

Research Paper

Annual Maintenance Scheduling of Sugarcane Transport Baskets Using a Network Approach

Mehdi Anafche¹, Nasim Monjezi^{1*}

¹ Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Article history

Submitted: 2024/10/06

Revised: 2025/01/20

Accepted: 2025/03/30

Published
online: 2025/06/21

Keywords:

Fuzzy logic

GERT

Repairs

Scheduling

Transport system

*Corresponding author
email: n.monjezi@scu.ac.ir

ORCID: 
0000-0001-8229-7706



Abstract

Sugarcane harvesting is the most critical operation within sugarcane agro-industrial companies. Simultaneously with the harvest, sugarcane transportation is carried out using transport baskets (bins). In the case of sugarcane transportation, since the systems are mechanical, their reliability decreases as usage and age increase. Therefore, annual maintenance plays a vital role in enhancing the reliability of these transport machines. This research was conducted using Classic and Fuzzy GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) methods at the Dehkhoda Sugarcane Agro-Industrial Company during the 2023-2024 crop year. The Work Breakdown Structure (WBS) and the GERT network model for the repair of sugarcane transport baskets were developed. Following the scheduling phase, the results obtained from the GERT method were compared with the actual time spent on system repairs to determine the accuracy of the estimates. The completion time for repairing a sugarcane transport basket was estimated at 102.44 hours using the Classic GERT method. However, using the Fuzzy GERT method, the calculated repair times were 140.06, 107.30, and 74.55 hours (representing the fuzzy intervals). Furthermore, the results indicated that 23.28% of the actual repair completion times fell outside the estimated fuzzy time range. The findings demonstrated that the resulting network model provides maintenance managers with a clear framework for making timely decisions, ensuring that the execution phase aligns with the planned schedule and operations are completed within the optimal timeframe.

How to cite this paper:

Anafche, M. and Monjezi, N. (2025). Annual Maintenance Scheduling of Sugarcane Transport Baskets Using a Network Approach. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*. 35: 1-16. <https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2025.14944.721> (In Persian)



Authors retain the copyright and full publishing rights. Published by [Shahrekord University](https://www.shahrekord.ac.ir). This article is an open access article licensed under the [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

<https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2025.14944.721>

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Sugarcane is one of the most important industrial products in Iran, serving as the primary source of sugar production and a key supplier of raw materials for numerous ancillary industries. It is only commercially cultivated in Khuzestan Province. The area under sugarcane cultivation in Khuzestan Province is 135,000 hectares. In sugarcane farming and industry companies, the most important operation is sugarcane harvesting, and this stage has a major contribution to the profitability or loss of these companies. In mechanical sugarcane harvesting, sugarcane fields are first set on fire to destroy the leaves, then the sugarcane is harvested with a harvester. At the same time as the harvesting operation, sugarcane is also transported by basket. The optimal and appropriate use of sugarcane carrying baskets, combined with a proper balance between the level of harvesting operations and the number of active machines, ensures that the operation starts and ends at the right time. This prevents losses due to delays in sugarcane harvesting and reduces additional costs. In the case of sugarcane transportation, since the systems in question are mechanical, the reliability of the system decreases with increasing use and also with its increasing lifespan. Therefore, annual repairs play a crucial role in enhancing the reliability of sugarcane carrying machines.

Material and Methods

This research was conducted using the classical and fuzzy Garrett method in Dehkhoda Sugarcane Cultivation and Industry Company in the 1402-1403 crop year. The work breakdown structure diagram and the Garrett network model of sugarcane basket repairs were drawn. In this research, after scheduling, the results obtained from the Garrett method were compared with the actual time spent on repairs of the sugarcane carrying system, and the fit of the estimates was determined. For this purpose, to determine the actual time required for repairs of the sugarcane carrying system, a sample was randomly selected from the sugarcane

carrying baskets, and the actual duration of repairs in each was determined. Then, the actual time of completion of the operation was compared with the estimated time. The sugarcane carrying system in Dehkhoda Sugarcane Cultivation and Industry Company includes 45 18-ton baskets. In this research, to schedule the annual repairs of the carrying system, statistics and data related to the repairs of 25 sugarcane carrying baskets were collected. Data from other devices was used to measure the actual time of repairs against the calculated schedule.

Results and Discussion

The completion time of the sugarcane cart repairs was estimated to be 102.44 hours using the classic Garrett method. However, in the fuzzy Garrett method, the calculated times for sugarcane cart repairs were 140.06, 107.30, and 74.55 hours. The results also showed that 23.28 percent of the actual completion times of the cart repairs were estimated outside the fuzzy time. Solving the fuzzy lattice network for sugarcane basket repairs involves evaluating the network loops and the nodes. The outputs of this method include the operation completion time and the scheduling of other nodes in the network, which were obtained by performing calculations for node and end node evaluation. The operation completion time is a fuzzy number, and considering that the input factors of the network are triangular fuzzy numbers, the result of the operation completion time is also a triangular fuzzy number. That is, in fuzzy grid networks, the operation completion time is not a definite number, but rather a time interval and a fuzzy number that aligns with reality and helps eliminate tensions in the operation monitoring sessions. The fuzzy time for completing the maintenance of the basket is equal to $\tilde{T}_{\text{project}} = M\tilde{T}_E = (74.55, 107.30, 140.06)$ (time unit: hours). Now, the maintenance manager has a time interval for completing the operation and can analyze it based on α slices. α can be considered as a risk level, and the decision maker can calculate and analyze the operation completion time interval at different risk

levels. The lower (optimistic) and upper (pessimistic) limits of the $\alpha=0.5$ cutoff for the basket repairs were obtained as 90.92 and 123.68 hours, respectively. The larger α is, the smaller the desired interval and the greater the accuracy. Therefore, the project manager can calculate and analyze the time interval required to complete the operation at different risk levels, and it is better to consider α as large. Additionally, the average time for basket repairs was determined to be 107.30 hours through defuzzification. However, the results obtained from the Garrett method in this study are close to the actual completion time of the operation, making the estimates more accurate. The actual duration of annual repairs for 20 baskets (out of a total of 45 baskets) at Dehkhoda Agriculture and Industry Company, which were repaired during the 1402-1403 crop year, was determined based on the information available in the company's mechanical equipment technical office. 23.28 percent of the actual completion times of basket repairs are estimated to be outside the fuzzy time.

Conclusions

The fuzzy Garrett method provides the repair unit manager with the opportunity to place the completion time in the estimated range appropriately, by considering other effective factors involved in the operation, so that there is no disruption in the implementation of activities and on the other hand, the costs of not completing the work on time are minimized. It also provides the possibility to create cuts at different time points and monitor the process of operation execution, modifying it as necessary. Finally, implementing and making the method practical and getting feedback, defining and determining the sugarcane machinery repair system and creating an information management system for them, examining the

possibility of allocating resources and balancing the cost-time of sugarcane transportation system repairs with network models, and carefully and comprehensively examining the lags during work and the reasons for delays in operations in the sugarcane transportation system repair process and providing solutions to reduce them are suggested.

Acknowledgements

The authors would like to thank Shahid Chamran University of Ahvaz, for providing funding for this research.

Author Contributions

Mehdi Anafecbeh: Data collection and processing

Nasim Monjezi: Supervision and management

Data Availability Statement

This section details where supporting data can be found, typically including links to publicly archived datasets. If no data is reported, "Not applicable" should be stated.

Ethical Considerations

This section states ethical approval details (e.g., Ethics Committee, ethical code) and confirms adherence to ethical standards, including avoidance of data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper

