

تعیین مدل ریاضی مناسب برای پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری هاروسترهای نیشکر

امین کیان پور^۱، نیما نصیریان^۲

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، amin.kiyanpoor@gmail.com

۲- استادیار گروه مکانیزاسیون، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، nasirian.nima@gmail.com

چکیده

تصمیم به جایگزینی یک ماشین کشاورزی مستعمل با ماشین مشابه نو، از جمله موارد مهم در امر مدیریت ماشین‌های کشاورزی می‌باشد. عملکرد مناسب و اتخاذ تصمیم صحیح در این رابطه، سبب انجام به موقع و با کیفیت عملیات کشاورزی و به تبع آن کاهش چشمگیر در هزینه‌های تولید و افزایش درآمد حاصله می‌شود. یکی از فاکتورهای اساسی در تعیین زمان جایگزینی ماشین‌های کشاورزی پیش‌بینی دقیق هزینه‌های تعمیر و نگهداری آن‌ها می‌باشد. بدین منظور مطالعه‌ای برای تعیین مدل ریاضی مناسب پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری هاروسترهای نیشکر مورد استفاده در شرکت کشت و صنعت امام خمینی (ره) شهرستان شوشتر انجام گرفت. در این مطالعه اطلاعات مربوط به هزینه‌های تعمیر و نگهداری و کارکرد سالانه ۲۵ دستگاه هاروستر مورد استفاده در این شرکت در دوره زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۰ جمع‌آوری شد. برای تعیین مدل ریاضی مناسب پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری هاروسترها، هفت مدل خطی، نمایی، لگاریتمی، توانی، معکوس، درجه ۲ و درجه ۳ مورد برازش و تجزیه واریانس قرار گرفتند که در نهایت مدل درجه ۲ با ضریب تبیین ۹۹/۹ درصد به عنوان مدل مناسب انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، مدل ریاضی، هاروستر، هزینه‌های تعمیر و نگهداری

مقدمه

مالکیت ماشین‌های کشاورزی از جمله هاروستر، نیازمند سرمایه‌گذاری قابل ملاحظه‌ای مالک ماشین‌ها است. زمان و نوع تصمیم‌گیری مالک ماشین درباره نگهداری و ادامه استفاده از ماشین قدیمی، و یا تعویض و خرید یک ماشین جدید، می‌تواند اثر مهمی روی سودآوری وی داشته باشد (Peterson and Milligan, 1976). تعیین مناسب‌ترین زمان جایگزینی ماشین‌های کشاورزی مستلزم بررسی هزینه‌ها و عملکرد اقتصادی آن‌ها است. این امر بخصوص برای ماشین‌هایی که دارای پیچیدگی بیشتری هستند و اهمیت فراوانی در درآمدزایی زارعان دارند، نقش پرنگ‌تری خواهد داشت. محاسبه صحیح زمان جایگزینی ماشین و اقدام به موقع در تعویض آن، کارکرد مستمر ماشین با ضریب اطمینان بالاتر، کاهش خرابی‌های مکرر و در نتیجه کاهش هزینه‌های فعالیت و تعمیر و نگهداری ماشین، را در پی خواهد داشت (Kitsopanidis et al., 2005). این موضوع به این دلیل اهمیت دارد که هزینه‌های

