

## **Integrated production-distribution planning in a reverse supply chain via multi-objective mathematical modeling; case study in a high-tech industry**

**Saeed Rezaie Moghadam**

PhD student in Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering, Malek-e-Ashtar University of Technology, Isfahan, Iran, kasra\_kk2002@yahoo.com

**Ommolbanin Yousefi\***

Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Malek-e-Ashtar University of Technology, Isfahan, Iran, yousefi\_1302@yahoo.com

**Mehdi Karbasian**

Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Malek-e-Ashtar University of Technology, Isfahan, Iran, mkarbasian@yahoo.com

**Bijan Khayambashi**

Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Malek-e-Ashtar University of Technology, Isfahan, Iran, khayambj@yahoo.com

**Abstract:** This article presents an integrated production-distribution plan in a reverse supply chain via multi objective mathematical modeling in a high-tech environment. The objectives of the proposed model include 1) minimizing total costs including production, maintenance, inventory and manpower costs, 2) maximizing customer and supplier satisfaction, and 3) maximizing the quality of manufactured products. The supply chain consists of several suppliers, a producer, customers, a repair center to repair the customer's goods and a repair and maintenance center for repairing or disposing products that have passed their warranty period. Among the contributions of this research, we can consider such issues as considering the quality of products manufactured, returned or supplied from suppliers in order to realize the win-win relationship with suppliers, using the maximum capacity of suppliers and supply of parts by each reconstruction center. In order to validate the model, it is solved for some examples using Lingo software and LP metric method.

**Keywords:** Integrated Production Planning, Supply, Production, Distribution, Reverse Supply Chain, Multi-objective, Mathematical Model, L-P Metric Method

**Introduction:** In reverse supply chain, what is addressed is recycling and reconstructing the products which are spending final stage of their life cycle. In this regard, after gathering and inspecting the returned products, they are partitioned in to recyclable and non-recyclable (scrap) products (Mirzapour et. al, 2013).

Aggregate production planning is a process that determines the optimal level of production and stock inventory to meet the demands for the product in a long term period which considering the capacity limitation of the means and resources (Gholamian et al, 2015).

In this research, investigation is regarding designing and solving a mathematics model for aggregate production planning in reverse supply chain in a high-tech industry. High-tech products are usually made up of chemical, mechanical, and electronic components. Inspection of the products in the supply chain of latter industry is of demolition type, that is, in case where the quality of the products is not confirmed by the customer, they are in masse returned to the supplier. The returned products are either demolished in the re-construction units or delivered to the producer after re-construction. Also, in case of the non-usage of the products by the customer after technical warranty expiration, they are dispatched to the repair and maintenance unit and after undergoing correctional measures, they are re-dispatched to the customer or producer.

The aim of the present research is to conduct an investigation into the performance manner of the producer in making decision regarding producing the afore-mentioned products. In order to achieve objectives, the producer can manufacture the required products on his/her own plant. Accordingly, he/she should decide on considering the capacity of available means and facilities, production expenditures, and the quality of the produced commodity, what measure of products to produce at regular working hours, and what amount to produce at non-regular (over-time) working hours. In his/her aggregate production planning, he/she might also decide on outsourcing the production of a portion of his/her required products to outside suppliers. Such planning becomes of utmost importance since he/she should decide- while considering such requisite indices and criteria as expenditure, quality level, and priority- what percentage of the products to delegate to what supplier. Along this line in the proposed model, a win-win relation with the suppliers is deemed essential. Thus, in the model offered

---

\* Corresponding author

here, the optimization of the customer's satisfaction is taken into account so that- by considering customer's prioritization- the shortage rate of the unmet demands on the part of the supplier is kept at minimum.

**Materials and Methods:** The supply chain of the proposed model contains three levels of suppliers, producer, consumers and a center for reconstruction, repair and maintenance. In this chain, a producer starts out by sending several merchandise to customers. The process is carried out in a way that part of customers' needs are produced by the producer himself/herself at regular and overtime workhouse. Another portion of the producer's needs are met by different suppliers, which are shipped to the producer who sends them to the customers. Eventually the goods delivered to the customers, in case they are defective, are returned by customers to the reconstruction center, where, after undergoing correctional actions, are sent again to the producer, so in later cycles, they are re-sent to the customers. Additionally, when the expiry data of the product's warranty arrives, it is shipped to the reconstruction center by the customers, and if possible, after receiving necessary repairs and corrections, are re-sent to the customers; otherwise, the product is de-assembled and returned to the producer. Hence, in the design of the applied-extended model proposed in this research study, such cases as determining the contribution of the suppliers, reconstruction centers, repair and maintenance, production at regular hours, and overtime manufacture of each of the products as well as the amount of dispatched products to each of the customers are among decisions considered in the latter model. Moreover, such objectives as minimizing producer's cost including production expenditures, cost of retaining and inventory deficit, costs related to supplying products through outsourcing, maximizing the quality of the manufactured products at regular time, overtime, and production by suppliers or procuring products from repair, maintenance and reconstruction centers, where each one has a distinct quality are among parameters considered in the propounded model. Also, special attention is paid to the assessment of suppliers and customers so that optimum satisfaction of the latter two groups is provided.

Thus, the proposed model contains 4 objective functions and about 20 constraints. The objective functions are minimizing total costs including production, maintenance, inventory and manpower costs, maximizing customer and supplier satisfaction and maximizing the quality of manufactured products. The constraints are such as inventory balance, capacity for holding, firing and hiring of force work, over time and regular time limit and so on. Finally the proposed model has been solved for the case study and one numerical example using Lingo software and LP metric method.

**Results and Discussion:** The developed model has been solved by L-P metric method for case study and numerical example from the literature (Mirzapour et al, 2011). In each case, by changing P and weight of objectives ( $w_i$ ), the Pareto optimal solutions (POS) have been delivered. In the case study for two values of P, some Pareto optimal solutions ( $Z_i$ ) have been shown in Table 1. In the article, for more value of P and  $w_i$  the model has been solved and more POSs have been delivered. For each POS, the optimum value of decision variables from can be determined as the outputs of the model.

Table1- some Pareto optimal solutions

p	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$
1	0.1	0.2	0.4	0.3	0	157843.2	0	0
	0.6	0.4	0	0	0	157843.2	0	0
2	0.2	0.4	0.3	0.1	1.396537	130326.1	8508.600	0
	0.1	0.2	0.3	0.4	1.505717	13036.6	8508.600	0

**Conclusion:** In this article, a multi objective model for aggregate planning in a reverse supply chain for a high-tech industry has been developed. The proposed model contains four objective functions and 20 constraints. The model has been solved by L-P metric method via LINGO software for the case study and a numerical example from the literature. For future research, uncertainty conditions can be considered in the model.

**References**

Gholamian, N., Mahdavia, I., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2015). "Multi-objective multi-productmulti-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty: fuzzy multi-objective optimization". *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 29(2), 149-165.

Mirzapour Al-e-hashem, S.M.J., Malekly, H., & Aryanezhada, M.B. (2011). "Multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty", *International Journal of Production Economics*, 134(1), 28-42.

Mirzapour Al-e-hashem, S.M.J., Babolib, A. , & Sazvarb, C. (2013). "A stochastic aggregate production planning model in a green supply chain: Considering flexible lead times, nonlinear purchase and shortage cost functions", *European, Journal of Operational Research*, 230(1), 26-41.

مدیریت تولید و عملیات، دوره ۹، پیاپی ۱۷، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۷

دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۵ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۹

صص: ۷۶-۵۷

## برنامه‌ریزی تولید یکپارچه تأمین، تولید و توزیع در زنجیره تأمین برگشت پذیر

### به کمک مدل‌سازی ریاضی چندهدفه: مطالعه موردی

#### در یک صنعت High-Tech

سعید رضایی مقدم<sup>۱</sup>، ام‌البنین یوسفی<sup>۲\*</sup>، مهدی کرباسیان<sup>۳</sup>، بیژن خیام‌باشی<sup>۴</sup>

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان، ایران، kasra\_kk2002@yahoo.com
- ۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان، ایران، yousefi\_1302@yahoo.com
- ۳- دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان، ایران، mkarbasian@yahoo.com
- ۴- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان، ایران، khayambj@yahoo.com

**چکیده:** یکی از مهم‌ترین تصمیماتی که در زنجیره تأمین گرفته می‌شود، مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی است؛ به نحوی که در آن برنامه تولید بهینه تمام محصولاتی که از منابع و تجهیزات مشترک استفاده می‌کنند در افق زمانی میان‌مدت تعیین می‌شود. در مقاله حاضر مدل ریاضی چندهدفه برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی برای زنجیره تأمین برگشت‌پذیر طراحی شده است. زنجیره تأمین مورد مطالعه سه‌سطحی و شامل چندین تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و تعدادی مشتری است. این زنجیره متشکل است از مرکز بازسازی برای اصلاح کالاهای مرجوعی از مشتریان و مرکز نگهداری و تعمیرات برای ترمیم یا انهدام محصولاتی که مدت زمان گارانتی آنها سپری شده است و به وسیله مشتری عودت می‌شوند. در مدل پیشنهادی هدف نخست عبارت است از حداقل کردن هزینه‌ها (شامل هزینه‌های تولید کالا، تأمین، نگهداری و کمبود موجودی و هزینه‌های مرتبط با نیروی انسانی)، دومین و سومین هدف نیز به ترتیب حداکثر کردن رضایت مشتریان و رضایت تأمین‌کنندگان است. همچنین کیفیت محصولات تولیدی هدف دیگر مدل است. برای حل مدل پیشنهادی از روش L-P متریک و نرم‌افزار LINGO v14.0.1.55 استفاده شده است. مدل پیشنهادی یک‌بار با مثال عددی و بار دیگر با استفاده از داده‌های واقعی برگرفته از زنجیره تأمین برگشت‌پذیر مربوط به یک صنعت Military حل شده است و خبرگان صنعت مربوطه، نتایج حاصله را تأیید کرده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** برنامه‌ریزی تولید یکپارچه تأمین، تولید و توزیع، زنجیره تأمین برگشت‌پذیر، مدل ریاضی چندهدفه، روش L-P متریک

## مقدمه

امروزه شیوه‌های مدیریت تولید سنتی که یکپارچگی کمتری را در فرایندهایشان دنبال می‌کردند کارایی خود را از دست داده‌اند و زنجیره تأمین رویکردی یکپارچه برای مدیریت مناسب جریان مواد، کالا، اطلاعات و مالی، توانایی پاسخگویی به شرایط مختلف را دارد (صادقی مقدم و مومنی، ۱۳۸۸). زنجیره تأمین مؤثر، کارآمد و پایدار، کشورها و شرکت‌ها را برای مقابله با افزایش اغتشاشات زیست‌محیطی و فشارهای رقابتی شدید آماده می‌کند (پیشوایی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱)؛ از این رو نحوه طراحی زنجیره تأمین مخصوصاً زنجیره تأمین برگشت‌پذیر برای هر صنعتی امری بسیار حیاتی محسوب می‌شود. مطالعه ادبیات زنجیره تأمین نشان می‌دهد زنجیره تأمین برگشت‌پذیر از سال ۲۰۰۵، به رسمیت شناخته شده است و پژوهش‌های انجام شده در این زمینه در حال افزایش است (پوکهارل و موتا<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹).