Funding Statement

The author(s) received no specific funding for this research



زمان‌بندی تعمیرات سالیانه سبدهای حمل نیشکر با استفاده از رهیافت شبکه‌ای

مهدی عنافچه^۱ و نسیم منجری^{۱*}

۱- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۵	در شرکت‌های کشت و صنعت نیشکر مهم‌ترین عملیات، برداشت نیشکر است. هم‌زمان با عملیات برداشت، حمل نیشکر نیز با سبد صورت می‌گیرد. در مورد حمل نیشکر چون سامانه‌های مورد نظر مکانیکی هستند، با افزایش استفاده از سامانه و هم‌چنین افزایش عمر آن، قابلیت اطمینان سامانه کاهش خواهد یافت. بنابراین انجام تعمیرات سالانه در بالا بردن قابلیت اطمینان ماشین‌های حمل نیشکر نقش مؤثری دارد. این پژوهش با استفاده از روش گرت کلاسیک و فازی در شرکت کشت و صنعت نیشکر دهخدا در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ انجام شد. نمودار ساختار شکست کار و مدل شبکه گرت تعمیرات سبدهای حمل نیشکر ترسیم شد. در این پژوهش پس از زمان‌بندی، نتایج کسب شده از روش گرت با زمان واقعی شده جهت انجام تعمیرات سامانه حمل نیشکر مقایسه و تناسب برآوردها مشخص گردید. بدین منظور برای تعیین زمان واقعی انجام تعمیرات سامانه حمل نیشکر از بین سبدهای حمل نیشکر، نمونه‌ای به طور تصادفی انتخاب و مدت زمان واقعی تعمیرات در آن‌ها تعیین گردید. سپس زمان واقعی تکمیل عملیات با زمان برآورده شده مقایسه شد. زمان اتمام تعمیرات سبد حمل نیشکر با استفاده از روش گرت کلاسیک ۱۰۲/۴۴ ساعت تخمین زده شد. اما در روش فازی زمان محاسبه شده برای تعمیرات سبد حمل نیشکر ۱۴۰/۰۶، ۱۰۷/۳۰، ۷۴/۵۵ ساعت به دست آمد. هم‌چنین نتایج نشان داد که ۲۳/۲۸ درصد از زمان‌های واقعی تکمیل تعمیرات سبد، خارج از زمان فازی برآورد شده است. نتایج نشان داد که مدل شبکه حاصل، دید روشنی برای مدیر واحد تعمیرات جهت اتخاذ تصمیمات به موقع فراهم می‌آورد تا در مرحله اجرا و عمل طبق برنامه‌ریزی پیش‌رفته و بتواند عملیات را در زمان مطلوب به اتمام برساند.
بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱	
پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۰	
انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱	
واژه‌های کلیدی:	
منطق فازی	
گرت	
تعمیرات	
زمان‌بندی	
سامانه حمل	
*پست الکترونیکی نویسنده	
مستول:	
n.monjezi@scu.ac.ir	
ORCID: 	
۰۰۰۰-۰۰۰۱-۸۲۲۹-۷۷۰۶	
	

نحوه استناد به این مقاله:

عنافچه، م. و منجری، ن. (۱۴۰۴). زمان‌بندی تعمیرات سالیانه سبدهای حمل نیشکر با استفاده از رهیافت شبکه‌ای. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی، ۳۵: ۱۶-۱. شناسه دیجیتال: <https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2025.14944.721>

مقدمه

نیشکر از مهم‌ترین محصولات صنعتی ایران و منبع اصلی تولید شکر و همچنین تأمین کننده مواد اولیه بسیاری از صنایع جانبی است و تنها در استان خوزستان به صورت تجاری کشت می‌شود (Habibi Asl et al., 2022). سطح زیرکشت نیشکر در استان خوزستان، ۱۳۵ هزار هکتار است (Sharifi et al., 2020). در شرکت‌های کشت و صنعت نیشکر مهم‌ترین عملیات، برداشت نیشکر است و این مرحله سهم عمده‌ای در سوددهی یا زیان این شرکت‌ها دارا است (Filho et al., 2023). در برداشت ماشینی نیشکر ابتدا مزارع نیشکر آتش زده می‌شوند تا برگ‌های آن از بین برود (Monjezi, 2018) سپس عملیات برداشت نیشکر با دروگر انجام می‌شود. هم‌زمان با عملیات برداشت، حمل نیشکر نیز توسط تراکتور و سبد صورت می‌گیرد. عدم مدیریت مناسب برداشت باعث افزایش هزینه‌های تولید و نهایتاً زیان‌دهی می‌گردد (Chavez, 2020; Afsharnia et al., 2018).

در مدیریت برداشت، قابلیت اطمینان سامانه حمل نیشکر، ضامن موفقیت در این مرحله‌ی مهم است. استفاده‌ی بهینه و مناسب از سبدهای حمل نیشکر و ایجاد تعادل مناسب بین سطح عملیات برداشت با تعداد دستگاه‌های فعال با توجه به محدودیت زمانی، باعث شروع و خاتمه عملیات در زمان مناسب گردیده و این مسئله از تحمیل افت‌های ناشی از تأخیر در برداشت نیشکر و بالا رفتن هزینه‌های اضافی جلوگیری می‌نماید (Junqueira & Morabito, 2019). در مورد حمل نیشکر چون سامانه‌های مورد نظر مکانیکی هستند با افزایش استفاده از سامانه و همچنین افزایش عمر آن قابلیت اطمینان سامانه کاهش و نرخ خرابی افزایش خواهد یافت. بنابراین انجام تعمیرات سالانه در بالا بردن قابلیت اطمینان ماشین‌های حمل نیشکر نقش مؤثری دارد (Filho et al., 2021).

تعمیرات به هنگام، سبب افزایش بازدهی عملیات برداشت و سود دهی تولید می‌گردند. زیرا هرسال ممکن است بخش عمده‌ای از محصول به علت عدم برداشت در زمان مناسب، عملاً از چرخه تولید حذف گردد و باعث تحمیل هزینه‌های اضافی و ضرر و زیان به کشت و صنعت‌های نیشکر گردد (Monjezi et al., 2016a).

در تحقیقی، هزینه به موقع انجام نشدن عملیات^۱

برداشت نیشکر به ازای یک روز تأخیر در کشت و صنعت امیرکبیر خوزستان، ۱۰۸۵۰۵۴ تومان در هکتار برآورد شد (Omrani, 2012). همچنین در کشت و صنعت دعبیل خزاعی خوزستان هزینه به موقع انجام نشدن عملیات برای تراکتورهای فعال به ازای یک روز تأخیر، ۱۳۷۷۶۳۵ تومان در هر هکتار تعیین گردید (Pouzesh et al., 2018). بنابراین طبق مطالعات انجام شده، تأخیر در انجام عملیات کشاورزی سبب وارد آمدن خسارت‌های مالی از طریق افت کمی و کیفی بخشی از محصول می‌شود. در مورد محصول نیشکر نیز با توجه به مقدار بالای هزینه‌های به موقع انجام نشدن عملیات برداشت، نیاز به برنامه‌ریزی و زمان‌بندی دقیق است.

از طرفی به خطرات اهمیت تعمیرات به موقع ماشین‌های سامانه حمل نیشکر، هر گونه برنامه زمان‌بندی شده می‌تواند در کاهش اتلاف زمان ناشی از تعمیرات مؤثر باشد و سبب آمادگی ماشین و اتمام به موقع تعمیرات شود. بنابراین در این تحقیق سعی خواهد شد تا در زمان‌بندی تعمیرات سبدهای حمل نیشکر از روش تصویری ارزیابی و بازنگری^۲ (گرت) بهره گرفته شود. روش گرت یکی از روش‌های احتمالی برنامه‌ریزی شبکه‌ای است. در روش گرت، وقوع فعالیت‌ها احتمالی در نظر گرفته می‌شود و برای وقوع هر فعالیت، درصد احتمالی اختصاص می‌یابد. با توجه به ماهیت پروژه تعمیرات سبدهای حمل نیشکر که فعالیت‌ها و زمان انجام آن‌ها احتمالی هستند، استفاده از شبکه‌های گرت نسبت به سایر فنون شبکه‌ای (CPM^۳ و PERT^۴) مناسب‌تر است و مدل شبکه‌ای گرت، ابزاری قدرتمند جهت برنامه‌ریزی، زمان‌بندی، پایش و تحلیل این پروژه‌ها است.

(Bocanegra-Herrera & Vidal (2016) به توسعه یک مدل شبیه‌سازی شده به عنوان سامانه پشتیبان تصمیم در عملیات حمل نیشکر پرداختند. نتایج نشان داد که در ۵۰ درصد مواقع سبدهای حمل نیشکر به خاطر از کارافتادگی آسیاب کارخانه در صف انتظار باقی می‌مانند. (Afsharnia et al., 2020a) به بهینه‌سازی تعمیر و نگهداری ماشین برداشت نیشکر بر اساس قابلیت اطمینان شبکه بیزی^۵ پرداختند. الگوریتم خروجی به منظور پیش‌بینی قابلیت اطمینان ماشین برداشت نیشکر و تخمین زمان از کار افتادن دستگاه استفاده شد. (Houshyar & Mahmoudi Ashkeftaki (2017)

4- Program Evaluation and Review Technique (PERT)

5- Bayesian network (BN)

1 - Timeliness Cost

2- Graphical Evaluation and Review Technique (GERT)

3- Critical Path Method (CPM)

عملیاتی و روند نرخ خرابی ماشین برداشت نیشکر با استفاده از سری‌های زمانی در طی یک دوره ۶ ساله (۱۳۹۰-۱۳۹۵) پرداختند. طبق نتایج نرخ خرابی ماشین برداشت نیشکر در طی این مدت زمان، ۷۳/۲۳ درصد کاهش داشته است و کارایی عملیاتی ماشین برداشت نیشکر نیز در همین مدت، ۱۴/۹ درصد افزایش داشته است. (Ramos et al., 2018) به تجزیه و تحلیل خرابی ماشین برداشت نیشکر و تعمیر و نگهداری آن مبتنی بر قابلیت اطمینان و استفاده از توزیع ویبول پرداختند. نتایج این الگوریتم نشان داد که یک تعمیر پیش‌بینی شده باید نهایتاً در ۳ روز کاری انجام شود.

