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 retuned 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 out-sourcing 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: ۱۳۹۷/۰٤/۱۹
صص: ۷٦-۵۷

برنامه‌ریزی تولید یکپارچهٔ تأمین، تولید و توزیع در زنجیره تأمین برگشت‌پذیر به‌کمک مدل‌سازی ریاضی چندهدفه: مطالعهٔ موردی در یک صنعت High-Tech

سعید رضایی مقدم[۱]، ام‌البنین یوسفی[۲*]، مهدی کرباسیان[۳]، بیژن خیام‌باشی[٤]

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
٤- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان، ایران، khayambj@yahoo.com

چکیده: یکی از مهم‌ترین تصمیماتی که در زنجیره تأمین گرفته می‌شود، مسئلهٔ برنامه‌ریزی تولید ادغامی است؛ به‌نحوی‌که در آن برنامهٔ تولید بهینهٔ تمام محصولاتی که از منابع و تجهیزات مشترک استفاده می‌کنند در افق زمانی میان‌مدت تعیین می‌شود. در مقالهٔ 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 به‌وسیلهٔ مشتری عودت می‌شوند. در مدل پیشنهادی هدفِ نخست عبارت است از حداقل‌کردن هزینه‌ها (شامل هزینه‌های تولید کالا، تأمین، نگهداری وکمبود موجودی و هزینه‌های مرتبط با نیروی انسانی)، دومین و سومین هدف نیز به‌ترتیب حداکثرکردن 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 LINGOv14.0.1.55 استفاده شده است. مدل پیشنهادی یک‌بار با مثال عددی و بار دیگر با استفاده از داده‌های واقعی برگرفته از زنجیره‌تأمین برگشت‌پذیر مربوط به یک صنعت Military حل شده است و خبرگان صنعت مربوطه، نتایج حاصله را تأیید کرده‌اند.

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

---

*نویسنده مسئول

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[1]، ۲۰۱۱)؛ ازاین‌رو نحوهٔ طراحی زنجیره تأمین مخصوصاً زنجیره تأمین برگشت‌پذیر برای هر صنعتی امری بسیار حیاتی محسوب می‌شود. مطالعهٔ ادبیات زنجیره تأمین نشان می‌دهد زنجیره تأمین برگشت‌پذیر از سال ۲۰۰۵، به رسمیت شناخته شده است و پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه درحال افزایش است (پوکهارل و موتا[2]،۲۰۰۹).

در شبکهٔ زنجیره تأمین برگشت‌پذیر بازیافت محصولاتی انجام می‌شود که در پایان عمر خود قرار دارن. 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. درغیراین‌صورت، 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؛ درواقع در چرخهٔ این فرایند برگشتی صرفه‌جویی‌هایی در هزینهٔ تولید، صرفه‌جویی در استفاده از امکانات جدید و نیز استفادهٔ مطلوب از تسهیلات ایجاد می‌شود و در تصمیمات تولیدکننده برای طراحی برنامهٔ تولید ادغامی مؤثر است. برنامه‌ریزی تولید ادغامی فرایندی است که سطح بهینهٔ تولید، موجودی و نیروی انسانی را برای رویارویی با تقاضای تمام محصولات در یک دورهٔ زمانی میان‌مدت با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت منابع و امکانات تعیین می‌کند (ژانگ و همکاران[3]، ۲۰۱۲). هدف اصلی برنامه‌ریزی ادغامی، شناسایی پارامترهای عملیاتی مانند نرخ تولید، نیروی کار، اضافه‌کاری، پیمانکاری و کمبود موجودی دردسترس در بازهٔ 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 به‌همراه مطالعهٔ موردی در صنعت High-Tech بررسی می‌شود. ازآنجایی‌که محصولات این صنعت معمولاً از اجزاءِ شیمیایی، مکانیکی الکترونیکی تشکیل شده‌اند، در زنجیره تأمین صنعت مدنظر درصورت تاییدنشدن کیفیت ازطریق کارفرما به‌طور کامل بازگشت داده می‌شوند. این محصولات بازگشتی در بخش بازسازی مهندم یا بعد از بازسازی به تولیدکننده تحویل داده می‌شوند. همچنین درصورت استفاده‌نشدن محصولات به‌وسیلهٔ مشتری بعد از سپری‌شدن دورهٔ 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 پژوهشِ حاضر بررسی چگونگی عملکرد تولیدکننده در اخذ تصمیمات مربوط به نحوهٔ تولید و تأمین محصولات مذکور است. دراین‌راستا تولیدکننده می‌تواند بخشی از محصولات لازم را خود به‌تنهایی تولید کند؛ بنابراین باید تصمیم بگیرد که چه تعدادی از آنها را باتوجه‌به 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؛ به‌نحوی‌که باتوجه‌به الویت‌بندی موجود از مشتریان میزان تقاضای برآورده‌نشده به‌وسیلهٔ تولیدکننده حداقل شود.

بنابراین در طراحی مدل کابردی- توسعه‌یافته بهینه‌سازی تصمیماتی ازقبیل میزان تولید محصول به‌وسیلهٔ تولیدکننده به‌تفکیک 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؛ به‌نحوی‌که در این بهینه‌سازی اهدافی ازقبیل حداقل‌کردن هزینه‌های تولیدکننده نظیر هزینه‌های تولید، هزینه‌های نگهداری و کسری موجودی، هزینهٔ تأمین محصولات ازطریق برون‌سپاری، حداکثرکردن کیفیت محصولات تولیدی در ساعات عادی، اضافه‌کاری، تولید به‌وسیلهٔ تأمین‌کنندگان و یا تهیهٔ قطعات از مراکز نت و بازسازی در نظر گرفته شده است که هریک دارای کیفیتی متفاوت‌اند. در ادامهٔ پژوهش حاضر ابتدا مروری بر پیشینهٔ پژوهش بیان می‌شود. سپس مدل ریاضی پیشنهادی معرفی و بعد از آن روش حل مدل تشریح می‌شود. درپایان نیز یک‌بار مدل با داده‌های استخراج‌شده از صنعت مورد مطالعه حل و سپس با مثال عددی در ابعاد بزرگ‌تر حل خواهد شد.

مروری بر پیشینهٔ پژوهش

هولت و همکاران [٤] (۱۹۵٦)، دریافتند برنامه‌ریزی ریاضی یکی از رویکردهای شناخته‌شده و مورد قبول در مسائل برنامه‌ریزی تولید ادغامی است؛ به‌نحوی‌که نخستین مدل‌سازی درزمینهٔ برنامه‌ریزی تولید ادغامی درقالب مدل برنامه‌ریزی خطی را با هدف حداقل‌کردن هزینه با در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع ارائه کردند .

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

هدف اصلی مدلِ این پژوهش، حداکثرکردن سود است. برای ارزیابی اثربخشی امکان در نظر گرفتن برون‌سپاری به تولیدکنندهٔ 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 اندازهٔ کوچک و متوسط با الگوریتم‌های فرا ابتکاری نتایج مشابهی را با الگوریتم دقیق نشان می‌دهد.

رفیعی و همکاران (۱۳۹۱) برنامه‌ریزی یکپارچهٔ تولید و توزیع در زنجیره‌های تأمین را در شرایط عدم‌قطعیت مطالعه کردند.

هدف اصلی این پژوهش طراحی زنجیره تأمین با در نظر گرفتن شرایطی از دنیای واقعی است که تا آن‌موقع به این موضوع توجه نشده بود. در این مطالعه یک زنجیره تأمین سه‌سطحیِ چندمحصولی با محدودیت ظرفیت تولید، توزیع و انبارش کالا در نظر گرفته شده است. باتوجه‌به پیچیدگی مسئله از الگوریتم ژنتیک برای حل آن استفاده شده است. ازجمله اهداف این مطالعه تعیین مقدار تولید، کمبود و موجودی هر دوره به‌تفکیک محصول برای هر تأمین‌کننده، حداقل‌کردن هزینهٔ زنجیره تأمین باتوجه‌به سناریوهای مختلف و تعیین تعداد تأمین‌کنندگان و توزیع‌کنندگان بهینه برای زنجیره تأمین هستند.

