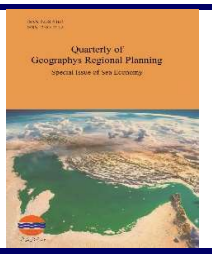
Iranian Association of Geopolitical

Geography (Regional Planning)

Autumn 2023. Vol 13. Issue 52

ISSN (Print): 2228-6462 - ISSN (Online): 2783-2112

Journal Homepage: https://www.jgeoqeshm.ir/



Research Paper

Development of A Mathematical Model to Optimize Production Output Function in Dynamic Manufacturing and Production Systems in Line with Regional Planning and Sustainable Development

Amir Foad Sateie[1], Amir Najafi [*2], Hossein Ghazanfari [3]

1. Department of Industrial Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran.
2. Professor, Department of Industrial Engineering, Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

ARTICLEINFO

PP: 665-691

Use your device to scan and read the article online

Keywords:
Mathematical Modeling, Genetic Algorithm, Ant Colony Algorithm, Dynamic Manufacturing & Production Systems

Abstract

Abstract: Due to the importance of manufacturing and production systems issues in modern businesses, in recent years, many magazines and researchers have focused their research on this field. Manufacturing and production is an emerging pattern in which production resources are hardware (handling materials, equipment, tools and machines, computers), software (computer-aided design, computer-aided production) and production capabilities (ability design, production, maintenance, repair, management, simulation, optimization) is virtualized and available to users in the entire manufacturing and production cycle and allows the joint use of production systems and resources produced at the global level. Manufacturing and production based on new technologies is a solution that enables users to receive their requests in different layers with optimal timing. Therefore, the main goal of this research is to provide a mathematical model to optimize the production output function in dynamic manufacturing and production systems. For this purpose, the researcher first conducted a comprehensive and complete study of the research literature, and after collecting the information, he selected and developed the initial model, and in the second phase of the research, he started by obtaining statistical information and data from the relevant statistical community, to build the model. Its original and initial test was done. Since the problem of optimizing the production output function in dynamic manufacturing and production systems is included in the NP-hard category, it means that for such problems, a quick and feasible solution has not been found in a reasonable time from the genetic algorithm and ant colony in MATLAB software was used and through the tools and methods of solving and analyzing them, the questions of the current research were given a suitable and optimal answer.

Citation: Sateie, A.F., Najafi, A., Ghazanfari, H. (2023). **Development of A Mathematical Model to Optimize Production Output Function in Dynamic Manufacturing and Production Systems in Line with Regional Planning and Sustainable Development.** Geography (Regional Planning), 13(52), 665-691
DOI: 10.22034/jgeoq.2024.319667.3465

[*] **Corresponding Author:** Amir Najafi, **Email:** asdnjf@gmail.com

Copyright © 2024 The Authors. Published by Qeshm Institute. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Extended Abstract

Introduction

A wide list of features is related to product characteristics, process, workforce, materials, technology and organization, which is referred to as production system. The researchers expressed the importance of the production area as a source of competitive advantage in the manufacturing company, but most of the research is focused on the content of the production strategy and the relationship between several variables in this area, and less attention has been paid to optimization issues. It seems that one of the basic problems of today's industrial society is the low quality characteristics, the failure of products and systems, which causes problems at different levels of production, and it seems that the variables and parameters that can be effective in causing problems It is classified in two main parts, which are: 1- Weakness in dynamic manufacturing and production systems. 2- Weakness in optimizing these systems. Every product that is delivered to domestic and foreign customers is evaluated by considering the quality characteristics of the outputs. These outputs are often referred to as critical quality attributes and are measured by various evaluation criteria. One of the important characteristics of industrial production is the question of the product's performance over time so that it performs its task optimally. Considering that the performance of the system over time is a random phenomenon, the role of probability and statistics in investigating the random properties of the system performance is clearly defined. By examining the background and cycle of evolution of production line balancing methods from 1966 to 2022, we realize that production optimization techniques and theories in this field, using mathematical and experimental models, seek to solve the problem of production line balance. Most of the researches have been focused on reducing the workstations and reducing the time period. According to the existing problem, each work order can be assigned to more than one specific machine and each work order has a certain weight, but the weight of the work order is not the only determining factor, but factors such as the importance of the work order, the physical health of the machines are also important. In terms of being ready to work and in terms of providing the right output, the skill of the human force, the start-up cost in a situation where the production is faced with a large volume and variety in the work order are also decisive and important. Therefore, the purpose of this research is to develop a mathematical model to optimize the production output function in dynamic manufacturing and production systems, and it tries to answer some of these issues and problems in the statistical community in question, and in the output function optimization section Manufacturing and production systems, as the main solution to the problem, analyze the issue.

Methodology

In terms of nature, since the research aims to develop knowledge to be applied in a specific field, it is considered to be of an applied type, and the research method in this research is inductive, analytical and field method. From the point of view of the type of research, it is experimental science. In the qualitative part of information gathering, a non-random and judgmental sampling method is used, which has been used by experts for interviews, discussions and group meetings. In the quantitative section, all the data of the last 5 years have been sampled as daily data. Due to the fact that the subject under study has different stages of manufacturing and production systems, there is a need for a large number of independent and dependent variables for the optimization part of the production output function in dynamic manufacturing and production systems, so in order to analyze and Data analysis has been done through MATLAB software to analyze, draw conclusions and present the findings of the desired data. Also, this research is conducted in the field of production studies and production line optimization, the place of this research is in Iran, and the time of this research is in the period of summer 1399 to winter 1401 AH and the information, statistics and The documents are related to this time period. In this research, the territory of the statistical community, the subject of the research, in one of the country's automobile manufacturing companies, has been placed as a statistical community from its spatial dimension and geographical location.

Results and Conclusion

The obtained results indicate the high efficiency of the genetic algorithm in both time and cost domains. Also, the results showed that the problem was stable in all sensitivity conditions and the genetic algorithm provided more optimal results, which is a sign of the high capability and large memory of this algorithm in solving complex problems. The present research was able to present an approach that is completely practical to use in planning and controlling the production line in real conditions, the problem of planning automatic and semi-automatic production lines that face the variety of products and the number and volume of multiple orders is that In a moment, different orders are loaded from the sales unit for production, and production operational managers must be able to produce these orders according to the conditions of manpower and production machines, the profitability of the orders, and the importance of different customers, so that the minimum Losses in operational costs are created and customer satisfaction is achieved and the company's competitive advantage is created and maintained through timely production. The methods presented as research records to respond to the need for planning and production control are more one-sided and have looked at operational issues from one perspective. This research tried to deal with the problem of optimization of the production line in a multifaceted manner and by considering the following important components, it deals with the operational concerns of planning in a practical and scientific way. The components involved in this research are as follows:

•The costs of each work order according to the skill criteria of human resources

•Physical health of machines by considering three indicators of reliability of machines, average time between two breakdowns in the machine and availability of machines

According to one of the goals of this research, which is about determining the correct weight of work orders, which is effective in optimizing production, through an open interview and taken from the literature of previous studies, the opinions of experts regarding the components that can be involved in determining the weight of orders was obtained and then to determine the weight of the orders, a multi-criteria decision-making integrated method was used. For this purpose, closed questionnaires based on the interviews were prepared and given to the experts, and the results of these questionnaires were analyzed using a combination of two modern methods of weighting work orders. The opinion is a combination of Suara and Kupras method.

In the department of quantitative studies, considering that the goal was to develop a mathematical model to optimize the output of the production line, the mathematical development was carried out on the basic mathematical method, which is the most efficient method according to the studies of Karamia and Del Ahmo. The three features of this method, one is to interfere with the weight of the work order in the optimization, and the other is to affect the history of the previous order in the execution of the new order, and the last feature is to balance the load of work orders to all machines, which is more efficient than other methods.

References

1. Skinner, W. (1969), Manufacturing, missing link in corporate strategy, Harvard Business Review, May-June, pp. 136-45.
2. Hayes, R.H., Wheelwright, S.C. (1984), "Restoring our competitive Edje, competing Through manufacturing", John Wiley and son, New York, NY.3-24.
3. Hill, T.J. (1987), "Teaching manufacturing strategy", Int. J. Operations & Production Management, 6(3), 10-20.
4. Tan, K., Platts, K.(2004a), The connectance model revised: A tool For manufacturing objective deployement, J.of manufacturing Technology management, vol. 15, No. 2.
5. Chen, L.H. & Lu, H.W. (2007). An extended assignment problem considering multiple inputs and outputs. Applied Mathematical Modelling, 31(10), 2239-2248
6. M.Colledani, T. Tolio. (2006). Impact of Quality Control on Production System Performance, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 55, Issue 1, 2006, Pages 453–456
7. M.Fallahnezhad, M.Lotfi, E.Shahin. (2016). A Stochastic Dynamic Programming for Production Planning of Processes Industries. International Journal of Industrial Engineering

& Production Management, Volume 27, Number 4, Pages 547-562

8. Cox, J.F., Blackstone, J.H.(1998), "APICS Dictionary", 9th ed., Falls Charch, VA.
9. Mills, J.G., Platts, K.W., Gregory, M.(1995), "A framework for the design of manufacturing strategy processes", Int. J. of Operations & Production Management,
10. Dangayach, G.S., Deshmukh, S.G. (2001), "Manufacturing strategy: literature review and some issue", Int. J. of Operations & Production Management,21(7),884-932.
11. Voss, C.A.(2005), "Alternative paradigms for manufacturing strategy", Int. J. of Operations & Production Management, 25(1)2,1211- .1222
12. Adamides, E.D.,Pomonis, (2007), "The co-evolution of product, production and supply chain decisions, and the emergence of manufacturing strategy", Int. J. Production Economics.
13. Chang-Chun Zhou, Guo-Fu Yi, Xiao-Bing Hu. (2009). "Multi-objective optimization of material selection for sustainable products: Artificial neural networks and genetic algorithm approach" , Materials and Design 30, pages 1209–1215
14. Javadian, N. (2003). "Design of cellular manufacturing systems in a dynamic and probabilistic condition using genetic algorithms and comparing them with the optimal solution". M.Sc. thesis in Industrial Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Tehran, Iran
15. Sasadhar Bera, Indrajit Mukherjee (2015), A Multistage And Multiple Response Optimization Approach For Serial Manufacturing System, European Journal Of Operational Research.
16. Jin,J., & Shi,J. (1999). State space modeling of sheet metal assembly for dimensional control. Transaction of the ASME, 121, 756–762.
17. Zhou,S., Huang,Q. & Shi,J. (2003). State space modeling of dimensional variation propagation in multistage machining process using differential motion vectors. IEEE Transaction on Robotics and Automotation,19(2),296–309.
18. Liu,J., Shi,J., & Hu,S.J. (2009). Quality assured setup planning based on the stream of variation model for multi-stage machining processes. IIE Transactions, 41(4),323–334
19. Shi,J. ,& Zhou,S. (2009). Quality control and improvement for multi-stage systems: A survey. IIE Transactions, 41(9),744–753.
20. Zantek,P.F ,Wright,G.P. & Plante,R.D. (2002). Process and product improvement in manufacturing systems with correlated stages. Management Science, 48(5), 591–606.
21. Bowling,S.R., Khasawneh,M.T., Kaewkuekool,S. & Cho,B.R. (2004). A Markovian approach to determining optimum process target levels for a multi-stage serial production system European Journal of Operational Research, 159,636–650.
22. Kwak,D.H., Kim,K.J., & Lee,M.S. (2010). Multistage PRIM: patient rule induction method for optimization of a multistage manufacturing processing process. International Journal of Manufacturing Research, 48(12), 3461–3473.
23. Marvin , Rausand. and Arnljot , Hoyland. (2004) , System Reliability Theory. A. john , wiley & Sons , INC. , Publication. Hoboken , New Jersey .
24. Massimiliano , Caramia. and Paolo , Dell 'Olmo. (2006) , Springer Series In Advanced M anufacturing. Springer , Verlag London Limited
25. Sasadhar , Bera. and Indrajit , Mukherjee (2015) , A Multistage And Multiple Response Optimization Approach For Serial Manufacturing System.European Journal Of Operational Research
26. Aderibigle , D. A. Oluwole , O. & Ogundare , O. (2006). Earing Characteristics Of Cold – rolled and temper annealed aluminium 1200. Journal of Applied Sciences. 6 (15). 3103 – 3109
27. Diaz-Garrido, E., Martín-Peña, M.L., García-Muiña, F.E. (2007), "Structural and customizationl practices as elements of content operations strategy", Int. J. of Production Research,45(9), 2119-40.
28. Mathur, A., Dangayach, G.S., Mittal M.L. and Sharma, Milind K.(2011), "Performance measurement in automated Manufacturing",MEASURING BUSINESS EXCELLENCE,15(1),77-91.
29. Safaei, N., Saidi-Mehrabad, M. and Jabal-Ameli, M.S. (2008). "A hybrid simulated annealing for solving an extended model of dynamic cellular manufacturing system." European Journal of Operational Research, Vol. 185, PP. 563–592.
30. Saidi-Mehrabad, M. and Safaei, N. (2007). "A new model of dynamic cell formation by a neural approach." International Journal

Advance Manufacturing Technology, Vol. 33, PP. 1001-1009.