در حوزه زمان‌بندی عملیات، یکی از فرضیات رایج، فرض در دسترس بودن ماشین‌ها در افق برنامه‌ریزی است. واضح است که در عمل، ممکن است یک ماشین، به دلایل مختلف، نظیر وقوع خرابی و یا لزوم انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، موقتاً در دسترس نباشد. در این تحقیق مسئله زمان‌بندی تعمیرات با لحاظ محدودیت در دسترس نبودن ماشین‌ها در دوره‌های زمانی از قبل مشخص شده، و با هدف کاهش زمان انجام کارها مورد بررسی قرار می‌گیرد. مساله زمان‌بندی تعمیرات سامانه حمل نیشکر عبارت است از یافتن توالی بهینه انجام عملیات‌های مختلف و مرتبط با ماشین بر روی آن ماشین. این مساله معمولاً با هدف کمینه کردن طول برنامه زمان‌بندی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در حال حاضر ماشین‌ها، نیروی کار و تسهیلات نیز علاوه بر زمان به عنوان منبع بحرانی در فعالیت‌های تولیدی و خدماتی شناخته می‌شوند. زمان‌بندی صحیح این منابع منجر به افزایش کارایی مصرف و در نهایت سودآوری می‌شود. بنابراین انجام تحقیقی که در تعیین زمان‌بندی مناسب، شرایط واقعی تعمیرات را لحاظ می‌نماید، ضروری است. بنابراین هدف از این مطالعه، استفاده از فنون شبکه‌ای در برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تعمیرات سالانه سبدهای حمل نیشکر است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در شرکت کشت و صنعت نیشکر دهخدا در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ انجام شد. کشت و صنعت نیشکر دهخدا در شمال شهرستان اهواز، حد فاصل جاده اندیمشک تا رودخانه کارون، کیلومتر ۲۳ از جاده معروف به دغاغله واقع گردیده است. مشخصات این کشت و صنعت در جدول ۱ ارائه

پژوهشی به تعیین ظرفیت نگهداری و تعمیرات (نت) مناسب برای چند تراکتور متداول در ایران با استفاده از تئوری صف پرداختند. نتایج نشان داد در طی ۶۷۰۰ ساعت کار، تعمیرات اضطراری تراکتور نیهولند ۱۵۵ نسبت به تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ در حدود ۱۸۰ ساعت بیش‌تر بوده است. با استفاده از تئوری صف، ظرفیت تعمیر ۰/۴ تراکتور در هر نوبت کاری پیشنهاد شد.

(Faria & Silva, 2015) به بررسی اثر مدیریت و نگهداری در تجهیزات مکانیکی سامانه برداشت نیشکر پرداختند. نتایج نشان داد که مدیریت و تعمیر و نگهداری صحیح سامانه برداشت نیشکر (سوخت‌گیری، روغن‌کاری و جایگزینی مناسب تیغه‌های برداشت) سبب کاهش نرخ توقف کار از ۱۰ درصد به ۳/۵ درصد می‌شود و هم‌چنین بهره‌وری سامانه برداشت و حمل افزایش می‌یابد. (Monjezi & Zaki, 2016) در پژوهشی به زمان‌بندی تعمیرات اساسی دروگر نیشکر با لحاظ محدودیت در دسترس نبودن ماشین‌ها در دوره‌های زمانی از قبل مشخص شده، و با هدف کاهش زمان انجام کارها مورد بررسی قرار گرفت.

بر اساس نتایج به دست آمده، زمان اتمام تعمیرات اساسی دروگر نیشکر به صورت زمان‌های خوش‌بینانه، محتمل و بدبینانه با استفاده از روش گرت فازی (۱۵۱۳/۶۵، ۱۰۹۷/۳۶، ۶۸۵/۶۲) نفر-ساعت به دست آمد. هم‌چنین نتایج حاصل از بررسی روند مدت زمان واقعی انجام تعمیرات اساسی نشان می‌دهد که ۲۰/۲۹ درصد از زمان‌های واقعی تکمیل تعمیرات اساسی دروگرهای نیشکر، خارج از زمان فازی برآورد شده است. (Zaki Dizaji & Monjezi, 2018) توجه به قابلیت شبکه گرت، آن را به عنوان ابزاری توانمند در زمان‌بندی تعمیرات اساسی دروگر نیشکر به کار بردند. زمان اتمام تعمیرات اساسی دروگر نیشکر در این روش ۱۱۶۴/۶۴ ساعت تخمین زده شد.

(Monjezi et al., 2016b) شبکه گرت را به عنوان ابزاری توانمند در برنامه‌ریزی و زمان‌بندی عملیات تولید نیشکر در استان خوزستان به کار بردند. زمان اتمام عملیات با استفاده از روش گرت فازی برابر (۴۷۲/۴۲، ۳۶۸/۷۲، ۲۷۲/۵۱) روز به دست آمد. نتایج نشان داد که مدل شبکه حاصل، توانایی پاسخگویی به سوالات آماری در مورد عملیات تولید نیشکر را دارد.

(Afsharnia & Marzban, 2020) به بررسی اثر بلندمدت استراتژی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه بر کارایی

شده است (Anonymous, 2024).

جمع‌آوری شد و از داده‌های سایر دستگاه‌ها به منظور سنجش زمان واقعی تعمیرات با برنامه زمانی محاسبه شده استفاده گردید.

مشخصات سبد حمل نیشکر

سبد حمل نیشکر در شکل ۱ نمایش داده شده است. در ادامه نیز به مشخصات فنی این سبدها اشاره خواهد شد (جدول ۲).



شکل ۱- سبد حمل نیشکر

تعمیرات سالانه سبد حمل نی

موارد تعمیراتی سبد حمل نیشکر نیز شامل: مال‌بند، شاسی، فنرها، سامانه هیدرولیک، سامانه تعلیق، فول‌ها و بدنه سبد (توری) است.

تهیه نمودار ساختار شکست کار^۱ (WBS) و مدل شبکه گرت

بر اساس اطلاعات جدول ۲، نمودار ساختار شکست کار (WBS) و مدل شبکه گرت تعمیرات سبد حمل نیشکر پس از تعیین وابستگی‌های بین فعالیت‌ها ترسیم شد (شکل ۲ و ۳).

تعیین زمان انجام هر کدام از فعالیت‌های شبکه گرت کلاسیک

برای استخراج تابع چگالی توزیع زمان هر کدام از فعالیت‌های موجود در شبکه تعمیرات سبد حمل نیشکر، ابتدا اطلاعات موجود برای هر یک از فعالیت‌ها جمع‌آوری شد، سپس تابع چگالی توزیع زمان برای تک تک فعالیت‌ها مشخص گردید (Sabzeh Parvar, 2021).

جدول ۱- مشخصات کشت و صنعت نیشکر دهخدا

سطح خالص اراضی: ۱۱۳۶۹ هکتار		
محصولات تولیدی	ظرفیت اسمی تولید	ظرفیت واقعی تولید
شکر خام	۱۰۰ هزار تن	۸۰ هزار تن
شکر سفید	۱۷۵ هزار تن	۱۴۰ هزار تن
ملاس و فرآورده‌های آن	۳۰ الی ۳۸ هزار تن	۲۸ هزار تن
باگاس	۳۳۰ هزار تن	۲۶۰ هزار تن

سامانه حمل نیشکر

در کشت و صنعت نیشکر دهخدا عملیات برداشت معمولاً در آبان ماه آغاز شده و به صورت سه نوبت ۱۲ ساعته اجرا می‌گردد. عملیات برداشت در دو مدیریت تولید و در هر مدیریت با دو گروه جداگانه برداشت و به صورت کاملاً ماشینی (توسط دروگر) انجام می‌شود.

