Research Article

Agricultural Engineering., 47(4) (2024) 565-584

ISSN (P): 2588-526X

DOI: 10.22055/agen.2024.47154.1733

ISSN (E): 2588-5944

Presenting a schedule model for annual MF 399 tractors maintenance using GERT method, A case study: Dehkhoda Sugarcane Agro-industry Company

M. Anafche[1], N. Monjezi [2]*

1. MSc., Biosystems Engineering Dept., Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. Assistant professor, Biosystems Engineering Dept., Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Received: 13 June 2024 Accepted: 8 November 2024 *Corresponding Author: n.monjezi@scu.ac.ir

Abstract

Introduction: Considering the high use of agricultural machines in sugarcane Agro-industry company; management of maintenance and repairs is necessary. The application of agricultural mechanization and the management of machines in agriculture is responsible for improving the way of working and correct use of machines. Today, with the mechanization of agricultural systems, the timely performance of activities requires correct machine planning. For proper planning, one must know the reliability of the machines. Increasing efficiency and reliability of machines is an economic necessity. Any scheduled program to increase the reliability of machines can be effective in reducing time loss due to repairs and cause repairs to be completed on time. Therefore, in this research, according to the nature of the project of annual repairs of MF 399 tractors, in which the activities and the time of their completion are possible, the graphic evaluation and review technique (GRET) method was used. GERT method is one of the possible network programming methods. In GERT method, the occurrence of activities is considered possible and a percentage of probability is assigned for the occurrence of each activity.

Materials and Methods: This research was conducted in the Dehkhoda Sugarcane Agro-industry Company in the crop year of 2023-2024. Dehkhoda Sugarcane Agro-industry Company has 42 MF 399 double differential tractors. In this research, in order to schedule annual repairs, statistics and data related to the repairs of 22 MF 399 tractors were collected and the data of other machines were used to compare the actual repair time with the calculated schedule. The 13 repair items of MF 399 tractors used in the company include: engine, clutch, gearbox, differential and rear axle, brake, rear hub, body, front axle, hydraulics, electricity and battery, wheels, service and greasing. The work breakdown structure diagram and network model of annual MF 399 tractor repairs were drawn. To extract the time distribution density function of each activity, first the available information was collected for each activity, then the time distribution density function was determined for each activity. The time to perform the activities is fuzzy and they are expressed by triangular fuzzy numbers. In this research, after scheduling, the results obtained from GERT method were compared with the actual time spent to perform annual MF 399 tractor repairs and the appropriateness of the estimates was determined. For this purpose, in order to determine the actual time of annual MF 399 tractor repairs, among the tractors available in the mechanical equipment department of the

© 2024 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

company, a sample was randomly selected and the actual duration of repairs was determined. Then the actual time to complete the operation was compared with the expected time.
Results and Discussion: The time to complete the annual repairs of MF 399 tractors was estimated to be 225.93 hours using the classic GERT method. But in GERT fuzzy method, the time calculated for annual MF 399 tractor repairs was 295.30, 232.07, 168.73 hours. The actual duration of annual repairs for 20 tractors (out of a total of 42 tractors) in Dehkhoda Sugarcane Agro-industry Company, which were repaired during the 2023-2024 crop year, according to the information available in the technical office of the company's mechanical equipment, was determined. 29.12% of the real times for completing MF 399 tractor repairs were estimated outside the fuzzy time. Therefore, the manager of the repair unit can reduce the cost of time loss and manage the time to complete the operation in the optimal time frame by using correct planning and reducing the reasons for the delay in the operation.
Conclusions: Therefore, GERT Fuzzy's method provides the possibility to the manager of the repair unit to set the completion time in the estimated range appropriately, taking into account 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 to minimize when the work is not done. It also provides the possibility to create cuts at different times and control the operation process and modify it if needed. In the real world, due to existing uncertainties, there is not enough confidence in the duration of the annual maintenance of tractors, but nevertheless, the results obtained from GERT method in this research are close to the actual time of completion of operations and make the estimates more appropriate.

Keywords: GERT network, Repairs, Timing, Tractor.

مقاله پژوهشی

ارائه مدل زمان‌بندی تعمیرات سالانه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ با استفاده از روش گرت، مطالعه موردی: شرکت کشت و صنعت نیشکر دهخدا

مهدی عنافچه[۱] و نسیم منجزی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۴

پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۸/۱۸

کلمات کلیدی:

تراکتور،

تعمیرات،

زمان‌بندی ،

شبکه گرت

* عهده دار مکاتبات

Email: n.monjezi@scu.ac.ir

چکیده

تعمیرات سالانه ماشین‌های کشاورزی در افزایش قابلیت اطمینان نقش مؤثری دارند. در این تحقیق به منظور زمان‌بندی تعمیرات سالانه تراکتورهای مورد استفاده در عملیات کشاورزی، از روش گرافیکی ارزیابی و بازنگری (گرت) بهره گرفته شد. داده‌های این پژوهش با استفاده از مصاحبه و نظرخواهی از کارشناسان و متخصصان واحدهای تعمیراتی و دفاتر فنی تجهیزات مکانیکی مستقر در کشت و صنعت نیشکر دهخدا، بازدید از واحد نگهداری و تعمیر و مراجعه به گزارش‌های سرویس و تعمیر تراکتورها و انجام تحقیقات میدانی و زمان‌سنجی از عملیات تعمیراتی تراکتورها جمع‌آوری گردید. همچنین به منظور بررسی بهینه بودن زمان انجام تعمیرات سالانه تراکتورها، مدت زمان واقعی انجام تعمیرات سالانه برای ۲۰ دستگاه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ (از مجموع ٤٢ دستگاه تراکتور) در شرکت کشت و صنعت دهخدا که در طی سال زراعی ١٤٠٢-١٤٠٣ تعمیرات بر روی آن‌ها انجام شده است، با توجه به اطلاعات موجود در دفتر فنی تجهیزات مکانیکی شرکت، تعیین گردید. نتایج نشان داد که زمان اتمام تعمیرات سالانه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ با استفاده از روش گرت کلاسیک ۲۲۵/۹۳ ساعت تخمین زده شد. اما در روش گرت فازی زمان محاسبه شده برای تعمیرات سالانه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ (۲۹۵/۳۰، ۲۳۲/۰۷، ۱٦٨/٧٣) ساعت بدست آمد. همچنین، نتایج نشان داد که ۲۹/۱۲ درصد از زمان‌های واقعی تکمیل تعمیرات تراکتور، خارج از زمان فازی برآورد شده می‌باشد.

مقدمه

افزایش اثربخشی، کارآئی و قابلیت اطمینان ماشین‌ها، یک ضرورت اقتصادی می‌باشد (۱۷). از آنجایی که حجم سرمایه‌گذاری در کشت و صنعت‌های نیشکر در زمینه ماشین‌های کشاورزی، قابل ملاحظه است؛ مدیریت مناسب نظام‌های نگهداری و تعمیرات (نت) لازم است و برای استفاده بهینه و افزایش عمر مفید ماشین‌ها، نیاز به یک تشکیلات منسجم و پایدار که متولی "نت" علمی باشد، اجتناب ناپذیر