31. Kahfi, A. (2010). Solving an integrated model for production planning and Dynamic Cellular Manufacturing System by a multi-objective meta-heuristic method. M.Sc. thesis in Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.

32. Safaei, N. and Tavakkoli-Moghaddam, R. (2009). "Integrated multi-period cell formation and subcontracting production planning in dynamic cellular manufacturing systems." International Journal of Production Economics, Vol. 120, No. 2, PP. 301-314.

33. Saidi-Mehrabad, M. and Safaei, N. (2007). "A new model of dynamic cell formation by a neural approach." International Journal Advance Manufacturing Technology, Vol. 33, PP. 1001-1009.

34. Chen, M. (2001). "A model for integrated production planning in cellular manufacturing systems." Integrated Manufacturing System, Vol. 12, No. 4, PP. 275-284

35. Kallami-heris, S.M. (2008) "The effect of population and coefficients learning in PSO algorithm." Proc., 3rd International Conference on Information and Knowledge Technology, Ferdowsi University of Mashhad.

36. Barzinpour, F. (2004). Scheduling in cellular manufacturing systems with setup times. Ph.D. thesis in Industrial Engineering, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.

فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)

دوره ۱۳، شماره ۵۲، پاییز ۱۴۰۲

شاپا چاپی: ۶۴۶۲- ۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۲۱۱۲ -۲۷۸۳

Journal Homepage: https://www.jgeoqeshm.ir/

انجمن ژئوپلیتیک ایران

مقاله پژوهشی

توسعه یک مدل ریاضی جهت بهینه سازی تابع خروجی تولید در سیستم‌های ساخت و تولید پویا در راستای برنامه‌ریزی منطقه‌ای و توسعه پایدار

امیرفواد ساطعی – دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

امیر نجفی* – استاد، گروه مهندسی صنایع، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران.

حسین غضنفری – استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

شماره صفحات: ۶۹۱-۶۶۵

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

واژه‌های کلیدی:

مدلسازی ریاضی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کلونی مورچگان، سیستم های ساخت و تولید پویا

چکیده

با توجه به اهمیت مسائل سیستم‌های ساخت و تولید در کسب و کارهای نوین، در سال‌های اخیر مجلات و محققان زیادی، پژوهش‌های خود را معطوف به این حوزه نموده اند. ساخت و تولید به عنوان یک الگوی نوظهور است که در آن منابع تولیدی بصورت سخت افزار(جابجایی مواد، تجهیزات، ابزارها و ماشین آلات، کامپیوتر)، نـرم افزار(طراح ی به کمک کامپیوتر، تولید به کمک کامپیوتر) و قابلیت‌های تولیدی (قابلیت‌های طراحی، تولید، نگهـداری تعمیر ات، مدیریت، شبیه سازی، بهینه سازی) مجازی شده و در تمام چرخه ساخت و تولید در دسترس کاربران قرار می‌گیرد و اجازه استفاده ی مشترک از سیستم‌های تولیدی و منابع تولید شده در سطح جهانی را می‌دهد. سـاخت و تولی د بـر مبنای فناوریهای جدید، راه حلی است که کاربران را قادر می‌سازد درخواست‌های خـود را در لای ه‌های مختلـف بـا زمانبندی بهینه دریافت نمایند. لذا، هدف اصلی این پژوهش، ارائه یک مدل ریاضی جهت بهینه سازی تابع خروجی تولید در سیستم های ساخت و تولید پویا می¬باشد. برای این منظور محقق ابتداء به مطالعه جامع و کاملی از ادبیات تحقیق پرداخته و پس از جمع آوری اطلاعات به انتخاب و توسعه مدل اولیه اقدام گردید و در فاز دوم تحقیق، ابتداء با اخذ اطلاعات آماری و داده‌ها از جامعه آماری مربوطه، به ساختن مدل اصلی و تست اولیه آن اقدام شد. از آن جا که مسئله بهینه سازی تابع خروجی تولید در سیستم های ساخت و تولید پویا، جزو دسته NP-hard قرار می‌گیرد یعنی برای اینگونه از مسایل راه حل سریع و قابل انجام در زمان معقول پیدا نشده است از الگوریتم ژنتیک و کلونی مورچگان در نرم افزار متلب استفاده شد و از طریق ابزارها و روش‌های حل و تجزی ه و تحلی ل آنهـا، بـه سـوالات تحقیق حاضر پاسخ مناسب نزدیک بهینه داده شد.

استناد: ساطعی، امیرفواد؛ نجفی، امیر؛ غضنفری؛ حسین (۱۴۰۲). **توسعه یک مدل ریاضی جهت بهینه سازی تابع خروجی تولی د در سیستم‌های ساخت و تولید پویا در راستای برنامه ریزی منطقه‌ای و توسعه پای دار.** فصـلنامه جغرافیـا (برنامـه‌ریـزی منطقـه‌ای)، ۱۳(۵۲). صص: ۶۹۱-۶۶۵

DOI: 10.22034/jgeoq.2024.319667.3465

* **نویسنده مسئول:** امیر نجفی، **پست الکترونیکی:** asdnjf@gmail.com

مقدمه

محصولات پردازش شده در انواع کارگاه های تولیدی مختلف ممکن است در طیفی از محصولات متنوع، (از یک عدد از هر نوع محصول تا محصولات استاندارد در حجم زیاد) تولید شوند. در حقیقت، فهرست وسیعی از ویژگی‌ها، با خصوصیات محصول، فرایند، نیروی کار، مواد، تکنولوژی و سازمان مرتبط است، که به این مجموعه، سیستم تولیدی اطلاق می‌گردد. ویل رایت(۱۹۸۷)، هایز و ویل رایت(۱۹۸۴) و هیل(۱۹۸۵) پس از کار اسکینر(۱۹۶۹) اهمیت حوزه تولید به عنوان منبعی از مزیت رقابتی را در شرکت تولیدی بیان کردند(تان و یلتس، ۲۰۰۴)، اما بیشتر تحقیقات بر روی محتوای استراتژی تولید و ارتباط بین چند متغیر در این حوزه متمرکز شده و کمتر توجهی به مسائل بهینه سازی گردیده است. از این رو هدف از انجام این پژوهش توسعه یک مدل ریاضی جهت بهینه سازی تابع خروجی تولید در سیستم های ساخت و تولید پویا می‌باشد. بنظر می‌رسد یکی از مشکلات اساسی روز جامعه صنعتی، پایین بودن ویژگی های کیفی، از کار افتادن محصولات و سیستم هاست که موجب وقوع مسئله در سطوح مختلف تولید می‌شود. از طرف دیگر مشتریان نیز انتظار دارند که محصولات و سیستم‌ها در طی عمر مفید خود با اطمینان خاطر، ایمن، با بهترین کیفیت و با کمترین ریسک احتمالی کار کنند. کم توجهی جامعه صنعتی به این متغیرها و پارامترها، باعث بروز اختلال و عیب و نقص در سیستم های تولیدی شده و تحمیل خسارت های زیادی را در پی دارد. شایان ذکر است که در سالهای اخیر هر ساله شاهد وقوع حوادث و رخدادهای بسیاری در صنایع مختلف می‌باشیم. به نظر می‌رسد متغیرها و پارامترهایی که می‌تواند در ایجاد مشکل موثر باشد در دو بخش اصلی طبقه بندی می‌شود که عبارتند از: ۱- ضعف در سیستم های ساخت و تولید پویا. ۲- ضعف در بهینه سازی این سیستم ها. لذا هدف اصلی از تحقیق حاضر پاسخگویی به برخی از این مسائل و مشکلات در جامعه آماری مورد نظر می‌باشد که محقق در نظر دارد در بخش بهینه سازی تابع خروجی سیستم های ساخت و تولید، به عنوان راهکار اصلی مسئله به تحلیل موضوع بپردازد. در مورد بخشی که مربوط به بهینه سازی سیستم های ساخت و تولید پویاست باید گفت که هر محصولی که به مشتری داخلی و خارجی تحویل داده می‌شود، با در نظر گرفتن ویژگیهای کیفی خروجی‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این خروجی‌ها اغلب بعنوان ویژگی های حیاتی کیفیت نامیده می‌شود و با معیارهای ارزیابی مختلف مورد سنجش قرار می‌گیرند. هدف اصلی هر فرآیند، بهبود در تعیین بهترین شرایط فرآیند عملیات می‌باشد که بطور همزمان خروجی های بهینه و مطلوب ارایه نماید (کوری، ۱۹۹۶). همچنین در این بخش، در هر مرحله میانی یا در مرحله نهایی فرآیندهای چند مرحله ای و چندگانه ممکن است چندین خروجی با ویژگیهای کیفی مختلف داشته باشیم .(تاگاراس و لیبی، ۱۹۹۶؛ ویلیامز و پیتر، ۱۹۸۹). بنابراین در این بخش فرض شده است که عملکرد فرآیند در مرحله های میانی بر روی محصول نهایی بطور مستقیم یا غیر مستقیم تاثیر می‌گذارد. لذا، وابستگی درونی بین مراحل است که ویژگی‌های خروجی‌ها را در مرحله پایانی فرآیندهای ساخت و تولید با بهترین مشخصه‌های کیفیت محصول نهایی تعیین می‌کند(زانیک و پلنت، ۲۰۰۲). از طرفی پیشرفت فن آوری و بالارفتن سطح زندگی مردم با استفاده از دستاوردهای صنعتی، رقابت شدیدی بین تولید کنندگان برای ارائه محصولات و خدمات مرغوب تر پدید آورده است. معمولا شرکت های معتبر تولیدی در این رقابت به استفاده از فنون مختلف برای بالا بردن قابلیت اعتماد محصولات خود نیاز دارند. یکی از مشخصه های مهم تولیدات صنعتی، بحث عملکرد محصول در طول زمان است به طوری که به نحو مطلوب وظیفه خود را انجام دهد. با توجه به اینکه عملکرد سیستم در طول زمان پدیده ای تصادفی است نقش احتمال و آمار در بررسی خواص تصادفی کارکرد سیستم به وضوح مشخص می‌شود.

با بررسی پیشینه و سیکل تکامل روش‌های بالانس خط تولید از ۱۹۶۶ تا ۲۰۲۲ متوجه می‌شویم که تکنیک‌های بهینه سازی تولید و تئوری‌های این حوزه با استفاده از مدل‌های ریاضی و تجربی در پی حل مسئله بالانس خط تولید هستند. بیشتر تحقیقات انجام‌شده، بر کم کردن ایستگاه‌های کاری و کم کردن دوره زمانی متمرکز شده‌اند. در مورد اول، زمان دوره خط مونتاژ به عنوان ورودی مساله مشخص است و هدف کاهش تعداد ایستگاه‌های کاری است. در مورد دوم، تعداد ایستگاه‌های مونتاژ به عنوان ورودی مساله معین است و تابع هدف، کمینه‌سازی زمان سیکل کاری است. همه ی این الگوها به معیار وزن

توزیع شده روی ماشین آلات توجه ندارد و در عالم واقع پیاده سازی آن‌ها به علت پیچیدگی در سیستم‌های تولید که ماشین‌ها اتوماتیک و نیمه اتوماتیک در خطوط تولید قرار دارند، به سادگی مقدور نمی باشد برای حل این معضل در سیستم‌های تولیدی الگوریتم‌هایی تحت عنوان تابع خروجی سیستم‌های تولیدی ارائه شده است که حجم و وزن کارها را میان ماشین آلات به طور متوازن توزیع می‌کند، این الگوریتم ساده و قطعی است و به صورت آنلاین سفارش کارها را تخصیص می‌دهد و تصمیم خود را در مورد اختصاص سفارش کار جدید نه تنها بر اساس پردازش کار فعلی بلکه با در نظر گرفتن سابقه تخصیص کار قبلی انجام می‌دهد. با توجه به حالت مسئله موجود، هر سفارش کار می‌تواند به بیش از یک ماشین خاص تخصیص یابد و هر سفارش کار دارای وزن مشخصی است ولی تنها وزن سفارش کار عامل تعیین کننده نیست بلکه عواملی چون اهمیت سفارش کار، سلامت فیزیکی ماشین آلات هم به لحاظ آماده ی کار بودن و هم به لحاظ ارائه ی خروجی مناسب، مهارت نیروی انسانی، هزینه راه اندازی در شرایطی که تولید با حجم زیاد و تنوع در سفارش کار مواجه است، نیز تعیین کننده و مهم اند.

مبانی نظری

سیستم پویا

سیستم‌های پویا در اواسط دهه ۱۹۵۰ میلادی توسط آقای جی رایت فورستر[1] استاد انستیتوی ماساچوست آمریکا ابداع شد و تفکر و شیوه سیستم‌های پویا نوعی روش شناسی[2] و شبیه سازی و مدلسازی رایانه‌ای برای تعیین چهارچوب، فهم، درک و بحث درباره بعضی موضوعات و مسائل پیچیده[3] مدیریتی، صنعتی، اجتماعی و حتی پزشکی است. این تفکر در دهه ۱۹۵۰ میلادی برای کمک به مدیران صنعتی با تمرکز بر موضوعاتی که در شرکتهای صنعتی وجود دارد، مطرح و آغاز گردید. با این شیوه تفکر به موضوعات و مشکلات مدیریتی مانند ناپایداری در تولید، فقدان یا بی ثباتی در رشد و توسعه شرکتها، از دست دادن سهم بازار و نظایر آن پرداخته شد(کهفی اردکانی و همکاران، ۱۳۹۱).

