نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۳، ص ۳۶۷-۳۶۰

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 2, Fall - Winter 2014, p. 360-367

پیش‌بینی عمر اقتصادی کمباین براساس مدل هزینه‌های تعمیر و نگهداری

عباس روحانی[۱*]- حسین غفاری[۲]- رضا فعله‌گری[۳]- خسرو محمدی قرمزگلی[۴]- حسن مسعودی[۵]

تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۱۴
تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۲

چکیده

اغلب مدیران ماشین‌های کشاورزی مواجه با تصمیمات اقتصادی پیچیده‌ای مانند جایگزینی ماشین‌آلات می‌باشند. هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌توانند اثرات معنی‌داری بر این تصمیم اقتصادی داشته باشند. مدیر مزرعه باید قادر به پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری ماشین‌های کشاورزی باشد. هدف از این مطالعه تعیین مدل رگرسیونی است که بتواند به مقدار کافی هزینه‌های تعمیر و نگهداری را به ازای عمر ماشین برحسب ساعات کارکرد تجمعی نشان دهد. دلیل استفاده از مدل رگرسیون توانایی آن در پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری در افق طولانی مدت برای تخمین عمر اقتصادی می‌باشد. مطالعه حاضر با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای ۱۱ کمباین جاندیر ۹۵۵ از چند استان غربی ایران انجام شد. مشخص شد که مدل توانی دارای بهترین عملکرد برای پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمباین می‌باشد. عمر اقتصادی براساس مدل توانی پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که عمر بهینه جایگزینی برای کمباین جاندیر ۹۵۵ برابر با ۵۴۳۰۰ ساعت کارکرد تجمعی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کمباین، عمر اقتصادی، هزینه‌های تعمیر و نگهداری

مقدمه

تصمیماتی از قبیل زمان سرویس‌دهی، تعمیر، بازسازی، خرید و یا تعویض ماشین از جمله مواردی هستند که همیشه مدیر در طول مدت عمر ماشین با آن مواجه می‌باشد. قابلیت دسترسی ماشین برای انجام عملیات کشاورزی متأثر از عدم قطعیت آن است. اغلب پیدا کردن مدت زمان بهینه برای سرویس‌دهی ماشین، هدف مدل‌های جایگزینی اقتصادی می‌باشد زیرا به‌کارگیری ماشین پس از آن صرفه اقتصادی نخواهد داشت (Edwards, 2005). نظریه کمینه‌سازی هزینه، هزینه‌های ماشین را به دو گروه هزینه‌های مالکیتی و هزینه‌های عملیاتی تقسیم‌بندی می‌کنند. با افزایش عمر ماشین، متوسط هزینه مالکیت روند کاهشی و متوسط هزینه عملیاتی روند افزایشی دارد. هدف این نظریه پیداکردن نقطه زمانی است که متوسط کل هزینه‌ها به حداقل برسد. عمر اقتصادی زمانی به اتمام می‌رسد که شیب منحنی متوسط کل هزینه‌ها به صفر برسد (Terborgh,1949; Edwards, 2002). یکی دیگر از روش‌های حل مسئله جایگزینی اقتصادی، بیشینه‌سازی سود است. این مدل متشکل از سه منحنی متوسط کل هزینه‌ها، منحنی متوسط درآمد و منحنی متوسط سود می‌باشد. زمانی که منحنی متوسط سود به نقطه اوج خود برسد، عمر اقتصادی ماشین نیز به اتمام می‌رسد. زمانی که متوسط درآمد ثابت باشد، منحنی متوسط سود دقیقاً قرینه منحنی متوسط کل هزینه‌ها می‌شود و در این حالت عمر اقتصادی حاصل از دو روش بیشینه‌سازی سود و کمینه‌سازی هزینه یکسان خواهد شد. مسئله جایگزینی، برحسب محدودیت مقدار پول پرداختی توسط مدیر برای تعمیر ماشین در نظریه محدودیت تعمیر قابل حل می‌باشد (Drinkwater and Hastings, 1967). تا زمانی‌که ماشین معیوب نشود نمی‌توان از این نظریه استفاده کرد. کلید اجرای این نظریه، تعریف حد آستانه از هزینه تعمیر و نگهداری است. اگر هزینه تعمیر و نگهداری کمتر از حد آستانه باشد، ماشین تعمیر می‌شود و در غیر این صورت بایستی ماشین جایگزین گردد. تیلور عمر اقتصادی ماشین را نقطه زمانی تعریف کرد که هزینه واحد تولید برای آن ماشین به حداقل برسد (Preinreich, 1940; Taylor, 1923). هاتلینگ (۱۹۲۵) اولین کسی بود که مدل بیشینه‌سازی سود را پیشنهاد داد. او مقدار بیشینه درآمد منهای هزینه‌های تولید به‌علاوه ارزش باقی‌مانده را ارزش ماشین نامگذاری کرد. پرینریچ (۱۹۴۰) تنها گزینه جایگزینی ماشین

۱- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: arohani@um.ac.ir
۲- مدرس گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز
۳- عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد قروه
۴- دانشجوی دکتری مکانیزاسیون دانشگاه تبریز
۵- استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه شهید چمران اهواز

