مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۵)
دوره‌ی ۱-۳۲، شماره‌ی ۲/۲، ص. ۱۵-۲۵

Original Article

طراحی پیکره‌ی زنجیره‌ی تأمین برای محصول جدید (مطالعه‌ی موردی: شرکت تولیدی)

سید مهدی مصطفوی (کارشناس ارشد)
امیر البدوی* (استاد)
علی حسین‌زاده کاشان (استادیار)
دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

به‌منظور حفظ مزیت‌های رقابتی و تولید با هزینه و زمان تدارک کم‌تر، تولیدکنندگان باید در مراحل اولیه‌ی طراحی محصول جدید به‌طور همزمان زنجیره‌ی تأمین آن را نیز طراحی کنند. برای این کار با توجه به فهرست مواد مناسب محصول، ساختار زنجیره‌ی تأمین طراحی شده و در هر گره از شبکه نیز تأمین‌کنندگان، سطح موجودی اطمینان، و مکان انباشت موجودی مشخص می‌شود طوری که کل هزینه و همچنین زمان تدارک تولید محصول نهایی در تعامل با یکدیگر کمینه شوند. در این نوشتار یک مدل ریاضی برای طراحی زنجیره‌ی تأمین محصول جدید و انتخاب فهرست مواد مناسب و نیز تأمین‌کنندگان مناسب در هر گره از شبکه با توجه به معیارهای مطرح شده توسعه یافته که کاملاً متناسب با شرایط بحرانی است. سپس مدل ارائه شده در شرایط واقعی پیاده‌سازی شده و تحلیل‌هایی برمبنای آن ارائه و پیشنهادهایی نیز برای بهبود شرایط ارائه شده است.

واژگان کلیدی: زنجیره‌ی تأمین، تولید محصول جدید، هم‌راستایی، انتخاب تأمین‌کننده، مدل‌سازی ریاضی، فهرست مواد.

mostafavi@modares.ac.ir
albadvi@modares.ac.ir
a.kashan@modares.ac.ir

۱. مقدمه

مدیریت زنجیره‌ی تأمین عبارت است از فرایند برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل عملیات مرتبط با زنجیره‌ی تأمین در بهینه‌ترین حالت ممکن و دربرگیرنده‌ی تمامی جابه‌جایی‌ها و ذخیره‌ی مواد اولیه، موجودیِ حین کار و محصول تمام شده از نقطه‌ی شروع اولیه تا نقطه‌ی مصرف است. مدیریت زنجیره‌ی تأمین تلفیقی است از هنر و علم که درخصوص بهبود دسترسی به مواد اولیه، ساخت محصولات یا خدمات و انتقال آن به مشتری به‌کار می‌رود. به‌طورکلی «زنجیره‌ی تأمین» زنجیره‌یی است که تمامی فعالیت‌های مرتبط با جریان کالا و تبدیل مواد، از مرحله‌ی تهیه‌ی ماده‌ی اولیه تا مرحله‌ی تحویل کالای نهایی به مصرف‌کننده را شامل می‌شود. در ارتباط با جریان کالا، دو جریان دیگر ــ جریان اطلاعات و جریان منابع مالی و اعتبارات ــ نیز دخالت دارند. مدیریت زنجیره‌ی تأمین شامل یک‌پارچه سازی فعالیت‌های زنجیره‌ی تأمین و نیز جریان‌های اطلاعاتی مرتبط با آنها از طریق بهبود در روابط زنجیره است. فازهای اصلی مدیریت زنجیره‌ی تأمین عبارت‌اند از:[۱]

۱. طراحی مفهومی که نشان‌دهنده‌ی استراتژی ساخت است. در این فاز نحوه‌ی اداره‌ی سازمان با ایجاد تصویری برای آینده و نیز ساختاری برای پیاده‌سازی تعیین می‌شود. برای فرایندهای فاز اول، یک مدل ویژه‌ی سازمان لازم است که از سازمانی به سازمان دیگر متفاوت است. بحث اصلی در این فاز طراحی مفهومی است که مدرکی برای تصدیق و اجرای دو فاز دیگر است. هدف از اجرای این فاز درک جزئیات مربوط به هزینه‌ها و شناخت سیستم و منافع پیاده‌سازی مدیریت زنجیره‌ی تأمین است.

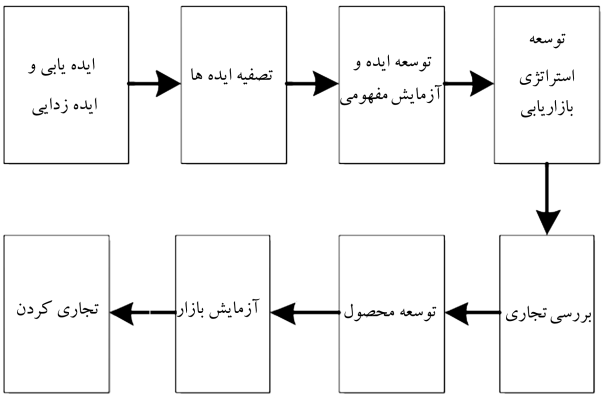
۲. طراحی جزئیات و تست: این فاز می‌تواند همزمان با فاز اول و سوم اجرا شود. یعنی جزئیات طراحی، و به‌طور هم‌زمان راه‌حل‌ها در دنیای واقعی آزمایش می‌شود. در این فاز ایجاد تغییرات در ساختار سازمان و در نظرگرفتن آنها برای پیاده‌سازی در سیستم به‌منظور پشتیبانی طراحی زنجیره‌ی تأمین جدید توصیه می‌شود.

۳. پیاده‌سازی: در این فاز، در ادامه‌ی فاز دوم، زمان‌بندی پیاده‌سازی دوره‌های بلندمدت عملیات و تغییرات در سیستم به‌منظور ایجاد تسهیلات انجام می‌شود.

این فازها را می‌توان با فازهای توسعه‌ی محصول جدید (شکل ۱) منطبق ساخت. به این‌ترتیب می‌توان فرایند توسعه‌ی محصول جدید را همگام با توسعه‌ی زنجیره‌ی تأمین مربوط به آن تعریف کرد.

معمولاً زمانی که درباره‌ی زنجیره‌ی تأمین صحبت می‌کنیم، منظور شبکه‌یی از گره‌هاست که هریک غالباً گزینه‌های مختلفی برای انجام وظایف خود و مکان‌های بالقوه‌ی انباشت موجودی دارند. تصمیم‌گیری درباره‌ی این که در میان کدام یک از

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۳/۶/۱۹، اصلاحیه ۱۳۹۴/۱/۱۷، پذیرش ۱۳۹۴/۱/۲۱.



شکل ۱. فرایند توسعه‌ی محصول جدید.

این گره‌ها باید موجودی را نگه‌داری کنیم به طراحی پیکره‌ی زنجیره‌ی تأمین (SCC)[1] معروف است.

هیچ دلیلی وجود ندارد که زنجیره‌ی تأمینی که برای گروهی از محصولات بهینه است پس از بروز تغییر در محصولات همچنان بهینه بماند. بنابراین هر زمانی که یک محصول جدید به بازار معرفی می‌شود باید زنجیره‌ی تأمین آن مجدداً طراحی شود تا به شکل کارا و اثربخش قادر به تحویل محصول باشد. مشخصات محصول که در حین توسعه‌ی محصول جدید (NPD) [2] تعریف می‌شود بر عملکرد زنجیره‌ی تأمین اثر می‌گذارد. بزرگی تأثیر ویژگی‌های محصول بر عملکرد زنجیره‌ی تأمین به‌وسیله‌ی تصمیمات زنجیره‌ی تأمین مربوط به ساختار زنجیره، استراتژی زنجیره‌ی تأمین مانند چابک یا ناب، و درجه‌ی همکاری میان اعضای زنجیره تعیین می‌شود.[۲و۳]

هم‌راستایی طراحی زنجیره‌ی تأمین و فرایند توسعه‌ی محصول جدید برای ایجاد عملکرد بالای زنجیره‌ی تأمین و دست‌یابی به اثربخشی فرایند معرفی محصول حیاتی است. هم‌راستایی تولید محصول جدید و مدیریت زنجیره‌ی تأمین به دو قسمت تقسیم می‌شود: ۱. هم‌راستایی هزینه‌یی[3]؛ ۲. هم‌راستایی از نظر سرویس[4]. زنجیره‌ی تأمین شرکت‌هایی را که از هر دو نظر هزینه و سرویس هم‌راستا باشند کاملاً هم‌راستا[5]، و آنهایی را که هم‌راستا نباشند غیر هم‌راستا[6] می‌نامند. دو هدف کلی زنجیره‌ی تأمین عبارت است از کارایی و اثربخشی.[۲] منظور از کارایی درجه‌ی رسیدن به مقادیر هزینه‌ی هدف است؛ درواقع زنجیره‌ی تأمین کارا زنجیره‌یی است که کم‌ترین هزینه را داشته باشد (مانند هزینه‌ی نگه‌داری موجودی). اگر کارایی زنجیره‌ی تأمین بالا باشد گفته می‌شود در این زنجیره هم‌راستایی هزینه‌یی وجود دارد. منظور از اثربخشی در زنجیره‌ی تأمین رسیدن به سطح سرویس هدف و پاسخ‌گویی زنجیره در مقابل تقاضای مشتریان است که به عملکرد سرویس ــ مانند زمان سرویس و زمان تحویل ــ بستگی دارد. اگر اثربخشی زنجیره‌ی تأمین بالا باشد گفته می‌شود که این زنجیره از نظر سرویس هم‌راستاست.