از دیدگاه و نگرش سیستم‌های پویا موضوعات و مسائل پیچیده و پویا در ظاهر حداقل دو جنبه دارند:

اول، اینگونه مسائل دارای خاصیت پویائی و ماهیتی مقداری (Quantitative) دارند و مرتب در حال تغییرند. نوسان اشتغال در یک صنعت، رابطه کاهش عوارض و مالیات شهری و کیفیت زندگی شهروندان، افزایش مستمر هزینه‌های بهداشت و سلامت جامعه، افزایش بی رویه هزینه‌های ساختمان سازی، رشد نظام‌های حکومتی، رشد سلولهای سرطانی، کاربرد نامناسب و تخریب پارک‌های ملی و فشارهای روانی از جمله مسائل پویا هستند. مهارت در تعریف مسائل پویا، اولین قدم در یادگیری تفکر و شیوه سیستم‌های پویا میباشد.

دومین وجه مسائل و موضوعات سیستم‌های پویا، وجود نظریه بازخورد (Feedback) است. بازخوردها در سیستم‌های مهندسی، ساختارهای فنی و سیستم‌های کنترلی، در سیستم‌های بدن انسان، علوم اجتماعی و جوامع انسانی وجود دارند(صفایی و همکاران، ۲۰۰۹).

الگوهای رسمی[4]

شاید قابل مشاهده ترین جنبه از سیستم‌های پویا، مدلهای مقداری کامپیوتری است که از یک سیستم پیچیده تهیه می‌گردد تا رفتار مدل بررسی شود. منظور از الگو یا مدل، ارائه و ساده سازی بخش از واقعیت یک سیستم پویا است. مدلی از سیستم پویا که محقق طراحی می‌کند، مانند نوعی ابزار آزمایشگاهی است. اینگونه مدلها به محقق امکان تکرار تجربه، آزمایش فرضیات یا تغییر خط مشی‌های مدیریتی را می‌دهد. هدف و منظور مدلسازی، دستیابی به فهم و درک موضوع است، بنابراین ممکن است مسئله‌ای که برای آن مدل در نظر گرفته شده در نهایت حل شود یا مشکلاتش تقلیل یابد(چن، ۲۰۰۱). الگوهای رسمی

1 Jay Wright Forrester
2 Methodology
3 Complex
4 Formal Model

نسبت به الگوهای غیر رسمی که اغلب مدلهای ذهنی نیز نامیده می‌شوند و اکثر تصمیمات انسان بر پایه آنها اتخاذ می‌گردد، دو مزیت اساسی دارد (وس، ۲۰۰۵):

اول، الگوهای رسمی ساده تر بوده و قابلیت تبادل بیشتری دارند. یک مدل سیستم پویا، در برگیرنده فرضیاتی درباره مسئله‌ای است که قابل تجربه، نقد و تکرار است، همچنین قابلیت تبدیل به فرمول و قاعده را دارد، در حالیکه مدلهای ذهنی حالتی فازی (Fuzzy) دارند. خاصیت فازی بودن موجب می‌شود که حد و مرز عوامل موثر کاملا و به صورت دقیق مشخص نباشند و نتایج حاصل از آن، دارای جزئیات بینشی باشد. همچنین ماهیت فازی بودن مدلهای ذهنی، وابستگی به موقعیت‌های متفاوت، اشکال در فهم، تبادل و کاربرد را ظاهر می‌سازد.

دوم، مدلهای رسمی، پیچیدگی در ارائه، شبیه سازی و هدایت را، به سادگی تبدیل می‌کند. در مدلهای رسمی به سهولت می‌توان بدون آنکه جزئیات بر هم موثر باشند، بدون سهو و خطا، با کمترین انحراف احساسی یا ایجاد فاصله بین برداشت‌ها، آزمایش را تکرار کرد و به نتیجه رسید. مدلهای کامپیوتری به علت این دو خاصیت و نه صرفا بخاطر هوشمند بودن، بر مدلهای ذهنی ارجحیت دارند و نکته دیگر آنکه این مدلها حالتی گنگ و بی زبان دارند و اثرات جانبی بسیار کمی ایجاد می‌کنند.

الگوریتم ژنتیک و کلونی مورچگان و بهینه سازی مسئله

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم‌های ژنتیک یکی از الگوریتم‌های جستجوی تصادفی است که ایده آن برگرفته از طبیعت می‌باشد. الگوریتم‌های ژنتیک برای روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی در حل مسائل خطی، محدب و برخی مشکلات مشابه بسیار موفق بوده‌اند ولی الگوریتم‌های ژنتیک برای حل مسائل گسسته و غیر خطی بسیار کاراتر می‌باشند. به عنوان مثال می‌توان به مسئله فروشنده دوره‌گرد اشاره کرد. در طبیعت از ترکیب کروموزوم‌های بهتر، نسل‌های بهتری پدید می‌آیند. در این بین گاهی اوقات جهش‌هایی نیز در کروموزوم‌ها روی می‌دهد که ممکن است باعث بهتر شدن نسل بعدی شوند. الگوریتم ژنتیک نیز با استفاده از این ایده اقدام به حل مسائل می‌کند. در الگوریتم‌های ژنتیک ابتدا به‌طور تصادفی یا الگوریتمیک، چندین جواب برای مسئله تولید می‌کنیم. این مجموعه جواب را جمعیت اولیه می‌نامیم. هر جواب را یک کروموزوم می‌نامیم. سپس با استفاده از عملگرهای الگوریتم ژنتیک پس از انتخاب کروموزوم‌های بهتر، کروموزوم‌ها را باهم ترکیب کرده و جهشی در آن‌ها ایجاد می‌کنیم. در نهایت نیز جمعیت فعلی را با جمعیت جدیدی که از ترکیب و جهش در کروموزوم‌ها حاصل می‌شود، ترکیب می‌کنیم. مثلاً فرض کنید گونه خاصی از افراد، هوش بیشتری از بقیه افرادِ یک جامعه یا کولونی دارند. در شرایط کاملاً طبیعی، این افراد پیشرفت بهتری خواهند کرد و رفاه نسبتاً بالاتری خواهند داشت و این رفاه، خود باعث طول عمر بیشتر و باروری بهتر خواهد بود (توجه کنید شرایط، طبیعیست نه در یک جامعه سطح بالا با ملاحظات امروزی؛ یعنی طول عمر بیشتر در این جامعه نمونه با زاد و ولد بیشتر همراه است). حال اگر این خصوصیت (هوش) ارثی باشد بالطبع در نسل بعدی همان جامعه تعداد افراد باهوش به دلیل زاد و ولد بیشترِ این‌گونه افراد، بیشتر خواهد بود. اگر همین روند را ادامه دهید خواهید دید که در طی نسل‌های متوالی دائماً جامعه نمونه ما باهوش و باهوش‌تر می‌شود. بدین ترتیب یک مکانیزم ساده طبیعی توانسته‌است در طی چند نسل عملاً افراد کم هوش را از جامعه حذف کند علاوه بر اینکه میزان هوش متوسط جامعه نیز دائماً در حال افزایش است.

کلونی مورچگان

الگوریتم کلونی مورچه الهام گرفته شده از مطالعات و مشاهدات روی کلونی مورچه هاست. این مطالعات نشان داده که مورچه‌ها حشراتی اجتماعی هستند که در کلونی‌ها زندگی می‌کنند و رفتار آن‌ها بیشتر در جهت بقاء کلونی است تا در جهت بقاء یک جزء از آن. یکی از مهم‌ترین و جالبترین رفتار مورچه‌ها، رفتار آن‌ها برای یافتن غذا است و به ویژه چگونگی پیدا کردن کوتاهترین مسیر میان منابع غذایی و آشیانه. این نوع رفتار مورچه‌ها دارای نوعی هوشمندی توده‌ای است که اخیراً مورد توجه دانشمندان قرار گرفته‌است در دنیای واقعی مورچه‌ها ابتدا به‌طور تصادفی به این سو و آن سو می‌روند تا غذا بیابند. سپس به لانه بر می‌گردند و ردّی از فرومون (Pheromone) به جا می‌گذارند. چنین ردهایی پس از باران به رنگ سفید در می‌آیند و قابل رویت اند. مورچه‌های دیگر وقتی این مسیر را می‌یابند، گاه پرسه زدن را رها کرده و آن را دنبال می‌کنند. سپس اگر به

غذا برسند به خانه بر می‌گردند و رد دیگری از خود در کنار رد قبل می‌گذارند؛ و به عبارتی مسیر قبل را تقویت می‌کنند. فرومون به مرور تبخیر می‌شود که از سه جهت مفید است :

باعث می‌شود مسیر جذابیت کمتری برای مورچه‌های بعدی داشته باشد. از آنجا که یک مورچه در زمان دراز راه‌های کوتاه‌تر را بیش تر می‌پیماید و تقویت می‌کند هر راهی بین خانه و غذا که کوتاه‌تر (بهتر) باشد بیشتر تقویت می‌شود و آنکه دورتر است کمتر.

اگر فرومون اصلاً تبخیر نمی‌شد، مسیرهایی که چند بار طی می‌شدند، چنان بیش از حد جذّاب می‌شدند که جستجوی تصادفی برای غذا را بسیار محدود می‌کردند.

وقتی غذای انتهای یک مسیر جذاب تمام می‌شد رد باقی می‌ماند.

لذا وقتی یک مورچه مسیر کوتاهی (خوبی) را از خانه تا غذا بیابد بقیه مورچه‌ها به احتمال زیادی همان مسیر را دنبال می‌کنند و با تقویت مداوم آن مسیر و تبخیر ردهای دیگر، به مرور همه مورچه‌ها هم مسیر می‌شوند. هدف الگوریتم مورچه‌ها تقلید این رفتار توسط مورچه‌هایی مصنوعی ست که روی نمودار در حال حرکت اند. مسئله یافتن کوتاه‌ترین مسیر است و حلالش این مورچه‌های مصنوعی اند.

پیشینه پژوهش

وو و همکاران[1] (وو و همکاران،۲۰۱۷)، الگوریتم زمانبندی محور کیفیت خدمات را در محاسبات پویا ایجاد کردند. این روش بیشترین زمان را برای تکمیل برنامه در بر می‌گیرد. آلبودور و همکاران[2](آلبودور و همکاران،۲۰۱۵)، عملیات شبکه مشاغل را نسبت به کیفیت خدمات و بحث مجدد از معلولیت‌های موجود را مورد بحث قرار داده اند.

علی و همکاران (علی و همکاران،۲۰۱۹) الگوریتم زمانبندی وظایف گروهی را بر اساس کیفیت خدمات در شبکه محاسبات پویا توضیح داده اند. این الگوریتم وظایف را در پنج دسته توزیع می‌کند.

خان و شارما[3] (خان و شارما،۲۰۱۸)، تعادل بار مؤثر را در محاسبات پویا با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه ها، برقرار کردند.

الایاراجا و داناسکر[4] (الایاراجا و داناسکر، ۲۰۱۴)، زمانبندی گردش کار را با استفاده از بهینه سازی کلونی مورچه‌ها مبتنی بر اکتشاف پذیری ارائه داده اند. سیستم کلونی مورچه ها، یک الگوریتم در الگوریتم کلونی مورچه هاست که براساس عملکرد مورچه‌ها ایجاد شده است. این تحقیق بر دشواری‌های زمانبندی مبتنی بر الگوریتم کلونی مورچه ها، غلبه دارد حتی اگر این روش از نظر محاسباتی پیچیده باشد و کل زمان اتمام آن نیز طولانی است. از طرف دیگر، خمبر و همکاران[5] (خمبر و همکاران،۲۰۱۴)، برای اجرای الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچه ها، یک قانون به روز شده ایجاد کردند.

اماله و همکاران[6] (اماله و همکاران،۲۰۱۶)، برای بهینه سازی برنامه‌های کاربردی گردش کار، بهینه سازی ذرات گسسته اصلاح شده را پیشنهاد کردند. در نتیجه، بعضی از قسمت‌های فضای جستجو ممکن است غیرقابل دسترسی باشد. به طور مشابه، یک مطالعه توسط هوانگ[7] (هوانگ،۲۰۱۳)، بهینه سازی انبوه ذرات، برای زمانبندی جریان کار در محاسبات پویا اجرا کردند.

آلکایال و همکاران[8](آلکایال و همکاران،۲۰۱۶)، یک کار مبتنی بر چند وظیفه‌ای را برای زمانبندی الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات بر اساس یک استراتژی رتبه بندی جدید توضیح داده اند. بینش اصلی این الگوریتم این بود که وظایف مربوط به

1 Wu et al
2 Albodour
3 khan. Sharma
4 Elayaraja, Dhanasekar
5 Khambre et al
6 Umale et al
7 Huang
8 Alkayal

ماشینهای مجازی قرار داشتند تا زمان انتظار را به حداقل برسانند و از حداکثر توان سیستم استفاده کنند. برای غلبه بر مشکلات موجود، دورایی و جعفری ناویمی پور(دورایی و جعفری ناویمی پور،۲۰۱۷)، یک الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات ترکیبی و تندترین شیب را برای زمانبندی کار در محیط‌های ابر توضیح داده اند. این روش به درستی زمانبندی شده بود. و این الگوریتم ترکیبی حداکثر زمان را برای انجام کار نیاز دارد.