مربوط به ماشین‌ها بخش بزرگی از هزینه‌های مزرعه را تشکیل می‌دهد. به طوری که اگر هزینه‌های مربوط به زمین از میان هزینه‌های مزرعه حذف شود، هزینه‌های ماشین‌های کشاورزی ۳۵ تا ۵۰ درصد از هزینه‌های تولید محصولات کشاورزی را به خود اختصاص خواهد داد (Wahby, 2004). در حالت کلی، هزینه‌های یک ماشین کشاورزی به دو دسته هزینه‌های ثابت و هزینه‌های متغیر تقسیم می‌شوند. در حالیکه با افزایش مقدار کارکرد ماشین، میزان هزینه‌های ثابت (استهلاک و سود سرمایه) به ازای واحد عملیات (سطح یا زمان) روند نزولی داشته و کاهش می‌یابند، وضعیت عکس در مورد هزینه‌های متغیر وجود دارد. مجموع دو نوع هزینه ذکر شده، هزینه کل ماشین را تشکیل می‌دهد. برای تعیین هزینه‌های تعمیر و نگهداری ماشین‌های کشاورزی می‌توان از مدل‌های ریاضی بهره برد. با در دست داشتن این مدل‌ها می‌توان هزینه‌های مربوط به تعمیر و نگهداری ماشین‌ها را پیش از خرید تخمین زد. استاندارد ASAE معادله (۱) را برای برآورد هزینه‌های تجمعی تعمیرات و نگهداری ارائه داده است. ضرایب استفاده شده در این رابطه ضرایب تعمیرات نامیده می‌شوند. این ضرایب به علت تأثیر پذیری که از شرایط مختلفی چون سطح آموزش نیروی انسانی، عوامل محیطی و نوع و ساخت ماشین‌ها دارند، باید در هر منطقه، شهر یا کشور به طور خاص محاسبه و تعیین شوند (ASAE EP496, 2000).

$$\frac{C_{rm}}{P_u} = RF_1 \left[\frac{t}{1000} \right]^{RF_2} \quad (1)$$

که در آن C_{rm} هزینه‌های تجمعی تعمیر و نگهداری به ریال، t استفاده تجمعی بر حسب ساعت، RF_1 و RF_2 ضرایب تعمیرات و P_u قیمت خرید ماشین می‌باشد.

استاندارد ASAE با بازبینی اطلاعات قبلی معادله (۲) را برای محاسبه هزینه‌های تعمیر و نگهداری ماشین‌های کشاورزی ارائه نمود (ASAE EP496.2, 2003).

$$C_{rm} = (RF_1) P \left[\frac{h}{1000} \right]^{(RF_2)} \quad (2)$$

که در آن C_{rm} هزینه‌های تجمعی تعمیر و نگهداری به ریال، RF_1 و RF_2 ضرایب تعمیرات، P قیمت خرید ماشین به ریال و h کارکرد تجمعی ماشین به ساعت می‌باشد.

باورز و هانت معادله (۳) را برای تعیین هزینه‌های تعمیر و نگهداری ماشین‌های کشاورزی پیشنهاد کرده اند (Bowers and Hunt, 1970).

$$TAR = ILP(RF_1)(RF_2)L^{RF_3} \quad (3)$$

که در آن TAR کل هزینه‌های تعمیراتی تجمعی در مدت زمان (L) به ریال، L ساعات کار تجمعی بر حسب درصدی از عمر مبنای ماشین، ILP قیمت اولیه ماشین به ریال و RF₁ و RF₂ و RF₃ ضرایب تعمیراتی مدل می باشند که RF₂ و RF₃ برای ماشین‌های مختلف با توجه به شرایط منطقه‌ای قابل محاسبه بوده و RF₁ نسبت مجموع هزینه‌های تعمیراتی کل عمر به قیمت اولیه ماشین می‌باشد.