نام و لگندران [۵] (۱۹۹۲)، در مرور کاملی بر مدل‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی نشان دادند حجم کمتری از پژوهش‌های انجام‌شده تا سال ۱۹۲۲ مربوط به مدل‌های ریاضی چندهدفه بوده است. در پژوهشی که حجی و محمد رحیمی (۱۳۷۸)، برنامه‌ریزی خطی چندهدفهٔ 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 هزینهٔ تولید کل، هزینهٔ نگهداری و سفارشات عقب‌افتاده 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[۶] (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، حداقل‌کردن هزینه، حداقل‌سازی مقدار موجودی‌ها، حداقل‌کردن کمبود کالا، حداکثرکردن استفاده از امکانات موجود، حداقل‌کرن زمان اضافه‌کاری و پارامترهایی مانند ساعت کار نیروی انسانی برای تولید هر واحد محصول، زمان استفاده از ماشین برای تولید هر واحد از محصول، هزینهٔ تولید هر واحد محصول، هزینهٔ اضافه‌کاری 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 هزینهٔ نگهداری وتعمیرات را ارائه داده‌اند. در مدل پیشنهادی آنها میزان تولید بهینه و زمان بهینهٔ انجام نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه به‌صورت هم‌زمان تعیین می‌شوند. همچنین هزینه‌های تولید و نیروی کار، ساعات کار عادی و اضافه‌کاری، هزینهٔ محصولات از تأمین‌کننده، هزینهٔ نگهداری، کسری موجودی و خرابی سیستم مدنظر قرار گرفته می‌شود.

جبارزاده و همکارنش (۱۳۹۲)، نیز مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی با اهداف حداکثرکردن سود و حداکثرکردن ثبات تولید را ارائه کردند. مدل حاصله قادر است ضمن در نظر گرفتن محدودیت‌های تولید و نیروی انسانی، مقادیر بهینهٔ تولید، فروش، موجودی، استخدام و اخراج کارکنان را به‌صورت هم‌زمان تعیین کند.

در مطالعه‌ای دیگر محمدزاده و زارع (۱۳۹۳)، مدل بهینه‌سازی استوار برنامهٔ تولید ادغامی در زنجیره تأمین سبز را در شرایط عدم‌قطعیت انتخاب تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان 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 به‌علت ماهیتشان به‌صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده است و برای مقابله با عدم‌قطعیت پارامترها از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده می‌شود.

بایکاسگلو[۷] (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 باتوجه‌به نوع صنعت و تولیدات سازمان، این بازهٔ 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[۸] (۲۰۱۰)، برای حل مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی عددصحیح مختلط چندهدفه با روش برنامه‌ریزی آرمانی سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری ارائه کردند. در این مدل به مجموعه محصول تولیدی، مجموعه واحدهای تولیدی، مجموعه دوره‌های تولیدی، حداقل‌کردن تعداد نیروی کار موجود در کارخانه در دورهٔ زمانی مدنظر، حداقل‌کردن کمبود موجودی، حداقل‌کردن محصول برگشتی و نظایر آن توجه می‌شود.

میرزا پور و همکارانش[۹] (۲۰۱۱)، مدل چندهدفهٔ بهینه‌سازی استوار را برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی چندمحصولی در زنجیره تأمین در شرایط عدم‌اطمینان مطالعه کردند. در این پژوهش زنجیره تأمین شامل چندین تأمین‌کننده، چندین تولیدکننده و مشتریان است و مسئلهٔ برنامه‌ریزی تولید ادغامی چنددوره‌ای، چندمحصولی با شرایط عدم‌قطعیت در آن مطرح می‌شود. هدف نخست شامل به حداقل‌رساندن هزینهٔ تولید، استخدام، اخراج و هزینهٔ آموزش، مواد اولیه، هزینهٔ نگهداری موجودی محصول، حمل و نقل و هزینهٔ کمبود است. هدف دوم به حداقل رساندن مجموع حداکثر مقدار کمبود در میان مشتریان برای حداکثرکردن رضایت مشتریان است.

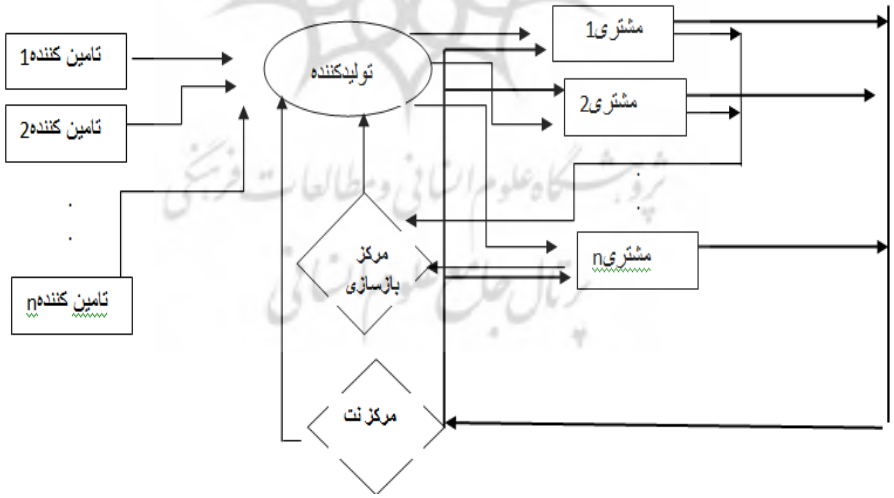
میزراپور وهمکارانش[۱۰] (۲۰۱۲)، مدل چندهدفه‌ای را برای حل مشکل برنامه‌ریزی تولید ادغامی برای چند دوره و چند محصول برای افق زمانی میان‌مدت در شرایط عدم‌قطعیت ارائه دادند. در هدف نخستِ این مدل تلاش می‌شود تا مجموع ارزش موردانتظار و هزینهٔ کلی تعداد موجودی، هزینهٔ اضافه‌کاری، پیمانکاری، سفارشات برگشتی، ظرفیت ماشین‌آلات و ظرفیت انبار حداقل شوند. در تابع هدف دوم نیز حداقل‌کردن کمبود در میان تمام مشتریان مدنظر قرار می‌گیرد. علاوه بر آن در این مدل به حداکثر رساندن بهره‌وری کارگران نیز به‌کمک 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[۱۱] (۲۰۱۵)، پژوهشی دربارهٔ برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند محصول در مجموع چند واحد در یک زنجیره تأمین در شرایط عدم‌قطعیت با رویکرد فازی و بهینه‌سازی چندهدفه ارائه دادند. در این مدل پارامترهای فازی شامل هزینهٔ هر ساعت عادی و اضافه‌کاری، هزینهٔ تأمین‌کنندگان به‌ازاءِ هر واحد مواد خام، هزینهٔ حمل از عرضه‌کننده، هزینهٔ مواد خام فراهم‌شده به‌وسیلهٔ تأمین‌کننده، هزینهٔ استخدام، اخراج و آموزش کارکنان، هزینهٔ نگهداری موجودی محصول، هزینهٔ حمل به مشتری، هزینهٔ نگهداری مواد خام، هزینهٔ 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[۱۲] (۲۰۱۳)، مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی در یک زنجیره تأمین سبز را باتوجه‌به زمان تأخیر انعطاف‌پذیر، با توابع هزینهٔ کمبود و خرید غیرخطی ارائه کردند. در این مقاله پژوهشگران درپی توسعهٔ یک روش برنامه‌ریزی تولید ادغامی برای چند دوره، چند محصول در زنجیره تأمین سبز برای افق زمانی میان‌مدت با فرض عدم‌اطمینان تقاضا هستند. در مدل ارائه‌شده به ویژگی‌هایی مانند هزینهٔ حمل، رابطهٔ 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؛ به‌نحوی‌که تولیدکننده خود بخشی از نیاز مشتریان در ساعات عادی و اضافه‌کاری را تولید می‌کند. بخش دیگری از نیاز مشتریان به‌وسیلهٔ تأمین‌کنندگان مختلف برای تولیدکننده ارسال و ازطریق وی برای مشتریان ارسال می‌شود. درنهایت کالای رسیده به مشتریان درصورت داشتن خرابی به مرکز بازسازی و در مرکز بازسازی بعد از اعمال اقدامات اصلاحی به‌صورت محصول نهایی برای تولیدکننده ارسال می‌شود تا درسیکل‌های بعد دوباره برای آنها ارسال شود. از طرف دیگر بعد از پشت سرگذاشتن مدت زمان گارانتی، محصولات ازطرف مشتریان به مرکز نت ارسال می‌شود که درصورت امکان بعد از انجام تعمیرات و اصلاحات، مجددا 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: همان‌گونه‌که در قسمت قبل اشاره شد در زنجیره تأمین درحال مطالعه، محصولات در یک زنجیره تأمین سه‌سطحی 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 به‌شرح زیر هستند:

- ✓ محصولات درصورت استفاده‌نشدن پس از چند سال از طرف مشتری به بخش نت ارسال می‌شوند.
- ✓ محصولات در بخش نت، تعمیر و به مشتری بازگشت یا دمونتاژ و به تولیدکننده داده می‌شوند.
- ✓ محصولات برگشت داده‌شده به‌وسیلهٔ مشتری در بخش بازسازی یا نابود و یا دمونتاژ و به تولیدکننده تحویل داده می‌شوند.
- ✓ در زنجیره تأمین صنعت مورد مطالعه، چندین محصول تولید می‌شود و به‌فروش 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 ازلحاظ قیمت و زمان تحویل محصول متفاوت رفتار می‌کنند.