. ژو و همکاران [1](ژو و همکاران،۲۰۱۴)، الگوریتم ژنتیکی را برای زمانبندی کار بر روی سیستم‌های محاسبات ناهمگن با استفاده از صف‌های اولویت چندگانه پیشنهاد کردند. علاوه بر این، کشانچی و همکاران(کشانچی و همکاران،۲۰۱۸)، الگوریتم ژنتیکی بهبود یافته‌ای را برای زمانبندی کار در محیط‌های ابر با استفاده از صف‌های اولویت شده توضیح داده اند.

پاپازاچوس و کاراتزا[2] (پاپازاچوس و کاراتزا،۲۰۱۹)، زمانبندی باند را بر اساس دو سیستم خوشه بندی پیشنهاد دادند. زمانبندی باند یک سیاست زمانبندی وظیفه عمومی برای سیستم‌های موازی و توزیع شده است که عناصر تقسیم فضا و تقسیم زمان را متحد می‌کند.

ژانگ و همکاران[3] (ژانگ و همکاران،۲۰۱۴)، الگوریتم زمانبندی کار موازی را بر اساس خوشه بندی فازی در محیط محاسبات پویا ارائه دادند.

ابراهیم و همکاران(ابراهیم و همکاران،۲۰۱۵)، یک برنامه زمانبندی موازی مبتنی بر گروه برای محاسبات شبکه ارائه داده است. این به طور موثری از مزایای سیستم‌های چند هسته‌ای برای شبکه با تقسیم کار و ماشین آلات به گروه‌های زوج و به طور مستقل شغل‌های چند زمانبندی به طور موازی با گروه‌ها بهره می‌برد.

دندوانی و وکاریا [4](دندوانی و وکاریا،۲۰۱۶)، الگوریتم زمانبندی کار چند منظوره برای محاسبات پویا از قبل طراحی کرده اند.

پویاشمی و نقیب زاده(پویاشمی و نقیب زاده،۲۰۱۲)، زمانبندی گردش کار با محدودیت در مهلت زمانی زمانی در نرم افزار به عنوان یک سرویس در ابر معرفی کردند.

سو و همکاران[5] (سو و همکاران، ۲۰۱۳)، زمانبندی کار مقرون به صرفه را برای اجرای برنامه‌های بزرگ در ابر توضیح دادند. آنها با استفاده از دو استراتژی اکتشافی، از یک الگوریتم زمانبندی کار مقرون به صرفه استفاده کردند.

روش تحقیق

از نظر ماهیت نیز چون پژوهش قصد توسعه دانش برای به کارگیری در یک زمینه خاص را دارد، از نوع کاربردی به شمار می‌آید و روش تحقیق در این پژوهش، روش استقرائی، تحلیلی و میدانی می‌باشد .از منظر نوع پژوهش، علمی تجربی می‌باشد. در بخش کیفی گرداوری اطلاعات از روش نمونه گیری غیرتصادفی و قضاوتی استفاده می‌شود که از خبرگان جهت مصاحبه و بحث و جلسات گروهی بهره گرفته شده است. در بخش کمی نیز از کلیه داده های 5 سال اخیر، بصورت داده های روزانه، نمونه گیری بعمل آمده است. با توجه به این که موضوع مورد مطالعه بدلیل دارا بودن مراحل مختلف سیستم های ساخت و تولید، نیاز به تعداد بسیار زیادی از متغیرهای مستقل و وابسته، برای بخش بهینه سازی تابع خروجی تولید در سیستم های ساخت و تولید پویا است، لذا جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از طریق نرم افزار متلب، نسبت به تجزیه وتحلیل، نتیجه گیری و ارائه یافته های داده های مورد نظراقدام گردیده است.

همچنین این پژوهش در حوزه مطالعات تولید و بهینه سازی خط تولید انجام می‌شود، مکان انجام این پژوهش، در ایران می‌باشد و زمان انجام پژوهش حاضر، در دوره زمانی سال تابستان ۱۳۹۹ الی زمستان ۱۴۰۱ هجری شمسی واقع گردیده است

1 Xu
2 Papazachos, Karatza
3 Zhang et al
4 Dandhwani. Vekariya
5 Su et al

و اطلاعات، آمار و اسناد مربوط به این دوره زمانی می‌باشد. در این پژوهش قلمرو جامعه آماری موضوع پژوهش در یکی از شرکت های خودرو سازی کشور، بعنوان جامعه آماری از بعد مکانی و موقعیت جغرافیایی خود قرار داده شده است.

روش و ابزار گردآوری اطلاعات

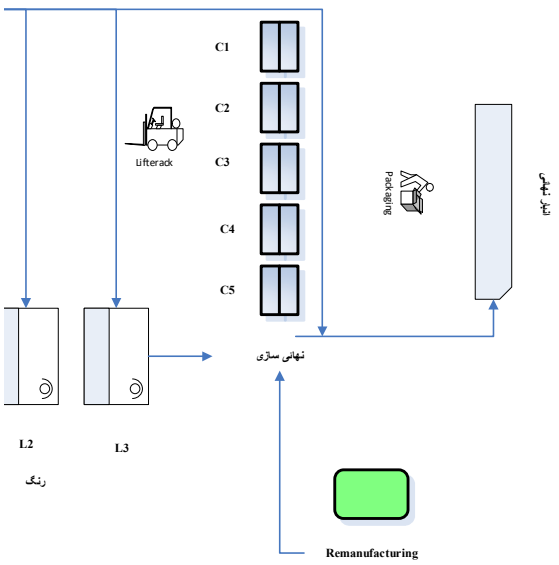
در این پژوهش برای جمع آوری اطلاعات، از دو بخش کیفی و کمی که بشرح زیر می‌باشد استفاده شده است:

- ✓ بخش کیفی: در بخش مطالعه کیفی مصاحبه‌های نیمه ساخت یافته و چهره به چهره با خبرگان جهت انتخاب خط تولید مورد مطالعه انجام گردید
- ✓ بخش کمی: استخراج داده های تحقیق از بخش مالی و همچنین صورت های مالی منتشر شده در سایت سازمان کتابخانه ای: در جستجوی منابع کتابخانه ای، کتاب‌ها و نوشتارهای مرتبط با پژوهش، نشریات معتبر خارجی و داخلی و پایان نامه‌های وجود، بررسی و در بخش نظری پایان نامه استفاده شدند. در جستجو اینترنتی نیز، وب سایت‌های از جمله ساینس دایرکت، امرالد، پروکست، اریک، اس اس آران، رزنت، پژوهشکده علمی مدارک ایران، مرجع دانش، مدیریار،ای مدیران، پایگاه دانش مدیریت و ... بررسی و از منابع آن‌ها در تبیین مفاهیم و پیشینه پژوهش بهره گرفته شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

شماتیک خط تولید و ارایه داده‌ها خط و سفارشات

در مطالعه موردی موضوع پژوهش خط تولید و مونتاژ خودرو است و محصول نهایی باید سه گروه ماشین آلات مونتاژ، رنگ و نهائیی سازی را بگذراند.نمای شماتیک فرآیند تولید به شرح زیر است:



شکل ۱. جانمایی ماشین آلات

به علت ساده سازی حجم محاسبات آورده شده در پژوهش محاسبات تنها برای چهار ماشین انجام می‌گردد.

مراحل پیاده سازی مدل

تعیین بار سفارش کارهای i به اندازه ω_j که به ماشین J وارد می‌شود .

گام اول .تعیین شاخص‌های نیروی انسانی ،سلامت فیزیکی ماشین آلات در هر سفارش، ست آپ و اولویت برای هر سفارش کار. شاخص‌های تاثیر گذار بر وزن سفارشات کار به شرح ذیل است:

- ✓ هزینه‌های هر سفارش کار با توجه به معیار مهارت نیروی انسانی
- ✓ قابلیت اطمینان ماشین آلات
- ✓ متوسط زمان بین دو خرابی در ماشین
- ✓ دسترس پذیری ماشین آلات
- ✓ زمان لود مواد اولیه بر ماشین
- ✓ زمان شروع عملیات بر روی محصول
- ✓ شاخص سود سفارش کار
- ✓ شاخص تکرار شوندگی
- ✓ شاخص وفاداری مشتریان

گام دوم. تعیین وزن شاخص‌های موثر در وزن هر سفارش کار از طریق روش سوآرا

مطابق گام‌های روش سوآرا به تعیین وزن شاخص‌ها پرداخته شده است :

۱. در این مسئله با تعداد ۹ معیار مواجه هستیم و در این خط تولید با در نظر گرفتن ۴ خبره که شامل مدیران تولید، برنامه ریزی، تعمیرات و نگه داری، مدیر فروش و بازار یابی به تعیین اهمیت و رتبه شاخص‌ها پرداخته می‌شود.

جدول۱. شاخص‌های رتبه بندی شده

شاخص	مدیر تولید		مدیر برنامه ریزی		مدیر نگه داری و تعمیرات		مدیر فروش و بازار یابی	
	نام معیار	رتبه	نام معیار	رتبه	نام معیار	رتبه	نام معیار	رتبه
هزینه‌های هر سفارش کار با توجه به معیار مهارت نیروی انسانی	c1	۷	c1	۴	c1	۸	c1	۷
قابلیت اطمینان ماشین آلات	c2	۶	c2	۹	c2	۲	c2	۵
متوسط زمان بین دوخرابی درماشین	c3	۳	c3	۳	c3	۴	c3	۶
دسترس پذیری ماشین آلات	c4	۹	c4	۵	c4	۱	c4	۴
زمان لود مواد اولیه بر ماشین	c5	۱	c5	۱	c5	۳	c5	۹
زمان شروع عملیات برروی‌محصول	c6	8	c6	2	c6	9	c6	8
شاخص سود سفارش کار	c7	5	c7	8	c7	5	c7	3
شاخص تکرار شوندگی	c8	5	c8	5	c8	6	c8	2
شاخص وفاداری مشتریان	c9	3	c9	1	c9	7	c9	1

۲. با استفاده از روش میانگین حسابی از رتبه‌ها میانگین گیری شده و سورت شده است .

جدول ۲. جدول خروجی میانگین حسابی شاخص ها

ادغام		
شاخص	نشان	میانگین رتبه
زمان شروع عملیات بر روی محصول	c6	6/75
هزینه‌های هر سفارش کار با توجه به معیار مهارت نیروی انسانی	c1	6/50
قابلیت اطمینان ماشین آلات	c2	5/50
شاخص سود سفارش کار	c7	5/25
دسترس پذیری ماشین آلات	c4	4/75
شاخص تکرار شوندگی	c8	4/50
شاخص وفاداری مشتریان	c9	4/25
متوسط زمان بین دو خرابی در ماشین	c3	4/00
زمان لود مواد اولیه بر ماشین	c5	3/50

۳. محاسبه اهمیت نسبی شاخص‌ها

هر شاخص نسبت به شاخص قبلی خود ارزیابی می‌شود و نتایج با استفاده از میانگین حسابی میانگین گیری می‌شود .

جدول ۳. اهمیت نسبی شاخص ها

شاخص	نشان	تولید	برنامه ریزی	نت	بازاریابی	Sj
زمان شروع عملیات بر روی محصول	c6	-	-	-	-	-
هزینه‌های هر سفارش کار با توجه به معیار مهارت نیروی انسانی	c1	0/8	0/7	0/7	0/6	0/7
قابلیت اطمینان ماشین آلات	c2	0/95	0/9	1	0/8	0/9125
شاخص سود سفارش کار	c7	0/7	0/7	0/7	1	0/775
دسترس پذیری ماشین آلات	c4	0/9	0/8	0/9	0/8	0/85
شاخص تکرار شوندگی	c8	0/7	0/7	0/7	0/9	0/75
شاخص وفاداری مشتریان	c9	0/7	0/8	0/7	0/95	0/7875
متوسط زمان بین دو خرابی در ماشین	c3	0/8	0/8	0/9	0/6	0/775
زمان لود مواد اولیه بر ماشین	c5	0/8	0/7	0/6	0/6	0/675

۴. اسبه وزن نهایی شاخص‌ها

جدول ۴. وزن نهایی شاخص ها

شاخص	نشان	Sj	kj=Sj+1	Wj=(xj-1)/Kj	qj=wj/Sumwj
زمان شروع عملیات بر روی محصول	c6	0	1/00	1/00	0/4399
هزینه‌های هر سفارش کار با توجه به معیار مهارت نیروی انسانی	c1	0/7	1/70	0/59	0/2588
قابلیت اطمینان ماشین آلات	c2	0/9125	1/91	0/31	0/1353
شاخص سود سفارش کار	c7	0/775	1/78	0/17	0/0762
دسترس پذیری ماشین آلات	c4	0/85	1/85	0/09	0/0412
شاخص تکرار شوندگی	c8	0/75	1/75	0/05	0/0235
شاخص وفاداری مشتریان	c9	0/7875	1/79	0/03	0/0132
متوسط زمان بین دو خرابی در ماشین	c3	0/775	1/78	0/02	0/0074
زمان لود مواد اولیه بر ماشین	c5	0/675	1/68	0/01	0/0044

گام سوم. تعیین اولویت سفارش کارها و تعیین وزن آن‌ها از طریق روش کوپراس

مطابق گام‌های روش کوپراس به تعیین اولویت و وزن سفارش کارها پرداخته شده است:

در این مسئله در لحظه با سی سفارش کار مواجه هستیم که می‌بایست در چهار خط بیان شده تولید شوند.