باورز و هانت با توجه به سن، نوع، مدل تراکتور و ساعات کارکرد تجمعی معادله $Y = 0.0455X^{1.923}$ را برای تراکتورهای چهارچرخ ارائه نمودند (Bowers and Hunt, 1970). در مطالعه‌ای تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ در مناطق مرکزی ایران مورد بررسی قرار گرفتند و معادله $Y = 0.002X^{1.162}$ برای تخمین هزینه‌های تعمیر و نگهداری پیشنهاد شد (Khoub Bakht *et al.*, 2009). در مطالعه‌ای تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ و یونیورسیال ۶۵۰ شرکت کشت و صنعت میثاق مورد مطالعه قرار گرفتند و با تفکیک ساعات کار تجمعی سالیانه، معادله $Y = 0.024X^{1.600}$ برای مقادیر کمتر از ۲۱۵۰ ساعت کار و معادله $Y = 5.659 - 0.22X + 0.005X^2$ برای ساعات کار بالاتر پیشنهاد گردیدند (عجب‌شیر و همکاران، ۱۳۸۸). در مطالعه‌ای با بررسی تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵، جاندیر ۳۳۵۰ و جاندیر ۴۹۵۵ مورد استفاده در شرکت کشت و صنعت کارون معادله $Y = 0.051886X^{1.58649}$ برای تخمین هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتورها پیشنهاد گردید (یگانه و همکاران، ۱۳۸۱). با مطالعه دروگرهای برداشت نیشکر اس‌تافت ۷۰۰۰ مورد استفاده در شرکت‌های توسعه نیشکر استان خوزستان معادله $Y = 4.415 + 0.1X + 0.006X^2$ برای تخمین هزینه‌های تعمیر و نگهداری ارائه شد (آقاجانی و همکاران، ۱۳۸۷). در مطالعه‌ای تراکتورهای نیولند TM155 و والترا ۸۴۰۰ در استان فارس مورد بررسی قرار گرفتند و مدل $Y = e^{(4.05+4.08X)}$ برای تراکتور نیولند TM155 و مدل $Y = e^{(4.83+5.02X)}$ برای تراکتور والترا ۸۴۰۰ ارائه شدند (وفایی و همکاران، ۱۳۸۶). مدل ریاضی هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ و یونیورسال ۶۵۰ در استان کرمانشاه به صورت $Y = 1.1X^{1.06}$ ارائه شد (طباطبایی فر و همکاران، ۱۳۸۱). مطالعات زیادی برای تخمین هزینه‌های تعمیر و نگهداری و تعیین عمر مفید ماشین‌های مختلف کشاورزی، در داخل و خارج کشور انجام گرفته است. از آنجایی که هاروسترهای برداشت نیشکر وارداتی بوده و هزینه خرید آن‌ها بالا می‌باشد، تعیین زمان مناسب جایگزینی آن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. از این رو تصمیم گرفته شد مطالعه‌ای در زمینه تعیین مدل ریاضی مناسب برای پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری هاروسترهای برداشت نیشکر و به دنبال آن تعیین عمر اقتصادی و زمان جایگزینی آن‌ها صورت گیرد. بدین منظور، شرکت کشت و صنعت امام خمینی (ره) واقع در منطقه شعبیه شهرستان شوشتر که از سال ۱۳۷۹ از این ماشین‌ها استفاده می‌نماید، انتخاب شد.

