استفاده از الگوریتم حداقل تلاش برای تخصیص قابلیت اطمینان سیستم‌های تراکتور مسی‌گوسن ۲۸۵

رقیه صلبی[۱]، عباس روحانی[۲*]، حسین پورصباغ رکن‌آبادی[۳]، محمد طبسی‌زاده[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. دانشجوی دکتری مکانیک بیوسیستم، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۴. استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

*ایمیل نویسنده مسئول: arohani@um.ac.ir

چکیده

امروزه با مکانیزه شدن سیستم های کشاورزی، انجام به موقع فعالیت های کشاورزی نیازمند برنامه ریزی صحیح ماشین ها می باشد، چنانچه خرابی پیش‌بینی نشده در ادوات اتفاق بیافتد، منجر به کاهش عملکرد و کیفیت محصول و در نتیجه کاهش سود می‌گردد، به همین دلیل سیستم‌های موجود در ماشین‌های کشاورزی باید پایا، اطمینان بخش و ایمن باشد. در همین راستا تحقیقی برای تخصیص میزان قابلیت اطمینان به زیرسیستم‌های تراکتور مسی‌فرگوسن ۲۸۵ موجود در مزرعه آستان قدس رضوی انجام شد. در این تحقیق میزان خرابی در سال هفتم عمر تراکتور برآورد شد که نرخ خرابی برابر با ۰/۰۱۲ به دست آمد و با استفاده از تابع توزیع نمایی قابلیت اطمینان برای هر یک از زیرسیستم‌های موتور، انتقال قدرت، فرمان، سوخت‌رسانی و لاستیک‌ها و همچنین قابلیت اطمینان کل تراکتور محاسبه شد که مقدار برای ۱۰۰ ساعت برابر ۲۷٪ به دست آمد و با توجه به حداکثر هزینه مجاز برای تعمیرات، نرخ خرابی جدید ۰/۰۰۴به دست آمد و قابلیت اطمینان هدف برای ۱۰۰ ساعت ۶۷٪ تعیین شد. سپس با استفاده از الگوریتم حداقل تلاش قابلیت اطمینان هر یک از زیرسیستم‌ها تعیین شد تا قابلیت اطمینان هدف محقق گردد.

واژگان کلیدی: الگوریتم حداقل تلاش، تابع توزیع نمایی، تخصیص قابلیت اطمینان، ماشین‌های کشاورزی.

مقدمه

از کارافتادن دستگاه‌ها و سیستم‌ها موجب وقوع اخلال در سطوح مختلف تولیدی و پشتیبانی می‌شود و می‌تواند به عنوان تهدیدی شدید در جهت افزایش هزینه‌های تولید تلقی شود(نجفی و همکاران،۱۳۹۲). چنانچه عملیات زراعی در زمان بهینه انجام نشود منجر به کاهش عملکرد و کیفیت محصول می‌شود که این کاهش، در واقع از دست دادن بخشی از سود است که آن را هزینه به

موقع انجام نشدن عملیات می گویند. بخشی از این عملیات مربوط به مدیریت مزرعه است و بخشی دیگر به دلیل قابلیت اطمینان تراکتور و خرابی‌های مکرر در مزرعه می‌باشد. تراکتور تعیین کننده‌ترین ابزار در انجام به موقع عملیات است(پوزش و همکاران۱۳۸۹)، بنابراین سیستم‌های به کار رفته در ماشین‌ها و ادوات کشاورزی از جمله تراکتورها باید پایا، اطمینان‌بخش و ایمن باشند. قابلیت اطمینان به توصیف ویژگی‌های خرابی اجزا سیستم با استفاده از تحلیل داده‌های خرابی مشاهده‌ای و کاربرد روش‌های آماری مناسب می‌پردازد(Nachals,2005). به عبارت دیگر قابلیت اطمینان یک سیستم عبارت است از احتمال کارکرد رضایت‌بخش آن سیستم تحت شرایط کار مشخص برای مدت زمان معین(Billinton and Allen,1992). عواملی که سبب کاهش قابلیت اطمینان یک سیستم می‌شود عبارت است از: اشکال، خطا و شکست. هر کاستی مانند قطع شدن سیستم یک اشکال تلقی می‌شود. خطا ممکن است به علت بروز اشکال رخ دهد. در واقع اگر نقص در وضعیت یک مولفه رخ دهد، خطا رخ داده است. حال اگر بروز این خطا موجب شود که سیستم نتواند کارکرد صحیح خود را ارائه دهد، خطا منجر به شکست می‌شود (Baker *et al.*,1995). انجام صحیح فعالیت‌هایی که تراکتور در مزرعه انجام می‌دهد به عملکرد صحیح زیرسیستم‌های آن وابسته است به عبارت دیگر اجزای تراکتور به صورت سری با یکدیگر مرتبط هستند و خرابی و عملکرد نامطلوب هر یک از زیرسیستم‌ها سبب توقف یا کارایی پایین تراکتور می‌شود. با توجه به توصیفات بیان شده می‌توان به اهمیت و ضرورت توجه به قابلیت اطمینان تراکتور پی برد.

