انتخاب مناسب‌ترین روش محاسبه پارامتر قابلیت اطمینان در ماشین برداشت غلات جاندیر۹۵۵ در استان مرکزی

محمدرضا وفایی[۱]، حمید مشهدی میغانی[۲]، مرتضی الماسی[۳] و سعید مینایی[٤]

چکیده

هدف از این پروژه، تهیه و تنظیم یک الگوریتم برای برآورد قابلیت اطمینان در ماشین برداشت غلات در منطقه فراهان با تاکید برکمباین جاندیر مدل ۹۵۵ بوده است. مراحل انجام طرح شامل: ۱- انتخاب جامعه آماری ۲- ثبت آمار خرابی‌ها و فراوانی آن‌ها با توجه به زمان ۳- انتخاب تابع توزیع مناسب برای خرابی‌ها ۴- برآورد پارامترهای تابع توزیع ۵- استفاده از تابع برای برآورد زمان خراب شدن دستگاه‌ها و برآورد قابلیت اطمینان کمباین بود. برای انجام این پروژه پنج دستگاه کمباین جاندیر مدل ۹۵۵ با ۴۴۵ ، ۸۰۰ ، ۹۰۰ ، ۱۰۰۰ ، ۱۸۰۰ ساعت کارکرد که منحصراً در منطقه فرمهین استان مرکزی فعالیت داشتند مورد مطالعه قرار گرفتند. در هر یک از کمباین‌ها به پنج سامانه شامل: برش و تغذیه، تسمه و زنجیرها، موتور، هیدرولیک و سایر سامانه‌های ماشین شامل: سامانه کوبش، سامانه جدایش، سامانه تمیزش و سامانه انتقال قدرت، تقسیم‌بندی و مورد بررسی قرار گرفت. در طول مدت کارکرد این کمباین‌ها تمامی خرابی‌ها به همراه زمان کارکرد سامانه ها ثبت شدند. تعمیرات نیز به دو نوع شامل تعمیرات اصلی و تعمیرات فرعی دسته‌بندی شدند. در نهایت فواصل زمانی بین خرابی‌ها به همراه فراوانی آن‌ها برای تمام جامعه و نیز برای تک تک سامانه‌های فوق به طور جداگانه محاسبه گردید. با توجه به شکل پراکندگی و نحوه توزیع داده‌ها، مقادیرضریب β بیشتر از یک و شکل کلی نمودارهای حاصله از تابع بقا، تابع توزیع ویبول به عنوان بهترین تابع، توزیع خرابی‌ها را مورد تأیید قرارداد. به‌دلیل آن‌که اولین خرابی بلافاصله بعد از شروع به کار کمباین‌ها پدید می‌آمد تابع توزیع ویبول مورد تأئید در این پروژه از نوع دو پارامتری و به فرم $F(X)=1-EXP(-X^{(\beta/\alpha)})$ انتخاب گردید. جهت تخمین پارامترهای تابع بهترین روش در مورد کمباین با توجه به داده‌های به‌دست آمده روش" بر آورد گرد ماگزیمم درست نمایی"[۵](MLE) تشخیص داده شد. برای پیش بینی زمان بین خرابی‌ها از روش مونت کارلو به همراه روش آنالیز تابع بقا استفاده گردید. در نهایت با استفاده از روش‌های فوق درصد قابلیت اطمینان کمباین جاندیر مدل ۹۵۵ بعد از گذشت ۱۳۰ ساعت کاری صفر محاسبه گردید. فواصل زمانی بین خرابی‌ها نیز برای کل ماشین ۴۲/۸ ساعت اندازه‌گیری گردید.