حمل نی در این کشت و صنعت به دو روش کاملاً جداگانه انجام می‌گیرد (Monjezi, 2023):

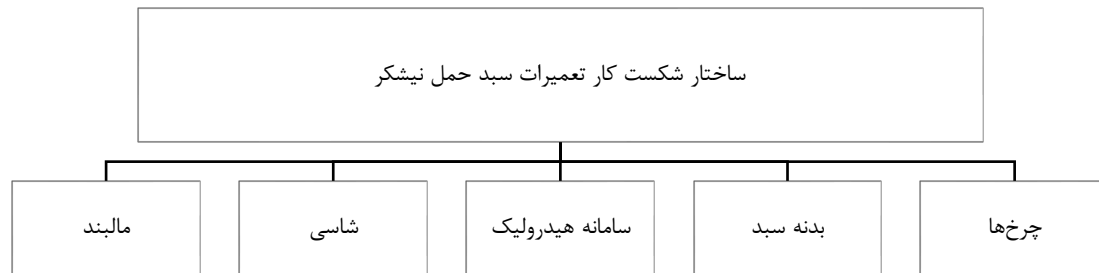
الف) نی برش داده شده و قطعه قطعه شده از طریق بالابرند دستگاه، داخل سبدهای مخصوص حمل نی ریخته شده و مستقیماً به کارخانه حمل می‌گردد. برای کشیدن این سبدها از تراکتورهای مسی فرگوسن MF 399 استفاده می‌گردد. روش مرسوم حمل نیشکر در شرکت کشت و صنعت دهخدا این روش است.

ب) نی برش داده شده و قطعه قطعه شده از طریق بالابرند دستگاه، داخل سبد چرخ لاستیکی (که توسط تراکتور کشیده می‌شود)، ریخته شده و پس از پر شدن سبد، تراکتور رابه کنار سبد ۳۰ تنی (که در جاده بین مزارع متوقف است) رسانده و نی‌ها را در آن سبد تخلیه می‌نماید. این روش گاهی به صورت محدود مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد.

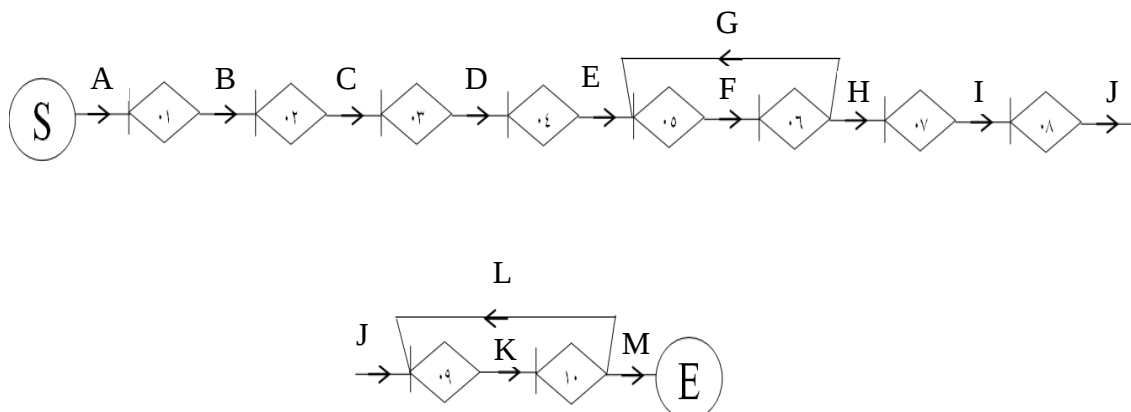
سامانه حمل نی در شرکت کشت و صنعت نیشکر دهخدا شامل ۴۵ عدد سبد ۱۸ تنی است. در این پژوهش به منظور زمان‌بندی تعمیرات سالیانه سامانه حمل، آمار و داده‌های مربوط به تعمیرات ۲۵ دستگاه سبد حمل نی

جدول ۲- مشخصات فنی سبد ۱۸ تنی حمل نیشکر

تعداد چرخ: ۴ عدد		بدنه سبد: توری لوزی شکل ۴×۲ میلی‌متر و قوطی صنعتی ۹×۹ میلی‌متر	
درجه st37 با قطر ۴ میلی‌متر			
شاسی سبد: قوطی صنعتی درجه st37 با قطر ۸ میلی‌متر		طول سبد: ۷۸۰ سانتی‌متر	عرض سبد: ۳۳۰ سانتی‌متر
ارتفاع سبد از لبه بالایی تا کف: ۲۰۲ سانتی‌متر		ارتفاع سبد از زمین تا کف: ۱۴۸ سانتی‌متر	ارتفاع کل سبد: ۳۵۰ سانتی‌متر



شکل ۲- ساختار شکست کار تعمیرات سبد حمل نیشکر



شکل ۳- شبکه گرت تعمیرات سالانه سبد حمل نیشکر

- الگوریتم محاسبه احتمال و میانگین زمان بین دو گره شبکه گرت کلاسیک
- الگوریتم زیر برای محاسبات شبکه گرت تعمیرات سبد حمل نیشکر به کار گرفته شد.
- ۱- با توجه به تابع چگالی متغیر زمان انجام هر فعالیت (f_{ij}) ، تابع مولد گشتاور آن فعالیت یعنی $M_{ij}(t)$ برای تمام فعالیت‌های شبکه محاسبه شد.
 - ۲- با توجه به احتمال انجام هر شاخه (P_{ij}) و تابع مولد گشتاور آن $(M_{ij}(t))$ ، تابع W برای هر فعالیت به صورت $W = P_{ij} \cdot M_{ij}(t)$ محاسبه گردید.
 - ۳- با ساده‌سازی نمودار جریان، تابع W معادل شبکه یعنی $W_E(t)$ محاسبه شد.
 - ۴- با استفاده از رابطه $P_E = W_E(0)$ احتمال انجام هر گره انتهایی حساب شد.
 - ۵- با استفاده از رابطه $M_E(0) = W_E(t)/W_E(0)$ و محاسبه مشتق اول آن، میانگین زمان انجام شبکه به ازای هر یک از گره‌های پایانی به دست آورده شد (Sabzeh Parvar, 2021).
 - ۶- با استفاده از میانگین و احتمالات به دست آمده، شبکه، تجزیه و تحلیل گردید.

الگوریتم محاسبات زمانی بین دو گره شبکه گرت فازی
در این الگوریتم، محاسبات شبکه‌های گرت بر اساس گره‌ها انجام شد و از محاسبات مسیر پیشرو استفاده گردید. مراحل کلی حل شبکه گرت فازی به صورت زیر بود:

۱- حلقه‌های شبکه ارزیابی شدند و برای هر حلقه متوسط ارزش زمانی حلقه محاسبه گردید.

۲- زمان آزاد شدن گره شروع برابر با صفر قرار داده شد (رابطه ۱).

$$MT_{Start} = ST_{Start} = (0,0,0) \quad (1)$$

۳- گره‌ها به ترتیب، از گره ابتدا تا گره انتها، با محاسبه متوسط زمان آزاد شدن گره، ارزیابی شد.

۴- با تکمیل ارزیابی گره انتهایی، زمان تکمیل تعمیرات سبد حمل نیشکر به دست آمد و شبکه زمان‌بندی گردید (رابطه ۲).

$$T_{project} = MT_{End} \quad (2)$$

۵- نتایج زمان‌بندی شبکه تحلیل گردید.

ارزیابی برنامه زمانی تعمیرات سبد حمل نیشکر

همانطور که در شکل ۶، مدل عمومی چرخه حیات یک پروژه مشخص است، یکی از مهم‌ترین مزایای برنامه‌ریزی، نظارت و پایش در حین اجرای کار است. در دنیای واقعی، اغلب به دلیل عدم قطعیت‌های موجود، اطمینان کافی به مدت زمان اتمام تعمیرات وجود نداشته و در این پژوهش پس از زمان‌بندی، نتایج کسب شده از روش گرت با زمان واقعی صرف شده جهت انجام تعمیرات سبد حمل نیشکر مقایسه و تناسب برآوردها مشخص گردید. بدین منظور برای تعیین زمان واقعی انجام تعمیرات سبد حمل نیشکر از بین سبدهای حمل نیشکر در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در بخش تجهیزات مکانیکی شرکت کشت و صنعت دهخدا، نمونه‌ای به طور تصادفی انتخاب و مدت زمان واقعی تعمیرات در آن‌ها تعیین گردید. سپس زمان واقعی تکمیل عملیات با زمان برآورده شده مقایسه شد.

نتایج و بحث

اطلاعات فرآیند تعمیرات سبدهای حمل نیشکر

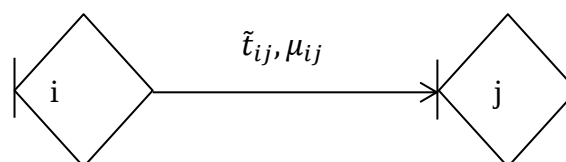
شبکه گرت تعمیرات سبدهای حمل نیشکر در شکل ۳ نمایش داده شده است، این شبکه با توجه به ماهیت فعالیت‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها، از گره‌های یای خاص تشکیل شده است؛

زمان‌بندی فازی عملیات تعمیرات سبد حمل نیشکر

شبکه‌های گرت فازی همان شبکه‌های گرت احتمالی هستند که عامل‌های فازی جایگزین عامل‌های احتمالی شده‌اند و از سه جزء گره‌های منطقی، شاخه‌های فازی و حلقه‌ها تشکیل می‌شوند.