دستیابی به اهداف برنامه‌ریزی شده برای عملیات زراعی نیازمند عملکرد مطلوب اجزای تراکتور است و هریک از این اجزا باید در سطح قابل قبولی از قابلیت اطمینان قرار گیرند. به عبارت دیگر، خرابی و عملکرد نامطلوب هر یک از اجزا سبب مشکلاتی مانند توقف عملیات زراعی، هزینه و کاهش ایمنی می‌گردد. بنابراین، با بهبود قابلیت اطمینان اجزا تراکتور می توان ریسک عملیات را کاهش داد. برای یافتن قابلیت اطمینان مطلوب هر یک از اجزا که منجر به قابلیت اطمینان نهایی مورد نظر برای تراکتور گردد، باید قابلیت اطمینان مورد نظر برای تراکتور را به اجزای آن تخصیص داد. تخصیص قابلیت اطمینان عبارت است از انتقال الزامات قابلیت اطمینان کل سیستم به نیازمندی‌های قابلیت اطمینان هر یک از زیرسیستم‌ها(کرباسیان و خراسانی،۱۳۹۰).

تلاش برای ایجاد یک تعریف کمی از قابلیت اطمینان در آغاز جنگ جهانی دوم در مبحث ارتباطات و مخابرات شروع شد.مطالعات انجام شده در بین سالهای ۱۹۴۵ تا ۱۹۵۰ نشان می دهد که:در طول مانورهای دریایی تجهیزات الکترونیکی فقط در ۳۰٪ مواقع موثر بودند و عملکرد رضایت بخش داشتند، مطالعات ارتش نشان داد که ۲/۳ تا ۳/۴ این ادوات درماموریت ها، در خارج از ماموریت تحت تعمیر بودند و مطالعات نیروی هوایی نشان داد که دردوره های بیش از ۵ سال هزینه تعمیر و نگهداری، ۱۰ برابر هزینه اولیه می‌باشد (MIL-HDBK7F,1991).نظرات مختلف در مورد تخصیص قابلیت اطمینان از سال ۱۹۵۰ ارائه شده است. در سال ۱۹۵۶ روش های تخصیص قابلیت اطمینان در بازنگری کاربردهای الکترونیک ارائه شد(کرباسیان و خراسانی،۱۳۹۰). پوزش و محتسبی و احمدی(۱۳۸۹) در مقاله ای با عنوان "تعیین تابع قابلیت اطمینان تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ در کشت و صنعت

دعبل خزایی خوزستان" با محاسبه قابلیت اطمینان تراکتورهای موجود، هزینه به موقع انجام نشدن عملیات را تخمین زده اند. در این مقاله محاسبه قابلیت اطمینان به روش تحلیلی انجام شد.در این پژوهش تابع نمایی،مناسب ترین تابع توزیع عمر به دست آمد. در پژوهشی دیگر نجفی و همکاران (۱۳۹۲) قابلیت اطمینان دروگرهای نیشکر استافت سری ۷۰۰۰ را با تقسیم بندی بر اساس گروه سنی بررسی کردند. در این مقاله با تاکید بر جمع‌آوری دقیق داده‌ها و اثرات آن‌ها بر محاسبات انجام شده، مشخص شد که همه دروگرها از تابع ویبال دو پارامتری پیروی می‌کردند. وفایی و همکاران در مقاله ای با عنوان مناسب ترین روش محاسبه پارامتر قابلیت اطمینان در ماشین برداشت غلات جاندیر ۹۵۵ در استان مرکزی(۱۳۸۹)، پژوهشی را با اهداف انتخاب تابع توزیع مناسب برای خرابی ها، برآورد پارامترها ی این تابع، استفاده از تابع برای برآورد زمان خراب شدن دستگاه و محاسبه قابلیت اطمینان انجام دادند. همچنین برآبادی و کومار(۲۰۰۸) در مطالعه‌ای بر روی دستگاه خردکن سنگ در معدن بوکسیت جاجرم، اهمیت تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان دستگاه‌ها را برای تشخیص نقاط بحرانی سیستم‌ها و یافتن اجزا و زیرسیستم‌ها با قابلیت اطمینان پایین و تعیین فواصل تعمیر و نگهداری ذکر کردند.