در شبکه زنجیره تأمین برگشت‌پذیر بازیافت محصولاتی انجام می‌شود که در پایان عمر خود قرار دارند. در این جریان، محصولات برگشتی پس از جمع‌آوری و بازرسی به دو گروه شامل محصولات احیاشدنی و محصولات قراضه تقسیم می‌شوند. محصولات احیاشدنی به مراکز احیا حمل و در آنجا برحسب کیفیت، عملیات ساخت مجدد (تعمیر) روی آنها انجام می‌شود. در غیر این صورت، عملیات جداسازی روی آنها انجام می‌شود. قطعات درخور استفاده، در عملیات تولید محصول جدید به کار گرفته می‌شوند. گروه دوم یعنی محصولات قراضه به مرکز انهدام حمل و عملیات انهدام ایمن روی آنها انجام می‌شود.

فرآیند کلی زنجیره تأمین برگشت‌پذیر که در بالا ذکر شد در برنامه‌ریزی تولید مربوط به تولیدکننده تأثیرگذار است؛ در واقع در چرخه این فرآیند برگشتی صرفه‌جویی‌هایی در هزینه تولید، صرفه‌جویی در استفاده از امکانات جدید و نیز استفاده مطلوب از تسهیلات ایجاد می‌شود و در تصمیمات تولیدکننده برای طراحی برنامه تولید ادغامی مؤثر است. برنامه‌ریزی تولید ادغامی فرایندی است که سطح بهینه تولید، موجودی و نیروی انسانی را برای رویارویی با تقاضای تمام محصولات در یک دوره زمانی میان‌مدت با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت منابع و امکانات تعیین می‌کند (ژانگ و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۲). هدف اصلی برنامه‌ریزی ادغامی، شناسایی پارامترهای عملیاتی مانند نرخ تولید، نیروی کار، اضافه‌کاری، پیمانکاری و کمبود موجودی در دسترس در بازه زمانی مشخص و محدود است (جعفرنژاد و عموزاده هدیرجی؛ ۱۳۹۱).

در این پژوهش طراحی و حل مدلی ریاضی برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی در یک زنجیره تأمین برگشت‌پذیر به همراه مطالعه موردی در صنعت High-Tech بررسی می‌شود. از آنجایی که محصولات این صنعت معمولاً از اجزاء شیمیایی، مکانیکی الکترونیکی تشکیل شده‌اند، در زنجیره تأمین صنعت مدنظر در صورت تاییدنشدن کیفیت از طریق کارفرما به طور کامل بازگشت داده می‌شوند. این محصولات بازگشتی در بخش بازسازی مهندم یا بعد از بازسازی به تولیدکننده تحویل داده می‌شوند. همچنین در صورت استفاده‌نشدن محصولات به وسیله مشتری بعد از سپری شدن دوره گارانتی فنی که معمولاً بین ده تا پانزده سال است، این محصولات به بخش نگهداری و تعمیرات (نت) صنعت فرستاده می‌شوند که پس از انجام اقدامات اصلاحی به تولیدکننده و یا دوباره به مشتری ارسال می‌شوند.

هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی چگونگی عملکرد تولیدکننده در اخذ تصمیمات مربوط به نحوه تولید و تأمین محصولات مذکور است. در این راستا تولیدکننده می‌تواند بخشی از محصولات لازم را خود به تنهایی تولید کند؛ بنابراین باید تصمیم بگیرد که چه تعدادی از آنها را با توجه به ظرفیت تسهیلات و امکانات موجود، هزینه‌های تولید و نیز کیفیت محصولات تولیدی در ساعات عادی تولید و چه تعدادی را در ساعات اضافه‌کاری تولید کند. همچنین ممکن است در برنامه‌ریزی تولید ادغامی تولیدکننده تصمیم به برون‌سپاری تولید بخشی از محصولات مورد نیاز خود به تأمین‌کنندگان بگیرد. چنین برنامه‌ریزی نیز از این جنبه که چه نسبتی از محصولات را به کدام یک از تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن شاخص‌ها و معیارهای لازم برای یک تأمین‌کننده مانند هزینه، سطح کیفیت و الویت مدنظر ارجاع دهد حائز اهمیت است. در این راستا در مدل، رسیدن به حداکثر رضایت‌مندی تأمین‌کنندگان مدنظر است. در مدل پیشنهادی، بهینه‌سازی رضایت‌مندی مشتریان نیز در نظر گرفته شده است؛ به نحوی که با توجه به الویت‌بندی موجود از مشتریان میزان تقاضای برآورده‌نشده به وسیله تولیدکننده حداقل شود.

بنابراین در طراحی مدل کاربردی - توسعه یافته بهینه‌سازی تصمیماتی از قبیل میزان تولید محصول به وسیله تولیدکننده به تفکیک ساعات عادی و اضافه‌کار، سهم تأمین تقاضای مشتریان از مراکز بازسازی و نت و هریک از تأمین‌کنندگان، میزان محصول ارسالی به هریک از مشتریان و برنامه‌ریزی نیروی کار در نظر گرفته شده است؛ به نحوی که در این بهینه‌سازی اهدافی از قبیل حداقل کردن هزینه‌های تولیدکننده نظیر هزینه‌های تولید، هزینه‌های نگهداری و کسری موجودی، هزینه تأمین محصولات از طریق برون‌سپاری، حداکثر کردن کیفیت محصولات تولیدی در ساعات عادی، اضافه‌کاری، تولید به وسیله تأمین‌کنندگان و یا تهیه قطعات از مراکز نت و بازسازی در نظر گرفته شده است که هریک دارای کیفیتی متفاوت‌اند. در ادامه پژوهش حاضر ابتدا مروری بر پیشینه پژوهش بیان می‌شود. سپس مدل ریاضی پیشنهادی معرفی و بعد از آن روش حل مدل تشریح می‌شود. در پایان نیز یک‌بار مدل با داده‌های استخراج شده از صنعت مورد مطالعه حل و سپس با مثال عددی در ابعاد بزرگ‌تر حل خواهد شد.

### مروری بر پیشینه پژوهش

هولت و همکاران<sup>۴</sup> (۱۹۵۶)، دریافتند برنامه‌ریزی ریاضی یکی از رویکردهای شناخته‌شده و مورد قبول در مسائل برنامه‌ریزی تولید ادغامی است؛ به نحوی که نخستین مدل‌سازی در زمینه برنامه‌ریزی تولید ادغامی در قالب مدل برنامه‌ریزی خطی را با هدف حداقل کردن هزینه با در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع ارائه کردند.

قاسمی و همکاران (۱۳۹۳)، مدل برنامه‌ریزی خطی مختلطی را برای طراحی و برنامه‌ریزی شبکه زنجیره تأمین یکپارچه با جریان مستقیم و معکوس، با در نظر گرفتن هم‌زمان تولید، توزیع و فعالیت‌های لجستیک معکوس در نظر گرفتند.

هدف اصلی مدل این پژوهش، حداکثر کردن سود است. برای ارزیابی اثربخشی امکان در نظر گرفتن برون‌سپاری به تولیدکننده طرف سوم و ساعات کاری اضافی در جواب بهینه، مثال‌های زیادی با و بدون در نظر گرفتن این امکان حل شده و نتایج بهبود منطقی در جواب‌های بهینه را نشان داده است. نتایج این پژوهش برای حل مسائل با اندازه کوچک و متوسط با الگوریتم‌های فرا ابتکاری نتایج مشابهی را با الگوریتم دقیق نشان می‌دهد.

رفیعی و همکاران (۱۳۹۱) برنامه‌ریزی یکپارچه تولید و توزیع در زنجیره‌های تأمین را در شرایط عدم قطعیت مطالعه کردند.

هدف اصلی این پژوهش طراحی زنجیره تأمین با در نظر گرفتن شرایطی از دنیای واقعی است که تا آن موقع به این موضوع توجه نشده بود. در این مطالعه یک زنجیره تأمین سه سطحی چندمحصولی با محدودیت ظرفیت تولید، توزیع و انبارش کالا در نظر گرفته شده است. با توجه به پیچیدگی مسئله از الگوریتم ژنتیک برای حل آن استفاده شده است. از جمله اهداف این مطالعه تعیین مقدار تولید، کمبود و موجودی هر دوره به تفکیک محصول برای هر تأمین کننده، حداقل کردن هزینه زنجیره تأمین با توجه به سناریوهای مختلف و تعیین تعداد تأمین کنندگان و توزیع کنندگان بهینه برای زنجیره تأمین هستند.

نام و لگندران<sup>۵</sup> (۱۹۹۲)، در مرور کاملی بر مدل‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی نشان دادند حجم کمتری از پژوهش‌های انجام شده تا سال ۱۹۲۲ مربوط به مدل‌های ریاضی چندهدفه بوده است. در پژوهشی که حجبی و محمد رحیمی (۱۳۷۸)، برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی را در برنامه‌ریزی تولید ادغامی بررسی کرده‌اند، مدل پیشنهادی آنها برای حل مسائل تصمیم‌گیری برنامه‌ریزی تولید ادغامی چندمحصولی، در محیط فازی به کار برده شد. این مدل سعی دارد هزینه تولید کل، هزینه نگهداری و سفارشات عقب افتاده و نرخ تغییرات در نیروی انسانی را با در نظر گرفتن سطح موجودی، نیروی انسانی، ظرفیت و فضای انبار و ارزش زمانی پول حداقل کند.

مسعود وهوانگ<sup>۶</sup> (۱۹۸۰)، برنامه‌ریزی تولید ادغامی را انجام و مدلی با اهداف چندگانه را ارائه دادند. در این مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی با محدودیت منابع مطرح و با الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک بررسی شد. در مدل به اهدافی مانند حداکثرسازی سود، حداقل کردن هزینه، حداقل سازی مقدار موجودی‌ها، حداقل کردن کمبود کالا، حداکثر کردن استفاده از امکانات موجود، حداقل کردن زمان اضافه کاری و پارامترهایی مانند ساعت کار نیروی انسانی برای تولید هر واحد محصول، زمان استفاده از ماشین برای تولید هر واحد از محصول، هزینه تولید هر واحد محصول، هزینه اضافه کاری تولید هر واحد محصول، ظرفیت ماشین در زمان عادی تولید هر واحد محصول و نظایر آن اشاره می‌شود.

چراغعلی خان و خوش الحان (۲۰۰۸)، مدل یکپارچگی برنامه‌ریزی تولید ادغامی با هزینه نگهداری و تعمیرات را ارائه داده‌اند. در مدل پیشنهادی آنها میزان تولید بهینه و زمان بهینه انجام نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه به صورت هم‌زمان تعیین می‌شوند. همچنین هزینه‌های تولید و نیروی کار، ساعات کار عادی و اضافه کاری، هزینه محصولات از تأمین کننده، هزینه نگهداری، کسری موجودی و خرابی سیستم مدنظر قرار گرفته می‌شود.

جبارزاده و همکارانش (۱۳۹۲)، نیز مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی با اهداف حداکثر کردن سود و حداکثر کردن ثبات تولید را ارائه کردند. مدل حاصله قادر است ضمن در نظر گرفتن محدودیت‌های تولید و نیروی انسانی، مقادیر بهینه تولید، فروش، موجودی، استخدام و اخراج کارکنان را به صورت هم‌زمان تعیین کند.

