

پیکربندی مجدد زنجیره تأمین هنگام توسعه محصول جدید با در نظر گرفتن استراتژی جایگزینی دومحصولی (مطالعه موردی: صنعت هدفون)

علی عبدی نژاد^۱ (دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران)

ابراهیم تیموری^{۲*} (عضو هیئت علمی و دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران)

فهیمة پورمحمدی^۳ (دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران)

چکیده:

ارائه محصولات جدید در محیط رقابتی کسب و کار الزامی است. پیکربندی زنجیره تأمین هنگام توسعه محصولات جدید، منجر به پیروزی در عرصه رقابت می‌شود. در تحقیق حاضر، یک مدل عددصحيح مختلط برای زنجیره تأمین چهار سطحی توسعه داده شده که در آن تصمیماتی همچون انتخاب اجزای زنجیره، میزان تولید و زمان طراحی محصول بهینه می‌شوند. برای نشان دادن کاربرد مدل، ۱۵ مسأله از صنعت لوازم دیجیتال با ابعاد مختلف به صورت دقیق حل شده است. تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای قیمت فروش و هزینه تولید انجام شده که با افزایش ۱۰٪ قیمت فروش و ثابت بودن تقاضا، تابع هدف ۱۶٪ بهبود خواهد داشت. همچنین استراتژی جایگزینی دومحصولی با حالات مختلف تک محصولی مقایسه شده که حالت دومحصولی نسبت به بهترین حالت تک محصولی ۶٪ بهبود دارد. نوآوری اصلی مقاله، پیاده‌سازی استراتژی جایگزینی دومحصولی است و نشان داده شده که در بعضی مسائل واقعی استراتژی دومحصولی نسبت به حالت تک محصولی کارایی بهتری دارد.

واژگان کلیدی: توسعه محصول جدید، استراتژی جایگزینی دومحصولی، پیکربندی زنجیره تأمین، انتخاب تأمین کنندگان، چرخه عمر محصول.

¹ Mr.a.abdinejad@gmail.com

^{۲*} نویسنده مسئول، آدرس: تهران، نارمک، دانشگاه علم و صنعت، دانشکده مهندسی صنایع، طبقه پنجم، اتاق ۵۲۴، شماره تلفن: ۰۲۱۷۳۲۲۵۰۲۲، ایمیل: teimoury@iust.ac.ir

³ Fahimep.ie@gmail.com

SUPPLY CHAIN REDESIGN FOR NEW PRODUCT DEVELOPMENT WITH DUAL-PRODUCT ROLLOVER STRATEGY (CASE STUDY HEADPHONE INDUSTRY)

A.Abdinejad (Ms.C. student, Dept. of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology)

E.Teimoury (Associate professor, Dept. of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology)

F.Pourmohammadi (Ph.D. candidate, Dept. of Industrial Engineering Iran University of Science and Technology)

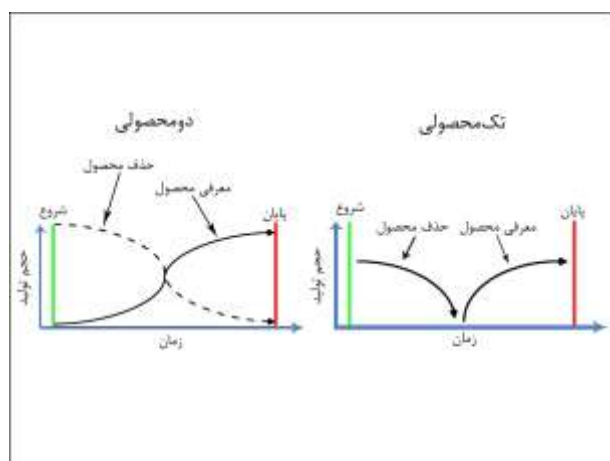
Abstract:

Introducing new products for companies in a competitive business environment is imperative. Designing the appropriate supply chain for the successful development of new products leads to growth and success in the competition. Supply chain design or configuration is essential for the success of a business since it can increase the profit of the whole supply chain. In supply chain management, we determine the link between network components, determine the inventory level in each part of the supply network, production quantity, manner of transportation, and other related problems. Also, During the new product development process, companies encounter decisions such as producing independent products, immediate replacement of a new product with an old one (single-product rollover strategy), or gradual replacement over several periods (dual-product rollover strategy). A dual-product rollover strategy can be more efficient and less costly in some cases, although it has been less paid. In the present study, the four-level supply chain (including suppliers, manufacturers, distributors, and customers groups) model for old and new products is presented by considering a dual-product rollover strategy. Objective function consists of net profit for manufacturers and distributors, cost of customer dissatisfaction, cost of unemployment resources, and cost of designing new products. Also, constraints control the equality between production and inventory with the flow of products, production capacity, product rollover strategy, shipping the goods after that connection determined and level of initial inventory. The model is solved by GAMS software using actual data from a company that is active in the digital appliance industry and produces wired and wireless headphones as non-independent products (it means with launching the wireless headphone, demand for wired headphones will reduce.). After presenting the results, sensitivity analysis is performed on the parameters to determine the most effective parameters on the objective function. Then the results of solving this model under a dual-product rollover strategy are compared with the single-product rollover strategy (The model can be changed into a single-product rollover strategy by modifying rollover parameter), and managerial insights are presented.

Keywords: New Product Development (NPD), Dual-Product rollover strategy, Supply chain design, Supplier Selection, Product Lifecycle.

۱. مقدمه

استراتژی جایگزینی محصول به دو نوع تک محصولی و دو محصولی تقسیم می‌شود (شکل ۱) [2]. استراتژی جایگزینی تک محصولی به این معناست که باید در یک زمان تنها یک محصول برای ورود به بازار تولید شود. یعنی فرآیند حذف محصول قدیمی و معرفی محصول جدید به صورت هم‌زمان رخ می‌دهد. این استراتژی ریسک بالایی دارد. اما اگر شرایط مهیا باشد و جایگزینی به خوبی انجام شود، معرفی محصول جدید با هزینه 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 [4][3].



شکل ۱: استراتژی جایگزینی محصول

استراتژی جایگزینی دو محصولی نیز بیانگر این است که برای یک مدت فروش هر دو محصول جدید و قدیمی هم‌زمان انجام شود. این مدت زمان می‌تواند در مرحله معرفی از چرخه عمر محصول جدید باشد. این استراتژی با اینکه 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 استراتژی جایگزینی محصول مناسب به عهده مدیران شرکت است که می‌تواند مستقیماً منجر به شکست یا موفقیت معرفی محصولات شود. از طرفی در دنیای رقابتی امروز، با کوتاه شدن عمر

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 پیوسته نوآوری به محصولات و توسعه محصولات جدید غیر قابل دستیابی خواهد بود. از این رو همواره بخش بزرگی از هزینه‌ها و زمان سازمان‌ها صرف توسعه موفق محصولات جدید به بازار می‌شود. توسعه محصول جدید^۴ به صورت موفق نیازمند توجه همزمان به تمام زمینه‌های تحقیق و توسعه، طراحی، تولید، بازاریابی و تصمیمات دیگر زنجیره تأمین است.

