مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (تابستان ۱۴۰۱)
دوره‌ی ۱-۳۸، شماره‌ی ۱، ص. ۲۵-۳۵، (پژوهشی)

Original Article

# پیکربندی مجدد زنجیره‌ی تأمین هنگام توسعه‌ی محصول جدید با در نظرگرفتن راهکار جایگزینی دومحصولی (مطالعه‌ی موردی: صنعت هدفون)

**علی عبدی نژاد (دانشجوی کارشناسی ارشد)**
**ابراهیم تیموری * (دانشیار)**
**فهیمه پورمحمدی (دانشجوی دکتری)**
**دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران**

ارائه‌ی محصولات جدید در محیط رقابتی کسب‌وکار الزامی است. پیکربندی زنجیره‌ی تأمین هنگام توسعه‌ی محصولات جدید، منجر به پیروزی در عرصه‌ی رقابت می‌شود. در تحقیق حاضر، یک مدل عدد صحیح مختلط برای زنجیره‌ی تأمین چهارسطحی توسعه داده شده که در آن تصمیماتی همچون انتخاب اجزای زنجیره، میزان تولید و زمان طراحی محصول بهینه می‌شود. برای نشان دادن کاربرد مدل، ۱۵ مسئله از صنعت لوازم دیجیتال با ابعاد مختلف به صورت دقیق حل شده است. تحلیل حساسیت روی پارامترهای قیمت فروش و هزینه‌ی تولید انجام شده که با افزایش ۱۰ درصد قیمت فروش و ثابت بودن تقاضا، تابع هدف ۱۶ درصد بهبود خواهد داشت. همچنین راهکار جایگزینی دومحصولی با حالات مختلف تک‌محصولی مقایسه شده که حالت دومحصولی نسبت به بهترین حالت تک‌محصولی ۶ درصد بهبود دارد. نوآوری اصلی مقاله، پیاده‌سازی راهکار جایگزینی دومحصولی است و نشان داده شده که در بعضی مسائل واقعی راهکار دومحصولی نسبت به حالت تک‌محصولی کارایی بهتری دارد.

**واژگان کلیدی:** توسعه‌ی محصول جدید، راهکار جایگزینی دومحصولی، پیکربندی زنجیره‌ی تأمین، انتخاب تأمین‌کنندگان، چرخه‌ی عمر محصول.

mr.a.abdinejad@gmail.com
teimoury@iust.ac.ir
fahimep.ie@gmail.com

## ۱. مقدمه

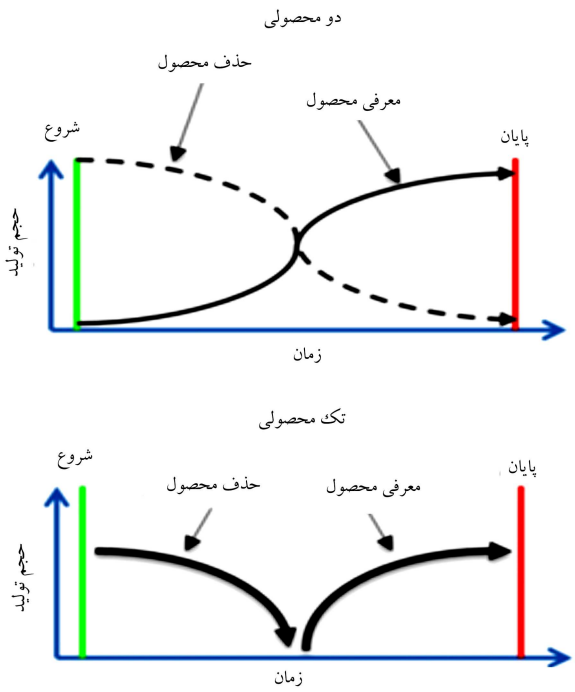
در دنیای رقابتی امروز و تغییرات سریع تکنولوژی، یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیران تولید، حفظ مشتریان و جذب وفاداری آنها به سازمان است. این موضوع بدون افزودن پیوسته‌ی نوآوری به محصولات و توسعه‌ی محصولات جدید غیر قابل دست‌یابی خواهد بود. از این رو همواره بخش بزرگی از هزینه‌ها و زمان سازمان‌ها صرف توسعه‌ی موفق محصولات جدید به بازار می‌شود. توسعه‌ی محصول جدید[1] به صورت موفق نیازمند توجه هم‌زمان به تمام زمینه‌های تحقیق و توسعه، طراحی، تولید، بازاریابی و تصمیمات دیگر زنجیره‌ی تأمین است.

مدیریت زنجیره‌ی تأمین[2] در موفقیت کسب‌وکارها اهمیت ویژه‌یی دارد. سازمان‌ها با برنامه‌ریزی و مدیریت مطلوب زنجیره‌ی تأمین منجر به کاهش شدید هزینه‌ها و افزایش رضایت مشتریان می‌شوند که به دنبال آن سهم بازار خود را نیز افزایش می‌دهند. تا قبل از دهه‌ی ۱۹۸۰ میلادی، تلاش صنایع به سمت بهبود فرایندهای تولید و انعطاف‌پذیری در توانایی‌های سازمان‌ها بود. اما در آن دوره مدیران صنایع دریافتند که این موارد برای ادامه‌ی حضور در بازار کافی نیست، بلکه توجه به راهکارهای یک‌پارچگی اعضای زنجیره، در راستای کاهش هزینه‌های کل سیستم و افزایش سطح خدمت‌دهی به مشتریان مؤثر است. پیکربندی به عنوان ابزاری در راستای تحقق این موارد، شامل تصمیمات انتخاب تأمین‌کنندگان، میزان سفارش، نحوه‌ی ارسال محصولات بین اعضای زنجیره‌ی تأمین، میزان تولید، نگهداری موجودی، مسیریابی وسایل نقلیه در شبکه و غیره است.[1]

بازنگری در زنجیره‌ی تأمین به هنگام توسعه‌ی محصول جدید در بنگاه‌های صنعتی لازمه‌ی موفقیت در معرفی محصول به بازار است. با توجه کردن به کل زنجیره‌ی تأمین به صورت یک‌پارچه و هماهنگ، زمان مناسب برای طراحی محصول جدید، زمان مناسب برای معرفی به بازار و همچنین زمان مناسب برای حذف محصول قدیمی از بازار نتیجه می‌شوند. توسعه‌ی محصول جدید ممکن است منجر به انتخاب تأمین‌کنندگان جدید، توزیع‌کنندگان جدید و یا تغییر در ارتباطات قبلی بشود. نحوه‌ی حذف محصول قدیمی از بازار و معرفی محصول جدید با عنوان راهکار جایگزینی محصول[3] شناخته می‌شود.

راهکار جایگزینی محصول به دو نوع تک‌محصولی و دومحصولی تقسیم

* نویسنده مسئول
*تاریخ: دریافت ۱۳۹۹/۴/۱، اصلاحیه ۱۴۰۰/۴/۲۰، پذیرش ۱۴۰۰/۶/۲۴.*
*DOI:10.24200/J65.2021.55613.2118*




شکل ۱. راهکار جایگزینی محصول.

می‌شود[۲] (شکل ۱). راهکار جایگزینی تک‌محصولی به این معناست که باید در یک زمان تنها یک محصول برای ورود به بازار تولید شود. یعنی فرایند حذف محصول قدیمی و معرفی محصول جدید به صورت هم‌زمان رخ می‌دهد. این راهکار ریسک بالایی دارد. اما اگر شرایط مهیا باشد و جایگزینی به خوبی انجام شود، معرفی محصول جدید با هزینه‌ی کم انجام می‌شود. هماهنگی این ورود و خروج کار دشواری است. اگر محصول قدیمی قبل از ورود محصول جدید کاملاً از بازار کنار رود، احتمال از دست دادن سهم بازار زیاد می‌شود. اگر موجودی محصول قدیمی هنگام معرفی محصول جدید زیاد باشد، ریسک افزایش هزینه‌های ناشی از انهدام و فروش از دست رفته زیاد می‌شود.[۳ و ۴]

راهکار جایگزینی دومحصولی نیز بیان‌گر این است که برای یک مدت فروش هر دو محصول جدید و قدیمی هم‌زمان انجام شود. این مدت زمان می‌تواند در مرحله‌ی معرفی از چرخه‌ی عمر محصول جدید باشد. این راهکار با این که ریسک کم‌تری دارد، اما نیازمند هماهنگی و انعطاف‌پذیری در تولید، توزیع و بازاریابی هر دو محصول قدیمی و جدید است. همچنین مشتریان ممکن است با حضور دو محصول، دچار سردرگمی شوند.

انتخاب راهکار مناسب برای جایگزینی محصول به عهده‌ی مدیران شرکت است که ممکن است مستقیماً منجر به شکست یا موفقیت معرفی محصولات شود. از طرفی در دنیای رقابتی امروز، با کوتاه شدن عمر محصولات، مدیران همواره با این چنین تصمیماتی مواجه‌اند. بنابراین بستری برای سنجش هزینه‌ها و ریسک این تصمیمات می‌تواند کمک شایانی به سازمان‌ها در راستای معرفی موفق محصولات جدید بکند.

در این مطالعه سعی شده است ضمن توسعه‌ی یک مدل زنجیره‌ی تأمین برای جایگزینی دو محصول با استفاده از راهکار جایگزینی دومحصولی، بررسی شود که آیا این راهکار به نسبت راهکار تک‌محصولی، برای مطالعه‌ی موردی نتیجه‌ی بهتری ارائه می‌دهد یا خیر. نوآوری اصلی این مطالعه نیز در مدل‌سازی جایگزینی دومحصولی در زنجیره‌ی تأمین است.