در این نوشتار پس از مروری بر ادبیات موضوع، به تعریف مسئله پرداخته می‌شود. در ادامه مدل ریاضی مسئله معرفی، و فرضیات آن به‌همراه توضیح محدودیت‌های مدل بیان می‌شود. سپس مدل معرفی‌شده در شرایط واقعی در یک شرکت تولیدی پیاده‌سازی شده و خروجی‌های حاصل از حل آن با حالت واقعی مقایسه می‌شود. در انتها نیز نتایج حاصل از مدل و پیشنهادات تحقیقات آتی ارائه خواهد شد.

۲. مروری بر ادبیات موضوع

طراحی زنجیره‌ی تأمین از موضوعاتی است که در دهه‌ی اخیر بسیار مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است. هم‌راستایی مدیریت زنجیره‌ی تأمین و تولید محصول جدید نیز از موضوعات بسیار جالب در حیطه‌ی مسائل زنجیره‌ی تأمین است که در آن سعی شده است بین زنجیره‌ی تأمین و تولید محصول جدید ارتباط برقرار شود. فیشر در سال ۱۹۹۴ [۴] در پژوهش خود عدم قطعیت تقاضا را در طراحی زنجیره‌ی تأمین از دید مدیریتی بررسی کرده است. همین نویسنده در سال ۱۹۹۷ [۵] مطالعه‌یی درباره‌ی طراحی یک زنجیره‌ی تأمین مناسب برای محصول شرکت انجام داد که شروعی بود برای بررسی هم‌راستایی مدیریت زنجیره‌ی تأمین و توسعه‌ی محصول جدید. پس از آن گریوز[۶و۷] از منظر کمی و به‌طور خاص از نقطه‌نظر محل نگه‌داری موجودی اطمینان در زنجیره‌ی تأمین محصول جدید به موضوع توجه کرد. همین نویسندگان در سال ۲۰۰۳ [۸] به‌طور تخصصی‌تری به موضوع محل انباشت موجودی در زنجیره‌ی تأمین برای یک محصول جدید پرداخته‌اند. ارتباط بین مشخصات محصول،[۹] شامل ایجاد ارزش‌افزوده و تقاضای نامعین، نیز با استراتژی‌های زنجیره‌ی تأمین بررسی شده است.

در سال ۲۰۰۲ نیز فرایند ادغام تأمین‌کنندگان در فرایند توسعه‌ی محصول جدید[۱۰] مورد توجه قرار گرفته است. در همان سال[۱۱] مقاله‌یی برای بررسی هم‌راستایی زنجیره‌ی تأمین با عدم قطعیت تقاضای مشتریان به نگارش درآمد که در آن بر طراحی زنجیره‌ی تأمین هم‌راستا با نوع محصول (کارکردی یا نوآورانه) تأکید شده است. تأثیر تنوع محصول بر عملکرد زنجیره‌ی تأمین نیز بررسی شده است.[۱۲] در سال ۲۰۰۴ برای طراحی زنجیره‌ی مناسب محصول به مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان توجه شده است[۱۳] و در آن از تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده شده است. پترسون در سال ۲۰۰۵ با توجه به مسئله‌ی ادغام تأمین‌کنندگان در فرایند توسعه‌ی محصول جدید[۱۴] مزایا و معایب ادغام تأمین‌کنندگان در فرایند توسعه‌ی محصول، درجه‌ی ادغام آن‌ها، و نیز مزایا و معایب این کار را بیان کرده است. گریوز نیز در سال ۲۰۰۵ در پژوهشی معروف[۱۵] موضوع طراحی زنجیره‌ی تأمین بهینه برای محصول جدید را بررسی کرده که رسماً نقطه‌ی شروعی برای توجه پژوهش‌گران به موضوع هم‌راستایی مدیریت زنجیره‌ی تأمین و تولید محصول جدید شده است. در این نوشتار به طراحی پیکره‌بندی زنجیره‌ی تأمین برای یک محصول جدید پرداخته شده که در آن محل نگه‌داری موجودی اطمینان و مقدار ذخیره‌سازی آن جهت کم‌کردن کل هزینه‌ی تحویل محصول بررسی شده است. در همان سال هوانگ[۱۶] پژوهشی با الهام از مطالعات پیشین[۸] نوشت که در آن به پلت‌فرم[7] محصولات و توسعه‌ی زنجیره‌ی تأمین برای آن‌ها توجه کرده است. در همان سال فیکسون[۱۷] یک چارچوب کلی برای طراحی ساختار محصول پیشنهاد داده و در آن به مهندسی مجدد سه‌بعدی[8] ــ شامل محصول، فرایند و زنجیره‌ی تأمین ــ توجه کرده است. در سال ۲۰۰۶ لاموت[۱۸] روشی برای انتخاب خانواده‌ی محصولات از طریق فهرست مواد عمومی[9] و سپس طراحی زنجیره‌ی تأمین آن ارائه داده است.

در نوشتار حاضر ابتدا با استفاده از فهرست مواد عمومی، گروهی از محصولات را انتخاب می‌کنیم و سپس زنجیره‌ی تأمینی هم‌راستا با آن توسعه می‌دهیم طوری که مجموع هزینه‌های ثابت گشایش تسهیلات و محصولات و هزینه‌های متغیر تولید، موجودی و حمل‌ونقل کمینه شود. سیانیسی[۱۹] در پژوهشی مسئله‌ی هم‌راستایی مدیریت زنجیره‌ی تأمین و توسعه‌ی محصول جدید را از منظر مدیریتی بررسی کرده است. در سال ۲۰۰۷ وانگ به‌وسیله‌ی منطق فازی عدم قطعیت‌های زنجیره‌ی تأمین را مدل‌سازی کرد و پیکره‌ی زنجیره‌ی تأمین را برای محصول جدید تحت شرایط عدم قطعیت و عدم وجود اطلاعات آماری درباره‌ی زنجیره‌ی تأمین توسعه داد.[۲۰] در سال ۲۰۰۸ یک مدل ریاضی برای طراحی زنجیره‌ی تأمین پاسخ‌گو

(یعنی تأمین نیازهای مشتریان با زمان تدارک کم‌تر)[۲۱] تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا توسعه داده شد. در سال ۲۰۰۹ آلتیپارماک از الگوریتم ژنتیک برای طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین جهت سبد کالا (چند محصولی) استفاده کرده است. در این نوشتار از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب تسهیلات (کارخانه‌ها و مراکز توزیع) و طراحی شبکه‌ی توزیع برای ارضاء نیازهای مشتریان با کم‌ترین هزینه استفاده شده است.[۲۲] گوسلینگ در سال ۲۰۰۹[۲۳] در پژوهشی زنجیره‌ی تأمین ETO [۱۰] را مورد بررسی قرار داد. در سال ۲۰۰۹ کارپیا نیز نوشتاری برای بررسی تخصصی تأثیر معرفی محصول جدید بر قابلیت زنجیره‌ی تأمین به‌منظور انطباق تأمین کالا و توسعه‌ی محصول نوشته است. در این نوشتار شاخصی برای اندازه‌گیری میزان انطباق و هم‌راستایی مدیریت زنجیره‌ی تأمین و توسعه‌ی محصول جدید معرفی شده است.[۲]

در سال ۲۰۱۱ نیز کریستیانو[۲۴] یک سیستم حمایت از تصمیم برای ادغام تولید و طراحی محصول در مسئله‌ی طراحی مجدد پیکره‌ی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین برای تأمین تقاضای مشتریان و برآورده‌سازی نیازهای آن‌ها برحسب زمان تدارک، هزینه و کیفیت محصولات توسعه داد و به‌وسیله‌ی شبیه‌سازی رایانه‌یی مدل خود را اعتبارسنجی کرد. در تحقیقات بعدی[۲۵] تقاضای مشتریان را براساس مدل باس[۲۶] به درجه‌ی جدید بودن یا تکراری بودن محصول جدید مربوط ساخته و در طراحی زنجیره‌ی تأمین آن برخلاف مطالعات گذشته به‌جای کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین، سود آن را بیشینه ساخته است. همین نویسنده در سال ۲۰۱۲ تأثیر سیاست‌های تولید و فروش را بر توسعه‌ی محصول جدید بررسی کرده و از تکنیک‌های اقتصاد مهندسی و شبیه‌سازی رایانه‌یی سیاست بهینه را انتخاب کرده است.[۲۷] در همین سال لاوین[۲۸] در مطالعاتش اثرات متقابل استانداردسازی محصول و طراحی زنجیره‌ی تأمین را بررسی کرده است که طی آن به لزوم در نظر گرفتن طراحی زنجیره‌ی تأمین و طراحی محصول جدید به‌طور همزمان اشاره می‌کند و تأکید کرده است که در صورت حل این دو مسئله به‌طور مجزا به جواب‌های بهینه‌ی محلی و حتی جواب‌های بد خواهیم رسید. در ادامه، استراتژی‌های به تأخیراندازی در انتقال مواد در زنجیره‌ی تأمین جهانی مورد بررسی قرار گرفته است؛[۲۹] بدین‌منظور یکی از تولیدکنندگان اتومبیل در کره مورد بررسی قرار گرفته و از ابزار شبیه‌سازی نیز بهره گرفته شده است. کاریدی در سال ۲۰۱۲ در پژوهشی[۳] نوع محصول (کارکردی یا نوآورانه و درجه‌ی بخش‌بندی محصول[۱۱]) را به مدیریت زنجیره‌ی تأمین مربوط ساخته است و روش‌هایی جهت هم‌راستایی زنجیره‌ی تأمین با نوع محصول بیان کرده است. وی سپس یک مطالعه‌ی موردی در صنعت مبل‌سازی ایتالیا انجام داده است. در همین سال نپال ساختار محصول را نیز در طراحی زنجیره‌ی تأمین محصول جدید در تصمیم‌گیری انتخاب تأمین‌کنندگان در هر گره از شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین دخالت داده است. به‌این ترتیب که در هر گره از شبکه‌ی تأمین، تأمین‌کننده‌یی انتخاب می‌شود که علاوه بر کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین، سازگاری[۱۲] بیشتری با بقیه‌ی تأمین‌کنندگان شبکه داشته باشد؛ مقدار این سازگاری به نوع ساختار محصول (ماژولار[۱۳] یا یک‌پارچه[۱۴]) بستگی دارد.[۳۰و۳۱] لانگنبرگ در مطالعاتش[۳۲] به سبد محصول و زنجیره‌ی تأمین پرداخته و در آن برای سبدی از محصولات تعدادی از زنجیره‌های تأمین موجود را انتخاب کرده است، به این صورت که هرچه تعداد زنجیره‌ها افزایش یابد، هزینه‌های پیچیدگی سیستم نیز افزایش می‌یابد و هرچه تعداد زنجیره‌ها کم‌تر شود، هزینه‌های تحویل محصول از طریق زنجیره‌ها افزایش می‌یابد. در این نوشتار مدلی برای تعیین تعداد بهینه‌ی زنجیره‌ی تأمین و انتخاب آن‌ها توسعه داده شده است.