Archive of SID
www.SID.ir

مدافع منسوخ شده با ماشینی که از نظر اقتصادی بهبود یافته است را ماشین رقیب دانست. محققی دیگر زمانی از عمر ماشین را که متوسط مجموع هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی به کمینه خود برسد را کمینه معکوس نامید. ماشینی که دارای کمترین کمینه معکوس باشد بهترین گزینه در انتخاب از بین دو ماشین رقیب و مدافع است (Terborgh, 1949). داگلاس (۱۹۷۵) معتقد بود که روش‌های تحلیلی مانند بیشینه‌سازی سود، کمینه‌سازی هزینه می‌تواند قابلیت‌های شهودی مدیر ماشین را افزایش دهند. البته داگلاس روش بیشینه‌سازی سود را به دو روش دیگر کمینه‌سازی هزینه و ادراک شهودی ترجیح داد و معتقد بود که تنها زمانی باید از سیاست کمینه‌سازی هزینه استفاده کرد که نتوان به‌طور کامل و دقیق سودها را محاسبه کرد. پژوهشگرانی روش گرادیان هندسی با افق نامحدود را معرفی کردند. این روش چگونگی استفاده از محاسبات ارزش زمانی پولی را برای انواع هزینه‌ها تشریح می‌کند (Collier and Jacques, 1984). مطالعه داده‌های تاریخی برای کشف الگوی تغییرات آن‌ها در طول زمان پیش‌بینی اقتصادی گویند. یکی از جنبه‌های مهم پیش‌بینی در مدیریت مزرعه، پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌باشد. از روش‌های کمی و کیفی در پیش‌بینی استفاده می‌شوند. قضاوت و ادراک شهودی اساس روش‌های کیفی می‌باشند. روش‌های کمی شامل نایو، متوسط حرکت، صاف‌شدن نمایی، تجزیه سری‌های زمانی و رگرسیون هستند. در روش نایو فرض می‌شود که ارزش آینده برابر با ارزش واقعی حال است (Hanke and Reitsh, 1995). این روش و متوسط حرکت برای پیش‌بینی با افق زمانی کوتاه مدت می‌تواند مناسب باشد. روش متوسط حرکت بر پایه متوسط‌گیری مقادیر هزینه‌ها برای دوره زمانی خاص بنا شده است (Makridakis and Wheelwright, 1989). صاف شدن نمایی نیز همانند روش متوسط حرکت است (Hanke and Reitsh, 1995). در سری‌های زمانی فرض بر این است که الگوی تغییرات داده‌ها وابسته به گذر زمان می‌باشد و مقادیر آینده به مقادیر گذشته خود وابسته است و هیچ رابطه سببی بین متغیر مورد پیش‌بینی و زمان وجود ندارد (Makridakis and Wheelwright, 1989). در مدل‌های رگرسیونی، متغیر مورد پیش‌بینی به‌صورت تابعی از یک یا چند عامل تأثیرگذار می‌تواند بیان شود. در این تحقیق رابطه رگرسیونی بین عمر ماشین برحسب ساعات کارکرد تجمعی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری آن تعیین خواهد شد. اگرچه ساعات کارکرد ماشین برحسب تغییرات زمان است ولی هدف از اندازه‌گیری زمان داشتن مقیاسی از مقدار کار انجام شده توسط ماشین می‌باشد. مقدار کار انجام شده توسط ماشین عامل بسیار مؤثر بر فرکانس خرابی‌ها و نیز هزینه تعمیرات بوده و ساده‌ترین روش برای اندازه‌گیری کار یک ماشین، زمان کارکرد است. میشل (۱۹۹۸) مدل هزینه تعمیر و نگهداری تجمعی را به‌عنوان یک مدل اقتصادی برای اتخاذ تصمیم جایگزینی اقتصادی توسعه داد. این مدل برای کمینه‌سازی هزینه‌ها یا برای بیشینه‌سازی سود می‌تواند استفاده شود و همچنین قادر است به‌طور کاملاً روشن سه مرحله اصلی خرید، به‌کارگیری و فروش را در هر نقطه از عمر ماشین نشان دهد. هدف از انجام این تحقیق، تخمین زمان تعویض کمباین براساس مدل هزینه تعمیر و نگهداری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

داده‌های هزینه‌های تعمیر و نگهداری

برای انجام این تحقیق از داده‌های هزینه‌های تعمیر و نگهداری سالانه در طی ۹ سال (۱۳۸۹– ۱۳۸۱) مربوط به ۱۱کمباین جاندیر ۹۵۵ در استان‌های کردستان، کرمانشاه و همدان استفاده گردید. کمباین‌های مورد مطالعه در تملک شخصی بودند و داده‌های هزینه تعمیر و نگهداری را در انتهای هر سال ثبت کرده بودند. عمدتاً کمباین‌های مورد مطالعه در برداشت گندم به‌کارگرفته می‌شد. این داده‌ها شامل هزینه تعمیرات، هزینه روغن، هزینه سوخت، هزینه تعمیر و نگهداری (مجموع هزینه تعمیرات، روغن و سوخت) و سال خرید و ساخت هر کمباین می‌باشند.

استانداردسازی داده‌ها

قبل از محاسبه هزینه تجمعی بایستی اثر تورم بر هزینه‌ها را تعدیل کرد (Rohani *et al.*, 2011). به‌طور معمول اغلب از نرخ تورم بدین منظور استفاده می‌کنند، ولی براساس پیشنهاد میشل (۱۹۹۸) بهتر است از شاخص تورم (شاخص کل بهای کالا و خدمات) استفاده کرد، لذا در این تحقیق از رابطه (۱) استفاده شد.

$$p(t_2)= p(t_1)\times \frac{I(t_2)}{I(t_1)} \qquad (۱)$$

در این رابطه، $p(t_1)$ و $p(t_2)$ به‌ترتیب ارزش پولی در زمان t_1 و t_2 می باشند و $I(t_1)$ و $I(t_2)$ به‌ترتیب عدد شاخص در زمان t_1 و t_2 می‌باشند. به‌دلیل متفاوت بودن هزینه‌های تعمیر و نگهداری و نیز قیمت خرید اولیه انواع کمباین‌های مورد مطالعه، تمام این هزینه‌ها توسط شاخص رابطه (۲) استانداردسازی شد (Rohani *et al.*, 2011).