مراحل روش کوپراس:

• تعیین ماتریس تصمیم و وزن‌های شاخص‌های موثر در وزن سفارش کارها

برای تشکیل ماتریس تصمیم از نظرات واحدهای برنامه ریزی، تعمیرات و نگه داری و تولید و بازاریابی و فروش و داده‌های واقعی مرتبط به ماشین آلات و شرایط تولید و مولفه‌های هر سفارش کار با توجه به با مطالعات کار و زمان ، ماتریس تصمیم تعیین می‌شود.

جدول ۵. ماتریس تصمیم

سفارشات کار	زمان شروع عملیات بر روی محصول	شاخص هزینه هر سفارش کار با توجه به معیار مهارت نیروی انسانی	قابلیت اطمینان ماشین آلات	شاخص سود سفارش کار	دسترس پذیری ماشین آلات	شاخص تکرار شوندگی	شاخص وفاداری مشتریان	متوسط زمان بین دو خرابی در ماشین	زمان لود مواد اولیه بر ماشین
	منفی	منفی	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	منفی	منفی
	۰/۴۳۹۹۱۶	۰/۲۵۸۷۷۴	۰/۱۳۵۳۰۷	۰/۰۷۶۲۲۹	۰/۰۴۱۲۰۵	۰/۰۲۳۵۴۶	۰/۰۱۳۱۷۲	۰/۰۰۷۴۲۱	۰/۰۰۴۴۳
	C۶	C۱	C۲	C۷	C۴	C۸	C۹	C۳	C۵
I1	۱۰	۳۰۰	۵	۷	۹۵	۵	۹	۸۰	۷
I2	۱۰	۲۰۰	۵	۹	۹۵	۷	۳	۹۰	۵
I3	۹	۲۵	۶	۴	۹۵	۸	۹	۸۰	۶
I4	۱۲	۳۰۰	۴	۴	۹۵	۴	۴	۴۰	۴
I5	۱۳	۲۵۰	۷	۵	۹۲	۸	۶	۴۰	۵
I6	۱۳	۲۵۰	۶	۵	۹۵	۶	۳	۲۰	۴
I7	۱۴	۲۵۰	۷	۶	۹۲	۶	۲	۱۰	۵
I8	۱۵	۲۵۰	۸	۶	۹۲	۶	۳	۲۰	۴-
I9	۱۰	۲۵۰	۸	۷	۹۵	۶	۴	۵۰	۶-
I10	۱۰	۲۵۰	۷	۷	۹۵	۵	۳	۶۰	۸-
I11	۱۰	۳۰۰	۹	۷	۹۰	۶	۴	۷۰	۴
I12	۱۰	۲۰۰	۷	۸	۹۵	۶	۵	۶۰	۶
I13	۹	۲۰۰	۶	۸	۹۵	۴	۷	۸۰	۱
I14	۱۲	۲۵۰	۶	۵	۹۲	۸	۹	۹۰	۳
I15	۱۵	۲۵۰	۶	۷	۹۲	۶	۷	۸۰	۷
I16	۱۰	۲۰۰	۶	۷	۹۵	۸	۷	۷۰	۷
I17	۱۴	۲۵۰	۸	۹	۹۵	۶	۴	۵۰	۸
I18	۲۰	۳۰۰	۸	۶	۹۰	۶	۸	۵۰	۸
I19	۱۵	۲۵۰	۵	۶	۹۲	۴	۸	۹۰	۶
I20	۱۲	۲۰۰	۸	۵	۹۵	۷	۶	۶۰	۸
I21	۱۲	۲۰۰	۹	۵	۹۵	۹	۹	۸۰	۹
I22	۱۲	۲۰۰	۷	۷	۹۵	۷	۷	۷۰	۷
I23	۱۴	۲۵۰	۷	۷	۹۵	۶	۴	۶۰	۶
I24	۱۶	۲۵۰	۵	۵	۹۵	۶	۵	۵۰	۴
I25	۱۰	۲۰۰	۷	۶	۹۵	۸	۹	۷۰	۴
I26	۱۶	۲۵۰	۹	۸	۹۵	۶	۹	۶۰	۹
I27	۱۰	۲۵۰	۹	۹	۹۵	۵	۴	۵۰	۹
I28	۱۰	۲۰۰	۵	۸	۹۵	۵	۶	۹۰	۵
I29	۱۰	۲۰۰	۷	۱	۹۵	۷	۷	۷۰	۷
I30	۱۶	۲۵۰	۱	۳	۹۵	۸	۷	۶۰	۴

- **تعیین ماتریس تصمیم نرمال شده و موزون**

جدول ۶. ماتریس نرمال و موزون

سفارش ها	منفی	منفی	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	منفی	منفی
	۰/۰۱۶۹۵۱	۰/۲۲۴۲۲۲	۰/۰۴۶۹۸۷	۰/۱۹۰۳۲۱	۰/۰۲۴۲۹۸	۰/۰۱۹۹۷	۰/۰۱۹۹۷	۰/۰۲۴۲۹۸	۰/۰۸۰۸۸۸
	C۶	C۱	C۲	C۷	C۴	C۸	C۹	C۳	C۵
I1	۰/۰۰۳۶۸۵	۰/۰۷۴۷۴۱	۰/۰۱۰۶۷۹	۰/۰۶۳۴۴	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۳۹۹۴	۰/۰۰۷۴۸۹	۰/۰۰۷۱۹۹	۰/۰۲۲۶۴۹
I2	۰/۰۰۳۶۸۵	۰/۰۴۹۸۲۷	۰/۰۱۰۶۷۹	۰/۰۸۱۵۶۶	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۵۵۹۲	۰/۰۰۲۴۹۶	۰/۰۰۸۰۹۹	۰/۰۱۶۱۷۸
I3	۰/۰۰۳۳۱۶	۰/۰۰۶۲۲۸	۰/۰۱۲۸۱۵	۰/۰۳۶۲۵۲	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۶۳۹	۰/۰۰۷۴۸۹	۰/۰۰۷۱۹۹	۰/۰۱۹۴۱۳
I4	۰/۰۰۴۴۲۲	۰/۰۷۴۷۴۱	۰/۰۰۸۵۴۳	۰/۰۳۶۲۵۲	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۳۱۹۵	۰/۰۰۳۳۲۸	۰/۰۰۳۶	۰/۰۱۲۹۴۲
I5	۰/۰۰۴۷۹	۰/۰۶۲۲۸۴	۰/۰۱۴۹۵	۰/۰۴۵۳۱۴	۰/۰۰۵۸۸۳	۰/۰۰۶۳۹	۰/۰۰۴۹۹۲	۰/۰۰۳۶	۰/۰۱۶۱۷۸
I6	۰/۰۰۴۷۹	۰/۰۶۲۲۸۴	۰/۰۱۲۸۱۵	۰/۰۴۵۳۱۴	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۴۷۹۳	۰/۰۰۲۴۹۶	۰/۰۰۱۸	۰/۰۱۲۹۴۲
I7	۰/۰۰۵۱۵۹	۰/۰۶۲۲۸۴	۰/۰۱۴۹۵	۰/۰۵۴۳۷۷	۰/۰۰۵۸۸۳	۰/۰۰۴۷۹۳	۰/۰۰۱۶۶۴	۰/۰۰۰۹	۰/۰۱۶۱۷۸
I8	۰/۰۰۵۵۲۷	۰/۰۶۲۲۸۴	۰/۰۱۷۰۸۶	۰/۰۵۴۳۷۷	۰/۰۰۵۸۸۳	۰/۰۰۴۷۹۳	۰/۰۰۲۴۹۶	۰/۰۰۱۸	-۰/۰۱۲۹۴
I9	۰/۰۰۳۶۸۵	۰/۰۶۲۲۸۴	۰/۰۱۷۰۸۶	۰/۰۶۳۴۴	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۴۷۹۳	۰/۰۰۳۳۲۸	۰/۰۰۴۵	-۰/۰۱۹۴۱
I10	۰/۰۰۳۶۸۵	۰/۰۶۲۲۸۴	۰/۰۱۴۹۵	۰/۰۶۳۴۴	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۳۹۹۴	۰/۰۰۲۴۹۶	۰/۰۰۵۴	-۰/۰۲۵۸۸
I11	۰/۰۰۳۶۸۵	۰/۰۷۴۷۴۱	۰/۰۱۹۲۲۲	۰/۰۶۳۴۴	۰/۰۰۵۷۵۵	۰/۰۰۴۷۹۳	۰/۰۰۳۳۲۸	۰/۰۰۶۲۹۹	۰/۰۱۲۹۴۲
I12	۰/۰۰۳۶۸۵	۰/۰۴۹۸۲۷	۰/۰۱۴۹۵	۰/۰۷۲۵۰۳	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۴۷۹۳	۰/۰۰۴۱۶	۰/۰۰۵۴	۰/۰۱۹۴۱۳
I13	۰/۰۰۳۳۱۶	۰/۰۴۹۸۲۷	۰/۰۱۲۸۱۵	۰/۰۷۲۵۰۳	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۳۱۹۵	۰/۰۰۵۸۲۵	۰/۰۰۷۱۹۹	۰/۰۰۳۲۳۶
I14	۰/۰۰۴۴۲۲	۰/۰۶۲۲۸۴	۰/۰۱۲۸۱۵	۰/۰۴۵۳۱۴	۰/۰۰۵۸۸۳	۰/۰۰۶۳۹	۰/۰۰۷۴۸۹	۰/۰۰۸۰۹۹	۰/۰۰۹۷۰۷
I15	۰/۰۰۵۵۲۷	۰/۰۶۲۲۸۴	۰/۰۱۲۸۱۵	۰/۰۶۳۴۴	۰/۰۰۵۸۸۳	۰/۰۰۴۷۹۳	۰/۰۰۵۸۲۵	۰/۰۰۷۱۹۹	۰/۰۲۲۶۴۹
I16	۰/۰۰۳۶۸۵	۰/۰۴۹۸۲۷	۰/۰۱۲۸۱۵	۰/۰۶۳۴۴	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۶۳۹	۰/۰۰۵۸۲۵	۰/۰۰۶۲۹۹	۰/۰۲۲۶۴۹
I17	۰/۰۰۵۱۵۹	۰/۰۶۲۲۸۴	۰/۰۱۷۰۸۶	۰/۰۸۱۵۶۶	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۴۷۹۳	۰/۰۰۳۳۲۸	۰/۰۰۴۵	۰/۰۲۵۸۸۴
I18	۰/۰۰۷۳۷	۰/۰۷۴۷۴۱	۰/۰۱۷۰۸۶	۰/۰۵۴۳۷۷	۰/۰۰۵۷۵۵	۰/۰۰۴۷۹۳	۰/۰۰۶۶۵۷	۰/۰۰۴۵	۰/۰۲۵۸۸۴
I19	۰/۰۰۵۵۲۷	۰/۰۶۲۲۸۴	۰/۰۱۰۶۷۹	۰/۰۵۴۳۷۷	۰/۰۰۵۸۸۳	۰/۰۰۳۱۹۵	۰/۰۰۶۶۵۷	۰/۰۰۸۰۹۹	۰/۰۱۹۴۱۳
I20	۰/۰۰۴۴۲۲	۰/۰۴۹۸۲۷	۰/۰۱۷۰۸۶	۰/۰۴۵۳۱۴	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۵۵۹۲	۰/۰۰۴۹۹۲	۰/۰۰۵۴	۰/۰۲۵۸۸۴
I21	۰/۰۰۴۴۲۲	۰/۰۴۹۸۲۷	۰/۰۱۹۲۲۲	۰/۰۴۵۳۱۴	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۷۱۸۹	۰/۰۰۷۴۸۹	۰/۰۰۷۱۹۹	۰/۰۲۹۱۲
I22	۰/۰۰۴۴۲۲	۰/۰۴۹۸۲۷	۰/۰۱۴۹۵	۰/۰۶۳۴۴	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۵۵۹۲	۰/۰۰۵۸۲۵	۰/۰۰۶۲۹۹	۰/۰۲۲۶۴۹
I23	۰/۰۰۵۱۵۹	۰/۰۶۲۲۸۴	۰/۰۱۴۹۵	۰/۰۶۳۴۴	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۴۷۹۳	۰/۰۰۳۳۲۸	۰/۰۰۵۴	۰/۰۱۹۴۱۳
I24	۰/۰۰۵۸۹۶	۰/۰۶۲۲۸۴	۰/۰۱۰۶۷۹	۰/۰۴۵۳۱۴	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۴۷۹۳	۰/۰۰۴۱۶	۰/۰۰۴۵	۰/۰۱۲۹۴۲
I25	۰/۰۰۳۶۸۵	۰/۰۴۹۸۲۷	۰/۰۱۴۹۵	۰/۰۵۴۳۷۷	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۶۳۹	۰/۰۰۷۴۸۹	۰/۰۰۶۲۹۹	۰/۰۱۲۹۴۲
I26	۰/۰۰۵۸۹۶	۰/۰۶۲۲۸۴	۰/۰۱۹۲۲۲	۰/۰۷۲۵۰۳	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۴۷۹۳	۰/۰۰۷۴۸۹	۰/۰۰۵۴	۰/۰۲۹۱۲
I27	۰/۰۰۳۶۸۵	۰/۰۶۲۲۸۴	۰/۰۱۹۲۲۲	۰/۰۸۱۵۶۶	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۳۹۹۴	۰/۰۰۳۳۲۸	۰/۰۰۴۵	۰/۰۲۹۱۲
I28	۰/۰۰۳۶۸۵	۰/۰۴۹۸۲۷	۰/۰۱۰۶۷۹	۰/۰۷۲۵۰۳	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۳۹۹۴	۰/۰۰۴۹۹۲	۰/۰۰۸۰۹۹	۰/۰۱۶۱۷۸
I29	۰/۰۰۳۶۸۵	۰/۰۴۹۸۲۷	۰/۰۱۴۹۵	۰/۰۹۰۶۳	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۵۵۹۲	۰/۰۰۵۸۲۵	۰/۰۰۶۲۹۹	۰/۰۲۲۶۴۹
I30	۰/۰۰۵۸۹۶	۰/۰۶۲۲۸۴	۰/۰۰۲۱۳۶	۰/۰۲۷۱۸۹	۰/۰۰۶۰۷۴	۰/۰۰۶۳۹	۰/۰۰۵۸۲۵	۰/۰۰۵۴	۰/۰۱۲۹۴۲