مدیریت زنجیره تأمین^۵ در موفقیت کسب‌وکارها اهمیت ویژه‌ای دارد. سازمان‌ها با برنامه‌ریزی و مدیریت مطلوب زنجیره تأمین منجر به کاهش بسیار هزینه‌ها و افزایش رضایت مشتریان می‌شوند که به دنبال آن سهم بازار خود را نیز افزایش می‌دهند. تا قبل از دهه ۱۹۸۰ میلادی، تلاش صنایع به سمت بهبود فرآیندهای تولید و انعطاف‌پذیری در توانایی‌های سازمان‌ها بود. اما در آن دوره مدیران صنایع دریافته‌اند که این موارد برای ادامه حضور در بازار کافی نیستند، بلکه توجه به راهکارهای یکپارچگی اعضای زنجیره، در راستای کاهش هزینه‌های کل سیستم و افزایش سطح خدمت‌دهی به مشتریان مؤثر است. پیگیری به عنوان ابزاری در راستای تحقق این موارد، شامل تصمیمات انتخاب تأمین‌کنندگان، میزان سفارش، نحوه ارسال محصولات بین اعضای زنجیره‌ی تأمین، میزان تولید، نگهداری موجودی، مسیریابی وسایل نقلیه در شبکه و غیره می‌باشد [1].

بازنگری در زنجیره تأمین به هنگام توسعه محصول جدید در بنگاه‌های صنعتی لازمه موفقیت در معرفی محصول به بازار است. با توجه کردن به کل زنجیره 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. نحوه حذف محصول قدیمی از بازار و معرفی محصول جدید با عنوان استراتژی جایگزینی محصول^۶ شناخته می‌شود.

⁶ Product Rollover Strategy (Mono/Dual)

⁴ New Product Development (NPD)

⁵ Supply Chain Management (SCM)

محصولات، مدیران همواره با اینچنین تصمیمات مواجه هستند. بنابراین بستری برای سنجش هزینه‌ها و ریسک این تصمیمات می‌تواند کمک شایانی به سازمان‌ها در راستای معرفی موفق محصولات جدید بکند.

در این مقاله سعی شده است یک مدل زنجیره تأمین برای جایگزینی دو محصول با استفاده از استراتژی جایگزینی دومحصولی توسعه داده شود و برای مطالعه موردی بررسی شود که آیا این استراتژی به نسبت استراتژی تک محصولی نتیجه بهتری ارائه می‌دهد یا خیر. نوآوری اصلی این مقاله نیز در مدل‌سازی جایگزینی دومحصولی در زنجیره تأمین است.

در این مقاله یک مدل ریاضی عددصحيح مختلط برای یک زنجیره تأمین چهار سطحی شامل، تأمین‌کنندگان قطعات، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و گروه‌های مشتریان توسعه داده می‌شود. در این زنجیره تأمین محصولات جدید طی چند دوره جایگزین محصولات قدیمی می‌شوند (استراتژی 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 بر روی پارامترهای مدل انجام خواهد شد.

با توجه به مقاله ایباراکی و کاتو [5] مسائل شبکه‌های زنجیره تأمین چندسطحی، چند دوره‌ای و چندمحصولی از لحاظ پیچیدگی در دسته NP-complete قرار می‌گیرند. همین موضوع باعث می‌شود مدل این مقاله در ابعاد بزرگ به منابع زیادی برای حل نیاز داشته باشد.

ساختار ادامه‌ی مقاله به شرح زیر خواهد بود: در بخش ۲، پیشینه تحقیقات معرفی می‌شوند. در بخش ۳، مسأله به صورت دقیق شرح داده می‌شود و مدل ریاضی به همراه علائم و اختصارات به کاررفته در آن ارائه می‌شود. در بخش ۴، مدل ریاضی با استفاده از داده‌های مطالعه موردی در نرم‌افزار GAMS حل می‌شود. بخش ۵ مربوط به تحلیل حساسیت پارامترهای مدل است. بخش ۶ مدل با استراتژی

جایگزینی دومحصولی با ۶ حالت مختلف استراتژی جایگزینی دومحصولی مقایسه شده است. در بخش ۷ تعداد ۱۵ عدد مثال مختلف در ابعاد مختلف برای این مدل حل شده‌اند. بخش ۸ توصیه‌های مدیریتی استخراج شده از این مقاله آورده شده است و در بخش ۹، جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای مطالعات آتی ارائه می‌شوند.

۲. بررسی ادبیات

در زمینه تصمیمات مربوط به زنجیره تأمین محصولات جدید می‌توان تحقیقات را به دو دسته مشارکت تأمین‌کنندگان در فرآیند توسعه محصول جدید و پیکربندی زنجیره تأمین در فرآیند توسعه محصول جدید تقسیم کرد.

مقالات دسته‌ی مشارکت تأمین‌کنندگان در فرآیند توسعه محصول جدید به شناسایی عوامل موفقیت توسعه محصول جدید در زنجیره‌ی تأمین پرداخته‌اند.

هندفیلد و همکاران [6] چارچوبی برای یکپارچگی تأمین‌کنندگان در فرآیند توسعه محصولات جدید ارائه داده‌اند. در این چارچوب تأمین‌کنندگان در مراحل مختلف توسعه محصول جدید شامل طراحی، ارزیابی فنی، توسعه مفهوم، مهندسی محصول و ساخت و تست وارد می‌شوند. همچنین معیارهایی برای اندازه‌گیری موفقیت توسعه محصول جدید و شاخص‌هایی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان معرفی شده‌اند. طبق نتایج این پژوهش ورود هر چه سریعتر تأمین‌کنندگان در فرآیند توسعه محصولات، برای زنجیره مناسب‌تر است.

میکولا و لارسن [7] نیز مانند پژوهش پیشین عمل کرده‌اند با این تفاوت که مراحل مشارکت تأمین‌کنندگان شامل ۳ مرحله برنامه‌ریزی، طراحی و تولید بیان شده‌اند. این مقاله از روش الگوبرداری^۷ از نمونه‌های موفق جهان برای بررسی فرضیات خود استفاده کرده است.

پترسن و همکاران [8] مشارکت تأمین‌کنندگان را در تمامی مراحل توسعه محصول جدید در نظر گرفته‌اند. با توجه به شدت مشارکت تأمین‌کنندگان و محل مشارکت آن‌ها، تأثیر مشارکت را در بهره‌وری تیم پروژه ارزیابی کرده و سپس تأثیر آن را بر کارایی طراحی و نتایج

⁷ Benchmarking

مالی شرکت بررسی کرده‌اند. تأثیر این موارد به صورت فرضیه عنوان شده‌اند و سپس با توجه به پرسش‌نامه‌ای که توسط افراد خیره این صنعت پاسخ داده شده‌اند، فرضیه‌ها با روش‌های آماری رد و یا قبول می‌شوند.

چانگ لنگ تان و مایکل تریسی [9] در نوشتاری محیط همکارانه توسعه محصول جدید را بررسی کرده‌اند. این مقاله تنها مشارکت در مرحله طراحی را در نظر گرفته است. همچنین مشارکت مشتریان را

در فرآیند توسعه محصول جدید بیان می‌کند. شدت مشارکت در سه سطح مشارکت کارخانه، مشارکت تأمین‌کننده و مشارکت مشتریان به عنوان ابعاد یکپارچگی توسعه محصول جدید لحاظ شده است. تأثیر این ابعاد را بر روی رضایت مشتری بررسی شده است و روش ارزیابی نیز استفاده از پرسش‌نامه و پرسیدن آن توسط خبرگان و سپس نرم‌افزار آماری برای بررسی تأثیرگذاری است. در ادامه در جدول ۱ مرور ادبیات این حوزه آورده شده است.