این تحقیق در مورد تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ موجود در مزرعه آستان قدس رضوی انجام شده است. با توجه به در دسترس بودن قابلیت اطمینان زیرسیستم‌ها و سری بودن اجزا و فاصله قابلیت اطمینان محاسبه شده تا قابلیت اطمینان مورد نیاز، با استفاده از الگوریتم حداقل تلاش، حداقل قابلیت اطمینان هر یک از زیرسیستم‌ها تعیین گردید تا قابلیت اطمینان هدف برای تراکتور موجود محقق گردد.

مواد و روش‌ها

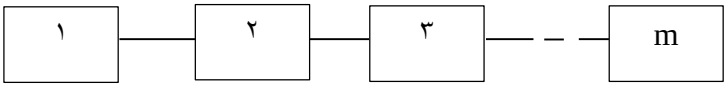
در ارزیابی امکانات بهره‌وری از یک سیستم، قابلیت اطمینان به شرح زیر تعریف می‌شود: احتمال کارکرد سالم و بدون اشکال سیستم برای یک مدت معلوم و در شرایط از پیش تعیین شده. برای به دست آوردن قابلیت اطمینان ابتدا باید تابع توزیع عمر ماشین برآورد شود. طبق تعاریف عمر ماشین عبارت است از "فاصله زمانی کارکرد ماشین بین دو تعمیر متوالی". روش ارزیابی قابلیت اطمینان عبارت است از روش تحلیلی و روش مشابه سازی. روش تحلیلی بیان مسئله و ارائه راه‌حل‌ها در قالب فرمول ریاضی و ساده سازی معقول برای حل مسئله است که این روش نیازمند داده‌های زمانی دقیق و ثبت شده است و روشی سریع و کاربردی می‌باشد. روش مشابه سازی، همانند ساختن فرآیند واقعی و اتفاقی سیستم که نیازمند آزمایش‌های پیچیده و طولانی در شرایط کنترل شده است و قادر به پوشش همه تاثیرپذیری‌های سیستم می‌باشد(رضاییان،۱۳۸۱). در پژوهش حاضر به دلیل عدم وجود امکانات آزمایشگاهی و از طرفی وجود داده‌های ثبت شده برای تراکتور در شرایط مطالعه، ارزیابی به روش تحلیلی انجام شد. در این پژوهش تعداد خرابی‌ها برای هر یک از زیرسیستم‌های موتور، انتقال قدرت، مکانیزم کنترل، فرمان و سوخت رسانی در سال

ثبت شد و با توجه به مجموع خرابی‌ها در مدت ۹ سال و همچنین مجموع ساعات کارکرد تراکتور، نرخ خرابی ثابت به دست آمد. تابع توزیع عمر نمایی به صورت نمایی فرض شد(Das,2008).

$$f(t) = e^{-\lambda t} \quad (۱)$$

که در آن، λ نرخ خرابی هر جز، t زمان

مدل‌سازی قابلیت اطمینان یک فرآیند مهندسی است که با کمک آن یک مدل تحلیلی از یک سامانه که رابطه بین قابلیت اطمینان اجزای آن با سامانه کامل را نشان می‌دهد، به دست می‌آید. یک بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان، یک نمودار ترسیمی است که روابط داخلی عناصر یا گروه‌های عملکردی تشکیل دهنده یک سامانه را به نحوی که آن سامانه در انجام وظیفه تعیین شده‌اش موفق عمل کند، نشان می‌دهد. هرگاه در یک سامانه، خرابی هر کدام از اجزا به تنهایی منجر به شکست کامل سامانه شود، در این صورت سری فرض می‌شوند(صادقیان،کرباسیان و قاضوی،۱۳۹۲)، نمایی از بلوک دیاگرام سیستم سری در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- بلوک دیاگرام سیستم‌های سری