- **محاسبه مقادیر +Sj و -Sj برای هر سفارش کار**

جدول ۷. مقادیر +Sj و -Sj

سفارش ها	+Sj	-Sj	1/sj-
I1	0/091676	0/108274	9/23587
I2	0/106407	0/077789	12/85531
I3	0/06902	0/036157	27/65692
I4	0/057393	0/095704	10/44886
I5	0/07753	0/086851	11/51391
I6	0/071493	0/081816	12/22253
I7	0/081667	0/08452	11/83149
I8	0/084635	0/056669	17/64635
I9	0/094722	0/051055	19/58664
I10	0/090955	0/045484	21/9857
I11	0/096538	0/097667	10/23887
I12	0/102481	0/078325	12/76738
I13	0/100412	0/063578	15/72862
I14	0/077891	0/084512	11/8327
I15	0/092755	0/097659	10/23969
I16	0/094544	0/08246	12/12708
I17	0/112848	0/097826	10/22218
I18	0/088668	0/112494	8/889351
I19	0/080791	0/095324	10/49058
I20	0/079059	0/085533	11/69144
I21	0/085289	0/090568	11/04143
I22	0/095881	0/083197	12/01966
I23	0/092586	0/092255	10/83948
I24	0/071021	0/085621	11/67933
I25	0/089281	0/072753	13/74504
I26	0/110081	0/102699	9/737205
I27	0/114185	0/099588	10/04137
I28	0/098243	0/077789	12/85531
I29	0/041504	0/08246	12/12708
I30	0/047614	0/086521	11/55785

- **محاسبه اهمیت نسبی هر سفارش کار (رتبه بندی، میزان مطلوبیت و تعیین وزن)**

جدول ۸. رتبه بندی، میزان مطلوبیت و تعیین وزن

سفارش کار	شاخص Q	درجه مطلوبیت		وزن هر سفارش
Q3	0/248185	N3	100	4/88
Q10	0/233382	N10	94/03533	4/58
Q9	0/221607	N9	89/29095	4/35
Q13	0/202304	N13	81/51336	3/97
Q8	0/198951	N8	80/16219	3/91
Q2	0/189686	N2	76/42904	3/73
Q12	0/18519	N12	74/61765	3/64
Q28	0/181521	N28	73/13947	3/57
Q27	0/179234	N27	72/21785	3/52
Q17	0/179069	N17	72/15112	3/52
Q25	0/178324	N25	71/851	3/50
Q22	0/173746	N22	70/00667	3/41
Q26	0/17316	N26	69/77044	3/40
Q16	0/173105	N16	69/74837	3/40
Q11	0/162867	N11	65/62309	3/20
Q23	0/162806	N23	65/59852	3/20
Q15	0/159089	N15	64/10089	3/13
Q7	0/158313	N7	63/78839	3/11
Q21	0/156817	N21	63/18531	3/08
Q20	0/154798	N20	62/37193	3/04
Q14	0/154545	N14	62/26988	3/04
Q5	0/152119	N5	61/29254	2/99
Q1	0/151508	N1	61/04612	2/98
Q6	0/150672	N6	60/70943	2/96
Q19	0/14875	N19	59/93511	2/92
Q24	0/146681	N24	59/10153	2/88
Q18	0/146254	N18	58/92941	2/87
Q4	0/125082	N4	50/39856	2/46
Q30	0/122487	N30	49/35315	2/41
Q29	0/120065	N29	48/37711	2/36

پس از تعیین وزن سفارش کارها به حل مدل ریاضی تولید پرداخته شده است .

سفارشات کار در یک خط تولید در لحظه بین ۳۰ سفارش کار می‌باشد .با توجه به اینکه می‌خواهیم مسئله در شرایط مسئله سخت باشد مدل را برای حدکثر سفارش کار حل می‌نماییم. با توجه به اینکه مسئله به صورت مسئله سخت ۱می باشد الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئله، الگوریتم ژنتیک و کلونی مورچگان است. برای حل این مسئله از نرم افزار MATLAB R2018a بهره گرفته می‌شود که در یک پردازنده Intel® Core™ i72670Qm CPU@2.20GHz اجرا می‌شود بهره گرفته می‌شود.

1NP-Hard

تطبیق الگوریتم فراابتکاری برای مسئله مورد بررسی

در جداول ۹و ۱۰ به بررسی ۱۰ مدل در کارخانه کوچک با استفاده از هر دو الگوریتم پیشنهادی پرداخته شده است:

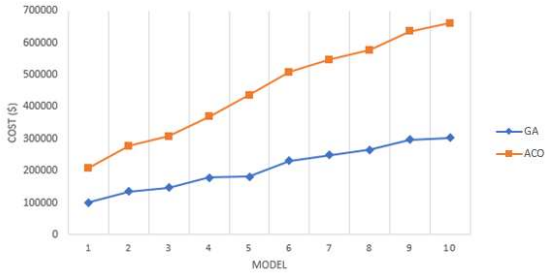
جدول ۹. نتایج زمان تاخیر و هزینه کلی در کارخانه کوچک (الگوریتم ژنتیک)

نمونه	تعداد محصول	تعداد سفارش	زمان (ثانیه)	هزینه کلی سیستم(دلار)
۱	۲	۱	۲.۳۵	۱۰۰۲۵۴
۲	۲	۵	۴.۶۵	۱۳۵۶۶۲
۳	۲	۷	۶.۹۹۸	۱۴۶۸۸۲
۴	۳	۱۰	۷.۸۸۵	۱۷۹۳۰۲
۵	۳	۱۲	۹.۵۵۱	۱۸۱۳۳۲
۶	۴	۱۷	۱۳.۷۴	۲۳۱۰۲۱
۷	۴	۲۰	۱۶.۴۷۵	۲۴۹۷۰۴
۸	۴	۲۳	۱۹.۷۷۰	۲۶۵۹۹۵
۹	۵	۲۷	۲۳.۵۴۲	۲۹۷۳۰۲
۱۰	۵	۳۰	۲۸.۱۰۲	۳۰۲۶۶۵

جدول۱۰. نتایج زمان تاخیر و هزینه کلی در کارخانه کوچک (الگوریتم کلونی مورچگان)

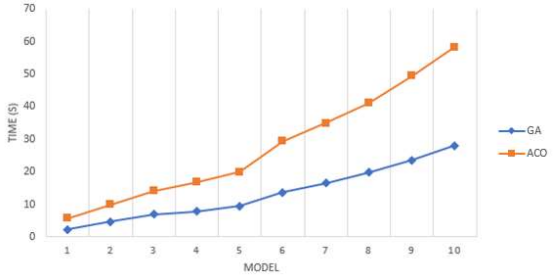
نمونه	تعداد محصول	تعداد سفارش	زمان (ثانیه)	هزینه کلی سیستم(دلار)
۱	۲	۱	۳.۴۰	۱۰۸۶۲۳
۲	۲	۵	۵.۳۲	۱۴۲۳۸۷
۳	۲	۷	۷.۱۰۵	۱۵۹۹۰۲
۴	۳	۱۰	۸.۹۹۸	۱۹۰۰۲۱
۵	۳	۱۲	۱۰.۴۲۱	۲۵۵۵۷۰
۶	۴	۱۷	۱۵.۶۳۶	۲۷۶۳۵۲
۷	۴	۲۰	۱۸.۴۶۲	۲۹۶۶۵۳
۸	۴	۲۳	۲۱.۳۳۲	۳۱۰۲۲۴
۹	۵	۲۷	۲۵.۹۴۸	۳۳۷۴۷۰
۱۰	۵	۳۰	۳۰.۲۲۹	۳۵۸۷۲۱

در جداول بالا به بررسی و حل مسئله در ابعاد کوچک پرداخته شده است. همانطور که در جدول فوق نشان داده شده است، الگوریتم ژنتیک نسبت به الگوریتم کلونی مورچگان عملکرد بهتر و بهینه‌ای داشته است. این موضوع در هر دو قالب زمان و هزینه کل سیستم می‌باشد. به منظور مقایسه دقیق تر، نمودار مقایسه‌ای هزینه و زمان هر دو الگوریتم برای مدل در کارخانه کوچک در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲. مقایسه هزینه کلی سیستم با استفاده از دو الگوریتم

همانطور که از شکل ۲ که مربوط به مقایسه هر دو الگوریتم از نظر هزینه کل سیستم برای مدل سیستم ساخت و تولید در ابعاد کوچک مشخص است، الگوریتم کلونی مورچگان به میزان ۸.۷ درصد هزینه بیشتری نسبت به الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد.



شکل ۳. مقایسه زمان اجرای کلی سیستم با استفاده از دو الگوریتم

بر اساس شکل ۳، که مربوط به مقایسه هر دو الگوریتم از نظر زمان تاخیر در کل سیستم برای مدل سیستم ساخت و تولید در ابعاد کوچک است، الگوریتم کلونی مورچگان به میزان ۹ درصد زمان تاخیر بیشتری نسبت به الگوریت ژنتیک دارد.
در ادامه در جداول ۱۱ و ۱۲به بررسی ۱۰ مدل در حالت سیستم ساخت و تولید در ابعاد متوسط با استفاده از هر دو الگوریتم کلونی مورچگان و ژنتیک پرداخته شده است:

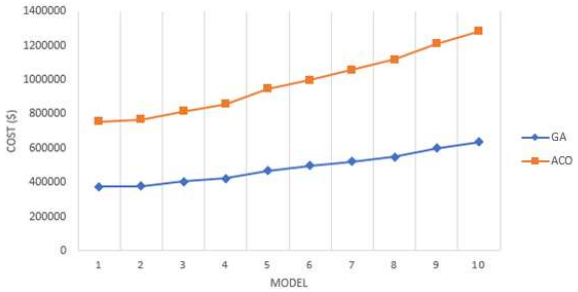
جدول ۱۱. نتایج زمان تاخیر و هزینه کلی در کارخانه متوسط (الگوریتم ژنتیک)

نمونه	تعدادمحصول	تعداد سفارش	زمان (ثانیه)	هزینه کلی سیستم(دلار)
۱	۶	۳۱	۸.۶۶۵۲	۳۷۵۹۹۵
۲	۶	۳۵	۱۱.۴۷۲	۳۷۹۵۵۱
۳	۷	۴۰	۱۵.۹۸۵	۴۰۴۱۲۴
۴	۷	۴۵	۱۸.۶۶۳	۴۲۳۵۵۴
۵	۸	۵۷	۲۹.۸۷۴	۴۶۸۵۹۶
۶	۸	۶۱	۳۲.۴۱۲	۴۹۶۵۵۴
۷	۹	۶۵	۳۹.۹۹۴	۵۲۱۴۴۷
۸	۱۲	۷۰	۴۲.۴۱۲	۵۴۷۷۵۸
۹	۱۴	۷۵	۴۸.۹۹۰	۵۹۸۶۶۴
۱۰	۱۶	۸۰	۵۱.۰۶۲	۶۳۵۹۷۵

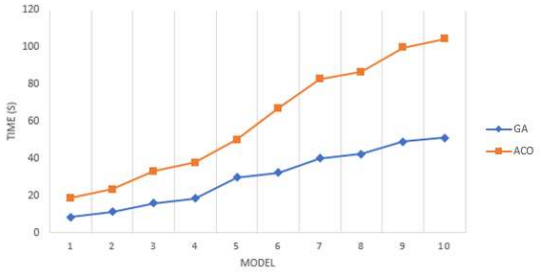
جدول ۱۲. نتایج زمان تاخیرو هزینه کلی در کارخانه متوسط (الگوریتم کلونی مورچگان)

نمونه	تعداد محصول	تعداد سفارش	زمان (ثانیه)	هزینه کلی سیستم (دلار)
۱	۶	۳۱	۱۰.۲۲۱	۳۷۹۸۸۷
۲	۶	۳۵	۱۲.۰۳۲	۳۸۸۶۵۴
۳	۷	۴۰	۱۷.۰۸۷	۴۱۰۲۱۴
۴	۷	۴۵	۱۹.۲۲۱	۴۳۳۶۲۵
۵	۸	۵۷	۲۰.۱۴۵	۴۷۸۸۵۰
۶	۸	۶۱	۳۴.۷۷۵	۵۰۲۳۲۷
۷	۹	۶۵	۴۲.۷۴۵	۵۳۶۲۷۰
۸	۱۲	۷۰	۴۴.۲۴۷	۵۶۹۹۸۵
۹	۱۴	۷۵	۵۰.۶۶۴	۶۱۲۳۵۲
۱۰	۱۶	۸۰	۵۳.۲۱۲	۶۴۷۸۰۵

بر اساس نتایج بدست آمده برای ابعاد متوسط، مشخص شد که الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری نسبت به کلونی مورچگان داشته است. شکل‌های ۴ و۵ مقایسه نموداری نتایج حاصل از هر دو الگوریتم را در کارخانه ابعاد متوسط نشان می‌دهد.