در این مطالعه یک مدل ریاضی عددصحیح مختلط برای یک زنجیره‌ی تأمین چهار سطحی شامل، تأمین‌کنندگان قطعات، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و گروه‌های مشتریان توسعه داده می‌شود. در این زنجیره‌ی تأمین محصولات جدید طی چند دوره‌ی جایگزین محصولات قدیمی می‌شوند (راهکار جایگزینی دومحصولی). تصمیماتی مانند میزان تولید تولیدکننده، موجودی اجزای مختلف زنجیره، تعیین ارتباط میان اجزا و قرارداد بستن با تأمین‌کنندگان، میزان ارسال محصولات میان اجزا و زمان طراحی محصول در این مدل ریاضی اتخاذ می‌شوند. سپس مدل با استفاده از داده‌های واقعی مربوط به یک شرکت تولیدکننده و واردکننده هدفون‌های معمولی و بی‌سیم در نرم‌افزار بهینه‌سازی GAMS حل می‌شود. همچنین تحلیل حساسیت روی پارامترهای مدل انجام خواهد شد.

با توجه به مطالعه‌ی ایباراکی و کاتو[۵] مسائل شبکه‌های زنجیره‌ی تأمین چندسطحی، چنددوره‌یی و چندمحصولی از لحاظ پیچیدگی در دسته NP-complete قرار می‌گیرند. همین موضوع باعث می‌شود مدل این مطالعه در ابعاد بزرگ به منابع زیادی برای حل نیاز داشته باشد.

ساختار ادامه‌ی مقاله به شرح زیر خواهد بود: در بخش ۲، پیشینه‌ی تحقیقات معرفی می‌شود. در بخش ۳، مسئله به صورت دقیق شرح داده می‌شود و مدل ریاضی به همراه علائم و اختصارات به کار رفته در آن ارائه می‌شود. در بخش ۴، مدل ریاضی با استفاده از داده‌های مطالعه‌ی موردی در نرم‌افزار GAMS حل می‌شود. بخش ۵ به تحلیل حساسیت پارامترهای مدل اختصاص یافته است. در بخش ۶ مدل با راهکار جایگزینی دومحصولی با ۶ حالت مختلف راهکار جایگزینی دومحصولی مقایسه شده است. در بخش ۷ تعداد ۱۵ مثال مختلف در ابعاد مختلف برای این مدل حل شده است. در بخش ۸ توصیه‌های مدیریتی استخراج شده از این مطالعه آورده شده، و در بخش ۹، جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای مطالعات آتی ارائه می‌شود.

## ۲. بررسی ادبیات

در زمینه‌ی تصمیمات مربوط به زنجیره‌ی تأمین محصولات جدید می‌توان تحقیقات را به دو دسته‌ی مشارکت تأمین‌کنندگان در فرایند توسعه‌ی محصول جدید و پیکربندی زنجیره‌ی تأمین در فرایند توسعه‌ی محصول جدید تقسیم کرد.

مطالعات دسته‌ی مشارکت تأمین‌کنندگان در فرایند توسعه‌ی محصول جدید، به شناسایی عوامل موفقیت توسعه‌ی محصول جدید در زنجیره‌ی تأمین اختصاص یافته است.

هندفیلد و همکاران[۶] چارچوبی برای یک‌پارچگی تأمین‌کنندگان در فرایند توسعه‌ی محصولات جدید ارائه داده‌اند. در این چارچوب تأمین‌کنندگان در مراحل مختلف توسعه‌ی محصول جدید شامل طراحی، ارزیابی فنی، توسعه‌ی مفهوم، مهندسی محصول و ساخت و آزمایش وارد می‌شوند. همچنین معیارهایی برای اندازه‌گیری موفقیت توسعه‌ی محصول جدید و شاخص‌هایی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان معرفی شده است. طبق نتایج این پژوهش ورود هر چه سریع‌تر تأمین‌کنندگان در فرایند توسعه‌ی محصولات، برای زنجیره مناسب‌تر است.

میکولا و لارسن[۷] نیز مانند پژوهش پیشین عمل کرده‌اند با این تفاوت که مراحل مشارکت تأمین‌کنندگان شامل ۳ مرحله‌ی برنامه‌ریزی، طراحی و تولید بیان شده است. این مقاله از روش الگوبرداری[۴] از نمونه‌های موفق جهان برای بررسی فرضیات خود استفاده کرده است.

پترسن و همکاران[۸] مشارکت تأمین‌کنندگان را در تمامی مراحل توسعه‌ی محصول

جدید در نظر گرفته‌اند. با توجه به شدت مشارکت تأمین‌کنندگان و محل مشارکت آنها، تأثیر مشارکت را در بهره‌وری تیم پروژه ارزیابی و سپس تأثیر آن را بر کارایی طراحی و نتایج مالی شرکت بررسی کرده‌اند. تأثیر این موارد به صورت فرضیه عنوان شده‌اند و سپس با توجه به پرسش‌نامه‌یی که توسط افراد خبره این صنعت پاسخ داده شده‌اند، فرضیه‌ها با روش‌های آماری رد و یا قبول می‌شوند.

چانگ لنگ‌تان و مایکل تریسی[۹] در نوشتاری محیط همکارانه توسعه‌ی محصول جدید را بررسی کرده‌اند. در این مطالعه فقط مشارکت در مرحله‌ی طراحی مد نظر قرار گرفته است. همچنین ضمن بیان مشارکت مشتریان در فرایند توسعه‌ی محصول جدید، شدت مشارکت در سه سطح مشارکت کارخانه، مشارکت تأمین‌کننده و مشارکت مشتریان به عنوان ابعاد یک‌پارچگی توسعه‌ی محصول جدید لحاظ شده است. تأثیر این ابعاد بر رضایت مشتری بررسی شده است. برای ارزیابی نیز استفاده از پرسش‌نامه و پر شدن آن توسط خبرگان و سپس نرم‌افزار آماری برای بررسی تأثیرگذاری، مد نظر بوده است. در جدول ۱ مرور ادبیات این حوزه آورده شده است.

در قسمت پیکربندی زنجیره‌ی تأمین در فرایند توسعه‌ی محصول جدید با مدل‌های ریاضی برای انتخاب تأمین‌کنندگان و دیگر تصمیمات زنجیره‌ی تأمین مواجه هستیم.

گریوز و ویلمز[۱۷] مدل کمی پیکربندی زنجیره‌ی تأمین برای محصول جدید ارائه داده‌اند. این مدل تنها دوره‌ی تولید محصول را در نظر می‌گیرد و زمان طراحی را لحاظ نمی‌کند. مسئله‌ی مدل، انتخاب تأمین‌کنندگان و نوع حمل‌ونقل است و سعی درکمینه‌سازی هزینه‌ها دارد. در هر مورد گزینه‌های مختلفی می‌توان انتخاب کرد که از لحاظ هزینه و زمان تدارک متفاوت‌اند. در این مطالعه عدم قطعیت برای تقاضا در نظرگرفته شده است. همچنین مفهوم زمان خدمت تضمینی برای توسعه‌ی محصول جدید اولین بار در این مطالعه آورده شده است.

امینی و لی[۱۸] در مدل خود با عنوان هیبرید، برنامه تولید و فروش و همچنین پیکربندی زنجیره‌ی تأمین را به صورت هم‌زمان تعیین می‌کنند. تقاضا به صورت غیر قطعی با روش باس اصلاح شده[5] مدل شده است. میانگین تقاضای هر عضو زنجیره بر تقاضای نهایی و نیز انحراف معیار تقاضا بر سطح موجودی اطمینان تأثیر می‌گذارد. مفروضات دیگر مدل شامل دوره‌ی عمر کوتاه محصول و زمان بسیار طولانی برای افزایش ظرفیت است. مفهوم زمان خدمت تضمینی در این نوشتار نیز وجود دارد.

نپال و همکاران[۱۹] مسئله‌ی پیکربندی زنجیره‌ی تأمین محصول جدید را در حالی بررسی کرده‌اند که در هر سطح زنجیره چندین گزینه برای انتخاب وجود دارد که از نظر هزینه، زمان تدارک و دیگر معیارها متفاوت‌اند. مدل این نوشتار یک مدل چندهدفه است که علاوه بر در نظرگرفتن هزینه‌های مختلف، معیارهای دیگری نیز مانند هم‌سویی با کسب‌وکار را در نظر گرفته است. در این نوشتار نیز عدم قطعیت تقاضا لحاظ شده است و از زمان خدمت تضمینی نیز استفاده شده است. این نوشتار برای حل مسئله از الگوریتم فرا‌ابتکاری ژنتیک استفاده می‌کند.

لی و امینی[۲۰] در این مطالعه، مدل قبلی را در حالت چند تأمینه در نظرگرفته‌اند. مفهوم چندتأمینی باعث ایجاد روابط متفاوتی در محاسبه‌ی قیمت نهایی محصول و زمان خدمت تضمینی شده است. گائور و همکاران[۲۱] پیکربندی زنجیره‌ی تأمین محصول جدید و بازیافتی را به صورت حلقه بسته مدل کرده‌اند. در این مطالعه نیز از مدل باس اصلاح شده برای تعیین تقاضای هر دو محصول استفاده می‌شود. همچنین مفهوم زمان خدمت تضمینی برای به دست آوردن موجودی اطمینان استفاده شده است. امینی و لی[۲۲] در نوشتاری دیگر مسئله پیکربندی زنجیره‌ی تأمین محصول جدید را در بازار دوگانه بررسی کرده‌اند که همین موضوع نشانگر نوآوری اصلی این مطالعه نسبت به مطالعات پیشین است.