است (۲۷). مکانیزاسیون کشاورزی در شاخه مدیریت ماشین‌ها وظیفه ارائه راهکارهایی برای بهبود نحوه‌ی کارکرد و استفاده صحیح از ماشین‌ها را بر عهده دارد. امروزه با مکانیزه شدن سیستم‌های کشاورزی، انجام به موقع فعالیت‌ها نیازمند برنامه‌ریزی صحیح ماشینی است. برای برنامه‌ریزی صحیح باید از میزان قابلیت اطمینان ماشین‌ها اطلاع داشت (۱۳). هر گونه برنامه زمان‌بندی شده جهت افزایش قابلیت اطمینان ماشین‌ها می‌تواند در کاهش اتلاف زمان ناشی از تعمیرات مؤثر باشد و سبب اتمام به موقع تعمیرات شود (۲۹). تعمیرات به هنگام ماشین‌های کشاورزی در کشت و صنعت‌های نیشکری، سبب افزایش راندمان کاری و سوددهی تولید می‌گردند. زیرا همه ساله ممکن است بخش عمده‌ای از محصول به علت عدم انجام عملیات در زمان مناسب عملاً از چرخه تولید حذف گردد و باعث تحمیل هزینه‌های اضافی و ضرر و زیان به کشت و صنعت‌های نیشکر گردد (۲۳). بنابراین در این تحقیق با توجه به ماهیت پروژه تعمیرات سالانه تراکتورهای مورد استفاده در عملیات کشاورزی که در آن فعالیت‌ها و زمان انجام آن‌ها احتمالی می‌باشند، از روش گرافیکی ارزیابی و بازنگری[1] (گرت) بهره گرفته شد. روش‌های برنامه‌ریزی و زمان‌بندی به دو دسته کلی، روش‌های قطعی و احتمالی تقسیم می‌شوند. روش گرت یکی از روش‌های احتمالی برنامه‌ریزی شبکه‌ای است. در روش گرت، وقوع فعالیت ها احتمالی در نظر گرفته می شود و برای وقوع هر فعالیت، درصد احتمالی اختصاص می‌یابد. طرح‌ریزی الگوی کشت منتخب دشت مغان (۱۰)، زمان‌بندی احداث ۳۰۰ هکتار باغ انگور در مرکز تحقیقات دانشگاه زابل (۱۱)، مدل‌سازی و تخصیص منابع در پروژه‌های مکانیزاسیون کشاورزی دشت تبریز (۱، ۲،۳)، زمان‌بندی پروژه‌های مکانیزاسیون محصولات استراتژیک زراعی استان البرز (۳۱)، مدیریت پروژه ساخت یک واحد کارخانه ذرت خشک‌کنی (۹)، تحلیل و ارزیابی پروژه ساخت گلخانه مکانیزه (۸، ۱۹، ۲۰)، برنامه‌ریزی شبکه‌ای نهالستان (۱۵)، زمانبندی عملیات تهیه زمین و کاشت نیشکر (۲۱)، زمانبندی عملیات برداشت و بازرویی نیشکر (۲۲، ۲۴) نمونه‌هایی از کاربردهای مدیریت پروژه در بخش کشاورزی می‌باشند. افشارنیا و همکاران[2] (۲۰۲۰) به بهینه‌سازی تعمیر و نگهداری ماشین برداشت نیشکر بر اساس قابلیت اطمینان شبکه بیزین[3] پرداختند. الگوریتم خروجی به منظور پیش‌بینی قابلیت اطمینان ماشین برداشت نیشکر و تخمین زمان از کار افتادن دستگاه استفاده شد. هوشیار و محمودی اشکفتی (۲۰۱۷) در 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 نیوهلند 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 شیفت کاری پیشنهاد شد. در پژوهشی افشارنیا (۲۰۱۹) به پیش‌بینی دقیق میزان خرابی تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ برای دو استراتژی نگهداری اصلاحی و پیشگیرانه در استان خوزستان پرداخت. برای این منظور، الگوهای رگرسیون ARIMA[4] و نمایی، برآورد و بهترین الگو انتخاب شد. بر اساس نتایج حاصل از محاسبه معیار کمترین خطای پیش‌بینی، برای پیش‌بینی سری‌های استراتژی نگهداری اصلاحی و پیش‌گیرانه الگوی ARIMA به عنوان روش برتر در مقایسه با سایر روش‌ها شناخته شد. فریا و سیلوا[5] (۲۰۱۵) 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. در پژوهشی دیگر، منجزی و همکاران[6] (۲۰۱۶c) شبکه گرت را به عنوان ابزاری توانمند در برنامه‌ریزی و زمان‌بندی عملیات تولید نیشکر در استان خوزستان به کار

1- Graphical Evaluation and Review Technique (GERT)

2- Afsharnia *et al.*
3- Bayesian network (BN)
4- Autoregressive Integrated Moving Average
5- Faria and Silva
6- Monjezi *et al.*

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. رامس و همکاران[1] (۲۰۱۸) به تجزیه و تحلیل خرابی ماشین برداشت نیشکر و تعمیر و نگهداری آن مبتنی بر قابلیت اطمینان پرداختند. نتایج این الگوریتم نشان داد که یک تعمیر پیش‌بینی شده باید نهایتاً در ۳ روز کاری انجام شود. پوزش و همکاران (۲۰۱۸) نیز در کشت و صنعت دعبل خزاعی خوزستان هزینه بموقع انجام نشدن عملیات برای تراکتورهای فعال به ازای یک روز تاخیر را ۱۳۷۷۶۳۵ تومان در هر هکتار محاسبه نمودند (۲۸). نامسونگ و همکاران[2] (۲۰۲۳) یک مدل برآورد هزینه تعمیر و نگهداری مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی را برای ماشین‌های کشاورزی پیشنهاد دادند. نتایج نشان داد که درصد خطا بین مدل‌های معمولی تخمین و مدل مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی کمتر از یک درصد است که نشان‌دهنده دقت پیش‌بینی بالای مدل پیشنهادی است.

در کشت و صنعت نیشکر دهخدا هرساله در فصل تابستان که حجم عملیات کشاورزی کم است، تعمیرات سالانه ماشین‌های کشاورزی انجام می‌شود و از آنجایی که تعداد ماشین‌ها بالاست و حجم عملیات تعمیرات سنگین است و برای آماده سازی ماشین‌ها محدودیت زمانی وجود دارد، بنابراین هر گونه مدیریتی در زمینه زمان انجام کار و کاهش لنگی‌های حین کار می‌تواند در پیشبرد اهداف شرکت کارساز و موثر باشد و از آنجایی که تاکنون برنامه علمی برای زمانبندی تعمیرات در کشت و صنعت نیشکر دهخدا طراحی نشده است و عملیات تعمیرات سالانه بر اساس تجربه، شروع و خاتمه می‌باید، بنابراین ارائه یک الگوریتم زمانی، لازم و ضروی به نظر می‌رسد. به همین دلیل، در این مطالعه، برای اولین بار به منظور پایش دقیق فرآیند تعمیرات و طرح‌ریزی و زمان‌بندی عملیات تعمیرات سالانه تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹، فنون شبکه‌ای گرت در شرکت کشت و صنعت نیشکر دهخدا به کار گرفته شد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌ها

این پژوهش در شرکت کشت وصنعت نیشکر دهخدا در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ انجام شد. برای جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعاتی که در این پژوهش به کار گرفته شد، از مصاحبه و نظرخواهی از کارشناسان و متخصصان واحدهای تعمیراتی و دفاتر فنی تجهیزات مکانیکی مستقر در کشت و صنعت، بازدید از واحد نگهداری و تعمیر ماشین و مراجعه به گزارش‌های سرویس و تعمیر تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹ و انجام تحقیقات میدانی و زمان‌سنجی از عملیات تعمیراتی تراکتورها استفاده شد. شرکت کشت و صنعت نیشکر دهخدا دارای ۴۲ دستگاه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ دو دیفرانسیل است. در این پژوهش به منظور زمان‌بندی تعمیرات سالیانه، آمار و داده‌های مربوط به تعمیرات ۲۲ دستگاه تراکتور جمع‌آوری شد و از داده‌های سایر دستگاه‌ها به منظور مقایسه زمان واقعی تعمیرات با برنامه زمانی محاسبه شده، استفاده گردید.