مواد و روش‌ها

شرکت کشت و صنعت امام خمینی (ره) شهرستان شوشتر به عنوان یکی از شرکت‌های تابعه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی، به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. این شرکت از سال ۱۳۷۹ شروع به استفاده از هاروسترهای نیشکر برای انجام عملیات برداشت مکانیزه نموده و هم اکنون از ۲۵ دستگاه هاروستر استافت ۷۰۰۰ ساخت کشور استرالیا بهره می‌گیرد. کشت و صنعت امام خمینی (ره)، یکی از واحدهای هفت‌گانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی بوده که مشخصات کلی آن به شرح زیر می‌باشد: کشت و صنعت امام خمینی (ره) در اراضی شعیبیه بین رودخانه‌های کارون و دز در ۳۰ کیلومتری جنوب شهر شوشتر واقع شده است. محدوده طرح بخشی از دشت شعیبیه واقع در دهستان شعیبیه از توابع شهرستان شوشتر به مساحت تقریبی ۱۵۳۰۰ هکتار است که از شمال به تپه‌های شمالی دشت شعیبیه، از غرب به رودخانه دز، از شرق به رودخانه کارون و از جنوب به واحد دهخدا محدود است. طول ابعادی واحد کشت و صنعت امام خمینی (ره) حدود ۳۴ کیلومتر و عرض آن حداقل ۵ و حداکثر ۱۵ کیلومتر است. این مجموعه دارای سه کارخانه شکر، خوراک دام و تخته صنعتی هر کدام با ظرفیت سالانه ۱۰۰ هزار تن می‌باشد. اطلاعات مورد نیاز برای انجام این تحقیق بدین شرح بوده است: تعداد هاروسترهای موجود در شرکت و سال خرید و بکارگیری آن‌ها، قیمت اولیه خرید و قیمت روز هاروسترها، ارزش لوازم یدکی بکار رفته در تعمیر و نگهداری سالانه هاروسترها، هزینه روغن و گریس مصرف شده در عملیات تعمیر و نگهداری سالانه هاروسترها، دستمزد پرداخت شده برای انجام تعمیرات و نگهداری سالانه هاروسترها، ساعات کارکرد سالانه هاروسترها، هزینه سالانه بیمه هاروسترها. قسمت عمده اطلاعات و آمار کسب شده در این تحقیق از دو بخش حسابداری صنعتی و دفتر فنی تجهیزات مکانیکی شرکت کشت و صنعت امام خمینی (ره) به دست آمده است. ابتدا آمار مربوط به تعداد هاروسترهای موجود در این شرکت، قیمت خرید و تاریخ خرید و بکارگیری آن‌ها از حسابداری صنعتی استعلام شد. در ادامه، اطلاعات مربوط به هزینه‌های تعمیر و نگهداری طی دوره‌های مختلف کارکرد هاروسترها از زمان بکارگیری از دفتر فنی تجهیزات مکانیکی شرکت کسب شد. میزان قطعات مصرفی، روغن و گریس و شرح تعمیرات و سرویس انجام شده از سال مالی ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۴ مربوط به هر دستگاه به صورت مجزا از پرونده‌های آن‌ها استخراج گردید. اطلاعات مربوط به میزان قطعات مصرفی، روغن و گریس و مدت زمان تعمیرات انجام شده از سال مالی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ و همچنین مقدار کارکرد هر دستگاه در سال از رایانه دفتر فنی تجهیزات مکانیکی شرکت استخراج شد. از آنجا که مقدار هزینه‌های قطعات مصرفی و روغن و گریس مصرف شده در گزارشات دفتر فنی تجهیزات ثبت نشده بود، قیمت قطعات مصرفی، روغن و گریس از حسابداری صنعتی شرکت استعلام شد. روش ثبت اطلاعات تعمیرات در شرکت کشت و صنعت امام خمینی به این صورت است که قبل از انجام هر گونه تعمیرات، اطلاعات مربوط به دستگاه و اپراتور آن به همراه شرح تعمیرات مورد نیاز در فرم دستور کار ثبت شده و پس از تایید مسئول مربوطه و ثبت در رایانه تجهیزات مکانیکی برای اقدام به کارگاه مربوطه ارجاع داده می‌شود. برای انجام سرویس دستگاه‌ها نیز اطلاعات مربوط به آن دستگاه در فرم سرویس ثبت و پس از انجام سرویس مربوطه در رایانه تجهیزات مکانیکی ثبت می‌گردد. سوخت‌گیری به صورت روزانه توسط تانکر حمل سوخت و در

موقعیت کار دستگاه‌ها صورت می‌گیرد که اطلاعات مربوط به آن پس از ثبت در فرم مخصوص سوخت در رایانه تجهیزات مکانیکی ثبت می‌گردد. دستمزد ساعتی تعمیرات با توجه به دستمزد مصوب شرکت محاسبه شد. بدین صورت که دستمزد ساعتی تعمیرات از طریق تقسیم دستمزد کل تعمیرات در طول سال بر کل ساعات تعمیرات و سرویس در همان سال بدست آمد.

$$W = \frac{C_m}{K} \quad (4)$$

که در آن W دستمزد هر ساعت تعمیرات بر حسب ریال، C_m دستمزد کل تعمیرات سالانه بر حسب ریال و K مدت زمان صرف شده برای تعمیرات در سال بر حسب ساعت می‌باشد.

