنجیره

۱-۶-۴- مقایسه و تحلیل مقادیر مدت زمان دریافت مواد و کالای سفارش داده شده به ازای مجموعه داده‌های آزموده شده

نکتهٔ قابل توجه اینجاست که استفاده از روش‌های ارتباطی سنتی (مجموعهٔ داده‌ای ۱۴) همانطور که در شکل ۶ دیده شد، باعث افزایش نسبی هزینه‌ها شد. همچنین با توجه به شکل ۷ می‌توان مشاهده کرد که این انتخاب سرعت پاسخگویی به سفارشات را کاهش می‌دهد (در شکل ۷ به صورت جزئی سرعت پاسخگویی به سفارش کالای l1 در دو صورت استفاده از روش‌های مدرن و سنتی ارتباط نشان داده شده است) و این امر می‌تواند باعث ایجاد نارضایتی در مشتری گردد.



شکل ٦: نمودار اثرات استفاده از روش‌های سنتی برای انتقال اطلاعات بر هزینهٔ زنجیره



شکل ۷: نمودار مقایسه سرعت پاسخ‌گویی به سفارش ماده اولیه l1 در دو حالت استفاده از روش سریع و کند ارتباط

۲-۶-۴- مقایسه و تحلیل زمان ارسال پیام به ازای مجموعه داده-های آزموده شده

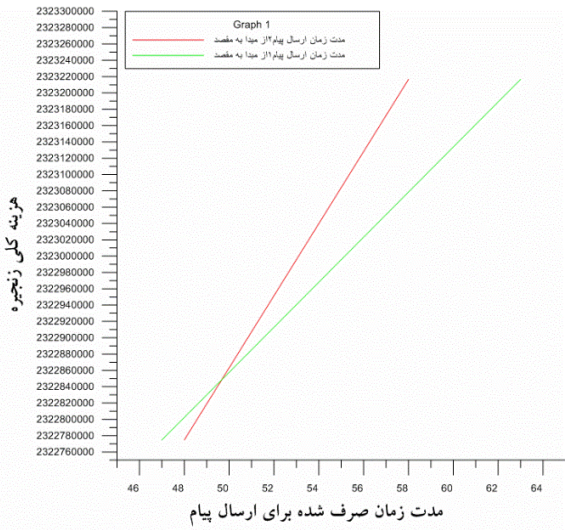
با توجه به خروجی‌های به دست آمده از حل مسائل، مشاهده می‌شود که مدت زمان ارسال و دریافت هر پیام هم فقط در زمان استفاده از روش‌های کند است که افزایش شدید دارد در سایر موارد حتی با وجودی که در برخی موارد الگوی جریان داده‌واطلاعات نیز تغییر کرده است اما تغییرات شدیدی در مجموع زمان تولید، ارسال، دریافت و پردازش پیام ایجاد نشده است.

۳-۶-۴- مقایسه و تحلیل موجودی انبار به ازای مجموعه داده-های آزموده شده

با توجه به نتایج به دست آمده در پس آزمایشات انجام شده محرز گردید که هرگونه تغییرات اعمال شده در ساختار، سرعت نقل و انتقال مواد و اطلاعات و سرعت تولید کالا بر مقدار موجودی انبار

تاثیرگذار است. اما نکتهٔ جالب توجه در اینجاست که افزایش یا کاهش هزینهٔ انبارداری هیچ تأثیری در میزان موجودی انبار نداشته است (مسائل نمونه ۹ و ۱۰). همچنین قابل توجه است که افزایش مدت زمان تبادل داده و اطلاعات به صورت واضح باعث افزایش موجودی انبار و در پی آن افزایش هزینهٔ انبارداری شده است (شکل ۸).

در شکل ۸ نشان داده شده است که با افزایش مدت زمان صرف شده برای ارسال پیام از مبدأ به مقصد (که شامل تمامی مراحل از ابتدای ساخت پیام، انتقال پیام و سپس دریافت و پردازش آن است)، هزینهٔ کلی زنجیره نیز افزایش می‌یابد. در نمودار ۶-۶ مدت زمان صرف شده برای ارسال پیام‌های m1 و m2 توسط خطوط سبز و قرمز نشان داده شده است. در مسئلهٔ نمونهٔ پایه، مدت زمان صرف شده برای ارسال پیام m1 از مبدأ به مقصد همان‌طور که در شکل ۸ دیده می‌شود، ۴۷ واحد زمانی است و این مدت زمان برای ارسال پیام m2، به ۴۸ واحد می‌رسد. با افزایش مدت زمان ارسال پیام‌های m1 و m2 به ۶۴ و ۵۳، شاهد افزایش هزینه‌های زنجیره هستیم.



