

تعیین ظرفیت نگهداری - تعمیرات (نت) مناسب برای چند تراکتور متداول در ایران با استفاده از تئوری صف

احسان هوشیار^{۱*} و محمود محمودی اشکفتکی^۲

چکیده

تراکتورها از جمله اجزای جداناپذیر فعالیت‌های کشاورزی هستند و هنگام خرابی، مطلوب است که در حداقل زمان ممکن تعمیر شوند. با داشتن یک برنامه مؤثر نگهداری و تعمیرات (نت)، میزان هزینه‌های سرویس، نگهداری و میزان توقف ماشین به میزان قابل‌قبولی کاهش می‌یابد. در این پژوهش ابتدا توابع عمر و تعمیر یک واحد ارائه خدمات مکانیزه که در این پژوهش با عنوان سیستم نام برده می‌شود، شامل دو تراکتور مسی‌فرگوسن ۲۸۵، دو تراکتور مسی‌فرگوسن ۳۹۹ و دو تراکتور نیوهلند ۱۵۵ برآورد و سپس تعمیرپذیری و قابلیت اطمینان تراکتورها بررسی شد. در ادامه با بهره‌گیری از تئوری صف، واحد نگهداری - تعمیرات مناسب با وضعیت کار تراکتورها پیشنهاد شد. در این پژوهش، برای اولین بار در بخش ماشین‌های کشاورزی منطقه‌ای از ایران، با ترکیب استفاده از توابع عمر، تعمیر تراکتورها و تئوری صف، ظرفیت نت مناسب تخمین زده می‌شود تا تراکتورها با کمترین زمان رکود به فعالیت خود ادامه دهند. نتایج بهترین تابع عمر را تابع پواسون و بهترین تابع تعمیرات را نمایی منفی نشان داد. در طی ۶۷۰۰ ساعت کار، تعمیرات اضطراری تراکتور نیوهلند ۱۵۵ نسبت به تراکتور مسی‌فرگوسن ۲۸۵ در حدود ۱۸۰ ساعت بیشتر بوده است. قابلیت اطمینان سیستم با حداقل سه تراکتور سالم در زمان ۳۰ ساعت، ۸۰ درصد برآورد شد. با استفاده از تئوری صف، ظرفیت تعمیر ۰/۴ تراکتور در هر شیفت کاری پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: قابلیت اطمینان سیستم، تعمیرات پیش‌گیرانه، زمان انتظار، تعمیرپذیری.

ارجاع: هوشیار ا. و محمودی اشکفتکی م. ۱۳۹۷. تعیین ظرفیت نگهداری - تعمیرات (نت) مناسب برای چند تراکتور متداول در ایران با استفاده از تئوری صف. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۷(۱): ۱۳-۲۳.

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم.

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم.

* نویسنده مسئول: Houshyar.e@Jahromu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۲

مقدمه

روند توسعه در دنیا نشان می‌دهد که افزایش کاربری ماشین در کشاورزی و افزایش سهم توان مکانیکی در عملیات، باعث افزایش تولید محصول می‌شود. برای دستیابی به عملکرد مناسب و مؤثر ماشین‌های کشاورزی برای رسیدن به بیشترین محصول، انجام به موقع عملیات کشاورزی از اهمیت بسزایی برخوردار است (Mobley, 2002). تراکتور از مهم‌ترین ماشین‌های کشاورزی است که در تولید اکثر محصولات کشاورزی در فرآیند خاک‌ورزی، کاشت، داشت و برخی اوقات تا برداشت محصول از آن استفاده می‌شود؛ بنابراین خرابی تراکتور می‌تواند مجموعه‌ای از عملیات‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. مدیران مزرعه غالباً به دنبال ماشین‌هایی با قابلیت اطمینان بالاتر هستند تا بتوانند وظایف محوله را در زمان تعیین شده به خوبی انجام دهند (Hunt, 2001). با این حال ماشین‌ها همواره دچار خرابی می‌شوند و مطلوب است که در حداقل زمان ممکن تعمیر شوند و به کار خود ادامه دهند.

با داشتن یک برنامه مؤثر نگهداری و تعمیرات (نت)، میزان هزینه‌های سرویس و نگهداری و میزان توقف ماشین به میزان قابل‌قبولی کاهش می‌یابد؛ به‌صورتی که موجب افزایش ارزش افزوده قابل‌توجهی در فعالیت‌های تولیدی می‌شود (Hoseinie et al., 2012). خسارت‌های ناشی از قابلیت اطمینان در تمام طول عمر یک ماشین پدیدار می‌شود (Barabadi & Kumar, 2008; Billinton & Allan, 2012). هر ماشین بنا به وضعیت کار، شیوه ترکیب قطعات، فرآیند ساخت و بسیاری عوامل دیگر، از یک تابع توزیع خرابی پیروی می‌کند که به ویژگی‌های محیط کاری و نیز ویژگی‌های خود ماشین بستگی دارد (Meeker & Escobar, 1998). با جمع‌آوری دقیق داده‌های خرابی در مزرعه می‌توان به تخمین مناسبی از تابع توزیع آن رسید که در نتیجه آن، می‌توان به عوامل مهمی از جمله قابلیت اطمینان ماشین و خرابی لحظه‌ای آن پی‌برد. در این زمینه، تخمین صحیحی از میزان خرابی تراکتور و به ازای آن برنامه‌ریزی مناسب نت به افزایش بهره‌وری استفاده از تراکتور می‌انجامد. تراکتورها برای دریافت خدمات نت همواره در صف انتظار قرار می‌گیرند و با توجه به طول صف دچار هزینه‌های ناشی از رکود نیز می‌شوند. تئوری صف، یکی از روش‌هایی است که به کمک آن می‌توان خدمات نت را به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی کرد که در

آن متوسط ساعت رکود مشخص است و بدین ترتیب از تحمیل هزینه‌های پیش‌بینی‌نشده اجتناب ورزید.

در پژوهشی در ارزیابی تابع قابلیت اطمینان تراکتورهای مسی‌فرگوسن ۲۸۵ این نتیجه حاصل شده است که داده‌های خرابی تراکتور از تابع نمایی تبعیت می‌کند (Poozesh et al., 2010). در پژوهشی دیگر خرابی و قابلیت اطمینان ماشین‌های کشاورزی با تابع نمایی نشان داده شد (Liang, 1967). نتایج پژوهشی نشان داد که خرابی کمباین جان‌دیر ۹۵۵ از تابع ویبول دو پارامتری تبعیت می‌کند (Vafaei et al., 2010). در مطالعه دیگری نیز نتیجه‌ای مشابه نشان داد که خرابی دروگر نیشکر از تابع ویبول دو پارامتری تبعیت می‌کند (Najafi et al., 2015).