۳. تعریف مسئله

در نوشتار حاضر با چند موضوع ــ شامل مدیریت تولید، مدیریت زنجیره‌ی تأمین، کنترل موجودی، انتخاب تأمین‌کنندگان و خرید ــ سروکار داریم. تفاوت این مسئله با دیگر مسائل زنجیره‌ی تأمین در این است که در اینجا فهرست مواد محصول به‌عنوان قسمتی از شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین در نظر گرفته شده و سعی در توسعه‌ی زنجیره‌ی تأمین برای آن داریم. در واقع در اینجا توجه به فرایند توسعه‌ی محصول جدید بدین صورت است که ابتدا با توجه به تحقیقات بازار، محصولی برای تولید انتخاب می‌شود و سپس در واحدهای ذی‌ربط طرح محصول و موارد دیگر مشخص می‌شود. پس از طی مراحل اولیه، محصول وارد چرخه‌ی تولید می‌شود که این مرحله موضوع اصلی این نوشتار است.

در مرحله‌ی تولید محصول جدید روشی برای انتخاب نوع فهرست مواد محصول از نظر یک‌پارچگی[۱۵] یا ماژولار[۱۶] بودن آن ارائه می‌شود. سپس با توجه به بودجه‌ی فروش یک‌ساله (که در ایران متداول است)، چگونگی انتخاب تأمین‌کنندگان، و درواقع برنامه‌ی فروش یک‌ساله‌ی محصول جدید، بررسی می‌شود. بدین منظور در هر دوره‌ی زمانی (ماه) تأمین‌کنندگان لازم برای هر قلم کالای مورد نیاز تولید انتخاب می‌شود، به‌طوری که توابع هدف مسئله ارضاء شوند. با توجه به این که انتخاب تأمین‌کنندگان در هر دوره شرایط خاصی را می‌طلبد و بسیاری از خریدها به‌صورت اعتباری است، باید علاوه بر توجه به کاهش قیمت تمام‌شده‌ی محصول و زمان تدارک تولید، تعهد کاری تأمین‌کننده و اطمینان به او وجود داشته باشد و همچنین گزینه‌های مختلفی برای خرید در دسترس باشد تا در شرایط بحران (که در اقتصاد ایران بسیار متداول است) نسبت به تأمین کالا اطمینان یافته و خطوط تولید متوقف نشود. نقطه‌ی قوت مدل ارائه‌شده در این تحقیق نسبت به تحقیقات مشابه همین مورد است.

با توجه به حاشیه‌ی سود ۲۰٪ برای شرکت و ۶٪ مالیات بر ارزش‌افزوده، و نیز با دانستن هزینه‌های خرید مواد می‌توان تقریب مناسبی از میزان سودآوری محصول جدید به عمل آورد.

۴. فرضیات مدل

فرضیات مدل عبارت‌اند از:

۱. مدل تنها در شرایط بحرانی و تورمی صدق می‌کند.

۲. با توجه به وجود متغیر C_{it} در مدل که برابر با «میانگین قیمت کالای خریداری شده از قلم کالای گره i در دوره t» است، می‌توان قیمت‌های متفاوتی برای هر دوره زمانی در هر گره از شبکه در نظر گرفت. در مدل ارائه شده با توجه به موضوع نوشتار که پیش‌بینی صرفه‌ی اقتصادی برای تولید یا واردات چسب قطره‌یی است، قیمت‌ها در طول سال ثابت در نظر گرفته شده‌است (زیرا این اطلاعات کاملاً منطبق با اطلاعات جمع‌آوری شده از عوامل تولید و تأمین‌کنندگان است و قابل ارائه به‌صورت ماه به ماه نیست). ولی مدل این قابلیت را دارد که بنابر شرایط، قیمت‌ها را متغیر در نظر بگیرد. با استفاده از فرمول ذیل می‌توان نرخ تورم ماهیانه را در مدل لحاظ کرد. البته درمورد واقعی مسئله با توجه به این که نرخ تورم ماهیانه برای دوره‌های آینده قابل پیش‌بینی نبوده است، مقادیر آن‌ها صفر فرض شده است.

$V_t = t$ نرخ تورم ماهیانه دوره

$$C_{it} = (1 + V_t)C_i(t-1)$$

۳. تقاضای هر دوره باید حتماً کم‌تر از ظرفیت عملی تولید باشد.

۴. در گره‌های تدارکات فقط هزینه‌ی خرید کالا وجود دارد و هزینه‌ی تولید نداریم.

۵. کیفیت و زمان از جمله محدودیت‌های پژوهش‌اند و در مدل قابل بررسی نیستند.

۶. این نوشتار به مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان پرداخته و درگیر برنامه‌ریزی تأمین مواد (MRP) نیست. فرض بر این است که تأمین‌کنندگان قبل از تولید محصول انتخاب شده‌اند و با توجه به زمان تدارک آن‌ها باید در موعد مقرر مقدار کالای موردنیاز جهت خرید (که از مدل حاصل می‌شود) در کارخانه موجود باشد. یعنی سفارش‌گذاری از قبل انجام شده باشد.

۵. تابع هدف و علائم

تابع هدف مدل شامل ۴ قسمت است که به‌دلیل تفاوت‌شان در جنس، باید به‌صورت جدا نوشته شوند.

۱. کمینه‌سازی قیمت کالای نهایی.

۲. کمینه‌سازی هزینه‌ی خرید و نگه‌داری موجودی.

۳. بیشینه‌سازی تعداد تأمین‌کنندگان برای کاهش ریسک کمبود مواد به‌دلیل عدم وجود تأمین‌کننده.

۴. متناسب‌سازی فاصله‌ی میان خریدهای متوالی در هرگره تدارکات جهت ایجاد تعهد کاری در تأمین‌کنندگان.

لازم به ذکر است هدف‌های فوق با توجه به بازار داخلی ایران طراحی شده و مهم‌ترین عوامل برای انتخاب تأمین‌کنندگان با توجه به شرایط داخلی کشور است.

۱.۵. مجموعه‌ها و شمارنده‌ها

i: مجموعه گره‌ها در شبکه $(i = 1, 2, 3, ..., n)$؛

j_i: تأمین‌کننده‌ی j در گره i از شبکه $(j_i = 1, 2, ..., m_i)$؛

i_N: مجموعه گره‌های تدارکات در شبکه؛

i_p: مجموعه گره‌های تولید و بسته‌بندی در شبکه؛

K_i: مجموعه گره‌های پیش‌نیاز گره i؛

S_i: مجموعه گره‌های پس‌نیاز گره i؛

t: مجموعه دوره‌های زمانی $(t = 1, 2, 3, ..., 12)$.

۲.۵. پارامترها

CP_{it}: هزینه‌ی تولید در گره i در دوره t؛

C_{ij_it}: قیمت کالا در گره i با خرید از تأمین‌کننده j_i در دوره t؛

D_{it}: تقاضای قلم کالای گره i در دوره t؛

$\overline{D}$: متوسط تقاضای ماهیانه محصول نهایی؛

MB_{ij_it}: کمینه بچ تولید تأمین‌کننده j_i در گره i در دوره t؛

L_{ij_i}: مدت‌زمان تدارک کالا در گره i، از تأمین‌کننده‌ی j_i در دوره t؛

h: نرخ هزینه‌ی نگه‌داری مواد؛

ρ_{ki}: ضریب نیاز قلم کالای k در گره k برای قلم کالای i در گره i؛

f: نرخ ضایعات؛

g: نرخ محصولات برگشتی؛

NP_i: نرخ تولید ماهیانه گره i؛

TP_{it}: زمان تولید هر واحد کالا در گره تولید i در دوره t (به ماه)؛

CHR_i: مزد هرماه کار منابع در گره تولید i؛

MI_{it}: بیشینه تعداد تأمین‌کننده برای خرید در دوره t و گره i؛

M: یک عدد بسیار بزرگ؛

σ_1: انحراف معیار تقاضای محصول نهایی؛

σ_i: انحراف معیار تقاضا در گره i؛

τ_{it}: کمینه زمان جهت نگه‌داری موجودی اطمینان؛

ε: عددی بسیار کوچک.