مجموعه اندیس‌ها

i: نشانگر محصول iام، $i=1,2,\ldots,I$ (I تعداد کل محصولات)

k: نشانگر مشتری kام، $k=1,2,\ldots,K$ (K تعداد کل مشتریان)

t: تعداد دورهٔ tام، $t=1,2,\ldots,T$ (T تعداد کل دوره‌ها)

j: نشانگر تأمین‌کنندهٔ jام $j=1,2,\ldots,J$ (J تعداد کل تأمین‌کنندگان)

پارامترهای مدل

d_{ikt}	تقاضای پیش‌بینی‌شدهٔ محصول iام در دورهٔ tام برای مشتری kام
$\propto_{ikt}$	درصد محصول iام برگشتی به‌وسیلهٔ مشتری kام به مرکز بازیافت در دورهٔ tام
β_{ikt}	درصد محصول iام برگشتی به‌وسیلهٔ مشتری kام در دورهٔ 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	هزینهٔ تولید یک واحد محصول iام در ساعات عادی
CPO_i	هزینهٔ تولید یک واحد محصول iام در ساعات اضافه کاری
CD_{i}	هزینهٔ تهیه یک واحد محصول iام از مرکز بازسازی
$C\mathrm{M}_{\mathrm{i}}$	هزینهٔ تهیهٔ یک واحد محصول iام از مرکز نت
CSC_{ij}	هزینهٔ تأمین یک واحد محصول iام از تأمین‌کنندهٔ jام
CLR_t	هزینهٔ دستمزد یک نفر کارگر در دورهٔ tام در زمان عادی
$\mathrm{CLO}_{\mathrm{t}}$	هزینهٔ دستمزد یک نفر کارگر در دورهٔ tام در زمان اضافه‌کاری
HC_t	هزینهٔ بدو استخدام (آموزش و ...) یک نفر نیروی انسانی در دورهٔ tام
FC_{t}	هزینهٔ اخراج یک نفر نیروی انسانی در دورهٔ tام
HIP_{it}	هزینهٔ نگهداری یک واحد محصول iام در دورهٔ tام در انبار تولیدکننده
$\mathrm{HID}_{\mathrm{it}}$	هزینهٔ نگهداری یک واحد محصول iام در انبار مرکز بازسازی در دورهٔ tام

HIM_{it} هزینهٔ نگهداری یک واحد محصول iام در دورهٔ tام در انبار مرکز نت

π_{ikt} هزینهٔ کمبود یک واحد محصول iام برای مشتری kام در دورهٔ tام

QR_{it} ضریب کیفیت تولید محصول iام در دورهٔ tام در ساعات عادی

QO_{it} ضریب کیفیت تولید محصول iام در دورهٔ tام در ساعات اضافه‌کاری

QSC_{ijt} ضریب کیفیت محصول iام که ازطریق تأمین‌کنندهٔ jام در دورهٔ tام تأمین می‌شود.

QD_{it} ضریب کیفیت تولید محصول iام در دورهٔ tام به‌وسیلهٔ مرکز بازسازی

QM_{it} ضریب کیفیت تولید محصول iام در دورهٔ tام به‌وسیلهٔ مرکز نت

WC_k ضریب اهمیت مشتری kام

WSC_j ضریب اهمیت تأمین‌کنندهٔ jام

MW_t حداکثر نیروی کار دردسترس در دورهٔ tام

MOT_t حداکثر ساعات اضافه‌کاری دردسترس در دورهٔ tام

TW حداکثر ساعات کاری لازم

TP_i میزان نفر–ساعت لازم برای تولید محصول iام (در ساعات اضافه‌کاری و ساعات کار عادی)

γ_t درصد تغییر مجاز در نیروی انسانی در دورهٔ tام

MSC_{ijt} حداکثر مجاز تأمین محصول iام از تأمین‌کنندهٔ jام در دورهٔ tام

P_{ikt} قیمت فروش محصول iام به مشتری kام دورهٔt ام

متغیرهای تصمیم

B_{ikt} میزان کسری (سفارش عقب‌افتاده) محصول iام در دورهٔ tام برای مشتری kام.

X_{it} میزان تولید محصولات خانوادهٔ iام در زمان تولید عادی در دورهٔ tام.

Y_{it} میزان تولید محصولات خانوادهٔ iام در زمان اضافه کاری در دورهٔ tام.

ZD_{it} میزان تأمین محصولات خانوادهٔ iام به‌وسیلهٔ مرکز بازسازی در دورهٔ tام.

ZM_{it} میزان تأمین محصولات خانوادهٔ iام به‌وسیلهٔ مرکز نت در دورهٔ tام

F_{ikt} میزان محصول خانوادهٔ iام ارسالی در دورهٔ tام برای مشتری kام در دورهٔ tام

SC_{ijt} میزان محصولات خانوادهٔ iام که در دورهٔ tام به‌وسیلهٔ تأمین‌کنندهٔ jام تهیه می‌شود.

OT_t ساعات اضافه‌کاری لازم در دورهٔ tام.

IP_{it} سطح موجودی محصول خانوادهٔ iام در انتهای دورهٔ tام در محل تولیدکننده.

WL_t تعداد نیروی کار لازم در دورهٔ tام.

Hl_t تعداد نیروی کار استخدام‌شده در دورهٔ tام

Fl_t تعداد نیروی کار اخراج‌شده در دورهٔ tام

ZC_{ikt} میزان محصولات خانوادهٔ iام که در دورهٔ tام برای مشتری kام از مرکز نت ارسال می‌شود.

IM_{it} سطح موجودی محصولات خانوادهٔ iام درانتهای دورهٔ tام در مرکز نت

ID_{it} سطح موجودی محصول خانوادهٔ iام درانتهای دورهٔ tام در مرکز بازسازی.

مدل ریاضی

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

$$\text{Min}z_1 = \sum_t \sum_i (\text{CPR}_i \, X_{it} + \text{CPO}_i Y_{it}) + \sum_t \sum_j \sum_i (\text{CSC}_{ij} \, \text{SC}_{ijt}) + \sum_t \sum_i (\text{CD}_i \, \text{ZD}_{it} + \text{CM}_{it} \text{ZM}_{it}) + \sum_t (\text{CLR}_t \, . \text{WL}_t + \text{CLO}_t \text{OT}_t) + \sum_t (\text{HL}_t \, . \text{HC}_t + \text{FL}_t . \text{FC}_t) + \sum_t \sum_i \text{IP}_{it} \, . \text{HIP}_{it} + \text{ID}_{it} \, . \text{HID}_{it} + \text{IM}_{it} . \text{HIM}_{it} - \sum_t \sum_i \sum_k \text{B}_{ikt} . \pi_{ikt} - \sum_t \sum_i \sum_k F_{ikt} * P_{ikt} \quad (۱)$$

$$\text{Max}z_2 = \sum_t \sum_i (X_{it} \, . \text{QR}_{it} + Y_{it} . \text{QO}_{it} + \sum_t \sum_i \sum_j \text{SC}_{ijt} . \text{QSC}_{ijt}) + \sum_t \sum_i (\text{ZD}_{it} \, . \text{QD}_{it}) + \sum_t (\text{ZM}_{it} . \text{QM}_{it}) \quad (۲)$$

$$\text{Min}z_3 = \sum_t \max_k (\text{WC}_k \, . \sum_i \text{B}_{ikt}) \quad (۳)$$

$$\text{Max}_4 = \sum_t \min_j (\text{WSC}_j \, . \sum_i \text{SC}_{ijt}) \quad (٤)$$