با توجه به ارتباط میان زیرسیستم‌های تراکتور و سری بودن آن‌ها، قابلیت اطمینان کل از حاصلضرب قابلیت اطمینان زیرسیستم‌ها به دست آمد که مقدار آن با توجه به جدول (۱) برابر ۲۷٪ محاسبه شد. میانگین هزینه‌های انجام شده در یک سال طبق گزارشات مزرعه آستان قدس رضوی ۱۶/۷۸۱ میلیون تومان و حداکثر هزینه مجاز برای تعمیرات و نگهداری ، با احتساب ۴۲۰۰۰۰۰۰ میلیون تومان قیمت اولیه تراکتور و در نظر گرفتن ۱۵٪ قیمت کل تراکتور به عنوان هزینه تعمیرات و نگهداری (White,2008)، مطابق رابطه (۲) معادل ۶/۳ میلیون تومان در سال برآورد شد.

$$TS = \mathrm{S} \times 0.15 \quad (۲)$$

که در آن TS حداکثر هزینه مجاز برای تعمیرات و نگهداری، S قیمت اولیه تراکتور

میانگین تعداد خرابی برای هر سال بر اساس اطلاعات داده شده برابر ۴/۱۱ و ساعت کارکرد متوسط در هر سال برابر ۳۳۵/۲۲ ساعت و میانگین هزینه انجام شده برای خرابی‌ها در هر سال به طور متوسط بر اساس آمار ۱۶۱/۷۸۱ بوده است. در نتیجه میانگین هزینه برای هر خرابی مطابق رابطه (۳) معادل ۴/۰۸۳ میلیون محاسبه شده است.

$$TQ = {}^{Ta}/_{Q} \quad (۳)$$

که در آن TQ میانگین هزینه برای هر خرابی، Ta میانگین هزینه انجام شده برای هر خرابی در هر سال و Q میانگین تعداد خرابی برای هر سال

بر اساس رابطه (۲) و (۳) حداکثر تعداد خرابی مجاز برای هر سال (QS) به طور میانگین برابر۱/۵۴ محاسبه گردید.

$$QS = {}^{TS}/_{TQ} \quad (۴)$$

که در آن QS حداکثر تعداد خرابی مجاز برای هر سال

$$\lambda^{*} = {}^{QS}/_{\mathrm{T}} \quad (۵)$$

که در آن λ^{*} نرخ خرابی برای قابلیت اطمینان هدف و T زمان

نرخ خرابی جدید طبق رابطه (۵) برابر۰/۰۰۴ برآورد شد و طبق رابطه (۱) قابلیت اطمینان هدف برای ۱۰۰ ساعت ۶۷٪ به دست آمد.

$$R^{*} = e^{-.004*100} \quad (۶)$$

در اینجا با توجه به اطلاعات موجود برای تخصیص قابلیت اطمینان به هر یک از زیرسیستم‌ها از روش الگوریتم حداقل تلاش استفاده گردید.

البرت، ابداع کننده روش حداقل تلاش (کرباسیان و قوچانی خراسانی،۱۳۹۰) مشکل سیستم های سری را با تابع تلاش حل نمود به طوریکه برای همه اجزا به صورت مشابه محاسبه می کند. روش حداقل تلاش زمانی استفاده می شود که مقادیر قابلیت اطمینان هر کدام از اجزاء مشخص باشد ولی با مقادیر قابلیت اطمینان هر یک از اجزا نتوان قابلیت اطمینان هدف را بدست آورد، لذا نیاز به ارتقاء قابلیت اطمینان اجزا می باشد. روش حداقل تلاش بیان می کند برای بالا بردن قابلیت اطمینان سیستم تا حد مطلوب باید قابلیت اطمینان اجزایی را ابتدا افزایش داد که دارای قابلیت اطمینان کمتری هستند. در مورد فلسفه این روش به بیان دو دلیل اشاره شده است:دلیل نخست اینکه بهبود قابلیت اطمینان به اندازه مشخص ΔR برای مقادیر کم بسیار ساده تر از بهبود به همین اندازه در مقادیر بالاتر است. دلیل دوم به ماهیت سری بودن سیستم مربوط می شود. از آنجایی که قابلیت اطمینان این سیستم

ها در واقع از حاصلضرب هر کدام از اجزا بدست می آید، تاثیر بهبود اجزا با قابلیت اطمینان کوچکتر به اندازه ΔR بسیار بیشتر از تاثیر بهبود اجزا با قابلیت اطمینان بزرگتر به همین اندازه است.