۳.۵. متغیرهای واسطه

C_{it}: میانگین قیمت قلم کالای خریداری‌شده قلم کالای گره i در دوره t؛

D'_{it}: مقدار قلم کالای مورد نیاز گره i؛

I_{it}: موجودی قلم کالای گره i در انتهای دوره t؛

$\overline{C}_{it}$: هزینه‌ی تمام‌شده خرید مواد و تولید در گره i؛

$\overline{T}_{i_Nt}$: اگر در دوره t خریدی در گره i_N انجام شود برابر t؛ در غیر اینصورت برابر صفر است.

۴.۵. متغیرهای تصمیم

B_{ij_it}: مقدار کالای خریداری‌شده در گره i_N از تأمین‌کننده j_i در دوره t؛

y_{ij_it}: انتخاب یا عدم انتخاب تأمین‌کننده j_i در گره i_N در دوره t؛

$\overline{y}_{it}$: خرید یا عدم خرید کالا در گره i_N در دوره t؛

S_{it}: موجودی اطمینان گره i_N در دوره t.

۶. مدل ریاضی مسئله

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{t=1}^{t=12} \overline{C_{1t}} \qquad (1)$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{t=1}^{t=12} \sum_{i \in i_N} \left[I_{it} * h\overline{C_{it}} \right] \qquad (2)$$

$$\text{Max } Z_3 = \sum_{t=1}^{t=12} \sum_{i \in i_N} \sum_{j_i=1}^{j_i=m_i} y_{ij_it} \qquad (3)$$

$$\text{Min } Z_4 = \sum_{i \in i_N} \left| \sum_{t=1}^{t=12} \left(6 - \overline{t_{it}}\right) * \overline{y_{it}} \right| \qquad (4)$$

S.t.

$$c_{it} = \sum_{j_i=1}^{j_i=m_i} B_{ij_it} - D_{it}, \quad i \in i_N, \quad \forall t \qquad (5)$$

$$I_{it} = I_{i(t-1)} + \sum_{j_i=1}^{j_i=m_i} B_{ij_it} - D_{it}, \quad i \in i_N \qquad (6)$$

$$D'_{it} = D_{it} + S_{it} - I_{i,t-1}, \quad \forall t, i \in i_N \qquad (7)$$

$$S_{it} = \sigma_i * \sqrt{\tau_{it}}, \quad \forall t, i \in i_N \qquad (8)$$

$$D_{it} = \rho_{is_i} * \left(\frac{1-g}{1-f-g} \right) * D_{s_it}, \quad \forall i \neq 1, \quad \forall t, s_i \qquad (9)$$

$$\overline{C}_{it} = \sum_{k_i} \overline{C}_{k_i t}\ \rho_{ik_i} * \left(\frac{1-g}{1-f-g}\right) + CP_{it}, \qquad \forall t, i \in i_p \tag{۱۰}$$

$$\overline{C}_{it} = C_{it}, \qquad \forall t, i \in i_N \tag{۱۱}$$

$$\sum_{j_i=1}^{j_i=m_i} B_{ijt} \geq D'_{it}, \qquad \forall t, i \in i_N \tag{۱۲}$$

$$y_{ij_it} * MB_{ij_it} \leq B_{ij_it}, \qquad \forall t, i \in i_N, \quad j_i \in 1, ..., m_i \tag{۱۳}$$

$$y_{ij_it} * M \geq B_{ij_it} \qquad \forall t, i \in i_N, \quad j_i \in 1, ..., m_i \tag{۱۴}$$

$$\sum_{j_i=1}^{j_i=m_i} y_{ij_it} \leq mi_{it}, \qquad \forall t, i \in i_N, \quad j_i \in 1, ..., m_i \tag{۱۵}$$

$$\overline{y}_{it} * M \geq \sum_{j_i=1}^{j_i=m_i} B_{ij_it}, \qquad \forall t, i \in i_N, \quad j_i \in 1, ..., m_i \tag{۱۶}$$

$$\overline{y}_{it} * M \geq \sum_{j_i=1}^{j_i=m_i} B_{ij_it}, \qquad \forall t, i \in i_N, \quad j_i \in 1, ..., m_i \tag{۱۷}$$

$$\overline{t}_{it} = t * \overline{y}_{it}, \qquad \forall t, i \in i_N \tag{۱۸}$$

$$B_{ij_it} \geq 0, \qquad \forall t, i \in i_N, \quad j_i \in 1, ..., m_i \tag{۱۹}$$

$$\overline{y_{it}} \in \{0, 1\}, \qquad \forall t, i \in i_N \tag{۲۰}$$

$$\overline{y_{ij_it}} \in \{0, 1\}, \qquad \forall t, i \in i_N, \quad j_i \in 1, ..., m_i \tag{۲۱}$$

$$TP_{it} = 0, \qquad \forall t, i \in i_N \tag{۲۲}$$

$$CP_{it} = 0, \qquad \forall t, i \in i_N \tag{۲۳}$$

$$I_{i0} = 0, \qquad i \in i_N \tag{۲۴}$$

۷. توضیح محدودیت‌های مدل

محدودیت ۵ میانگین وزنی قیمت کالای خریداری‌شده در هرگره تدارکات را محاسبه می‌کند. در محدودیت ۶ موجودی کالا در هریک از گره‌های تدارکات محاسبه می‌شود که به‌صورت مجموع کالای خریداری‌شده در هر دوره با موجودی انتهای دوره‌ی قبل، منهای مقدار تقاضای آن گره است این همان محدودیت مدل پایه برنامه‌ریزی[17] است.[۳۳] محدودیت ۷ مقدارکالای مورد نیاز در هرگره تدارکات را محاسبه می‌کند؛ این عدد به‌صورت تقاضای آن گره به‌اضافه‌ی موجودی اطمینان آن، منهای مقدار موجودی دوره قبل آن دوره به دست می‌آید. در محدودیت ۸ موجودی اطمینان محصول محاسبه می‌شود که حاصل‌ضرب انحراف معیار تقاضا در ریشه دوم زمان جایگزینی محصول است. محدودیت ۹ تقاضای هرگره را با توجه به گره‌های پس‌نیازی آن‌ها و نیز با توجه به نرخ ضایعات و محصولات برگشتی محاسبه می‌کند. در محدودیت ۱۰ هزینه‌ی تمام‌شده تولید محصول (شامل هزینه‌ی خرید و تولید) در گره‌های تولیدی با توجه به نرخ ضایعات و محصولات برگشتی به دست می‌آید، این هزینه در گره‌های تدارکات برابر با تنها هزینه‌ی خرید مواد است و شامل هزینه‌ی تولید نیست (محدودیت ۱۱). در محدودیت ۱۳ مقدارکالای خریداری‌شده در هرگره تدارکات شبکه از هر تأمین کننده در هر دوره زمانی باید از کمینه بچ تولید آن تأمین‌کننده بیشتر باشد. همچنین در محدودیت ۱۲ مقدار کل کالای خریداری‌شده در هرگره تدارکات از همه‌ی تأمین‌کنندگان آن گره باید از مقدارکالای مورد نیاز در آن گره بیشتر باشد. در محدودیت ۱۳ و ۱۴ درصورت انجام خرید از هر تأمین‌کننده متغیر Y متناسب با آن برابر با ۱ است و در غیر این صورت این متغیر صفر است. در محدودیت ۱۵ محدودیتی برای بیشترین تعداد تأمین‌کننده‌ی انتخاب‌شده وجود دارد. محدودیت‌های ۱۶ تا ۱۸ نیز برای محاسبه‌ی تابع هدف Z_2 به‌منظور متناسب کردن خرید در هرگره در دوره‌های زمانی متناسب‌اند.

۸. تجمیع توابع هدف مسئله

با توجه به نظرات خبرگان سازمان و با استفاده از روش AHP، توابع هدف مسئله اولویت‌بندی شده‌اند که با توجه به مقایسات زوجی توابع هدف وزن‌های W_1، W_2، W_3 و W_4 برای به‌ترتیب Z_1، Z_2، Z_3 و Z_4 به‌دست‌آمده است. اهداف عبارت‌اند از:

۱. کاهش هزینه‌ی خرید اقلام؛

۲. کاهش قیمت تمام‌شده؛

۳. افزایش تعهد و وفاداری تأمین‌کننده؛

۴. افزایش تعدد تأمین‌کنندگان.

مقایسات زوجی این توابع در جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشند. پس از طی مراحل روش AHPدر نهایت مقادیر W_1، W_2، W_3 وW_4 عبارتند از:

W_1 = مربوط به کاهش هزینه‌ی خرید اقلام = ۰/۳۸۲

W_2 = مربوط به کاهش قیمت تمام‌شده = ۰/۳۸۲

W_3 = مربوط به تعدد تأمین‌کنندگان = ۰/۱۰۵۲۵

W_4 = مربوط به تعهد و وفاداری تأمین‌کننده = ۰/۱۳۰۷۵

برای تجمیع تابع هدف در اینجا از روش برنامه‌ریزی سازشی[18] استفاده می‌شود. در این روش از توابع سازگار برای بهینه‌سازی استفاده می‌کنیم. در روش‌های $L-P$ از فاصله‌ی متریک به‌منظور سنجش نزدیکی راه‌حل موجود نسبت به یک راه‌حل ایده‌آل استفاده می‌شود. این سنجش از انحراف به‌صورت یک تابع سازگار خواهد بود:[۳۴]

$$L-P = \left[\sum_{i=1}^{k} \gamma_j \left[f_j(x_j^*) - f_j(x)\right]^p\right]^{1/p}$$

برای حل مسئله‌ی این تحقیق که تجمیع چهار تابع هدف از نوع کمینه‌سازی را شامل می‌شود (تابع هدف Z_3 با در نظرگرفتن منفی یعنی $-Z_3$) از فرمول زیر استفاده می‌کنیم:[۳۵]

$$L-P = \left[\sum_{i=1}^{i=k} \gamma_j \left[\frac{f_j(x) - f_j(x_j^*)}{f_j(x_j^*)}\right]^p\right]^{1/p}$$

جدول ۱. مقایسات زوجی بین اهداف مدل ریاضی.