شکل ۴. مقایسه هزینه کلی سیستم با استفاده از دو الگوریتم



شکل ۵. مقایسه زمان کلی سیستم با استفاده از دو الگوریتم

با توجه به حل مدل در ابعاد متوسط، الگوریتم ژنتیک به میزان ۶ درصد نسبت به الگوریتم کلونی مورچگان در راستای تعیین هزینه کل تولید محصول بهبود ایجاد نموده است. در زمان تاخیر نیز الگوریتم ژنتیک به میزان ۱.۵ درصد سریعتر از الگوریتم کلونی مورچگان بوده است. در انتها به حل مدل در کارخانه بزرگ پرداخته شده است. جایی که تعداد سفارشات تولید محصول بین ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ مورد بوده است. نتایج حاصل از اجرای هر الگوریتم بصورت جداگانه در جداول ۱۳و ۱۴ ارائه شده است. لازم به ذکر است که برای حل در مدل کارخانه بزرگ نیز ۱۰ مدل تعیین شده است.

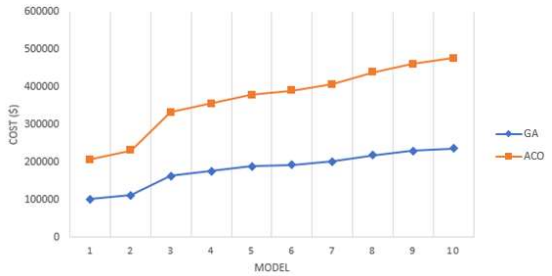
جدول ۱۳. نتایج زمان تاخیرو هزینه کلی در کارخانه بزرگ (الگوریتم ژنتیک)

نمونه	تعداد محصول	تعداد سفارش	زمان (ثانیه)	هزینه کلی سیستم (دلار)
۱	۲۰	۲۵۰	۶۸.۵۴۲	۱۰۱۲۵۴
۲	۲۰	۳۰۰	۷۲.۳۳۲	۱۱۲۳۵۲
۳	۲۵	۴۰۰	۸۱.۴۰۲	۱۶۳۲۵۱
۴	۳۰	۵۱۰	۸۸.۴۸۴	۱۷۵۸۹۵
۵	۳۲	۶۰۰	۹۰.۴۴۱	۱۸۸۵۴۷
۶	۳۸	۶۵۰	۹۳.۲۲۱	۱۹۲۳۳۲
۷	۴۱	۷۳۰	۹۵.۳۳۲۵	۲۰۲۱۱۴
۸	۴۵	۸۰۰	۹۹.۷۱۸	۲۱۸۷۷۴
۹	۵۰	۹۰۰	۱۰۲.۳۳۲	۲۲۹۶۶۳
۱۰	۶۰	۱۰۰۰	۱۱۰.۴۷۵	۲۳۶۵۶۲

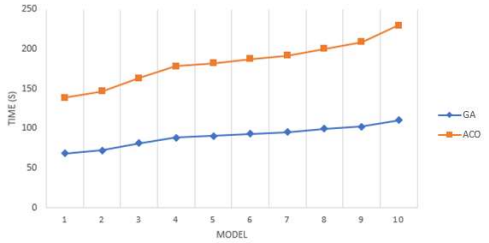
جدول ۱۴. نتایج زمان تاخیرو هزینه کلی در کارخانه بزرگ (الگوریتم کلونی مورچگان)

نمونه	تعداد محصول	تعداد سفارش	زمان (ثانیه)	هزینه کلی سیستم (دلار)
۱	۲۰	۲۵۰	۷۰.۲۲۱	۱۰۵۳۹۶
۲	۲۰	۳۰۰	۷۴.۵۴۷	۱۱۸۶۳۶
۳	۲۵	۴۰۰	۸۲.۰۰۲	۱۶۸۹۵۶
۴	۳۰	۵۱۰	۸۹.۶۶۳۲	۱۷۹۶۶۵
۵	۳۲	۶۰۰	۹۱.۵۵۴	۱۹۰۳۰۵
۶	۳۸	۶۵۰	۹۴.۲۰۱	۱۹۸۳۳۲
۷	۴۱	۷۳۰	۹۶.۳۸۷	۲۰۵۶۵۸
۸	۴۵	۸۰۰	۱۰۰.۳۰۲	۲۲۰۳۳۲
۹	۵۰	۹۰۰	۱۰۶.۵۵۴	۲۳۲۰۸۲
۱۰	۶۰	۱۰۰۰	۱۱۸.۸۶۹	۲۴۰۳۲۵

شکل‌های ۶ و۷ مقایسه نموداری نتایج حاصل از هر دو الگوریتم را در مدل کارخانه در ابعاد بزرگ نشان می‌دهد.



شکل ۶. مقایسه هزینه کلی سیستم با استفاده از دو الگوریتم



شکل۷. مقایسه زمان اجرای کلی سیستم با استفاده از دو الگوریتم

بر اساس مقایسه صورت گرفته شده هر دو الگوریتم برای مدل در ابعاد بزرگ مشخص شد که الگوریتم ژنتیک با بهبود ۲درصدی نسبت به الگوریتم کلونی مورچگان سبب کاهش هزینه‌های بیشتر سیستم شده است. از طرف دیگر در زمان اجرای الگوریتم نیز با متوسط زمان ۹۰.۲۲۷ ثانیه نسبت به الگوریتم کلونی مورچگان به میزان ۲ درصد با زمان کمتری مدل را به نتیجه رسانده است.

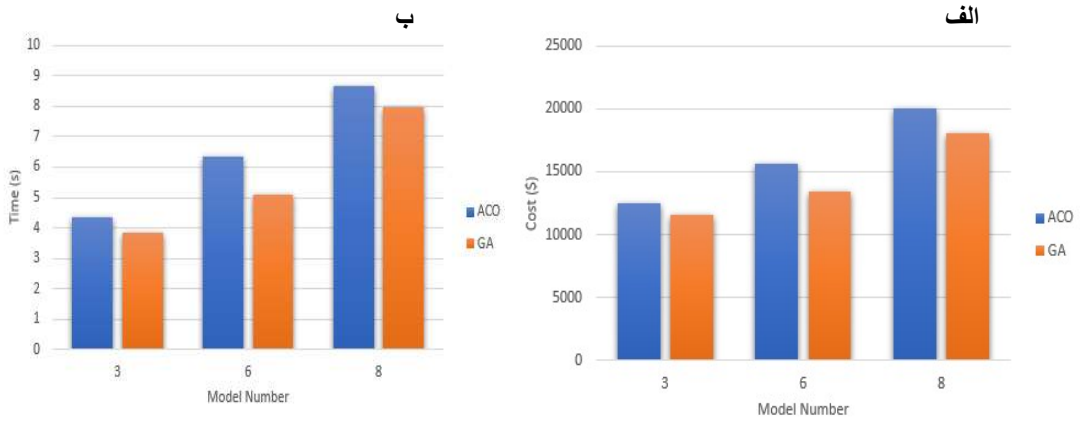
تحلیل حساسیت

توجه به اینکه رد یا پذیرش پروژه ها، مهمترین جزء سرمایه گذاری است، باید پارامترهای اصلی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند تا بتوان میزان تغییرات قابل قبول آنها را بدست آورد. بنابراین، تحلیل حساسیت با در نظر گرفتن ارزش حال سرمایه گذاری و نرخ بازگشت سرمایه است. بمنظور تحلیل حساسیت، مدل برای کارخانه با ابعاد کوچک، متوسط، و بزرگ بررسی گردیده است. نتایج بدست آمده از الگوریتم کلونی مورچگان و ژنتیک را برای حالت‌های مختلف زمان و هزینه بررسی شده است.

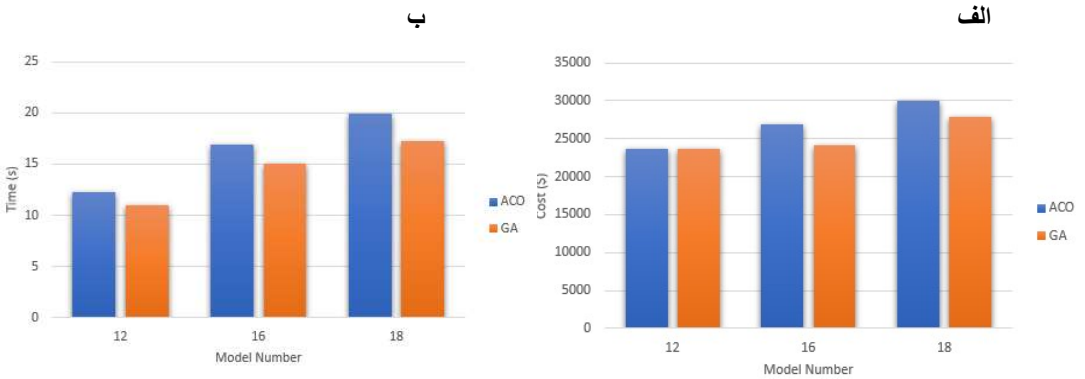
جدول ۱۵. نتایج زمان، هزینه

ابعاد	آیتم	ACO		GA	
		زمان	هزینه	زمان	هزینه
کوچک	۳	۴.۳۶	۱۲۵۲۴	۳.۸۵۴	۱۱۵۵۰
	۶	۶.۳۲۳	۱۵۶۳۶	۵.۱۰۲	۱۳۴۵۴
	۸	۸.۶۶۲	۱۹۹۸۵	۷.۹۶۸	۱۸۰۴۷
متوسط	۱۲	۱۲.۳۲۸	۲۳۶۵۶	۱۱.۰۲۱	۲۳۶۶۵
	۱۶	۱۶.۸۷۴	۲۶۸۵۹	۱۵.۰۰۱	۲۴۱۴۱
	۱۸	۱۹.۸۸۵	۲۹۹۸۷	۱۷.۲۳۲	۲۷۸۹۸
بزرگ	۲۰	۲۳.۳۳۲	۳۳۶۶۳	۲۰.۳۸۴	۳۰۶۵۲
	۲۴	۲۸.۹۶۸	۳۶۸۷۴	۲۶.۳۶۳	۳۴۸۷۵
	۲۸	۳۱.۲۰۴	۴۰۹۸۵	۲۹.۸۸۵	۳۷۷۴۵

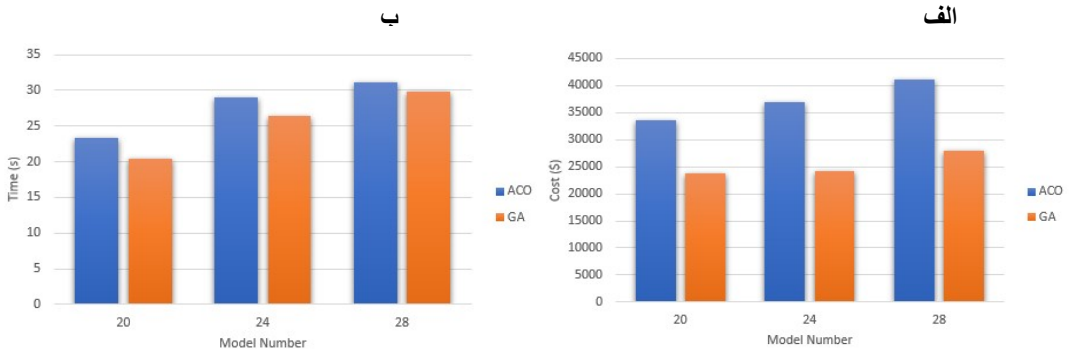
حال به منظور مقایسه نتایج بصورت نمودار میله‌ای ارائه شده است:



شکل ۸: الف) مقایسه نتایج هزینه، ب) مقایسه نتایج زمان (ابعاد کوچک)



شکل ۹. الف) مقایسه نتایج هزینه، ب) مقایسه نتایج زمان (ابعاد متوسط)



شکل ۱۰. الف) مقایسه نتایج هزینه، ب) مقایسه نتایج زمان (ابعاد بزرگ)

نتایج بدست آمده حاکی از کارایی بالای الگوریتم ژنتیک در هر دو حوزه زمان و هزینه بوده است. همچنین نتایج نشان داد که مساله در تمام شرایط حساسیت پایدار بوده و الگوریتم ژنتیک نتایج بهینه تری را ارائه نموده که این نشان از قابلیت بالا و حافظه زیاد این الگوریتم در حل مسائل پیچیده می‌باشد.