اگرچه در چند پژوهش به تخمین توابع عمر و تعمیر ماشین‌های مختلف پرداخته شده، تاکنون ارزیابی مناسبی از ظرفیت مورد نیاز نت ماشین‌ها انجام نشده است تا از طریق آن بتوان با صرف کمترین هزینه، تعمیرات به‌موقع انجام شود. بر این اساس در این پژوهش با ترکیب استفاده از توابع عمر و تعمیر تراکتورها و تئوری صف، ظرفیت نت مناسب تخمین زده می‌شود تا تراکتورها با تحمل کمترین زمان رکود به فعالیت خود ادامه دهند. اینکه کدام تراکتور از تعمیرپذیری بهتری برخوردار است و کشاورزان از کدام تراکتور بهتر استفاده می‌کنند، از پرسش‌های اساسی در این پژوهش است.

با توجه به موارد بیان شده اهداف این پژوهش عبارتند از:
۱- تخمین دو تابع توزیع عمر و تعمیر در رابطه با شش تراکتور موجود در یک سیستم ارائه خدمات مکانیزه کشاورزی شامل دو تراکتور مسی‌فرگوسن ۲۸۵، دو تراکتور مسی‌فرگوسن ۳۹۹ و دو تراکتور نیوهلند ۱۵۵؛ ۲- ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم؛ ۳- ارزیابی میزان تعمیرپذیری تراکتورها و ۴- برآورد ظرفیت نت مناسب با توجه به زمان‌های تعمیر و قابلیت اطمینان سیستم.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار سال ۱۳۹۵ در شهرستان مرودشت واقع در ۴۰ کیلومتری شمال شیراز در استان فارس انجام شد. داده‌های مربوط به زمان عمر و زمان‌های تعمیر (یعنی فاصله بین دو تعمیر) شش تراکتور از یک شرکت ارائه خدمات مکانیزاسیون که در این مطالعه با نام "سیستم" مورد بررسی است، جمع‌آوری شد. در این سیستم شش تراکتور قرار دارد

آزمون شده مطابق روابط (۲) تا (۴) به عنوان مثال آورده شده است.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (۲) \quad \text{تابع توزیع نمایی}$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (۳) \quad \text{تابع توزیع ویبول دو پارامتری}$$

$$f(r) = \frac{\lambda t^r \cdot e^{-\lambda t}}{r!} \quad (۴) \quad \text{تابع توزیع پواسون}$$

که در توزیع نمایی و پواسون λ عبارت است از: میزان خرابی در واحد زمان، t در هر سه تابع عبارت است از زمان کارکرد سیستم و r در تابع توزیع پواسون احتمال وقوع r خرابی در مدت زمان کارکرد t است. در تابع ویبول دو پارامتری α عبارت است از: پارامتر خاصیت توزیع و β عبارت است از: پارامتر شکل توزیع (Bartkute & Sakalauskas, 2008).

به لحاظ اینکه در این پژوهش، با یک سیستم شامل n تراکتور (در اینجا شش تراکتور) مواجه هستیم، فرمول عمومی تابع پواسون عبارت است از:

$$f(r) = \frac{n\lambda t^r \cdot e^{-n\lambda t}}{r!} \quad (۵) \quad \text{تابع توزیع پواسون}$$

تعمیرپذیری تراکتورها

ارزیابی تعمیرپذیری تراکتورها نشان می‌دهد که تعمیر کدام تراکتور نیاز به زمان کمتری دارد. تعمیرپذیری کمتر یک تراکتور یا به علت پیچیده‌تر بودن تراکتور است یا آنکه راننده تراکتور (بخصوص برای نت پیش‌گیرانه) یا نیروهای نت (بخصوص برای نت اضطراری) آموزش مناسب برای تعمیر آن را دریافت نکرده‌اند.

متوسط زمان لازم برای تعمیرات اضطراری (Emergency maintenance) یک سیستم که هر یک از اجزای آن احتمال خراب شدن دارند، عبارت است از (Shirmohammadi, 2002):

$$T_e = \frac{\sum_1^n \lambda_i T_i}{\sum \lambda_i} \quad (۶)$$

که در آن T_i متوسط زمان لازم برای تعمیر جزء i ام و λ_i فرکانس خرابی جزء i است.

تمام سرویس‌های دوره‌ای تراکتور (۱۰ ساعته، ۱۰۰ ساعته و غیره) جزء تعمیرات پیش‌گیرانه (Preventive maintenance) است. محاسبه متوسط زمان لازم برای انواع تعمیرات پیش‌گیرانه به صورت زیر است (Shirmohammadi, 2002):

که عبارتند از: دو تراکتور مسی‌فرگوسن ۲۸۵ (MF285)، دو تراکتور مسی‌فرگوسن ۳۹۹ (MF399) و دو تراکتور نیوهلند ۱۵۵ (NewHolland 155). در زمان بررسی تمام تراکتورها از لحاظ فنی سالم و عمر تراکتورهای ۲۸۵ حدود ۷۵۰۰ ساعت، تراکتورهای ۳۹۹ حدود ۶۵۰۰ و تراکتورهای نیوهلند حدود ۵۸۰۰ ساعت بود. برای هر تراکتور داده‌های مربوط به حدود ۳۳۵۰ ساعت و بنابراین جمعاً داده‌های مربوط به ۲۰ هزار ساعت عمر بررسی شد که جمعاً ۲۵۰ داده شد و تعداد داده‌ها برای هر تراکتور مساوی بود. این داده‌ها نشان می‌دهند که هر تراکتور در چه زمانی و به چه علتی متوقف شده و به مرکز تعمیرات آورده و در چه مدت زمانی تعمیر شده است. داده‌ها از نوع پیوسته هستند و محدوده داده‌های عمر بین ۵۰ تا ۱۱۰ ساعت و محدوده داده‌های تعمیر بین ۲ تا ۶۰ ساعت است. قابل ذکر است که به لحاظ مطالعه سیستمی تمامی داده‌ها به صورت یکپارچه ارزیابی شد (برازش تابع و غیره) و برای هر تراکتور جداسازی نشد. البته در رابطه با تعمیرپذیری تراکتورها جداگانه بحث شد.