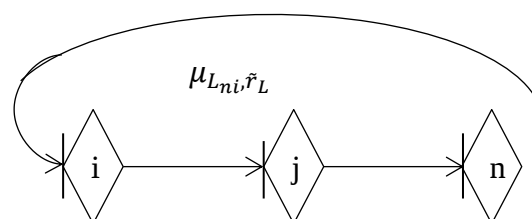
۱- گره‌های منطقی: گره‌های منطقی در شبکه‌های گرت فازی مانند شبکه‌های گرت احتمالی دارای دو وجه ورودی و خروجی هستند. وجه ورودی مانند شبکه‌های گرت احتمالی شامل سه نوع وجه (یای خاص، یای عام و نوع «و») است. وجه خروجی گره‌های منطقی شامل دو نوع خروجی قطعی و فازی هستند.

۲- شاخه‌های فازی: شاخه‌های فازی در این شبکه‌ها جایگزین شاخه‌های احتمالی در شبکه‌های احتمالی می‌شوند. هر شاخه فعالیت با دو عامل مشخص می‌شود. یکی درجه‌ی عضویت آن شاخه μ_{ij} که نشان‌دهنده‌ی امکان وقوع آن شاخه خواهد بود و دیگری زمان فازی انجام فعالیت‌ها $\tilde{t}_{ij}$ که نشان‌دهنده‌ی زمان تقریبی انجام فعالیت‌های پروژه است (شکل ۴).



شکل ۴- شاخه فازی

۳- دوره‌ها و حلقه‌های برگشتی: هر حلقه L_{ni} متشکل از یک یا چند فعالیت است که بیش از یک بار قبل اجرا شدن باشند. هر حلقه با دو عامل مشخص می‌شود. یکی امکان وقوع حلقه $\mu_{L_{ni}}$ و دیگری تعداد تکرار حلقه $\tilde{r}_{L_{ni}}$ (شکل ۵).



شکل ۵- حلقه فازی

توجه به قوانین ساده‌سازی شاخه‌های سری و موازی در نمودار جریان، انجام شد.

ارزش شاخه معادلی که گرہ شروع را به گرہ شماره ۰۵ متصل می‌نماید به صورت رابطه ۳ حاصل شد.

$$W_{(t)S-05} = W_{(t)001} * W_{(t)A} * W_{(t)B} * W_{(t)C} * W_{(t)D} = e^{61.96t} \quad (3)$$

با قرار دادن $t=0$ در تابع $W_{(t)S-05}$ احتمال انجام یافتن شاخه معادل، مطابق رابطه ۴ به دست آمد.

$$P_{S-05} = W_{(0)S-05} = e^0 = 1 \quad (4)$$

با گرفتن مشتق اول از تابع $W_{(t)S-05}$ ، میانگین زمان بین گرہ شروع تا گرہ شماره ۰۵، ۶۱/۹۶ ساعت به دست آمد. ارزش شاخه معادلی که گرہ شماره ۰۶ را به گرہ شماره ۰۹ متصل می‌نماید به صورت رابطه ۵ حاصل شد.

$$W_{(t)06-09} = W_{(t)054} * W_{(t)055} * W_{(t)056} = 0.75 * e^{3.9t} \quad (5)$$

همچنین ارزش شاخه معادلی که گرہ شماره ۱۰ را به گرہ پایان متصل می‌نماید به صورت رابطه ۶ حاصل شد.

$$W_{(t)10-E} = W_{(t)059} = 0.9 \quad (6)$$

گام سوم: ارزش حلقه‌های موجود در شبکه تعمیرات سبدهای حمل نیشکر

اگر ارزش حلقه مرتبه i ام حلقه شماره j ام با W_{Lij} نشان داده شود که در آن i نشانگر مرتبه، j نشان‌دهنده شماره، L حرف اول LOOP و W حرف اول Worth است که به اختصار برای نشان دادن ارزش حلقه مرتبه i ام حلقه j ام استفاده شده است؛ در این صورت با استفاده از ساده‌سازی نمودار جریان‌ها، ارزش حلقه‌های شبکه به صورت زیر محاسبه و به دست آورده شدند.

۱- ارزش حلقه شماره یک با مسیر ۰۶-۰۵ (رابطه ۷):

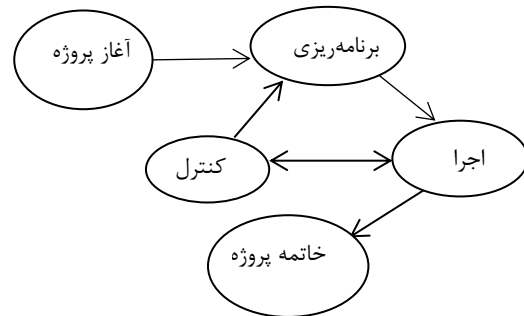
$$W_{(t)L11} = \frac{e^{25.44t}}{1 - 0.25e^{25.44t}e^{1.71t}} \quad (7)$$

۲- ارزش حلقه شماره ۲ با مسیر ۱۰-۰۹ (رابطه ۸):

$$W_{(t)L12} = \frac{e^{0.57t}}{1 - 0.10e^{0.57t}e^{13.14t}} \quad (8)$$

شرط لازم برای اتمام عملیات این است که همه حلقه‌های موجود در شبکه، هر کدام یک بار و با ترتیب معین انجام شده باشند. در نتیجه ارزش شاخه معادل بین گرہ‌های شروع و پایان در شرایط مسئله، همانند رابطه ۹ به دست آورده شد. با قرار دادن $t=0$ در تابع $W_{(t)S-E}$ احتمال رسیدن به گرہ پایان از گرہ شروع، در شرایط خواسته شده مسئله برابر یک یعنی صد در صد نتیجه شد.

یعنی وقوع هر یک از شاخه‌های منتهی به این گرہ باعث وقوع گرہ خواهد شد و در هر لحظه یک و فقط یک شاخه به وقوع می‌پیوندد. هم‌چنین اطلاعات فرآیند تعمیرات سبدهای حمل نیشکر در جدول ۳ آمده است. در ادامه به تجزیه و تحلیل شبکه پرداخته می‌شود.



شکل ۶- مدل عمومی چرخه حیات پروژه

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل شبکه گرت کلاسیک تعمیرات سبدهای حمل نیشکر

جدول ۲ اطلاعات برخی از عامل‌ها و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل شبکه گرت تعمیرات سبدهای حمل نیشکر را نشان می‌دهد. با توجه به ماهیت داده‌های جمع‌آوری شده، تابع چگالی توزیع زمان برای تک تک فعالیت‌ها، تابع ثابت با واریانس صفر بود.

احتمال و میانگین زمان اتمام تعمیرات سبدهای حمل نیشکر

برای به دست آوردن احتمال و میانگین زمان اتمام تعمیرات سبدهای حمل نیشکر، مطابق با الگوریتم محاسبه احتمال و میانگین زمان بین دو گرہ شبکه گرت، عمل شد. با توجه به جدول ۲ که نتایج برخی محاسبات ارائه شده است، گام‌های زیر پیموده شده است.

گام اول: با توجه به جدول ۲، ارزش هر شاخه‌ای که در مسیر

$$W_{(t)S-E} = W_{(t)S-05} * W_{(t)06-09} * W_{(t)10-E} * W_{(t)L11} * W_{(t)L12} = 0.9 * 0.75 * \frac{e^{91.87t}}{(1 - 0.25e^{27.15t})(1 - 0.10e^{13.71t})} \quad (9)$$

رسیدن به هدف قرار دارد، مشخص گردید.