در مطالعه‌ای دیگر محمدزاده و زارع (۱۳۹۳)، مدل بهینه‌سازی استوار برنامه تولید ادغامی در زنجیره تأمین سبزی را در شرایط عدم قطعیت انتخاب تأمین کنندگان، تولید کنندگان و توزیع کنندگان ارائه و نتایج آن را بیان کردند. در مدل پیشنهادی سه معیار قیمت، کیفیت و زمان تأخیر معیارهای اصلی برای انتخاب اعضای زنجیره مدنظر قرار داده شده است. پارامترهای مدل مانند تقاضا، قیمت خرید و فروش، هزینه‌های تولید، نگهداری و کمبود به علت ماهیتشان به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده است و برای مقابله با عدم قطعیت پارامترها از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده می‌شود.

بایکاسگلو<sup>۷</sup> (۲۰۱۰)، برنامه‌ریزی تولید ادغامی با اهداف چندگانه را در الگوریتم فراابتکاری جستجوی ممنوعه مطالعه کرد. در این مطالعه برنامه‌ریزی تولید ادغامی برای برنامه‌ریزی ظرفیت میان‌مدت برای افق برنامه‌ریزی ۲ تا ۱۸ ماهه تعریف شده است؛ اما با توجه به نوع صنعت و تولیدات سازمان، این بازه زمانی می‌تواند متغیر باشد و بازه‌های زمانی طولانی‌تری را نیز دربرگیرد. در این مدل متغیرهای تصمیم مانند موجودی محصول در هر دوره، محصولات برگشتی، تعداد نیروی کار در هر دوره و سود مطرح می‌شوند.

استیفن و همکارانش<sup>۸</sup> (۲۰۱۰)، برای حل مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی عدد صحیح مختلط چندهدفه با روش برنامه‌ریزی آرمانی سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری ارائه کردند. در این مدل به مجموعه محصول تولیدی، مجموعه واحدهای تولیدی، مجموعه دوره‌های تولیدی، حداقل کردن تعداد نیروی کار موجود در کارخانه در دوره زمانی مدنظر، حداقل کردن کمبود موجودی، حداقل کردن محصول برگشتی و نظایر آن توجه می‌شود.

میرزا پور و همکارانش<sup>۹</sup> (۲۰۱۱)، مدل چندهدفه بهینه‌سازی استوار را برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی چندمحصولی در زنجیره تأمین در شرایط عدم اطمینان مطالعه کردند. در این پژوهش زنجیره تأمین شامل چندین تأمین‌کننده، چندین تولیدکننده و مشتریان است و مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی چنددوره‌ای، چندمحصولی با شرایط عدم قطعیت در آن مطرح می‌شود. هدف نخست شامل به حداقل رساندن هزینه تولید، استخدام، اخراج و هزینه آموزش، مواد اولیه، هزینه نگهداری موجودی محصول، حمل و نقل و هزینه کمبود است. هدف دوم به حداقل رساندن مجموع حداکثر مقدار کمبود در میان مشتریان برای حداکثر کردن رضایت مشتریان است.

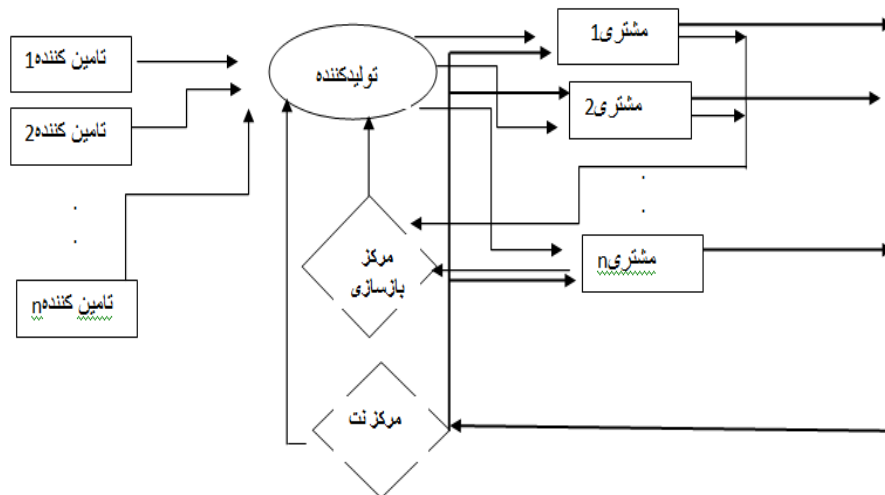
میزراپور و همکارانش<sup>۱۰</sup> (۲۰۱۲)، مدل چندهدفه‌ای را برای حل مشکل برنامه‌ریزی تولید ادغامی برای چند دوره و چند محصول برای افق زمانی میان‌مدت در شرایط عدم قطعیت ارائه دادند. در هدف نخست این مدل تلاش می‌شود تا مجموع ارزش موردانتظار و هزینه کلی تعداد موجودی، هزینه اضافه‌کاری، پیمانکاری، سفارشات برگشتی، ظرفیت ماشین‌آلات و ظرفیت انبار حداقل شوند. در تابع هدف دوم نیز حداقل کردن کمبود در میان تمام مشتریان مدنظر قرار می‌گیرد. علاوه بر آن در این مدل به حداکثر رساندن بهره‌وری کارگران نیز به کمک سطح‌بندی کارگران در K سطح مختلف مدنظر قرار می‌گیرد. پس از آن، مدل با ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و اپسیلون-محدودیت حل می‌شود.

غلامیان و همکارانش<sup>۱۱</sup> (۲۰۱۵)، پژوهشی درباره برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند محصول در مجموع چند واحد در یک زنجیره تأمین در شرایط عدم قطعیت با رویکرد فازی و بهینه‌سازی چندهدفه ارائه دادند. در این مدل پارامترهای فازی شامل هزینه هر ساعت عادی و اضافه‌کاری، هزینه تأمین‌کنندگان به‌ازای هر واحد مواد خام، هزینه حمل از عرضه‌کننده، هزینه مواد خام فراهم‌شده به وسیله تأمین‌کننده، هزینه استخدام، اخراج و آموزش کارکنان، هزینه نگهداری موجودی محصول، هزینه حمل به مشتری، هزینه نگهداری مواد خام، هزینه جریمه برای کسری محصول ارسالی به مشتری، قیمت فروش هر واحد محصول به مشتری و تعداد تقاضای مشتری است. متغیرهای تصمیم نیز تعداد محصول تولیدی در ساعات عادی و اضافه‌کاری، میزان محصول تأمین‌کننده، تعداد کارکنان، تعداد مواد اولیه، سطح کیفیت کارکنان، تعداد محصول نهایی ارسالی به مشتری، موجودی محصول نهایی و کسری موجودی محصول است.

میرزا پور و همکاران<sup>۱۲</sup> (۲۰۱۳)، مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی در یک زنجیره تأمین سبز را با توجه به زمان تأخیر انعطاف‌پذیر، با توابع هزینه کمبود و خرید غیرخطی ارائه کردند. در این مقاله پژوهشگران در پی توسعه یک روش برنامه‌ریزی تولید ادغامی برای چند دوره، چند محصول در زنجیره تأمین سبز برای افق زمانی میان‌مدت با فرض عدم اطمینان تقاضا هستند. در مدل ارائه شده به ویژگی‌هایی مانند هزینه حمل، رابطه بین زمان تأخیر تا دریافت و مقدار تخفیف برای تشویق سازنده به سفارش بیشتر توجه می‌شود.

### مدل ریاضی پیشنهادی

زنجیره تأمین مدل پیشنهادی دارای سه سطح شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکننده و مصرف‌کنندگان است. در بخش معکوس خود شامل مرکز بازسازی و مرکز نگهداری و تعمیرات (نت) است. در این زنجیره تولیدکننده‌ای مبادرت به تولید و ارسال چندین کالا برای مشتریان می‌کند؛ به نحوی که تولیدکننده خود بخشی از نیاز مشتریان در ساعات عادی و اضافه‌کاری را تولید می‌کند. بخش دیگری از نیاز مشتریان به وسیله تأمین‌کنندگان مختلف برای تولیدکننده ارسال و از طریق وی برای مشتریان ارسال می‌شود. در نهایت کالای رسیده به مشتریان در صورت داشتن خرابی به مرکز بازسازی و در مرکز بازسازی بعد از اعمال اقدامات اصلاحی به صورت محصول نهایی برای تولیدکننده ارسال می‌شود تا در سیکل‌های بعد دوباره برای آنها ارسال شود. از طرف دیگر بعد از پشت سر گذاشتن مدت زمان گارانتی، محصولات از طرف مشتریان به مرکز نت ارسال می‌شود که در صورت امکان بعد از انجام تعمیرات و اصلاحات، مجدداً به مشتریان ارسال و در غیر این صورت دمونتاژ و به تولیدکننده ارجاع داده می‌شود. در شکل (۱) مدل گرافیکی این زنجیره نمایش داده شده است.



شکل ۱- مدل گرافیکی زنجیره تأمین مورد مطالعه

**مفروضات مدل پیشنهادی:** همان‌گونه که در قسمت قبل اشاره شد در زنجیره تأمین در حال مطالعه، محصولات در یک زنجیره تأمین سه سطحی حلقه بسته تولید می‌شود و به فروش می‌رسد. این زنجیره شامل چندین تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و چند مشتری است و از یک مرکز بازسازی و یک مرکز نگهداری و تعمیرات (نت) تشکیل شده است. سایر فرضیات به شرح زیر هستند:



- ✓ محصولات در صورت استفاده‌نشدن پس از چند سال از طرف مشتری به بخش نت ارسال می‌شوند.
- ✓ محصولات در بخش نت، تعمیر و به مشتری بازگشت یا دمونتاز و به تولیدکننده داده می‌شوند.
- ✓ محصولات برگشت داده‌شده به وسیله مشتری در بخش بازسازی یا نابود و یا دمونتاز و به تولیدکننده تحویل داده می‌شوند.
- ✓ در زنجیره تأمین صنعت مورد مطالعه، چندین محصول تولید می‌شود و به فروش می‌رسد.
- ✓ بعضی از مشتریان نسبت به یکدیگر مهم‌تر هستند.
- ✓ ظرفیت، هزینه و کیفیت تولید در تولید محصول در زمان عادی و اضافه‌کاری، تأمین کالا از تأمین‌کنندگان و نیز از مرکز نت و بازسازی متفاوت است.
- ✓ تأمین‌کنندگان از لحاظ قیمت و زمان تحویل محصول متفاوت رفتار می‌کنند.