تابع توزیع عمر و تعمیر

قبل از تخمین توابع عمر و تعمیر، همگنی و ناهمگنی داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از آزمون تمایل بررسی شد. در آزمون تمایل مقدار آماره U به صورت زیر محاسبه شد (Hall & Daneshmend, 2010):

$$U = 2 \sum_{t=1}^{n-1} \ln\left(\frac{T_n}{T_t}\right) \quad (۱)$$

که در آن n ، n آمین خرابی، T_n مجموع زمان‌های کارکرد سالم دستگاه و T_t فراوانی تجمعی زمان t دوره کارکرد دستگاه است. بعد از اینکه آماره U به دست آمد، این آماره با استفاده از آزمون کای اسکوئر بررسی شد. در مواردی که مقدار آماره U از مقدار به دست آمده از جدول کای اسکوئر در سطح احتمال ۵ درصد با درجه آزادی $2(n-1)$ بیشتر بود، داده‌ها همگن بودند.

سپس، برای دستیابی به بهترین تابع از آزمون تطابق در نرم‌افزار متلب استفاده شد. در این زمینه انواع توابع نمایی، نرمال، ویبول و پواسون آزمون شدند تا بهترین تابع تخمین زده شود. با توجه به R^2 و RMSE به دست آمده، بهترین تابع انتخاب و همانند تخمین تابع توزیع عمر، تابع توزیع زمان تعمیر تراکتور نیز ارزیابی شد. عبارت سه تابع

$$W_q = \rho \cdot W \quad \text{متوسط زمان انتظار در صف تعمیر} \quad (17)$$

$$w = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{L}{\lambda} \quad \text{متوسط زمان رکود هر تراکتور} \quad (18)$$

در صورتی که متوسط زمان رکود زیاد باشد، با تغییر در میزان سرویس‌دهی (تغییر در ساختار کارگاه نت) می‌توان زمان رکود را کمتر کرد و به میزان مورد نظر رسید.

نتایج و بحث

توابع توزیع عمر و تعمیر

مقدار آماره U در آزمون تمایل نشان داد مقدار U محاسبه شده برای هر شش تراکتور مورد بررسی، از مقدار مشخص شده در جدول کای اسکوئر بیشتر است؛ بنابراین داده‌های مربوط به زمان عمر و زمان‌های تعمیر تراکتورها همگن است (Hall & Daneshmend, 2010). نتایج آزمون تطابق نشان داد که بهترین مدل برای تابع توزیع عمر تراکتورها تابع پواسون و برای تابع توزیع تعمیر تراکتورها تابع نمایی منفی است.

هر دو تابع تخمین زده شده در شکل ۱ نشان داده شده است. همان گونه که بحث شد، آماره λ در تابع پواسون عبارت است از: تعداد خرابی در واحد زمان (سرعت خرابی). داده‌ها نشان داد که میانگین عمر تراکتورها ۷۷/۶۹۲ ساعت و بنابراین در تابع پواسون مقدار λ برابر با ۰/۰۱۳ خرابی در ساعت بوده است. داده‌های برداشت شده مربوط به تعمیرات اضطراری نشان داد که متوسط زمان صرف شده برای تعمیر تراکتورها ۱۰/۵۶ ساعت است. λ در تابع تعمیر برآزش یافته برابر با ۰/۰۲۶ با R^2 برابر با ۰/۸۹ است.

حداقل زمان صرف شده برای تعمیر ۰/۰۲ ساعت و حداکثر آن ۸۴/۳۷ ساعت بوده است. در رابطه با فراوانی ساعات مصرف شده برای تعمیرات شش تراکتور در ادامه (جدول ۲) بحث شده است. از آنجایی که تابع برآزش داده شده نمایی منفی است، این معنی را می‌رساند که در اغلب موارد عملیات تعمیراتی، زمانی کوتاه‌تر از متوسط را مصرف کرده است و در موارد نادر زمان صرف شده برای تعمیر، نسبت به حدود متوسط افزایش زیادی خواهد داشت. جدول ۲ نیز این مطلب را تصدیق می‌کند؛ به صورتی که از فراوانی کل ۲۵۰ مورد در حدود ۱۷۲ مورد از دفعات تعمیر زمانی کمتر از زمان متوسط ۱۰/۵۶ ساعت وقت صرف شده است. نسبت به زمان متوسط تنها در ۳۸ مورد زمانی بیشتر از ۲۰ ساعت و تنها در ۶ مورد زمانی بیشتر از ۴۰ ساعت صرف تعمیر

$$T_p = \frac{\sum_1^n F_i P_i}{\sum F_i} \quad (7)$$

که در آن P_i متوسط زمان لازم برای تعمیر پیش‌گیرانه جزء i نام و F_i فرکانس خرابی جزء i است. متوسط زمان لازم برای انواع تعمیرات شامل پیش‌گیرانه و اضطراری براساس رابطه زیر حاصل می‌شود (Shirmohammadi, 2002):

$$T = \frac{\lambda \cdot T_e + F \cdot T_p}{\lambda + F} \quad (8)$$

قابلیت اطمینان سیستم (Reliability)

پس از تعیین نوع تابع توزیع عمر سیستم و تخمین پارامترهای آن، مدل‌های قابلیت اطمینان براساس روابط (۹) تا (۱۱) محاسبه می‌شود (Jardine & Tsang, 2013):

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{تابع توزیع نمایی} \quad (9)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad \text{تابع توزیع ویبول دو پارامتری} \quad (10)$$

$$R(t) = e^{-n\lambda t} \quad \text{تابع توزیع پواسون} \quad (11)$$

تئوری صف (Queuing theory)

دریافت خدمات یا کالا سبب ماندن افراد در صفوف انتظار می‌شود. در موضوع نت مشتریان عبارت از ماشین‌هایی هستند که دچار خرابی شده‌اند و نیازمند دریافت خدمات تعمیراتی از کارگاه نت هستند. از تئوری صف در این پژوهش برای برآورد ظرفیت مناسب کارگاه نت استفاده شد تا تراکتورهای مورد بررسی با توجه به نیاز صاحبان آن دچار کمترین توقف در صف تعمیر شوند. به سبب این که کارگاه در آن واحد به تعمیر یک تراکتور می‌پردازد، از الگوی مدل صف تک کانالی استفاده شد. از روابط (۱۲) تا (۱۸) به متوسط زمان رکود هر تراکتور برای تعمیر می‌رسیم (Gross et al., 2008):

$$\lambda \quad \text{میزان تقاضا (متوسط تعداد تراکتور که در واحد زمان متقاضی تعمیر می‌شوند)} \quad (12)$$