$$CCI_t= \frac{\sum_{\circ}^{t} C_t}{PP_{\circ}}\times 100 \qquad (۲)$$

که در این رابطه CCI_t شاخص هزینه تجمعی در زمان t، C_t هزینه تعمیر و نگهداری در زمان t و $pp_{\circ}$ قیمت خرید اولیه کمباین می باشند. این شاخص در طول عمر تقویمی کمباین همواره روند افزایشی یا ثابت دارد. بعد از استانداردکردن هزینه‌ها، شاخص‌های تجمعی به‌صورت شاخص هزینه‌های تعمیر و نگهداری تجمعی محاسبه شد. این شاخص به‌عنوان متغیرهای وابسته در روش رگرسیونی استفاده شد. اغلب در تصمیم‌گیری اقتصادی مدیریتی

Archive of SID

www.SID.ir

ماشین به‌منظور تعیین عمر مفید از شاخص هزینه تعمیر و نگهداری استفاده می‌شود.

طول عمر

عموماً متغیر مستقل در مدل رگرسیونی هزینه تجمعی، عمر ماشین است. ساعات کارکرد تجمعی (CHU)، مناسب‌ترین تعریفی است که می‌توان از عمر کمباین داشت (Rohani *et al.*, 2009). CHU تعداد ساعاتی که کمباین به‌طور فیزیکی کار کرده است را نشان می‌دهد و نیز تغییرات بسیار زیاد هزینه‌های تعمیر و نگهداری را به‌خوبی در طول زمان تعدیل می‌کند. تعداد ساعات کارکرد هر کمباین براساس تعداد تعویض روغن موتور محاسبه گردید. برای دستیابی به عملکرد بهتر مدل‌سازی این هزینه‌ها توسط تکنیک رگرسیونی، CHU برحسب صد ساعت محاسبه شد.

فرضیات مدل‌سازی

در ابتدای تحلیل هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌بایستی فرضیات زیر را در نظر گرفت: (۱) اطمینان به داده‌های موجود، از آنجا که امکان برگشت به گذشته برای تصدیق مقادیر هزینه وجود ندارد، بایستی به مقادیر هزینه‌های ثبت شده از طرف شرکت اطمینان کرد. (۲) هزینه تعمیر و نگهداری در ابتدای عمر آن صفر است. این فرض کاملاً قابل قبول و ضروری است، زیرا هزینه تعمیرات احتمالی قبل از به‌کارگیری کمباین توسط شرکت سازنده پرداخت می‌شود. براساس این فرضیه ضریب عرض از مبدأ مدل‌های رگرسیونی (β_0) صفر خواهد شد. (۳) ساعات کارکرد تجمعی تنها متغیر مستقل برای مدل‌های رگرسیونی است. اگرچه ممکن است متغیرهای زیادی در تخمین هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمباین تأثیرگذار باشند، ولی به‌دلیل وجود شرایط یکسان به‌کارگیری آن‌ها از جمله سطح مدیریتی، شرایط آب و هوایی و نیز تا حدودی یکسان بودن سطح مهارت کاربران می‌توان سایر متغیرها را ثابت در نظر گرفت.

استفاده از مدل هزینه تعمیر و نگهداری تجمعی برای پیش‌بینی عمر اقتصادی

میشل (۱۹۹۸) مدل هزینه تعمیر و نگهداری تجمعی را به‌عنوان یک مدل اقتصادی اولیه توسعه داد. اگر هزینه‌ها و درآمدها در یک نمودار دو بعدی رسم شوند و خطوط مماس بر منحنی رسم گردد، فهم دقیق‌تر فرآیند بهینه‌سازی ممکن خواهد شد. مدل هزینه تجمعی تنها یکی از مدل‌های جایگزینی اقتصادی است که حاصل ترکیب دو نظریه جایگزینی اقتصادی کلاسیک و نظریه محدودیت تعمیر می‌باشد. شکل ۱ دو مدل هزینه تجمعی و مدل کمینه‌سازی هزینه‌ها را با هم مقایسه می‌کند. روحانی (۲۰۰۹) با مطالعه داده‌های هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتورهای دو چرخ محرک، عمر اقتصادی آن‌ها را براساس مدل کمینه‌سازی و مدل هزینه تجمعی تخمین زد و به این نتیجه رسید که این دو مدل قابلیت پیش‌بینی عمر بهینه ماشین را دارند ولی عمر اقتصادی حاصل از مدل هزینه تجمعی به واقعیت نزدیک‌تر می‌باشد. از هر دو مدل می‌توان برای نشان دادن تابع بهینه‌سازی استفاده کرد. نقاط بهینه به‌کمک مماس‌های هندسی بر منحنی‌های هزینه تعریف می‌شود. روش کمینه‌سازی هزینه‌ها از طریق یک مماس افقی بر منحنی متوسط کل هزینه‌ها، کمینه متوسط هزینه سالانه (T^*) و عمر بهینه اقتصادی (L^*) را تعریف می‌کند. مدل هزینه تجمعی از یک خط مماس رسم شده از مبدأ مختصات بر منحنی هزینه تجمعی استفاده می‌کند. این مماس همان نقطه بهینه تعیین شده توسط مماس افقی در مدل کمینه‌سازی هزینه‌ها می‌باشد. T^* و L^* در هر دو مدل دارای مفهوم یکسانی هستند، ولی مفهوم T^* در مدل هزینه تجمعی کمی متفاوت است، زیرا T^* در این مدل برابر با شیب خط مماس در نقطه بهینه بر منحنی هزینه تجمعی می‌باشد. متوسط هزینه عملیات T_t برای هر زمان مشخصی مانند t را می‌توان برای هر یک از دو مدل با رسم خطوط مربوطه تعیین کرد. در مدل کمینه‌سازی هزینه‌ها، T_t را می‌توان با رسم خطی عمودی از محور افقی مختصات بر منحنی هزینه‌ها، برای هر نقطه زمانی مورد نظر مانند t تعیین کرد. در مدل هزینه تجمعی T_t برابر با شیب خط رسم شده از مبدأ مختصات به هر نقطه بر روی منحنی هزینه تجمعی برای هر نقطه زمانی مشخص مانند t می‌باشد. محور افقی در مدل هزینه تجمعی نشان‌دهنده عمر ماشین است. واحدهای مختلفی را می‌توان به محور افقی اختصاص داد و این ویژگی، انعطاف‌پذیری مدل را افزایش می‌دهد. محور عمودی در مدل هزینه تجمعی، هزینه تجمعی می‌باشد که معمولاً به‌صورت مجموع یا ارزش حال خالص تمام هزینه‌ها تا آن تاریخ بیان می‌شود. بعد از آن‌که در قسمت نتایج و بحث بهترین مدل‌ها جهت پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری تعیین شدند، چگونگی تخمین عمر اقتصادی توضیح داده خواهد شد.