#### مجموعه اندیس‌ها

- i: نشانگر محصول نام،  $i=1,2,\dots,I$  (I تعداد کل محصولات)
- k: نشانگر مشتری نام،  $k=1,2,\dots,K$  (K تعداد کل مشتریان)
- t: تعداد دوره نام،  $t=1,2,\dots,T$  (T تعداد کل دوره‌ها)
- j: نشانگر تأمین‌کننده نام  $j=1,2,\dots,J$  (J تعداد کل تأمین‌کنندگان)

#### پارامترهای مدل

- $d_{ikt}$  تقاضای پیش‌بینی شده محصول نام در دوره t ام برای مشتری نام
- $\alpha_{ikt}$  درصد محصول نام برگشتی به وسیله مشتری نام به مرکز بازیافت در دوره t ام
- $\beta_{ikt}$  درصد محصول نام برگشتی به وسیله مشتری نام در دوره t ام به مرکز نت
- CAPP ظرفیت نگهداری کالا در مرکز تولیدکننده
- CAPD ظرفیت نگهداری کالا در مرکز بازسازی
- CAPM ظرفیت نگهداری کالای در مرکز نت
- $CPR_i$  هزینه تولید یک واحد محصول نام در ساعات عادی
- $CPO_i$  هزینه تولید یک واحد محصول نام در ساعات اضافه‌کاری
- $CD_i$  هزینه تهیه یک واحد محصول نام از مرکز بازسازی
- $CM_i$  هزینه تهیه یک واحد محصول نام از مرکز نت
- $CSC_{ij}$  هزینه تأمین یک واحد محصول نام از تأمین‌کننده نام
- $CLR_t$  هزینه دستمزد یک نفر کارگر در دوره t ام در زمان عادی
- $CLO_t$  هزینه دستمزد یک نفر کارگر در دوره t ام در زمان اضافه‌کاری
- $HC_t$  هزینه بدو استخدام (آموزش و ...) یک نفر نیروی انسانی در دوره t ام
- $FC_t$  هزینه اخراج یک نفر نیروی انسانی در دوره t ام
- $HIP_{it}$  هزینه نگهداری یک واحد محصول نام در دوره t ام در انبار تولیدکننده
- $HID_{it}$  هزینه نگهداری یک واحد محصول نام در انبار مرکز بازسازی در دوره t ام

هزینه نگهداری یک واحد محصول $\lambda$ ام در دوره $t$ ام در انبار مرکز نت	$HIM_{it}$
هزینه کمبود یک واحد محصول $\lambda$ ام برای مشتری $k$ ام در دوره $t$ ام	$\pi_{ikt}$
ضریب کیفیت تولید محصول $\lambda$ ام در دوره $t$ ام در ساعات عادی	$QR_{it}$
ضریب کیفیت تولید محصول $\lambda$ ام در دوره $t$ ام در ساعات اضافه کاری	$QO_{it}$
ضریب کیفیت محصول $\lambda$ ام که از طریق تأمین کننده $j$ ام در دوره $t$ ام تأمین می شود.	$QSC_{ijkt}$
ضریب کیفیت تولید محصول $\lambda$ ام در دوره $t$ ام به وسیله مرکز بازسازی	$QD_{it}$
ضریب کیفیت تولید محصول $\lambda$ ام در دوره $t$ ام به وسیله مرکز نت	$QM_{it}$
ضریب اهمیت مشتری $k$ ام	$WC_k$
ضریب اهمیت تأمین کننده $j$ ام	$WSC_j$
حداکثر نیروی کار در دسترس در دوره $t$ ام	$MW_t$
حداکثر ساعات اضافه کاری در دسترس در دوره $t$ ام	$MOT_t$
حداکثر ساعات کاری لازم	$TW$
میزان نفر-ساعت لازم برای تولید محصول $\lambda$ ام (در ساعات اضافه کاری و ساعات کار عادی)	$TP_i$
درصد تغییر مجاز در نیروی انسانی در دوره $t$ ام	$\gamma_t$
حداکثر مجاز تأمین محصول $\lambda$ ام از تأمین کننده $j$ ام در دوره $t$ ام	$MSC_{ijkt}$
قیمت فروش محصول $\lambda$ ام به مشتری $k$ ام در دوره $t$ ام	$P_{ikt}$

**متغیرهای تصمیم**

میزان کسری (سفارش عقب افتاده) محصول $\lambda$ ام در دوره $t$ ام برای مشتری $k$ ام.	$B_{ikt}$
میزان تولید محصولات خانواده $\lambda$ ام در زمان تولید عادی در دوره $t$ ام.	$X_{it}$
میزان تولید محصولات خانواده $\lambda$ ام در زمان اضافه کاری در دوره $t$ ام.	$Y_{it}$
میزان تأمین محصولات خانواده $\lambda$ ام به وسیله مرکز بازسازی در دوره $t$ ام.	$ZD_{it}$
میزان تأمین محصولات خانواده $\lambda$ ام به وسیله مرکز نت در دوره $t$ ام	$ZM_{it}$
میزان محصول خانواده $\lambda$ ام ارسالی در دوره $t$ ام برای مشتری $k$ ام در دوره $t$ ام	$F_{ikt}$
میزان محصولات خانواده $\lambda$ ام که در دوره $t$ ام به وسیله تأمین کننده $j$ ام تهیه می شود.	$SC_{ijkt}$
ساعات اضافه کاری لازم در دوره $t$ ام.	$OT_t$
سطح موجودی محصول خانواده $\lambda$ ام در انتهای دوره $t$ ام در محل تولیدکننده.	$IP_{it}$
تعداد نیروی کار لازم در دوره $t$ ام.	$WL_t$
تعداد نیروی کار استخدام شده در دوره $t$ ام	$HL_t$
تعداد نیروی کار اخراج شده در دوره $t$ ام	$FL_t$
میزان محصولات خانواده $\lambda$ ام که در دوره $t$ ام برای مشتری $k$ ام از مرکز نت ارسال می شود.	$ZC_{ikt}$
سطح موجودی محصولات خانواده $\lambda$ ام در انتهای دوره $t$ ام در مرکز نت	$IM_{it}$
سطح موجودی محصول خانواده $\lambda$ ام در انتهای دوره $t$ ام در مرکز بازسازی.	$ID_{it}$

### مدل ریاضی

مدل ریاضی چندهدفه برنامه‌ریزی تولید ادغامی در زنجیره تأمین برگشت به صورت زیر است.

$$\text{Min}z_1 = \sum_t \sum_i (\text{CPR}_i X_{it} + \text{CPO}_i Y_{it}) + \sum_t \sum_j \sum_i (\text{CSC}_{ij} \text{SC}_{ijt}) + \sum_t \sum_i (\text{CD}_i \text{ZD}_{it} + \text{CM}_{it} \text{ZM}_{it}) + \sum_t (\text{CLR}_t \cdot \text{WL}_t + \text{CLO}_t \text{OT}_t) + \sum_t (\text{HL}_t \cdot \text{HC}_t + \text{FL}_t \cdot \text{FC}_t) + \sum_t \sum_i \text{IP}_{it} \cdot \text{HIP}_{it} + \text{ID}_{it} \cdot \text{HID}_{it} + \text{IM}_{it} \cdot \text{HIM}_{it} - \sum_t \sum_i \sum_k B_{ikt} \cdot \pi_{ikt} - \sum_t \sum_i \sum_k F_{ikt} * P_{ikt} \quad (1)$$

$$\text{Max}z_2 = \sum_t \sum_i (X_{it} \cdot \text{QR}_{it} + Y_{it} \cdot \text{QO}_{it} + \sum_t \sum_i \sum_j \text{SC}_{ijt} \cdot \text{QSC}_{ijt}) + \sum_t \sum_i (\text{ZD}_{it} \cdot \text{QD}_{it}) + \sum_t (\text{ZM}_{it} \cdot \text{QM}_{it}) \quad (2)$$

$$\text{Min}z_3 = \sum_t \max_k (\text{WC}_k \cdot \sum_i B_{ikt}) \quad (3)$$

$$\text{Max}_4 = \sum_t \min_j (\text{WSC}_j \cdot \sum_i \text{SC}_{ijt}) \quad (4)$$

**Subject to:**

$$\text{IP}_{it} = \text{IP}_{i(t-1)} - \sum_k B_{ik(t-1)} + X_{it} + Y_{it} + \sum_j \text{SC}_{ijt} - \sum_k d_{ikt} + \text{ZD}_{it} + \text{ZM}_{it} \quad \forall i, t \quad (5)$$

$$\text{ID}_{it} = \text{ID}_{i(t-1)} + \sum_k \alpha_{ikt} (F_{ikt} + z_{c_{ikt}}) - \text{ZD}_{it} \quad \forall i, t \quad (6)$$

$$\text{IM}_{it} = \text{IM}_{i(t-1)} + \sum_k \beta_{ikt} \cdot (F_{ikt} + z_{c_{ikt}}) - \text{ZM}_{it} - \sum_k z_{c_{ikt}} \quad \forall i, t \quad (7)$$

$$\sum_i \text{IP}_{it} \leq \text{CAPP} \quad \forall t \quad (8)$$

$$\sum_i \text{ID}_{it} \leq \text{CAPD} \quad \forall t \quad (9)$$

$$\sum_i \text{IM}_{it} \leq \text{CAPM} \quad \forall t \quad (10)$$

$$\text{WL}_t \leq \text{MW}_t \quad \forall t \quad (11)$$

$$\text{WL}_t = \text{WL}_{(t-1)} + \text{HL}_t - \text{FL}_t \quad \forall t \quad (12)$$

$$\text{HL}_t \cdot \text{FL}_t = 0 \quad \forall t \quad (13)$$

$$(\text{IP}_{it} + \text{IM}_{it}) \cdot \sum_k B_{ikt} = 0 \quad \forall i, t \quad (14)$$

$$\text{OT}_t \leq \text{MOT}_t \quad \forall t \quad (15)$$

$$\sum_i \text{TP}_i \cdot X_{it} \leq \text{TW} \quad \forall t \quad (16)$$

$$\sum_i TP_i \cdot Y_{it} \leq OT_t \quad \forall t \quad (17)$$

$$FL_t + HL_t \leq \gamma_{t-1} WL_{t-1} \quad \forall t \quad (18)$$

$$SC_{ijt} \leq MSC_{ijt} \quad \forall i, j, t \quad (19)$$

$$B_{ikt} = B_{ik(t-1)} - F_{ikt} - ZC_{ikt} \quad \forall i, k, t \quad (20)$$

$$ZD_{it} \leq CAPD \quad \forall t, i \quad (21)$$

$$ZM_{it} \leq CAPM \quad \forall t, i \quad (22)$$

$$ZC_{ikt} \leq CAPM \quad \forall i, k, t \quad (23)$$

$$F_{ikt} + ZC_{ikt} \leq d_{ikt} \quad \forall i, k, t \quad (24)$$

$$B_{ikt}, X_{it}, Y_{it}, ZD_{it}, ZM_{it}, F_{ikt}, SC_{ijt}, OT_t, IP_{it}, WL_t, HL_t, FL_t, ZC_{ikt}, IM_{it}, ID_{it} \geq 0 \quad (25)$$