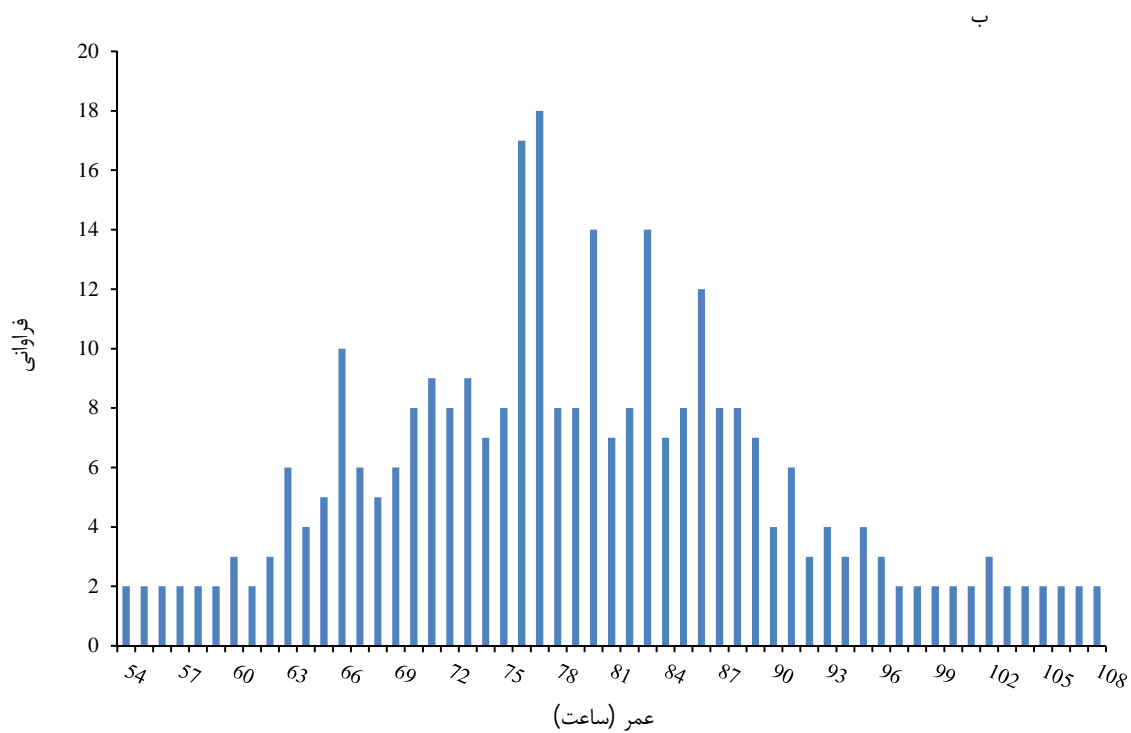
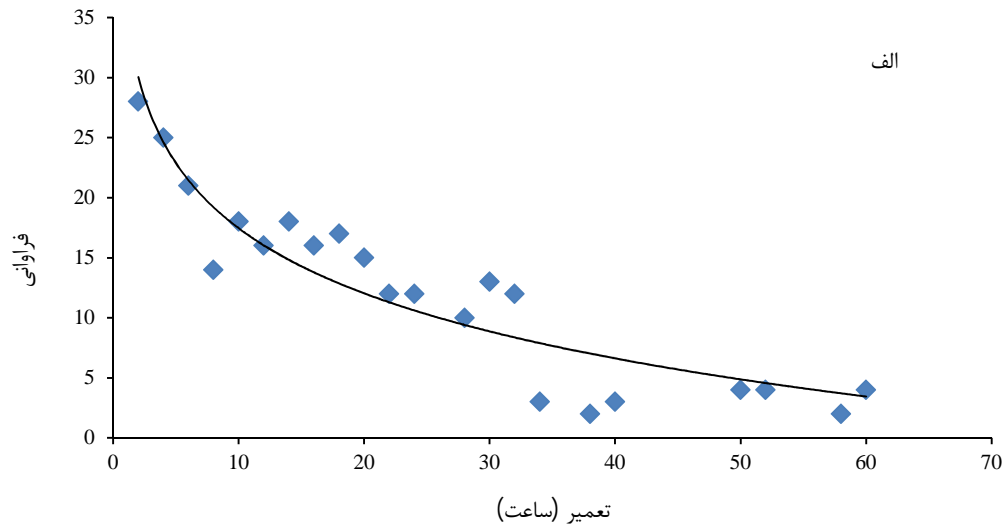
$$\mu \quad \text{میزان سرویس‌دهی (متوسط سرعت تعمیر تراکتور در واحد زمان)} \quad (13)$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad \text{ضریب کاربرد} \quad (14)$$

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu \cdot (\mu - \lambda)} \quad \text{متوسط طول صف انتظار یا تعداد تراکتور در صف} \quad (15)$$

$$L = \frac{\lambda}{\lambda - \mu} \quad \text{متوسط تعداد تراکتور در حال تعمیر} \quad (16)$$

شده است. بحث بیشتر در رابطه با زمان صرف‌شده برای هر نوع تراکتور در بخش بعد آمده است.



شکل ۱- روند تابع نمایی توزیع تعمیر (الف) و تابع پواسون توزیع عمر (ب)

میزان تعمیرپذیری تراکتورها

در جدول ۱ اطلاعات مربوط به زمان صرف‌شده برای تعمیرات اضطراری و پیش‌گیرانه با ذکر جزئیات قسمت‌های مختلف تراکتور نشان داده شده است. نتایج نشان داد که تعمیرات اضطراری سیلندر، پمپ انژکتور، جعبه دنده و پمپ هیدرولیک به زمان بیشتری نسبت به سایر بخش‌های

تراکتور نیاز دارد. در تعمیرات پیش‌گیرانه متوسط زمانی را که راننده صرف این‌گونه تعمیرات می‌کند، گزارش شده است. قابل ذکر است که برخی از این نمونه تعمیرات ۱۰ ساعته (روزانه)، برخی ۱۰۰ ساعته، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ساعته است؛ مثلاً راننده به ۰/۱ ساعت زمان نیاز دارد تا سطح روغن موتور را به عنوان یک نت پیش‌گیرانه بررسی و

حدود ۹۸۲ ساعت زمان صرف تعمیر شده است. این نتایج حاکی از آن است که در وضعیت مورد بررسی تراکتور فرگوسن ۲۸۵ تعمیرپذیرتر از دو تراکتور دیگر بوده است. در مجموع می‌توان انتظار داشت که در سیستم مورد بررسی (شش تراکتور) و در مجموع عمر ۲۰ هزار ساعت حدود ۲۶۲۰ ساعت صرف تعمیرات اضطراری شود. بنابراین متوسط زمان لازم برای اعمال تمامی تعمیرات شامل تعمیرات پیش‌گیرانه و اضطراری برای این سیستم در مجموع عمر ۲۰ هزار ساعت برابر با حدود ۳ هزار ساعت خواهد بود.