برای محاسبه ساعات کارکرد هر دستگاه از گزارش کارکرد سالانه هر دستگاه که در دفتر فنی تجهیزات مکانیکی موجود بود و در آن کارکرد سالانه هر دستگاه بر حسب ساعت درج شده بود استفاده گردید. برای تعیین مدل ریاضی مناسب جهت پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری هاروسترها، دو گروه داده‌های اصلی با حذف سایر تاثیرات، توسط مدل‌های ریاضی مختلف برازش و تجزیه رگرسیون شدند. این دو گروه داده‌های اصلی عبارتند از: ساعات کارکرد تجمعی بر حسب درصدی از عمر مبنا که از حاصل جمع ساعات کارکرد هر سال با سال قبل بدست می‌آید و به عنوان متغیر مستقل (X) در نظر گرفته می‌شود.

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{L_0} \quad (5)$$

که در آن X ساعات کارکرد تجمعی هاروستر بر حسب درصدی از عمر مبنا، x_i ساعات کارکرد سالانه هاروستر در سال i و L_0 عمر مبنا هاروستر می‌باشد.

هزینه تعمیر و نگهداری تجمعی به صورت درصدی از قیمت خرید اولیه هاروسترها که از حاصل جمع هزینه تعمیر و نگهداری سالانه هر سال با سال قبل و تقسیم آن بر قیمت خرید اولیه محاسبه و به عنوان متغیر وابسته مدل (Y) در نظر گرفته می‌شود.

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{P_u} \quad (6)$$

که در آن Y هزینه تعمیر و نگهداری تجمعی بر حسب درصدی از قیمت خرید اولیه هاروسترها، y_i هزینه تعمیر و نگهداری سالانه هاروستر در سال i به ریال و P_u قیمت خرید اولیه هاروستر به ریال می‌باشد.

در مورد ساعات کارکرد هاروسترها، تاثیر جانی وجود نداشته و با محاسبه مقادیر کارکرد سالانه و جمع کردن این ساعات کارکرد برای سال‌های مختلف، مقدار تجمعی ساعات کارکرد مشخص می‌شود. عمر مبنا جهت محاسبه درصد ساعات کارکرد تجمعی بر

حسب آن با توجه به توصیه کارخانه سازنده، برابر ۱۰۰۰۰ ساعت در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که این عمر مبنا تعیین کننده گستره تغییرات زمانی در فرمول ریاضی مورد نظر خواهد بود و تاثیری در نتایج حاصل از فرمول استخراج شده نخواهد داشت. برای حذف تاثیر تورم در میزان هزینه‌های سال‌های مختلف، اعم از هزینه‌های لوازم یدکی، دستمزدها و مواد مصرفی، کلیه قیمت‌ها بر مبنای قیمت‌های سال مالی ۱۳۹۰ محاسبه گردید و مبنای تعدیل تورمی، قیمت‌های رایج در این سال بود. قیمت اولیه خرید هاروسترها نیز بر مبنای قیمت‌های این سال محاسبه گردید. برای تعیین مدل ریاضی مناسب پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری، از آنالیز رگرسیون به روش حداقل مربعات معمولی، با بکارگیری هفت مدل ریاضی مختلف استفاده شد. مدل‌های مورد بررسی عبارت بودند از:

$$Y = a + b.X \quad (7) \text{ مدل خطی (Linear)}$$

$$Y = ae^{b.X} \quad (8) \text{ مدل نمایی (Exponential)}$$

$$\frac{1}{Y} = a + b.X \quad (9) \text{ مدل معکوس (Inverse)}$$

$$Y = a.X^b \quad (10) \text{ مدل توانی (Power)}$$

$$Y = a + b.LnX \quad (11) \text{ مدل لگاریتمی (Logaritmik)}$$

$$Y = a + b.X + c.X^2 \quad (12) \text{ مدل درجه دوم (Quadratic)}$$

$$Y = a + b.X + c.X^2 + d.X^3 \quad (13) \text{ مدل درجه سوم (Qubic)}$$

که در آن Y هزینه‌های تجمعی تعمیر و نگهداری هاروسترها بر حسب درصدی از قیمت خرید اولیه، X ساعات کارکرد تجمعی هاروسترها بر حسب عمر مبنا و a,b,c,d ضرایب تعمیرات می‌باشد.