$I=1,2,\dots,I \quad k=1,2,\dots,K \quad j=1,2,\dots,J \quad t=1,2,\dots,T$

رابطه (۱) نخستین تابع هدف مسئله را نشان می‌دهد که برای حداقل کردن هزینه‌ها است. هزینه‌ها شامل هزینه‌های تولید یک واحد محصول در ساعت عادی، ساعات اضافه‌کاری، هزینه تأمین یک واحد محصول به وسیله تأمین‌کنندگان، به وسیله مرکز نت و به وسیله مرکز بازسازی، هزینه یک نفر کارگر در ساعت کار عادی، هزینه یک نفر کارگر در ساعت کار اضافه‌کاری، هزینه استخدام و اخراج نیروی انسانی، هزینه نگهداری یک واحد محصول در انبار تولیدکننده، در انبار مرکز نت و در انبار مرکز بازسازی، هزینه کمبود یک واحد محصول برای مشتری و تقاضای پیش‌بینی شده است. رابطه (۲) تابع هدف دوم مدل است که برای حداکثر کردن ضریب کیفیت است. ضریب کیفیت شامل مجموع ضریب کیفیت تولید در ساعات عادی، ضریب کیفیت تولید در ساعات اضافه‌کاری، ضریب کیفیت محصول دریافتی از تأمین‌کنندگان، ضریب کیفیت محصول دریافتی از مرکز بازسازی و ضریب کیفیت محصول دریافتی از مرکز نت است. رابطه (۳) بیانگر سومین تابع هدف مسئله است که برای حداقل کردن حداکثر کمبود در میان مشتریان است و ضریب اهمیت مشتریان را شامل می‌شود. رابطه (۴) نشان‌دهنده تابع هدف چهارم مدل است که برای حداکثر کردن حداقل میزان تأمین محصول از تأمین‌کنندگان است. رابطه (۵) تعادل موجودی تولیدکننده را نشان می‌دهد (مقدار اولیه موجودی در مرکز تولید برابر با صفر در نظر گرفته شده است). رابطه (۶) بیانگر تعادل موجودی در مرکز بازسازی است (مقدار اولیه موجودی در مرکز بازسازی برابر با صفر در نظر گرفته شده است). رابطه (۷) بیانگر تعادل موجودی در مرکز نت است (مقدار اولیه موجودی در مرکز نت برابر با صفر فرض شده است). ظرفیت نگهداری محصول در مرکز تولیدکننده در رابطه

(۸) آمده است. رابطه (۹) نشان‌دهنده ظرفیت نگهداری محصول در مرکز بازسازی است. رابطه (۱۰) ظرفیت نگهداری محصول مرکز نت را نشان می‌دهد. رابطه (۱۱) محدودیت حداکثر تعداد نیروی انسانی در دسترس را نشان می‌دهد. رابطه (۱۲) بیانگر تعادل نیروی انسانی تولیدکننده است. در رابطه (۱۳) استخدام یا اخراج کارکنان در هر دوره نشان داده شده است. رابطه (۱۴) بیانگر موجودی یا کمبود هر محصول در هر دوره است. رابطه (۱۵) محدودیت سقف اضافه‌کاری را نشان می‌دهد. رابطه (۱۶) نشان می‌دهد زمان تولید محصول در هر دوره از زمان‌های عادی در دسترس کمتر است. رابطه (۱۷) نشان می‌دهد زمان تولید محصول از زمان‌های اضافه‌کاری در دسترس کمتر باشد. رابطه (۱۸) درصد تغییر مجاز در نیروی انسانی در هر دوره را نشان می‌دهد. رابطه (۱۹) بیانگر حداکثر خرید محصول از تأمین‌کنندگان در هر دوره است. رابطه (۲۰) تعادل کمبود محصول تولیدکننده را باتوجه به کمبود دوره قبل، میزان محصول ارسال شده به مشتری از تولیدکننده و مرکز نت را در هر دوره نشان می‌دهد. رابطه‌های (۲۱) و (۲۲) بیانگر حداکثر محصول تهیه شده از مرکز بازسازی و مرکز نت است. رابطه‌های (۲۳) و (۲۴) حداکثر محصول ارسال شده برای مصرف‌کننده در هر دوره از مرکز نت و مرکز بازسازی را نشان می‌دهد. رابطه (۲۵) بیانگر غیرمنفی بودن متغیرهای تصمیم مدل است.

### روش حل مدل پیشنهادی

از آنجایی که مدل پیشنهادی در مقاله حاضر چندهدفه است، نیاز به پیدا کردن جواب‌های بهینه پارتویی است. یکی از متداول‌ترین روش‌های حل مسائل چندهدفه برای پیدا کردن جواب‌های بهینه پارتویی روش متریک LP است. در این روش ابتدا در هر مرتبه مدل با یک تابع هدف حل می‌شود، سپس مجموعه جواب‌های به دست آمده باتوجه به حداقل و حداکثر بودن نوع تابع هدف در رابطه (۲۶) قرار داده می‌شود (اصغرپور، ۱۳۷۷).

$$\text{Min } Z = \left\{ w_1 \left( \frac{Z_1 - Z_1^*}{Z_1^{nad} - Z_1^*} \right)^p + w_2 \left( \frac{Z_2^* - Z_2}{Z_2^* - Z_2^{nad}} \right)^p + w_3 \left( \frac{Z_3 - Z_3^*}{Z_3^{nad} - Z_3^*} \right)^p + w_4 \left( \frac{Z_4^* - Z_4}{Z_4^* - Z_4^{nad}} \right)^p \right\}^{1/p} \quad (26)$$

مفروضات رابطه ۲۶ به اختصار در زیر تشریح شده است.  $1 \leq P \leq \infty$  است و ارزش آن مشخص‌کننده درجه تأکید بر انحرافات موجود است؛ به گونه‌ای که هر چه این ارزش بزرگ‌تر باشد، تأکید بیشتری بر بزرگ‌ترین انحراف خواهد بود.

$W_i$ : وزن در نظر گرفته شده برای تابع هدف  $i$ ام

$Z_i$ : تابع هدف  $i$ ام مسئله

$Z_i^*$ : جواب بهینه حاصل از مدل

$Z_i^{nad}$ : جواب ضداپتئال حاصل از مدل

### نتایج محاسباتی

مدل پیشنهادی روش L-P متریک با استفاده از نرم‌افزار LINGO v14.0.1.55 روی سیستمی با مشخصات ویندوز ۷ و RAM 300HZ 2.20, GB حل شده است. بدین منظور مدل یک‌بار با داده‌های واقعی اخذ شده از صنعت و بار دیگر با مثالی عددی در ابعاد بزرگ‌تر و برگرفته از ادبیات مسئله حل شده است.

همان‌گونه که اشاره شد ابتدا مسئله با داده‌های واقعی مربوط به صنعت مورد مطالعه حل شده است. در زنجیره تأمین صنعت مورد مطالعه سه محصول تولیدشده، سه تأمین‌کننده در سطح اول زنجیره قرار دارند و در سطح آخر نیز برای شش مشتری محصول ارسال می‌شود و برای تولید دوره سه‌ماهه برنامه‌ریزی شده است. پارامترهای مسئله با توجه به اطلاعات کسب‌شده از صنعت فوق در جداول (۱) تا (۱۰) ارائه شده است. در جدول (۱۱) تعدادی از جواب‌های بهینه پارتویی حاصله نمایش داده شده است.

برای به دست آوردن جواب‌های مربوط به هر سطر این جدول مراحل زیر طی شده است:

✓ بهینه‌سازی هر یک از توابع هدف به‌طور جداگانه با در نظر گرفتن محدودیت‌های مدل یک‌بار به‌صورت حداکثرکردن و بار دیگر به‌صورت حداقل کردن در نرم‌افزار لینگو؛

✓ نوشتن رابطه L-P متریک مربوط به رابطه (۲۵) و با استفاده از نتایج مرحله قبل؛

✓ بهینه‌سازی تابع به‌دست‌آمده از مرحله قبل و با در نظر گرفتن محدودیت‌ها با نرم‌افزار لینگو؛

✓ استخراج مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم از حل به‌دست‌آمده از مرحله قبل؛

✓ محاسبه مقدار هر یک از توابع هدف به‌ازای متغیرهای تصمیم بهینه حاصل از مرحله قبل.

مقادیر حاصل از مرحله آخر، جواب‌های بهینه پارتویی هستند که در ستون‌های ۷ تا ۱۰ جدول (۱۱) ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود این مقادیر مربوط به توابع هدف هستند. مقادیر مربوط به متغیرهای تصمیم هر سطر، همان مقادیر حاصل از مرحله چهارم در مراحل ذکرشده بالا هستند. در عمل پس از انتخاب یکی از جواب‌های بهینه پارتویی به‌وسیله تصمیم‌گیرنده یا تصمیم‌گیرندگان در صنعت مدنظر به‌راحتی می‌توان مقادیر مربوط به متغیرهای تصمیم را ارائه کرد.

**حل مدل با مثال عددی:** برای حل مدل پیشنهادی در ابعاد بزرگ‌تر در ادامه مثالی عددی حل شده است. پارامترهای این مثال از مقاله میرزاپور و همکاران (۲۰۱۲) استخراج شده است. در این مثال در یک زنجیره سه‌سطحی پنج محصول در شش دوره و با شش تأمین‌کننده تولید می‌شود. پارامترهای مدل در جداول ۱۲ تا ۲۱ ارائه شده است. جدول (۲۲) نمایش‌دهنده جواب‌های بهینه پارتویی است. در جدول (۲۳) نیز مقدار بعضی از متغیرهای تصمیم به‌ازای  $P=3$  مشاهده می‌شود.

جدول ۱- هزینه تولید در ساعات عادی و اضافه‌کاری، تهیه محصول از مراکز نت و بازسازی

TP	CM	CD	CPO	CPR	i
۲۰۰	۱۰۰	۲۸۳	۵۰۰۰	۷۵۰۰	۱
۲۰۰	۱۲۰	۲۹۰	۵۰۰۰	۷۵۰۰	۲
۲۰۰	۱۲۵	۳۰۰	۵۰۰۰	۷۵۰۰	۳

جدول ۲- هزینه استخدام و اخراج و هزینه دستمزد، حداکثر نیروی کار موجود، درصد تغییر نیروی کار

$\gamma_t$	MOT	MW	CLO	CLR	FC	HC	t
۰/۲	۷۹۲	۲۰۰	۵۰۰۰	۷۵۰۰	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰	۱
۰/۲	۷۹۲	۲۰۰	۵۰۰۰	۷۵۰۰	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰	۲
۰/۲	۷۹۲	۲۰۰	۵۰۰۰	۷۵۰۰	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰	۳

جدول ۳- ظرفیت نگهداری کالا در مراکز تولیدکننده، بازسازی و نت و حداکثر ساعات کاری لازم

CAPP	CAPD	CAPM	TW
۱۵۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۵

جدول ۴- حداکثر مجاز تأمین کالا از تأمین‌کننده و ضریب کیفیت تولید محصول به وسیله تأمین‌کننده

t						j	i
۳	۲	۱	۳	۲	۱		
QSC			MSC				
۰/۸۷	۰/۹۶	۰/۹۷	۳۲۷۸۵۰	۳۹۱۳۳۸	۳۸۱۴۷۳	۱	۱
۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۳	۳۵۴۶۸۸	۳۶۳۲۳۶	۳۹۰۵۸۰	۲	
۰/۸۷	۰/۷۲	۰/۸۸	۳۹۵۷۵۱	۳۰۹۷۵۴	۳۱۲۶۹۸	۳	
۰/۸۸	۰/۹۲	۰/۸۸	۳۱۴۱۸۸	۳۹۵۷۱۷	۳۹۶۴۸۹	۱	۲
۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۳	۳۱۲۴۷۶	۳۴۸۵۳۸	۳۱۵۷۶۱	۲	
۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۱	۳۹۱۵۷۴	۳۸۰۰۲۸	۳۹۷۰۶۰	۳	
۰/۸۷	۰/۹۶	۰/۹۷	۳۲۷۸۵۰	۳۹۱۳۳۸	۳۸۱۴۷۳	۱	۳
۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۳	۳۵۴۶۸۸	۳۶۳۲۳۶	۳۹۰۵۸۰	۲	
۰/۸۷	۰/۷۲	۰/۸۸	۳۹۵۷۵۱	۳۰۹۷۵۴	۳۱۲۶۹۸	۳	