قابلیت اطمینان سیستم

صاحبان سیستم مورد مطالعه، علاقمند هستند بدانند که آیا ممکن است همه تراکتورها با یکدیگر نیاز به تعمیر اضطراری پیدا کنند. همچنین برای صاحبان سیستم در دست داشتن همواره دو تراکتور سالم مهم است. جدول ۳ برای پاسخ به این موارد گزارش شده که در محاسبه آن از شکل ۲ استفاده شده است.

با توجه به آنچه پیش از این بحث شد، در تابع پواسون برازش داده شده به عنوان تابع عمر مقدار λ برابر با $0.13/0$ خرابی در ساعت شد؛ بنابراین برای شش تراکتور در سیستم مورد بررسی خواهیم داشت، $\lambda = 0.013$ و $n = 6$. مقادیر t در تابع پواسون (رابطه (۱۱))، قابلیت اطمینان سیستم را در مدت زمان مورد نظر نشان می‌دهد. مثلاً $t=20$ به همراه $r=2$ نشان‌دهنده قابلیت اطمینان سالم بودن حداقل ۴ تراکتور در ۲۰ ساعت است. مقادیر قابلیت اطمینان با محاسبه $t\lambda n$ و r مورد نظر از شکل ۲ استخراج شده است. جدول ۳ به خوبی پاسخگوی پرسش‌های صاحبان سیستم است. همه تراکتورها برای ۱۰ ساعت با اطمینان ۵۰ درصد سالم خواهند بود. با اطمینان بسیار زیاد (۹۹ درصد) در مدت ۱۰ ساعت حداقل چهار تراکتور سالم موجود خواهد بود. برای مدت ۲۰ و ۳۰ ساعت این اطمینان به مقادیر ۸۲ درصد و ۶۰ درصد تقلیل می‌یابد. به‌طور کلی با افزایش زمان سالم بودن تراکتورها و افزایش تعداد تراکتور سالم، میزان قابلیت اطمینان کاهش می‌یابد.

در صورت لزوم روغن اضافه کند. در اینجا تعمیرات به دو گروه کلی تقسیم شده است که در یکی تعمیرات ۱۰ ساعته و بقیه تعمیرات (با فرض ۱۰۰ ساعت) در گروه دیگر جای گرفته‌اند.

در زمان صرف‌شده برای برخی قسمت‌ها مانند سرسیلندر، شاتون و بررسی باتری سه نوع تراکتور تقریباً شبیه به یکدیگر بوده‌اند. در جدول ۲ فرکانس خرابی‌ها و متوسط زمان صرف‌شده گزارش شده است. این جدول نشان می‌دهد که فرکانس اکثر خرابی‌ها در تراکتور فرگوسن ۲۸۵ بیشتر از بقیه بوده است. با این حال متوسط زمان مورد نیاز تعمیر در تراکتور نیوهلند در اکثر موارد بیشتر از دو نوع تراکتور دیگر بوده است. این امر احتمالاً به علت پیچیده‌تر بودن این تراکتور بوده است یا اینکه نیروی تعمیراتی به آموزش‌های بیشتری در رابطه به این تراکتور نیاز دارند تا زمان کمتری را صرف تعمیر آن کنند. همان‌گونه که داده‌ها نشان می‌دهد، حتی رانندگان عنوان کرده‌اند که در تعمیرات پیش‌گیرانه این تراکتور نیز به زمان بیشتری هر چند ناچیز نیاز دارند (جدول ۱).

بسیاری از کاربران تراکتور دوره‌های آموزشی سرویس و نگهداری تراکتور به‌خصوص برخی تراکتورهای جدیدتر (مانند نیوهلند و والترا) را نگذرانده‌اند و به‌صورت تجربی کار می‌کنند.

مشاهدات نشان می‌دهد که در طول عمر حدود ۳۳۵۰ ساعت برای تراکتور فرگوسن ۲۸۵، $57/51$ ساعت صرف تعمیرات پیش‌گیرانه می‌شود که این زمان برای دو تراکتور دیگر حدود ۶۷-۷۳ ساعت بوده است. با استفاده از رابطه (۷) متوسط زمان لازم برای انجام تعمیرات پیش‌گیرانه روی تراکتورها $0/156$ تا $0/198$ ساعت است، بنابراین در سیستم مورد بررسی، برای شش تراکتور موجود در مجموع عمر ۲۰ هزار ساعت حدود ۴۰۰ ساعت زمان صرف تعمیرات پیش‌گیرانه می‌شود.

جزئیات جدول ۲ نشان می‌دهد که دو تراکتور فرگوسن ۲۸۵ در مجموع عمر ۶۷۰۰ ساعت ۹۹ دفعه نیاز به تعمیر اضطراری داشته‌اند که حدود ۸۵۰ ساعت صرف این تعمیرات شده است. برای دو تراکتور فرگوسن ۳۹۹ در مجموع ۶۷۰۰ ساعت در ۷۷ تعمیر حدود ۸۰۸ ساعت و برای دو تراکتور نیوهلند ۱۵۵ در مجموع عمر ۶۷۰۰ ساعت

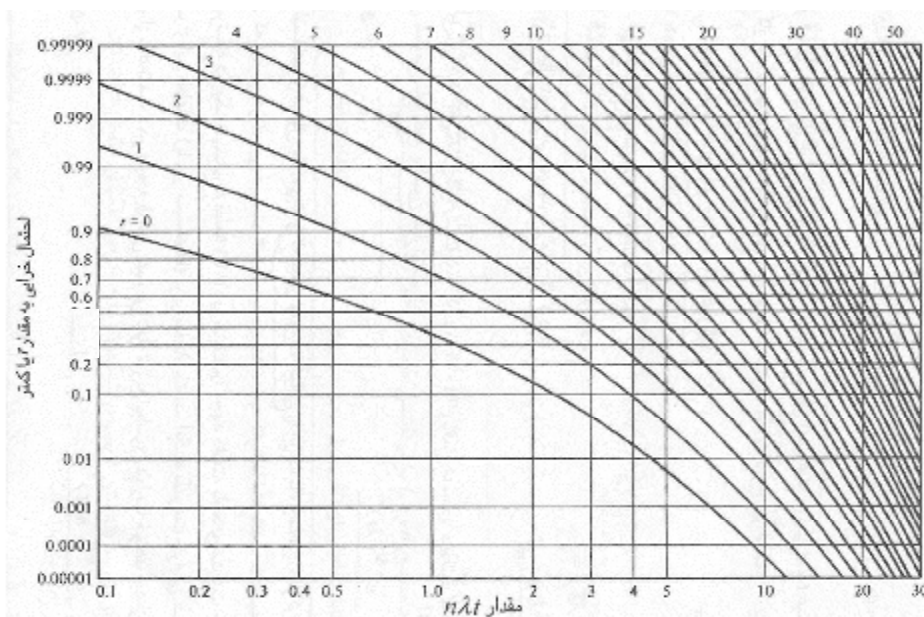
جدول ۱- تعمیرات پیش‌گیرانه و اضطراری انجام‌شده بر روی تراکتورهای مورد مطالعه