واژه‌های کلیدی: ماشین برداشت، قابلیت اطمینان کمباین جاندیر مدل۹۵۵، تابع ویبول، روش بر آورد گرد ماگزیمم درست نمایی (MLE)

تاریخ دریافت مقاله: ۸۷/٤/۲٤ تاریخ پذیرش: ۸۸/۲/۱۵

۱- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد فراهان

۲- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک

۳- عضو هیأت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز

٤- عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس تهران

5. Maximum Liklihood Estimation

مقدمه و بررسی منابع

به موقع بودن عملیات کشاورزی از مهم‌ترین عوامل حصول بهترین عملکرد محصول است. عملیاتی که در زمان نامناسب انجام شود باعث افت عملکرد می‌گردد. ممکن است برنامه زمانی برای مراحل خاک‌ورزی، کاشت، داشت و برداشت به درستی تخمین زده و بر آن اساس ماشین‌های مورد نیاز تدارک شده باشد، اما بدون توجه به میزان قابلیت اعتماد ماشین‌ها در حین انجام کار به علت خرابی بعضی از ماشین‌ها انجام کار متوقف شده یا به تأخیر بیفتند. احتمال توقف کاری ماشین برابر است با $(1 - R)$ که R قابلیت اطمینان ماشین بوده و بنابراین قابلیت اطمینان یا اعتماد کاری یک ماشین همیشه بین $0 < R < 1$ می‌باشد. قابلیت اعتماد یک ماشین یا مجموعه‌ای از قطعات یک ماشین یا یک گروه از ماشین‌ها که به صورت مرکب، کار می‌کنند، برابر حاصل‌ضرب قابلیت اعتماد تک تک آن‌ها در یکدیگر می‌باشد[۱]:

$$R = \frac{R_1 \times R_2 \times ... \times R_n}{100^n} \times 100$$

میزان استفاده، شرایط محصول، مهارت کاربرها، خاک، زمین و آب و هوا عوامل مهمی هستند که بر کاربرد ماشین و فرسودگی آن تأثیر می‌گذارند. ماندل[1] (۱۹۷۰) جنبه متفاوتی از قابلیت اطمینان را مورد بررسی قرار داد که بر مفهوم قابلیت اطمینان در طی تولید و مونتاژماشین تاکید داشت. وی معتقد بود که خط مونتاژ منشاء بسیاری از مشکلات کاری ماشین است و نهایتاً حل مشکلات عدم قابلیت اطمینان در هنگام مونتاژ و سر هم کردن قطعات هزینه بسیار کمتری را نسبت به سرویس آن بعد از ساخت در بر می‌گیرد (۱۵). آرچر[1] (۱۹٦۲) برخی از مشکلات مرتبط با پیش‌بینی قابلیت اطمینان تجهیزات کشاورزی را شرح داده است (۸). هانت[2] (۱۹۷۱) بیان داشت که میانگین قابلیت اطمینان ماشین‌های کشاورزی با افزایش کاربرد کاهش می‌یابد و نیز خرابی‌های مزرعه‌ای بسیار پراکنده نامنظم و بدون ترتیب پدید می‌آیند. نامبرده معتقد است توانایی مدیر مزرعه یک عامل مهم و مؤثر در کنترل وقوع خرابی‌ها می‌باشد (۱۲). لیانگ[3] (۱۹۷٦) از تابع توزیع نمایی جهت پیش‌بینی قابلیت اطمینان و بیان آن به‌صورت فرمول برای ماشین‌های کشاورزی استفاده کرد (۱٤). هدف از این تحقیق انتخاب یک تابع توزیع مناسب برای خرابی‌ها، برآورد پارامترهای این تابع، استفاده از تابع برای برآورد زمان خراب شدن دستگاه و محاسبه قابلیت اطمینان آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در منطقه فرمهین استان مرکزی واقع در ٤۹ درجه و ٤۱ دقیقه طول شرقی و ۳٤ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۷۸۸ متر از سطح دریا اجرا شد. در این تحقیق پنج دستگاه کمباین جاندیر مدل ۹۵۵ ساخت کارخانه کمباین سازی اراک با ٤٤۵، ۸۰۰، ۹۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۸۰۰ ساعت کارکرد مورد مطالعه قرار گرفتند. به‌دلیل این که اکثر خرابی‌های کمباین‌ها در چهار قسمت اصلی شامل: پلات فرم، هیدرولیک، تسمه‌ها و تولید توان ایجاد می‌گردید، هر یک از این کمباین‌ها به پنج سامانه زیر تقسیم شده‌اند:

1. Mundell

1. Archer
2. Hunt
3. Liang

۱- سامانه برش و تغذیه ۲- سامانه تسمه و زنجیرها ۳- سامانه هیدرولیک ٤- سامانه موتور ٥- سایر سامانه‌های ماشین (شامل: سامانه کوبش، سامانه جدایش، سامانه تمیزش، سامانه انتقال قدرت)

در طول زمان‌های کارکرد هر کمباین عیوب هر یک از این قسمت‌های و فواصل زمانی بین هر خرابی ثبت گردید و اقدامات زیر انجام گرفت:

الف) ثبت فهرست خرابی هر کمباین با ساعات کارکرد مشخص و نوع خرابی ب) ثبت فهرست کلی ساعات بین خرابی‌ها برای تمامی کمباین‌ها پ) ثبت فهرست ساعات بین خرابی‌ها برای هر پنج قسمت و تعیین نوع تابع قابل استفاده ت) محاسبه ضرایب تابع برای هر یک از پنج قسمت و با تقسیم‌بندی تعمیرات فرعی و تعمیرات اصلی ث) محاسبه درصد قابلیت اطمینان کمباین‌های مورد مطالعه با توجه به نتایج حاصل.

اطلاعات مزرعه‌ای از کاربرانی که بر روی پنج ماشین کار می‌کردند و با در نظر گرفتن معیارهای زیر جمع‌آوری گردید. کارکرد کمباین‌های مذکور در منطقه فراهان، انجام دقیق سرویس‌ها و نگهداری مناسب از دستگاه، مهارت بالای کاربر در انجام تنظیمات کمباین از مهم‌ترین معیارهای فوق بوده است. سطح سوادکاربران کمباین‌های مورد آزمایش دیپلم می‌باشد. تمام این کمباین‌ها برای درو کردن گندم و جو تنظیم گردیده بودند. وسعت زمین‌های زراعی که این کمباین‌ها در آن‌ها کار می‌کردند ۸۲۰ هکتار بوده است. در زمان جمع‌آوری اطلاعات عمر ماشین‌ها از ۱ تا ۵ سال و ساعات کار ماشین‌ها از ۲۳۵ ساعت تا ۱۸۰۰ ساعت متفاوت بود. مقدار وقفه‌های کاری یا خرابی در طی ۲۳۵ ساعت، ۲۰ ساعت و در طی ۱۸۰۰ ساعت، ۱۳۱ ساعت اندازه‌گیری شد که شامل ساعت‌های توقف ماشین جهت انجام سرویس‌ها و تعمیرات مورد نظر کارخانه نمی‌باشد.

چنان‌چه در سیستمی N_o تعداد اجزای آن در نظر گرفته شود بعد از مدت زمان t بعضی از اجزای سالم خواهند بود در حالی‌که بعضی دیگر خراب شده‌اند، N_s معرف تعداد اجزایی است که بعد از گذشت مدت زمان مورد نظر سالم مانده‌اند و N_f معرف تعداد اجزایی است که بعد از گذشت مدت زمان یاد شده خراب شده‌اند باشند در این صورت می‌توان نوشت [۲]:

$$N_o = N_s + N_f$$

بنابراین با این شرایط در هر محدوده زمانی در طول مدت آزمایش قابلیت اطمینان یا احتمال بقای ماشین می‌تواند به‌صورت زیر نوشته شود [۲]:

$$R(t) = \frac{N_S}{N_0} = \frac{N_S}{N_S + N_F}$$

که در آن $R(t)$ برابر است با قابلیت اطمینان ماشین. با استفاده از این رابطه، قابلیت اطمینان می‌تواند در طی آزمایش مشخص و تعیین شود در این صورت با افزایش زمان مقدار قابلیت اطمینان کاهش می‌یابد لذا می‌توان خرابی را به‌صورت رابطه زیر بیان کرد[۲]:

$$F(t) = \frac{N_f}{N_0} = \frac{N_f}{N_s + N_f}$$

در این رابطه $F(t)$ دوام قابلیت اطمینان نامیده می‌شود. بنابراین:

$$R(t) + F(t) = 1$$

قابلیت اطمینان می‌تواند به‌صورت هر یک از روابط زیر بیان شود [۲]:

$$R(t) = \frac{N_S}{N_0} = \frac{N_S}{N_S + N_f} = \frac{N_0 - N_f}{N_S + N_f} = \frac{N_0 - N_f}{N_0} = 1 - \frac{N_f}{N_0}$$