با تجزیه رگرسیون برای هر مدل با استفاده از مقادیر داده‌های موجود، مناسب‌ترین مدل ریاضی با مقایسه مقادیر ضریب تبیین

(R²)، ضریب همبستگی (r) و F مربوط به هر مدل، استخراج گردید. جهت برازش اطلاعات با مدل‌های مورد آزمایش از نرم‌افزار ۲۱ SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

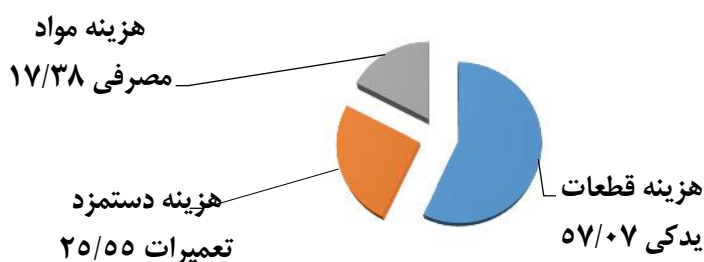
طی بررسی میزان هزینه‌های تعمیر و نگهداری در سال‌های مختلف کارکرد هاروسترها، سه هزینه عمده که عبارتند از هزینه

لوازم یدکی، دستمزد تعمیرات و مواد مصرفی (شامل روغن، گریس و فیلترهای مصرف شده) مورد محاسبه قرار گرفتند. جدول ۱

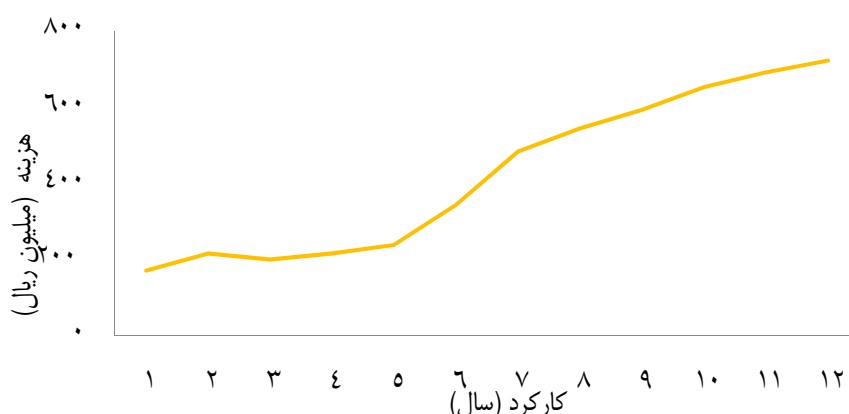
مقدار متوسط هزینه‌های تعمیر و نگهداری سالانه هاروسترها و همچنین مقدار کارکرد متوسط سالانه آن‌ها را نشان می‌دهد. در این جدول سهم هر یک از اقلام هزینه به تفکیک مشخص گردیده است. مقدار میانگین کارکرد متوسط سالانه هاروسترها طبق جدول ۱ در دوره مورد مطالعه (۱۳۷۹-۱۳۹۰) برابر ۱۱۸۹/۶۶ ساعت و میانگین مقدار متوسط هزینه‌ها برابر ۴۲۳/۱۱۹ میلیون ریال برآورد گردیده است. بدین ترتیب مقدار متوسط هزینه تعمیر به ازای هر ساعت فعالیت هاروسترها برابر ۳۵۲/۳۸۴ هزار ریال می‌باشد. شکل ۲ روند افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری با بالا رفتن سن هاروسترها را نمایش می‌دهد. همچنین شکل ۱ سهم هر یک از اقلام را در کل هزینه‌های سالانه هاروسترها نمایش می‌دهد. با توجه به این شکل، هزینه لوازم یدکی با ۲۴۱/۴۲۳ میلیون ریال مقدار متوسط هزینه سالانه که ۵۷/۰۷ درصد از کل هزینه‌ها را در بر می‌گیرد، بیشترین مقدار را به خود اختصاص می‌دهد. پس از آن هزینه‌های مربوط به دستمزد تعمیرات با مقدار ۱۰۷/۵۶۳ میلیون ریال مقدار متوسط سالانه و ۲۵/۵۵ درصد از کل هزینه‌ها، در رتبه بعد قرار می‌گیرد. کمترین مقدار متوسط هزینه‌ها مربوط به هزینه‌های مواد مصرفی با مقدار ۷۴/۱۳۲ میلیون ریال در سال و ۱۷/۳۸ درصد از کل هزینه‌ها می‌باشد.