برای حل مسئله به روش الگوریتم حداقل تلاش ابتدا باید قابلیت اطمینان ارزیابی شده را به ترتیب صعودی مرتب نمود و قابلیت اطمینان در ضعیف‌ترین اجزا را تا مقدار R افزایش داد.

$$R_i^* = \left(\frac{R^*}{\prod_{j=k+1}^{n+1} R_i}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (۷)$$

که در آن، R_i^* قابلیت اطمینان هدف هر جز، R^* قابلیت اطمینان هدف، R_i قابلیت اطمینان هر جز و k تعداد اجزایی که باید قابلیت اطمینان آن‌ها افزایش یابد

نتایج و بحث

با ثبت آمار خرابی در طول مدت زمان کارکرد تراکتور و محاسبه نرخ خرابی برای هر یک از اجزا و ثابت فرض شدن نرخ شکست، قابلیت اطمینان با استفاده از تابع توزیع نمایی برای هر یک از زیرسیستم‌ها محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۱) نشان داده شده است.

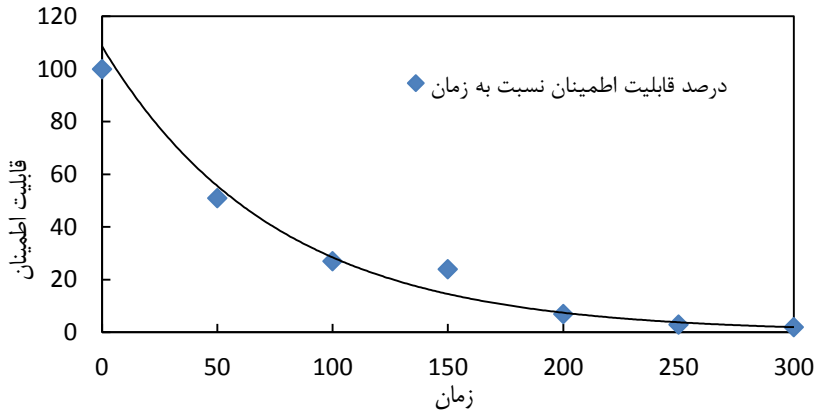
جدول۱- قابلیت اطمینان زیرسیستم‌ها برای ۱۰۰ ساعت

زیرسیستم	قابلیت اطمینان
موتور	۰/۶۵
فرمان	۰/۷۱
انتقال قدرت	۰/۷۶
سیستم سوخت رسانی	۰/۸۶
لاستیک‌ها	۰/۹۱

طبق آمار ثبت شده خرابی نرخ شکست تراکتور برابر ۰،۰۱۲ برآورد شده است. بنابراین تابع قابلیت اطمینان برای تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ عبارت است از:

$$R_{(t)} = e^{-0.012t} \quad (۸)$$

با توجه به رابطه (۳) قابلیت اطمینان برای تراکتور در زمان‌های مختلف محاسبه گردید و نتایج آن در نمودار (۱) نشان داده شده است. همانگونه که در نمودار نشان داده شده است، قابلیت اطمینان با گذشت زمان کاهش می‌یابد و بعد از ۳۰۰ ساعت به کمتر از ۲٪ می‌رسد، و عملا تراکتور بدون استفاده می‌شود.



شکل۲- درصد قابلیت اطمینان نسبت به زمان

با توجه به اینکه قابلیت اطمینان تراکتور کمتر از قابلیت اطمینان هدف می‌باشد و احتمال از کار افتادن قبل از موعد وجود دارد، باید قابلیت اطمینان هریک از اجزا را تا مقدار تعیین شده با استفاده از رابطه (۲) افزایش داد، تا در کارکرد تراکتور خللی وارد نشود. به این منظور ابتدا برای زیرسیستمی که کمترین قابلیت اطمینان را دارد، قابلیت اطمینان جدید تعیین می‌گردد و چنانچه قابلیت اطمینان جدید از قابلیت اطمینان اولیه بیشتر باشد، قابلیت اطمینان برای زیرسیستم بعدی محاسبه می‌گردد. این روند ادامه می‌یابد تا قابلیت اطمینان محاسبه شده از قابلیت اطمینان اولیه کمتر شود در این صورت دیگر نیازی به افزایش قابلیت اطمینان نیست. طبق محاسبات انجام شده، قابلیت اطمینان موتور، فرمان و انتقال قدرت باید تا مقدار ۰،۸۸ افزایش یابد تا قابلیت اطمینان هدف محقق گردد. قابلیت اطمینان تخصیص داده شده در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول۲- قابلیت اطمینان تخصیص داده شده زیرسیستم‌ها برای ۱۰۰ ساعت