اطلاعات فرآیند تعمیرات سالانه تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹

هر ماشین کشاورزی نیاز به یکسری بازدید و تعمیرات در طی دوران کاری و غیر کاری دارد. موارد تعمیراتی ۱۳گانه تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹ مورد استفاده در شرکت شامل: موتور، کلاچ، جعبه دنده، دیفرانسیل و اکسل عقب، ترمز، توپی عقب، بدنه، اکسل جلو، هیدرولیک، برق و باطری، چرخ‌ها، سرویس و گریس‌خوری می‌باشد. اطلاعات فرآیند تعمیرات سالانه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ در جدول ۱ آمده است.

تهیه نمودار ساختار شکست کار و مدل شبکه گرت

بر اساس اطلاعات جدول ۱، نمودار ساختار شکست کار (شکل ۱) و مدل شبکه گرت تعمیرات سالانه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ (شکل ۲) ترسیم شد.

الگوریتم محاسبات زمانی شبکه گرت کلاسیک

برای استخراج تابع چگالی توزیع زمان هر کدام از فعالیت‌ها، ابتدا اطلاعات موجود برای هر یک از فعالیت‌ها

1- Ramos *et al.*
2- Numsong *et al.*

جمع‌آوری شد، سپس تابع چگالی توزیع زمان برای تک تک فعالیت‌ها مشخص گردید. از آنجایی که اکثر فعالیت‌ها دارای توزیع دو جمله‌ای[1] می‌باشند، از توزیع نرمال برای محاسبه توابع مولد گشتاور فعالیت‌ها استفاده شد. تابع مولد گشتاور توزیع نرمال به صورت رابطه ۱ می‌باشد. چنانچه واریانس در این رابطه صفر باشد، میانگین مفهومی نخواهد داشت و در نتیجه زمان تبدیل به مقداری ثابت خواهد شد.

$$M_{ij}(t) = \exp(\mu t + 0.5\delta^2 t^2) \quad (۱$$

$M_{ij}(t)$: تابع مولد گشتاور توزیع نرمال، δ^2: واریانس، μ: میانگین، t: زمان

برای محاسبات شبکه گرت تعمیرات سالانه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ 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. با توجه به احتمال انجام هر شاخه (P_{ij}) و تابع مولد گشتاور آن ($M_{ij}(t)$)، تابع W برای هر فعالیت به صورت $W = P_{ij}.M_{ij}(t)$ محاسبه گردید. سپس تابع W معادل شبکه یعنی $W_E(t)$ محاسبه شد. با استفاده از رابطه، $P_E = W_E(0)$ احتمال انجام هر گره انتهایی حساب شد و 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 بدست آورده شد و در نهایت، با استفاده از میانگین و احتمالات بدست آمده، شبکه تجزیه و تحلیل گردید (ذکی دیزجی و منجزی، ۱۳۹۷).

زمان‌بندی فازی عملیات تعمیرات سالانه تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹

شبکه‌های گرت فازی همان شبکه‌های گرت احتمالی هستند که پارامترهای فازی جایگزین پارامترهای احتمالی شده‌اند و از سه جزء گره‌های منطقی، شاخه‌های فازی و حلقه‌ها تشکیل می‌شوند. در این الگوریتم، حلقه‌های شبکه، ارزیابی شدند و برای هر حلقه متوسط ارزش زمانی حلقه، محاسبه گردید. زمان آزاد شدن گره شروع، مساوی صفر قرار داده شد. گره‌ها به ترتیب از گره ابتدا تا گره انتها با محاسبه متوسط زمان آزاد شدن گره، ارزیابی شد. با تکمیل ارزیابی گره انتهایی، زمان تکمیل تعمیرات سالانه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ بدست آمد و شبکه زمان‌بندی گردید.

فرضیات مدل

۱- زمان انجام فعالیت‌ها فازی است و با اعداد فازی مثلثی بیان می‌شوند (رابطه ۲).

۲- تعداد تکرار حلقه‌ها فازی است و با اعداد فازی مثلثی بیان می‌شوند.

۳- درجات عضویت فعالیت‌ها و حلقه‌های شبکه عددی است بین صفر و یک.

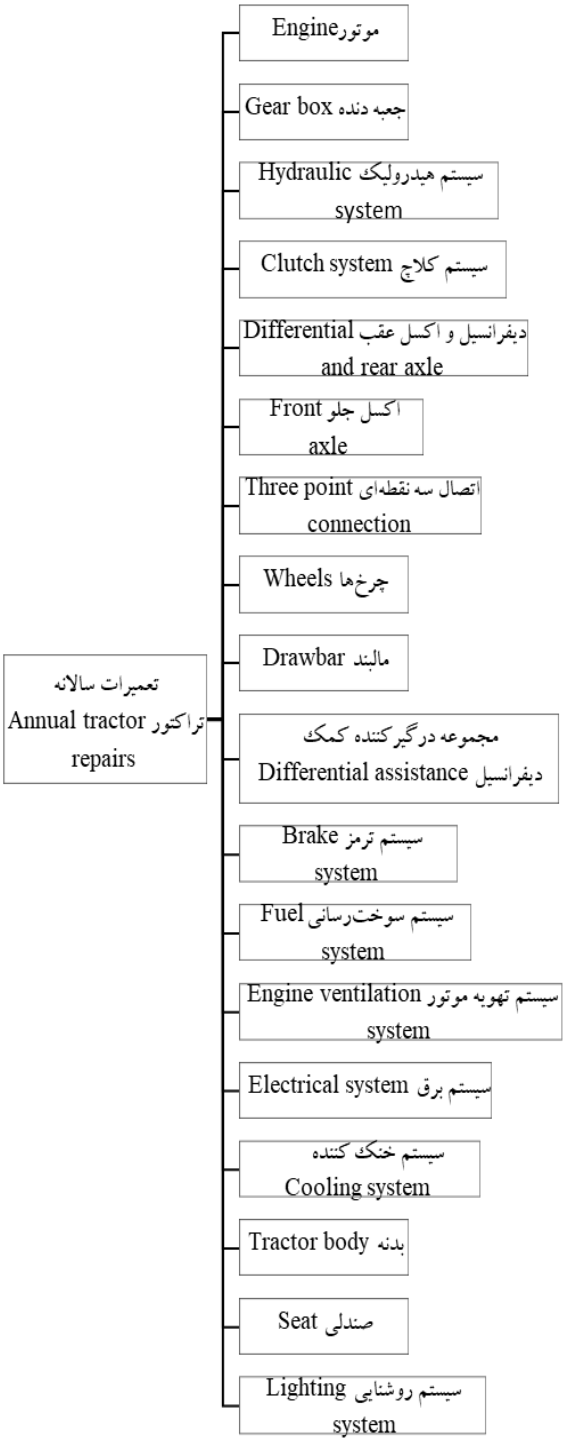
۴- امکان وقوع حلقه برای تکرارهای مختلف یکسان فرض می‌شود.

۵- در محاسبات کلیه روابط در روش ارئه شده، از عملیات جمع و ضرب و بیشینه و کمینه فازی اعداد فازی مثلثی استفاده شد.

ارزیابی مدل

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 سالانه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ مقایسه و تناسب برآوردها، مشخص گردید. بدین منظور برای تعیین زمان واقعی انجام تعمیرات سالانه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ از بین تراکتورهای موجود در بخش تجهیزات مکانیکی شرکت کشت و صنعت دهخدا، در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳، 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.