T3 تراکتور (New Holland 155)		T2 تراکتور (MF 399)		T1 تراکتور (MF 285)		زیر سیستم	سیستم
تعمیرات اضطراری (ساعت)	نت پیش‌گیرانه (ساعت)	تعمیرات اضطراری (ساعت)	نت پیش‌گیرانه (ساعت)	تعمیرات اضطراری (ساعت)	نت پیش‌گیرانه (ساعت)		
۹/۵	---	۹/۷	---	۸/۵	---	سیلندر	
۱۵/۳	---	۱۴/۹	---	۱۴	---	سرسیلندر، پیستون، شاتون	بدنه موتور و
۷/۲	---	۷/۵	---	۶/۹	---	سوپاپ و میل سوپاپ	قطعات داخلی
۸/۵	---	۸/۴	---	۷/۲	---	میل‌لنگ	
۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲	۰/۲	سرویس و تمیز کردن پیش‌صافی*	هوا رسانی
۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۲	۰/۳	تمیز کردن یا تعویض فیلتر هوا	
۰/۳۵	۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۲۰	۰/۳	۰/۱۵	تخلیه پیاله رسوب‌گیر*	
۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	تمیز کردن یا تعویض فیلتر سوخت	سوخت‌رسانی
۱۰/۸	۲/۵	۱۰/۵	۱/۹	۹/۵	۱/۷	انژکتور و پمپ انژکتور	
۱/۵	۰/۱۵	۱/۵	۰/۱۵	۱/۵	۰/۱۵	رادیاتور و لوله‌ها*	خنک‌کننده
۳/۱	۰/۳	۲/۷	۰/۲۵	۲/۳	۰/۲۵	تعمیر مربوط به پمپ آب و تسمه	
---	۰/۱	---	۰/۱	---	۰/۱	بازدید سطح روغن*	
---	۰/۵	---	۰/۵	---	۰/۴	تعویض روغن موتور	
۰/۴	۰/۲	۰/۴	۰/۲	۰/۴	۰/۲	تعویض فیلتر روغن	روغن کاری
۲/۵	---	۲/۵	---	۲/۱	---	تعمیر مربوط به سیستم و پمپ روغن	
۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	بررسی باتری (سطح آب اسید، قطب‌ها، شارژ و تعویض)	برق‌رسانی
۱/۹	۰/۱	۱/۷	۰/۱	۱/۵	۰/۱	دینام و استارت	
۱/۱	۰/۱	۰/۷	۰/۱	۰/۴	۰/۱	بررسی و تعویض فیوزها	
۰/۸	---	۰/۵	---	۰/۵	---	تنظیم خلاصی کلاچ	
۰/۳	۰/۱۵	۰/۳	۰/۱۵	۰/۳	۰/۱۵	گریس کاری پدال و بلبرینگ کلاچ	
---	۰/۷	---	۰/۷	---	۰/۷	بررسی سطح و تعویض روغن جعبه‌دنده، دیفرانسیل و کاهنده نهایی	سیستم انتقال توان
۱/۵	---	۱/۴	---	۱/۲	---	تعمیر مربوط به کلاچ یا تعویض لنت	
۲۰/۵	---	۱۸/۷	---	۱۷/۵	---	تعمیر مربوط به جعبه‌دنده، دیفرانسیل و کاهنده نهایی	
۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	بررسی و تعویض روغن هیدرولیک و فیلتر روغن	سیستم هیدرولیک
۱۷/۵	----	۱۵/۵	----	۱۲/۲	----	تعمیر مربوط به پمپ، مقسم‌ها، جک‌ها و اجزای هیدرولیک	
۳/۵	۰/۶۵	۲/۶	۰/۶۵	۲/۴	۰/۶۵	گریس کاری، تنظیم فاصله بین چرخ‌ها و پنچرگیری	سیستم فرمان و چرخ‌ها
---	۰/۵	---	۰/۵	---	۰/۵	بررسی و تعویض روغن جعبه فرمان	
۱/۲	---	۰/۹	---	۰/۹	---	تعمیر مربوط به پمپ فرمان	
۰/۸	۰/۱	۰/۸	۰/۱	۰/۸	۰/۱	گریس کاری، تعویض و تعمیر	محور انتقال نیرو
۱۱۰/۰۵	۸/۲۰	۱۰۳/۳۵	۷/۴۸	۹۲/۶	۷/۰۵	جمع (ساعت)	

* موارد ستاره‌دار تعمیرات ۱۰ ساعته را نشان می‌دهد. فرض شده بقیه موارد ۱۰۰ ساعته هستند.

جدول ۲- فرکانس و متوسط زمان تعمیرات پیش گیرانه و اضطراری انجام شده بر روی تراکتورهای مورد مطالعه