شکل ۸: نمودار اثر افزایش مدت زمان تبادل اطلاعات بر هزینه

مدت زمان تحویل سفارش نقش بسزایی در شکل‌گیری میزان موجودی انبار دارد. با توجه به خروجی‌های بدست آمده از حل مسائل هجده‌گانه، قابل توجه است که با وجود بیشتر بودن مدت پاسخ به تمام سفارش ارسالی l2 نسبت به l1، موجودی انبار l2 در تمام موارد به‌غیر از مورد ۱۵، بسیار پایین‌تر از l1 و سایر مواد اولیه است. این نشان دهندهٔ این است که افزایش سرعت تولید با موازی-کاری و افزایش تعداد تأمین‌کنندگان می‌تواند به کاهش موجودی انبار و در نتیجه کاهش هزینهٔ کلی زنجیره منجر شود.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به نمودارهای ارائه شده و مقایسه مقادیر ارائه شده و در کنار هم قرار دادن نمودارها، نتایج زیر به‌دست می‌آید:

- ✓ استفاده از روش‌های کند و ارزان تبادل داده‌واطلاعات اگر چه در ظاهر باعث کاهش هزینه‌های تبادل اطلاعات مابین شرکا می‌شود اما در نهایت باعث افزایش هزینهٔ کلی زنجیره می-شود (مجموعهٔ داده‌ای ۱۴ شبیه‌سازی شرایطی است که در آن از کانال‌های ارتباطی کند برای انتقال پیام مابین شرکا استفاده شده است).
- ✓ افزایش سرعت تولید و تأمین مواد اولیه که از راه‌های مختلف من‌جمله کاهش مدت زمان تولید، افزایش سرعت تبادل داده و ... انجام می‌پذیرد به کاهش هزینهٔ کلی زنجیره کمک می-کند؛ در نتیجه انتخاب وسیلهٔ حمل و نقل گران‌قیمت اما سریع در نهایت باعث کاهش هزینه‌های زنجیره می‌گردد.
- ✓ تغییرات در مقدار سفارش دریافتی از مشتریان که یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد اثرات شلاق گاوی در زنجیره های تأمین است[۵]، در ساختار الگوی جریان داده و اطلاعات بی‌تأثیر است. بنابر آنچه در جدول ۱۵ ارائه شده است با تغییرات انجام شده و افزایش و کاهش مقادیر سفارش دریافتی از مشتریان، هیچ‌گونه تغییری در ساختار الگوی جریان داده‌واطلاعات مشاهده نشد.
- ✓ با توجه به تغییرات اعمال شده در پارامترهای مربوط به هزینه و سرعت حمل‌ونقل کالا، هزینهٔ انبارداری، سرعت تولید و ضریب نیاز به مواد اولیه به منظور تولید محصول مشاهده شد که انجام تغییرات در هیچ یک از پارامترهای ذکر شده باعث تغییر در الگوی جریان داده‌واطلاعات نمی شود. هرچند این تغییرات گاها موجب تغییراتی در انتخاب وسیلهٔ حمل‌ونقل مورد استفاده مابین شرکا شده است.
- ✓ مهم‌ترین عوامل ایجاد تغییر در ساختار الگوی جریان داده و اطلاعات در زنجیره تأمین مفروض بر طبق آزمایشات انجام گرفته شامل ایجاد تغییر در ساختار الگوی فیزیکی کالاومواد (مانند تغییر تعداد تأمین‌کنندگان و غیره)، تغییر قیمت استفاده از کانال‌های ارتباطی، تغییر انواع کانال‌های ارتباطی مورد استفاده و تغییر در سرعت ایجاد، ارسال و پردازش پیام می‌شود.
- ✓ برخلاف اثرگذاری شدید تغییر در مقدار پارامترهایی مانند پارامتر میزان سفارش دریافتی از مشتریان که تأثیر بسزایی در کاهش یا افزایش هزینهٔ زنجیره دارد، تغییراتی که باعث بروز تغییر در الگوی جریان داده‌واطلاعات گشته‌اند، تغییرات

هزینه‌ای اندکی به زنجیره تحمیل کرده‌اند.