برای یافتن میزان خرابی قطعات باید از R(t) دیفرانسیل گرفت و لذا میزان خرابی‌های اتفاق افتاده در زمان مورد مطالعه برابر است با[۲]:

$$\frac{dR}{dt} = \frac{d(1 - N_f / N_o)}{dt} = -\frac{1}{N_o} \times \frac{dN_f}{dt}$$

$$\frac{dN_f}{dt} = -N_o \frac{dR}{dt}$$

که در آن $\mathbf{d_t}$ بیان‌گر تغییرات زمان (دیفرانسیل زمان) می‌باشد.

جمله $\frac{dN_f}{dt}$ به عنوان تعداد قطعات خراب شده در فاصله زمانی t تا $t_t d_t$ معرفی می‌گردد. "میزان خرابی" یا "احتمال خرابی لحظه‌ای هر قطعه" که با λ نشان داده می‌شود برابر است با[۲]:

$$\lambda = \frac{1}{N_S} \frac{dN_f}{dt} = -\frac{N_0}{N_S} \frac{dR}{dt}$$

با توجه به رابطه $R(t) = \frac{N_S}{N_0}$ داریم[۲]:

$$\lambda = \frac{1}{R} \frac{dR}{dt}$$

رابطه فوق کامل ترین فرمول برای تعیین میزان نقص و خرابی است و برای تمام توابع اطمینان به‌کار می‌رود. با استفاده از فرمول فوق و فرمول قابلیت اطمینان بر حسب نقص فرمول کلی قابلیت اطمینان را به‌صورت زیر می‌توان نوشت [۲]:

$$R = e^{-\int_0^t \lambda \, d_t}$$

بنابراین λ می‌تواند از هر متغیری با تابع انتگرال بر مبنای t باشد. این فرمول جهت اندازه‌گیری قابلیت اطمینان در تمامی تابع‌های توزیع خرابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به خرابی‌های کمباین ونیز قابلیت‌های بالای تابع توزیع ویبول[1] و میزان سازگاری این تابع با نوع خرابی‌ها و نحوه پراکندگی خرابی‌های کمباین‌ها این تابع به عنوان بهترین و مناسب‌ترین تابع جهت سنجش قابلیت اطمینان کمباین می‌باشد.

تابع چگالی احتمال خرابی ویبول به‌صورت زیر بیان می‌گردد که در آن[۲]:

$$F(X) = \begin{cases} \frac{\beta(x-\gamma)^{\beta-1}}{\alpha} e^{-[(x-\gamma)\beta]/\alpha} \\ 0 \geq x \rangle \gamma \end{cases}$$

α= پارامتر مقیاس[۱]

β= شیب ویبول یا پارامتر شکل[۲]

γ= پارامتر موقعیت[۳] (مدت زمان شروع اولین کارکرد تا اولین خرابی)

تابع چگالی احتمال خرابی ویبول به‌صورت زیر بیان می‌گردد [۲]:

$$F(X) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{X - \gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-(X-\gamma/\eta)\beta}$$