ارزش باقی‌مانده ماشین و خط هزینه خالص

از رابطه (۳) برحسب سال تقویمی و رابطه (۴) برحسب ساعات کارکرد تجمعی برای محاسبه ارزش باقی‌مانده می‌توان استفاده کرد.

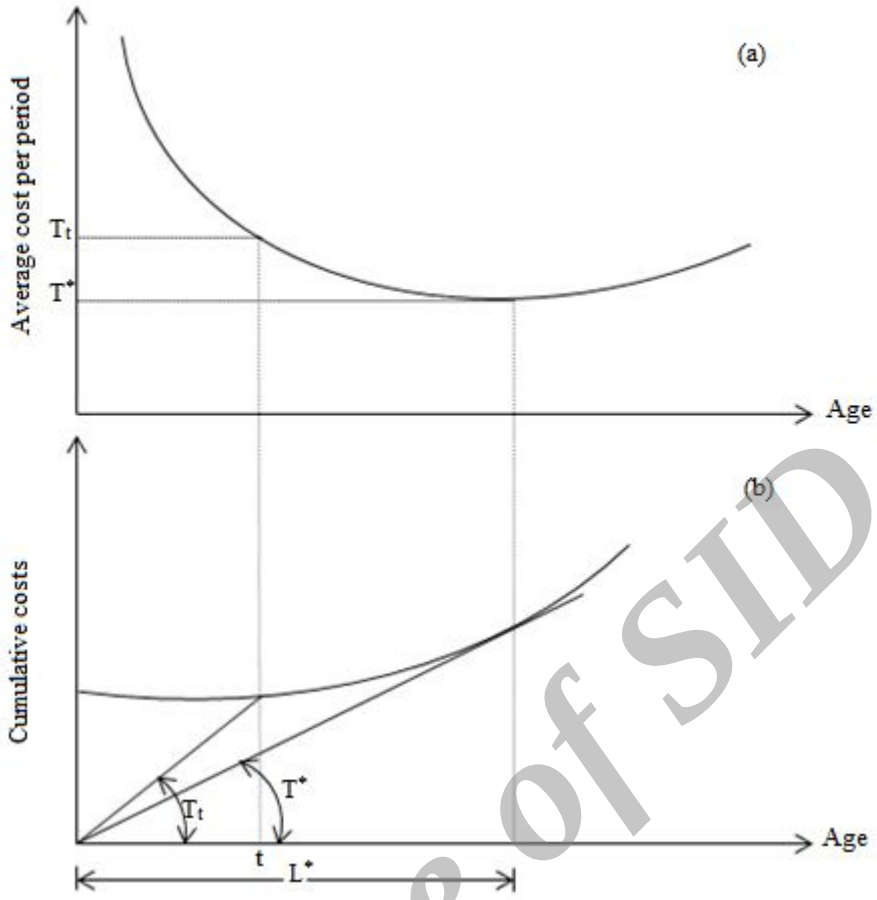
$$RV_y = PP_0(1-r)^y \quad (۳)$$

$$RV_t = K\frac{PP_0}{\sqrt{\frac{CHU_t}{1000}}} \quad (۴)$$

در روابط (۳) و (۴)، RV_y و RV_t به‌ترتیب ارزش باقی‌مانده در انتهای سال y و ارزش باقی‌مانده در انتهای زمان t، r و K ضریب کاهش ارزش ماشین و CHU_t ساعات کارکرد تجمعی در انتهای زمان t می‌باشند. خط هزینه خالص (NEL) از طریق معادله (۵) و در نتیجه کم‌کردن هزینه‌های تعمیر و نگهداری به‌عنوان خط هزینه ناخالص (GEL) از ارزش باقی‌مانده ماشین (RV) محاسبه می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱– مدل هزینه تجمعی (b) در مقابل مدل کمینه‌سازی هزینه‌ها (a)
Fig.1. Cumulative cost model (b) vs. cost minimization model (a)