گام دوم: با استفاده از قوانین ساده‌سازی نمودار جریان‌ها، شبکه تا جای ممکن ساده شده و ارزش شاخه‌های معادل محاسبه شد. ساده‌سازی شبکه شامل گرہ‌های یای خاص با

تابع مولد گشتاور تابع $W_{(t)S-E}$ برابر است با (رابطه ۱۰):

$$M_{(t)S-E} = 0.675 * \frac{e^{91.87t}}{(1-0.25e^{27.15t})(1-0.10e^{13.71t})} \quad (10)$$

$$\mu(t) = \frac{0.675 * 91.87 * e^{91.87t} * (1 - 0.10e^{13.71t} - 0.25e^{27.15t} + 0.025e^{40.86t})}{(1 - 0.10e^{13.71t} - 0.25e^{27.15t} + 0.025e^{40.86t})^2} - \frac{(-0.10 * 13.71e^{13.71t} - 0.25 * 27.15 * e^{27.15t} + 0.025 * 40.86e^{40.86t}) * 0.675 * e^{91.87t}}{(1 - 0.10e^{13.71t} - 0.25e^{27.15t} + 0.025e^{40.86t})^2}$$

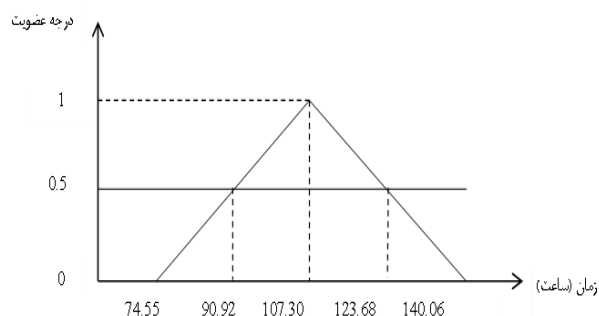
$$\mu(0) = 102.44 = \mu \quad (11)$$

میانگین زمان بین گره شروع و گره پایان در شرایط این مسئله، با مشتق‌گیری از تابع مولد گشتاور $M_{(t)S-E}$ و قرار دادن $t=0$ به صورت رابطه ۱۱ به دست آورده شد. در مورد هر گره انتخابی، برای نتیجه‌گیری در مورد احتمال و میانگین می‌توان مطابق روش مذکور عمل نموده و وقایع و اتفاقات مختلف را در طول انجام عملیات پیش‌بینی کرد و با توجه به اتفاقات خاصی که در مسیر انجام عملیات حادث می‌شوند، تصمیمات مناسبی اتخاذ نمود.

جدول ۳- اطلاعات فرآیند و عامل‌های محاسبه شده در شبکه تعمیرات سبد حمل‌نیشکر (گرت کلاسیک)

کد فعالیت	شرح فعالیت	فعالیت‌های پیش‌نیاز	زمان فعالیت (ساعت)	تابع مولد گشتاور $M_{ij}(t)$	احتمال P_{ij}	ارزش شاخه $W_{ij}(t)$
START	شروع	-	۰	۱	۱	۱
A	آماده‌سازی دستگاه جهت تعمیرات	START	۲	$\text{Exp}(2t)$	۱	$\text{Exp}(2t)$
B	مالبند	A	۴/۶۰	$\text{Exp}(4.60t)$	۱	$\text{Exp}(4.60t)$
C	شاسی	B	۵/۲۸	$\text{Exp}(5.28t)$	۱	$\text{Exp}(5.28t)$
D	بدنه سبد	C	۱۹/۸۷	$\text{Exp}(19.87t)$	۱	$\text{Exp}(19.87t)$
E	چرخ‌ها	D	۳۰/۲۱	$\text{Exp}(30.21t)$	۱	$\text{Exp}(30.21t)$
F	سامانه هیدرولیک	E	۲۵/۴۴	$\text{Exp}(25.44t)$	۱	$\text{Exp}(25.44t)$
G	نیاز به بازرسی مجدد و تعمیرات	F	۱/۷۲	$\text{Exp}(1.71 t)$	۰/۲۵	$0.25 \times \text{Exp}(1.71 t)$
H	عدم نیاز به تعمیرات مجدد	F	۰	۱	۰/۷۵	۰/۷۵
I	شستشوی کامل	H	۳	$\text{Exp}(3t)$	۱	$\text{Exp}(3t)$
J	گریسکاری	I	۰/۹۰	$\text{Exp}(0.9t)$	۱	$\text{Exp}(0.9t)$
K	تست و بازدیدهای نهایی	J	۰/۵۷	$\text{Exp}(0.57t)$	۱	$\text{Exp}(0.57t)$
L	نیاز به بازرسی مجدد و تعمیرات	K	۳/۱۴	$\text{Exp}(3.14t)$	۰/۱۰	$\times$ $0.10 \times \text{Exp}(3.14t)$
M	عدم نیاز به تعمیرات مجدد	K	۰	۱	۰/۹۰	۰/۹
END	پایان	M	۰	۱	۱	۱

آمد. Afsharnia & Marzban (2019)، متوسط زمان انتظار روزانه سبدهای حمل نیشکر در صف را برابر ۲/۰۶ ساعت محاسبه کردند.



شکل ۷- نمودار زمان فازی تکمیل تعمیرات سبد

مقایسه زمان واقعی فرآیند تعمیرات سالانه سبد حمل نیشکر با نتایج حاصل از روش گرت فازی

در دنیای واقعی اغلب به دلیل عدم قطعیت‌های موجود، اطمینان کافی به مدت زمان اتمام تعمیرات سبد حمل نیشکر وجود نداشته ولی با این حال نتایج کسب شده از روش گرت در این تحقیق نزدیک به زمان واقعی اتمام عملیات است و برآوردها را متناسب‌تر می‌نماید.

مدت زمان واقعی انجام تعمیرات سالانه برای ۲۰ دستگاه سبد (از مجموع ۴۵ دستگاه سبد) در شرکت کشت و صنعت دهخدا که در طی سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ تعمیرات بر روی آن‌ها انجام شده است، با توجه به اطلاعات موجود در دفتر فنی تجهیزات مکانیکی شرکت، تعیین گردید.

شکل ۸، نمایش درصد فراوانی مدت زمان تعمیرات سبد حمل نیشکر در بازه‌های زمانی مشخص است. همان‌طور که در نمودار مشخص است، ۲۳/۲۸ درصد از زمان‌های واقعی تکمیل تعمیرات سبد، خارج از زمان فازی برآورد شده در شکل ۹ است. Najafi et al. (2015) در پژوهشی به بررسی قابلیت اطمینان دروگر نیشکر پرداختند. نتایج نشان داد که قابلیت اطمینان ماشین به قابلیت اطمینان سامانه‌هایی نظیر غلتک‌های تغذیه و هیدرولیک دستگاه بستگی دارد. همچنین Afsharnia et al. (2020b) قابلیت اطمینان دروگرهای نیشکر را حدود ۸۶ تا ۹۵ درصد تخمین زدند. در تحقیقی مشابه که با هدف زمان‌بندی تعمیرات اساسی دروگر نیشکر با لحاظ محدودیت در دسترس نبودن ماشین‌ها در دوره‌های زمانی از قبل مشخص شده، انجام شده است، نتایج حاصل از بررسی روند مدت زمان واقعی انجام تعمیرات اساسی نشان می‌دهد که ۲۰/۲۹ درصد از زمان‌های واقعی تکمیل تعمیرات

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل شبکه گرت فازی تعمیرات سبدهای حمل نیشکر

متغیرهای ورودی شبکه گرت فازی تعمیرات سبدهای حمل نیشکر شامل، زمان فعالیت‌ها، تعداد تکرار فعالیت‌ها و امکان وقوع یا درجه عضویت آن‌ها در جدول ۴ ارائه گردید. حل شبکه گرت فازی تعمیرات سبدهای حمل نیشکر شامل ارزیابی حلقه‌های شبکه و ارزیابی گره‌ها است. نتایج حاصل از محاسبات در جدول‌های ۵ و ۶ آمده است.

خروجی‌های این روش شامل زمان تکمیل عملیات و زمان‌بندی سایر گره‌های موجود در شبکه است که با انجام محاسبات ارزیابی گره و گره انتهایی به دست آمد. زمان تکمیل عملیات عددی است فازی که با توجه به اینکه عامل‌های ورودی شبکه، اعداد فازی مثلثی هستند، نتیجه زمان تکمیل عملیات هم یک عدد فازی مثلثی است. یعنی در شبکه‌های گرت فازی زمان تکمیل عملیات به جای یک عدد قطعی، یک فاصله زمانی و عدد فازی است که با واقعیت هم تطبیق می‌کند و موجب از بین رفتن تنش‌ها در جلسات پایش عملیات تولید خواهد شد. زمان فازی تکمیل تعمیرات سبد برابر $\tilde{T}_{project} = M\tilde{T}_E = (74.55, 107.30, 140.06)$ (واحد زمان: ساعت) شد.