$\eta = \alpha^{1/\beta}$ پارامتر عمر مفید

لذا تابع توزیع تجمعی ویبول به فرم زیر بیان می‌گردد [۲]:

$$F(X) = 1 - e^{-\left[(x-\gamma)^{\beta}\right]/\alpha}$$

این تابع به عنوان تابع سه پارامتری ویبول شناخته شده است که پارامترهای آن α و β و γ می‌باشد. با توجه به ثبت خرابی‌ها در مورد کمباین، اولین خرابی را می‌توان به محض شروع کارکرد ماشین انتظار داشت. به عبارت دیگر اولین خرابی در طول عمر کمباین به محض شروع کارکرد ماشین در فاصله زمانی بسیار ناچیز قابل انتظاراست. به بیان دیگر $\gamma = 0$ می‌باشد لذا تابع چگالی ویبول بدین صورت تغییر می‌نماید [۲]:

$$F(X) = 1 - e^{-X^{\beta}/\alpha}$$

1. Weibull distribution

که به‌نام تابع توزیع دو پارامتری ویبول نامیده می‌شود. بعد از تشخیص نوع تابع اولین گام در استفاده از تابع ویبول جهت برآورد قابلیت اطمینان کمباین تخمین پارامترهای تابع می‌باشد. برای این کار می‌توان از زمان بین خرابی‌ها و نیز ترتیب بروز خرابی‌ها در زمان بررسی استفاده کرد. باتوجه به نوع تابع و پراکندگی داده‌ها و زمان بروز خرابی‌ها جهت اطمینان از صحت اطلاعات خروجی در این مورد از روش مجموع مربعات استفاده گردید.

$$F(X)=1-e^{-x\beta/\alpha}$$

$$1-F(X)=e^{-x\beta/\alpha}$$

$$Ln\left[\frac{1}{1-F(X)}\right]=X^{\beta/\alpha}$$

$$LnLn\left[\frac{1}{1-F(X)}\right]=\beta/\alpha Lnx$$

$$Y=MX+C \qquad M=\beta/\alpha$$

$$Y=LnLn\left[\frac{1}{1-F(X)}\right] \qquad X=Lnx$$

$$C=0$$

حال اگر در یک دستگاه محورهای مختصات متغیرهای $LnLn\left[\frac{1}{1-F(x)}\right]$ و LnX به‌ترتیب روی محورهای افقی و عمودی در نظر گرفته شوند آن‌گاه رابطه بین این دو یک خط مستقیم خواهد بود که تمامی اطلاعات مورد نیاز برای تابع توزیع ویبول را ارایه خواهد داد. در این نمودار مقادیر α و β با استفاده از رگراسیون برآورد می‌شوند.

روش مفید برای برآورد خرابی استفاده از روش مونت کارلو[1] می‌باشد. زمان اتفاقی خرابی می‌تواند از یک تابع توزیع احتمال پیروی کند که تابع چگالی آن با پارامتر F(x) بیان می‌شود که با قرار دادن مقدار به جای t در رابطه:

$$Y=\int_0^t F(X)\,dx$$

به‌دست می‌آید [۲]. در رابطه فوق Y از یک تابع توزیع یکنواخت بین صفر و یک انتخاب می‌شود یعنی $0 \le Y \le 1$

حال برای تابع توزیع ویبول احتمال تابع چگالی F(X) بدین صورت می‌باشد [۲]:

$$F(X)=\frac{\beta X^{\beta-1}}{\alpha}e^{-x\frac{\beta}{\alpha}}$$

$$Y=\int_0^t \frac{\beta X^{\beta-1}}{\alpha}e^{-x\frac{\beta}{\alpha}}dx$$

$$Y=1-e^{-t\frac{\beta}{\alpha}}$$

$$1-Y=e^{-t\frac{\beta}{\alpha}}$$

از آن‌جایی که Y بین صفر و یک می‌باشد بنابراین 1-Y نیز از این قانون پیروی می‌کند و بنابراین پارامتر t به این صورت محاسبه می‌شود [۲]:

$$-\frac{t^{\beta}}{\alpha}=-Ln(1-Y)$$

$$t=\left[\alpha(-Ln(1-Y))\right]^{1/\beta}$$

که در آن t معرف زمان بین خرابی‌ها است. اگر این روند به تعداد کافی تکرار شود آن‌گاه میانگین تعداد t برآورد درستی از زمان متوسط بین خرابی‌ها ارایه می‌دهد.