جهانی و همکاران[۲۳] در این نوشتار تأثیر معرفی محصول جدید به بازار را بر پیکربندی زنجیره‌ی تأمین بررسی کرده‌اند. مدل ریاضی احتمالی غیر خطی استفاده شده در این نوشتار عدم قطعیت قیمت و تقاضا را در نظرگرفته و سعی در بهینه‌سازی پیکربندی (دوباره پیکربندی) زنجیره دارد. مدل هزینه‌ی کمبود، فروش خالص، اسقاط، موجودی، تسهیلات، تولید و حمل ونقل را محاسبه می‌کند که نقطه‌ی تمایز آن هزینه‌ی اسقاط و همچنین عدم قطعیت هزینه‌هاست. نگهبان و دهقانی[۲۴] در نوشتار خود علاوه بر پیکربندی زنجیره‌ی تأمین محصول جدید که شامل انتخاب تأمین‌کنندگان، موجودی در جریان و موجودی اطمینان است، به راهکارهای تولید و فروش محصول جدید نیز پرداخته‌اند. تقاضای غیرقطعی با فرمول اصلاح شده باس و مفهوم زمان خدمت تضمینی از دیگر ویژگی‌های این مطالعه است.

در زمینه‌ی راهکار جایگزینی محصول، بیلینگتون و همکاران[۳] در نوشتاری دو راهکار جایگزینی تک‌محصولی و دومحصولی را با در نظرگرفتن هزینه و ریسک مقایسه کرده‌اند و راهکارهای مدیریتی ارائه داده‌اند.

جعفریان و بشیری[۱] در مطالعه‌ی خود پیکربندی زنجیره‌ی تأمین محصول جدید را به صورت پویا انجام داده‌اند. این مدل پیکربندی و زمان‌بندی بهینه انتشار محصول جدید را به صورت هم‌زمان انجام می‌دهد. همچنین در این مطالعه برای اولین بار از راهکار جایگزینی تک‌محصولی در مدل ریاضی استفاده شده است.

علیزاده و همکاران[۲۵] اهمیت زمان معرفی محصول جدید و خروج محصول قدیمی را مطرح کرده‌اند. آنها با ارائه‌ی مدلی چندمحصولی، چند سطحی و چنددوره‌یی و با در نظرگرفتن تأثیرات تولید و توسعه‌ی محصول جدید پیکربندی زنجیره‌ی تأمین را انجام داده‌اند. راهکار جایگزینی تک‌محصولی در این مطالعه نیز دیده می‌شود.

همچنین علیزاده و همکاران[۲۶] در مطالعه‌یی دیگر به پیکربندی زنجیره‌ی تأمین برای محصول جدید با استفاده از مدل چندهدفه‌ی فازی ـ احتمالی پرداخته‌اند. تقاضای محصولات و ظرفیت تأمین‌کنندگان در این مطالعه به صورت غیر قطعی در نظرگرفته شده است.

رستمی و همکاران[۲۷] یک مدل ریاضی چند هدفه برای مدیریت زنجیره‌ی تأمین و توسعه‌ی محصول جدید ارائه داده‌اند. آنها از یک الگوریتم هیبرید توسعه یافته برای دریافت نتایج استفاده کرده‌اند.

رضایی و همکاران[۲۸] در یک مطالعه‌ی مشابه ایده‌ی استفاده از مدیریت ارتباط با مشتریان در پیکربندی زنجیره‌ی تأمین را برای توسعه‌ی محصول جدید، مطرح کرده‌اند.

در ادامه در جدول ۲ نتایج مرور ادبیات این قسمت به صورت خلاصه آورده شده است.

مطالعه‌ی پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که به پیکربندی زنجیره‌ی تأمین با در نظرگرفتن راهکار جایگزینی محصول کم‌تر پرداخته شده است. از طرفی نوع دومحصولی راهکار جایگزینی محصول در هیچ مطالعه‌یی پیش از این مدل نشده است. بنابراین در این پژوهش به مسئله‌ی پیکربندی مجدد زنجیره‌ی تأمین به هنگام توسعه‌ی محصول جدید با در نظرگرفتن راهکار جایگزینی دومحصولی پرداخته شده است. پارامتر جایگزینی محصول برای اولین بار در این مطالعه ارائه شده است.

## ۳. مدل ریاضی

در این قسمت پس از بیان مسئله و معرفی اندیس‌ها، پارامترها و متغیرها، مدل ریاضی از نوع مختلط عدد صحیح ارائه می‌شود. این مدل برای پیکربندی یک

جدول ۱. مرور ادبیات مشارکت تأمین‌کنندگان در فرایند توسعه‌ی محصول جدید.

| نام | مشارکت در کل مراحل | الگوبرداری | مشارکت مشتریان | چارچوب تصمیم گیری | شاخص های موفقیت توسعه محصول | شاخص های ارزیابی تامین کننده | پرسش نامه | مطالعه موردی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| هندفیلد و همکاران [۶] | * | * | | * | * | * | | * |
| میکولا و لارسن [۷] | * | * | | | | | | * |
| پترسن و همکاران [۸] | * | | | * | * | | * | |
| چانگ لنگ تان و مایکل تریسی [۹] | | | * | * | * | | * | |
| ون هوک و چیمن [۱۰] | | * | | | | | * | * |
| زکریا و همکاران [۱۱] | * | | * | | * | | * | |
| پارکر [۱۲] | | | | | * | | * | |
| چون لیو [۱۳] | | | * | * | | | | |
| پرو و همکاران [۱۴] | * | * | | | * | | | * |
| لائو [۱۵] | | | * | | * | | * | * |
| فنگ و وانگ [۱۶] | * | | * | | * | | * | |

جدول ۲. مرور ادبیات دسته پیکربندی زنجیره‌ی تأمین محصول جدید.

| نام | مشخصات مدل | | مفروضات | | | | | روش حل | | | مطالعه موردی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | چند هدفه | چند دوره ئی | چند تأمینی | عدم قطعیت | تک محصولی | استراتژی جایگزینی | کمبود مجاز | پیکربندی مجدد | فرا ابتکاری | ابتکاری | دقیق | |
| گریوز و ویلمز [۱۷] | | | | * | | | * | | | | * | * |
| امینی و لی [۱۸] | | * | | * | | | * | | | | * | |
| نپال و همکاران [۱۹] | * | | | * | | | | | * | | | * |
| لی و امینی [۲۰] | | * | * | * | | | * | | | * | * | * |
| گائور و همکاران [۲۱] | | * | | * | | | * | | | | * | * |
| امینی و لی [۲۲] | | * | * | * | | | * | | | | * | * |
| جهانی و همکاران [۲۳] | | * | * | * | | | * | * | | | * | |
| نگهبان و دهقانی [۲۴] | | * | * | * | | | * | * | | | * | |
| جعفریان و بشیری [۱] | | * | * | | * | | | | | | * | |
| علیزاده و همکاران [۲۵] | | * | * | | * | | * | | * | | | |
| علیزاده و همکاران [۲۶] | * | * | * | | | * | * | | * | | | |
| رستمی و همکاران [۲۷] | * | * | * | | | | * | | * | | | |
| رضایی و همکاران [۲۸] | * | * | * | * | * | * | * | | | * | | * |

زنجیره‌ی تأمین ۴ سطحی شامل تأمین‌کننده قطعات، تولیدکننده، توزیع‌کننده و گروه مشتریان توسعه داده می‌شود تا تصمیمات ارتباط بین اجزای زنجیره، میزان تولید، نوع ارسال محصولات و طراحی محصول جدید را اتخاذ کند. هزینه‌های تولید، ارسال، نگهداری، طراحی محصول، قرارداد، نارضایتی مشتریان و عدم استفاده از منابع نیز در مدل دیده شده‌اند.

به طور کلی در این مدل هدف بیشینه‌سازی سود است به طوری که شرایط و محدودیت‌های زیر برقرار باشد:

- تا حد ممکن تقاضای مشتریان برآورده شود.
- اجزای زنجیره بیش از ظرفیت خود فعالیت نکنند.
- نوع جایگزینی محصول قدیم با جدید دومحصولی باشد.
- سفارشات در صورت ارتباط اجزا ارسال شوند.
- ارتباطات در صورت عقد قرارداد میان اجزا، برقرار شوند.

## مفروضات

- زنجیره‌ی تأمین ۴ سطحی شامل تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و گروه مشتریان است.
- تقاضای مشتریان قطعی است.
- ارتباط میان اجزا منوط بر عقد قرارداد میان آنهاست.
- تفاوت اجزای زنجیره در قیمت و ظرفیت آنهاست.
- راهکار جایگزینی دومحصولی در مدل آورده شده است، یعنی به هنگام جایگزینی محصول قدیمی با جدید، تولید محصول قدیمی به مرورکم می‌شود و تولید محصول جدید نیز به مرور افزایش می‌یابد تا آن که کاملاً جایگزین محصول قدیمی شود.

در دوره‌ی جایگزینی محصول i با محصول بعدی ($TT_i$) شیب تعویض محصولات، با عبارت ضریب جایگزینی محصولات ($\alpha^t_{fi}$) شناخته می‌شود. این دوره از زمان $t^a_{fi}$ تا زمان $t^b_{fi}$ به طول می‌انجامد. با توجه به این دوره، ضریب جایگزینی محصول بافرمول ۱ به دست می‌آید.

$$\alpha^t_{fi} \begin{cases} 1-\alpha^t_{fi-1} & t^b_{fi-1} \le t < t^a_{fi} \\ \frac{t^b_{fi}-t}{TT_{fi}} & t^a_{fi} \le t < t^b_{fi} \\ 0 & t^b_{fi} \le t \end{cases} \quad (1)$$

ضریب جایگزینی محصول در قبل از معرفی محصول برابر صفر است، سپس با شیب یکنواخت $\frac{1}{TT_{fi}}$ افزایش می‌یابد تا به ۱ برسد. تا زمانی که نوبت جایگزینی با محصول بعدی نرسیده، مقدار ۱ برای این محصول باقی می‌ماند و سپس با معرفی محصول بعدی با شیب یکنواخت $\frac{1}{TT_{fi+1}}$ کاهش می‌یابد تا به مقدار صفر برسد و در این مقدار باقی می‌ماند. در ادامه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرها معرفی می‌شوند.