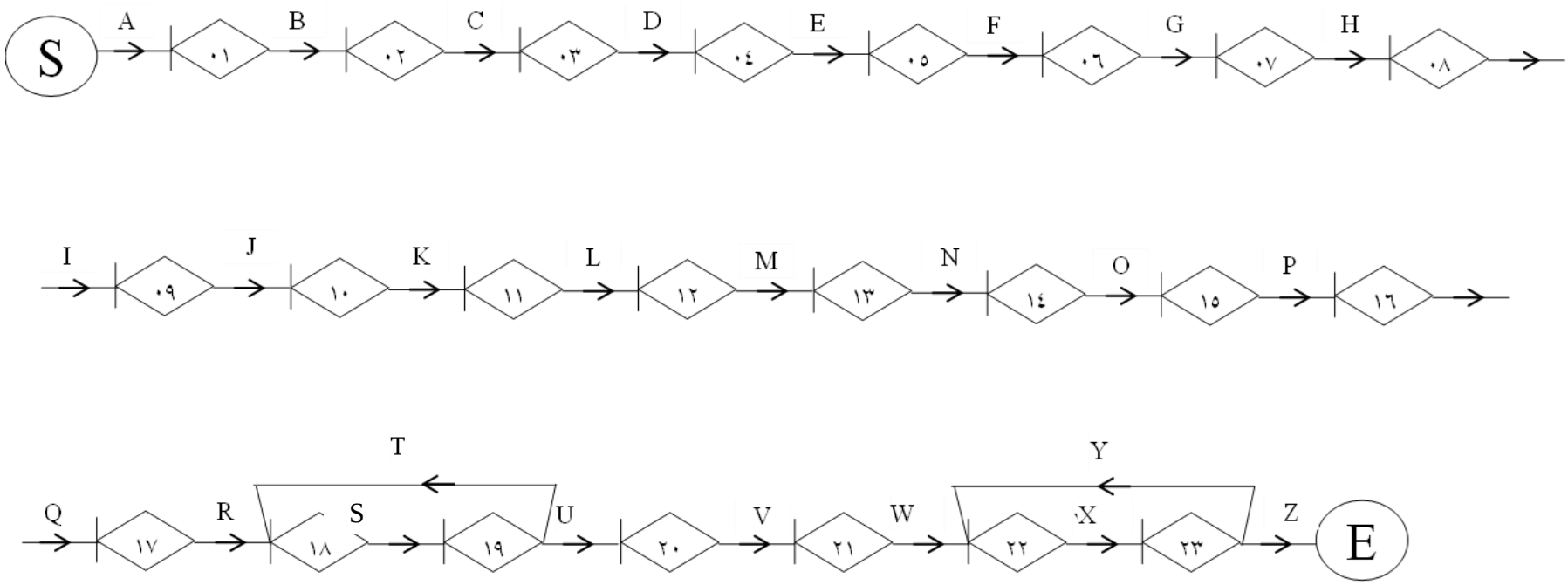
1- Binomial distribution



شکل(۱) ساختار شکست کار تعمیرات سالانه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹

Figure (1) Breakdown structure of annual MF 399 tractor repairs

$$\tilde{A} = \text{(بیشترین مدت زمان انجام فعالیت و محتمل‌ترین مدت زمان انجام فعالیت و کمترین مدت زمان انجام فعالیت)} \quad ۲$$



شکل (۲) شبکه گرت تعمیرات سالانه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹

Figure (2) GERT network of annual MF 399 tractor repairs

نتایج و بحث

شبکه گرت تعمیرات تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹ (شکل ۲)، با توجه به ماهیت احتمالی فعالیت‌های تشکیل دهنده آن از گره‌های یای خاص تشکیل شده است. با در دست داشتن اطلاعات فرآیند تعمیرات تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹ و قوانین و الگوریتم‌های حاکم بر آن در مورد گره‌های یای خاص، شبکه گرت کلاسیک و فازی تعمیرات سالانه تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹، تجزیه و تحلیل شد.

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل شبکه گرت کلاسیک تعمیرات سالانه تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹

جدول(۱، اطلاعات برخی از پارامترها و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل شبکه‌های گرت تعمیرات سالانه تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹ را نشان می‌دهد. با توجه به ماهیت داده‌های جمع آوری شده، تابع چگالی توزیع زمان برای تک تک فعالیت‌ها، تابع ثابت با واریانس صفر است.

احتمال و میانگین زمان اتمام تعمیرات سالانه تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹

برای به دست آوردن احتمال و میانگین زمان اتمام تعمیرات سالانه تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹، مطابق با الگوریتم محاسبات زمانی، عمل شد. نتایج در جدول ۱، ارائه شده است. همچنین، ارزش هر شاخه‌ای که در مسیر رسیدن به هدف قرار دارد، مشخص گردید. شبکه تا جای ممکن ساده شد و ارزش شاخه‌های معادل محاسبه شد. ارزش شاخه معادلی که گره شروع را به گره شماره ۱۸ متصل می‌نماید، به صورت رابطه ۳ حاصل شد.

(۳

$$W_{(t)_{S-18}} = W_{(t)_{oo1}} * W_{(t)_A} * W_{(t)_B} * W_{(t)_C} * W_{(t)_D} * * W_{(t)_E} * W_{(t)_F} * W_{(t)_G} * W_{(t)_H} * W_{(t)_I} * W_{(t)_J} * * W_{(t)_K} * W_{(t)_L} * W_{(t)_M} * W_{(t)_N} * W_{(t)_O} * W_{(t)_P} * W_{(t)_Q} = e^{207.05t}$$

با قرار دادن t=0 در تابع $W_{(t)_{S-18}}$ احتمال انجام یافتن شاخه معادل، مطابق رابطه ۴ به دست آمد.

(۴

$$P_{S-18} = W_{(0)_{S-18}} = e^0 = 1$$

با گرفتن مشتق اول از تابع $W_{(t)_{S-18}}$ میانگین زمان بین گره شروع تا گره شماره ۱۸، ۲۰۷/۰۵ ساعت به دست آمد و به معنی این است که در عملیات تعمیرات سالانه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹، از زمان شروع عملیات تا رسیدن به گره شماره ۱۸ (اتمام تعمیرات بدنه دستگاه)، ۲۰۷/۰۵ ساعت زمان نیاز است.

ارزش شاخه معادلی که گره شماره ۱۹ را به گره شماره ۲۲ متصل می‌نماید، به صورت رابطه ۵ حاصل شد.

(۵

$$W_{(t)_{19-22}} = W_{(t)_T} * W_{(t)_U} * W_{(t)_V} = 0.65 * e^{3.75t}$$

همچنین ارزش شاخه معادلی که گره شماره ۲۳ را به گره پایان متصل می‌نماید به صورت رابطه ۶ حاصل شد.

$$W_{(t)_{23-E}} = W_{(t)_Z} = 0.85 \quad (۶$$

ارزش حلقه‌های موجود در شبکه تعمیرات سالانه تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹

اگر ارزش حلقه مرتبه i ام حلقه شماره j ام با $W_{L_{ij}}$ نشان داده شود که در آن i نشانگر مرتبه، j نشان‌دهنده شماره، L حرف اول LOOP و W حرف اول Worth می‌باشد که به اختصار برای نشان دادن ارزش حلقه مرتبه i ام حلقه j استفاده شده است، در این صورت، ارزش حلقه‌های شبکه به صورت زیر محاسبه شد.

۱- ارزش حلقه شماره یک با مسیر ۱۹-۱۸:

۲- $W_{(t)_{L_{11}}} = \frac{e^{3.10t}}{1-0.35e^{3.10t}e^{4.38t}}$ (۷

ارزش حلقه شماره ۲ با مسیر ۲۳-۲۲:

$$W_{(t)_{L_{12}}} = \frac{e^{4.50t}}{1-0.15e^{4.50t}e^{15.37t}} \quad ۸$$

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 گره‌های شروع و پایان در شرایط مسئله، همانند رابطه ۹ بدست آورده شد.