Subject to:

$$IP_{it} = IP_{i(t-1)} - \sum_k B_{ik(t-1)} + X_{it} + Y_{it} + \sum_j \text{SC}_{ijt} - \sum_k \text{d}_{ikt} + \text{ZD}_{it} + \text{ZM}_{it} \quad \forall i,t \quad (۵)$$

$$ID_{it} = ID_{i(t-1)} + \sum_k \alpha_{ikt} (F_{ikt} + zc_{ikt}) - ZD_{it} \quad \forall i,t \quad (٦)$$

$$IM_t = IM_{i(t-1)} + \sum_k \beta_{ikt} . (F_{ikt} + \text{ZC}_{iKt}) - ZM_{it} - \sum_k ZC_{ikt} \quad \forall i,t \quad (۷)$$

$$\sum_i IP_{it} \leq CAPP \quad \forall t \quad (۸)$$

$$\sum_i \text{ID}_{it} \leq \text{CAPD} \quad \forall t \quad (۹)$$

$$\sum_i IM_{it} \leq CAPM \quad \forall t \quad (۱۰)$$

$$\text{WL}_t \leq \text{MW}_t \quad \forall t \quad (۱۱)$$

$$WL_t = \text{WL}_{(t-1)} + \text{HL}_t - \text{FL}_t \quad \forall t \quad (۱۲)$$

$$\text{HL}_t \, . \text{FL}_t = 0 \quad \forall t \quad (۱۳)$$

$$(\text{IP}_{it} + \text{IM}_{it}) \, . \sum_k \text{B}_{ikt} = 0 \quad \forall i,t \quad (۱٤)$$

$$OT_t \leq \text{MOT}_t \quad \forall t \quad (۱۵)$$

$$\sum_i \text{TP}_i \, . X_{it} \leq \text{TW} \quad \forall t \quad (۱٦)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$\sum_{i} TP_i \cdot Y_{it} \leq OT_t \qquad \forall t \tag{۱۷}$$

$$FL_t + HL_t \leq \gamma_{t-1} WL_{t-1} \qquad \forall t \tag{۱۸}$$

$$SC_{ijt} \leq MSC_{ijt} \qquad \forall i, j, t \tag{۱۹}$$

$$B_{ikt} = B_{ik(t-1)} - F_{ikt} - ZC_{ikt} \forall i, k, t \tag{۲۰}$$

$$ZD_{it} \leq CAPD \quad \forall t, i \tag{۲۱}$$

$$ZM_{it} \leq CAPM \qquad \forall t, i \tag{۲۲}$$

$$ZC_{ikt} \leq CAPM \quad \forall i, k, t \tag{۲۳}$$

$$F_{ikt} + ZC_{ikt} \leq d_{ikt} \forall i, k, t \tag{۲۴}$$

$$B_{ikt}, X_{it}, Y_{it}, ZD_{it}, ZM_{it}, F_{ikt}, SC_{ijt}, OT_t, IP_{it}, WL_t, Hl_t, Fl_t, ZC_{ikt}, IM_{it}, ID_{it} \geq 0$$
$$I=1,2,\ldots I \qquad k=1,2,\ldots,K \qquad j=1,2,\ldots,J \qquad t=1,2,\ldots,T \tag{۲۵}$$

رابطهٔ (۱) نخستین تابع هدف مسئله را نشان می‌دهد که برای حداقل‌کردن هزینه‌ها است. هزینه‌ها شامل هزینه‌های تولید یک واحد محصول در ساعت عادی، ساعات اضافه‌کاری، هزینهٔ تأمین یک واحد محصول به‌وسیلهٔ تأمین‌کنندگان، به‌وسیلهٔ مرکز نت و به‌وسیلهٔ مرکز بازسازی، هزینهٔ یک نفر کارگر در ساعت کار عادی، هزینهٔ یک نفر کارگر در ساعت کار اضافه‌کاری، هزینهٔ استخدام و اخراج نیروی انسانی، هزینهٔ نگهداری یک واحد محصول در انبار تولیدکننده، در انبار مرکز نت و در انبار مرکز بازسازی، هزینهٔ کمبود یک واحد محصول برای مشتری و تقاضای پیش‌بینی‌شده است. رابطهٔ (۲) تابع هدف دوم مدل است که برای حداکثرکردن 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. رابطهٔ (۳) بیانگر سومین تابع هدف مسئله است که برای حداقل‌کردنِ حداکثر کمبود در میان مشتریان است و ضریب اهمیت مشتریان را شامل می‌شود. رابطهٔ (٤) نشان‌دهندهٔ تابع هدف چهارم مدل است که برای حداکثرکردنِ حداقل میزان تأمین محصول از تأمین‌کنندگان است. رابطهٔ (۵) تعادل موجودی تولیدکننده را نشان می‌دهد (مقدار اولیهٔ موجودی در مرکز تولید برابر با صفر در نظر گرفته شده است). رابطهٔ (٦) بیانگر تعادل موجودی در مرکز بازسازی است (مقدار اولیهٔ موجودی در مرکز بازسازی برابر با صفر در نظر گرفته شده است). رابطهٔ (۷) بیانگر تعادل موجودی در مرکز نت است (مقدار اولیهٔ موجودی در مرکز نت برابر با صفر فرض شده است). ظرفیت نگهداری محصول در مرکز تولیدکننده در رابطهٔ

(۸) آمده است. رابطهٔ (۹) نشان‌دهندهٔ ظرفیت نگهداری محصول در مرکز بازسازی است. رابطهٔ (۱۰) ظرفیت نگهداری محصول مرکز نت را نشان می‌دهد. رابطهٔ (۱۱) محدودیت حداکثر تعداد نیروی انسانی دردسترس را نشان می‌دهد. رابطهٔ (۱۲) بیانگر تعادل نیروی انسانی تولیدکننده است. در رابطهٔ (۱۳) استخدام یا اخراج کارکنان در هر دوره نشان داده شده است. رابطهٔ (١٤) بیانگر موجودی یا کمبود هر محصول در هر دوره است. رابطهٔ (۱۵) محدودیت سقف اضافه‌کاری را نشان می‌دهد. رابطهٔ (١٦) نشان می‌دهد زمان تولید محصول در هر دوره از زمان‌های عادیِ دردسترس کمتر است. رابطهٔ (۱۷) نشان می‌دهد زمان تولید محصول از زمان‌های اضافه‌کاری دردسترس کمتر باشد. رابطهٔ (۱۸) درصد تغییر مجاز در نیروی انسانی در هر دوره را نشان می‌دهد. رابطهٔ (۱۹) بیانگر حداکثر خرید محصول از تأمین‌کنندگان در هر دوره است. رابطهٔ (۲۰) تعادل کمبود محصول تولیدکننده را باتوجه‌به کمبود دورهٔ قبل، میزان محصول ارسال‌شده به مشتری از تولیدکننده و مرکز نت را در هر دوره نشان می‌دهد. رابطه‌های(۲۱) و (۲۲) بیانگر حداکثر محصول تهیه‌شده از مرکز بازسازی و مرکز نت است. رابطه‌های (۲۳) و (٢٤) حداکثر محصول ارسال‌شده برای مصرف‌کننده در هر دوره از مرکز نت و مرکز بازسازی را نشان می‌دهد. رابطهٔ (۲۵) بیانگر غیرمنفی‌بودن متغیرهای تصمیم مدل است.