**اندیس‌ها و مجموعه‌ها**

$t \in \{1, ..., Nperiod\}$ دوره‌های زمانی مدل؛

$c \in \{1, ..., C\}$ تأمین‌کنندگان قطعات محصول؛

$f \in \{1, ..., F\}$ تولیدکنندگان محصولات؛

$d \in \{1, ..., D_i\}$ توزیع‌کنندگان؛

$g \in \{1, ..., G\}$ گروه مشتریان؛

$i \in \{1, ..., IP\}$ محصولات اصلی؛

$j \in \{1, ..., J\}$ قطعات تشکیل‌دهنده‌ی محصول.

**پارامترها**

$\alpha^t_{fi}$ ضریب جایگزینی محصول در راهکار دو محصولی برای محصول i در دوره‌ی t در کارخانه‌ی f؛

$t^a_{fi}$ زمان شروع جایگزینی محصول i با محصول جدید در کارخانه‌ی f؛

$t^b_{fi}$ زمان پایان جایگزینی محصول i با محصول جدید در کارخانه‌ی f؛

$TT_i$ طول مدت زمان جایگزینی محصول i با محصول بعدی (دوره‌ی جایگزینی) در کارخانه‌ی f؛

$D^t_{fi}$ تقاضای گروه مشتریان g برای محصول i در دوره‌ی t؛

$P_{cj}$ قیمت هر واحد قطعه j در تأمین‌کننده‌ی c؛

$P_{fi}$ قیمت هر واحد محصول i در تولیدکننده‌ی f؛

$P_{di}$ قیمت هر واحد محصول i در تولیدکننده‌ی d؛

$B_{ij}$ تعداد قطعه‌ی j در محصول نوع i؛

$Cap_d$ ظرفیت توزیع‌کننده‌ی d؛

$Cap_{cj}$ ظرفیت تأمین‌کننده‌ی قطعات c برای قطعه‌ی j؛

$Cap_{fi}$ ظرفیت تولیدکننده‌ی f از محصول i؛

$Cp_{fi}$ هزینه‌ی تولید محصول i در تولیدکننده‌ی f؛

$FCP_{fi}$ هزینه‌ی تولید ثابت تولید محصول i در تولیدکننده‌ی f؛

$CI_{fj}$ هزینه‌ی هر واحد نگهداری موجودی قطعه j در تولیدکننده‌ی f؛

$CI_{fi}$ هزینه‌ی هر واحد نگهداری موجودی محصول i در تولیدکننده‌ی f؛

$CI_{di}$ هزینه‌ی هر واحد نگهداری موجودی محصول i در توزیع‌کننده‌ی d؛

$CA_{cf}$ هزینه‌ی توافق برای قرار داد میان تأمین‌کننده‌ی قطعات c و تولیدکننده‌ی f؛

$CA_{fd}$ هزینه‌ی توافق برای قرار داد میان تولیدکننده‌ی f و توزیع‌کننده‌ی d؛

$CA_{dg}$ هزینه‌ی توافق برای قرار داد میان توزیع‌کننده‌ی d و گروه مشتریان g؛

$II_{cj}$ موجودی اولیه قطعه‌ی j در تأمین‌کننده‌ی قطعات c؛

$II_{fj}$ موجودی اولیه قطعه‌ی j در تولیدکننده‌ی f؛

$II_{fi}$ موجودی اولیه محصول i در تولیدکننده‌ی f؛

$II_{di}$ موجودی اولیه محصول i در توزیع‌کننده‌ی d؛

$TC_{cf}$ هزینه‌ی حمل‌ونقل میان تأمین‌کننده قطعات c و تولیدکننده‌ی f؛

$TC_{fd}$ هزینه‌ی حمل‌ونقل میان تولیدکننده‌ی f و توزیع‌کننده‌ی d؛

$TC_{dg}$ هزینه‌ی حمل‌ونقل میان توزیع‌کننده‌ی d و گروه مشتریان g؛

$CDNP_{fi}$ هزینه‌ی طراحی محصول i برای تولیدکننده‌ی f؛

$CUS_f$ هزینه‌ی منابع استفاده نشده تولیدکننده f؛

$CDC$ هزینه‌ی نارضایتی مشتری؛

Nperiod تعداد کل دوره‌های برنامه‌ریزی؛

M عددی بزرگ.

**متغیرهای تصمیم**

$I^t_{cj}$ مقدار موجودی قطعه‌ی j در تأمین‌کننده‌ی قطعات c در پایان دوره‌ی t

$I^t_{fj}$ مقدار موجودی قطعه‌ی j در تولیدکننده‌ی f در پایان دوره‌ی t؛

$I^t_{fi}$ مقدار موجودی محصول i در تولیدکننده‌ی f در پایان دوره‌ی t؛

$I^t_{di}$ مقدار موجودی محصول i در تولیدکننده‌ی d در پایان دوره‌ی t؛

$S^t_{cfj}$ میزان جریان از قطعه j میان تأمین‌کننده‌ی قطعات c و تولیدکننده‌ی f در پایان دوره‌ی t؛

$S^t_{fdi}$ میزان جریان از محصول i میان تولیدکننده‌ی f و توزیع‌کننده‌ی d در پایان‌دوره‌ی t؛

$S^t_{dgi}$ میزان جریان از محصول i میان توزیع‌کننده‌ی d و گروه مشتریان g در پایان دوره‌ی t؛

$Q^t_{cj}$ میزان تولید از قطعه‌ی j در تأمین‌کننده‌ی قطعات c در پایان دوره‌ی t؛

$Q^t_{fi}$ میزان تولید از محصول i در تولیدکننده‌ی f در پایان دوره‌ی t.

**متغیرهای دودویی**

$Y^t_{cf}$ متغیر دودویی که مقدار ۱ آن، نشان‌دهنده‌ی اتصال میان تأمین‌کننده قطعات c و تولیدکننده‌ی f در هر دوره است.

$Y^t_{fd}$ متغیر دودویی که مقدار ۱ آن، نشان‌دهنده‌ی اتصال میان تولیدکننده‌ی f و توزیع‌کننده‌ی d در هر دوره است؛

$Y^t_{dg}$ متغیر دودویی که مقدار ۱ آن، نشان‌دهنده‌ی اتصال میان توزیع‌کننده‌ی d و گروه مشتریان g در هر دوره است؛

$YY^t_{cf}$ متغیر دودویی که مقدار ۱ آن، نشان‌دهنده‌ی بسته شدن قرار داد میان تأمین‌کننده‌ی قطعات c و تولیدکننده‌ی f در دوره‌ی t (به دلیل پیکربندی مجدد) است؛

$YY^t_{fd}$ متغیر دودویی که مقدار ۱ آن، نشان‌دهنده‌ی بسته شدن قرار داد میان تولیدکننده‌ی f و توزیع‌کننده‌ی g در دوره‌ی t (به دلیل پیکربندی مجدد) است؛

$YY^t_{dg}$ متغیر دودویی که مقدار ۱ آن، نشان‌دهنده‌ی بسته شدن قرار داد میان توزیع‌کننده‌ی g و گروه مشتریان g در دوره‌ی t (به دلیل پیکربندی مجدد) است؛

$XX^t_{fi}$ متغیر دودویی که مقدار ۱ آن، نشان‌دهنده‌ی تصمیم تولیدکننده‌ی f برای طراحی محصول جدید i در دوره‌ی t است.

در مدل ریاضی ارائه شده، رابطه‌ی ۲ نشان‌دهنده‌ی تابع هدف است که به صورت بیشینه‌سازی سود تولیدکننده و توزیع‌کننده منهای هزینه‌های نارضایتی مشتریان، بیکاری منابع و طراحی محصول جدید است. سود تولیدکننده برابر است با درآمد فروش حاصل از محصولات به توزیع‌کننده، منهای هزینه‌های خرید قطعات از

تأمین‌کنندگان، هزینه‌ی تولید متغیر و ثابت، هزینه‌ی قرارداد با تأمین‌کنندگان، هزینه‌ی نگهداری موجودی برای قطعات و محصولات نهایی و هزینه‌ی حمل و نقل میان تأمین‌کنندگان و تولیدکننده است که در رابطه‌ی ۳ آمده است. رابطه‌ی ۴ نیز سود توزیع‌کننده را نشان می‌دهد که درآمد فروش محصولات به مشتریان منهای هزینه‌ی خرید آنها از تولیدکنندگان، هزینه‌ی نگهداری موجودی محصول نهایی، هزینه‌ی عقد قرارداد با کارخانه و گروه مشتریان و هزینه‌ی حمل‌ونقل میان کارخانه و توزیع‌کننده تا گروه مشتریان است. رابطه‌ی ۵ هزینه‌ی نارضایتی مشتریان را با کسر حجم محصول ارسالی از توزیع‌کنندگان به مشتریان منهای تقاضای آنها (تقاضای پاسخ داده نشده) ضرب در هزینه‌ی نارضایتی به ازای هر واحد، نشان می‌دهد. رابطه‌ی ۶ هزینه‌ی بیکاری منابع است که با ضرب اختلاف ظرفیت اسمی منهای بیشینه‌ی ظرفیت در نظر گرفته شده برای آن دوره در هزینه‌ی واحد بیکاری محاسبه می‌شود. رابطه‌ی ۷ نیز هزینه‌ی طراحی محصول جدید را با ضرب متغیر صفر و ۱ نشان‌دهنده‌ی طراحی محصول جدید در کارخانه، در هزینه‌ی طراحی هر واحد محصول، بیان می‌کند.