$$NEL = f(CHU)=GEL-RV \quad (۵)$$

سپس به همان روش شرح داده شده در قسمت قبلی، عمر اقتصادی نیز به‌کمک خط هزینه خالص محاسبه می‌گردد. عمر اقتصادی محاسبه شده از این روش با عمر اقتصادی حاصل از خط هزینه ناخالص مقایسه می‌شود و هر کدام کمتر بود به‌عنوان عمر اقتصادی نهایی اعلام می‌کنیم.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تحلیل رگرسیونی با هدف آزمون معنی‌داری ضرایب رگرسیونی مدل‌های مورد نظر و آماره F متناظر هر مدل و همچنین ضرایب تبیین هر مدل برای هزینه تعمیر و نگهداری کمباین در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج حاصل از آزمون معنی‌داری ضرایب رگرسیونی نشان می‌دهند که ضریب رگرسیونی β_2 برای مدل‌های درجه دوم، درجه سوم و نمایی و ضریب رگرسیونی β_3 در مدل درجه سوم در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی‌دار نیستند و تنها ضرایب رگرسیونی β_1 و β_2 در مدل توانی در سطح معنی‌داری یک درصد معنی‌دار شدند. از طرف دیگر این نتایج تأکیدی بر معنی‌داری پارامتر F در تمامی مدل‌ها می‌باشند. بنابراین با در نظر گرفتن این موارد مدل توانی در محدوده ساعات کارکرد تجمعی مورد مطالعه، بهترین مدل جهت پیش‌بینی شاخص هزینه تعمیر و نگهداری کمباین است. اما یکی از اهداف مدل‌سازی هزینه‌های تعمیر و نگهداری در این مقاله، پیش‌بینی عمر اقتصادی کمباین است. شکل ۲، روند پیش‌بینی هزینه‌ها را به‌ازای مقادیر ساعات کارکرد تجمعی بیشتر از محدوده مورد مطالعه یعنی [۱۴۰ ۰] و تا ۲۰۰ ساعت کارکرد تجمعی نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، پس از حدود ۱۴۰ ساعت کارکرد تجمعی، پیش‌بینی مدل درجه سوم روند نزولی پیدا می‌کند و همچنین مدل نمایی مقدار هزینه‌های تعمیر و نگهداری را برای ابتدای عمر کمباین بیشتر از مقدار مورد انتظار پیش‌بینی می‌کند که این‌ها برخلاف اصول تغییرات هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌باشد. مدل درجه دوم و توانی روند تغییرات هزینه‌های تعمیر و نگهداری را برحسب روند مورد انتظار پیش‌بینی می‌کنند.

Archive of SID

www.SID.ir

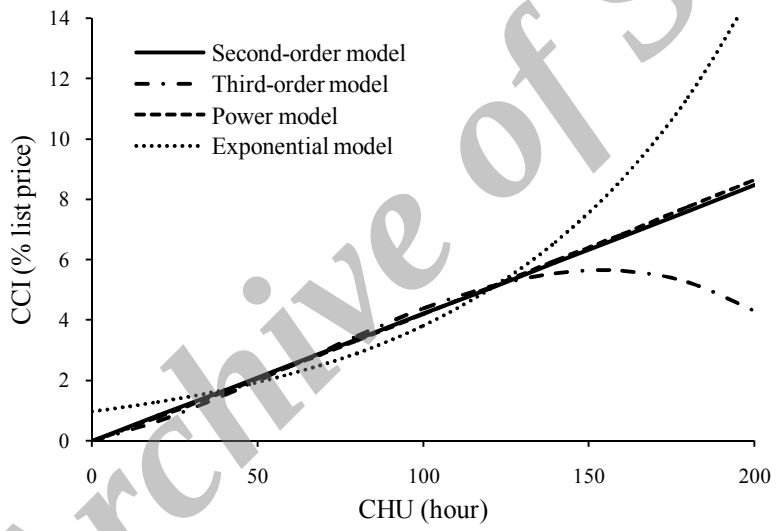
جدول ۱- نتایج تحلیل رگرسیونی برای هزینه تعمیر و نگهداری کمباین جاندیر

Table 1- Results of regression analysis for John-Deer combine repair and maintenance costs

R^2	F	ضرایب رگرسیونی (Regression coefficients)			مدل Model*
		β_3	β_2	β_1	
0.995	813**	-	$3.1\times10^{-6}\pm0.000^{ns}$	0.042±0.004**	درجه دوم Second-order
0.997	725**	0.000±0.000ns	0.000±0.000ns	0.026±0.009**	درجه سوم Third-order
0.758	22*	-	0.014±0.000ns	0.974±0.006**	نمایی Exponential
0.987	514**	-	1.407±0.062**	0.035±0.002**	توانی Power

* مدل درجه دوم: $y=\beta_1 x+\beta_2 x^2$، مدل درجه سوم: $y=\beta_1 x+\beta_2 x^2+\beta_3 x^3$، مدل نمایی: $y=\beta_1 e^{\beta_2 x}$، مدل توانی: $y=\beta_1 x^{\beta_2}$، y: ساعات کارکرد تجمعی برحسب ۱۰۰ ساعت، x: هزینه تجمعی برحسب درصدی از قیمت اولیه. * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns غیرمعنی‌دار. R^2 : ضریب تبیین.

* Second-order model: $y=\beta_1 x+\beta_2 x^2$; Third-order model: $y=\beta_1 x+\beta_2 x^2+\beta_3 x^3$; Exponential model: $y=\beta_1 e^{\beta 2}$; Power model: $y=\beta_1 x^{\beta 2}$; x: Cumulative hours of usebased on 100 hours; y: Cumulative cost based on percent of list price. *,** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ns Non. Significant



شکل ۲- قابلیت برون‌یابی مدل‌ها در پیش‌بینی هزینه تعمیر و نگهداری کمباین

Fig.2. Ability of models extrapolation in prediction combine repair and maintenance costs

به‌ترتیب ریشه مجموع مربعات خطا برای مدل درجه دوم و توانی برابر با ۰/۲۷۲ و ۰/۲۶۶ درصد شد. بنابراین مدل توانی و سپس مدل درجه دوم می‌توانند بهترین مدل برای پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمباین باشند.