نتایج و بحث

قابلیت اطمینان قابل قبول ماشین برنامه‌ریزی بهتر عملیات کشاورزی را میسر می‌کند. روش پیشنهاد شده در این تحقیق برای یافتن قابلیت اطمینان کمباین از توانایی بالایی برخوردار بوده و تحت اکثر شرایط عملی می‌باشد. این روش امکان استفاده از اطلاعات مزرعه‌ای واقعی را بدون هیچ‌گونه تغییری جهت برآورد مقادیر پارامترها برای تابع قابلیت

1. Monte Carlo

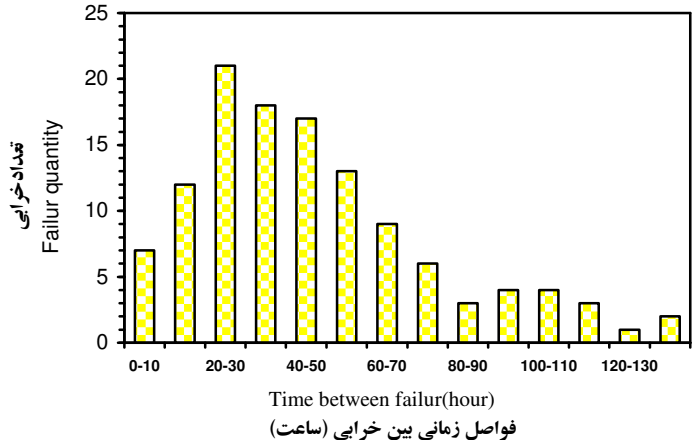
اطمینان می‌دهد. نتایج تحقیق نشان داد که تابع ویبول در مورد ماشین‌های کشاورزی به‌خصوص کمباین بسیار معتبر بوده و کاربری فراوانی دارد. جدول(۱) و نمودارهای (۱) و (۲) نشان می‌دهند که مقادیر پارامترβ در دوره کل دستگاه کمباین بزرگ‌تر از یک و معادل ۱/۷۹٤۲٦ می‌باشد. این بدان معناست که استفاده از تابع توزیع نرمال و نمایی منفی برای پیش‌بینی خرابی‌های کمباین و نیز محاسبه قابلیت اطمینان آن مناسب نمی‌باشد. مزیت دیگر تابع توزیع ویبول این است که حتی زمانی که اطلاعات و داده‌ها با تابع توزیع نرمال یا نمایی قابل بررسی می‌باشند نیز قابل استفاده است. تنها نکته منفی در استفاده از تابع توزیع ویبول این است که محاسبات آن برای برآورد مقادیر پارامترها نسبت به تابع توزیع نمایی و نرمال به زمان بیشتری نیاز دارد. با توجه به این موضوع که خرابی هر یک از سامانه‌های تقسیم‌بندی شده منجر به از کار افتادگی تمام ماشین کمباین می‌گردد می‌توان نتیجه گرفت که فرم قرارگیری این زیر سامانه‌ها نسبت به یکدیگر به‌صورت سری می‌باشد که این خود یک عامل منفی در طراحی ادوات کشاورزی و به‌خصوص کمباین می‌باشد در این صورت لزوم بررسی طراحی سامانه‌های دستگاه به‌صورت موازی کاملا محسوس می‌باشد (نمودار۳). آنالیز تابع بقا نشان داد که میزان ساعت کارکردی که بعد از آن زمان اندازه قابلیت اطمینان به سمت عدم اعتماد نزدیک می‌شود تقریبا در محدوده زمانی بالایی قرار دارد، اما به دلیل نوع آرایش و فرم قرارگیری زیر سیستم‌ها نسبت به یکدیگر در نهایت میزان قابلیت اطمینان در مورد کل ماشین کمباین بعد از گذشت تنها ۱۳۰ ساعت کارکرد مفید به حد عدم اطمینان می‌رسد. در این خصوص می‌توان به مقادیر پیش‌بینی زمان مابین خرابی‌ها نیز اشاره کرد که در ماشین کمباین این مقدار برابر ٤۲/۸۹ ساعت اندازه‌گیری گردید. حال آن‌که این زمان برای هر یک از سامانه‌ها به تنهایی بسیار بالاتر می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