$$Maximize\, Z = Gain(f) + Gain(d) - Cus.Dis - Csource - PDIC \quad (۲)$$

$$Gain(f) = \sum_f \sum_d \sum_i \sum_t P_{fi} S^t_{fdi} - \sum_c \sum_f \sum_j \sum_t P_{cj} S^t_{cfj} - \sum_f \sum_i \sum_t (CP_{fi} Q^t_{fi} + FCP_{fi} XX^t_{fi}) - \sum_c \sum_f \sum_t CA_{cf} YY^t_{cf} - \sum_f \sum_j \sum_t CI_{fj} I^t_{fj} - \sum_f \sum_i \sum_t CI_{fi} I^t_{fi} - \sum_c \sum_f \sum_t TC_{cf} Y^t_{cf} \quad (۳)$$

$$Gain(d) = \sum_d \sum_g \sum_i \sum_t P_{di} S^t_{dgi} - \sum_f \sum_d \sum_i \sum_t P_{fi} S^t_{fdi} - \sum_d \sum_i \sum_t CI_{di} I^t_{di} - \sum_f \sum_d \sum_t CA_{fd} YY^t_{fd} - \sum_d \sum_g \sum_t CA_{dg} YY^t_{dg} - \sum_f \sum_d \sum_t TC_{fd} Y^t_{fd} - \sum_d \sum_g \sum_t TC_{dg} Y^t_{dg} \quad (۴)$$

$$Cus.Dis = \sum_t \sum_g \sum_i CDC.(D^t_{gi} - \sum_d S^t_{dgi}) \quad (۵)$$

$$Csource = \sum_f \sum_t CUS_f.(۱ - \sum_i \alpha^t_{fi}) \quad (۶)$$

$$PDIC = \sum_t \sum_f \sum_i CDNP_{fi}.XX^t_{fi}$$

$$S.t.: \quad (۷)$$

$$I^t_{cj} = I^{t-۱}_{cj} + Q^t_{cj} - \sum_f S^t_{cfj} \qquad \forall c, j, t \quad (۸)$$

$$I^t_{fj} = I^{t-۱}_{fj} + \sum_c S^t_{cfj} - \sum_i B_{ij} Q^t_{fi} \qquad \forall f, i, t \quad (۹)$$

$$I^t_{fi} = I^{t-۱}_{fi} + Q^t_{fi} - \sum_d S^t_{dgi} \qquad \forall f, i, t \quad (۱۰)$$

$$I^t_{di} = I^{t-۱}_{di} + \sum_f S^t_{fdi} - \sum_g S^t_{dgi} \qquad \forall d, i, t \quad (۱۱)$$

$$I^t_{cj,fj,fi,di} = II^t_{cj,fj,fi,di} \quad t = ۰ \quad \forall c, i, \forall f, i, \forall f, i, \forall d, i. \quad (۱۲)$$

$$\sum_d S^t_{dgi} \le D^t_{gi} \qquad \forall g, i, t \quad (۱۳)$$

$$Q^t_{cj} \le Cap_{cj} \qquad \forall c, j, t \quad (۱۴)$$

$$Q^t_{fi} \le \alpha^t_{fi} Cap_{fi} \qquad \forall f, i, t \quad (۱۵)$$

$$\sum_f \sum_i S^t_{fdi} \gamma_i \le Cap_d \qquad \forall d, t \quad (۱۶)$$

$$\sum_j S^t_{cfj} \le M \cdot Y^t_{cf} \qquad \forall f, d, t \quad (۱۷)$$

$$\sum_i S^t_{fdi} \le M \cdot Y^t_{fd} \qquad \forall f, d, t \quad (۱۸)$$

$$\sum_i S^t_{dgi} \le M \cdot Y^t_{dg} \qquad \forall d, g, t. \quad (۱۹)$$

$$\sum_{t*} XX^{t*}_{fi} \ge \alpha^t_{fi} \quad t* \le t \quad \forall f, i, t \quad (۲۰)$$

$$\sum_{t*} YY^{t*}_{cf} \ge Y^t_{fc} \quad t* \le t \quad \forall c, f \quad (۲۱)$$

$$\sum_{t*} YY^{t*}_{fd} \ge Y^t_{fd} \quad t* \le t \quad \forall f, d \quad (۲۲)$$

$$\sum_{t*} YY^{t*}_{dg} \ge Y^t_{dg} \quad t* \le t \quad \forall d, g \quad (۲۳)$$

$$I, S, Q \ge ۰ \; and \; \text{int}\, eger\,, XX, XY, YY \in \{۰, ۱\}. \quad (۲۴)$$

روابط ۸ تا ۱۲ مربوط به برقراری روابط جریان و موجودی با متغیرهای موجودی، تولید و میزان ارسال هستند. در رابطه‌ی ۸ میزان موجودی قطعات برای تأمین‌کننده در این دوره برابر با موجودی دوره‌ی قبل به علاوه میزان تولید در این دوره منهای میزان قطعه ارسالی به تولیدکنندگان است. رابطه‌ی ۹ به همان صورت موجودی قطعات را در تولیدکنندگان و رابطه‌ی ۱۰ موجودی محصولات نهایی را در تولیدکنندگان در هر دوره مشخص می‌کنند. محدودیت ۱۱ موجودی توزیع‌کنندگان را در هر دوره با توجه به موجودی دوره‌ی قبل به علاوه محصولات ورودی و منهای محصولات خروجی محاسبه می‌کند. محدودیت ۱۲ نیز موجودی دوره‌ی ۰ تمام اجزای زنجیره را برابر موجودی اولیه قرار می‌دهد. رابطه‌ی ۱۳ محدودیت ارضای تقاضا است که تضمین می‌کند ارسال به مشتری حداکثر برابر تقاضا باشد. محدودیت ۱۴ تضمین می‌کند تولید تأمین‌کننده از ظرفیت آن تجاوز نکند. رابطه‌ی ۱۵ مربوط به راهکار جایگزینی دومحصولی است، به این صورت که ظرفیت محصول قدیم را به مرور محدود کرده و ظرفیت تولید محصول جدید را هم‌زمان آزاد می‌کند. رابطه‌ی ۱۶ نیز تجاوز از ظرفیت توزیع‌کننده را منع می‌کند.

محدودیت‌های ۱۷ تا ۱۹ تضمین می‌کنند تا ارسال میان اجزای زنجیره در صورتی انجام شود که قبل از آن ارتباط برقرار شده باشد، متغیرهای دودویی $Y$ با گرفتن مقدار ۱ ارتباط را برقرار می‌کند. محدودیت ۲۰ نیز باعث می‌شود که طراحی محصول جدید قبل از رسیدن به دوره‌ی جایگزینی انجام شود. روابط ۲۱ تا ۲۳ نیز منجر به برقراری ارتباط میان اجزا در صورت عقد قرارداد می‌شود. محدودیت ۲۴ نیز شرایط و نوع متغیرها را مشخص می‌کند.

## ۴. مطالعه‌ی موردی

در این قسمت مدل ریاضی پیشنهادی با استفاده از داده‌های برگرفته از شرکتی که در صنعت هدفون فعالیت می‌کند، بررسی شده است. به دلیل محیط رقابتی این صنعت و با توجه به درخواست شرکت، از ذکر نام شرکت و همچنین نام محصولات خودداری شده است و همچنین داده‌ها همگی در یک مقیاس مشخص ضرب شده‌اند.

در این مطالعه‌ی موردی دو محصول هدفون سیم‌دار به عنوان محصول قدیمی و هدفون بی‌سیم به عنوان محصول جدید بررسی شده است. مدل طی ۷ دوره حل شده است که دوره‌ی جایگزینی دو محصول ۴ دوره است. تعداد ۲ تأمین‌کننده برای قطعات تشکیل‌دهنده محصولات، ۲ تولیدکننده که هر دو متعلق به شرکت

جدول ۳. مشخصات زنجیره‌ی تأمین مطالعه‌ی موردی.

| عنوان | مقدار |
|---|---|
| تعداد دوره | ۷ |
| تأمین‌کنندگان قطعات | ۲ |
| تولیدکنندگان | ۲ |
| توزیع‌کنندگان | ۳ |
| گروه مشتریان | ۵ |
| محصولات | ۲ |
| دوره‌ی جایگزینی | ۴ دوره |

جدول ۴. مقادیر تابع هدف در راهکار جایگزینی دومحصولی.

| عنوان | مقدار |
|---|---|
| مقدار کل تابع هدف | ۴۱۳۷۳۴۵ |
| سود تولیدکنندگان | ۲۹۱۷۶۸۰ |
| سود توزیع‌کنندگان | ۱۳۱۱۴۱۵ |
| نارضایتی مشتری | ۴۵۷۵۰ |
| بیکاری منابع | ۰ |
| هزینه‌ی طراحی محصولات | ۴۶۰۰۰ |

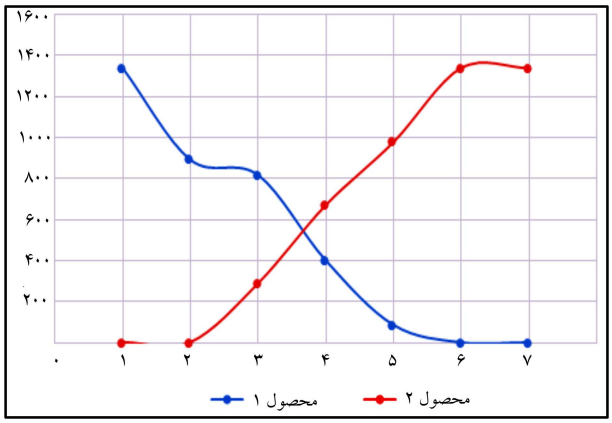
جدول ۵. میزان تولیدات هر کارخانه.

| دوره | محصول ۱ | | محصول ۲ | |
|---|---|---|---|---|
| | کارخانه ۱ | کارخانه ۲ | کارخانه ۱ | کارخانه ۲ |
| ۱ | ۶۵۰ | ۶۹۰ | ۰ | ۰ |
| ۲ | ۶۴۲ | ۲۵۰ | ۰ | ۰ |
| ۳ | ۴۸۷ | ۳۳۰ | ۱۶۳ | ۱۲۵ |
| ۴ | ۱۵۵ | ۲۴۵ | ۳۲۵ | ۳۴۵ |
| ۵ | ۶۰ | ۲۵ | ۴۸۸ | ۴۹۰ |
| ۶ | ۰ | ۰ | ۶۵۰ | ۶۹۰ |
| ۷ | ۰ | ۰ | ۶۵۰ | ۶۹۰ |

اصلی هستند، ۳ توزیع‌کننده در نقاط مختلف کشور که آنها نیز متعلق به شرکت اصلی هستند و همچنین ۵ گروه مشتریان از ویژگی‌های این مدل است (جدول ۳). پیش‌بینی شرکت از تقاضای مشتریان نیز در مدل لحاظ شده است که برای محصول قدیمی به مرور کم می‌شود و برای محصول جدید به مرور افزایش پیدا می‌کند.