روش حل مدل پیشنهادی

ازآنجایی‌که مدل پیشنهادی در مقالهٔ حاضر چندهدفه است، نیاز به پیداکردن جواب‌های بهینهٔ پارتویی است. یکی از متداول‌ترین روش‌های حل مسائل چندهدفه برای پیداکردن جوابه‌ای بهینهٔ پارتویی روش متریک LP است. در این روش ابتدا در هر مرتبه مدل با یک تابع هدف حل می‌شود، سپس مجموعه جواب‌های به‌دست‌آمده باتوجه‌به حداقل و حداکثربودن نوع تابع هدف در رابطهٔ (٢٦) قرار داده می‌شود(اصغرپور،۱۳۷۷).

$$Min\ Z = \{w_1 \left(\frac{Z_1 - {Z_1}^*}{{Z_1}^{nad} - {Z_1}^*}\right)^p + w_2 \left(\frac{{Z_2}^* - Z_2}{{Z_2}^* - {Z_2}^{nad}}\right)^p + w_3 \left(\frac{Z_3 - {Z_3}^*}{{Z_3}^{nad} - {Z_3}^*}\right)^p + w_4 \left(\frac{{Z_4}^* - Z_4}{{Z_4}^* - {Z_4}^{nad}}\right)^p\}^{1/p} \quad (٢٦)$$

مفروضات رابطهٔ ۲۶ به‌اختصار در زیر تشریح شده است. $1 \le P \le \infty$ است و ارزش آن مشخص‌کنندهٔ درجهٔ تأکید بر انحرافات موجود است؛ به‌گونه‌ای‌که هرچه این ارزش بزرگ‌تر باشد، تأکید بیشتری بر بزرگ‌ترین انحراف خواهد بود.

W_i: وزن در نظر گرفته شده برای تابع هدف iام

Z_i : تابع هدف iام مسئله

Z^*_i: جواب بهینهٔ حاصل از مدل

z_i^{nad}: جواب ضدایدئال حاصل از مدل

نتایج محاسباتی

مدل پیشنهادی روش L-P متریک با استفاده از نرم‌افزار LINGOv14.0.1.55 روی سیستمی با مشخصات ویندوز ۷ و RAM300HZ2.20,GB حل شده است. بدین منظور مدل یک‌بار با داده‌های واقعیِ اخذشده از صنعت و بار دیگر با مثالی عددی در ابعاد بزرگ‌تر و برگرفته از ادبیات مسئله حل شده است.

همان‌گونه‌که 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 دورهٔ سه‌ماهه برنامه‌ریزی شده است. پارامترهای مسئله باتوجه‌به اطلاعات کسب‌شده از صنعت فوق در جداول (۱) تا (۱۰) ارائه شده است. در جدول (۱۱) تعدادی از جواب‌های بهینهٔ پارتویی حاصله نمایش داده شده است.

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

- ✓ بهینه‌سازی هریک از توابع هدف به‌طور جداگانه با در نظر گرفتن محدودیت‌های مدل یک‌بار به‌صورت حداکثرکردن و بار دیگر به‌صورت حداقل‌کردن در نرم‌افزار لینگو؛
- ✓ نوشتن رابطهٔ L-P متریک مربوط به رابطهٔ (۲۵) و با استفاده از نتایج مرحلهٔ قبل؛
- ✓ بهینه‌سازی تابع به‌دست‌آمده از مرحلهٔ قبل و با در نظر گرفتن محدودیت‌ها با نرم‌افزار لینگو؛
- ✓ استخراج مقادیر بهینهٔ متغیرهای تصمیم از حل به‌دست‌آمده از مرحلهٔ قبل؛
- ✓ محاسبهٔ مقدار هریک از توابع هدف به‌ازاءِ متغیرهای تصمیم بهینهٔ حاصل از مرحلهٔ قبل.

مقادیر حاصل از مرحلهٔ آخر، جواب‌های بهینهٔ پارتویی هستند که در ستون‌های ۷ تا ۱۰ جدول (۱۱) ارائه شده است. همان‌گونه‌که مشاهده می‌شود این مقادیر مربوط به توابع هدف هستند. مقادیر مربوط به متغیرهای تصمیم هر سطر، همان مقادیر حاصل از مرحلهٔ چهارم در مراحل ذکرشدهٔ بالا هستند. درعمل پس از انتخاب یکی از جواب‌های بهینهٔ پارتویی به‌وسیلهٔ 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 درادامه مثالی عددی حل شده است. پارامترهای این مثال از مقالهٔ میرزاپور و همکاران (۲۰۱۲) استخراج شده است. در این مثال در یک زنجیرهٔ سه‌سطحی پنج محصول در شش دوره و با شش تأمین‌کننده تولید می‌شود. پارامترهای مدل در جداول ۱۲ تا ۲۱ ارائه شده است. جدول (۲۲) نمایش‌دهندهٔ جواب‌های بهینهٔ پارتویی است. در جدول (۲۳) نیز مقدار بعضی از متغیرهای تصمیم به‌ازاءِ P=3 مشاهده می‌شود.

جدول ۱- هزینهٔ تولید در ساعات عادی و اضافه‌کاری، تهیهٔ محصول از مراکز نت و بازسازی

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

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

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

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

TW	CAPM	CAPD	CAPP
۲۵	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۵۰۰۰

جدول ٤- حداکثر مجاز تأمین کالا از تأمین‌کننده و ضریب کیفیت تولید محصول به‌وسیلهٔ تأمین‌کننده

i	j	t					
		۱	۲	۳	۱	۲	۳
		MSC			QSC		
۱	۱	۳۸۱٤۷۳	۳۹۱۳۳۸	۳۲۷۸۵۰	۰/۹۷	۰/۹٦	۰/۸۷
	۲	۳۹۰۵۸۰	۳٦۳۲۳٦	۳۵٤٦۸۸	۰/۹۳	۰/۹۷	۰/۹۹
	۳	۳۱۲٦۹۸	۳۰۹۷۵٤	۳۹۵۷۵۱	۰/۸۸	۰/۷۲	۰/۸۷
۲	۱	۳۹٦٤۸۹	۳۹۵۷۱۷	۳۱٤۱۸۸	۰/۸۸	۰/۹۲	۰/۸۸
	۲	۳۱۵۷٦۱	۳٤۸۵۳۸	۳۱۲٤۷٦	۰/۹۳	۰/۹۷	۰/۹۹
	۳	۳۹۷۰٦۰	۳۸۰۰۲۸	۳۹۱۵۷٤	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹٤
۳	۱	۳۸۱٤۷۳	۳۹۱۳۳۸	۳۲۷۸۵۰	۰/۹۷	۰/۹٦	۰/۸۷
	۲	۳۹۰۵۸۰	۳٦۳۲۳٦	۳۵٤٦۸۸	۰/۹۳	۰/۹۷	۰/۹۹
	۳	۳۱۲٦۹۸	۳۰۹۷۵٤	۳۹۵۷۵۱	۰/۸۸	۰/۷۲	۰/۸۷

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

i	T																	
	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
	HIP			HID			HIM			QR			QD			QM		
۱	۸۵	۹۰	۱۰۰	۲۵	۳۰	۳۰	۲۰	۳۲	۲۲	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۹۸	۰/۹۲	۰/۹٦	۱
۲	۲۰	۹۷	۱۰	۲۷	۲۹	۲۷	۲۲	۲۳	۲۵	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹٦	۰/۹۸	۰/۹۵
۳	۹۲	۹٦	۹۹	۲۹	۲۸	۲۹	۲۵	۲٤	۲٤	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۳	۰/۹٦	۰/۹۰	۰/۹۷	۰/۹۸

جدول ٦- ضریب اهمیت مشتریان و تأمین‌کنندگان

WSC_j			WC_k					
۱	۲	۳	۱	۲	۳	٤	۵	٦
۰/۹	۰/٦	۰/۸	۰/۸	۰/٦	۰/۵	۰/٦	۰/۷	۰/۹

جدول ۷- ضریب کیفیت محصول تولیدکننده در ساعات اضافه‌کاری

I	T		
	۱	۲	۳
۱	۰/۵	۰/۷۵	۰/۷۱
۲	۰/۷	۰/۹	۰/۵
۳	۰/۹	۱	۰/٦

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

k	α_{ikt}			β_{ikt}		
	t=۱،۲،۳			t=۱،۲،۳		
	i			i		
	۱	۲	۳	۱	۲	۳
۱	۰/۰۱	۰/۲۹	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۲۰
۲	۰/۲۰	۰/۰۹	۰/۲۲	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۲۰
۳	۰/۱۳	۰/۱	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۲	۰/۱۵
٤	۰/۱٦	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۰۵
۵	۰/۱٤	۰/۱۷	۰/۲	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/٤
٦	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۲۳