حال مدیر تعمیرات، یک فاصله زمانی برای تکمیل عملیات در اختیار دارد و می‌تواند آن را بر اساس برش‌های α تحلیل کند (شکل ۷). α را می‌توان به عنوان سطح خطر در نظر گرفت و تصمیم‌گیرنده می‌تواند در سطوح خطر مختلف فاصله زمانی تکمیل عملیات را محاسبه و تحلیل نماید. زمان فازی به دست آمده از روش گرت فازی برای تعمیرات سبد با $\alpha=0.5$ عبارت است از (رابطه ۱۲):

$$A_{0.5} = [(107.30 - 74.55) * 0.5 + 74.55, (107.30 - 140.06) * 0.5 + 140.06] = [90.92, 123.68] \quad (12)$$

A_α نشان دهنده فاصله زمانی است که درجات عضویت آن‌ها بیشتر از α است. حد پایین (خوش‌بینانه) و حد بالا (بدبینانه) برش $\alpha=0.5$ برای تعمیرات سبد به ترتیب برابر ۹۰/۹۲ و ۱۲۳/۶۸ ساعت به دست آمد. هر چقدر α بزرگ‌تر باشد، فاصله مورد نظر کم‌تر و دقت بیش‌تر می‌شود. بنابراین مدیر پروژه می‌تواند در سطوح خطر مختلف فاصله زمانی تکمیل عملیات را محاسبه و تحلیل کند و بهتر است α بزرگ در نظر گرفته شود. هم‌چنین میانگین زمانی تعمیرات سبد نیز با غیرفازی کردن، برابر ۱۰۷/۳۰ ساعت به دست

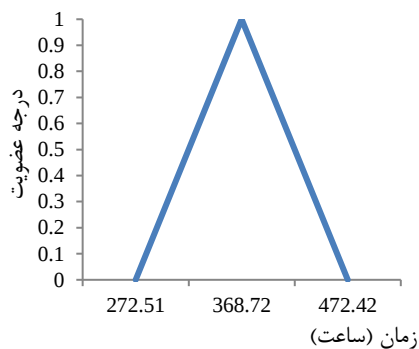
اساسی دروگرهای نیشکر، خارج از زمان فازی برآورد شده است (Monjezi & Zaki, 2017). بنابراین مدیر واحد تعمیرات می‌تواند با استفاده از برنامه‌ریزی صحیح و کاهش دلایل تأخیر در عملیات، هزینه‌های از دست دادن زمان را کاهش دهد و زمان تکمیل عملیات را در بازه زمانی بهینه مدیریت نماید.

جدول ۴- متغیرهای ورودی شبکه گرت فازی تعمیرات سبد

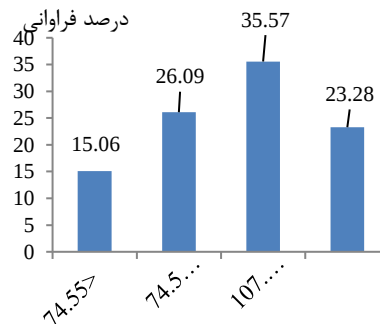
کد فعالیت	زمان فعالیت (ساعت)	تعداد تکرار	امکان وقوع فعالیت یا درجه عضویت فعالیت
START	(۰،۰،۰)	۱	۱
A	(۱، ۲، ۳)	۱	۱
B	(۳/۲۵، ۴/۶۰، ۵/۹۸)	۱	۱
C	(۳/۷۵، ۵/۲۸، ۶/۸۳)	۱	۱
D	(۱۳/۷۹، ۱۹/۸۷، ۲۵/۵۰)	۱	۱
E	(۲۱/۱۳، ۳۰/۲۱، ۳۹/۵۳)	۱	۱
F	(۱۷/۸۲، ۲۵/۴۴، ۳۳/۱۵)	۱	۱
G	(۱/۲۰، ۱/۷۲، ۲/۲۶)	۱	۰/۲۵
H	(۰، ۰، ۰)	۱	۰/۷۵
I	(۲، ۳، ۴)	۱	۱
J	(۰/۶۰، ۰/۹۰، ۱/۲۰)	۱	۱
K	(۰/۴۰، ۰/۵۷، ۰/۷۵)	۱	۱
L	(۲/۲۰، ۳/۱۴، ۴/۱۰)	۱	۰/۱۰
M	(۰،۰،۰)	۱	۰/۹۰
END	(۰،۰،۰)	۱	۱

جدول ۵- ارزیابی حلقه‌های شبکه گرت فازی تعمیرات سبد

کد حلقه	فعالیت‌های حلقه	حلقه‌های داخلی	ارزش واحد حلقه	ارزش کل حلقه بدون حلقه‌های داخلی	ارزش کل حلقه با حلقه‌های داخلی	ارزش متوسط حلقه
L_{n-h}	$X_{L_{nt}}$	$L_{L_{nt}}$	$\tilde{t}_{L_{nt}}$	$\mu_{L_{nt}}$	$\tilde{t}_{L'_{nt}}$	$\mu_{\tilde{m}t_{L_{nt}}}$
۱	G و F	-	(۲۷/۱۶، ۳۵/۴۱) (۱۹/۰۲)	۰/۵۰	-	(۲۷/۱۶، ۳۵/۴۱) (۱۹/۰۲)
۲	L و K	-	(۲/۶۰، ۳/۷۱، ۴/۸۵) (۲/۶۰، ۳/۷۱، ۴/۸۵)	۰/۵۰	-	(۲/۶۰، ۳/۷۱، ۴/۸۵) (۲/۶۰، ۳/۷۱، ۴/۸۵)



شکل ۹- نمودار زمان فازی تعمیرات سبد



شکل ۸- نمودار درصد فراوانی مدت زمان تعمیرات سبد

جدول ۶- محاسبات گره‌های شبکه گرت فازی تعمیرات سبد

کد گره	فعالیت‌های ورودی گره	ختم فعالیت‌های ورودی گره		زمان ابتدایی آزاد شدن گره	حلقه‌های خروجی از گره		زمان متوسط آزاد شدن گره
		f_{t_i-j}	$\tilde{\mu}_{f_{t_i-j}}$		حلقه	کد	
				$S\tilde{T}_i$	L_{n-h}	$\mu_{m\tilde{t}_{L_{ni}}}$	$M\tilde{T}_i$
START	-	-	-	(۰،۰،۰)	-	-	(۰،۰،۰)
۰۱	A	(۱، ۲، ۳)	۱	(۱، ۲، ۳)	-	-	(۱، ۲، ۳)
۰۲	B	(۴/۲۵، ۶/۶۰، ۸/۹۸)	۱	(۴/۲۵، ۶/۶۰، ۸/۹۸)	-	-	(۴/۲۵، ۶/۶۰، ۸/۹۸)
۰۳	C	(۸/۰۰، ۱۱/۸۸، ۱۵/۸۱)	۱	(۸/۰۰، ۱۱/۸۸، ۱۵/۸۱)	-	-	(۸/۰۰، ۱۱/۸۸، ۱۵/۸۱)
۰۴	D	(۲۱/۷۹، ۳۱/۷۵، ۴۱/۳۱)	۱	(۲۱/۷۹، ۳۱/۷۵، ۴۱/۳۱)	-	-	(۲۱/۷۹، ۳۱/۷۵، ۴۱/۳۱)
۰۵	E	(۴۲/۹۲، ۶۱/۹۶، ۸۰/۸۴)	۱	(۴۲/۹۲، ۶۱/۹۶، ۸۰/۸۴)	-	-	(۴۲/۹۲، ۶۱/۹۶، ۸۰/۸۴)
۰۶	F	(۶۰/۷۴، ۸۷/۴۰، ۱۱۳/۹۹)	۱	(۶۰/۷۴، ۸۷/۴۰، ۱۱۳/۹۹)	۱	۰/۵	(۷۰/۲۵، ۱۰۰/۹۸، ۱۳۱/۶۹)
۰۷	H	(۷۰/۲۵، ۱۰۰/۹۸، ۱۳۱/۶۹)	۰/۵	(۷۰/۲۵، ۱۰۰/۹۸، ۱۳۱/۶۹)	-	-	(۷۰/۲۵، ۱۰۰/۹۸، ۱۳۱/۶۹)
۰۸	I	(۷۲/۲۵، ۱۰۳/۹۸، ۱۳۵/۶۹)	۰/۵	(۷۲/۲۵، ۱۰۳/۹۸، ۱۳۵/۶۹)	-	-	(۷۲/۲۵، ۱۰۳/۹۸، ۱۳۵/۶۹)
۰۹	J	(۷۲/۸۵، ۱۰۴/۸۸، ۱۳۶/۸۹)	۰/۵	(۷۲/۸۵، ۱۰۴/۸۸، ۱۳۶/۸۹)	-	-	(۷۲/۸۵، ۱۰۴/۸۸، ۱۳۶/۸۹)
۱۰	K	(۷۳/۲۵، ۱۰۵/۴۵، ۱۳۷/۶۴)	۰/۵	(۷۳/۲۵، ۱۰۵/۴۵، ۱۳۷/۶۴)	۲	۰/۵	(۷۴/۵۵، ۱۰۷/۳۰، ۱۴۰/۰۶)
END	M	(۷۴/۵۵، ۱۰۷/۳۰، ۱۴۰/۰۶)	۰/۵۰	(۷۴/۵۵، ۱۰۷/۳۰، ۱۴۰/۰۶)	-	-	(۷۴/۵۵، ۱۰۷/۳۰، ۱۴۰/۰۶)