جدول ۱: مرور ادبیات مشارکت تأمین‌کنندگان در فرآیند توسعه محصول جدید

مطالعه موردی	پرسش‌نامه	شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کننده	شاخص‌های موفقیت توسعه محصول	چارچوب تصمیم‌گیری	مشارکت مشتریان	الگوبرداری	مشارکت در کل مراحل	ته
*		*	*	*		*	*	هندفیلد و همکاران [6]
*						*	*	میکولا و لارسن [7]
	*		*	*			*	پترسن و همکاران [8]
	*		*	*	*			چانگ لنگ تان و مایکل تریسی [9]
*	*					*		ون هوک و چپمن [10]
	*		*		*		*	زکریا و همکاران [11]
	*		*					پارکر [12]
				*	*			چون لیو [13]
*			*			*	*	پرو و همکاران [14]
*	*		*		*			لائو [15]
	*		*		*		*	فنگ و وانگ [16]

که از لحاظ هزینه و زمان تدارک متفاوت هستند. در این مقاله عدم قطعیت برای تقاضا در نظر گرفته شده است. همچنین مفهوم زمان خدمت تضمینی برای توسعه محصول جدید اولین بار در این مقاله آورده شده است.

امینی و لی [18] در مدل خود با عنوان هیبرید، برنامه تولید و فروش و همچنین پیکربندی زنجیره تأمین را به صورت همزمان تعیین می‌کنند. تقاضا به صورت غیر قطعی با روش باس اصلاح شده^۸ مدل شده است. میانگین تقاضای هر عضو زنجیره بر روی تقاضای نهایی

در قسمت پیکربندی زنجیره تأمین در فرآیند توسعه محصول جدید با مدل‌های ریاضی برای انتخاب تأمین‌کنندگان و دیگر تصمیمات زنجیره تأمین مواجه هستیم.

گریوز و ویلمز [17] مدل کمی پیکربندی زنجیره تأمین برای محصول جدید ارائه داده‌اند. این مدل تنها دوره تولید محصول را در نظر می‌گیرد و زمان طراحی را لحاظ نمی‌کند. مسأله مدل، انتخاب تأمین‌کنندگان و نوع حمل‌ونقل است و سعی در کمینه کردن هزینه‌ها دارد. در هر مورد گزینه‌های مختلفی می‌توان انتخاب نمود

⁸ Modified Bass Model

تأثیر می‌گذارد و انحراف معیار تقاضا نیز بر سطح موجودی اطمینان تأثیر می‌گذارد. مفروضات دیگر مدل شامل دوره عمر کوتاه محصول و زمان بسیار طولانی برای افزایش ظرفیت است. مفهوم زمان خدمت تضمینی در این نوشتار نیز وجود دارد.

نیپال و همکاران [19] مسأله پیکربندی زنجیره 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 متفاوت هستند. مدل این نوشتار یک مدل چند هدفه است که علاوه بر در نظر گرفتن 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 مسأله از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک استفاده می‌کند.

لی و امینی [20] در این مقاله، مدل قبلی را در حالت چند تأمینیه در نظر گرفته‌اند. مفهوم چند تأمینیه باعث ایجاد روابط متفاوتی در محاسبه قیمت نهایی محصول و زمان خدمت تضمینی شده است. گائور و همکاران [21] پیکربندی زنجیره تأمین محصول جدید و بازیافتی را به صورت حلقه بسته مدل کرده‌اند. در این مقاله 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 [22] نوشتاری دیگر مسأله پیکربندی زنجیره تأمین محصول جدید را در بازار دوگانه بررسی کرده‌اند که همین موضوع نوآوری اصلی این مقاله به نسبت مقاله‌های پیشین است.

جهانی و همکاران [23] در این نوشتار تأثیر معرفی محصول جدید به بازار را بر پیکربندی زنجیره تأمین بررسی کرده‌اند. مدل ریاضی احتمالی غیر خطی استفاده شده در این نوشتار عدم قطعیت قیمت و تقاضا را در نظر گرفته و سعی در بهینه سازی پیکربندی (دوباره پیکربندی) زنجیره دارد. مدل هزینه کمبود، فروش خالص، اسقاط، موجودی، تسهیلات، تولید و حمل و نقل را محاسبه می‌کند که نقطه تمایز آن هزینه اسقاط و همچنین عدم قطعیت هزینه‌ها است. نگهبان و دهقانی [24] در نوشتار خود علاوه بر پیکربندی زنجیره تأمین محصول جدید که شامل انتخاب تأمین‌کنندگان، موجودی در

جریان و موجودی اطمینان است، به استراتژی‌های تولید و فروش محصول جدید نیز پرداخته‌اند. تقاضای غیرقطعی با فرمول اصلاح شده باس و مفهوم زمان خدمت تضمینی از دیگر ویژگی‌های این مقاله است.

در زمینه استراتژی جایگزینی محصول، بیلینگتون و همکاران [3] در نوشتاری دو استراتژی جایگزینی تک محصولی و دو محصولی را با در نظر گرفتن هزینه و ریسک مقایسه کرده‌اند و راهکارهای مدیریتی ارائه داده‌اند.

جعفریان و بشیری [1] در مقاله خود پیکربندی زنجیره 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 مقاله برای اولین بار از استراتژی جایگزینی تک محصولی در مدل ریاضی استفاده شده است.

علیزاده و همکاران [25] در این مقاله اهمیت زمان معرفی محصول جدید و خروج محصول قدیمی را مطرح کرده‌اند. آن‌ها با ارائه مدلی چندمحصولی، چند سطحی و چند دوره‌ای و با در نظر گرفتن تأثیرات تولید و توسعه محصول جدید پیکربندی زنجیره تأمین را انجام داده‌اند. استراتژی جایگزینی تک محصولی در این نوشتار نیز دیده می‌شود.

همچنین علیزاده و همکاران [26] در مقاله‌ای دیگر به پیکربندی زنجیره تأمین برای محصول جدید با استفاده از مدل چندهدفه فازی - احتمالی پرداخته‌اند. تقاضای محصولات و ظرفیت تأمین‌کنندگان در این مقاله به صورت غیر قطعی در نظر گرفته شده است.

رستمی و همکاران [27] یک مدل ریاضی چند هدفه برای مدیریت زنجیره تأمین و توسعه محصول جدید ارائه داده‌اند. آن‌ها از یک الگوریتم هیبرید توسعه یافته برای دریافت نتایج استفاده کرده‌اند. رضایی و همکاران [28] در یک مقاله مشابه ایده استفاده از مدیریت ارتباط با مشتریان در پیکربندی زنجیره تأمین را برای توسعه محصول جدید، مطرح کرده‌اند.

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

جدول ۲: مرور ادبیات دسته پیکربندی زنجیره‌ی تأمین محصول جدید

مطالعه موردی	روش حل			مفروضات				مشخصات مدل		نام	
	دقیق	ابتکاری	فرا ابتکاری	پیکربندی مجدد	کمبود مجاز	استراتژی جایگزینی	تک محصولی	عدم قطعیت	چندتأمینی		چنددوره‌ای
*	*				*			*			گریوز و ویلمز [17]
	*				*			*			امینی و لی [18]
*			*					*		*	نیپال و همکاران [19]
*	*	*			*			*	*	*	لی و امینی [20]
*	*				*			*		*	گائور و همکاران [21]
*	*				*			*	*	*	امینی و لی [22]
	*				*	*		*	*	*	جهانی و همکاران [23]
	*				*	*		*	*	*	نگهبان و دهقانی [24]
	*					*		*	*	*	جعفریان و بشیری [1]
			*		*	*		*	*	*	علیزاده و همکاران [25]
			*		*	*		*	*	*	علیزاده و همکاران [26]
			*		*			*	*	*	رستمی و همکاران [27]
*	*				*	*		*	*	*	رضایی و همکاران [28]

معرفی می‌شوند و سپس مدل ریاضی از نوع مختلط عدد صحیح ارائه می‌شود.

مدل برای پیکربندی یک زنجیره 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.