جدول(۱) پارامترهای محاسبه شده در شبکه تعمیرات سالانه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ (گرت کلاسیک)

Table (1) Parameters of overhaul MF 399 tractor (classic GERT)

کد فعالیت Activity code	شرح فعالیت Activity description	فعالیت‌های پیش نیاز Prerequisite activities	زمان فعالیت (ساعت) Activity time (hours)	تابع مولد گشتاور $M_{ij}(t)$ Moment generating function	احتمال P_{ij} Probability	ارزش شاخه $W_{ij}(t)$ Worth of activity
START	شروع START	-	0	1	1	1
A	آماده سازی دستگاه جهت تعمیرات Tractor preparation for overhaul	START	1	Exp (1t)	1	Exp (1t)
B	موتور Engine	A	58.70	Exp (58.70t)	1	Exp (58.70t)
C	سامانه خنک‌کننده Cooling system	B	9.50	Exp (9.50t)	1	Exp (9.50t)
D	سامانه سوخت‌رسانی Fuel system	C	10.95	Exp (10.95t)	1	Exp (10.95t)
E	سامانه تهویه موتور Engine ventilation system	D	8.85	Exp (8.85t)	1	Exp (8.85t)
F	سامانه برق Electrical system	E	13.20	Exp (13.20t)	1	Exp (13.20t)
G	سامانه روشنایی Lighting system	F	5.75	Exp (5.75t)	1	Exp (5.75t)
H	سامانه کلاچ Clutch system	G	12.10	Exp (12.10t)	1	Exp (12.10t)
I	جعبه دنده Gear box	H	4.79	Exp (4.79t)	1	Exp (4.79t)
J	دیفرانسیل و اکسل عقب Differential and rear axle	I	11.50	Exp (11.50t)	1	Exp (11.50t)
K	مجموعه در گیر کننده کمک دیفرانسیل Differential assistance	J	2.86	Exp (2.86t)	1	Exp (2.86t)
L	سامانه هیدرولیک Hydraulic system	K	15.15	Exp (15.15t)	1	Exp (15.15t)
M	اکسل جلو Front axle	L	13.25	Exp (13.25t)	1	Exp (13.25t)
N	اتصال سه نقطه‌ای دستگاه Three point connection	M	2.80	Exp (2.80t)	1	Exp (2.80t)

کد فعالیت Activity code	شرح فعالیت Activity description	فعالیت‌های پیش نیاز Prerequisite activities	زمان فعالیت (ساعت) Activity time (hours)	تابع مولد گشتاور $M_{ij}(t)$ Moment generating function	احتمال P_{ij} Probability	ارزش شاخه $W_{ij}(t)$ Worth of activity
O	مالبندDrawbar	N	5.67	Exp (5.67t)	1	Exp (5.67t)
P	چرخ‌هاWheels	O	8.30	Exp (8.30t)	1	Exp (8.30t)
Q	سامانه ترمز Brake system	P	5.23	Exp (5.23t)	1	Exp (5.23t)
R	بدنه دستگاهTractor body	Q	17.45	Exp (17.45t)	1	Exp (17.45t)
S	صندلیSeat	R	3.10	Exp (3.10t)	1	Exp (3.10t)
T	نیاز به بازرسی مجدد و تعمیرات The need to re-inspection and repairs	S	4.38	Exp (4.38t)	0.35	۰/۳۵× Exp (4.38t)
U	عدم نیاز به تعمیرات مجدد No need to re-repairs	S	0	1	0.65	0.65
V	شستشوی کاملWashing	U	2.50	Exp (2.50t)	1	Exp (2.50t)
W	گریسکاریLubrication	V	1.25	Exp (1.25t)	1	Exp (1.25t)
X	تست و بازدیدهای نهایی Testing and final visit	W	4.50	Exp (4.50t)	1	Exp (4.50t)
Y	نیاز به بازرسی مجدد و تعمیرات The need to re-inspection and repairs	X	15.37	Exp (15.37t)	0.15	0.15×Exp (15.37t)
Z	عدم نیاز به تعمیرات مجدد No need to re-repairs	X	0	1	0.85	0.85
END	پایانEND	Z	0	1	1	1

$$W_{(t)_{S-E}}=W_{(t)_{S-18}} * W_{(t)_{19-22}} * W_{(t)_{23-E}} * W_{(t)_{L_{11}}} * W_{(t)_{L_{12}}} = 0.85 * 0.65 * \frac{e^{218.40t}}{(1-0.35e^{7.48t})(1-0.15e^{19.87t})} \quad ۹$$

با قرار دادن t=0 در تابع $W_{(t)_{S-E}}$ احتمال رسیدن به گره پایان از گره شروع، در شرایط خواسته شده مسئله برابر یک یعنی صد در صد نتیجه شد.

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

$$M_{(t)_{S-E}} = 0.5525 * \frac{e^{218.40t}}{(1-0.35e^{7.48t})(1-0.15e^{19.87t})} \quad ۱۰$$

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 بصورت زیر بدست آورده شد.

$$\mu(t) = \frac{0.5525*218.40*e^{218.40t}*(1-.015e^{19.87t}-0.35e^{7.48t}+0.0525e^{27.35t})-(-0.15*19.87e^{19.87t}-0.35*7.48*e^{7.48t}+0.0525*27.35e^{27.35t})*0.55}{(1-0.15e^{19.87t}-0.35e^{7.48t}+0.0525e^{27.35t})^2}$$

$$\mu(0) = 225.93 = \mu$$

بدین ترتیب زمان اتمام تعمیرات سالانه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ با استفاده از روش گرت کلاسیک ۲۲۵/۹۳ ساعت تخمین زده 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. در تحقیقی مشابه، ذکی دیزجی و منجزی (۲۰۱۸) از شبکه گرت کلاسیک در زمانبندی تعمیرات اساسی دروگر نیشکر استفاده کردند. زمان اتمام تعمیرات اساسی دروگر نیشکر در این روش ۱۱۶۴/۶۴ ساعت تخمین زده شد. کلهو همکاران[1] (۲۰۲۴) در تحقیقی با بررسی استراتژی‌های تعمیر و نگهداری و جایگزینی تراکتور در کارخانه قند Wonji Shoa در کشور اتیوپی به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان ساعات تعمیر و نگهداری تراکتور مسی فرگوسن ۱۵۰، پس از سال هشتم باید اقدام به جایگزینی تراکتورها نمود.

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل شبکه گرت فازی تعمیرات سالانه تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹

متغیرهای ورودی شبکه گرت فازی تعمیرات سالانه تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹ شامل، زمان فعالیت‌ها، تعداد تکرار فعالیت‌ها و امکان وقوع یا درجه عضویت آن‌ها در جدول ۲ ارائه گردید. حل شبکه گرت فازی تعمیرات سالانه تراکتورها شامل ارزیابی حلقه‌های شبکه و ارزیابی گره‌ها می‌باشد. نتایج حاصل از محاسبات در جدول‌های ۳ و ۴ آمده است. خروجی‌های این روش شامل زمان تکمیل عملیات و زمان‌بندی سایر گره‌های موجود در شبکه می‌باشد که با انجام محاسبات ارزیابی گره و گره انتهایی بدست آمد. زمان تکمیل عملیات عددی است فازی که با توجه به اینکه پارامترهای 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 استرس‌ها و تنش‌ها در جلسات کنترل عملیات تعمیرات خواهد شد. همچنین، زمان فازی تکمیل تعمیرات تراکتور برابر

$$\widetilde{T}_{project} = M\widetilde{T}_E = (168.73, 232.07, 295.30)$$

(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 ۳). α را می‌توان به عنوان سطح ریسک در نظر گرفت و تصمیم گیرنده می‌تواند در سطوح ریسک مختلف فاصله زمانی تکمیل عملیات را محاسبه و تحلیل نماید.