نتیجه‌گیری

مدت زمان اتمام تعمیرات سبد حمل نیشکر با استفاده از روش گرت کلاسیک، ۱۰۲/۴۴ ساعت تخمین زده شد. در روش گرت فازی زمان محاسبه شده برای تعمیرات سبد حمل نیشکر (۱۴۰/۰۶، ۱۰۷/۳۰، ۷۴/۵۵) ساعت به دست آمد. بنابراین روش گرت فازی این امکان را در اختیار مدیر واحد تعمیرات قرار می‌دهد تا با در نظر گرفتن سایر عوامل مؤثر درگیر در عملیات، زمان اتمام را در بازه تخمینی به صورت مناسب قرار دهد، به طوری که در اجرای فعالیت‌ها خللی وارد نشود و از طرفی هزینه‌های به موقع انجام نشدن کار نیز حداقل شود. همچنین این امکان را فراهم می‌آورد که بتوان در مقاطع زمانی مختلف، برش‌هایی را ایجاد نمود و فرآیند اجرای عملیات را پایش و در صورت نیاز اصلاح نمود. در نهایت، پیاده‌سازی و عملی ساختن روش و گرفتن بازخورد، تعریف و تعیین سامانه تعمیرات ماشین‌های نیشکری و ایجاد سامانه مدیریت اطلاعات برای آن‌ها، بررسی امکان تخصیص منابع و موازنه هزینه-زمان تعمیرات سامانه حمل نیشکر با مدل‌های شبکه‌ای و بررسی دقیق و همه جانبه لنگی‌های حین کار و دلایل تأخیر در عملیات در

فرآیند تعمیرات سامانه حمل نیشکر و ارائه راهکارهایی جهت کاهش آن پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز بابت تأمین هزینه‌های این پژوهش سپاسگزاری می‌نمایند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

نحوه و میزان مشارکت نویسندگان در انجام این پژوهش به صورت زیر است:

مهدی عنافچه: جمع‌آوری و پردازش داده‌ها
نسیم منجزی: نظارت و مدیریت

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تایید همه آنها است.

supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 276, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123305>.

Faria, L. & Silva, J. (2015). Effects of Maintenance Management Procedures in Sugarcane Mechanic Harvesting System Equipment. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, 35 (6), 1187-1197. <https://doi.org/10.1590/1809-4430>.

Filho, A. A., Melo, T. & Pato, M. V. (2021). A bi-objective mathematical model for integrated planning of sugarcane harvesting and transport operations. *Computers and Operations Research*, 134, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105419>.

Filho, A. A., Cantane, D., Isler, P. R. & Florentino, H. O. (2023). An integrated multi-objective mathematical model for sugarcane harvesting considering cumulative degree-days. *Expert Systems with Applications*, 232, 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120881>.

Habibi Asl, J., Asakereh, A. & Behbahani Nejad, N. (2022). Evaluation of Sugarcane Production based on the Analysis of Cumulative Exergy and Environmental Effects (Case Study: Agri- industry of Mirza Kochakh Khan). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 33 (4), 293-309. (In Persian) <https://doi.org/10.22092/jasp.2022.17448>

Houshyar, A. & Mahmoudi Ashkeftaki, M. (2017). Determining the suitable maintenance capacity for some conventional tractors in Iran using queuing theory. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 7 (1), 13-23. (In Persian)

Junqueira, R. R. & Morabito, R. (2019). Modeling and solving a sugarcane harvest front scheduling problem. *International Journal of Production Economics*, 213, 150-160. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.03.009>.

Monjezi, N. & Zaki Dizaji, H. (2016). Fuzzy approach for time optimization of basic repairs of sugarcane harvester using GERT network method. *Iranian journal of Biosystem Engineering*, 48 (1), 83-91. (In Persian) <https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.61563>.

Monjezi, N., Sheikh Davoodi, M. J., Zaki Dizaji, H., Marzban, A. & Shomeili, M. (2016a). Identifying and Prioritizing the Effective Parameters on Lack of Timeliness of Operations of Sugarcane Production using Analytical Hierarchy Process (AHP). *Journal of Agricultural Machinery*, 7(2), 514-526. (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jam.v7i2.52521>.

Monjezi, N., Zaki Dizaji, H., Sheikh Davoodi, M. J.,

تضاد منافع نویسندگان

در این مقاله هیچ‌گونه تضاد منافع وجود ندارد و این مسئله مورد تایید همه نویسندگان است.

حمایت مالی

نویسنده(ها) هیچ حمایت مالی خاصی برای انجام این پژوهش دریافت نکرده‌اند.

منابع

Afsharnia, F., Marzban, A. & Abdeslahi, A. (2018). Sugarcane transportation process modeling by time series approach. *Iran Agricultural Research*, 37(2), 117-126. <https://doi.org/10.22099/iar.2019.5192>.

Afsharnia, F. & Marzban, A. (2019). Analysis of sugarcane stems transportation process from farm to factory using queuing theory. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 20(72), 109-122. (In Persian) <https://doi.org/10.22092/erams.2017.114861.1210>.

Afsharnia, F. & Marzban, A. (2020). Investigating The Long-term Effect of Preventive Maintenance Strategy on The Operational Efficiency and Failure Rate of Sugarcane Harvester Using Time Series. *Journal of Agricultural Machinery*, 10(2), 347-359. <https://doi.org/10.22067/jam.v10i2.70962>.

Afsharnia, F., Marzban, A. & Asoodar, M. (2020a). Preventive maintenance optimization of sugarcane harvester machine based on FTBayesian network reliability. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 38(3), 1-29. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-01-2020-0015>.

Afsharnia, F., Marzban, A., Asoodar, M.A. & Abdeslahi, A. (2020b). Availability Modeling of Sugarcane Harvesting System by Using Markov Chain. *Journal of Biosystems Engineering*, 45, 145-154. <https://doi.org/10.1007/s42853-020-00054-x>.

Anonymous. (2024). Statistics of Sugarcane & by-products Development Company. Khuzestan, Iran. (In Persian).

Bocanegra-Herrera, C. C. & Vidal, C. J. (2016). Development of a simulation model as a decision support system for sugarcane supply, *Journal DYNA*, 83 (198), 180-186. <https://doi.org/10.15446/dyna.v83n198.52719>.

Chavez, M. M., Sarache, W., Costa, Y. & Soto, J. (2020). Multiobjective stochastic scheduling of upstream operations in a sustainable sugarcane

- Determining the reliability function of Messey Ferguson 285 tractors active in Khuzestan agriculture and industry. Proceedings of the 6th National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. College of Agriculture & Natural Resources of University of Tehran. Karaj. 9 pages. (In Persian)
- Ramos, P. L., Nascimento, D. C., Cocolo, C., Nicola, M. J., Alonso, C., Ribeiro, L. G., Ennes, A. & Louzada, F. (2018). Reliability-Centered Maintenance: Analyzing Failure in Harvest Sugarcane Machine Using Some Generalizations of the Weibull Distribution. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2018, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2018/1241856>.
- Sabzeh Parvar, M. (2021). Project management and control. Arisa Ghalam Press. 703 p. (In Persian).
- Sharifi, S., Monjezi, N. & Hafezi, N. (2020). Performance of Multilayer Perceptron Neural Network Models and Radial-Based Functions in Estimation of Sugarcane Crop Yield. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30 (4), 213-228. (In Persian).
- Zaki Dizaji, H. & Monjezi, N. (2018). A Network Model for Time Management in Overhaul of Sugarcane Harvester. *Journal of Agricultural Machinery*, 8(2), 403-412. (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jam.v8i2.59028>
- Marzban, A. & Shomeili, M. 2016b. The application of the fuzzy GERT method in the timing of sugarcane production operations. *Agricultural Engineering*, 40 (1), 125-139. (In Persian) . <https://doi.org/10.22055/agen.2017.13082>.
- Monjezi, N. & zaki dizaji, H. (2017). Fuzzy approach to optimize overhaul time of sugarcane harvester using GERT network method. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 48(1), 91-83. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.61563>.
- Monjezi, N. (2018). Analysis of occupational risk factors for musculoskeletal injuries in the sugarcane workers using QEC and Nordic questionnaire. *Agricultural Engineering*, 42(3), 97-112. (In Persian).
- Monjezi, N. (2023). Sugarcane Production Technology and Mechanization in Iran. Shahid Chamran University of Ahvaz Press. 732 p. (In Persian).
- Najafi, P., Asoodar, M.A., Marzban, A. & Hormozi, M.A. (2015). Reliability analysis of agricultural machinery: A case study of sugarcane chopper harvester. *Agricengint: CIGR journal*, 17(1), 158-165.
- Omran, A., Sheikhdavoodi, M. J. & Shomeili, M. (2012). Influence of Meteorological Parameters on Suitable Workdays and Timeliness Cost in Sugarcane Harvesting Operation. *Journal of Life Science and Biomedicine*, 2 (6), 274-277.
- Pouzesh, M., Mohatsabi, S. & Ahmadi, H. (2018).