- ✓ با توجه به ساختار محدودیت‌ها و ضرایب ثابت موجود در مدل، شدنی یا نشدنی بودن مسئله تعیین می‌گردد؛ بنابراین تضمینی برای شدنی بودن مسئله در تمامی شرایط وجود ندارد. همچنین نتایج به دست آمده پس از تغییرات انجام شده در پارامترها بر مبنای اصول حاکم بر زنجیره تأمین بوده است.
- ✓ ارائهٔ پاسخ بهینه نیز که توسط مدل حل‌کننده مورد استفاده در زبان مدل‌سازی گمز و با تابع هدف کمینه‌ساز به دست آمده علاوه بر اینکه توسط حل‌کنندهٔ SCIP حل شده است، توسط حل‌کننده‌ای BARON نیز صحت‌سنجی شده است؛ و این مسئله نشان‌دهندهٔ عملکرد صحیح مدل در ارائه الگوی بهینه است.
- ✓ رفتار صحیح متغیرهای تصمیم و میانی پس از تغییر پارامترها و ارائهٔ جواب بهینه به منظور کاستن از هزینه‌های کلی به عنوان دو معیار سنجش صحت عملکرد مدل در نظر گرفته شده است.

۵-۱- نقاط ضعف

نقطهٔ ضعف اصلی کار انجام شده، مشابه بیشتر کارهای انجام شده در زمینهٔ زنجیره تأمین، عدم دسترسی به داده‌های واقعی است.

۵-۲- نقاط قوت

مهم‌ترین نقاط تمایز و قوت پژوهش حاضر در مقایسه با مسائل مطرح شده در تحقیقات مشابه را می‌توان به صورت زیر مطرح کرد:

- ✓ توجه به مُد زنجیره تأمین درمقالهٔ حاضر
- ✓ در نظر گرفتن پویایی محیط به عنوان فاکتور مهم اثرگذار
- ✓ توجه به قابلیت چابکی و بازپیکربندی زنجیره‌های تأمین سفارشی‌ساز در مقابل تغییرات محیطی
- ✓ کمی کردن اثرات جریان داده‌واطلاعات در زنجیره تأمین
- ✓ ارائهٔ الگوی داده‌واطلاعات با توجه به داشته‌های زنجیره و فناوری‌های نو و جلوگیری از حرکت زنجیره‌های تأمین به سمت فناوری‌های هزینه‌بر به‌صرف نوین بودن آنها
- ✓ شرایط مناسب برای استفاده از رویکرد و متدولوژی مورد استفاده

۵-۳- پیشنهادها

موضوعات زیر جهت ادامهٔ پژوهش حاضر پیشنهاد می‌گردند:

۱. فرآیند تسهیم داده و اطلاعات در زنجیره تأمین می‌تواند علاوه بر روان‌سازی جریان مواد و کالا، امکان راه‌اندازی و ایجاد فرآیندهای مربوط به مدیریت دانش را نیز فراهم سازد. بررسی مسائل مربوط به مدیریت دانش و اثرات آن بر عملکرد زنجیره تأمین و چگونگی ساختار الگوی جریان داده و اطلاعات با بکارگیری داده-های بزرگ در شرایط مورد بحث می‌تواند در آینده مورد توجه و تحقیق قرار گیرد.

۲. تقسیم‌بندی اطلاعات مبادله شده مابین شرکا به داده‌های خبری و داده‌های کنترلی و استفاده از قابلیت‌های اینترنت اشیاء می‌تواند تمرکز بیشتر بر ساختار مدیریتی زنجیره تأمین را درپی داشته باشد و مسائل مدیریتی را به نحو ملموس‌تری وارد مسئله نماید. این کار می‌تواند چارچوبی جهت معرفی ساختارهای مدیریتی زنجیرهٔ تأمین و توجه بیشتر به نقش سازمان‌های پیشرو و راهبر در زنجیره را باعث شود.

۳. بررسی نقش الگوی جریان داده و اطلاعات در کاهش اثر شلاق گاوی نیز می‌تواند در ادامهٔ این کار انجام پذیرد.

مراجع

[1] W. Shanshan. "The impact of information sharing and coordination in make-to-order supply chain," In Second IEEE International Conference on Communication Systems, Networks and Applications (ICCSNA), pp. 325-328, 2010.

[2] A. Gunasekaran, and E.W.T. Ngai. "Information systems in supply chain integration and management," European Journal of Operational Research, Vol.159, No.2, pp. 269-295, 2004.

[3] S. Vigerske, and A. Gleixner. "SCIP: Global optimization of mixed-integer nonlinear programs in a branch-and-cut framework," Optimization Methods and Software, Vol.33, No. 3, pp. 563-593, 2018.

[4] G.L. Kovács, and P. Paganelli. "A planning and management infrastructure for large, complex, distributed projects—beyond ERP and SCM," Computers in Industry, Vol.51, No.2, pp. 165-183, 2003.