برای حل مسئله از نرم‌افزار بهینه‌سازی گمز (GAMS ۲۴.۱.۲) و سالور CPLEX در رایانه‌ی شخصی با ۶ گیگابایت رم استفاده شده است. زمان حل ۰/۰۳۱ ثانیه است. در ادامه در جدول ۴ مقدار کل تابع هدف و تک تک اجزای آن به ازای استفاده از راهکار جایگزینی دومحصولی، نمایش داده شده است.

مقادیر سود تولیدکنندگان و سود توزیع‌کنندگان با علامت مثبت در تابع هدف و مقادیر هزینه‌ی نارضایتی مشتری، بیکاری منابع و طراحی محصولات با علامت منفی مطرح می‌شوند. هزینه‌ی بیکاری منابع به دلیل استفاده از راهکار جایگزینی دومحصولی و کاهش پیوسته تولید همواره صفر است. در جدول ۵ میزان تولید هر کارخانه برای هر محصول در هر دوره‌ی زمانی مشخص شده است.




شکل ۲. میزان تولید محصولات در راهکار جایگزینی دومحصولی.

جدول ۶. مقدار متغیر دودویی طراحی محصول.

| متغیر دودویی | | دوره | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ |
| $XX_{fi}^{t}$ | $XX_{۱۱}^{t}$ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| | $XX_{۱۲}^{t}$ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| | $XX_{۲۱}^{t}$ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| | $XX_{۲۲}^{t}$ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |

تولید در دوره‌های ابتدایی و انتهایی در بیشترین ظرفیت کارخانه انجام می‌شود. همچنین تولیدات برای محصول قدیمی پس از دوره‌ی دوم محدود شده و برای محصول جدید به مرور افزایش پیدا می‌کند (شکل ۲).

همچنین در ادامه در جدول ۶ مقدار متغیر تصمیم دودویی طراحی محصول آمده است.

طراحی محصول در هر دو کارخانه در دوره‌های ابتدایی انجام می‌شود. دلیل این موضوع وجود تقاضا برای هر دو محصول از همان دوره‌های اولیه و همچنین ثابت بودن قیمت عقد قرارداد و ارتباطات در طول زمان است.

## ۵. تحلیل حساسیت

به منظور بررسی کارایی مدل پیشنهادی در این قسمت تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای قیمت فروش محصولات به مشتریان و هزینه‌ی تولید محصولات در کارخانه انجام شده است. تغییرات بر روی تمام اندیس‌های این پارامترها به صورت یکسان اعمال شده است. اثر تغییرات این پارامترها بر روی مقدار اصلی تابع هدف در جدول ۷ و جدول ۸ آمده است.

تغییرات قیمت فروش محصولات به مشتریان با ضریب مثبت در تابع هدف کاملاً هم‌جهت با مقدار تابع هدف است. همچنین ضریب هزینه‌ی متغیر تولید کارخانه در تابع هدف با علامت منفی آمده است و درنتیجه تغییرات آن رابطه‌ی معکوس با تغییرات تابع هدف دارد. با بررسی این دو پارامتر مشخص است که تغییرات قیمت فروش بر تابع نهایی تأثیر بسیار بیشتر از قیمت تولید در کارخانه است. البته لازم به ذکر است که در این تحلیل حساسیت تأثیر افزایش قیمت فروش بر مقدار تقاضا لحاظ نشده است.

جدول ۷. تحلیل حساسیت قیمت فروش به مشتریان.

| تغییرات پارامتر قیمت فروش | مقدار تابع هدف | تغییر درصدی تابع هدف |
|---|---|---|
| -٪۵۰ | ۹۵۴۲۵ | -٪۹۸ |
| -٪۲۰ | ۲۳۷۳۶۶۷ | -٪۵۳ |
| -٪۱۰ | ۳۰۷۵۴۰۸ | -٪۲۶ |
| -٪۵ | ۳۶۲۹۳۳۳ | -٪۱۲ |
| مقادیر اصلی | ۴۱۳۷۳۴۵ | ۰ |
| +٪۵ | ۴۲۲۵۱۰۳ | +٪۲ |
| +٪۱۰ | ۴۸۰۹۱۰۹ | +٪۱۶ |
| +٪۲۰ | ۵۸۰۵۵۵۷ | +٪۴۰ |
| +٪۵۰ | ۸۲۵۸۹۳۳ | +٪۱۰۰ |

جدول ۸. تحلیل حساسیت هزینه‌ی تولید در کارخانه.

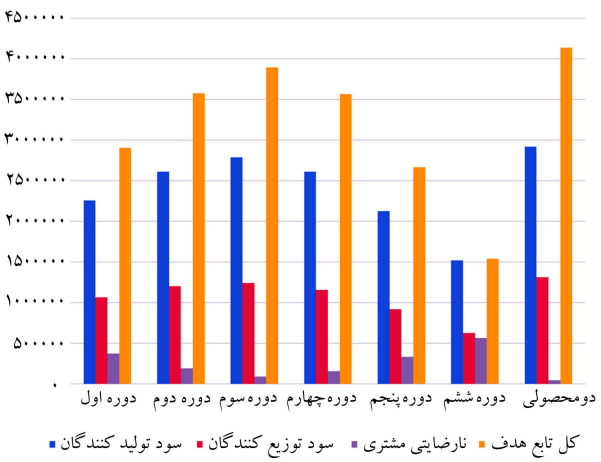
| تغییرات پارامتر هزینه‌ی تولید | مقدار تابع هدف | تغییر درصدی تابع هدف |
|---|---|---|
| -٪۵۰ | ۴۳۸۴۲۳۱ | +٪۶ |
| -٪۲۰ | ۴۲۴۱۹۲۰ | +٪۳ |
| -٪۱۰ | ۴۱۸۹۶۳۲ | +٪۱ |
| -٪۵ | ۴۱۶۳۴۸۹ | +٪۱ |
| مقادیر اصلی | ۴۱۳۷۳۴۵ | ۰ |
| +٪۵ | ۴۱۱۱۲۰۱ | -٪۱ |
| +٪۱۰ | ۴۰۸۵۰۵۷ | -٪۱ |
| +٪۲۰ | ۴۰۳۲۷۷۰ | -٪۳ |
| +٪۵۰ | ۳۸۷۵۹۰۷ | -٪۶ |

جدول ۹. مقایسه‌ی مدل پیشنهادی با راهکار جایگزینی تک‌محصولی.

| سیاست | سود تولیدکنندگان | سود توزیع‌کنندگان | نارضایتی مشتری | کل تابع هدف |
|---|---|---|---|---|
| دوره‌ی اول | ۲۲۵۸۴۹۷ | ۱۰۶۵۲۴۸ | ۳۷۱۲۵۰ | ۲۹۰۶۴۹۵ |
| دوره‌ی دوم | ۲۶۰۹۸۸۳ | ۱۲۰۱۶۱۰ | ۱۹۰۵۰۰ | ۳۵۷۴۹۹۳ |
| دوره‌ی سوم | ۲۷۸۹۴۵۲ | ۱۲۴۲۶۷۰ | ۸۹۲۵۰ | ۳۸۹۶۸۷۲ |
| دوره‌ی چهارم | ۲۶۱۲۶۲۷ | ۱۱۵۶۱۵۹ | ۱۵۵۲۵۰ | ۳۵۶۷۵۳۶ |
| دوره‌ی پنجم | ۲۱۲۵۴۷۸ | ۹۲۰۷۵۰ | ۳۳۴۵۰۰ | ۲۶۶۵۷۲۸ |
| دوره‌ی ششم | ۱۵۲۱۵۶۴ | ۶۲۷۶۷۴ | ۵۶۲۵۰۰ | ۱۵۴۰۷۳۸ |
| دومحصولی | ۲۹۱۷۶۸۰ | ۱۳۱۱۴۱۵ | ۴۵۷۵۰ | ۴۱۳۷۳۴۵ |

## ۶. مقایسه‌ی مدل پیشنهادی با راهکار جایگزینی تک‌محصولی

در این قسمت بعضی مقادیر اجزای تابع هدف با توجه به سیاست‌های مختلف راهکار تک‌محصولی نمایش داده می‌شوند (جدول ۹). این سیاست‌ها شامل ۶ دوره‌ی جایگزینی مختلف هستند. به عبارتی در هر سیاست، جایگزینی دو محصول در یک دوره‌ی به خصوص اتفاق می‌افتد (سیاست اول = جایگزینی پس از دوره‌ی اول).




شکل ۳. مقایسه‌ی مدل پیشنهادی با راهکار جایگزینی تک‌محصولی.

برای مقایسه‌ی بهتر، این مقادیر در شکل ۳ آورده شده است.