مدل رگرسیونی توانی با رابطه (۶) مشخص می‌گردد.

$$CCI = \beta_1 CHU^{\beta_2} \qquad (۶)$$

این مدل از دو جزء اساسی مربوط به ضرایب رگرسیون β_1 و β_2 تشکیل شده است. جزء مربوط به ضریب رگرسیونی β_1 نشان‌دهنده حداقل مقدار هزینه‌ای است که مدیر برای تعمیر و نگهداری یک ماشین در طول زمان صرف می‌کند. این خط مبنا ممکن است در بین مدیران و حتی ماشین‌های مختلف متفاوت باشد. مقدار پایین این جزء از مدل نشان‌دهنده این واقعیت است که شرکت مورد نظر، نقدینگی زیادی برای تعمیر و نگهداری ماشین نمی‌تواند صرف کند. مقدار بالای آن نشان‌دهنده توانایی مدیر در هزینه کردن سرمایه ثابت در طول زمان به‌منظور تعمیر و نگهداری ماشین است. روحانی (۲۰۰۹) ضریب رگرسیونی ۰/۸۱ برای تراکتورهای دو چرخ محرک موجود در کشت و صنعت آستان قدس رضوی گزارش کرد، لذا با مقایسه این مقدار با ضریب رگرسیونی در مطالعه حاضر می‌توان بیان نمود که

Archive of SID

www.SID.ir

هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتور بیشتر از کمباین می‌باشد. جزء دوم مدل (ضریب رگرسیونی β_2) نشان‌دهنده چگونگی کنترل رشد هزینه‌های تعمیر و نگهداری در طول زمان توسط مدیر ماشین است. مقدار بزرگ این جزء مبین رشد سریع هزینه‌ها می‌باشد. مقدار پایین آن، نشان‌دهنده توانایی مدیر در کنترل رشد هزینه‌ها و در نتیجه نگه داشتن آن در سطح پایین می‌باشد. رشد هزینه‌ها هر چقدر سریع‌تر باشد، زمان نگه‌داشتن اقتصادی ماشین زودتر به اتمام می‌رسد. عکس این قضیه نیز با مدیریت خوب ماشین محقق خواهد شد. مقدار این ضریب برای تراکتورهای دو چرخ محرک ۱/۴۱ گزارش شده است (Rohani, 2009)، مقدار پایین این ضریب در مقایسه با تراکتور مبین رشد کندتر هزینه‌های تعمیر و نگهداری در مقایسه با کمباین می‌باشد و لذا بایستی عمر اقتصادی کمباین به‌مراتب بیشتر از تراکتورها باشند. روحانی (۲۰۰۹) با مقایسه دو ضریب β_1 و β_2 در بین چهار نوع تراکتور فیات، مسی‌فرگوسن، جاندیر ۳۱۴۰ و جاندیر ۴۴۵۰ به این نتیجه رسیدند که، مدل هزینه تراکتورهایی که دارای بیشترین مقدار از جزء اول (β_1) است دارای کمترین مقدار از جزء دوم (β_2) می‌باشد. از این رو می‌توان گفت که هر چقدر مدیریت هزینه‌های تعمیر و نگهداری در طول عمر ماشین بهتر باشد روند رشد هزینه‌ها کمتر خواهد شد و در نتیجه عمر اقتصادی ماشین نیز طولانی‌تر خواهد شد.

عمر اقتصادی براساس مدل هزینه تجمعی تعمیر و نگهداری

بعد از آنکه بهترین مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمباین انتخاب شد، باید از طریق این مدل عمر اقتصادی کمباین را تعیین کرد. لذا باید به سؤال "عمر اقتصادی در چه زمانی از عمر ماشین اتفاق می‌افتد؟" پاسخ داده شود. عمر اقتصادی (L^*) فاصله مبدأ تا نقطه‌ای از محور CHU است که در آن مماس امتداد یافته از منحنی CCI از مبدأ مختصات عبور نماید. شاخص هزینه تجمعی به‌صورت رابطه (۷) تبدیل می شود.

$$CCI_t=\frac{\sum_0^t (P_t+L_t+O_t)}{PP_0}+1 \qquad (۷)$$

با روش ترسیمی، می‌توان به سادگی L^* را با رسم مماسی از مبدا مختصات به منحنی شاخص هزینه تجمعی به‌دست آورد. معادله خط مماس (شکل ۱) به‌صورت رابطه (۸) تعریف می‌شود.

$$y = mx \qquad (۸)$$

در رابطه (۸) m شیب خط مماس است. برای محاسبه عمر اقتصادی، عدد ثابت یک به هر کدام از معادلات شاخص هزینه تجمعی به‌دست آمده در این مطالعه اضافه شد و سپس بر اساس معادلات حاصل شده به‌صورت رابطه (۹) عمل شد.

$$CCI=\beta_1 CHU^{\beta_2}+1 \qquad (۹)$$

با جای‌گذاری رابطه (۸) در رابطه (۹) و سپس مشتق‌گیری از طرفین رابطه، متغیر m به‌دست می‌آید و با جای‌گذاری مجدد در رابطه (۹) رابطه (۱۰) را خواهیم داشت.

$$\beta_1\beta_2 CHU^{\beta_2}-\beta_1 CHU^{\beta_2}=1 \qquad (۱۰)$$

بنابراین، اگر مدل تخمین هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمباین به شکل توانی باشد، عمر اقتصادی برابر با رابطه (۱۱) است.

$$L^*=\left(\frac{1}{\beta_1(\beta_2-1)}\right)^{\frac{1}{\beta_2}} \qquad (۱۱)$$

رابطه (۱۱) زمانی جواب دارد که شرایط $\beta_1\neq 0$ ، $\beta_2\neq 0$ برقرار باشند. با محاسبه عمر اقتصادی براساس مدل توانی برای هزینه‌های تعمیر و نگهداری، می‌توان گفت که L^* تنها تابعی از رشد هزینه‌ها می‌باشد. براساس این معادله، عمر اقتصادی کمباین مورد مطالعه برابر با ساعت L^*=۵۴۳۰۰ است.