مطالعه پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که به پیکربندی زنجیره‌ی تأمین با در نظر گرفتن استراتژی جایگزینی محصول کمتر پرداخته شده است. از طرفی نوع دوم محصولی استراتژی جایگزینی محصول در هیچ مقاله‌ای پیش از این مدل نشده است. بنابراین در این پژوهش به مسأله پیکربندی مجدد زنجیره‌ی تأمین به هنگام توسعه‌ی محصول جدید با در نظر گرفتن استراتژی جایگزینی دوم محصولی پرداخته شده است. پارامتر جایگزینی محصول برای اولین بار در این مقاله ارائه شده است.

۳. مدل ریاضی

در این قسمت پس از بیان مسأله، اندیس‌ها، پارامترها و متغیرها

- 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 تأمین کننده، تولیدکننده، توزیع کننده و گروه مشتریان است.
- تقاضای مشتریان قطعی است.
- ارتباط میان اجزا منوط بر عقد قرارداد میان آنها است.
- تفاوت اجزای زنجیره در قیمت و ظرفیت آنها است.
- استراتژی جایگزینی دومحصولی در مدل آورده شده است، یعنی به هنگام جایگزینی محصول قدیمی با جدید، تولید محصول قدیمی به مرور کم می‌شود و تولید محصول جدید نیز به مرور افزایش می‌یابد تا آنکه کاملاً جایگزین محصول قدیمی شود.

در دوره جایگزینی محصول i با محصول بعدی (TT_i) شیب تعویض محصولات، با عبارت ضریب جایگزینی محصولات (α'_{fi}) شناخته می‌شود. این دوره از زمان t_{fi}^a تا زمان t_{fi}^b به طول می‌انجامد. با توجه به این دوره، ضریب جایگزینی محصول با فرمول (۱) بدست می‌آید.

$$\alpha'_{fi} = \begin{cases} 1 - \alpha'_{fi-1} & t_{fi-1}^b \leq t < t_{fi}^a \\ \frac{t_{fi}^b - t}{TT_{fi}} & t_{fi}^a \leq t < t_{fi}^b \\ 0 & t_{fi}^b \leq t \end{cases} \quad (1)$$

ضریب جایگزینی محصول در قبل از معرفی محصول برابر ۰ است، سپس با شیب یکنواخت $\frac{1}{TT_{fi}}$ افزایش پیدا می‌کند تا به ۱ برسد، تا زمانی که نوبت جایگزینی با محصول بعدی نرسیده است مقدار ۱ برای این محصول باقی می‌ماند، سپس با معرفی محصول بعدی با شیب یکنواخت $\frac{1}{TT_{fi+1}}$ کاهش پیدا می‌کند تا به مقدار ۰ برسد و در این مقدار باقی می‌ماند. در ادامه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرها

معرفی می‌شوند.

اندیس‌ها و مجموعه‌ها

دوره‌های زمانی مدل	$t \in \{1, \dots, Nperiod\}$
تأمین کنندگان قطعات محصول	$c \in \{1, \dots, C\}$
تولیدکنندگان محصولات	$f \in \{1, \dots, F\}$
توزیع کنندگان	$d \in \{1, \dots, Di\}$
گروه مشتریان	$g \in \{1, \dots, G\}$
محصولات اصلی	$i \in \{1, \dots, IP\}$
قطعات تشکیل دهنده محصول	$j \in \{1, \dots, J\}$

پارامترها

ضریب جایگزینی محصول در استراتژی دو محصولی برای محصول i در دوره t در کارخانه f	α'_{fi}
زمان شروع جایگزینی محصول i با محصول جدید در کارخانه f	t_{fi}^a
زمان پایان جایگزینی محصول i با محصول جدید در کارخانه f	t_{fi}^b
طول مدت زمان جایگزینی محصول i با محصول بعدی (دوره جایگزینی) در کارخانه f	TT_i
تقاضای گروه مشتریان g برای محصول i در دوره t	D_{fi}^t
قیمت هر واحد قطعه j در تأمین کننده c	P_{cj}
قیمت هر واحد محصول i در تولیدکننده f	P_{fi}
قیمت هر واحد محصول i در توزیع کننده d	P_{di}
تعداد قطعه j در محصول نوع i	B_{ij}
ظرفیت توزیع کننده d	Cap_d
ظرفیت تأمین کننده قطعات c برای قطعه j	Cap_{cj}
ظرفیت تولید کننده f از محصول i	Cap_{fi}
هزینه تولید محصول i در تولیدکننده f	Cp_{fi}
هزینه ثابت تولید محصول i در تولیدکننده f	FCP_{fi}
هزینه هر واحد نگهداری موجودی قطعه j در تولیدکننده f	CI_{fi}
هزینه هر واحد نگهداری موجودی محصول i در تولیدکننده f	CI_{fi}
هزینه هر واحد نگهداری موجودی محصول i در توزیع کننده d	CI_{di}

میزان تولید از محصول i در تولیدکننده f در پایان دوره t	Q_{fi}^t	هزینه توافق برای قرارداد میان تأمین کننده قطعات c و تولیدکننده f	CA_{cf}
متغیرهای دودویی		هزینه توافق برای قرارداد میان تولیدکننده f و توزیع کننده d	CA_{fd}
متغیر دودویی که مقدار ۱ آن، نشان دهنده اتصال میان تأمین کننده قطعات c و تولیدکننده f در هر دوره است.	Y_{cf}^t	هزینه توافق برای قرارداد میان توزیع کننده d و گروه مشتریان g	CA_{dg}
متغیر دودویی که مقدار ۱ آن، نشان دهنده اتصال میان تولیدکننده f و توزیع کننده d در هر دوره است.	Y_{fd}^t	موجودی اولیه قطعه z در تأمین کننده قطعات c	II_{cj}
متغیر دودویی که مقدار ۱ آن، نشان دهنده اتصال میان توزیع کننده d و گروه مشتریان g در هر دوره است.	Y_{dg}^t	موجودی اولیه قطعه z در تولیدکننده f	II_{fj}
متغیر دودویی که مقدار ۱ آن، نشان دهنده بسته شدن قرارداد میان تأمین کننده قطعات c و تولیدکننده f در دوره t (به دلیل پیکربندی مجدد) است.	YY_{cf}^t	موجودی اولیه محصول i در تولیدکننده f	II_{fi}
متغیر دودویی که مقدار ۱ آن، نشان دهنده بسته شدن قرارداد میان تولیدکننده f و توزیع کننده d در دوره t (به دلیل پیکربندی مجدد) است.	YY_{fd}^t	موجودی اولیه محصول i در توزیع کننده d	II_{di}
متغیر دودویی که مقدار ۱ آن، نشان دهنده بسته شدن قرارداد میان توزیع کننده f و گروه مشتریان g در دوره t (به دلیل پیکربندی مجدد) است.	YY_{fg}^t	هزینه حمل و نقل میان تأمین کننده قطعات c و تولیدکننده f	TC_{cf}
متغیر دودویی که مقدار ۱ آن، نشان دهنده بسته شدن قرارداد میان توزیع کننده g و گروه مشتریان g در دوره t (به دلیل پیکربندی مجدد) است.	YY_{dg}^t	هزینه حمل و نقل میان تولیدکننده f و توزیع کننده d	TC_{fd}
متغیر دودویی که مقدار ۱ آن، نشان دهنده تصمیم تولیدکننده f برای طراحی محصول جدید i در دوره t است.	XX_{fi}^t	هزینه حمل و نقل میان توزیع کننده d و گروه مشتریان g	TC_{dg}
		هزینه طراحی محصول i برای تولیدکننده f	$CDNP_{fi}$
		هزینه منابع استفاده نشده تولیدکننده f	CUS_f
		هزینه نارضایتی مشتری	CDC
		تعداد کل دوره‌های برنامه‌ریزی	N_{period}
		عددی بزرگ	M