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

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

جدول ۱۰- هزینهٔ تأمین کالا از تأمین‌کننده

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

جدول ۱۱- نتایج مدل ریاضی با روش L-P متریک (جواب‌های بهینهٔ پارتویی) :$0/3W_i$ ، ۰/۴ ، ۰/۲ ، ۰/۱

p	W_1	W_2	W_3	W_4	Z	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
۱	۰/۱	۰/۲	۰/۴	۰/۳	۲۷۱۱۸/۵۷	۰	۱۵۷۸۴۳/۲	۰	۰
	۰/۲	۰/۴	۰/۳	۰/۱	۵۴۲۳۸/۱۳	۰	۱۵۷۸۴۳/۲	۰	۰
	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۴۰۶۷۸/۳۵	۰	۱۵۷۸۴۳/۲	۰	۰
	۰/۸	۰	۰/۱	۰/۱	−۱/۰۰۰۰۰۰	۰	۱۵۸۷۵۲/۷	۰	۰
	۰/۱	۰/۱	۰	۰/۸	۱۳۵۸۴/۷۰	۰	۱۵۸۱۰۲/۴	۰	۰
	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۲۷۱۱۸/۵۷	۰	۱۵۷۸۴۳/۲	۰	۰
	۰/۶	۰/۴	۰	۰	۵۴۲۳۸/۱۳	۰	۱۵۷۸۴۳/۲	۰	۰
	۰	۰	۰/۶	۰/۴	−۱/۰۰۰۰۰۰	۰	۱۸۶۳۴۴/۷	۰	۰
۲	۰/۲	۰/۴	۰/۳	۰/۱	۰/۵۵۳۹۸۴۹E+۱۰	۱/۳۹۶۵۳۷	۱۳۰۳۲۶/۱	۸۵۰۸/۶۰۰	۰
	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۴/۱۵۳۰۸E+۹	۱/۳۴۳۰۷۴	۱۳۰۳۳۶/۷	۸۵۰۸/۶۰۰	۰
	۰/۱	۰/۱	۰	۰/۸	۱/۳۷۹۵۳E+۹	۱/۳۴۲۷۶۴	۱۳۰۳۳۴/۷	۸۵۰۸/۶۰۰	۰
	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۲۷۸۰۷۸۲E+۱۰	۱/۵۰۵۷۱۷	۱۳۰۳۰۶/۶	۸۵۰۸/۶۰۰	۰
	۰	۰	۰/۶	۰/۴	−۰/۲۸۷۹۲۰۳E-۶	۰	۱۸۶۳۲۵/۲	۰/۹۹۹۹۹۹۷	۱/۰۰۰۰۰۰
۳	۰/۱	۰/۲	۰/۴	۰/۳	۰/۲۳۶۳۴۰۹E+۱۵	۰	۱۰۲۲۵۶/۳	۱۶۳۳۸/۶۰	۰
	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۴/۸۶۲۱۷E+۱۴	۰	۱۳۰۱۲۴/۷	۸۵۰۸/۶۰۰	۰
	۰/۸	۰	۰/۱	۰/۱	−۱	۰	۱۱۲۹۶۲/۶	۰/۰۰۰۰۰۰	۰
	۰/۶	۰/۴	۰	۰	۰/۴۸۷۴۹۰۳E+۱۵	۰	۱۰۷۸۳۳/۱	۲۴۸۴۱/۲۶	۰
	۰	۰	۰/۶	۰/۴	−۱/۰۰۰۰۰۰	۰	۱۸۶۳۴۴/۷	۰	۰

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

i	CPR	CPO	CD	CM	TP
۱	۰/۹۵	۰/۵۵	۰/٤۵	۰/٤	۳
۲	۰/۱	۰/٦	۰/٤۵	۰/۵	۳
۲	۰	۰/٤۵	۰/۳۵	۰/۳	۳
٤	۱/۱	۰/۵	۰/٤	۰/٤	۳
۵	۱/۱۵	۰/٦۵	۰/۵	۰/٤۵	۳

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

t	HC	FC	CLR	CLO	MW	MOT	γ_t
۱	۵۰	۷۰	۱٦۰	۱۷۰	۵۰	۵۵	۰/۲
۲	۵۰	۸۰	۲۱۰	۱۹۰	۵۰	۵٦	۰/۲
۳	۵۰	۹۰	۲۳۰	۲۱۰	۵۰	۵۷	۰/۲
٤	۵۵	۱۰۰	۲۵۰	۲۳۰	۵۰	۵۸	۰/۲
۵	۵۵	۱۱۰	۲۵۰	۲۵۰	۵۰	۵۹	۰/۲
٦	۵۵	۱۲۰	۲۹۰	۲۷۰	۵۰	٦۰	۰/۲

جدول ۱٤- حداکثر مجاز تأمین کالا از تأمین‌کننده و ضریب کیفیت تولید محصول به‌وسیلهٔ تأمین‌کننده (در مثال عددی)

MSC								QSC							
i	j	t						i	j	t					
		۱	۲	۳	٤	۵	٦			۱	۲	۳	٤	۵	٦
۱	۱	۹۵٦٦	۵۰٤٦	۷۳۷۷	۹۰۷۳	۵٦۱۲	۵٤۸۳	۱	۱	۰/٦۳	۰/۹۸	۰/۹٦	۰/٦۸	۰/۷۸	۰/۹۵
	۲	٦٤۵۵	۸۲۸۸	۷۸۱۸	۵۳۲۹	۹۰۳۳	۹۳۷۰		۲	۰/٦۲	۰/۸۲	۰/۷۲	۰/۵۱	۰/۷۵	۰/۹۱
	۳	۸۵۷۰	۷٤۷۲	۹٦۸۲	۵۹۹۱	٦۱۵۲	۵٦۹۰	۱	۳	۰/۸۲	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/٦٦	۰/۸	۰/۸۳
	٤	۸٤۰۱	۸۲۷۲	۷۲۵۳	٦۲۲۵	۷۱۲۲	۹۹۵۵		٤	۰/۸٦	۰/۸۳	۰/۷۹	۰/۷۷	۰/۷۵	۰/٦۷
	۵	٦۸۲۱	٦۸۲۲	۵۱٤۲	۸۲۱۷	۷۰۰۰	۹۹۹٦		۵	۰/٦۹	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۷۷	۰/۵۳	۰/٦۸
۲	۱	۸۸٤۵	٦٤٤۷	٦۲۲٤	۵۳۰۹	۹۰۱٦	۹٤۰٤	۱	۱	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۷۲	۰/۸	۰/۷۸	۰/٦۱
	۲	٦۲٦٦	۵٤۷۹	۵٦۹٤	۷۲۰۰	۸٤۸٤	۹۳٤۰		۲	۰/۸۵	۰/٦٤	۰/۵۷	۰/٦۷	۰/۷٦	۰/۵٤
	۳	٦۲۲۵	٦۵۹٤	۵۱۵۱	۵٦۱۳	۸۰۹۰	۷٦۰۹	۲	۳	۰/٦۳	۰/٦۵	۰/۵۲	۰/۵۳	۰/۷۱	۰/٦۷
	٤	۷۵۹۱	۸۳۱۷	٦۸۰۳	٦۰۳۰	۵۳۵۷	۹۸۰۳		٤	۰/٦۳	۰/۸٤	۰/۷۹	۰/۵۷	۰/۵٦	۰/۵٤
	۵	۷٤٤۷	۹۳۷۲	۹۲۳۵	۵۷۷۸	٦٤۸۸	۷۷۵۳		۵	۰/٦٤	۰/۹۱	۰/۷٤	۰/۸٦	۰/۸۳	۰/۷۱
۳	۱	۵۷۰۵	٦۳٦۱	٦۵٦۷	۷۹۷۹	۷۷٦۷	۷۸۲٤	۳	۱	۰/٦۷	۰/۷۵	۰/۸٤	۰/٦	۰/۸۷	۰/۹۲
	۲	٦۲٦۷	۷۸۳۲	۸۸۹٦	۸٤۰٦	۸۰٦۳	۵۵۳۵		۲	۰/۹۱	۰/٦۲	۰/۷۳	۰/۵٤	۰/۷٦	۰/٦۱
	۳	۸۹٦٤	٦۲٦٤	۷۷٤۵	۷۷۳۸	۷۸۸٤	۸۹۸۸	۳	۳	۰/۹۷	۰/۵۹	۰/۹۵	۰/۸٦	۰/۵۱	۰/٦۹
	٤	۵۸٤٤	۹۲۹۸	٦۰۸۳	۸٦۷۳	۷۰۳۹	۸۹۸۱		٤	۰/۵۱	۰/۹	۰/۵	۰/۵٤	۰/۸۵	۰/۷۸
	۵	٦۱٦۰	۵۸۹۷	۸۹۲۵	۷۸۳٦	۸٤٤۷	۷۰٦٦		۵	۰/۷	۰/۸۱	۰/۵۸	۰/۹	۰/۹	۰/۸۱
٤	۱	۷٦۸٤	٦۵۹٦	۸۲۲۱	۷۵۷٦	٦۳۸۲	۵۲۳۸	٤	۱	۰/۸۹	۰/٦۵	۰/۸٦	۰/۹۷	۰/۹	۰/٦۸
	۲	۵۸۸۰	۷۱۲۰	۸۵۳٤	۹۲٦۱	۷۰۳۹	٦۸۵۸		۲	۰/۵۲	۰/۷۵	۰/۵۷	۰/۷۷	۰/۵۷	۰/۷۸
	۳	۵۱۰۹	۹۷۵۵	۷٦۵۵	۸٤۵۸	۷۸۲۳	۸۰۲۰	٤	۳	۰/۹	۰/۹۵	۰/۵۷	۰/۹۵	۰/٦۲	۰/۹۸
	٤	۷۵۷۳	۸۷۳۷	۷٤۱۱	۷۷۲۰	۸۷۸۸	۸٤٤٦		٤	۰/٦۲	۰/۹٤	۰/٦۷	۰/۹٦	۰/۸٦	۰/۹
	۵	۷۵۳۷	۸۵۷٤	٦۳۵۸	٦۵٦۲	۷۸۷۸	۵۱۰٦		۵	۰/۵۵	۰/٦۷	۰/۷۲	۰/۵٤	۰/۹۳	۰/۸۲