اگر مدل تخمین هزینه‌های تعمیر و نگهداری به شکل درجه دوم باشد، عمر اقتصادی مانند آنچه در بالا شرح داده شد، به‌صورت رابطه (۱۲) تعریف می‌شود.

$$L^*=\frac{1}{\sqrt{\beta_2}} \qquad (۱۲)$$

در این حالت β_2 باید بزرگتر از صفر باشد در غیر این صورت نمی‌توان عمر اقتصادی را تخمین زد. براساس این معادله، عمر اقتصادی کمباین مورد مطالعه برابر با ساعت L^*=۵۷۷۳۵ است.

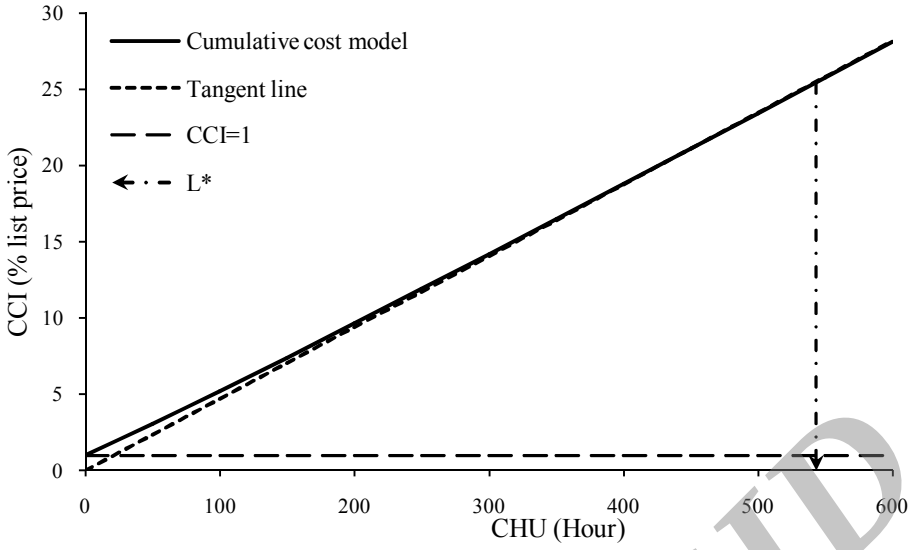
شکل ۳ مدل هزینه تجمعی همراه با مماس ترسیم شده از مبدأ مختصات، برای مجموعه آماری کمباین‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بنابراین در نقطه ۵۴۳۰۰ ساعت کارکرد تجمعی، باید کمباین را تعویض کرد.

عمر اقتصادی بر مبنی خط هزینه خالص

اغلب فرض بر آن است که ارزش باقی‌مانده در اوایل عمر اقتصادی روند نزولی شدیدتری دارد ولی با گذشت زمان و به‌ویژه رسیدن به انتهای عمر اقتصادی شدت آن کاهش می‌یابد. با گذشت زمان، ساعات کارکرد تجمعی و هزینه‌های تجمعی افزایش می‌یابد، بنابراین بازده و بهره‌وری ماشین کاهش می‌یابد. ارزش ماشین نیز متناسب با بزرگی کاهش در بازده روند نزولی خواهد داشت. در شکل ۴ ارزش باقی‌مانده محاسبه شده کمباین توسط دو مدل ارزش باقی‌مانده سالانه یا RV_y و ارزش باقی‌مانده ساعتی یا RV_t نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، هر دو مدل دارای روند نزولی با شیب منفی در طول عمر کمباین هستند، ولی مدل RV_y دارای آهنگ کاهشی نسبتاً ثابتی در مقایسه با مدل RV_t می‌باشد، در حالی‌که مدل RV_t داری شیب و آهنگ کاهشی بسیار بالاتری در ابتدای عمر و شیب و آهنگ کاهشی بسیار نامحسوس در انتهای عمر در مقایسه با مدل RV_y می‌باشد.

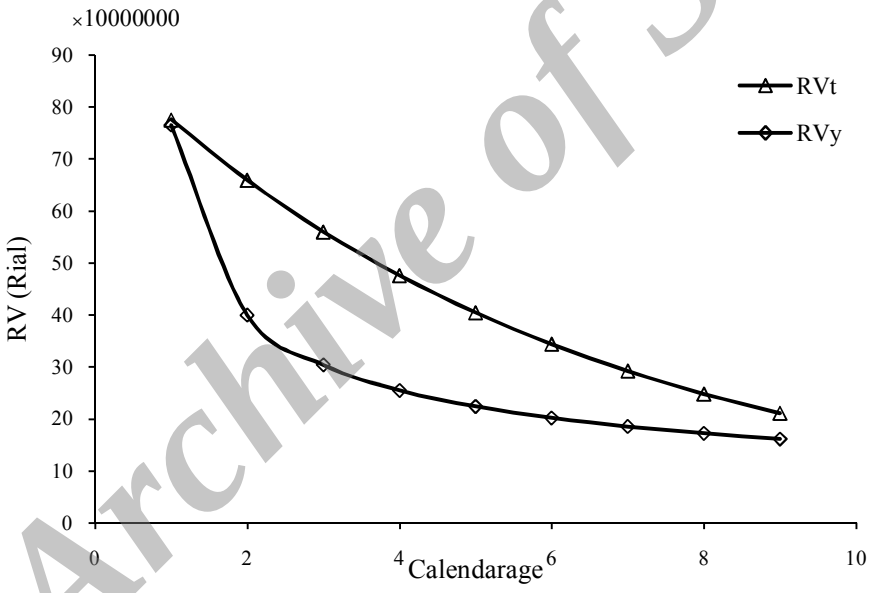
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- مدل هزینه تجمعی براساس مدل توانی هزینه تعمیر و نگهداری