T3 تراکتور (New Holland 155)		T2 تراکتور (MF 399)		T1 تراکتور (MF 285)		(i) تعمیرات پیش گیرانه	
متوسط زمان (P _i)	فرکانس (F _i)	متوسط زمان (P _i)	فرکانس (F _i)	متوسط زمان (P _i)	فرکانس (F _i)		
۰/۱۸۸	۳۳۵	۰/۱۷۵	۳۳۵	۰/۱۵	۳۳۵	۱۰ ساعته	
۰/۲۹۶	۳۳	۰/۲۷	۳۳	۰/۲۲	۳۳	۱۰۰ ساعته	
۷۲/۷۵		۶۷/۵۴		۵۷/۵۱		جمع فرکانس در متوسط زمان	
۰/۱۹۸		۰/۱۸۳		۰/۱۵۶		T _p	
(T _i) متوسط زمان		(λ _i) فرکانس		(T _i) متوسط زمان		(λ _i) فرکانس	
۱/۳۶	۱۲	۰/۹۱	۱۷	۰/۸۷	۲۳	۰-۲ ساعته	
۲/۳۷	۶	۲/۹۱	۹	۳/۲۵	۱۵	۲-۴ ساعته	
۵/۷	۶	۴/۵	۸	۴/۷۷	۱۴	۴-۶ ساعته	
۷/۲۵	۱۲	۶/۵۱	۹	۷/۱	۷	۶-۸ ساعته	
۸/۲۵	۵	۹/۶۵	۶	۸/۵۳	۱۰	۸-۱۰ ساعته	
۱۳/۶۷	۱۷	۱۱/۵	۸	۱۱/۲۵	۱۲	۱۰-۱۵ ساعته	
۱۸/۲	۲	۱۷/۸۵	۵	۱۹/۳۷	۹	۱۵-۲۰ ساعته	
۲۱/۳۰	۳	۲۰/۵	۶	۲۵/۸۵	۴	۲۰-۲۵ ساعته	
۲۸/۴	۳	۲۷/۱۵	۲	۲۶/۹	۳	۲۵-۳۰ ساعته	
۳۱/۳۵	۲	۳۰/۱۵	۳	.	.	۳۰-۳۵ ساعته	
۳۸/۵	۲	۳۶/۸	۲	۳۹/۲۵	۲	۳۵-۴۰ ساعته	
.	.	۴۴/۱۸	۱	.	.	۴۰-۴۵ ساعته	
۴۷/۴	۱	۴۷/۱	۱	.	.	۴۵-۵۰ ساعته	
۵۱/۱۵	۱	.	.	.	.	۵۰-۵۵ ساعته	
۵۷/۲	۱	.	.	.	.	۵۵-۶۰ ساعته	
۷۵/۵	۱	.	.	.	.	۶۰-۸۵ ساعته	
--	۷۴	---	۷۷	---	۹۹	جمع	
جمع فرکانس در متوسط زمان		جمع فرکانس در متوسط زمان		جمع فرکانس در متوسط زمان		جمع فرکانس در متوسط زمان	
۹۸۱/۸۳		۸۰۸/۰۳		۸۲۴/۴۷		T _e	
۱۳/۲۷		۱۰/۴۹		۸/۵۱			



شکل ۲- نمودار قابلیت اطمینان سیستم به ازای مقادیر r

جدول ۳- قابلیت اطمینان سیستم مورد بررسی شامل شش تراکتور

R	r	t	R	r	t	R	r	t	R	r	t	R	r	t
۲ درصد	۰		۵ درصد	۰		۱۰ درصد	۰		۲۴ درصد	۰		۵۰ درصد	۰	
۱۰ درصد	۱		۱۸ درصد	۱		۳۵ درصد	۱		۵۸ درصد	۱		۸۳ درصد	۱	
۲۸ درصد	۲	۵۰	۳۸ درصد	۲	۴۰	۶۰ درصد	۲	۳۰	۸۲ درصد	۲	۲۰	۹۹ درصد	۲	۱۰
۴۰ درصد	۳		۵۸ درصد	۳		۸۰ درصد	۳		۹۳ درصد	۳		۹۹ درصد	۳	
۶۰ درصد	۴		۷۷ درصد	۴		۹۱ درصد	۴		۹۸ درصد	۴		۹۹ درصد	۴	
۷۸ درصد	۵		۸۸ درصد	۵		۹۶ درصد	۵		۹۹ درصد	۵		۹۹ درصد	۵	

متوسط میزان ورود ماشین‌ها به صف بیشتر باشد؛ بنابراین با فرض چندین ظرفیت محاسبات انجام شده و دو مورد از آن با ذکر جزئیات آمده که عبارت است از:

- ۱- ظرفیت دو تعمیر در ۸۰ ساعت یا به عبارتی دو تعمیر در ۱۰ شیفت کاری. در این حالت میزان تعمیر (μ) برابر با $0/2$ تعمیر در شیفت خواهد بود.
- ۲- ظرفیت سه تعمیر در ۸۰ ساعت یا به عبارتی سه تعمیر در ۱۰ شیفت کاری. در این حالت میزان تعمیر (μ) برابر با $0/3$ تعمیر در شیفت خواهد بود.

پیش‌بینی سیستم نت مورد نیاز با استفاده از تئوری صف

نتایج پیش از این نشان داد که در تابع عمر برازش داده شده (تابع پواسون) مقدار λ برابر با $0/013$ خرابی در ساعت بوده است. در پیش‌بینی سیستم نت مدت زمان شیفت کاری ۸ ساعت در نظر گرفته شد؛ بنابراین مقدار λ برابر با $0/0104$ خرابی در شیفت خواهد بود که λ در این‌جا متوسط میزان ورود به صف موجود در سیستم است. همان‌گونه که بحث شد، متوسط زمان تعمیر $10/56$ ساعت است. امکانات کارگاه نت را به‌صورتی در نظر می‌گیریم که متوسط میزان تعمیر از

۱- با ظرفیت $0/2$ تعمیر در شیفت داریم (با استفاده از روابط (۱۲) تا (۱۸)):

میزان تقاضا	$\lambda = 0/013$ شیفت/خرابی $= 0/104$ ساعت/خرابی
میزان سرویس‌دهی	شیفت/تعمیر $\mu = 0/2$
ضریب کاربرد	$\rho = 0/520$
متوسط تعداد تراکتور در حال تعمیر	$L = 1/083$
متوسط طول صف انتظار یا تعداد تراکتور در صف	$L_q = 0/563$
متوسط زمان انتظار در صف تعمیر	ساعت $W_q = 5/415 = 5/415 \times 8 = 43/32$
متوسط زمان رکود هر تراکتور	ساعت $W = 10/413 = 10/413 \times 8 = 83/30$

۲- با ظرفیت $0/3$ تعمیر در شیفت داریم:

میزان تقاضا	$\lambda = 0/013$ شیفت/خرابی $= 0/104$ ساعت/خرابی
میزان سرویس‌دهی	شیفت/تعمیر $\mu = 0/3$
ضریب کاربرد	$\rho = 0/347$
متوسط تعداد تراکتور در حال تعمیر	$L = 0/531$
متوسط طول صف انتظار یا تعداد تراکتور در صف	$L_q = 0/184$
متوسط زمان انتظار در صف تعمیر	ساعت $W_q = 1/736 = 1/736 \times 8 = 14/175$
متوسط زمان رکود هر تراکتور	ساعت $W = 5/106 = 5/106 \times 8 = 40/85$

شیفت باشد، متوسط زمان رکود هر تراکتور حدود ۴۱ ساعت خواهد بود. محاسبات مشابه نشان داد با ظرفیت تعمیر چهار تراکتور در ۱۰ شیفت کاری متوسط زمان رکود تراکتور به حدود ۲۷ ساعت و با ظرفیت تعمیر پنج تراکتور زمان رکود باز هم کمتر و به حدود ۲۰ ساعت

محاسبات به خوبی نشان می‌دهد که اگر امکانات کارگاه نت $0/2$ تعمیر در هر شیفت یا به عبارتی کاربردی، کارگاه نت بتواند در هر ۱۰ شیفت کاری ۲ تراکتور را تعمیر کند و تحویل دهد، متوسط زمان رکود هر تراکتور حدود ۸۳ ساعت است. اگر امکانات کارگاه نت $0/3$ تعمیر در هر

درصد بود. رکود تراکتور با ظرفیت تعمیر $0/2$ تراکتور در هر شیفت کاری ۸۳ ساعت و با ظرفیت تعمیر $0/4$ تراکتور در هر شیفت ۲۷ ساعت برآورد شد. به طور کلی آموزش اپراتورها در استفاده از تراکتورها به خصوص تراکتورهای نیوهلند که تعمیرپذیری کمتری دارند و انجام نت پیش‌گیرانه و آموزش نیروهای نت در تعمیر انواع تراکتورها به خوبی می‌تواند میزان خرابی‌ها و همچنین زمان تعمیر مورد نیاز را کاهش دهد.