1- Kolhe *et al.*

جدول(۲) متغیرهای ورودی شبکه گرت فازی تعمیرات تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹

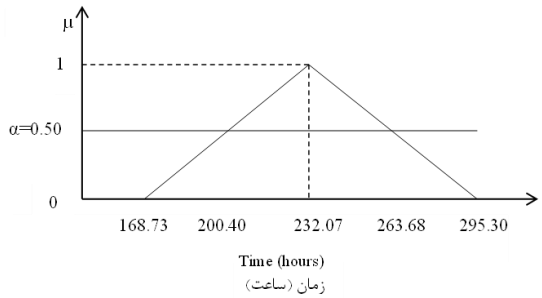
Table 2- Input variables of the fuzzy network of MF 399 tractor repairs

کد فعالیت Activity code	زمان فعالیت (ساعت) Activity time (hours)	تعداد تکرار The number of repetitions	امکان وقوع فعالیت یا درجه عضویت فعالیت The activity degree of membership
START	(0,0,0)	1	1
A	(0.5,1,1.5)	1	1
B	(41.18,58.70,75.92)	1	1
C	(12.35,9.5,6.71)	1	1
D	(7.69, 10.95, 14.25)	1	1
E	(6.13,8.85,11.53)	1	1
F	(9.22,13.20,17.25)	1	1
G	(4.06,5.75,7.55)	1	1
H	(8.55,12.10,15.59)	1	1
I	(3.40,4.79,6.24)	1	1
J	(8.11,11.50,14.90)	1	1
K	(2.01,2.86,3.74)	1	1
L	(10.77,15.15,19.56)	1	1
M	(9.33,13.25,17.30)	1	1
N	(1.99,2.80,3.63)	1	1
O	(4.01,5.67,7.40)	1	1
P	(5.73,8.30,10.86)	1	1
Q	(3.65,5.23,6.79)	1	1
R	(12.27,17.45,22.67)	1	1
S	(2.20,3.10,4.05)	1	1
T	(3.12,4.38,5.69)	1	0.35
U	(0,0,0)	1	0.65
V	(1.76,2.50,3.22)	1	1
W	(0.87,1.25,1.62)	1	1
X	(3.25,4.50,5.50)	1	1
Y	(10.83,15.37,19.81)	1	0.15
Z	(0,0,0)	1	0.85
END	(0,0,0)	1	1

زمان فازی بدست آمده از روش گرت فازی برای تعمیرات تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ با α=۰/۵ عبارت است از:

$$A_{0.5} = \begin{bmatrix} (232.07 - 168.73) * 0.5 + 168.73 \,, \\ (232.07 - 295.30) * 0.5 + 295.30 \end{bmatrix} = [200.40 \,, 263.68]$$

A_α نشان دهنده فاصله زمانی است که درجات عضویت آن‌ها بیشتر از α است. حد پایین (خوش‌بینانه) و حد بالا (بدبینانه) برش α=۰/۵ برای تعمیرات تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ به ترتیب برابر ۲۰۰/۴۰ و ۲۶۳/۶۸ ساعت بدست آمد. هر چقدر α بزرگتر باشد، فاصله مورد نظر کمتر و دقت بیشتر می‌شود. بنابراین مدیر پروژه می‌تواند در سطوح ریسک مختلف فاصله زمانی تکمیل عملیات را محاسبه و تحلیل کند و بهتر است α، بزرگ در نظر گرفته شود. همچنین میانگین زمانی تعمیرات تراکتور نیز با غیرفازی کردن، برابر ۲۳۲/۰۷ ساعت بدست آمد. منجزی و ذکی دیزجی (۲۰۱۶) 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 پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده، زمان اتمام تعمیرات اساسی دروگر نیشکر به‌صورت زمان‌های خوش بینانه، محتمل و بدبینانه با استفاده از روش گرت فازی (۱۵۱۳/۶۵، ۱۰۹۷/۳۶، ۶۸۵/۶۲) نفر-ساعت بدست آمد. در تحقیقی، با بررسی اثر بلندمدت استراتژی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه بر کارایی عملیاتی و روند نرخ خرابی ماشین برداشت نیشکر در کشت و صنعت‌های نیشکری نتایج نشان داد که 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. بنابراین در صورت کاربرد استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مشابه در سامانه حمل نیشکر بخصوص تراکتورهای مورد استفاده، نیز می‌توان چنین بهبودی را انتظار داشت (۴).



شکل(۳) نمودار زمان فازی تکمیل تعمیرات تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹

Figure (3) Fuzzy time diagram for completing MF 399 tractor repairs

جدول (۳) ارزیابی حلقه‌های شبکه گرت فازی تعمیرات تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹

Table (3) Evaluation of fuzzy GERT network loops of MF 399 tractor repairs

ارزش متوسط حلقه Average loop value		ارزش کل حلقه با حلقه‌های داخلی Total loop value with inner loops		ارزش کل حلقه بدون حلقه‌های داخلی Total loop value without inner loops		ارزش واحد حلقه Loop unit value $\tilde{t}_{L_{ni}}$	حلقه‌های داخلی Inner loops $L_{L_{ni}}$	فعالیت‌های حلقه Loop activities $X_{L_{ni}}$	کد حلقه Loop code L_{n-h}
$\mu_{m\tilde{t}_{L_{ni}}}$	$m\tilde{t}_{L_{ni}}$	$\tilde{\mu}_{L'_{ni}}$	$\tilde{t}_{L'_{ni}}$	$\mu_{L_{ni}}$	$\tilde{t}_{L_{ni}}$				
0.50	(5.32,7.48,9.74)	-	-	0.50	(5.32,7.48,9.74)	(5.32,7.48,9.74)	-	S و T	1
0.50	(14.08,19.87,25.31)	-	-	0.50	(14.08,19.87,25.31)	(14.08,19.87,25.31)	-	X و Y	2

جدول(Error! No text of specified style in document.) **محاسبات گره‌های شبکه گرت فازی تعمیرات تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹**

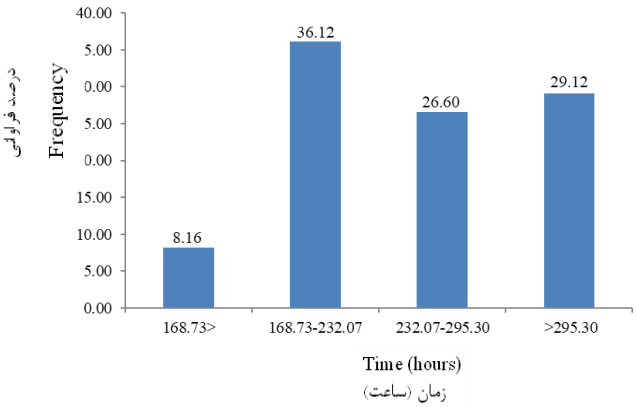
Table (4) Calculations of the nodes of the fuzzy network of MF 399 tractor repairs

زمان متوسط آزاد شدن گره Average node release time		حلقه‌های خروجی از گره Output loops from the node		زمان ابتدایی آزاد شدن گره Initial node release time $S\tilde{T}_i$	ختم فعالیت‌های ورودی گره Termination of node input activities		فعالیت‌های ورودی گره Node input activities	کد گره node code
$\mu_{M\tilde{T}_i}$	$M\tilde{T}_i$	$\mu_{m\tilde{t}_{L_{ni}}}$	کد حلقه Loop code L_{n-h}		$\tilde{\mu}_{f_{t_{i-j}}}$	$f_{t_{i-j}}$		
1	(0,0,0)	-	-	(0,0,0)	-	-	-	START
1	(0.50,1,1.50)	-	-	(0.50,1,1.50)	1	(0.50,1,1.50)	A	01
1	(41.68,59.70,77.42)	-	-	(41.68,59.70,77.42)	1	(41.68,59.70,77.42)	B	02
1	(54.03,69.20,84.13)	-	-	(54.03,69.20,84.13)	1	(54.03,69.20,84.13)	C	03
1	(61.72,80.15,98.38)	-	-	(61.72,80.15,98.38)	1	(61.72,80.15,98.38)	D	04
1	(67.85,89.00,109.91)	-	-	(67.85,89.00,109.91)	1	(67.85,89.00,109.91)	E	05
1	(77.07,102.20,127.16)	-	-	(77.07,102.20,127.16)	1	(77.07,102.20,127.16)	F	06