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

HIP							QR						
i	t						i	t					
	۱	۲	۳	٤	٥	٦		۱	۲	۳	٤	٥	٦
۱	٦	٦	٦	۸	۸	۸	۱	۰/٦	۰/۹٤	۰/٦۹	۰/۷۲	۰/۷۹	۰/۷۹
۲	۸	۸	۸	۱۰	۱۰	۱۰	۲	۰/٦٦	۰/٦۸	۰/٥۹	۰/٦	۰/٥۲	۰/٥۱
۳	۱۰	۱۰	۱۰	۱۲	۱۲	۱۲	۳	۰/۸۳	۰/٦۱	۰/۸۳	۰/٦٥	۰/۷٥	۰/۷۳
٤	۱۲	۱۲	۱۲	۱٤	۱٤	۱٤	٤	۰/۷٤	۰/٥۳	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/٦۳	۰/٦
٥	۱٤	۱٤	۱٤	۱٦	۱٦	۱٦	٥	۰/٥٥	۰/۷۹	۰/۹٤	۰/٥۷	۰/۸۲	۰/۷۸
i	HID						i	QD					
۱	۹	۹	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۱	۰/٥۱	۰/٦۹	۰/٦۹	۰/٦٥	۰/٥٤	۰/۸۲
۲	۱۱	۱۱	۱۱	۱۲	۱۲	۱۲	۲	۰/۷۲	۰/۷٤	۰/۷۷	۰/٥۱	۰/۹۲	۰/۹۲
۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱٤	۱٤	۱٤	۳	۰/٥	۰/۷٦	۰/۷۳	۰/٦۸	۱	۱
٤	۱٥	۱٥	۱٥	۱٦	۱٦	۱٦	٤	۱	۰/٥۹	۰/٦٦	۰/٥۸	۰/۷۱	۰/۸۲
٥	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۸	۱۸	٥	۰/۸۸	۰/٥۳	۰/٦۷	۰/۸٤	۰/۸۳	۰/٥۱
i	HIM						i	QM					
۱	۱۰	۱۰	۱۰	۱۱	۱۱	۱۱	۱	۰/۷٥	۰/۸۲	۰/۸٥	۰/٦٦	۰/۹٦	۰/٦۳
۲	۱۰	۱۰	۱۰	۱۱	۱۱	۱۱	۲	۰/٦۳	۰/۸۲	۰/٥٦	۰/۹۷	۰/٦۹	۰/٥۳
۳	۱۰	۱۰	۱۰	۱۱	۱۱	۱۱	۳	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/٦۹	۰/۷	۰/٥۲	۰/٦۳
٤	۱۰	۱۰	۱۰	۱۱	۱۱	۱۱	٤	۰/۹٤	۰/۹	۰/٥٥	۰/٦	۰/۹۱	۰/٦
٥	۱۰	۱۰	۱۰	۱۱	۱۱	۱۱	٥	۰/٦۹	۰/٦۱	۰/۹	۰/٦٤	۰/۸۷	۰/۹۷
i	QO												
۱	۰/۸۷	۰/٦۲	۰/۷۱	۰/٦۹	۰/۸٥	۰/۹۱							
۲	۰/۷۳	۰/٥۸	۰/٦٥	۰/۸٦	۰/٦٤	۰/۹٥							
۳	۰/۹۳	۰/۹۷	۰/٥٤	۰/۹۷	۰/۷٤	۰/٥							
٤	۰/۷	۰/۷۱	۰/۹٥	۰/٥٤	۰/۸٤	۰/٥٦							
٥	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۹٤	۰/۸۸	۰/۷٦	۰/٥۸							

جدول ١٦- ضریب اهمیت مشتری و تأمین‌کنندگان (در مثال عددی)

WC_k					WSC_j			
٥	۴	۳	۲	۱	۴	۳	۲	۱
۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵

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

D							α						β					
t							t						t					
۱	۲	۳	٤	٥	٦	k	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۱	۲	۳	٤	٥	٦
۱۱۰	۲۷۰	۳٦۰	۳۲۰	۱۲۰	۲۱۰	۱	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸
۲۲۰	۲٦۰	۳۲۰	۳٦۰	۲۱۰	۲۲۰	۲	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹٦
۱٦۰	۲۱۰	۲٦۰	۳۱۰	۱۲۰	٦۰	۳	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹٤	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸
۲٦۰	۱۲۰	۳۱۰	۲٦۰	۲۲۰	۱۱۰	٤	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹٦
۱۹۰	۲۱۰	۲۱۰	٤۱۰	۳۱۰	۳٦۰	٥	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹۷

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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

i	k	D						α						β					
		t						t						t					
		۱	۲	۳	٤	٥	٦	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۱	۲	۳	٤	٥	٦
۲	۱	۲۰۰	۳٦۰	٥٥۰	٦۰۰	۱۳۰	۳۳۰	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸
	۲	۲۹۰	۳٤۰	۳۳۰	٥۸۰	۳۸۰	۳٤۰	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷
	۳	۲۳۰	۳۹۰	٥۰۰	٤۱۰	۱٦۰	۸۰	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸
	٤	۳۱۰	۲۰۰	۳۸۰	٤۲۰	۳۲۰	۱٤۰	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹۷
	٥	۳۰۰	٤۱۰	۲۳۰	۷۰۰	٤۳۰	٤۰۰	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۷
۳	۱	۱۰۰	۲۰۰	٥۰	۹۰	٥۰	۳۱۰	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹٦	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸
	۲	۷۰	۲٦۰	٥٤۰	۱٥۰	۱٦۰	۹۰	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷
	۳	۱۰۰	۹۰	۱٥۰	٤۱۰	۲۰	۷۰	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸
	٤	۸۰۰	۱٤۰	۲٤۰	٥۰	۱۷۰	۳۰	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦
	٥	۹۰	۱۸۰	۱۷۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۱۰	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۷
٤	۱	۱۸۰	٦۰۰	۷٦۰	۹۰۰	۳۰۰	۳۷۰	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸
	۲	٤۷۰	٦۳۰	٤۸۰	۷۲۰	۷۰۰	٥٥۰	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷
	۳	۲۱۰	٥۱۰	۳۱۰	۸٥۰	۱۷۰	۱۰۰	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸
	٤	۷۲۰	۲٥۰	٥٥۰	۸۲۰	٦۳۰	۱۹۰	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦
	٥	٤۱۰	۳۲۰	٥۰۰	٦۱۰	٦٤۰	۱۲۰	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹٦	۰/۹۷