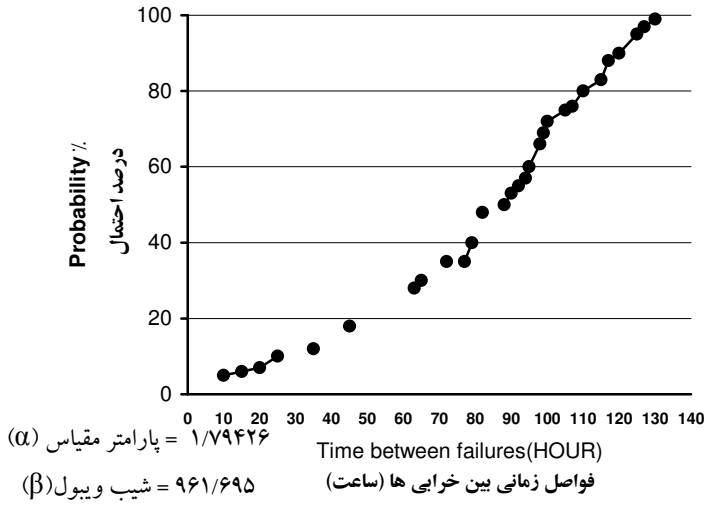
نتایج حاصله از این تحقیق تابع توزیع ویبول را به عنوان بهترین و مناسب‌ترین تابع توزیع جهت محاسبه پارامتر قابلیت اطمینان کمباین معرفی کرد. بعد از محاسبه ضرایب α وβ و اطمینان از تشخیص نوع تابع خرابی‌ها و با توجه به فرم قرارگیری هر یک از زیر سیستم‌ها نسبت به هم و با استفاده از تابع ویبول دو متغیره می‌توان قابلیت اطمینان کمباین را در فاصله زمانی مورد مطالعه محاسبه نمود. مهم‌ترین رابطه‌ای که جهت حصول قابلیت اطمینان برای سیستم‌های سری پنجگانه مورد مطالعه می‌توان استفاده کرد به‌صورت:

$$R_{system} = \prod_{i=1}^{m=5} R_i$$

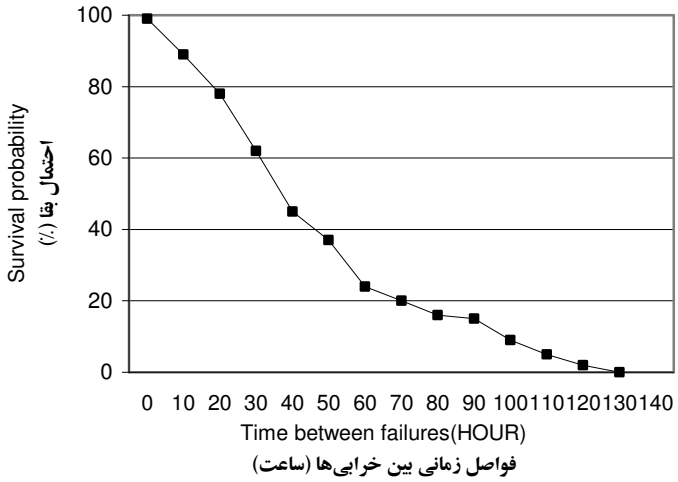
می‌باشد. در مورد جامعه آماری مورد مطالعه در این تحقیق میزان پارامتر پیش‌بینی زمان خرابی‌ها ٤۲/۸ ساعت محاسبه گردید. بدین معنی به طور متوسط هر ٤۲/۸ ساعت یک بار بایستی انتظار یک خرابی عمده را داشت که از این زمان می‌توان برای یافتن تعداد خرابی‌ها در یک فصل کاری استفاده کرد.