زمان متوسط آزاد شدن گره Average node release time		حلقه‌های خروجی از گره Output loops from the node		زمان ابتدایی آزاد شدن گره Initial node release time	ختم فعالیت‌های ورودی گره Termination of node input activities		فعالیت‌های ورودی گره Node input activities	کد گره node code
$\mu_{M\widetilde{T}_i}$	$M\widetilde{T}_i$	$\mu_{m\widetilde{t}_{L_{ni}}}$	کد حلقه Loop code L_{n-h}	$S\widetilde{T}_i$	$\widetilde{\mu}_{f_{t_{i-j}}}$	$f_{\widetilde{t}_{i-j}}$		
1	(81.13,107.95,134.71)	-	-	(81.13,107.95,134.71)	1	(81.13,107.95,134.71)	G	07
1	(89.68,120.05,150.30)	-	-	(89.68,120.05,150.30)	1	(89.68,120.05,150.30)	H	08
1	(93.08,124.84,156.54)	-	-	(93.08,124.84,156.54)	1	(93.08,124.84,156.54)	I	09
1	(101.19,136.34,171.44)	-	-	(101.19,136.34,171.44)	1	(101.19,136.34,171.44)	J	10
1	(103.20,139.20,175.18)	-	-	(103.20,139.20,175.18)	1	(103.20,139.20,175.18)	K	11
1	(113.97,154.35,194.74)	-	-	(113.97,154.35,194.74)	1	(113.97,154.35,194.74)	L	12
1	(123.30,167.6,212.04)	-	-	(123.30,167.6,212.04)	1	(123.30,167.6,212.04)	M	13
1	(125.29,170.40,215.67)	-	-	(125.29,170.40,215.67)	1	(125.29,170.40,215.67)	N	14
1	(129.30,176.07,223.07)	-	-	(129.30,176.07,223.07)	1	(129.30,176.07,223.07)	O	15
1	(135.03,184.37,233.93)	-	-	(135.03,184.37,233.93)	1	(135.03,184.37,233.93)	P	16
1	(138.68,189.60,240.72)	-	-	(138.68,189.60,240.72)	1	(138.68,189.60,240.72)	Q	17
1	(150.95,207.05,263.39)	-	-	(150.95,207.05,263.39)	1	(150.95,207.05,263.39)	R	18
1	(155.81,213.89,272.31)	0.50	1	(153.15,210.15,267.44)	1	(153.15,210.15,267.44)	S	19
0.50	(155.81,213.89,272.31)	-	-	(155.81,213.89,272.31)	0.50	(155.81,213.89,272.31)	U	20
0.50	(157.57,216.39,275.53)	-	-	(157.57,216.39,275.53)	0.50	(157.57,216.39,275.53)	V	21
0.50	(158.44,217.64,277.15)	-	-	(158.44,217.64,277.15)	0.50	(158.44,217.64,277.15)	W	22
0.50	(168.73,232.07,295.30)	0.50	2	(161.69,222.14,282.65)	0.50	(161.69,222.14,282.65)	X	23
0.50	(168.73,232.07,295.30)	-	-	(168.73,232.07,295.30)	0.50	(168.73,232.07,295.30)	Z	END

مقایسه زمان واقعی فرآیند تعمیرات سالانه تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹ با نتایج حاصل از روش گرت فازی

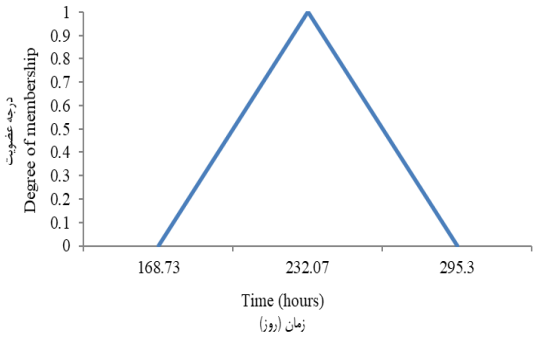
در دنیای واقعی اغلب به دلیل عدم قطعیت‌های موجود، اطمینان کافی به مدت زمان اتمام تعمیرات سالانه تراکتورها وجود نداشته ولی با این حال نتایج کسب شده از روش گرت در این تحقیق نزدیک به زمان واقعی اتمام عملیات می‌باشد و برآوردها را متناسب‌تر می‌نماید. مدت زمان واقعی انجام تعمیرات سالانه برای ۲۰ دستگاه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ (از مجموع ۴۲ دستگاه تراکتور) 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 ۴، نمایش درصد فراوانی مدت زمان تعمیرات سالانه تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹ در بازه‌های زمانی مشخص است. همان‌طور که در نمودار مشخص است، ۲۹/۱۲ درصد از زمان‌های واقعی تکمیل تعمیرات تراکتور، خارج از زمان فازی برآورد شده در شکل ۵ می‌باشد. از عوامل تاثیرگذار بر ایجاد تاخیر در تعمیرات سالانه تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹ در شرکت کشت و صنعت دهخدا می‌توان به لنگی حین کار به دلیل عدم وجود قطعه یدکی، عدم کافی بودن تکنولوژی و تجهیزات لازم جهت تعمیر و در نتیجه نیاز به ارسال قطعه معیوب به خارج از شرکت جهت تعمیر، عدم کیفیت بالای تعمیرات به علت عدم مهارت و دقت تعمیرکار که باعث می‌شود دستگاه در مرحله بازرسی و کنترل نهایی، مجدد به تعمیرات نیاز داشته باشد و عدم حضور به موقع تعمیرکاران و مکانیک‌ها در کارگاه اشاره نمود. نتایج حاصل از پژوهشی مشابه در زمان بندی تعمیرات اساسی هواپیما نیز نشان داد که زمان‌بندی و برنامه‌ریزی صحیح عملیات می‌تواند سبب کاهش چشمگیری در زمان مورد نیاز برای تعمیرات گردد (۷). در تحقیقی مشابه که با هدف زمان‌بندی تعمیرات اساسی دروگر نیشکر با لحاظ محدودیت در دسترس نبودن ماشین ها 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 اساسی دروگرهای نیشکر، خارج از زمان فازی برآورد شده می‌باشد (۲۶). همچنین، پروکوف و همکاران[1] (۲۰۲۳) در پژوهشی در کشت و صنعت‌های کشاورزی کشور روسیه به بررسی افزایش بهره‌وری در عملیات نگهداری و تعمیر تراکتورها پرداختند. نتایج نشان داد که به منظور افزایش قابلیت اطمینان تراکتور و همچنین کاهش تعداد خرابی‌ها، برون‌سپاری عملیات تعمیرات اساسی سبب افزایش ۱۴ درصدی بهره‌وری می‌گردد و فواصل زمانی تعمیرات اساسی ۴۰ درصد بیشتر می‌شود. 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.