	هدف ۱	هدف ۲	هدف ۳	هدف ۴
هدف ۱	۱	۱	۴	۳
هدف ۲	۲	۲	۴	۳
هدف ۳	۱/۴	۱/۴	۱	۲
هدف ۴	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱
مجموع	۲/۵۸	۲/۵۸	۹/۵	۹

که در آن مقدار پارامترهای γ_j براساس W_i محاسبه شده و $p = ۱$ است. با توجه به فاصله‌ی متریک معرفی‌شده، تابع هدف تجمیع‌شده چنین بازنویسی می‌شود:

$$\begin{aligned}\text{Min } Z =& ۰/۳۸۲(\frac{\sum_{t=۱}^{t=۱۲}\overline{C_{۱t}}D_{۱t} - Z_۱^*}{Z_۱^*}) \\ &+ ۰/۳۸۲(\frac{\sum_{t=۱}^{t=۱۲}\sum_{i\in i_N}\left[I_{it} * h\overline{C_{it}}\right] - Z_۲^*}{Z_۲^*}) \\ &- ۰/۱۰۵۲۵(\frac{\sum_{t=۱}^{t=۱۲}\sum_{i\in i_N}\sum_{j_i=۱}^{j_i=m_i} y_{ij_it} - Z_۳^*}{Z_۳^*}) \\ &+ ۰/۱۳۰۷۵(\frac{\sum_{i\in i_N}\left|\sum_{t=۱}^{t=۱۲}\left(۶ - \overline{t_{it}}\right) * \overline{y_{it}}\right| - Z_۴^*}{Z_۴^*})\end{aligned}$$

۹. اعتبارسنجی مدل

به‌منظور اعتبارسنجی مدل، مدل موردنظر در ۲ فاز عملی و کاربردی مورد بررسی قرار گرفته است. با مقایسه‌ی این مدل با مدل‌های مشابه قبلی و بررسی تحلیلی منطق حاصل از آن، و نیز مشورت با صاحب‌نظران علمی، اعتبارسنجی علمی مدل حاصل شده است. در فاز کاربردی با شرح کامل مدل و محدودیت‌های آن برای خبرگان سازمان، شامل مدیران تدارکات داخلی و خارجی و مدیر برنامه‌ریزی تولید و تأمین مواد هفت شرکت مورد بررسی، روایی و اعتبار منطقی و کاربردی مدل حاصل شده است. همچنین پس از حل مدل و مقایسه‌ی نتایج با شرایط واقعی سازمان مشاهده می‌شود که نتایج کاملاً منطقی بوده و با واقعیت سازگاری دارد.

۱۰. بررسی موردتحقیق

در این نوشتار محصول چسب قطره‌یی ۱۲۳ با حجم ۴۰۰ میلی‌لیتر، که برای اتصال سطوح مختلف پلاستیکی، لاستیکی و غیره کاربرد دارد، برای بررسی انتخاب و در مدل ریاضی از آن استفاده شده است. دو سناریو برای تولید این محصول در نظر گرفته شده، و علاوه بر انتخاب تأمین‌کنندگان باید تعیین شود که کدام حالت برای تولید مناسب‌تر است. در سناریوی اول، چسب قطره‌یی ۱۲۳ درون کارخانه تولید می‌شود که البته با توجه به تولیدات قبلی شرکت امکانات تولید برای آن وجود دارد؛ در سناریوی دوم چسب قطره‌یی ۱۲۳ آماده از خارج کشور خریداری می‌شود. در حالت اول هزینه‌ی تولید کاهش می‌یابد ولی زمان تولید بیشتر می‌شود زیرا در این حالت با مسئله‌ی تأمین مواد اولیه‌ی مختلف روبرو هستیم، ولی در حالت دوم با هزینه‌ی بیشتری برای خرید مواجهیم و البته در زمان کم‌تری محصول دریافت می‌شود. اطلاعات مربوط به این دو سناریو در شکل‌های ۲ و ۳ قابل مشاهده است. همچنین با توجه به نبود اطلاعات کافی درمورد نرخ ضایعات و محصولات برگشتی درمورد واقعی تحقیق، این مقادیر صفر فرض شده‌اند.

۱۱. حل مدل و نتایج محاسباتی

مدل مورد اشاره از نوع MINLP است. این مدل در نرم‌افزار GAMS مدل‌سازی شده و با سالور[۱۹] نرم‌افزار DICOPT حل شده[۳۶] و جواب بهینه‌ی موجه برای مسئله به دست آمده است. مشخصات سیستم مورداستفاده عبارت است از:

Intel Core i۵ − ۵۲۰M Processor ۲/۴۰ GHz

Windows ۷ Home Premium (۶۴ − bit)

Memory ۴ GB

اطلاعات مورداستفاده در مدل‌سازی در جدول ۲ و همچنین شکل‌های ۲ و ۳ موجود است. علاوه بر آن موارد در نظرگرفته شده عبارت‌اند از:

- نرخ هزینه‌ی نگهداری موجودی در گره‌های تدارکات = ۰/۰۵.
- واحد تولید محصول نهایی = نرخ تولید ۱۳۰ کارتن محصول در ماه، و هزینه‌ی هرماه کار واحد معادل ۱۰ میلیون ریال.
- واحد پرکردن قوطی‌های ۴۰۰ میلی = ۵۰۰۰۰ عدد در ماه و هزینه‌ی هرماه کار واحد معادل ۵۰ میلیون ریال.
- واحد پرکردن تیوب‌های ۵۰ میلی = ۲۶۴۲۵۰ عدد در ماه و هزینه‌ی هرماه کار واحد معادل ۹۰ میلیون ریال.
- واحد مونتاژ اسلیوها = ۲۵۰۰۰۰ عدد در ماه و هزینه‌ی هرماه کار واحد معادل ۱۰ میلیون ریال.
- واحد آماده‌سازی کارتن‌ها = ۵۰۰ کارتن در ماه و هزینه‌ی هرماه کار واحد معادل ۱۰ میلیون ریال.
- بیشینه تعداد تأمین‌کنندگان قابل انتخاب در هر دوره زمانی در هرگره = ۲.

۱.۱۱. تابع هدف تجمیع شده برای حالت واردات محصول

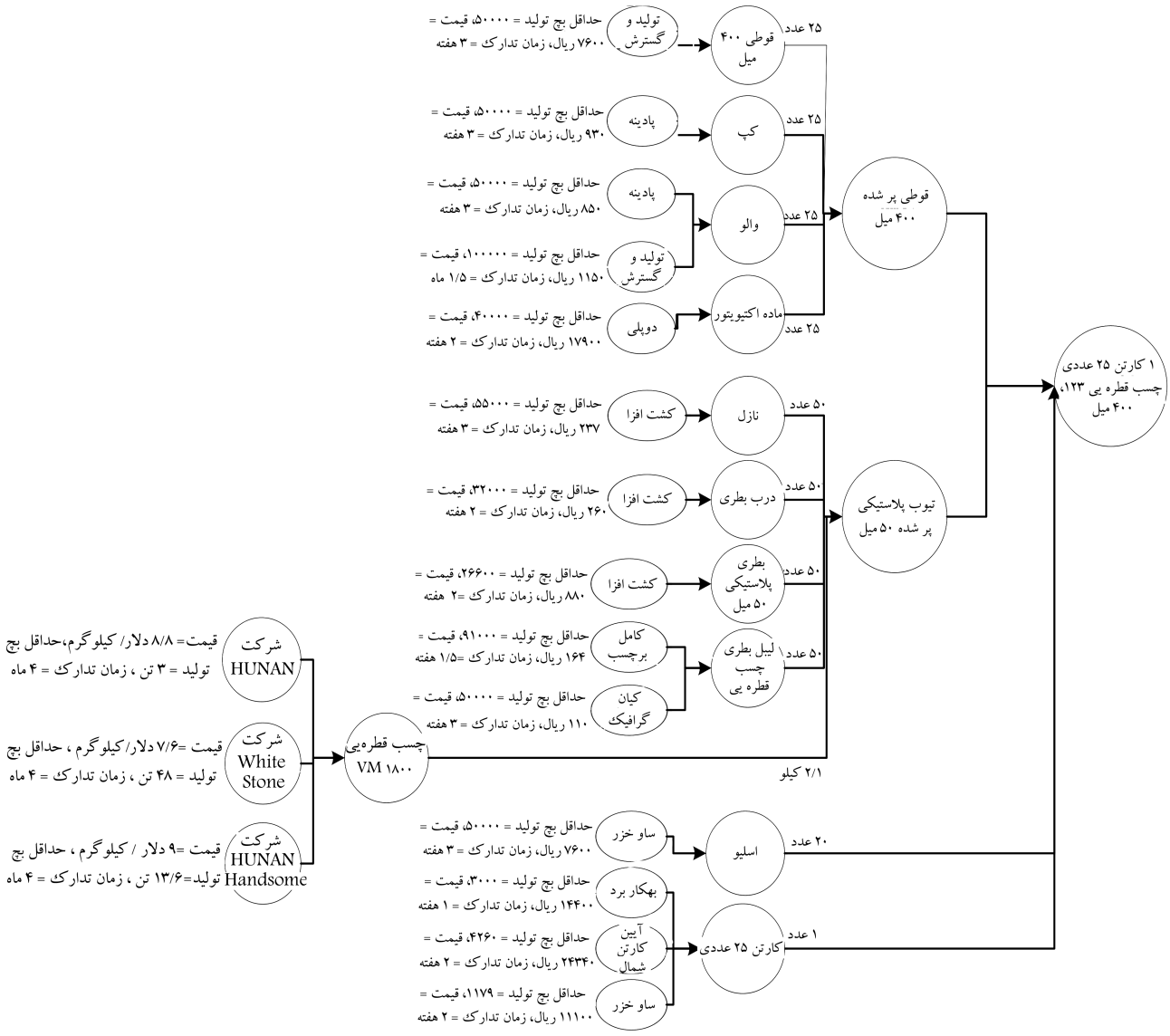
پس از حل مدل با در نظرگرفتن هرکدام از توابع هدف به‌صورت جداگانه و به دست آوردن مقادیر بهینه $Z_۴^*$، $Z_۳^*$، $Z_۲^*$ و $Z_۱^*$ تابع هدف تجمیع شده عبارت است از:

$$\begin{aligned}\text{Min } Z =& ۰/۳۸۲(\frac{\sum_{t=۱}^{t=۱۲}\overline{C_{۱t}}D_{۱t} - ۲۰۵۰۳۲۲۰}{۲۰۵۰۳۲۲۰}) \\ &+ ۰/۳۸۲(\frac{\sum_{t=۱}^{t=۱۲}\sum_{i\in i_N}\left[I_{it} * h\overline{C_{it}}\right] - ۹۰۵۲۶۰۵۰۰}{۹۰۵۲۶۰۵۰۰}) \\ &- ۰/۱۰۵۲۵(\frac{\sum_{t=۱}^{t=۱۲}\sum_{i\in i_N}\sum_{j_i=۱}^{j_i=m_i} y_{ij_it} - ۱۸}{۱۸}) \\ &+ ۰/۱۳۰۷۵(\frac{\sum_{i\in i_N}\left|\sum_{t=۱}^{t=۱۲}\left(۶ - \overline{t_{it}}\right) * \overline{y_{it}}\right| - ۶۶}{۶۶})\end{aligned}$$

۲.۱۱. تابع هدف تجمیع شده برای حالت تولید داخلی محصول

$$\begin{aligned}\text{Min } Z =& ۰/۳۸۲(\frac{\sum_{t=۱}^{t=۱۲}\overline{C_{۱t}}D_{۱t} - ۲۰۰۷۵۲۰۰}{۲۰۰۷۵۲۰۰}) \\ &+ ۰/۳۸۲(\frac{\sum_{t=۱}^{t=۱۲}\sum_{i\in i_N}\left[I_{it} * h\overline{C_{it}}\right] - ۸۴۸۷۶۹۷۰۰}{۸۴۸۷۶۹۷۰۰}) \\ &- ۰/۱۰۵۲۵(\frac{\sum_{t=۱}^{t=۱۲}\sum_{i\in i_N}\sum_{j_i=۱}^{j_i=m_i} y_{ij_it} - ۲۱}{۲۱}) \\ &+ ۰/۱۳۰۷۵(\frac{\sum_{i\in i_N}\left|\sum_{t=۱}^{t=۱۲}\left(۶ - \overline{t_{it}}\right) * \overline{y_{it}}\right| - ۸۲}{۸۲})\end{aligned}$$

نتایج حاصل از حل مدل در نرم‌افزار GAMS در جدول ۳ ارائه شده است. در این جدول دو سناریوی مورد بررسی، یعنی تولید داخلی محصول یا واردکردن آن



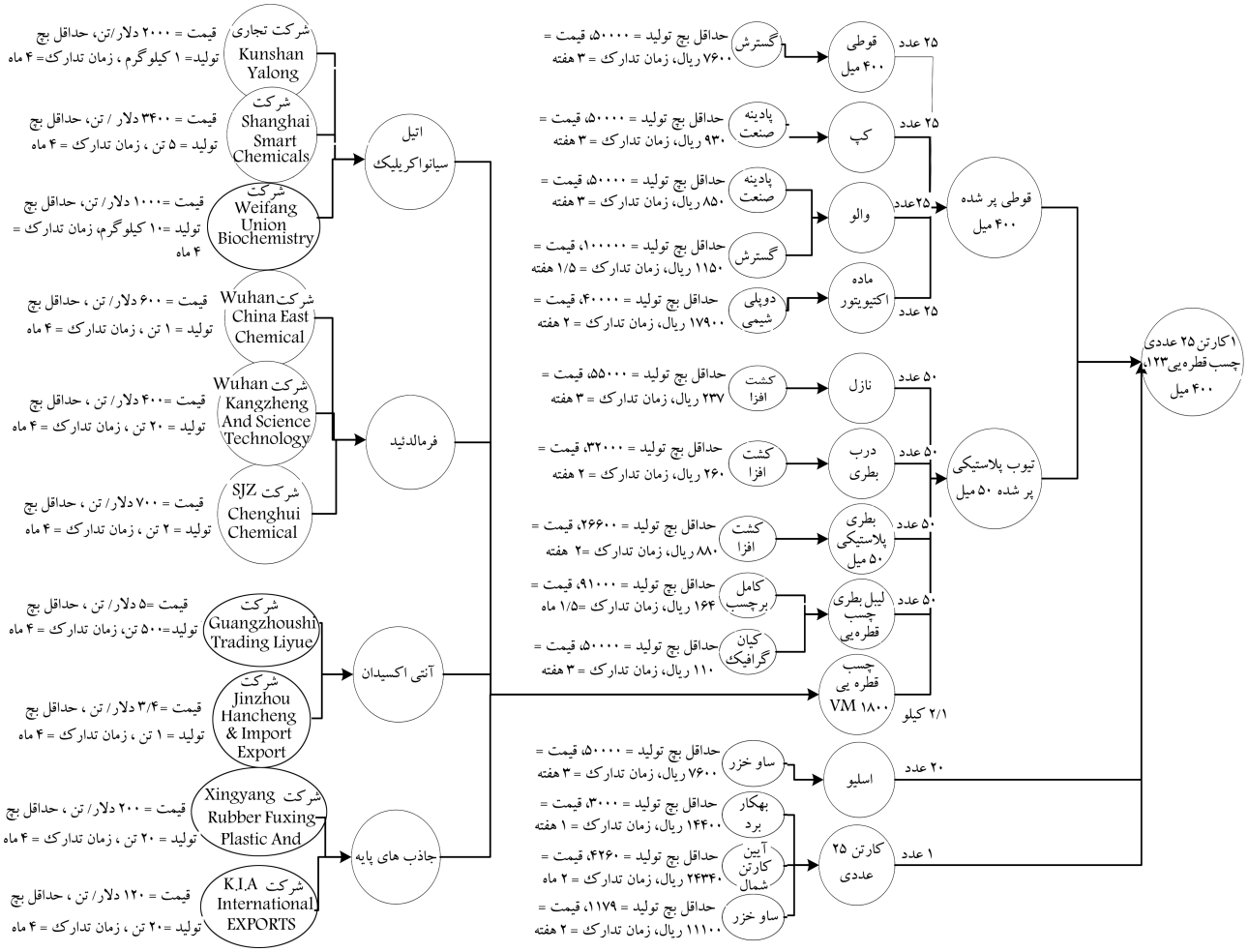
شکل ۲. تولید محصول در حالت واردات چسب قطره‌یی.

جدول ۲. روند تقاضای ماهیانه محصول جدید.

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
پیش‌بینی فروش (بر اساس کارتن ۲۵ عددی)	۱۰۴۵	۲۵۹۳	۲۱۵۰	۲۳۰۹	۱۴۴۰	۲۲۴۵	۲۲۱۳	۲۱۵۰	۲۰۲۴	۲۳۳۹	۲۲۷۶	۲۵۱۶

از خارج، با در نظرگرفتن سیاست‌های مختلف سازمان مبنی بر توجه به قیمت تمام‌شده‌ی محصول نهایی (Z_1)، توجه به کاهش هزینه‌ی خرید (Z_2)، توجه به تعدد تأمین‌کنندگان برای کاهش احتمال کمبود اقلام و مواد اولیه به‌منظور تولید (Z_3) و توجه به جلب اطمینان تأمین‌کنندگان از طریق خریدهای متناسب در طول سال (Z_4) با یکدیگر مقایسه شده است.