متغیرهای تصمیم

در مدل ریاضی ارائه شده، رابطه (۲) نشان دهنده تابع هدف است که به صورت ماکزیمم سازی سود تولیدکننده و توزیع کننده منهای هزینه‌های نارضایتی مشتریان، بیکاری منابع و طراحی محصول جدید است. سود تولیدکننده برابر است با درآمد فروش حاصل از محصولات به توزیع کننده، منهای هزینه‌های خرید قطعات از تأمین کنندگان، هزینه تولید متغیر و ثابت، هزینه قرارداد با تأمین کنندگان، هزینه نگهداری موجودی برای قطعات و محصولات نهایی و هزینه حمل و نقل میان تأمین کنندگان و تولید کننده است که در رابطه (۳) آمده است. رابطه (۴) نیز سود توزیع کننده را نشان می‌دهد که درآمد فروش محصولات به مشتریان منهای هزینه خرید آن‌ها از تولید کنندگان، هزینه نگهداری موجودی محصول نهایی، هزینه عقد قرارداد با کارخانه و گروه مشتریان و هزینه حمل و نقل میان کارخانه و توزیع کننده تا گروه مشتریان است. رابطه (۵) هزینه نارضایتی مشتریان را با کسر حجم محصول ارسالی از توزیع کنندگان به مشتریان منهای تقاضای آن‌ها (تقاضای پاسخ داده نشده) ضرب

مقدار موجودی قطعه z در تأمین کننده قطعات c در پایان دوره t	I_{cj}^t
مقدار موجودی قطعه z در تولیدکننده f در پایان دوره t	I_{fj}^t
مقدار موجودی محصول i در تولیدکننده f در پایان دوره t	I_{fi}^t
مقدار موجودی محصول i در توزیع کننده d در پایان دوره t	I_{di}^t
میزان جریان از قطعه z میان تأمین کننده قطعات c و تولیدکننده f در پایان دوره t	S_{cf}^t
میزان جریان از محصول i میان تولیدکننده f و توزیع کننده d در پایان دوره t	S_{fdi}^t
میزان جریان از محصول i میان توزیع کننده d و گروه مشتریان g در پایان دوره t	S_{dgi}^t
میزان تولید از قطعه z در تأمین کننده قطعات c در پایان دوره t	Q_{cj}^t

$$\sum_i S_{dgi}^t \leq M \cdot Y_{dg}^t \quad \forall d, g, t. \quad (19)$$

$$\sum_{t^*} XX_{fi}^{t^*} \geq \alpha_{fi}^t \quad t^* \leq t \quad \forall f, i, t \quad (20)$$

$$\sum_{t^*} YY_{cf}^{t^*} \geq Y_{fc}^t \quad t^* \leq t \quad \forall c, f \quad (21)$$

$$\sum_{t^*} YY_{fd}^{t^*} \geq Y_{fd}^t \quad t^* \leq t \quad \forall f, d \quad (22)$$

$$\sum_{t^*} YY_{dg}^{t^*} \geq Y_{dg}^t \quad t^* \leq t \quad \forall d, g \quad (23)$$

$$I, S, Q \geq 0 \text{ and integer, } XX, XY, YY \in \{0, 1\}. \quad (24)$$

روابط (۸) تا (۱۲) مربوط به برقراری روابط جریان و موجودی با متغیرهای موجودی، تولید و میزان ارسال هستند. در رابطه (۸) میزان موجودی قطعات برای تأمین‌کننده در این دوره برابر با موجودی دوره قبل به علاوه میزان تولید در این دوره منهای میزان قطعه ارسالی به تولیدکنندگان است. رابطه (۹) به همان صورت موجودی قطعات را در تولیدکنندگان و رابطه (۱۰) موجودی محصولات نهایی را در تولیدکنندگان در هر دوره مشخص می‌کند. محدودیت (۱۱) موجودی توزیع‌کنندگان را در هر دوره با توجه به موجودی دوره قبل به علاوه محصولات ورودی و منهای محصولات خروجی محاسبه می‌کند. محدودیت (۱۲) نیز موجودی دوره تمام اجزای زنجیره را برابر موجودی اولیه قرار می‌دهد. رابطه (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. رابطه (۱۵) مربوط به استراتژی جایگزینی دومحصولی هستند به این صورت که ظرفیت محصول قدیم را به مرور محدود کرده و ظرفیت تولید محصول جدید را همزمان آزاد می‌کند. رابطه (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 دوره 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.

در هزینه نارضایتی به ازای هر واحد، نشان می‌دهد. رابطه (۶) هزینه بیکاری منابع است که با ضرب اختلاف ظرفیت اسمی منهای حداکثر ظرفیت در نظر گرفته شده برای آن دوره در هزینه واحد بیکاری محاسبه می‌شود. و رابطه (۷) نیز هزینه طراحی محصول جدید را با ضرب متغیر صفر و یک نشان‌دهنده طراحی محصول جدید در کارخانه در هزینه طراحی هر واحد محصول، نشان می‌دهد.

$$\text{Maximize } Z = \text{Gain}(f) + \text{Gain}(d) - \text{Cus.Dis} - \text{Csource} - \text{PDIC} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Gain}(f) = & \sum_f \sum_d \sum_i \sum_t P_{fi} S_{fdi}^t - \sum_c \sum_f \sum_j \sum_t P_{cj} S_{cfj}^t - \sum_f \sum_i \sum_t (CP_{fi} Q_{fi}^t + \\ & FCP_{fi} XX_{fi}^t) - \sum_c \sum_f \sum_t CA_{cf} YY_{cf}^t - \sum_f \sum_j \sum_t CI_{fj} I_{fj}^t - \sum_f \sum_i \sum_t CI_{fi} I_{fi}^t - \sum_c \sum_f \sum_t TC_{cf} Y_{cf}^t \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Gain}(d) = & \sum_d \sum_g \sum_i \sum_t P_{di} S_{dgi}^t - \sum_f \sum_d \sum_i \sum_t P_{fi} S_{fdi}^t - \sum_d \sum_i \sum_t CI_{di} I_{di}^t - \\ & \sum_f \sum_d \sum_t CA_{fd} YY_{fd}^t - \sum_d \sum_g \sum_t CA_{dg} YY_{dg}^t - \sum_f \sum_d \sum_t TC_{fd} Y_{fd}^t - \sum_d \sum_g \sum_t TC_{dg} Y_{dg}^t \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{Cus.Dis} = \sum_t \sum_g \sum_i CDC_{gi} (D_{gi}^t - \sum_d S_{dgi}^t) \quad (5)$$

$$\text{Csource} = \sum_f \sum_t CUS_f \cdot (1 - \sum_i \alpha_{fi}^t) \quad (6)$$

$$\text{PDIC} = \sum_t \sum_f \sum_i CDNP_{fi} \cdot XX_{fi}^t \quad (7)$$

S.t.:

$$I_{cj}^t = I_{cj}^{t-1} + Q_{cj}^t - \sum_f S_{cfj}^t \quad \forall c, j, t \quad (8)$$

$$I_{fj}^t = I_{fj}^{t-1} + \sum_c S_{cfj}^t - \sum_i B_{ij} Q_{fi}^t \quad \forall f, i, t \quad (9)$$

$$I_{fi}^t = I_{fi}^{t-1} + Q_{fi}^t - \sum_d S_{dgi}^t \quad \forall f, i, t \quad (10)$$

$$I_{di}^t = I_{di}^{t-1} + \sum_f S_{fdi}^t - \sum_g S_{dgi}^t \quad \forall d, i, t \quad (11)$$

$$I_{cj, fj, fi, di}^t = II_{cj, fj, fi, di}^t \quad t=0 \quad \forall c, i, \forall f, i, \forall d, i. \quad (12)$$

$$\sum_d S_{dgi}^t \leq D_{gi}^t \quad \forall g, i, t \quad (13)$$

$$Q_{cj}^t \leq Cap_{cj} \quad \forall c, j, t \quad (14)$$

$$Q_{fi}^t \leq \alpha_{fi}^t Cap_{fi} \quad \forall f, i, t \quad (15)$$

$$\sum_f \sum_i S_{fdi}^t \gamma_i \leq Cap_d \quad \forall d, t \quad (16)$$

$$\sum_j S_{cfj}^t \leq M \cdot Y_{cf}^t \quad \forall f, d, t \quad (17)$$

$$\sum_i S_{fdi}^t \leq M \cdot Y_{fd}^t \quad \forall f, d, t \quad (18)$$

۴. مطالعه موردی

جایگزینی دو محصولی، نمایش داده شده است.