جدول ۵- هزینه نگهداری کالا در مراکز تولیدکننده، بازسازی و نت

T																		i
۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	
QM			QD			QR			HIM			HID			HIP			
۱	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۹۸	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۲۲	۳۲	۲۰	۳۰	۳۰	۲۵	۱۰۰	۹۰	۸۵	۱
۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۲۵	۲۳	۲۲	۲۷	۲۹	۲۷	۱۰	۹۷	۲۰	۲
۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۰	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	۲۴	۲۴	۲۵	۲۹	۲۸	۲۹	۹۹	۹۶	۹۲	۳

جدول ۶- ضریب اهمیت مشتریان و تأمین‌کنندگان

WC <sub>k</sub>						WSC <sub>j</sub>		
۶	۵	۴	۳	۲	۱	۳	۲	۱
۰/۹	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۶	۰/۸	۰/۸	۰/۶	۰/۹

جدول ۷- ضریب کیفیت محصول تولیدکننده در ساعات اضافه‌کاری

T			I
۳	۲	۱	
۰/۷۱	۰/۷۵	۰/۵	۱
۰/۵	۰/۹	۰/۷	۲
۰/۶	۱	۰/۹	۳

جدول ۸- درصد محصول برگشتی مشتری به مراکز بازسازی و نت

$\beta_{ikt}$			$\alpha_{ikt}$			k
t=۱,۲,۳			t=۱,۲,۳			
i			i			
۳	۲	۱	۳	۲	۱	
۰/۲۰	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۰۱	۱
۰/۲۰	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۲۲	۰/۰۹	۰/۲۰	۲
۰/۱۵	۰/۲	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۱	۰/۱۳	۳
۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۶	۴
۰/۴	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۲	۰/۱۷	۰/۱۴	۵
۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۰۹	۰/۱۸	۶

جدول ۹- پیش‌بینی تقاضا و قیمت فروش هر محصول تولیدی ارسال‌شده به مشتری و هزینه کمبود کالا

$\pi_{ikt}$			$d_{ikt}$			$P_{ikt}$			k
t=۱,۲,۳			t=۱,۲,۳			t=۱,۲,۳			
i			i			i			
۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	
۵	۷	۵	۷۰۰	۶۸۰	۷۸۰	۶۲	۵۵	۶۰	۱
۶	۶	۷	۶۳۰	۵۸۰	۶۵۰	۶۴	۷۸	۶۵	۲
۱	۴	۹	۳۷۰	۳۴۰	۱۰۰	۵۷	۶۰	۵۵	۳
۱	۵	۲	۲۵۰	۲۰۰	۴۸۰	۵۶	۶۸	۵۸	۴
۶	۸	۷	۲۹۰	۲۷۸	۴۷۰	۶۲	۵۷	۶۰	۵
۵	۲	۳	۶۰۰	۵۸۰	۲۴۰	۷۴	۷۷	۷۰	۶

جدول ۱۰- هزینه تأمین کالا از تأمین‌کننده

J		i
۲	۱	
۰/۸	۰/۵	۱
۰/۵	۰/۵	۲
۰/۴	۰/۳	۳

جدول ۱۱- نتایج مدل ریاضی با روش L-P متریک (جواب‌های بهینه پارتویی):  $W_i: 0.1, 0.2, 0.4, 0.3$

$Z_i$	$Z_3$	$Z_2$	$Z_1$	Z	$W_i$	$W_3$	$W_2$	$W_1$	p
۰	۰	۱۵۷۸۴۳/۲	۰	۲۷۱۱۸/۵۷	۰/۳	۰/۴	۰/۲	۰/۱	۱
۰	۰	۱۵۷۸۴۳/۲	۰	۵۴۲۳۸/۱۳	۰/۱	۰/۳	۰/۴	۰/۲	
۰	۰	۱۵۷۸۴۳/۲	۰	۴۰۶۷۸/۳۵	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	
۰	۰	۱۵۸۷۵۲/۷	۰	-۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۱	۰/۱	۰	۰/۸	
۰	۰	۱۵۸۱۰۲/۴	۰	۱۳۵۸۴/۷۰	۰/۸	۰	۰/۱	۰/۱	
۰	۰	۱۵۷۸۴۳/۲	۰	۲۷۱۱۸/۵۷	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱	
۰	۰	۱۵۷۸۴۳/۲	۰	۵۴۲۳۸/۱۳	۰	۰	۰/۴	۰/۶	
۰	۰	۱۸۶۳۴۴/۷	۰	-۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۴	۰/۶	۰	۰	
۰	۸۵۰۸/۶۰۰	۱۳۰۳۲۶/۱	۱/۳۹۶۵۳۷	۰/۵۵۳۹۸۴۹E+۱۰	۰/۱	۰/۳	۰/۴	۰/۲	۲
۰	۸۵۰۸/۶۰۰	۱۳۰۳۳۶/۷	۱/۳۴۳۰۷۴	۴/۱۵۳۰۸E+۹	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	
۰	۸۵۰۸/۶۰۰	۱۳۰۳۳۴/۷	۱/۳۴۲۷۶۴	۱/۳۷۹۵۳E+۹	۰/۸	۰	۰/۱	۰/۱	
۰	۸۵۰۸/۶۰۰	۱۳۰۳۰۶/۶	۱/۵۰۵۷۱۷	۰/۲۷۸۰۷۸۲E+۱۰	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱	
۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۹۹۹۹۹۹۷	۱۸۶۳۲۵/۲	۰	-۰/۲۸۷۹۲۰۳E-۶	۰/۴	۰/۶	۰	۰	
۰	۱۶۳۳۸/۶۰	۱۰۲۲۵۶/۳	۰	۰/۲۳۶۳۴۰۹E+۱۵	۰/۳	۰/۴	۰/۲	۰/۱	۳
۰	۸۵۰۸/۶۰۰	۱۳۰۱۲۴/۷	۰	۴/۸۶۲۱۷E+۱۴	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	
۰	۰/۰۰۰۰۰۰	۱۱۲۹۶۲/۶	۰	-۱	۰/۱	۰/۱	۰	۰/۸	
۰	۲۴۸۴۱/۲۶	۱۰۷۸۳۳/۱	۰	۰/۴۸۷۴۹۰۳E+۱۵	۰	۰	۰/۴	۰/۶	
۰	۰	۱۸۶۳۴۴/۷	۰	-۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۴	۰/۶	۰	۰	



جدول ۱۲- هزینه تولید در ساعات عادی و اضافه‌کاری، تهیه محصول از مراکز نت و بازیافت (در مثال عددی)

TP	CM	CD	CPO	CPR	i
۳	۰/۴	۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۹۵	۱
۳	۰/۵	۰/۴۵	۰/۶	۰/۱	۲
۳	۰/۳	۰/۳۵	۰/۴۵	۰	۲
۳	۰/۴	۰/۴	۰/۵	۱/۱	۴
۳	۰/۴۵	۰/۵	۰/۶۵	۱/۱۵	۵

جدول ۱۳- هزینه استخدام، اخراج، دستمزد و حداکثر نیروی کار موجود و درصد تغییر نیروی کار (در مثال عددی)

$\gamma_t$	MOT	MW	CLO	CLR	FC	HC	t
۰/۲	۵۵	۵۰	۱۷۰	۱۶۰	۷۰	۵۰	۱
۰/۲	۵۶	۵۰	۱۹۰	۲۱۰	۸۰	۵۰	۲
۰/۲	۵۷	۵۰	۲۱۰	۲۳۰	۹۰	۵۰	۳
۰/۲	۵۸	۵۰	۲۳۰	۲۵۰	۱۰۰	۵۵	۴
۰/۲	۵۹	۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۱۱۰	۵۵	۵
۰/۲	۶۰	۵۰	۲۷۰	۲۹۰	۱۲۰	۵۵	۶

جدول ۱۴- حداکثر مجاز تأمین کالا از تأمین‌کننده و ضریب کیفیت تولید محصول به وسیله تأمین‌کننده (در مثال عددی)

QSC							MSC								
t						j	i	t						j	i
۶	۵	۴	۳	۲	۱			۶	۵	۴	۳	۲	۱		
۰/۹۵	۰/۷۸	۰/۶۸	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۶۳	۱	۱	۵۴۸۳	۵۶۱۲	۹۰۷۳	۷۳۷۷	۵۰۴۶	۹۵۶۶	۱	
۰/۹۱	۰/۷۵	۰/۵۱	۰/۷۲	۰/۸۲	۰/۶۲	۲	۱	۹۳۷۰	۹۰۳۳	۵۳۲۹	۷۸۱۸	۸۲۸۸	۶۴۵۵	۲	
۰/۸۳	۰/۸	۰/۶۶	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۸۲	۳	۱	۵۶۹۰	۶۱۵۲	۵۹۹۱	۹۶۸۲	۷۴۷۲	۸۵۷۰	۳	
۰/۶۷	۰/۷۵	۰/۷۷	۰/۷۹	۰/۸۳	۰/۸۶	۴	۱	۹۹۵۵	۷۱۲۲	۶۲۲۵	۷۲۵۳	۸۲۷۲	۸۴۰۱	۴	
۰/۶۸	۰/۵۳	۰/۷۷	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۶۹	۵	۱	۹۹۹۶	۷۰۰۰	۸۲۱۷	۵۱۴۲	۶۸۲۲	۶۸۲۱	۵	
۰/۶۱	۰/۷۸	۰/۸	۰/۷۲	۰/۹۸	۰/۹۳	۱	۲	۹۴۰۴	۹۰۱۶	۵۳۰۹	۶۲۲۴	۶۴۴۷	۸۸۴۵	۱	
۰/۵۴	۰/۷۶	۰/۶۷	۰/۵۷	۰/۶۴	۰/۸۵	۲	۲	۹۳۴۰	۸۴۸۴	۷۲۰۰	۵۶۹۴	۵۴۷۹	۶۲۶۶	۲	
۰/۶۷	۰/۷۱	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۶۵	۰/۶۳	۳	۲	۷۶۰۹	۸۰۹۰	۵۶۱۳	۵۱۵۱	۶۵۹۴	۶۲۲۵	۳	
۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۵۷	۰/۷۹	۰/۸۴	۰/۶۳	۴	۲	۹۸۰۳	۵۳۵۷	۶۰۳۰	۶۸۰۳	۸۳۱۷	۷۵۹۱	۴	
۰/۷۱	۰/۸۳	۰/۸۶	۰/۷۴	۰/۹۱	۰/۶۴	۵	۲	۷۷۵۳	۶۴۸۸	۵۷۷۸	۹۲۳۵	۹۳۷۲	۷۴۴۷	۵	
۰/۹۲	۰/۸۷	۰/۶	۰/۸۴	۰/۷۵	۰/۶۷	۱	۳	۷۸۲۴	۷۷۶۷	۷۹۷۹	۶۵۶۷	۶۳۶۱	۵۷۰۵	۱	
۰/۶۱	۰/۷۶	۰/۵۴	۰/۷۳	۰/۶۲	۰/۹۱	۲	۳	۵۵۳۵	۸۰۶۳	۸۴۰۶	۸۸۹۶	۷۸۳۲	۶۲۶۷	۲	
۰/۶۹	۰/۵۱	۰/۸۶	۰/۹۵	۰/۵۹	۰/۹۷	۳	۳	۸۹۸۸	۷۸۸۴	۷۷۳۸	۷۷۴۵	۶۲۶۴	۸۹۶۴	۳	
۰/۷۸	۰/۸۵	۰/۵۴	۰/۵	۰/۹	۰/۵۱	۴	۳	۸۹۸۱	۷۰۳۹	۸۶۷۳	۶۰۸۳	۹۲۹۸	۵۸۴۴	۴	
۰/۸۱	۰/۹	۰/۹	۰/۵۸	۰/۸۱	۰/۷	۵	۳	۷۰۶۶	۸۴۴۷	۷۸۳۶	۸۹۲۵	۵۸۹۷	۶۱۶۰	۵	
۰/۶۸	۰/۹	۰/۹۷	۰/۸۶	۰/۶۵	۰/۸۹	۱	۴	۵۲۳۸	۶۳۸۲	۷۵۷۶	۸۲۲۱	۶۵۹۶	۷۶۸۴	۱	
۰/۷۸	۰/۵۷	۰/۷۷	۰/۵۷	۰/۷۵	۰/۵۲	۲	۴	۶۸۵۸	۷۰۳۹	۹۲۶۱	۸۵۳۴	۷۱۲۰	۵۸۸۰	۲	
۰/۹۸	۰/۶۲	۰/۹۵	۰/۵۷	۰/۹۵	۰/۹	۳	۴	۸۰۲۰	۷۸۲۳	۸۴۵۸	۷۶۵۵	۹۷۵۵	۵۱۰۹	۳	
۰/۹	۰/۸۶	۰/۹۶	۰/۶۷	۰/۹۴	۰/۶۲	۴	۴	۸۴۴۶	۸۷۸۸	۷۷۲۰	۷۴۱۱	۸۷۳۷	۷۵۷۳	۴	
۰/۸۲	۰/۹۳	۰/۵۴	۰/۷۲	۰/۶۷	۰/۵۵	۵	۴	۵۱۰۶	۷۸۷۸	۶۵۶۲	۶۳۵۸	۸۵۷۴	۷۵۳۷	۵	