نمودار۱- هیستوگرام جامعه کمباین‌های مورد مطالعه



نمودار۲- نمودارمحاسبه ضرایب α وβ با استفاده از تابع توزیع ویبول برای کل داده‌ها



نمودار۳- نمودار آنالیز تابع بقا

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها

سامانه‌ها	سطح تعمیرات	فواصل زمانی (ساعت)	ضریب β	ضریب α	پیش‌بینی زمان مابین خرابی‌ها (ساعت)
تسمه‌ها و زنجیرها	فرعی	٤٠	۱/۳۱۲۱۳	۱٦۸/٦۹۰	۱۲۰/۸۳
	اصلی	۱۰۰	۰/۹٥۳۱۸۲	۳۲٦/٥۹۸	۳۷٥
مجموعه برش و تغذیه	فرعی	٤٠	۱/۹۰۲۷	۱۹٦/۸۹۸	۲۰٥
	اصلی	۱۰۰	۲/۲۱۹٦٦	۳٥٥/٤۸۸	۳۲٥
موتور	فرعی	٤٠	۱/٦۲٥۹٥	۱۱٦/۲٦٥	۸۰۰
	اصلی	۱۰۰	۱/۳٤۰۱۷	۲۸۷/۰٤۱	۱۷٥
سیستم هیدرولیک	فرعی	٤٠	۱/۸۲۹٦۳	۱۲۲/٥۱٤	۱۰٦
	اصلی	۱۰۰	۱/٥۰۷۳٥	۲۰٦/۳۷۹	۱۳٥
سایر قسمت‌های ماشین	فرعی	٤٠	۱/٤۷٦٤۳	۱۲٦/۸٦۳	۸۰
	اصلی	۱۰۰	۱/۲٥۲۳۹۳	۲۳۲/۳۷۳	۱۳۳/۳۳
مجموع			۱/۷۹٤۲٦	۹٦۱/٦۹٥	٤۲/۸۹

منابع

۱- الماسی، م.، ش. کیانی و ن. لویمی. ۱۳۷۸. مبانی مکانیزاسیون کشاورزی. انتشارات حضرت معصومه،

۲- حاج محمدی، ع. ۱۳۷۳. برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات. انتشارات غزل،

۳- رضایی، ع. ۱۳۷٦. مفاهیم آمار و اطلاعات. نشر مشهد،

٤- سلیمی، ن. ۱۳۷۰. استراتژی‌های تعمیرات و نگهداری و قابلیت اطمینان. انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر،

5. Anonymous. 1966. Agricultural Engineer's Yearbook ASAE, ST. Joseph. Michigan
6. Alvin, W. H. V. 1964. Reliability engineering. Prentice Hall. Inc, New Jersey.
7. Amstadter, B. L. 1971. Reliability mathematics fundamental and practices. Mc Graw Hill Book Company, New York.
8. Archer. R. C. 1962. Reliability engineering, it's applications of farm equipment. ASAE Paper No. 62 – 635.
9. Bentley, J. 1999. Introduction to reliability and quality engineering. England: Addison – Wesley.
10. Dillon. B. S. 1999. Engineering maintainability: How to design for reliability and easy maintenance. Huston. Gulf publishing.
11. Ebeling, C. 1997. An Introduction to reliability and maintain ability engineering. Mc GRAW HILL, New York.
12. Hunt, D. 1971. Equipment reliability: Indiana and Illinois data. Transactions of the A.S.A.E. 14(5): 742 – 746.
13. Hunt, D. 1971. Equipment reliability. Parts 1, 2 and 3., Implement and Tractor. March, April and May, paper No. 93-142.

14. Liange, T. 1967. A dynamic programming Markov chain approach to farm machinery preventive maintenance problems. Ph.D. Thesis, Department of Biological and Agricultural Engineering, Raleigh, North Carolina.
15. Mundell, L.W. 1970. A user's look at machinery reliability. A.S.A.E. paper No. 70- 635.
16. Myers, P. J. 1963. Reliability tool for design engineers. Proceedings of 9th National Symposium on Reliability and Quality control.
17. Von Bergen, K. 1970. Reliability and the capacity performance of field machines. ASAE Paper No. 70 – 643.