جدول ۴: مقادیر تابع هدف در استراتژی جایگزینی دو محصولی

عنوان	مقدار
مقدار کل تابع هدف	۴۱۳۷۳۴۵
سود تولیدکنندگان	۲۹۱۷۶۸۰
سود توزیع کنندگان	۱۳۱۱۴۱۵
نارضایتی مشتری	۴۵۷۵۰
بیکاری منابع	۰
هزینه طراحی محصولات	۴۶۰۰۰

مقادیر سود تولیدکنندگان و سود توزیع کنندگان با علامت مثبت در تابع هدف و مقادیر هزینه نارضایتی مشتری، بیکاری منابع و طراحی محصولات با علامت منفی مطرح می شوند. هزینه بیکاری منابع به دلیل استفاده از استراتژی جایگزینی دو محصولی و کاهش پیوسته تولید همواره صفر است.

در جدول ۵ میزان تولید هر کارخانه برای هر محصول در هر دوره زمانی مشخص شده است.

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

تولید در دوره های ابتدایی و انتهای در حداکثر ظرفیت کارخانه انجام می شوند. همچنین تولیدات برای محصول قدیمی پس از دوره دوم محدود شده و برای محصول جدید به مرور افزایش پیدا می کند

در این قسمت مدل ریاضی پیشنهادی با استفاده از داده های برگرفته از شرکتی که در صنعت هدفون فعالیت می کند، 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 داده ها همگی در یک مقیاس مشخص ضرب شده اند.

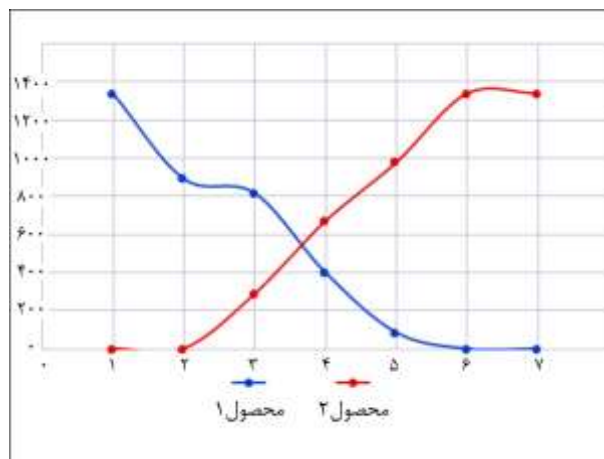
در این مطالعه موردی دو محصول هدفون سیم دار به عنوان محصول قدیمی و هدفون بی سیم به عنوان محصول جدید بررسی شده اند. مدل طی ۷ دوره حل شده است که دوره جایگزینی دو محصول ۴ دوره است. تعداد ۲ تأمین کننده برای قطعات تشکیل دهنده محصولات، ۲ تولیدکننده که هر دو متعلق به شرکت اصلی هستند، ۳ توزیع کننده در نقاط مختلف کشور که آن ها نیز متعلق به شرکت اصلی هستند و همچنین ۵ گروه مشتریان از ویژگی های این مدل است (جدول ۳). پیش بینی شرکت از تقاضای مشتریان نیز در مدل لحاظ شده است که برای محصول قدیمی به مرور کم می شود و برای محصول جدید به مرور افزایش پیدا می کند.

جدول ۳: مشخصات زنجیره تأمین مطالعه موردی

عنوان	مقدار
تعداد دوره	۷
تأمین کنندگان قطعات	۲
تولیدکنندگان	۲
توزیع کنندگان	۳
گروه مشتریان	۵
محصولات	۲
دوره جایگزینی	۴ دوره

برای حل مسئله از نرم افزار بهینه سازی گمز (GAMS 24.1.2) و سالور CPLEX در رایانه 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 استراتژی

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٪



شکل ۲: میزان تولید محصولات در استراتژی جایگزینی دومحصولی

تغییرات پارامتر هزینه 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٪

تغییرات قیمت فروش محصولات به مشتریان با ضریب مثبت در تابع هدف کاملاً هم جهت با مقدار تابع هدف است. همچنین ضریب هزینه متغیر تولید کارخانه در تابع هدف با علامت منفی آمده است و در نتیجه تغییرات آن رابطه 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.

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

جدول ۶: مقدار متغیر دودویی طراحی محصول

متغیر دودویی	دوره						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
XX'_{11}	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
XX'_{12}	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰
XX'_{21}	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
XX'_{22}	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰

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 هزینه 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.

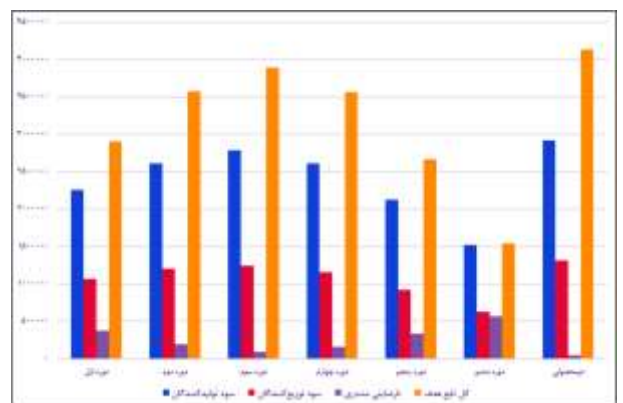
۶. مقایسه با استراتژی جایگزینی تک محصولی

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

جدول ۹: مقایسه مدل پیشنهادی با استراتژی جایگزینی تک محصولی

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

برای مقایسه بهتر، این مقادیر در شکل ۳ آورده شده‌اند.



شکل ۳: مقایسه مدل پیشنهادی با استراتژی جایگزینی تک محصولی

این جدول نشان می‌دهد که در این مطالعه موردی به ازای تمام حالات، استراتژی جایگزینی دو محصولی نتیجه‌ای مطلوب‌تر از استراتژی جایگزینی تک محصولی ارائه می‌دهد. حالت دو محصولی از نظر سود تولیدکننده و توزیع‌کننده بیشتر از سایر حالات است و از نظر هزینه نارضایتی مشتری از تمام حالات کمتر است. در میان

استراتژی‌های تک محصولی، جایگزینی در دوره سوم بهترین نتیجه را به دنبال دارد. مقادیر هزینه طراحی محصول و بیکاری منابع در تمام این حالات برابر است بنابراین در جدول نیامده است.