پس از حل مدل ریاضی در نرم‌افزار GAMS نتایج مطابق داده‌های جدول ۳ حاصل می‌شود. چنان که مشاهده می‌شود، با توجه به کمینه‌سازی تابع هدف Z^*، حالت تولید داخلی محصول چسب ۱۲۳ از نظر مدل ریاضی معرفی‌شده بهتر است، و فهرست مواد فعلی محصول ازنظر اقتصادی به‌صرفه نیست. برای تأیید این ادعا اگر به متوسط قیمت تمام‌شده‌ی هرکارتن محصول در دو حالت توجه کنیم، مشاهده می‌شود که در واردات محصول قیمت تمام‌شده بسیارگران‌تر از تولید داخلی آن است (۴۸۰۶۶۷ ریال گران‌تر)، درنتیجه تولید این محصول درکارخانه به شرکت توصیه می‌شود. این اختلاف قیمت‌ها بسیار چشم‌گیرند که با توجه به سیاست‌های شرکت کمینه ۳۳۴۳۵ ریال و بیشینه ۴۸۳۷۵۰ ریال خواهد بود. از نظر منطقی، علت این مورد آن است که قیمت تمام‌شده‌ی تولید چسب ۱۲۳ با در نظرگرفتن قیمت‌های مواد اولیه‌ی اعلام‌شده توسط تأمین‌کنندگان کاهش یافته و با توجه به امکانات تولیدی و تجهیزات موجود درکارخانه که تولید محصول درآن امکان‌پذیراست، بهتراست این محصول در داخل تولید شود. البته این موضوع با توجه به تقاضای فعلی محصول



شکل ۳. تولید محصول در حالت تولید داخلی چسب قطره‌یی.

جدول ۳. نتایج حل مدل ریاضی در نرم‌افزار.

نوع تابع هدف	مقدار بهینه‌ی تابع هدف	
	حالت واردات	حالت تولید
Z_1^*	۲۰۵۰۳۲۲۰	۲۰۰۷۵۲۰۰
Z_2^*	۹۰۵۲۶۰۵۰۰	۸۴۸۷۶۹۷۰۰
Z_3^*	۱۸	۲۱
Z_4^*	۶۶	۸۲
Z^*	۰/۱۴۴	۰/۱۱
$C_1(Z_1^*)$	۱۷۰۸۶۰۲	۱۶۷۵۱۶۷
$C_2(Z_2^*)$	۲۳۰۷۴۱۷	۱۸۲۳۶۶۷
$C_3(Z_3^*)$	۲۸۵۴۴۱۷	۲۴۲۹۵۸۳
$C(Z^*)$	۲۳۱۸۸۳۳	۱۸۳۸۱۶۶

$C_1(Z_1^*)$: میانگین هزینه‌ی تمام‌شده محصول نهایی با توجه به Z_1^*.

$C_2(Z_2^*)$: میانگین هزینه‌ی تمام‌شده محصول نهایی با توجه به Z_2^*.

$C_3(Z_3^*)$: میانگین هزینه‌ی تمام‌شده محصول نهایی با توجه به Z_3^*.

$C(Z^*)$: میانگین هزینه‌ی تمام‌شده محصول نهایی با توجه به Z^*.

بوده و ممکن است درصورت کاهش تقاضا، واردات محصول بهتر باشد.

نکته‌ی قابل توجه این که با توجه به قیمت فروش فعلی محصول (۲۴۲۵۰۰۰ ریال برای هرکارتن) و درنظرگرفتن ۲۰ درصد سود و ۶ درصد مالیات برارزش‌افزوده، قیمت تمام‌شده‌ی فعلی محصول حدود ۱۹۲۴۶۰۰ ریال تخمین زده می‌شود. از مقایسه‌ی این عدد با قیمت‌های تمام‌شده‌ی محصول در حالت واردات، می‌توان حدس زد که تنها سیاست حاکم بر تولید و خرید در شرکت کاهش هزینه‌ی تولید محصول نهایی است (و نه کاهش هزینه‌ی خرید اقلام و مواد اولیه). همواره برای این محصول تولید واقعی از پیش‌بینی فروش عقب بوده و مهم‌ترین علت آن کمبود مواد اولیه و اقلام مورد نیاز عنوان شده است. با مقایسه‌ی این دو می‌توانیم نتایج زیر را برای وضعیت فعلی شرکت متصور شویم:

۱. سیاست شرکت مبنی برکاهش قیمت تمام‌شده‌ی محصول اشتباه است و همواره سازمان را باکمبود مواد اولیه مواجه ساخته است. بهتراست به اهداف ۳ و ۴ یعنی کاهش احتمال کمبود اقلام و همچنین جلب اعتماد تأمین‌کنندگان توجه شود.

۲. با توجه به مهیا بودن تجهیزات مورد نیاز برای تولید محصول درکارخانه به‌صورت داخلی و همچنین اختلاف قیمت تمام‌شده در صورت تولید داخلی با حالت واردات، واردات محصول سیاست اشتباهی بوده و بهتر است این محصول در کارخانه تولید شود.

از طرفی در جدول ۳ مشاهده می‌شود که هزینه‌ی تمام‌شده‌ی محصول بسیار به نوع تابع هدف بستگی دارد و متغیر است به‌طوری که اگر کمینه‌سازی قیمت تمام‌شده‌ی محصول نهایی مدنظر باشد، هزینه‌ی تمام‌شده برای هر کارتن محصول در حالت واردات ۱۷۰۸۶۰۲ ریال و در حالت تولید داخلی ۱۶۷۵۱۶۷ ریال است؛ اگر هدف جلب اطمینان تأمین‌کنندگان باشد در حالت واردات ۲۸۵۴۴۱۷ ریال و در حالت تولید داخلی ۲۴۲۹۵۸۳ ریال است. مشاهده می‌شود هزینه‌ی تمام‌شده‌ی هرکارتن محصول نهایی با توجه به سیاست‌های سازمان در حالت واردات ۱۱۴۵۸۱۵ ریال و در صورت تولید در داخل ۷۵۴۴۱۶ ریال نوسان دارد. این موضوع مؤید لزوم توجه ویژه به این سیاست‌هاست زیرا با در نظرگرفتن سیاست مناسب، ممکن است قیمت رقابتی ایجاد شود و منجر به افزایش فروش شود.

نتیجه‌ی نهایی آن که بر اساس تحقیقات چپرا،[۳۷] برای یک محصول کارکردی (مانند محصول تحت بررسی در این نوشتار) باید زنجیره‌ی تأمین به‌صورت کارا (یعنی با کم‌ترین هزینه) توسعه یابد، ولی براساس نتایج به‌دست‌آمده از این نوشتار مشخص شد که همواره برای یک محصول کارکردی (که طول عمر زیادی دارد و همواره مورد تقاضاست)، در شرایط بحران، زنجیره‌ی تأمین کارا که هدف آن کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره است بهینه نبوده و نیازمند توجه به پارامترهای دیگر مانند کاهش احتمال کمبود مواد و اقلام اولیه و همچنین کسب اعتماد تأمین‌کنندگان است.

۱۲. نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک مدل ریاضی چهارهدفه مورد تأیید خبرگان و متناسب با شرایط بحرانی توسعه داده شده است. هدف اول در بودجه‌ی سالیانه که توسط واحد فروش سازمان در ابتدای سال ارائه شده و به تصویب مدیریت ارشد سازمان می‌رسد نمود پیدا می‌کند؛ زیرا واحد فروش سازمان با استفاده از تحقیقات بازار انتظارات مشتریان را پیش‌بینی می‌کند و درصدد تأمین آن نیازها برمی‌آید. درنتیجه ورودی مدل با توجه به نیازهای مشتریان و هزینه‌های توسعه‌ی محصول جدید به‌طور مستقیم به حجم این نیازها وابسته است زیرا با توجه به مقدار نیاز مشتری تأمین‌کننده‌ی منتخب (با توجه به کمینه بچ تولید او و زمان تدارکش) متفاوت خواهد بود.

هدف دوم به‌صورت مستقیم در مدل در نظر گرفته شده که بر اساس آن تأمین‌کننده‌یی انتخاب می‌شود که زمان سیکل تولید و قیمت کالای آن بهینه‌تر باشد. البته لزوماً تأمین‌کننده‌یی انتخاب نمی‌شود که زمان سیکل تأمین او کم‌تر باشد زیرا هزینه‌ی تولید و خرید نیز در اینجا تعیین‌کننده خواهد بود. نکته‌ی دیگری که در این میان مهم است حفظ پایایی تولید است. به این صورت که باید با جلب اطمینان تأمین‌کنندگان و همچنین در نظرگرفتن چندین تأمین‌کننده برای تأمین مواد اولیه از پایایی تولید محصول اطمینان حاصل شود تا با توقف تولید مواجه نشویم؛ این موارد در توابع هدف سوم و چهارم نمود پیدا می‌کنند.

پس از پیاده‌سازی مدل ریاضی درمورد واقعی تحقیق، وضعیت قیمت تمام‌شده‌ی محصول در حالت تولید داخلی آن مشخص و با حالت فعلی مقایسه شده است و می‌توان نتیجه گرفت که تولید داخلی محصول از نظر اقتصادی به‌صرفه‌تر بوده و هزینه‌ی تمام‌شده‌ی آن در این حالت مورد بررسی و تحلیل قرارگرفته است. همچنین با توجه به بودجه‌ی سالیانه‌ی فروش سازمان، حالت مناسب خرید (مقدار کالا جهت خرید از هر تأمین‌کننده) و انتخاب تأمین‌کنندگان با توجه به سیاست‌های مختلف سازمان و همچنین سیاست پیشنهادی مشخص شده است.

از مدل ارائه‌شده می‌توان برای مقایسه‌ی BOMهای مختلف یک محصول جدید به‌منظور تولید استفاده کرد و در هر مورد حالت مناسب انتخاب تأمین‌کنندگان و مقدار خرید کالا در هر دوره زمانی، با توجه به سیاست‌های مختلف سازمان برای کاهش هزینه‌های تولید، خرید و نگهداری موجودی، کاهش احتمال کمبودهای اقلام و نیز جلب اطمینان تأمین‌کنندگان، مشخص شود. همچنین می‌توان نقاط سربه‌سر جهت تغییر BOM محصول را مشخص ساخت؛ یعنی با توجه به حجم تقاضا، BOM مناسب جهت تولید را مشخص کرد.