Fig.3. Cumulative cost model based on power model of repair and maintenance cost



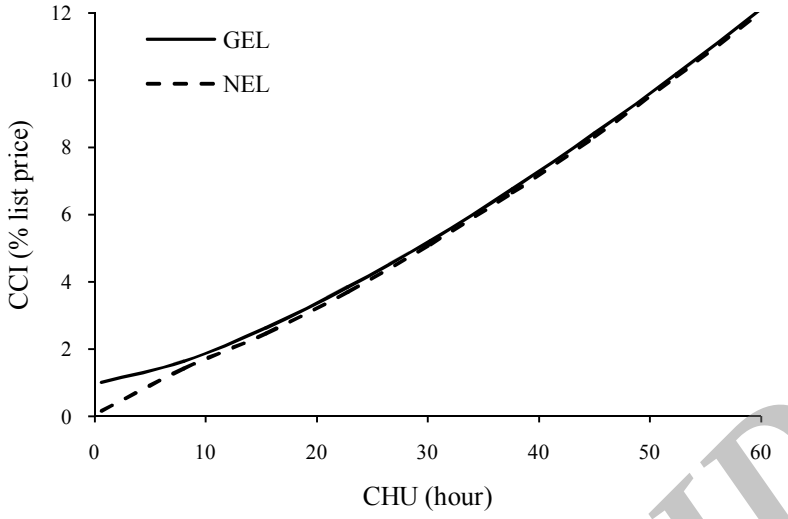
شکل ٤- مقایسه ارزش باقی‌مانده کمباین توسط مدل‌های RV_y و RV_t

Fig.4. Comparisonof residual valueby using RV_t and RV_y model

ارزش باقی‌مانده در معادله RV_y تابعی از سال تقویمی و در معادله RV_t تابعی از ساعات کارکرد تجمعی می‌باشد. این موضوع نشان از برتری مدل دومی دارد، زیرا استهلاک و کاهش ارزش ماشین بیشتر وابسته به مقدار کارکرد فیزیکی ماشین می‌باشد و گذشت زمان تقویمی نمی‌تواند کاهش ارزش ماشین را به‌طور واقعی توجیه نماید (Rohani, 2009). L^* و T^* محاسبه شده از طریق NEL کمی کوچک‌تر از GEL می‌باشد. کوچک بودن L^*_{nel} و T^*_{nel} را می‌توان به روند نزولی بالای RV در ابتدای عمر و روند نزولی پایین و شاید تقریباً ثابت RV در طول عمر کمباین با افزایش ساعات کارکرد تجمعی نسبت داد. البته این امر موجب همگرا شدن GEL و NEL با گذشت زمان خواهد شد. در این مطالعه به‌دلیل منطبق شدن دو مدل در محدوده ساعات کارکرد تجمعی بیشتر از ۳۵۰۰۰ تفاوت معنی‌داری بین L^*_{nel} و L^* وجود نداشت. بنابراین همان ۵۴۳۰۰ ساعت کارکرد تجمعی به‌عنوان عمر اقتصادی کمباین معرفی می‌شود. روحانی گزارش کرد که این دو معیار برای تراکتورهای دو چرخ محرک معنی‌دار هستند و عمر اقتصادی حاصل از خط هزینه خالص کمتر از خط هزینه ناخالص است (Rohani, 2009).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵- منحنی GEL و NEL برای کمباین

Fig.5. Curve GEL and NEL for combine

چون در مدل هزینه تعمیر و نگهداری تجمعی از داده‌های هزینه واقعی استفاده شده است، به‌نظر می‌رسد عمر اقتصادی پیش‌بینی شده با این روش به واقعیت نزدیک‌تر بوده و از خطای کمتری برخوردار است.

منابع

1. Collier, C. A., and D. E. Jacques. 1984. Optimum equipment life by minimum life-cycle costs. Jornal of Construction Engineering and Management 110 (2): 248-265.
2. Douglas, J. 1975. Construction equipment policy. McGraw-Hill, New York, NY.
3. Drinkwater, R. W., and N. A. J. Hastings. 1967. An economic replacement model. Operational Research society 18 (2): 121-138.
4. Edwards, W. M. 2002. Farm machinery selection. IOWA State University, Extention Publications. Accessed April 2006, available from: http://www.extension.iastate.edu/agdm.
5. Edwards, W. M. 2005. Replacement strategies for farm machinery. IOWA State University, Extention Publications. Accessed April 2006, available at http://www.extension.iastate.edu/agdm.
6. Hanke, J. E., and A. G. Reitsh. 1995. Business Forecasting. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
7. Hotelling, H. 1925. A general mathematical theory of depreciation. Jornal of the American Statistical Association, ASA 151: 340-353.
8. Makridakis, S., and S. C. Wheelwright. 1989. Forecasting methods for management. (5th ed.). New York: John Wiley and Sons.
9. Mitchell, Z. W. 1998. A statistical analysis of construction equipment repair costs using field dataand the cumulative cost model. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
10. Preinreich, G. A. D. 1940. The economic life of industrial equipment. Econometrica 8 (1): 12-43.
11. Rohani, A. 2009. Analaysis of tractor repair and maintenance costs and tractor economical life by using regression, artificial neural network and genetic algorithm. Faculty of Agriculture. Tabriz University. (In Farsi).
12. Rohani. A., I. Ranjbar, Y. Ajabshir, M. H. Abbaspour-Fard, and M. Valizadeh. 2009. Prediction of two-wheel drive tractor repair and maintenance costs using artificial neural network in comparing with regression. Jornal of Agricultural Sciences and Natural Resources 16: 225-235.
13. Rohani, A., M. H. Abbaspour-Fard, and S. Abdolahpour. 2011. Prediction of tractor repair and maintenance costs using artificial neural network. Expert System Applications 38: 8999-9007.
14. Taylor, J. S. 1923. A statistical theory of depreciation. Jornal of the American Statistical Association, ASA144: 1010-1023
15. Terborgh, G. W. 1949. Dynamic Equipment Policy. McGraw-Hill, New York, NY.

Archive of SID

www.SID.ir