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

i	k	j			
		۱	۲	۳	٤
۱	۱	۱/۰۱٤	۱/۰۲۹	۱/٥۷۹	۱/٦۰۱
	۲	۲/۰۲۹	۲/۰۱٤	۱/۰۱۸	۱/٥۸٦
	۳	۱/۱۳	۱/۱٤٤	۱/۰٥	۱/۰۷۲
	٤	۳/۰۳٦	۳/۰٥۸	۲/۰۷۲	۲/۰٦٥
	٥	۲/۰٦٥	۲/۰٤۳	۱/٥۸٦	۲/۰۳٦
۲	۱	۱/۱۱٦	۱/۱۳۲	۱/۷۳۸	۱/۷٦۲
	۲	۲/۲۳۲	۲/۲۱٦	۱/۲۲	۱/۷٤٦
	۳	۱/۲٤٤	۱/۲٦	۱/۱٥٦	۱/۱۸
	٤	۳/۳٤	۳/۳٦٤	۲/۲۸	۲/۲۷۲
	٥	۲/۲۷۲	۲/۲٤۸	۲/۷٤٦	۲/۲٤
۳	۱	۱/۲۲	۱/۲٤	۱/۹	۱/۹٤
	۲	۲/٤٤	۲/٤۲	۱/۳٥	۱/۹۲
	۳	۱/۳۸	۱/٤	۱/۲۷	۱/۳
	٤	۳/٦٥	۳/٦٦	۲/٥	۲/٤۹
	٥	۲/٤۹	۲/٥۹	۱/۹۲	۲/٤٥
٤	۱	۱/۰۱٤	۱/۰۲۹	۱/٥۷۹	۱/٦۰۱
	۲	۲/۰۲۹	۲/۰۱٤	۱/۰۱۸	۱/٥۸٦
	۳	۱/۱۳	۱/۱٤٤	۱/۰٥	۱/۰۷۲
	٤	۳/۰۳٦	۳/۰٥۸	۲/۰۷۲	۲/۰٦٥
	٥	۲/۰٦٥	۲/۰٤۳	۱/٥۸٦	۲/۰۳٦

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

	t					
i	۱	۲	۳	٤	٥	٦
۱	۰/٥	۰/۷٥	۰/۷۱	۰/۷٥	۰/۸	۰/۳۷
۲	۰/۷	۰/۹	۰/٥	۰/۷٥	۰/٥	۰/۷٥
۳	۰/۹	۱	۰/٦	۰/٦۹	۱	۰/٤٥
٤	۰/۷٥	۰/۸	۰/۹	۰/۷	۰/۸	۰/٦٥

جدول ۲۰- پیش‌بینی قیمت فروش محصولات تولیدی ارسال‌شده به مشتری و هزینهٔ کمبود کالا

k	P_{ikt}				π_{ikt}			
	t=۱،...،٦				t=۱،...،٦			
	i				i			
	۱	۲	۳	٤	۱	۲	۳	٤
۱	٦۰	٥٥	٦۲	۸٥	٥	۷	٥	۲
۲	٦٥	۷۸	٦٤	٦٥	۷	٦	٦	۳
۳	٥٥	٦۰	٥۷	٥٥	۹	٤	۱	٤
٤	٥۸	٦۸	٥٦	۸۰	۲	٥	۱	٥
٥	٦۰	٥۷	٦۲	٦۷	۷	۸	٦	٦

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

k	α_{ikt}				β_{ikt}			
	t=۱،...،٦				t=۱،...،٦			
	i				i			
	۱	۲	۳	٤	۱	۲	۳	٤
۱	۰/۰۱	۰/۲۹	۰/۱۹	۰/۲	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۲۰	۰/۳
۲	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۲۲	۰/۱٥	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۲۰	۰/۱٥
۳	۰/۱۳	۰/۱	۰/۱٥	۰/۱۳	۰/۱	۰/۲	۰/۱٥	۰/۰۹
٤	۰/۱٦	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱٤	۰/۱٥	۰/۰۸	۰/۰٥	۰/۳
٥	۰/۱٤	۰/۱۷	۰/۲	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/٤	۰/۲

جدول ۲۲- جواب‌های بهینهٔ پارتویی حاصل از حل مدل با روشL-P متریک (در مثال عددی)

W_i:۰/۱ ، ۰/۲ ، ۰/٤ ، ۰/۳

P	Z	$Z_۱$	$Z_۲$	$Z_۳$	$Z_٤$
۱	۰/۳۸٥	٥/٥٤E+۰٥	۱/۸۲E+۰٥	-۱/۰٤E-۱۲	۲۲٤۳۷/٦۳
۲	۰/٥۰٦	٥/٥٦E+۰٥	۱/۸٤E+۰٥	۲۸۷/٤۳۲	۲۲۷۲٥/۰٦
۳	۰/٥٥۳	٥/۷۳E+۰٥	۱/۸۸E+۰٥	۹۹۹/۹٦۲	۲۳٤۳۷/٥۸
٤	۰/٥۷۸	٦/۰۲E+۰٥	۱/۹۱E+۰٥	۱٤۹۷/٥۷۳	۲۳۹۳٥/۲
٥	۰/٥۹۳	٦/۷۹E+۰٥	۱/۹٤E+۰٥	۱۸٥۰/۷۳۹	۲٤۲۸۸/۳٦

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

$X_{۲۲}$ =۳۳۳/۳۳	بدین معناست که میزان تولید محصول دوم در زمان تولید عادی در دورهٔ دوم برابر ۳۳۳/۳۳ است.
$ZD_{i\ ۲}$=۱۰۰۰۰	میزان تأمین تمامی محصولات در مرکز بازسازی در دورهٔ دوم انجام می‌شود و به‌میزان حداکثر تأمین است.
$ZM_{۳۲}$=۱۰۰۰	میزان تأمین محصول سوم در مرکز نت در دورهٔ دوم انجام می‌شود و به‌میزان حداکثر تأمین است.
$SC_{۲۱۶}$=۱۹۹/۹۸	میزان محصول ۲امی که در دورهٔ ٦ام به‌وسیلهٔ تأمین‌کنندهٔ اول تأمین می‌شود به‌میزان ۱۹۹/۹۸ است.
$F_{۲۲۶}$=۱٤/۸٤	میزان محصول ۲امی که در دورهٔ ٦ام برای مشتری دوم ارسال می‌شود به‌میزان ۱٤/۸٤ است.

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. اهدف در این مدل حداقل‌کردن هزینه‌ها، حداکثرکردن کیفیت محصول تهیه‌شده از تأمین‌کنندگان و محصول تولیدشده به‌وسیلهٔ تولیدکننده در ساعات عادی و اضافه‌کاری، حداقل‌کردن 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 باتوجه‌به شرایط هر صنعت اعمال کرد. علاوه بر آن پیشنهاد می‌شود به‌تناسب پیچیده‌ترشدن 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-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.

Haji,A., & Mohammadrahimi, A. (2008). "Using Fuzzy Multi Objective Linear Programming in Aggregate Planning", *Sixth International Industrial; Engineering Confrence*, 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 efficientalgorithm 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 Uncertaint 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.

Pishvaee, 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.

[1]- Pishvaee.MS,Rabbani.M,Torabi.S.A
[2]- Pokharel, S. and Mutha, A
[3]- Renqian Zhang, Lankang Zhang, YiYong Xiao, IkouKaku
[4]- Holt, C.C., Modigliani, F., Muth, J.F
[5]- Nam, S.J., Logendran, R
[6]- Masud, A.S.S., Hwang, C.LMirzapour ,hashema, . Malekly , H, Aryanezhada, M.B A
[7]- Baykasoglu
[8]- Stephen C. H. Leung a , Yue Wu b & K. K. Lai
[9]- Mirzapour ,hashema, Aryanezhad, Seyed Jafar Sadjadi
[10]- Mirzapour ,hashema, . Malekly , H, Aryanezhada, M.B A
[11]- Gholamian,.Mahdavia and Tavakkoli
[12]- Mirzapour ,hashema, , Babolib, A ,Sazvarb, c