منابع

1. Barabadi, J. and Kumar, U. 2008 Reliability analysis of mining equipment: a case study of a crushing plant at Jajarm Bauxite mine in Iran. *Reliability Engineering and System Safety*, 93: 647-653.
2. Bartkute, V. and Sakalauskas, L. 2008 The method of three-parameter weibull distribution estimation. *Acta et Commentationes Universitatis Tartuensis de Mathematica*, 12: 65-78.
3. Billinton, R. and Allan, R. N. 2012 Reliability evaluation of engineering systems: concepts and techniques. MSc thesis, Amir Kabir University, Tehran, Iran. 496 p (In Farsi).
4. Gross, D. Shortle, J. F. Thompson, J. M. and Harris, C. M. 2008 Fundamentals of queueing theory. 4th edition, USA: Wiley. 150 p.
5. Hall, R. A. and Daneshmend, L. K. 2010 Reliability modeling of surface mining equipment: data gathering and analysis methodologies. *International Journal of Surface Mining and Reclamation and Environment*, 17(3): 139-155.
6. Hoseinie, S. H. Ataei M. Khalokakaei, R. Ghodrati B. and Kumar U. 2012 Reliability analysis of drum shearer machine at mechanized longwall mines. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 18(1): 98-119.
7. Hunt, D. 2001 Farm power and machinery management. 10th edition, USA: Iowa state press. 340 p.
8. Jardine, A. K. S. and Tsang, A. H. C. 2013 Maintenance, replacement, and reliability: theory and applications. 2th edition, USA: CRC press. 270 p.
9. Liange, T. 1967. A dynamic programming Markov chain approach to farm machinery preventive maintenance problems. Ph.D. dissertation of North Carolina University, USA. 110 p.
10. Meeker, W. Q. and Escobar, L. 1998 Statistical methods for reliability data. USA:

می‌رسد. البته نیاز به سرمایه‌گذاری بیشتری برای تأمین وسایل و استخدام نیروی انسانی در کارگاه نت است. با توجه به قابلیت اطمینان سیستم که در بخش قبل بحث شد و نیاز سیستم که همواره به دو تراکتور سالم نیاز دارد، می‌توان از ظرفیت تعمیر $0/4$ تراکتور در هر شیفت کاری استفاده کرد که در آن متوسط رکود هر تراکتور ۲۷ ساعت است؛ زیرا در این وضعیت می‌توان با اطمینان ۹۱ درصد، همواره دو تراکتور سالم در زمان ۳۰ ساعت در اختیار داشت.

نتیجه‌گیری

مدیریت صحیح تراکتور، ماشین‌های کشاورزی و ارتقای بهره‌وری نیروی انسانی، در هر عرصه‌ای از جمله کشاورزی جزء اهداف اصلی است که به استفاده مفید از نیروی انسانی و کاهش اتلاف منابع موجود منجر می‌شود. این پژوهش، اولین پژوهشی است که در آن با تخمین توابع عمر و تعمیر چندین تراکتور متداول در ایران، به برآورد تعمیرپذیری و قابلیت اطمینان آنها پرداخته شده است و به تناسب آن، ظرفیت نت را با استفاده از تئوری صف پیشنهاد داده‌ایم. روش به کار گرفته شده در این پژوهش می‌تواند در رابطه با یک تراکتور یا چند تراکتور (نگاه سیستمی) و در مورد تراکتورهای دیگر و در مناطق دیگر در صورت وجود داده‌های مناسب به خوبی استفاده کرد. با توجه به اینکه داده‌های مربوط به زمان عمر و تعمیر تراکتورها در نظر گرفته شده، اطلاعات قیمت تراکتور و هزینه‌های تعمیرات در نظر گرفته نشده است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده اطلاعات هزینه‌ای نیز با به کارگیری مدل‌های مناسب صف در نظر گرفته شود. در پژوهش حاضر قیمت تراکتورها تأثیری در نتایج نداشته است.

نتایج نشان داد که تابع توزیع عمر مناسب تابع پواسون و تابع توزیع تعمیر مناسب تابع نمایی است. در سیستم مورد بررسی، برای شش تراکتور موجود متوسط زمان لازم برای اعمال تعمیرات شامل تعمیرات پیش‌گیرانه و اضطراری در مجموع عمر ۲۰ هزار ساعت برابر با حدود ۳ هزار ساعت بود. تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ دارای فرکانس خرابی بیشتری بوده و در عین حال تعمیرپذیرتر از سایر تراکتورها است. قابلیت اطمینان سیستم در ۱۰ ساعت با وجود چهار تراکتور سالم ۹۹ درصد و در ۳۰ ساعت ۶۰

- Wiley. 530 p.
11. Mobley, R. K. 2002. An introduction to predictive maintenance. USA: Elsevier science press. 490 p.
 12. Najafi, P. Asoodar, M. A. Marzban, A. and Hormozi, M. A. 2015 Reliability evaluation and analysis of sugarcane 7000 series harvesters in sugarcane harvesting. Journal of Agricultural Machinery, 5(2): 446-455 (In Farsi).
 13. Poozesh, M. Mohtasabi, S. S. and Ahmadi, H. 2010 Determination of reliability function for MF 285 tractors at Daabal Khozaei Agro-industry in Khouzesan. In proceedings of 6th Agricultural Machinery and Mechanization Conference, Tehran, Iran (In Farsi).
 14. Shirmohammadi, A. 2002 Repair and maintenance planning. Iran: Arkane Danesh. 120 p (In Farsi).
 15. Vafaei, M. R. Meighani, H. Almasi, M. and Minaei, S. 2010 Choosing of most appropriate method for reliability parameter calculation on cereal harvesting machine John deer 955 in Markazi province. Daneshe Novine Keshavarzi magazine, 5(15): 143-151 (In Farsi).