۷. مثال‌های عددی

در این قسمت تعداد ۱۵ عدد مثال مختلف برای مسأله اصلی طراحی شده است. ۵ مثال اول با ابعاد مشابه مطالعه موردی هستند اما متغیرهای غیر هزینه‌ای آن‌ها تغییر مانند تقاضا، ضریب تشکیل محصول از قطعات، ظرفیت‌ها و ضریب جایگزینی محصول تغییر کرده است. ۵ مثال دوم ابعاد مطالعه موردی بزرگتر شده و مجدد متغیرهای غیر هزینه‌ای در این ابعاد تغییر کرده است. سپس در ۵ مثال آخر مجدد ابعاد مسأله بزرگتر شده و در هر مثال متغیرهای غیر هزینه‌ای تغییر کرده‌اند. در ادامه در جدول ۱۰ نتایج این مثال‌ها آمده است.

جدول ۱۰: مثال‌های عددی با تغییر ابعاد مسأله

مثال	سود تولیدکنندگان	سود توزیع کنندگان	نارضایتی مشتری	ظرفیت	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	۴۰۲۵۵۴۴
مثال ۸	۱۲۵۸۴۶۶۶	۷۱۵۴۹۶۵	۱۸۱۸۰۰۰	۷۰۰۰۰	۱۷۸۵۱۶۱۲
مثال ۹	۸۵۱۱۹۷۹	۴۷۲۸۸۴۲	۳۵۴۵۲۵۰	۷۰۰۰۰	۹۶۲۵۵۷۲
مثال ۱۰	۸۴۸۵۵۳۴	۴۶۳۲۸۹۵	۴۸۱۳۵۰۰	۷۰۰۰۰	۸۲۳۴۹۲۹
مثال ۱۱	۳۰۹۴۷۵۲۲	۱۴۱۳۸۱۶۶	۵۰۸۱۲۵۰	۲۰۸۰۰۰	۲۸۹۰۹۹۷۱
مثال ۱۲	۱۶۷۷۴۲۲۴	۱۴۱۳۵۴۰۱	۴۹۹۸۰۰۰	۲۰۸۰۰۰	۲۵۷۰۳۶۷۶
مثال ۱۳	۳۳۸۰۵۵۷۳	۱۶۲۶۳۵۷۶	۳۹۱۸۷۵۰	۲۰۸۰۰۰	۳۵۹۴۲۳۹۹
مثال ۱۴	۳۰۶۵۰۵۰۳	۱۴۱۰۱۰۷۸	۵۱۴۹۵۰۰	۲۰۸۰۰۰	۲۸۸۰۳۷۷۶
مثال ۱۵	۲۰۳۹۰۳۱۵	۱۴۳۱۶۴۳۳	۷۸۷۲۰۰۰	۲۰۸۰۰۰	۲۶۶۲۶۷۴۹

در مثال‌های ۱، ۶ و ۱۱ ابعاد مسأله 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 زنجیره تأمین به صورت تصادفی تا حدود ۲۰٪ تغییر کرده‌اند. در مثال‌های ۴، ۹ و ۱۴

موجودی اولیه محصولات و قطعات به صورت تصادفی تغییر کرده است و در مثال های ۵، ۱۰ و ۱۵ تقاضای محصولات و همچنین دوره جایگزینی محصولات تغییر کرده است.

۸. توصیه های 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 تقاضا با تغییرات اندک قیمت، می تواند به ۱۶ درصد سود بیشتر زنجیره دست یابد.
- با توجه به اینکه طبق استراتژی جایگزینی تک محصولی دوره سوم به عنوان حالت بهینه انتشار محصول جدید معرفی شد، بهتر است پارامتر جایگزینی محصول حول دوره سوم ساخته شود تا نتیجه بهتری داشته باشد.
- در فرآیند توسعه محصول جدید، باید اطلاعات مربوط به محصول به صورت کامل با توجه به محصولات مشابه در بازار و دریافت نظرات مشتریان آینده، استخراج گردد و از آن در پیش بینی تقاضای محصول جدید استفاده شود. این پیش بینی می تواند تعیین کننده زمان عرضه محصول به بازار و استراتژی جایگزینی محصول باشد.
- در صورتی که بتوان محصول قدیم را به یکباره حذف نمود و محصول جدید را کاملاً جایگزین آن کرد ریسک به کار گرفتن استراتژی جایگزینی تک محصولی کاهش می یابد و گزینه مناسب تری خواهد بود. زیرا هزینه اجرای این استراتژی 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 می شود. اگر موجودی محصول قدیمی هنگام معرفی محصول جدید زیاد باشد، ریسک افزایش هزینه های ناشی از انهدام و فروش از دست رفته زیاد می شود.
- حال اگر پیش بینی تقاضا کاملاً قابل اطمینان نباشد و یا پیش بینی سفارش برای محصول قدیم بعد از عرضه محصول جدید وجود دارد، استراتژی جایگزینی دو محصولی توصیه می شود. این استراتژی ریسک کمتر و هزینه اجرای بیشتری دارد و چون در طول زمان و به صورت پیوسته اجرا می شود، قابلیت تغییر پس از شروع اجرا را دارد. این استراتژی هماهنگی زیاد اعضای زنجیره تامین را برای عرضه مناسب می طلبد.

- استفاده از استراتژی جایگزینی دو محصولی در مطالعه موردی نسبت به بهترین حالت استفاده از استراتژی تک محصولی، ۶٪ مطلوب تر بوده است.
- به علت بالا بودن هزینه های عقد قرارداد برای شرکت مورد مطالعه، بهتر است تأمین کنندگانی انتخاب بشوند که از ظرفیت بالاتری برخوردار هستند، این موضوع همچنین زنجیره را در برابر تغییرات ناگهانی تقاضا تا حدی آماده می کند.
- برای مقبول بودن محصول جدید در بازار، علاوه بر فشار شرکت با کم کردن تولید محصول قدیمی، باید محرک های دیگری مانند قیمت مناسب یا نوآور بودن نیز در نظر گرفت. قیمت پایین تر محصول جدید منجر به سود کمتر در زمان معرفی می شود، اما سبب اطمینان از رسیدن به دوره بلوغ محصول نیز خواهد شد.
- در تخمین عمر محصول با توجه به میزان نوآور بودن محصول، خطای زیادی وجود دارد. بنابراین بهتر است سازمان ها خود را برای چندین سناریوی مختلف از عمر محصول آماده کنند.

۹. نتیجه گیری

در این پژوهش به مدل سازی زنجیره تامین برای توسعه محصولات جدید و پیاده سازی آن بر روی یک نمونه واقعی پرداخته شده است. در این مسأله، میزان تولید اجزای زنجیره، سطح موجودی تسهیلات، ارسال کالا، نحوه جایگزینی محصول جدید با قدیم و ارتباطات میان اجزاء، جزو تصمیمات این مدل هستند. مدل ساختار یک زنجیره تامین ۴ سطحی شامل تأمین کنندگان قطعات، تولید کنندگان، توزیع کنندگان و گروه مشتریان را به تصویر می کشد و سعی در بهینه سازی سود تولیدکننده و توزیع کننده دارد. هزینه های تولید، خرید، نگهداری، عقد قرارداد، حمل و نقل، ناراضی مشتریان، طراحی محصول و بیکاری منابع و در مقابل درآمد فروش، در تابع هدف مدل ریاضی هستند.