شکل(٤) نمودار درصد فراوانی مدت زمان تعمیرات تراکتور

Figure (4) Chart of the frequency percentage of the duration of tractor repairs

1- Prokopov *et al.*



شکل(۵) نمودار زمان فازی تعمیرات تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹

Figure (5) Fuzzy time diagram of MF399 tractor repairs

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، برای اولین بار از روش شبکه‌ای گرت به منظور زمان‌بندی بهینه اتمام عملیات تعمیرات سالانه تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹ استفاده شد. زمان اتمام تعمیرات سالانه تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹ با استفاده از روش گرت کلاسیک ۲۲۵/۹۳ ساعت تخمین زده شد. اما در روش گرت فازی زمان محاسبه شده برای تعمیرات سالانه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹، (۲۹۵/۳۰، ۲۳۲/۰۷، ۱۶۸/۷۳) ساعت بدست آمد. همچنین، ۲۹/۱۲ درصد از زمان‌های واقعی تکمیل تعمیرات تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ در مقایسه با زمان بهینه به دست آمده از روش گرت، خارج از زمان فازی برآورد شده بود که نیاز به مدیریت و برنامه‌ریزی بهتر دارد. بنابراین روش گرت فازی این امکان را در اختیار مدیر واحد تعمیرات قرار می‌دهد تا با در نظر گرفتن سایر عوامل موثر درگیر در عملیات، زمان اتمام را در بازه تخمینی به‌صورت مناسب قرار دهد، به طوری‌که 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 کنترل 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 تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹ با مدل‌های شبکه‌ای و بررسی دقیق و همه جانبه لنگی‌های حین کار و دلایل تأخیر در عملیات در فرآیند تعمیرات تراکتورهای مسی فرگوسن ۳۹۹ و ارائه راهکارهایی جهت کاهش آن پیشنهاد می‌گردد.

سپاس گزاری

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

References

1. Abdi, R., Ghasemzadeh, H. R., Abdollahpur, S., Sabzehparvar, M. and Mohammadi Nasab, A. D. 2009. Modeling and resource allocation of agricultural mechanization projects with GERT networks. Journal of Food, Agriculture & Environment, 7 (3&4): 438-441. DOI:10.5555/20093344657.

2. Abdi, R., Ghasemzadeh, H. R., Abdollahpour, S., Sabzeparvar, M. and Dabbag Mohamadi Nasab, A. 2010. Modeling and analysis of mechanization projects of wheat production by GERT networks. Elsevier, Agricultural Sciences in China, 9 (7): 1078-1083. DOI:10.1016/S1671-2927(09)60193-0.

3. Abdi, R. 2008. Planning and scheduling of agricultural mechanization projects with GERT networks (case study: Tabriz Plain). PhD thesis on agricultural mechanization. Tabriz University. (in Persian with English abstract)

4. Afsharnia, F., Marzban, A. 2019. 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. DOI:10.22067/jam.v10i2.70962 (in Persian with English abstract)

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

6. Afsharnia, F. 2019. Choosing the right model for predicting the damage rate of the Massey Ferguson 399 tractor in strategies different maintenance. Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery, 7 (1): 47-55.

7. Agarwal, V., R. K. Upadhyay and S. K. Upadhyay. 2012. An activity analysis of project scheduling problem: A case study. International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology 1(4): 73-80.

8. Akram, M. and Habib, A. 2024. A novel Pythagorean fuzzy PERT approach to measure criticality with multi-criteria in project management problems. Granular Computing, 9: 36. DOI:10.1007/s41066-024-00461-x.

9. Chizari, A. H. and Amir Nejad, H. 2001. Project management of a corn drying unit using CPM and PERT methods. Journal of Agricultural Economics and Development. 8 (29): 273-257. (in Persian with English abstract)

10. Dadras Alarlo, F. 2013. Planning of agricultural mechanization projects with PERT networks. MSc. thesis in agricultural mechanization. Tabriz University. (in Persian with English abstract)

11. Fahimifard, S. M. and Kehkha, A. A. 2009. Application of project scheduling in agriculture (case study: grape garden stabilization). American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 5 (3): 313-321.

12. Faria, L. and 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. Doi: http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430

13. Houshyar, E., and Rahmanian, H. 2017. Estimation of Massey Ferguson tractors life and repair distribution functions and required number of repairmen. Advances in Plants & Agriculture Research, 7(6):427-431. DOI: 10.15406/apar.2017.07.00278

14. 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 with English abstract)

15. Keshavarz Moulai, p. 1996. Garden planning and control with CPM and PERT method. MSc. thesis in forestry engineering. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (in Persian with English abstract)

16. Kolhe, K. P., Demelash G., Lemi, Siraj, K. 2024. Busse Studies of tractor maintenance and replacement strategies of Wonji Shoa Factory, Ethiopia. Journal of Agricultural Engineering, LV: 1552. DOI: 10.4081/jae.2024.1552.

17. Kostomakhin, M., Kostomakhin, N., Kataev, Y., Petrishchev, N. and Tseiko, M. 2023. Proposals for reduction of the cost of ownership of agricultural machinery due to increase controllability and adaptability to diagnosis. E3S Web of Conferences 402, 13003 (2023), DOI:10.1051/e3sconf/202340213003.

18. 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. DOI:10.22059/ijbse.2017.61563 (in Persian with English abstract)

19. Monjezi, N.; Sheikhdavoodi, M. J. and Basirzadeh, H. 2012a. Application of Project Scheduling in Agriculture (Case Study: Mechanized Greenhouses Construction Project). Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 4(3): 241-244.

20. Monjezi, N.; Sheikhdavoodi, M. J.; Basirzadeh, H. and Zakidizaji, H. 2012b. Analysis and Evaluation of Mechanized Greenhouse Construction Project using CPM Methods. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 4(18): 3267-3273.

21. Monjezi, N., M. J. Sheikhdavoodi, H. Zakidizaji, A. Marzban, and M. Shomeili. 2015a. Operations scheduling of sugarcane production using classical GERT method (part I: land preparation, planting and preserve operations). Journal of Agricultural Studies 3 (2): 85-96. DOI: 10.5296/jas.v3i2.7420

22. Monjezi, N., M. J. Sheikhdavoodi, H. Zakidizaji, A. Marzban, and M. Shomeili. 2015b. Operations scheduling of sugarcane production using classical GERT method (part II: preserve operations, harvesting and ratooning). Journal of Agricultural Studies 3 (2): 85-96. DOI: 10.5296/jas.v3i2.7421.

23. Monjezi, N., Sheikhdavoodi1, M. J., Zakidizaji1, H., Marzban, A. & Shomeili, M. 2016a. Operations scheduling of sugarcane production using fuzzy GERT method (part II: preserve operations, harvesting and rationing). Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 18 (3), 343- 349.

24. Monjezi, N., Zaki Dizaji, H., Sheikh Davoodi, M. J., 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. DOI:10.22055/agen.2017.13082 (in Persian with English abstract)

25. Monjezi, N., Sheikh Davoodi, M. J., Zaki Dizaji, H., Marzban, A., Shomeili, M. 2016c. 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. DOI:10.22067/jam.v7i2.52521 (in Persian with English abstract)

26. Monjezi N and 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. DOI: 10.22059/ijbse.2017.61563

27. Numsong, A., Posom, J., Chuan-Udom, S. 2023. Artificial neural network-based repair and maintenance cost estimation model for rice combine harvesters. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 16(2): 38-47. DOI: 10.25165/j.ijabe.20231602.5931.

28. Pouzesh, M. Mohatsabi, S. s. and Ahmadi, H. 2018. 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 with English abstract)

29. Prokopov, S. P., Myalo, O. V., Myalo, V. V., Maltseva, E. I. and Demchuk, E. V. 2023. Increasing productivity of machine-tractor units depending on the influence of the load of the machine operator with maintenance work in the agricultural enterprises of the Omsk region. E3S Web of Conferences, 392: 01043. DOI:10.1051/e3sconf/202339201043.

30. Ramos, P. L., Nascimento, D. C., Cocolo, C., Nicola, M. J., Alonso, C., Ribeiro, L. G., Ennes, A. and 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. DOI: 10.48550/arXiv.1712.03304.

31. Sharifi, M. 2013. Scheduling and simulation of agricultural mechanization projects of strategic crops using network techniques (case study of Alborz province). PhD thesis on agricultural mechanization. University of Tehran. (in Persian with English abstract)

32. 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. DOI:10.22067/jam.v8i2.59028 (in Persian with English abstract)