زیرسیستم	قابلیت اطمینان اولیه(R_j)	قابلیت اطمینان هدف(r_j^*)	مقدار بهبود
موتور	۰/۶۵	۰/۹۲	۰/۲۷
فرمان	۰/۷۱	۰/۹۲	۰/۲۱
انتقال قدرت	۰/۷۶	۰/۹۲	۰/۱۶
سیستم سوخت رسانی	۰/۸۶	۰/۹۲	۰/۶
لاستیک‌ها	۰/۹۱	۰/۹۱	۰

نتیجه گیری کلی

برای کنترل و کاهش خرابی‌ها نیاز به افزایش قابلیت اطمینان برخی زیرسیستم‌ها می‌باشد تا در روند انجام فعالیت‌های کشاورزی خللی انجام نشود. در این مطالعه تخصیص قابلیت اطمینان برای تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ موجود در مزرعه آستان قدس رضوی انجام گردید. طبق محاسبات انجام شده، قابلیت اطمینان موتور، فرمان ،سیستم انتقال قدرت و سیستم سوخت رسانی را باید تا ۰/۹۲ افزایش داد تا قابلیت اطمینان هدف به دست آید. طراحی‌های قوی‌تر، برطرف کردن شرایط محیطی نامطلوب، به حداقل رساندن بار و تنش‌های وارده در زمان عملیات، فراهم کردن برنامه نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه به منظور به حداقل رساندن حوادث ناشی از خرابی‌های اجزا و غیره می‌تواند موجب افزایش قابلیت اطمینان هر یک از زیرسیستم‌ها شود. در نهایت با افزایش قابلیت اطمینان سیستم می‌توان ریسک عملیات را کاهش و بهره‌وری تولید را افزایش داد.

منابع

پوزش,م.، محتسبی، س س.، و احمدی، ح.۱۳۸۹.تعیین تابع قابلیت اطمینان تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ فعال در کشت و صنعت دعبل خزایی خوزستان. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون.

رضاییان, م.۱۳۸۱. ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های مهندسی. جلد چاپ اول. تهران: انتشارات صنعتی امیر کبیر.

صادقیان، ر.، کرباسیان، م.، و قاضوی، س م.۱۳۹۲. بهبود قابلیت اطمینان یک سیستم موشکی با استفاده از یک مدل چند هدفه. دهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع.

کرباسیان، م.، و قوچانی خراسانی، م م. ۱۳۹۰. تخصیص قابلیت اطمینان. تهران: انتشارات ناقوس.

نجفی، پ.، آسودار، م ا.، مرزبان، ا.، و هرمزی، م ع. ۱۳۹۲. تحلیل و ارزیابی قابلیت اطمینان دروگرهای نیشکر استافت سری ۷۰۰۰ در برداشت نیشکر. هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون.

وفایی، م.، مشـهدی میغانی، ح.، الماسـی، م.، و مینایی، س. ۱۳۸۹. انتخاب مناسـب ترین روش محاسبه پارامتر قابلیت اطمینان در ماشین برداشت غلات جاندیر ۹۵۵ در استان مرکزی.

Baker, W.E., R.W. Horst, D.P. Sonnier, and W.J. Watson. 1995. A flexible serveNet-based fault tolerant architecture in proc. 25th IEEE Int.Symp. on Fault-Tolerant Computing(FTCS 25) 2-11.

Billinton, R., and R.N. Allen.1992. Reliability evaluation of engineering system: concepts and technique .second edition.

Das, K. 2008. A comparative study of exponential distribution vs weibull distribution in machine reliability analysis in CMS design. Computers and Industrial Engeeniring. 54(1):12-33.

Mechanical Reliability-Mil-HDBK7F. 1991.

Nachlas, Joel A. 1991. Reliability Engineering:Taylor & Francis.