بحث و نتیجه گیری

پژوهش حاضر توانست رویکردی را ارایه نماید که استفاده از آن در برنامه ریزی و کنترل خط تولید در شرایط واقعی کاملا کاربردی است، مشکل برنامه ریزی خطوط تولید خودکار و نیمه خودکار که با تنوع محصول و تعداد و حجم سفارشات متعدد روبرو هستند این است که بطور لحظه‌ای از جانب واحد فروش سفارشات مختلفی برای تولید بار گذاری می‌شود و مدیران عملیاتی تولید باید بتوانند این سفارشات را با توجه به شرایط نیروی انسانی و ماشین آلات تولید و میزان سود دهی سفارشات و اهمیت مشتریان مختلف، به تولید برسانند به طوری که کمترین اتلاف در هزینه‌های عملیاتی ایجاد شود و رضایتمندی مشتریان حاصل گردد و مزیت رقابتی شرکت از طریق تولید به موقع ایجاد و حفظ شود. روش‌های مطرح شده به عنوان سوابق تحقیق برای پاسخ به نیاز بر نامه ریزی و کنترل تولید بیشتر یک وجهی اند و به مسایل عملیاتی از یک بعد و منظر نگاه کرده اند. این پژوهش سعی نمود که به مسئله بهینه سازی خط تولید به صورت چند وجهی بپردازد و با در نظر گرفتن مولفه‌هایی مهم ذیل به دغدغه‌های عملیاتی برنامه ریزی به صورت عملی و علمی بپردازد.

مولفه‌های دخیل در این پژوهش به شرح زیر می‌باشند:

- هزینه‌های هر سفارش کار با توجه به معیار مهارت نیروی انسانی
- سلامت فیزیکی ماشین‌ها با لحاظ کردن سه شاخص قابلیت اطمینان ماشین آلات، متوسط زمان بین دو خرابی در ماشین و دسترس پذیری ماشین آلات

این پژوهش در قالب دو مطالعه کیفی و کمی انجام شد، در بخش مطالعه کیفی مصاحبه‌های نیمه ساخت یافته و چهره به چهره با خبرگان جهت انتخاب خط تولید مورد مطالعه انجام گردید. مصاحبه‌ها به صورت گذشته نگر و متمرکز بر تجربیات عمومی پاسخ دهندگان در خصوص مسئله بهینه ساز ی خروجی خط تولید و زمان بندی تولید بود. پس از انتخاب خط تولید با تعداد زیادی از افراد حاظر در کارخانه ی مورد انتخاب ،مصاحبه صورت پذیرفت و تجربه‌های مختلفی حاصل گردید که به نوبه خود موجب تقویت اعتبار داده‌ها گردید. سپس بعد از اخذ اطلاعات خط تولید و زمان‌های استاندارد تولید و شرایط سفارشات، با استفاده از تکنیک دلفی به صورت ساختار یافته از طریق مصاحبه باز و پرسش نامه، نظرات خبرگان در ارتباط با مولفه‌هایی که می‌بایست برای ارتقاء قابلیت عملیاتی به الگوریتم بهینه سازی بر خط تولید در کارخانه مورد مطالعه اضافه شود ادامه یافت تا اطمینان حاصل شد که یافته‌های جدید دیگری به پژوهش اضافه نمی شود. با توجه به ادبیات پژوهش و شرایط خط تولید انتخاب شده در ابتدا یک مصاحبه ی باز در ارتباط با اهداف اساسی پژوهش با خبرگان صورت گرفت و پس از جمع آوری

اطلاعات حاصل از پیاده سازی مقدماتی الگوریتم در خط تولید و نظرات خبرگان، پرسش نامه ی بسته ایی تهیه شد و در اختیار خبرگان قرار گرفت، در این مرحله خبرگان به درجه بندی و اولویت بندی موارد طرح شده پرداختند و سپس پرسش نامه‌های دیگری جهت تعیین اوزان و اهمیت تهیه گردید و از خبرگان اخذ اطلاعات شد. در طول اقدامات هرگونه مشاهده صورت گرفته ثبت گردید و با اسناد و مدارک فراگیر ثانویه و مکاتبات صورت گرفته جهت پیگیری در مورد یافته‌های خاص و افزایش اعتبار سازه تحقیق از طریق مثلثی سازی، یافته‌های تحقیق تکمیل شد. جهت بهینه ساز ی خروجی خط تولید انتخاب شده از روش بهینه سازی بنا به مطالعات کارامیا و دل اهمو کاراترین روش است، استفاده گردید. سه ویژگی این روش یکی دخالت دادن وزن سفارش کارها در بهینه سازی است و دیگری تاثیر دادن سابقه سفارش قبلی در انجام سفارش جدید است و ویژگی آخر ایجاد توازن لود بار سفارشات کار به تمامی ماشین هاست که نسبت به روش‌های آفلاین قابلیت عملیاتی مناسبی را به زمان بندی تولید می‌دهد.. با توجه به یکی از هدف‌های این پژوهش که در خصوص تعیین وزن صحیح سفارشات کار که موثر در بهینه سازی تولید است از طریق مصاحبه باز و برگرفته از ادبیات پژوهش‌های پیشین ،نظرات خبرگان در خصوص مولفه‌هایی که می‌تواند دخیل در تعیین وزن سفارشات باشد اخذ گردید و سپس جهت تعیین وزن سفارشات از روش تلفیقی تصمیم گیری چند معیاره بهره گرفته شد. برای این منظور پرسش نامه‌هایی بسته بر اساس مصاحبه انجام شده، تهیه گردید و در اختیار خبرگان قرار گرفت که نتایج حاصل از این پرسش نامه‌ها با استفاده از ترکیب دو روش نوین درجهت وزن دهی سفارشات کار، تحلیل شد .روش ترکیبی وزن دهی مورد نظر روش تلفیقی سوآرا و روش کوپراس می‌باشد.

در بخش مطالعات کمی با توجه به اینکه هدف، توسعه مدل ریاضی در بهینه سازی خروجی خط تولید بود، توسعه ریاضی بر روی روش ریاضی اولیه که بنا به مطالعات کارامیا و دل اهمو کاراترین روش است، انجام گردید. سه ویژگی این روش که یکی دخالت دادن وزن سفارش کارها در بهینه سازی است و دیگری تاثیر دادن سابقه سفارش قبلی در انجام سفارش جدید است و ویژگی آخر ایجاد توازن لود بار سفارشات کار به تمامی ماشین هاست که نسبت به روش‌های دیگر کارآمدتر بوده است.

منابع

1. Adamides, E.D.,Pomonis, (2007), "The co-evolution of product, production and supply chain decisions, and the emergence of manufacturing strategy", Int. J. Production Economics.
2. Aderibigle , D. A. Oluwole , O. & Ogundare , O. (2006). Earing Characteristics Of Cold – rolled and temper annealed aluminium 1200. Journal of Applied Sciences. 6 (15). 3103 – 3109
3. Barzinpour, F. (2004). Scheduling in cellular manufacturing systems with setup times. Ph.D. thesis in Industrial Engineering, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.
4. Bowling,S.R., Khasawneh,M.T., Kaewkuekool,S. & Cho,B.R. (2004). A Markovian approach to determining optimum process target levels for a multi-stage serial production system European Journal of Operational Research, 159,636–650.
5. Chang-Chun Zhou, Guo-Fu Yi, Xiao-Bing Hu. (2009). "Multi-objective optimization of material selection for sustainable products: Artificial neural networks and genetic algorithm approach" , Materials and Design 30, pages 1209–1215
6. Chen, L.H. & Lu, H.W. (2007). An extended assignment problem considering multiple inputs and outputs. Applied Mathematical Modelling, 31(10), 2239-2248
7. Chen, M. (2001). "A model for integrated production planning in cellular manufacturing systems." Integrated Manufacturing System, Vol. 12, No. 4, PP. 275-284
8. Cox, J.F., Blackstone, J.H.(1998), "APICS Dictionary", 9th ed., Falls Charch, VA.
9. Dangayach, G.S., Deshmukh, S.G. (2001), "Manufacturing strategy: literature review and some issue", Int. J. of Operations & Production Management,21(7),884-932.

10. Diaz-Garrido, E., Martín-Peña, M.L., García-Muiña, F.E. (2007), "Structural and customizationl practices as elements of content operations strategy", *Int. J. of Production Research*,45(9), 2119-40.
11. Hayes, R.H., Wheelwright, S.C.(1984), "Restoring our competitive Edje, competing Through manufacturing", John Wiley and son, New York, NY.3-24.
12. Hill, T.J.(1987), "Teaching manufacturing strategy", Int. J. Operations & Production Management, 6(3), 10-20.
13. Javadian, N. (2003). "Design of cellular manufacturing systems in a dynamic and probabilistic condition using genetic algorithms and comparing them with the optimal solution". M.Sc. thesis in Industrial Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Tehran, Iran
14. Jin,J., & Shi,J. (1999). State space modeling of sheet metal assembly for dimensional control. Transaction of the ASME, 121, 756–762.
15. Kahfi, A. (2010). Solving an integrated model for production planning and Dynamic Cellular Manufacturing System by a multi-objective meta-heuristic method. M.Sc. thesis in Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.
16. Kallami-heris, S.M. (2008) "The effect of population and coefficients learning in PSO algorithm." Proc., 3rd International Conference on Information and Knowledge Technology, Ferdowsi University of Mashhad.
17. Kwak,D.H., Kim,K.J., & Lee,M.S. (2010). Multistage PRIM: patient rule induction method for optimization of a multistage manufacturing processing process. International Journal of Manufacturing Research, 48(12), 3461–3473.
18. Liu,J., Shi,J., & Hu,S.J. (2009). Quality assured setup planning based on the stream of variation model for multi-stage machining processes. IIE Transactions, 41(4),323–334
19. M.Colledani , T. Tolio. (2006). Impact of Quality Control on Production System Performance, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 55, Issue 1, 2006, Pages 453–456
20. M.Fallahnezhad, M.Lotfi, E.Shahin. (2016). A Stochastic Dynamic Programming for Production Planning of Processes Industries. International Journal of Industrial Engineering & Production Management, Volume 27, Number 4, Pages 547-562
21. Marvin , Rausand. and Arnljot , Hoyland. (2004) , System Reliability Theory. A. john , wiley & Sons , INC. , Publication. Hoboken , New Jersey .
22. Massimiliano , Caramia. and Paolo , Dell 'Olmo. (2006) , Springer Series In Advanced M anufacturing. Springer , Verlag London Limited
23. Mathur, A., Dangayach, G.S., Mittal M.L. and Sharma, Milind K.(2011), "Performance measurement in automated Manufacturing",*MEASURING BUSINESS EXCELLENCE*,15(1),77-91.
24. Mills, J.G., Platts, K.W., Gregory, M.(1995), "A framework for the design of manufacturing strategy processes", Int. J. of Operations & Production Management,
25. Safaei, N. and Tavakkoli-Moghaddam, R. (2009). "Integrated multi-period cell formation and subcontracting production planning in dynamic cellular manufacturing systems." International Journal of Production Economics, Vol. 120, No. 2, PP. 301-314.
26. Safaei, N., Saidi-Mehrabad, M. and Jabal-Ameli, M.S. (2008). "A hybrid simulated annealing for solving an extended model of dynamic cellular manufacturing system." European Journal of Operational Research, Vol. 185, PP. 563–592.
27. Saidi-Mehrabad, M. and Safaei, N. (2007). "A new model of dynamic cell formation by a neural approach." International Journal Advance Manufacturing Technology, Vol. 33, PP. 1001-1009.
28. Saidi-Mehrabad, M. and Safaei, N. (2007). "A new model of dynamic cell formation by a neural approach." International Journal Advance Manufacturing Technology, Vol. 33, PP. 1001-1009.

29. Sasadhar , Bera. and Indrajit , Mukherjee (2015) , A Multistage And Multiple Response Optimization Approach For Serial Manufacturing System.European Journal Of Operational Research
30. Sasadhar Bera, Indrajit Mukherjee (2015), A Multistage And Multiple Response Optimization Approach For Serial Manufacturing System, European Journal Of Operational Research.
31. Shi,J. ,& Zhou,S. (2009). Quality control and improvement for multi−stage systems : A survey .IIE Transactions, 41(9),744–753.
32. Skinner, W.(1969), Manufacturing, missing link in corporate strategy, Harvard Business Review, May-June, pp. 136-45.
33. Tan, K., Platts, K.(2004a), The connectance model revised: A tool For manufacturing objective deployement, J.of manufacturing Technology management, vol. 15, No. 2.
34. Voss, C.A.(2005), "Alternative paradigms for manufacturing strategy", Int. J. of Operations & Production Management, 25(1)2,1211- .1222
35. Zantek,P.F ,Wright,G.P. & Plante,R.D. (2002). Process and product improvement in manufacturing systems with correlated stages. Management Science, 48(5), 591–606.
36. Zhou,S., Huang,Q. & Shi,J. (2003). State space modeling of dimensional variation propagation in multistage machining process using differential motion vectors. IEEE Transaction on Robotics and Automotation,19(2),296–309.