این جدول نشان می‌دهد که در این مطالعه‌ی موردی به ازای تمام حالات، راهکار جایگزینی دومحصولی نتیجه‌یی مطلوب‌تر از راهکار جایگزینی تک‌محصولی ارائه می‌دهد. حالت دومحصولی از نظر سود تولیدکننده و توزیع‌کننده بیشتر از سایر حالات است و از نظر هزینه نارضایتی مشتری از تمام حالات کم‌تر است. در میان راهکارهای تک‌محصولی، جایگزینی در دوره‌ی سوم بهترین نتیجه را به دنبال دارد. مقادیر هزینه‌ی طراحی محصول و بیکاری منابع در تمام این حالات برابر است بنابراین در جدول نیامده است.

## ۷. مثال‌های عددی

در این قسمت ۱۵ مثال مختلف برای مسئله‌ی اصلی طراحی شده است. ابعاد ۵ مثال اول مشابه مطالعه‌ی موردی است اما متغیرهای غیر هزینه‌یی آنها ـ مانند تقاضا، ضریب تشکیل محصول از قطعات، ظرفیت‌ها و ضریب جایگزینی محصول ـ تغییر کرده است. ۵ مثال دوم ابعاد مطالعه‌ی موردی بزرگ‌تر شده و مجدد متغیرهای غیرهزینه‌یی در این ابعاد تغییر کرده است. سپس در ۵ مثال آخر مجدد ابعاد مسئله بزرگ‌تر شده و در هر مثال متغیرهای غیرهزینه‌یی تغییر کرده‌اند. در ادامه در جدول ۱۰ نتایج این مثال‌ها آمده است.

در مثال‌های ۱، ۶ و ۱۱ ابعاد مسئله تغییر کرده است و تابع هدف نیز به تناسب بیشتر شده است. در مثال‌های ۲، ۷ و ۱۲ تعداد قطعه مورد نیاز برای ساخت هر قطعه تغییر کرده است که زمان حل را بیشتر از دو برابر کرده ، اما کل تابع هدف کم‌تر شده‌اند، زیرا قیمت‌ها تغییر نکرده‌اند. در مثال‌های ۳، ۸ و ۱۳ ظرفیت اجزای زنجیره‌ی تأمین به صورت تصادفی تا حدود ۲۰ درصد تغییر کرده‌اند. در مثال‌های ۴، ۹ و ۱۴ موجودی اولیه‌ی محصولات و قطعات به صورت تصادفی تغییر کرده است و در مثال‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ تقاضای محصولات و همچنین دوره‌ی جایگزینی محصولات تغییر کرده است.

## ۸. توصیه‌های مدیریتی

- شرکت مورد مطالعه باید در برآورد قیمت فروش به مشتری دقت بسیاری به خرج دهد زیرا این پارامتر به عنوان مؤثرترین پارامتر، با تغییر ۱۰ و با فرض ثابت بودن

جدول ۱۰. مثال‌های عددی با تغییر ابعاد مسئله.

| مثال | سود تولیدکنندگان | سود توزیع‌کنندگان | نارضایتی مشتری | طراحی | کل تابع هدف |
|---|---|---|---|---|---|
| مثال ۱ | ۲۹۱۷۶۸۰ | ۱۳۱۱۴۱۵ | ۴۵۷۵۰ | ۴۶۰۰۰ | ۴۱۳۷۳۴۵ |
| مثال ۲ | ۶۵۸۴۲۹ | ۳۶۲۳۰۰ | ۷۴۸۵۰۰ | ۴۶۰۰۰ | ۲۲۶۲۲۹ |
| مثال ۳ | ۲۷۹۳۸۹۷ | ۱۲۵۸۷۰۲ | ۱۰۳۰۵۰ | ۴۶۰۰۰ | ۳۹۰۳۵۴۹ |
| مثال ۴ | ۲۸۲۰۲۴۲ | ۱۲۷۳۰۷۸ | ۸۶۲۵۰ | ۴۶۰۰۰ | ۳۹۶۱۰۷۰ |
| مثال ۵ | ۳۱۹۸۵۱۴ | ۱۴۲۲۱۲۰ | ۲۳۷۳۷۵ | ۴۶۰۰۰ | ۴۳۳۷۲۶۰ |
| مثال ۶ | ۸۵۷۱۲۴۸ | ۴۷۱۷۶۴۷ | ۳۴۶۸۷۵۰ | ۷۰۰۰۰ | ۹۷۵۰۱۴۷ |
| مثال ۷ | ۲۶۶۴۶۶۷ | ۴۸۲۴۸۷۷ | ۳۳۹۳۰۰۰ | ۷۰۰۰۰ | ۴۰۲۶۵۴۴ |
| مثال ۸ | ۱۲۵۸۴۶۴۶ | ۷۱۵۴۹۶۵ | ۱۸۱۸۰۰۰ | ۷۰۰۰۰ | ۱۷۸۵۱۶۱۲ |
| مثال ۹ | ۸۵۱۱۹۷۹ | ۴۷۲۸۸۴۲ | ۳۵۴۵۲۵۰ | ۷۰۰۰۰ | ۹۶۲۵۵۷۲ |
| مثال ۱۰ | ۸۴۸۵۵۳۴ | ۴۶۳۲۸۹۵ | ۴۸۱۳۵۰۰ | ۷۰۰۰۰ | ۸۲۳۴۹۲۹ |
| مثال ۱۱ | ۲۰۹۴۷۵۲۲ | ۱۴۱۳۸۱۶۶ | ۵۰۸۱۲۵۰ | ۲۰۸۰۰۰ | ۲۸۹۰۹۹۷۱ |
| مثال ۱۲ | ۱۶۷۷۴۲۷۴ | ۱۴۱۳۵۴۰۱ | ۴۹۹۸۰۰۰ | ۲۰۸۰۰۰ | ۲۵۷۰۳۶۷۶ |
| مثال ۱۳ | ۲۳۸۰۵۵۷۳ | ۱۶۲۶۳۵۷۶ | ۳۹۱۸۷۵۰ | ۲۰۸۰۰۰ | ۳۵۹۴۲۳۹۹ |
| مثال ۱۴ | ۲۰۶۵۰۵۰۳ | ۱۴۱۰۱۰۷۸ | ۵۱۴۹۵۰۰ | ۲۰۸۰۰۰ | ۲۸۸۰۳۷۷۶ |
| مثال ۱۵ | ۲۰۳۹۳۱۵ | ۱۴۳۱۶۴۳۳ | ۷۸۷۲۰۰۰ | ۲۰۸۰۰۰ | ۲۶۶۲۶۷۴۹ |

تقاضا با تغییرات اندک قیمت، می‌تواند به ۱۶ درصد سود بیشتر زنجیره دست یابد.

- با توجه به این‌که طبق راهکار جایگزینی تک‌محصولی دوره‌ی سوم به عنوان حالت بهینه انتشار محصول جدید معرفی شد، بهتر است پارامتر جایگزینی محصول حول دوره‌ی سوم ساخته شود تا نتیجه بهتری داشته باشد.
- در فرایند توسعه‌ی محصول جدید، باید اطلاعات مربوط به محصول به صورت کامل با توجه به محصولات مشابه در بازار و دریافت نظرات مشتریان آینده، استخراج شود و از آن در پیش‌بینی تقاضای محصول جدید استفاده شود. این پیش‌بینی می‌تواند تعیین‌کننده‌ی زمان عرضه‌ی محصول به بازار و راهکار جایگزینی محصول باشد.
- در صورتی که بتوان محصول قدیم را به یک‌باره حذف کرد و محصول جدید را کاملاً جایگزین آن کرد ریسک به کارگرفتن راهکار جایگزینی تک‌محصولی کاهش می‌یابد و گزینه‌ی مناسب‌تری خواهد بود. زیرا هزینه‌ی اجرای این راهکار کم‌تر است. هماهنگی این جایگزینی کار دشواری است. اگر محصول قدیمی قبل از ورود محصول جدید کاملاً از بازار کنار رود، احتمال از دست دادن سهم بازار زیاد می‌شود. اگر موجودی محصول قدیمی هنگام معرفی محصول جدید زیاد باشد، ریسک افزایش هزینه‌های ناشی از انهدام و فروش از دست رفته زیاد می‌شود.
- حال اگر پیش‌بینی تقاضا کاملاً قابل اطمینان نباشد و یا پیش‌بینی سفارش برای محصول قدیم بعد از عرضه‌ی محصول جدید وجود دارد، راهکار جایگزینی دومحصولی توصیه می‌شود. این راهکار ریسک کم‌تر و هزینه‌ی اجرای بیشتری دارد و چون در طول زمان و به صورت پیوسته اجرا می‌شود، قابلیت تغییر پس از شروع اجرا را دارد. این راهکار هماهنگی زیاد اعضای زنجیره‌ی تأمین را برای عرضه‌ی مناسب می‌طلبد.
- استفاده از راهکار جایگزینی دومحصولی در مطالعه‌ی موردی نسبت به بهترین حالت استفاده از راهکار تک‌محصولی، ۶ درصد مطلوب‌تر بوده است.
- به علت بالا بودن هزینه‌های عقد قرارداد برای شرکت مورد مطالعه، بهتر است تأمین‌کنندگانی انتخاب بشوند که از ظرفیت بالاتری برخوردار هستند، این موضوع همچنین زنجیره را در برابر تغییرات ناگهانی تقاضا تا حدی آماده می‌کند.
- برای مقبول بودن محصول جدید در بازار، علاوه بر فشار شرکت با کم کردن تولید محصول قدیمی، باید محرک‌های دیگری مانند قیمت مناسب یا نوآور بودن نیز در نظر گرفت. قیمت پایین‌تر محصول جدید منجر به سود کم‌تر در زمان معرفی می‌شود، اما سبب اطمینان از رسیدن به دوره‌ی بلوغ محصول نیز خواهد شد.
- در تخمین عمر محصول با توجه به میزان نوآور بودن محصول، خطای زیادی وجود دارد. بنابراین بهتر است سازمان‌ها خود را برای چندین سناریوی مختلف از عمر محصول آماده کنند.