[5] M.M. Naim, V.L. Spiegler, J. Wikner, and D.R. Towill. "Identifying the causes of the bullwhip effect by exploiting control block diagram manipulation with analogical reasoning," European Journal of Operational Research, Vol.263, No.1, pp. 240-246, 2017.

[6] E. Tatoglu, E. Bayraktar, I. Golgeci, S.C.L. Koh, M. Demirbag, and S. Zaim. "How do supply chain management and information systems practices influence operational performance? Evidence from emerging country SMEs," International Journal of Logistics Research and Applications, Vol.19, No.3, pp. 181-199, 2016.

[7] J.C. Jiang, and C.A. Chen. "The supply chain patterns and performance indicators of IC industry in Taiwan," In 4th IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology (ICMIT), pp. 1378-1383, 2008.

[8] A.M.M Mukaddes, C.A.A. Rashed, A.B.M.A. Malek, M.J. Kaiser, and S.M.S. Alam. "Developing an information model for supply chain information flow and its management," International Journal of Innovation, Management & Technology, Vol.12, pp. 226-231, 2010.

[9] A. Chatzikontidou, P. Longinidis, P. Tsiakis, and M.C. Georgiadis. "Flexible supply chain network design under uncertainty," Chemical Engineering Research and Design, Vol.128, pp. 290-305, 2017.

[10] J. Kronqvist, D.E. Bernal, A. Lundell, and I.E. Grossmann. "A review and comparison of solvers for convex MINLP," Optimization and Engineering, pp. 1-59, 2018.

[11] A. Gunasekaran, and E.W.T. Ngai. "Build-to-order supply chain management: a literature review and framework for development," Journal of operations management, Vol.23, No.5, pp. 423-451, 2005.

[12] M. Dotoli, M.P. Fanti, C. Meloni, and M.C. Zhou. "Design and optimization of integrated e-supply chain for agile and environmentally conscious manufacturing," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, Vol.36, No.1, pp. 62-75, 2006.

[13] S. Rezapour, R.Z. Farahani, and M. Pourakbar. "Resilient supply chain network design under competition: a case study," European Journal of Operational Research, Vol.259, No.3, pp. 1017-1035, 2017.

[14] R.Z. Farahani, S. Rezapour, T. Drezner, and S. Fallah. "Competitive supply chain network design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications," Omega, Vol.45, pp. 92-118, 2014.

[15] E.W.T. Ngai, D.C.K Chau, and T.L.A. Chan. "Information technology, operational, and management competencies for supply chain agility: Findings from case studies," The Journal of Strategic Information Systems, Vol.20, No.3, pp. 232-249, 2011.

[16] S. Zokaee, A. Jabbarzadeh, B. Fahimnia, and S.J. Sadjadi. "Robust supply chain network design: an optimization model with real world application," Annals of Operations Research, Vol.257, No.1-2, pp. 15-44, 2017.

[17] M. Goh, R. De Souza, A.N. Zhang, W. He, and P.S. Tan. "Supply chain visibility: A decision making perspective," In 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), pp. 2546-2551, 2009.

[18] W.H.J. Chu, and C.C. Lee. "Strategic information sharing in a supply chain," European Journal of Operational Research, Vol.174, No.3, pp. 1567-1579, 2006.

[19] J. Drzymalski, and N.G. Odrey. "Supervisory control of a multi-echelon supply chain: A modular Petri net approach for inter-organizational control," Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol.24, No.6, pp. 728-734, 2008.

[20] K. Labadi, H. Chen, and L. Amodeo. "Modeling and performance evaluation of inventory systems using batch deterministic and stochastic Petri nets," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), Vol.37, No.6, pp. 1287-1302, 2007.

[21] V. Petrauskas. "The use of information flow analysis for building an effective organization," Information Technology and Control, Vol.35, No.4, 2006.

[22] W. Hu. "Improving construction collaboration performance through supply chain control and management," In IEEE International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering (ICIII'08), Vol.1, pp. 58-61, 2008.

[23] A. Azadeh, F. Shafiee, R. Yazdanparast, J. Heydari, and A. Keshvarparast. "Optimum Integrated Design of Crude Oil Supply Chain by a Unique Mixed Integer Nonlinear Programming Model," Industrial & Engineering Chemistry Research, Vol.56, No.19, pp. 5734-5746, 2017.

[24] N. Sahinidis, and M. Tawarmalani. "GLOBAL OPTIMIZATION WITH GAMS/BARON," (2014).

زیرنویس‌ها:

[1] Integrated Circuit (IC)

[2] Key Performance Indicator

[3] Balanced Score-Card

[4] Integer Linear Programming (ILP)

[5] Unified Modeling Language

[6] Open source

[7] Global Optimization