مدل ریاضی ارائه شده با استفاده از داده های مطالعه موردی صنعت لوازم دیجیتالی صوتی حل شده است. حل به صورت دقیق و با نرم افزار بهینه سازی گمز انجام می شود. نتایج حل در بخش ۴ 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 مقاله ارائه شده اند. پارامتر قیمت فروش به مشتریان نیز به عنوان تأثیرگذارترین پارامتر

- Product Development Outsourcing and Supplier-Buyer Interdependence,” *Glob. J. Flex. Syst. Manag.*, vol. 4, pp. 31–41, Dec. 2003.
- [8] K. J. Petersen, R. B. Handfield, and G. L. Ragatz, “Supplier integration into new product development: coordinating product, process and supply chain design,” *J. Oper. Manag.*, vol. 23, no. 3–4, pp. 371–388, Apr. 2005, doi: 10.1016/j.jom.2004.07.009.
- [9] C. Leng Tan and M. Tracey, “Collaborative New Product Development Environments: Implications for Supply Chain Management,” *J. Supply Chain Manag. Glob. Rev. Purch. Supply*, Aug. 2007.
- [10] R. van Hoek and P. Chapman, “How to move supply chain beyond cleaning up after new product development,” *Supply Chain Manag. Int. J.*, vol. 12, no. 4, pp. 239–244, Jun. 2007, doi: 10.1108/13598540710759745.
- [11] Z. G. Zacharia and J. T. Mentzer, “The Role of Logistics in New Product Development,” vol. 28, pp. 83–110, 2007.
- [12] D. B. Parker, G. A. Zsidisin, and G. L. Ragatz, “Timing And Extent Of Supplier Integration In New Product Development: A Contingency Approach,” *J. Supply Chain Manag.*, vol. 44, p. 71, Jan. 2008.
- [13] C.-H. Liu, “SUPPLY CHAIN COLLABORATION DURING NEW PRODUCT DEVELOPMENT: ASIAN PERSPECTIVES,” *J. Chin. Inst. Ind. Eng.*, vol. 26, no. 3, pp. 205–214, Jan. 2009, doi: 10.1080/10170660909509137.
- [14] M. Pero, N. Abdelkafi, A. Sianesi, and T. Blecker, “A framework for the alignment of new product development and supply chains,” *Supply Chain Manag. Int. J.*, vol. 15, no. 2, pp. 115–128, Mar. 2010, doi: 10.1108/13598541011028723.
- [15] A. K. W. Lau, “Supplier and customer involvement on new product performance: Contextual factors and an empirical test from manufacturer perspective,” *Ind. Manag. Data Syst.*, vol. 111, no. 6, pp. 910–942, Jun. 2011, doi: 10.1108/02635571111144973.
- [16] T. Feng and D. Wang, “Supply chain involvement for better product development performance,” *Ind. Manag. Data Syst.*, vol. 113, no. 2, pp. 190–206, Mar. 2013, doi: 10.1108/02635571311303532.
- [17] S. C. Graves and S. P. Willems, “Optimizing the Supply Chain Configuration for New Products,” *Manag. Sci.*, vol. 51, no. 8, pp. 1165–1180, Aug. 2005, doi: 10.1287/mnsc.1050.0367.

شناسایی شد که تغییر ۱۰٪ آن منجر به ۱۶٪ بهبود در تابع هدف می‌شود.

همچنین نتایج حل مسأله با ۶ حالت مختلف استراتژی تک‌محصولی مقایسه شده است. در این قیاس، استراتژی جایگزینی دو محصولی به میزان ۶٪ نتیجه بهتری به نسبت سایر حالات ارائه می‌دهد.

حالت تک‌محصولی در واقع مدل تغییر یافته مدل پایه‌ی این مسأله است که از مقاله جعفریان و بشیری گرفته شده است و در این قسمت مقایسه مدل ریاضی این دو مقاله 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 بدست آورد و همواره در طول زمان بر روی یکدیگر تأثیر بگذارند. همچنین به دلیل نبودن اطلاعات کامل راجع به محصول جدید، در نظر گرفتن عدم قطعیت و افزایش ظرفیت برای مقابله با افزایش ناگهانی تقاضا، می‌تواند زمینه‌ای برای تحقیقات آتی باشد.

مراجع

- [1] M. Jafarian and M. Bashiri, “Supply chain dynamic configuration as a result of new product development,” *Appl. Math. Model.*, vol. 38, no. 3, pp. 1133–1146, Feb. 2014, doi: 10.1016/j.apm.2013.08.025.
- [2] A. Eriksson and T. Katana, “Planning a product rollover - Master Thesis.” Tekniska Hogskolan university, 2015.
- [3] corey Bilington, H. L. Lee, and C. S. Tang, “Succesful Strategies for product Rollovers,” *Massachusetts Inst. Technol.*, vol. 39, Spring 1998.
- [4] W. S. Lim and C. S. Tang, “Optimal product rollover strategies,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 174, no. 2, pp. 905–922, Oct. 2006, doi: 10.1016/j.ejor.2005.04.031.
- [5] T. Ibaraki and N. Katoh, *Resource allocation problems: algorithmic approaches*. Cambridge, Mass: MIT Press, 1988.
- [6] R. B. Handfield, G. L. Ragatz, and K. J. Petersen, “Involving Suppliers in New Product Development,” *Calif. Manage. Rev.*, vol. 42, no. 1, pp. 59–82, Oct. 1999, doi: 10.2307/41166019.
- [7] J. H. Mikola and T. Skjoett-Larsen, “Early Supplier Involvement: Implications for New

- integrating virtual cellular manufacturing with supply chain management considering new product development,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 145, p. 106565, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.cie.2020.106565.
- [28] E. Rezaei, M. M. Paydar, and A. Sattar Safaei, “Customer relationship management and new product development in designing a robust supply chain,” *RAIRO - Oper. Res.*, vol. 54, no. 2, pp. 369–391, Mar. 2020, doi: 10.1051/ro/2018107.
- [18] M. Amini and H. Li, “Supply chain configuration for diffusion of new products: An integrated optimization approach,” *Omega*, vol. 39, no. 3, pp. 313–322, Jun. 2011, doi: 10.1016/j.omega.2010.07.009.
- [19] B. Nepal, L. Monplaisir, and O. Famuyiwa, “A multi-objective supply chain configuration model for new products,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 49, no. 23, pp. 7107–7134, Dec. 2011, doi: 10.1080/00207543.2010.511294.
- [20] H. Li and M. Amini, “A hybrid optimisation approach to configure a supply chain for new product diffusion: a case study of multiple-sourcing strategy,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 50, no. 11, pp. 3152–3171, Jun. 2012, doi: 10.1080/00207543.2011.597789.
- [21] J. Gaur, M. Amini, and A. K. Rao, “Closed-loop supply chain configuration for new and reconditioned products: An integrated optimization model,” *Omega*, vol. 66, pp. 212–223, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.omega.2015.11.008.
- [22] M. Amini and H. Li, “The impact of dual-market on supply chain configuration for new products,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 53, no. 18, pp. 5669–5684, Sep. 2015, doi: 10.1080/00207543.2015.1058537.
- [23] H. Jahani, B. Abbasi, and F. Alavifard, “Supply chain network reconfiguration in new products launching phase,” in *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Singapore, Dec. 2017, pp. 95–99. doi: 10.1109/IEEM.2017.8289858.
- [24] A. Negahban and M. Dehghanimohammadabadi, “Optimizing the supply chain configuration and production-sales policies for new products over multiple planning horizons,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 196, pp. 150–162, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.ijpe.2017.11.019.
- [25] Z. Alizadeh Afrouzy, S. H. Nasser, and I. Mahdavi, “A genetic algorithm for supply chain configuration with new product development,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 101, pp. 440–454, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.cie.2016.09.008.
- [26] Z. Alizadeh Afrouzy, S. H. Nasser, I. Mahdavi, and M. M. Paydar, “A fuzzy stochastic multi-objective optimization model to configure a supply chain considering new product development,” *Appl. Math. Model.*, vol. 40, no. 17–18, pp. 7545–7570, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.apm.2016.03.015.
- [27] A. Rostami, M. M. Paydar, and E. Asadi-Gangraj, “A hybrid genetic algorithm for