براساس نتایج به‌دست‌آمده چنین مشخص می‌شود که همواره برای یک محصول کارکردی، در شرایط بحران، یک زنجیره‌ی تأمین کارا بهینه نیست، بلکه نیازمند توجه به پارامترهای دیگر مانند کاهش احتمال کمبود اقلام و مواد اولیه نیز هست.

۱۳. پیشنهادات برای تحقیقات آتی

چنان که پیش‌تر عنوان شد، توسعه‌ی مدل ریاضی طراحی زنجیره‌ی تأمین محصول جدید، به‌خصوص در شرایط تورمی، بسیار جدید بوده و کارهای زیادی در این زمینه انجام نشده است. به همین دلیل فرصت‌های مطالعاتی بسیاری در این حوزه وجود دارد که می‌تواند مورد توجه پژوهش‌گران قرار گیرد و با کاربردی کردن آن‌ها و ارتباط بیشتر با صنعت‌گران به پیاده‌سازی آن‌ها در صنعت پرداخت.

در این تحقیق در فرایند توسعه‌ی محصول جدید و توسعه‌ی زنجیره‌ی تأمین متناسب با آن، همراه با در نظرگرفتن ساختار پیکره‌ی محصول، بیشتر به بحث انتخاب تأمین‌کنندگان، آن‌هم پیش از توسعه و تولید محصول جدید و در شرایط تورمی، پرداخته شده است. به‌دلیل گستردگی موضوع، فرضیات محدودکننده‌یی برای آن در نظرگرفته شده که کاربرد مدل را تا اندازه‌یی خاص کرده است. برای جامعیت بخشیدن به مسئله و کاربرد بیشتر آن پیشنهاد می‌شود:

- اضافه کردن فاکتور زمان به مسئله.
- در نظرگرفتن و پیشنهاد زمان سفارش‌گذاری مناسب برای کالاهای مورد نیاز با توجه به شرایط تأمین‌کننده.
- در نظرگرفتن محدودیت‌های خط تولید و انجام برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید.
- در نظرگرفتن بازخورد در عرضه جهت تغییر تقاضای بازار.
- در نظرگرفتن کیفیت کالاهای تأمین‌شده توسط تأمین‌کنندگان و رد کیفیت کالاهای تأمین‌شده توسط آن‌ها توسط واحد کنترل کیفیت سازمان.

پانوشت‌ها

1. supply chain configuration
2. New product developement
3. cost effective alignment
4. service effective alignment
5. full aligned
6. misaligned
7. Plat Form
8. three dimensional concurrent engineering
9. generic bill of material

10. engineer to order
11. product modularization
12. compatibility
13. Modular
14. integrated
15. integrality
16. Modularity
17. generic master planning model
18. compromise programming
19. Solver

منابع (References)

1. Schilling, M.A. "Technological lockout: An integrative model of the economic and strategic factors driving success and failure", *Academy of Management Review*, **23**(2), pp. 267-284 (1998).
2. Crippa, R., Larghi, L., Pero, M. and Sianesi, A. "The impact of new product introduction on supply chain ability to match supply and demand", *International Journal of Engineering, Science and Technology*, **2**, pp. 83-93 (2010).
3. Caridi, M., Pero, M. and Sianesi, A. "Linking product modularity and innovativeness to supply chain management in the Italian furniture industry", *Int. J. Production Economics,* **136**(1), pp. 207-217 (2012).
4. Fisher, M., Hammond, J., Obermeyer, W.R. and Raman, A. "Making supply meet demand in an uncertain word", *Harward Business Review*, **72**(3), pp. 83-92 (1994).
5. Fisher, M. "What is the right supple chail for your product", *Harwad Business Review*, **75**(2), pp. 105-116 (1997).
6. Graves, S.C. and Willems, S.P. "Optimizing statistic safety stock placement in supply chain", *Journal Manufacturing & Service Operations Management Archive*, **2**(1), pp. 68-83 (January 2000).
7. Graves, S.C. and Willems, S.P. "Optimizing the supply chain configuration for new products", *Management Science*, **51**(8), pp. 1165-1180 (2005).
8. Graves, S.C. and Willems, S.P. "Supply chain design: Safety stock placement ", *Handbooks in OR & MS.*, Elsevier, **11**, pp. 95-132 (2003).
9. Li, D. and O'Brien, C. "A quantitative analysis of relationships between product types and supply chain strategies", *Int. J. Production Economics,* **73**(1), pp. 29-39 (2001).
10. Ragatz, G.L., Handfield, R.B. and Petersen, K.J. "Benefits associated with supplier integration into new product development under conditions of technology uncertainty", *Journal of Business Research*, **55**(5), pp. 398-400 (2002).
11. Lee, L.H. "Aligning supply chain strategies with product uncertainties", *California Management Review*, **44**(3), pp. 105-119 (2002).
12. Thonemann, U.W. and Bradley, J.R. "The effect of product variety on supply-chain performance", *European Journal of Operational Research*, **143**(3), pp. 548-569 (2002).
13. Wang, G., Huang, S.H. and Dismukes, J.P. "Product-driven supply chain selection using integrated multi-criteriadecision-making methodology", *Int. J. Production Economics*, **91**(1), pp. 1-15 (2004).
14. Petersen, K.J., Handfield, R.B. and Ragatz, G.L. "Supplier integration into new product development: Coordinating product, process and supply chain design", *Journal of Operations Management,* **23**(3-4), pp. 371-388 (2005).
15. Graves, S.C. and Willems, S.P. "Optimizing the supply chain configuration for new products", MIT Working paper (2000).
16. Huang, G.Q., Zhang, X.Y. and Liang, L. "Towards integrated optimal configuration of platform products, manufacturing processes, and supply chains", *Journal of Operations Management*, **23**(3-4), pp. 267-290 (2005).
17. Fixson, S.K. "Product architecture assessment: A tool to link product, process, and supply chain design decisions", *Journal of Operations Management*, **23**(3-4), pp. 345-369 (2005).
18. Lamothe, J., Hadj-Hamou, K. and Aldanondo, M. "An optimization model for selecting a product family and designing its supply chain", *European Journal of Operational Research,* **169**(3), pp. 1030-1047 (2006).
19. Sianesi, A. and Pero, M. "Aligning supply chain management and new product developement: A frame work of reference", *Sixth International Congress of Logistics Research* (2006).
20. Wang, J. and Shu, Y.-F. "A possibilistic decision model for new product supply chain design", *European Journal of Operational Research*, **177**(2), pp. 1044-1061 (2007).
21. You, F. and Grossmann, I.E. "Design of responsive supply chains under demand uncertainty", *Computers and Chemical Engineering,* **32**(12), pp. 3090-3111 (2008).
22. Altiparmak, F., Gen, M., Lin, L. and Karaoglan, I. "A steady-state genetic algorithm for multi-product supply chain network design", *Computers & Industrial Engineering,* **56**(2) pp. 521-537 (2009).
23. Gosling, J. and Naim, M.M. "Engineer-to-order supply chain management: A literatur ereview and research agenda", *Int. J. Production Economics,* **122** pp. 741-754 (2009).
24. Kristianto, Y., Gunasekaran, A., Helo, P. and Sandhu, M. "A decision support system for integrating manufacturing and product design into the reconfiguration of the supply chain networks", *Decision Support Systems*, **52**(4), pp. 790-801 (2011).
25. Amini, M. and Li., H. "Supply chain configuration for diffusion of new products: An integrated optimization approach", *Omega,* **39**(3) pp. 313-322 (2011).
26. Bass, F.M. "A new product growth for model costomer durables", *Management Science*, **15**(5), pp. 215-227 (1969).
27. Amini, M., Wakolbinger, T., Racer, M. and Nejad, M.G. "Alternative supply chain production–sales policies for new product diffusion: An agent-based modeling and simulation approach", *European Journal of Operational Research*, **216**(2) pp. 301-311 (2012).

28. Baud-Lavigne, B., Agard, B. and Penz, B. "Mutual impacts of product standardization and supply chain design", *Int. J. Production Economics*, **135**(1), pp. 50-60 (2012).

29. Choi, K., Narasimhan, R., Wook Kim, S. "Postponement strategy for international transfer of products in a global supply chain: A system dynamics examination", *Journal of Operations Management*, **30**(3), pp. 167-179 (2012).

30. Shirmohammadi, A., *Production Planning and Inventory Control*, Arkan Danesh (2010).

31. Nepal, B., Monplaisir, L. Famuyiwa, O. "Matching product architecture with supply chain design", *European Journal of Operational Research*, **216**, pp. 312-325 (2012).

32. Langenberg, K.U., Seifert, R.W. and Tancrez, J.-S. "Aligning supply chain portfolios with product portfolios", *Int. J. Production Economics*, **135**(1), pp. 500-513 (2012).

33. Alberecht, M., *Supply Chain Coordination Mechanisms*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer (2010).

34. Asgharpour, M.J., *Multi Criteria Decision Making*, Tehran University (2010).

35. André, F.J. and Romero, C. "Computing compromise solutions: On the connections between compromise programming and composite programming", *Applied Mathematics and Computation*, **195**(1), pp. 1-10 (2008).

36. Bussieck, M.R. and Vigerske, S. "MINLP solver Software", Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science (2012).

37. Chopra, S. and Maindl, P., *Supply Chain Management*, New Jercey, Upper Saddle River (1997).