جدول ۱۵- هزینه نگهداری و ضرایب کیفیت کالا در مراکز تولیدکننده، بازسازی و نت (در مثال عددی)

QR							HIP						
t						i	t						i
۶	۵	۴	۳	۲	۱		۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۲	۰/۶۹	۰/۹۴	۰/۶	۱	۸	۸	۸	۶	۶	۶	۱
۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۶	۰/۵۹	۰/۶۸	۰/۶۶	۲	۱۰	۱۰	۱۰	۸	۸	۸	۲
۰/۷۳	۰/۷۵	۰/۶۵	۰/۸۳	۰/۶۱	۰/۸۳	۳	۱۲	۱۲	۱۲	۱۰	۱۰	۱۰	۳
۰/۶	۰/۶۳	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۵۳	۰/۷۴	۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۲	۱۲	۱۲	۴
۰/۷۸	۰/۸۲	۰/۵۷	۰/۹۴	۰/۷۹	۰/۵۵	۵	۱۶	۱۶	۱۶	۱۴	۱۴	۱۴	۵
QD						i	HID						i
۶	۵	۴	۳	۲	۱		۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۰/۸۲	۰/۵۴	۰/۶۵	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۵۱	۱	۱۰	۱۰	۱۰	۹	۹	۹	۱
۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۷۷	۰/۵۱	۰/۷۴	۰/۷۲	۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۱	۱۱	۱۱	۲
۱	۱	۰/۶۸	۰/۷۳	۰/۷۶	۰/۵	۳	۱۴	۱۴	۱۴	۱۳	۱۳	۱۳	۳
۰/۸۲	۰/۷۱	۰/۵۸	۰/۶۶	۰/۵۹	۱	۴	۱۶	۱۶	۱۶	۱۵	۱۵	۱۵	۴
۰/۵۱	۰/۸۳	۰/۸۴	۰/۶۷	۰/۵۳	۰/۸۸	۵	۱۸	۱۸	۱۸	۱۷	۱۷	۱۷	۵
QM						i	HIM						i
۶	۵	۴	۳	۲	۱		۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۰/۶۳	۰/۹۶	۰/۶۶	۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۷۵	۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۱
۰/۵۳	۰/۶۹	۰/۹۷	۰/۵۶	۰/۸۲	۰/۶۳	۲	۱۱	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۲
۰/۶۳	۰/۵۲	۰/۷	۰/۶۹	۰/۸۲	۰/۸۸	۳	۱۱	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۳
۰/۶	۰/۹۱	۰/۶	۰/۵۵	۰/۹	۰/۹۴	۴	۱۱	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۴
۰/۹۷	۰/۸۷	۰/۶۴	۰/۹	۰/۶۱	۰/۶۹	۵	۱۱	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۵
						i	QO						i
۶	۵	۴	۳	۲	۱		۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۰/۹۱	۰/۸۵	۰/۶۹	۰/۷۱	۰/۶۲	۰/۸۷	۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۱
۰/۹۵	۰/۶۴	۰/۸۶	۰/۶۵	۰/۵۸	۰/۷۳	۲	۱۱	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۲
۰/۵	۰/۷۴	۰/۹۷	۰/۵۴	۰/۹۷	۰/۹۳	۳	۱۱	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۳
۰/۵۶	۰/۸۴	۰/۵۴	۰/۹۵	۰/۷۱	۰/۷	۴	۱۱	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۴
۰/۵۸	۰/۷۶	۰/۸۸	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۸۹	۵	۱۱	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۵

جدول ۱۶- ضریب اهمیت مشتری و تأمین‌کنندگان (در مثال عددی)

WSC <sub>j</sub>				WC <sub>k</sub>				
۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۵
۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹

جدول ۱۷- پیش‌بینی تقاضای هر محصول و درصد محصول برگشتی به‌وسیله مشتری به مراکز بازسازی و نت (در مثال عددی)

$\beta$						$\alpha$						D						k	i
t						t						t							
۶	۵	۴	۳	۲	۱	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۲۱۰	۱۲۰	۳۲۰	۳۶۰	۲۷۰	۱۱۰	۱	
۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۲۲۰	۲۱۰	۳۶۰	۳۲۰	۲۶۰	۲۲۰	۲	
۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۶۰	۱۲۰	۳۱۰	۲۶۰	۲۱۰	۱۶۰	۳	
۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۶	۱۱۰	۲۲۰	۲۶۰	۳۱۰	۱۲۰	۲۶۰	۴	
۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۵	۳۶۰	۳۱۰	۴۱۰	۲۱۰	۲۱۰	۱۹۰	۵	

ادامه جدول ۱۷- پیش‌بینی تقاضای هر محصول و درصد محصول برگشتی به وسیله مشتری به مراکز بازاری و نت (در مثال عددی)

$\beta$						$\alpha$						D						k	i
t						t						t							
۶	۵	۴	۳	۲	۱	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۶	۳۳۰	۱۳۰	۶۰۰	۵۵۰	۳۶۰	۲۰۰	۱	۲
۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۳۴۰	۳۸۰	۵۸۰	۳۳۰	۳۴۰	۲۹۰	۲	
۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۸۰	۱۶۰	۴۱۰	۵۰۰	۳۹۰	۲۳۰	۳	
۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۶	۱۴۰	۳۲۰	۴۲۰	۳۸۰	۲۰۰	۳۱۰	۴	
۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۵	۴۰۰	۴۳۰	۷۰۰	۲۳۰	۴۱۰	۳۰۰	۵	
۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۶	۳۱۰	۵۰	۹۰	۵۰	۲۰۰	۱۰۰	۱	۳
۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۹۰	۱۶۰	۱۵۰	۵۴۰	۲۶۰	۷۰	۲	
۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۷۰	۲۰	۴۱۰	۱۵۰	۹۰	۱۰۰	۳	
۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۳۰	۱۷۰	۵۰	۲۴۰	۱۴۰	۸۰۰	۴	
۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۵	۳۱۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۷۰	۱۸۰	۹۰	۵	
۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۶	۳۷۰	۳۰۰	۹۰۰	۷۶۰	۶۰۰	۱۸۰	۱	۴
۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۵۵۰	۷۰۰	۷۲۰	۴۸۰	۶۳۰	۴۷۰	۲	
۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۱۰۰	۱۷۰	۸۵۰	۳۱۰	۵۱۰	۲۱۰	۳	
۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۱۹۰	۶۳۰	۸۲۰	۵۵۰	۲۵۰	۷۲۰	۴	
۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۱۲۰	۶۴۰	۶۱۰	۵۰۰	۳۲۰	۴۱۰	۵	

جدول ۱۸- هزینه تأمین کالا از تأمین‌کنندگان (در مثال عددی)

j				k	i
۴	۳	۲	۱		
۱/۶۰۱	۱/۵۷۹	۱/۰۲۹	۱/۰۱۴	۱	۱
۱/۵۸۶	۱/۰۱۸	۲/۰۱۴	۲/۰۲۹	۲	
۱/۰۷۲	۱/۰۵	۱/۱۴۴	۱/۱۳	۳	
۲/۰۶۵	۲/۰۷۲	۳/۰۵۸	۳/۰۳۶	۴	
۲/۰۳۶	۱/۵۸۶	۲/۰۴۳	۲/۰۶۵	۵	
۱/۷۶۲	۱/۷۳۸	۱/۱۳۲	۱/۱۱۶	۱	۲
۱/۷۴۶	۱/۲۲	۲/۲۱۶	۲/۲۳۲	۲	
۱/۱۸	۱/۱۵۶	۱/۲۶	۱/۲۴۴	۳	
۲/۲۷۲	۲/۲۸	۳/۳۶۴	۳/۳۴	۴	
۲/۲۴	۲/۷۴۶	۲/۲۴۸	۲/۲۷۲	۵	
۱/۹۴	۱/۹	۱/۲۴	۱/۲۲	۱	۳
۱/۹۲	۱/۳۵	۲/۴۲	۲/۴۴	۲	
۱/۳	۱/۲۷	۱/۴	۱/۳۸	۳	
۲/۴۹	۲/۵	۳/۶۶	۳/۶۵	۴	
۲/۴۵	۱/۹۲	۲/۵۹	۲/۴۹	۵	
۱/۶۰۱	۱/۵۷۹	۱/۰۲۹	۱/۰۱۴	۱	۴
۱/۵۸۶	۱/۰۱۸	۲/۰۱۴	۲/۰۲۹	۲	
۱/۰۷۲	۱/۰۵	۱/۱۴۴	۱/۱۳	۳	
۲/۰۶۵	۲/۰۷۲	۳/۰۵۸	۳/۰۳۶	۴	
۲/۰۳۶	۱/۵۸۶	۲/۰۴۳	۲/۰۶۵	۵	