## ۹. نتیجه‌گیری

در این پژوهش به مدل‌سازی زنجیره‌ی تأمین برای توسعه‌ی محصولات جدید و پیاده‌سازی آن بر روی یک نمونه‌ی واقعی پرداخته شده است. در این مسئله، میزان تولید اجزای زنجیره، سطح موجودی تسهیلات، ارسال کالا، نحوه‌ی جایگزینی محصول جدید با قدیم و ارتباطات میان اجزا، جزو تصمیمات این مدل هستند. مدل ساختار یک زنجیره‌ی تأمین چهارسطحی شامل تأمین‌کنندگان قطعات، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و گروه مشتریان را به تصویر می‌کشد و سعی در بیشینه‌سازی سود تولیدکننده و

توزیع‌کننده دارد. هزینه‌های تولید، خرید، نگهداری، عقد قرارداد، حمل‌ونقل، نارضایتی مشتریان، طراحی محصول و بیکاری منابع و در مقابل درآمد فروش، در تابع هدف مدل ریاضی هستند.

مدل ریاضی ارائه شده با استفاده از داده‌های مطالعه‌ی موردی صنعت لوازم دیجیتالی صوتی حل شده است. حل به صورت دقیق و با نرم‌افزار بهینه‌سازی گمز انجام می‌شود. نتایج حل در بخش۴ و تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مدل در بخش ۵ انجام شده است. تحلیل حساسیت بر روی چندین پارامتر انجام شده است و دو مورد از تأثیرگذارترین این پارامترها در این مطالعه ارائه شده‌اند. پارامتر قیمت فروش به مشتریان نیز به عنوان تأثیرگذارترین پارامتر شناسایی شد که تغییر ۱۰ درصد آن منجر به ۱۶ درصد بهبود در تابع هدف می‌شود. همچنین نتایج حل مسئله با ۶ حالت مختلف راهکار تک‌محصولی مقایسه شده است. در این قیاس، راهکار جایگزینی دومحصولی به میزان ۶ درصد نتیجه بهتری به نسبت سایر حالات ارائه می‌دهد. حالت تک‌محصولی در واقع تغییر یافته‌ی مدل پایه‌ی این مسئله است که از مطالعه‌ی جعفریان و بشیری گرفته شده است و در این قسمت مقایسه‌ی مدل ریاضی این دو مطالعه انجام شده است. سپس ۱۵ مثال مختلف با ابعاد و پارامترهای تغییر یافته نسبت به مدل اولیه ارائه شده‌اند و نتایج حل آنها آمده است. مدل در مسائل با ابعاد بزرگتر نیز نتایج متناسب ارائه می‌دهد.

برای تحقیقات آتی می‌توان تقاضای محصولات را با توجه به یکدیگر و به صورت تعاملی به دست آورد چنانکه همواره در طول زمان بر یکدیگر تأثیر بگذارند. همچنین به دلیل نبودن اطلاعات کامل راجع به محصول جدید، در نظرگرفتن عدم قطعیت و افزایش ظرفیت برای مقابله با افزایش ناگهانی تقاضا، می‌تواند زمینه‌یی برای تحقیقات آتی باشد.

## پانوشت‌ها

1. new product development (NPD)
2. supply chain management (SCM)
3. product rollover strategy (Mono/Dual)
4. benchmarking
5. modified bass model

## منابع (References)


1. Jafarian, M. and Bashiri, M. "Supply chain dynamic configuration as a result of new product development," *Appl. Math. Model.*, **38**3, pp. 1133-1146, Feb (2014), doi: 10.1016/j.apm.2013.08.025.
2. Eriksson , A.and Katana, T. "Planning a product rollover - master thesis." *Tekniska Hogskolan university* (2015).
3. Bilington, corey., Lee, H.L. and Tang, C.S. "Successful strategies for product rollovers," *Massachusets Inst. Technol.*, **39**, Spring, pp.22-30 (1998).
4. Lim, W.S. and Tang, C.S. "Optimal product rollover strategies," *Eur. J. Oper. Res.*, **174**2, pp. 905-922, Oct (2006), doi: 10.1016/j.ejor.2005.04.031.
5. Ibaraki, T. and Katoh, N. *Resource allocation problems: algorithmic approaches.* Cambridge, Mass: MIT Press (1988).
6. Handfield, R.B., Ragatz, G.L. and Petersen, K.J. "Involving suppliers in new product development," *Calif. Manage. Rev.*, **42**1, pp. 59-82, Oct (1999), doi: 10.2307/41166019.
7. Mikola, J.H. and Skjoett-Larsen, T. "Early supplier involvement: implications for new product development outsourcing and supplier-buyer interdependence," *Glob. J. Flex. Syst. Manag.*, **4**, pp. 31-41, Dec (2003).
8. Petersen, K.J., Handfield, R.B. and Ragatz, G.L."Supplier integration into new product development: coordinating product, process and supply chain design," *J. Oper. Manag.*, **23** 3-4, pp. 371-388, Apr (2005), doi: 10.1016/j.jom.2004.07.009.
9. Leng Tan, C. and Tracey, M. "Collaborative new product development environments: implications for supply chain management," *J. Supply Chain Manag. Glob. Rev. Purch. Supply*, **43**(3), pp.2-15 Aug (2007).
10. van Hoek, R. and Chapman, P. "How to move supply chain beyond cleaning up after new product development," *Supply Chain Manag. Int. J.*, **12**4, pp. 239-244, Jun (2007), doi: 10.1108/13598540710759745.
11. Zacharia, Z.G. and Mentzer, J.T."The role of logistics in new product development," *Journal of Business Logistics*, **28**, pp. 83-110 (2007).
12. Parker, D.B., Zsidisin, G.A. and Ragatz, G.L. "Timing and extent of supplier integration in new product development: A contingency approach," *J. Supply Chain Manag.*, **44**, pp. 71, Jan (2008).
13. Liu, C.-H. "Supply chain collaboration during new product development: asian perspectives," *J. Chin. Inst. Ind. Eng.*, **26**3, pp. 205-214, Jan (2009), doi: 10.1080/10170660909509137.
14. Pero, M., Abdelkafi, N., Sianesi, A. and et al. "A framework for the alignment of new product development and supply chains," *Supply Chain Manag.* **Int. J.**, **15**2, pp. 115-128, Mar (2010), doi: 10.1108/13598541011028723.
15. Lau, A.K.W. "Supplier and customer involvement on new product performance: Contextual factors and an empirical test from manufacturer perspective," *Ind. Manag. Data Syst.*, **111** 6, pp. 910-942, Jun (2011), doi: 10.1108/02635571111144973.
16. Feng, T. and Wang, D."Supply chain involvement for better product development performance," *Ind. Manag. Data Syst.*, **113** 2, pp. 190-206, Mar (2013), doi: 10.1108/02635571311303532.
17. Graves, S.C. and Willems, S.P. "Optimizing the supply chain configuration for new products," *Manag. Sci.*, **51**8, pp. 1165-1180, Aug (2005), doi: 10.1287/mnsc.1050.0367.

18. Amini, M. and Li, H. "Supply chain configuration for diffusion of new products: An integrated optimization approach," *Omega*, **39**3, pp. 313-322, Jun (2011), doi: 10.1016/j.omega.2010.07.009.

19. Nepal, B., Monplaisir, L. and Famuyiwa, O. "A multi-objective supply chain configuration model for new products," *Int. J. Prod. Res.*, **49**23, pp. 7107-7134, Dec 2011, doi: 10.1080/00207543.2010.511294.

20. Li, H. and Amini, M. "A hybrid optimisation approach to configure a supply chain for new product diffusion: a case study of multiple-sourcing strategy," *Int. J. Prod. Res.*, **50**11, pp. 3152-3171, Jun (2012), doi: 10.1080/00207543.2011.597789.

21. Gaur,J., Amini, M. and Rao, A.K. "Closed-loop supply chain configuration for new and reconditioned products: An integrated optimization model," *Omega*, **66**, pp. 212-223, Jan (2017), doi: 10.1016/j.omega.2015.11.008.

22. Amini, M. and Li, H. "The impact of dual-market on supply chain configuration for new products," *Int. J. Prod. Res.*, **53**18, pp. 5669-5684, Sep (2015), doi: 10.1080/00207543.2015.1058537.

23. Jahani, H., Abbasi, B. and Alavifard, F. "Supply chain network reconfiguration in new products launching phase," *In 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Singapore*, pp. 95-99 Dec (2017). doi: 10.1109/IEEM.2017.8289858.

24. Negahban, A. and Dehghanimohammadabadi, M. "Optimizing the supply chain configuration and production-sales policies for new products over multiple planning horizons," *Int. J. Prod. Econ.*, **196**, pp. 150-162, Feb (2018), doi: 10.1016/j.ijpe.2017.11.019.

25. Alizadeh Afrouzy, Z., Nasseri, S.H. and Mahdavi, I. "A genetic algorithm for supply chain configuration with new product development," *Comput. Ind. Eng.*, **101**, pp. 440-454, Nov (2016), doi: 10.1016/j.cie.2016.09.008.

26. Alizadeh Afrouzy, Z., Nasseri, S.H., Mahdavi, I. and et al. "A fuzzy stochastic multi-objective optimization model to configure a supply chain considering new product development," *Appl. Math. Model.*, **40**17-18, pp. 7545-7570, Sep (2016), doi: 10.1016/j.apm.2016.03.015.

27. Rostami, A., Paydar, M.M. and Asadi-Gangraj, E. "A hybrid genetic algorithm for integrating virtual cellular manufacturing with supply chain management considering new product development," *Comput. Ind. Eng.*, **145**, p. 106565, Jul (2020), doi: 10.1016/j.cie.2020.106565.

28. Rezaei, E., Paydar, M.M. and Sattar Safaei, A. "Customer relationship management and new product development in designing a robust supply chain," *RAIRO - Oper. Res.*, **54**2, pp. 369-391, Mar (2020), doi: 10.1051/ro/2018107.