جدول ۱۹- ضریب کیفیت محصول تولیدکننده در ساعات اضافه کاری (در مثال عددی)

t						i
۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۰/۳۷	۰/۸	۰/۷۵	۰/۷۱	۰/۷۵	۰/۵	۱
۰/۷۵	۰/۵	۰/۷۵	۰/۵	۰/۹	۰/۷	۲
۰/۴۵	۱	۰/۶۹	۰/۶	۱	۰/۹	۳
۰/۶۵	۰/۸	۰/۷	۰/۹	۰/۸	۰/۷۵	۴

جدول ۲۰- پیش بینی قیمت فروش محصولات تولیدی ارسال شده به مشتری و هزینه کمبود کالا

$\pi_{ikt}$				$P_{ikt}$				k
t=۱, ..., ۶				t=۱, ..., ۶				
i				i				
۴	۳	۲	۱	۴	۳	۲	۱	
۲	۵	۷	۵	۸۵	۶۲	۵۵	۶۰	۱
۳	۶	۶	۷	۶۵	۶۴	۷۸	۶۵	۲
۴	۱	۴	۹	۵۵	۵۷	۶۰	۵۵	۳
۵	۱	۵	۲	۸۰	۵۶	۶۸	۵۸	۴
۶	۶	۸	۷	۶۷	۶۲	۵۷	۶۰	۵

جدول ۲۱- درصد محصول برگشتی مشتریان به مراکز باسازی و نت

$\beta_{ikt}$				$\alpha_{ikt}$				k
t=۱, ..., ۶				t=۱, ..., ۶				
i				i				
۴	۳	۲	۱	۴	۳	۲	۱	
۰/۳	۰/۲۰	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۲	۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۰۱	۱
۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۰۹	۰/۰۲	۲
۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۲	۰/۱	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱	۰/۱۳	۳
۰/۳	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۶	۴
۰/۲	۰/۴	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۰۹	۰/۲	۰/۱۷	۰/۱۴	۵

جدول ۲۲- جواب های بهینه پارتویی حاصل از حل مدل با روش L-P متریک (در مثال عددی)

$$W_j: ۰/۱, ۰/۲, ۰/۴, ۰/۳$$

$Z_\xi$	$Z_r$	$Z_r$	$Z_1$	Z	P
۲۲۴۳۷/۶۳	-۱/۰۴E-۱۲	۱/۸۲E+۰۵	۵/۵۴E+۰۵	۰/۳۸۵	۱
۲۲۷۲۵/۰۶	۲۸۷/۴۳۲	۱/۸۴E+۰۵	۵/۵۶E+۰۵	۰/۵۰۶	۲
۲۳۴۳۷/۵۸	۹۹۹/۹۶۲	۱/۸۸E+۰۵	۵/۷۳E+۰۵	۰/۵۵۳	۳
۲۳۹۳۵/۲	۱۴۹۷/۵۷۳	۱/۹۱E+۰۵	۶/۰۲E+۰۵	۰/۵۷۸	۴
۲۴۲۸۸/۳۶	۱۸۵۰/۷۳۹	۱/۹۴E+۰۵	۶/۷۹E+۰۵	۰/۵۹۳	۵

جدول ۲۳- مقدار بعضی از متغیرهای تصمیم به‌ازاء  $P=3$  (در مثال عددی)

بدین معناست که میزان تولید محصول دوم در زمان تولید عادی در دوره دوم برابر $333/33$ است.	$X_{22} = 333/33$
میزان تأمین تمامی محصولات در مرکز بازسازی در دوره دوم انجام می‌شود و به‌میزان حداکثر تأمین است.	$ZD_i = 10000$
میزان تأمین محصول سوم در مرکز نت در دوره دوم انجام می‌شود و به‌میزان حداکثر تأمین است.	$ZM_{33} = 1000$
میزان محصول ۲امی که در دوره ۶م به‌وسیله تأمین‌کننده اول تأمین می‌شود به‌میزان $199/98$ است.	$SC_{216} = 199/98$
میزان محصول ۲امی که در دوره ۶م برای مشتری دوم ارسال می‌شود به‌میزان $14/84$ است.	$F_{226} = 14/84$

### نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این مقاله یک مدل ریاضی چندهدفه برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی در یک زنجیره تأمین برگشت‌پذیر سه‌سطحی شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکننده و مشتریان ارائه شد. آنچه در طراحی این مدل که به‌صورت برنامه‌ریزی غیرخطی فرموله شده است، اهمیت دارد و در پژوهش‌های مشابه مشاهده نشده است وجود مرکز بازسازی و مرکز نت، در نظر گرفتن رضایت مشتریان و تأمین‌کنندگان و نیز توجه به کیفیت محصولات تولیدی و هزینه‌های مختلف به‌طور هم‌زمان است. اهداف در این مدل حداقل کردن هزینه‌ها، حداکثرکردن کیفیت محصول تهیه‌شده از تأمین‌کنندگان و محصول تولیدشده به‌وسیله تولیدکننده در ساعات عادی و اضافه‌کاری، حداقل کردن مجموع وزنی حداکثر کمبود در میان مشتریان و حداکثرکردن مجموع وزنی حداقل میزان تأمین کالا از تأمین‌کنندگان در برقراری رابطه‌ای برد-برد بوده است.

مدل ارائه‌شده با روش L-P متریک، به‌کمک نرم‌افزار لینگو و با استفاده از داده‌های واقعی مربوط به صنعت High-Tech و نیز داده‌های مثالی عددی در ابعاد بزرگ‌تر حل و جواب‌های پارتویی مسئله مشخص شد. این نتایج زنجیره تأمین را برای دست‌یابی به سود بیشتر، تصمیم‌گیری بهتر و افزایش سطح خدمت‌رسانی به مشتریان کمک می‌کند. این مدل برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی صنایع مختلف کاربرد دارد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی پارامترهای دیگری نیز به مدل اضافه و عدم‌قطعیت را برای پارامترهای دارای عدم‌قطعیت با توجه به شرایط هر صنعت اعمال کرد. علاوه بر آن پیشنهاد می‌شود به‌تناسب پیچیده‌تر شدن مدل از الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای حل مدل استفاده شود.

### References

- Asgharpour, A. (1998). "Multi Criteria Decision Making", Tehran, University of Tehran.
- Baykasoglu, A. (2010). "Aggregate Production Planning using the Multiple Objective Tabu Search". *International Journal of Production Research*, 39(16), 3685-3702.
- Cheraghalikhan, A., & Khoshalhan, F. (2012). "AN Integrated Model of Aggregate Planning with Maintenance Cost", *International Journal of Industrial Engineering & Production Management*. 23(1), 67-77.
- Ghasemi, A., Shafahi, R., & Asl hadad, A. (2014). "Using Metaheuristic Methods in Solving Robust Aggrigate Supply Chain Under Uncertainty Conditions". Thesis for Master of Science Degree, Khaje Nasir University.
- Gholamian, N., Mahdavia, I., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2015). "Multi-objective multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty: fuzzy multi-objective optimization". *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 29(2), 149-165.
- Haji, A., & Mohammadrahimi, A. (2008). "Using Fuzzy Multi Objective Linear Programming in Aggregate Planning", *Sixth International Industrial; Engineering Conference*, Tehran, Sharif University.

- Holt, C.C., Modigliani, F., & Muth, J.F. (1956). "Derivation of a Linear Decision Rule for Production and Employment", *Management Science*. 2(2), 159-177.
- Jafarnejhad, A., & Hadirji, H. (2012). "Design and Control Supply Chain(Quantitative Approach)", Tehran, Mehraban Institute.
- Jabarzadeh, A., Zareian, R., & Ghousi, R. (2014). "An Aggregate Production Planning Approach with Maximizing Profit And Production Stability". Tenth International Engineering Conference. Tehran, University of Tehran.
- Masud, A.S.S., & Hwang, C.L. (1980). "An Aggregate Production Planning Model and Application of Three Multiple Objective Decision Methods", *International Journal of Production Research*, 18(6), 741-752 .
- Mirzapour Al-e-hashem, S.M.J., Malekly, H, & Aryanezhada, M.B. (2011). "Multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty", *International Journal of Production Economics*, 134(1), 28–42.
- Mirzapour Al-e-hashem, S.M.J., Aryanezhad, M.B., & Sadjadi, S.J. (2012). "An efficient algorithm to solve a multi-objective robust aggregate production planning in an uncertain environment", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* , 58(5-8), 765-782.
- Mirzapour Al-e-hashem, S.M.J., Babolib, A. , & Sazvarb, C. (2013). "A stochastic aggregate production planning model in a green supply chain: Considering flexible lead times, nonlinear purchase and shortage cost functions", *European, Journal of Operational Research*, 230(1), 26–41.
- Mohammadzadeh, H., & zare, y. (2014) "Robust Optimizing Model For Aggregate Planning In Green Supply Chain Under Uncertain Conditions. Thesis for Master of Science Degree, Yazd University.
- Nam, S.J., & Logendran, R. (1992). "Aggregate Production Planning – A Survey of Models and Methodologies", *European Journal of Operational Research*, 61(3), 255–272.
- Pokharel, S. & Mutha, A. (2009). "Perspectives in reverse logistics: a review", *Resources, Conservation and Recycling*. 53(4), 175-182.
- Pishvae, M.S., Rabbani, M., & Torabi, S.A. (2011). "A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainly", *Applied Mathematical Modelling*, 35(2), 637-649.
- Rafiei, M., Mohammadi, M., & Torabi, A. (2012). "Agreggate Production and Distibution Planning in Supply Chain Under Uncertainty Conditions". Thesis for Master of Science Degree, Kharazmi University.
- Sadeghimoghadam, M., & Moemeni, M. (2009). "Material Flow Modeling In Supply Chain Management With Genetic Algorithm". *Industrial Management*. 1(2), 71-88.
- Stephen, C. H., Leung, A., Yue Wu, B. & Lai, K. K. (2010). "Multi-site aggregate production planning with multiple objectives: A goal programming approach", *Production Planning and Control*, 14(5), 425–436.
- Zhang, R., Zhang, L., Xiao, Y. & Kaku, K. (2012). "The activity-based aggregate production planning with capacity expansion in manufacturing systems." *Computers & Industrial Engineering*. 62(2), 491–503.

<sup>1</sup> - Pishvae.MS,Rabbani.M,Torabi.S.A

<sup>2</sup> - Pokharel, S. and Mutha, A

<sup>3</sup> - Renqian Zhang, Lankang Zhang, YiYong Xiao, IkouKaku

<sup>4</sup> - Holt, C.C., Modigliani, F., Muth, J.F

<sup>5</sup> - Nam, S.J., Logendran, R

<sup>6</sup> - Masud, A.S.S., Hwang, C.LMirzapour ,hashema, . Malekly , H, Aryanezhada, M.B A

<sup>7</sup> - Baykasoglu

<sup>8</sup> - Stephen C. H. Leung a , Yue Wu b & K. K. Lai

<sup>9</sup> - Mirzapour ,hashema, Aryanezhad, Seyed Jafar Sadjadi

<sup>10</sup> - Mirzapour ,hashema, . Malekly , H, Aryanezhada, M.B A

<sup>11</sup> - Gholamian,.Mahdavia and Tavakkoli

<sup>12</sup> - Mirzapour ,hashema, , Babolib, A ,Sazvarb, c