جدول (۱) مقادیر متوسط هزینه‌های سالانه تعمیر و نگهداری و متوسط ساعات کارکرد سالانه هاروسترها

سن هاروستر ها (سال)	تعداد در گروه	میانگین هزینه لوازم یدکی سالانه		میانگین هزینه دستمزد تعمیرات و نگهداری سالانه		میانگین هزینه مواد مصرفی سالانه		میانگین مجموع هزینه های سالانه تعمیر و نگهداری (میلیون ریال)	کارکرد سالیانه (ساعت)	هزینه تعمیر ساعتی (هزار ریال)
		مقدار (میلیون ریال)	درصد	مقدار (میلیون ریال)	درصد	مقدار (میلیون ریال)	درصد			
۱	۵	۹۵/۳۲	۵۵/۴۱	۴۷/۱۳۱	۲۷/۴	۲۹/۵۸۲	۱۷/۱۹	۱۷۲/۰۳۳	۱۰۹۶/۰۴	۱۵۶/۹۵۹
۲	۱۷	۱۲۲/۹۲۶	۵۶/۸۳	۵۵/۵۸۱	۲۵/۶۹	۳۷/۸۱۱	۱۷/۴۸	۲۱۶/۳۱۸	۱۲۵۰/۱۲	۱۷۳/۰۳۸
۳	۲۲	۱۱۸/۷۴	۵۹/۲۹	۵۱/۷۵۷	۲۵/۸۵	۲۹/۷۷۰	۱۴/۸۷	۲۰۰/۲۶۷	۱۱۶۴/۸۷	۱۷۱/۹۲۲
۴	۲۳	۱۲۳/۴۰۸	۵۷/۱۱	۵۴/۲۰۹	۲۵/۰۹	۳۸/۴۵۹	۱۷/۸	۲۱۶/۰۷۶	۱۲۴/۰۱۵	۱۷۴/۲۳۴
۵	۲۳	۱۳۶/۳۴۷	۵۷/۰۹	۶۰/۴۴۰	۲۵/۳۱	۴۲/۰۴۰	۱۷/۶	۲۳۸/۸۲۷	۱۱۵۴/۴۲	۲۰۶/۸۸۱
۶	۲۵	۱۹۵/۸۲۱	۵۶/۹۸	۸۶/۸۶۴	۲۵/۲۷	۶۰/۹۹۰	۱۷/۷۵	۳۴۳/۶۷۵	۱۰۷۲/۴۲	۳۲۰/۴۶۷
۷	۲۵	۲۷۶/۵۱۶	۵۷/۰۵	۱۲۲/۷۰۱	۲۵/۳۱	۸۵/۴۷۱	۱۷/۶۴	۴۸۴/۶۸۸	۱۱۲۴/۱۲	۴۳۱/۱۷۱
۸	۲۵	۳۱۰/۷۴۸	۵۷/۰۴	۱۳۷/۸۹۳	۲۵/۳۱	۹۶/۱۰۳	۱۷/۶۵	۵۴۴/۷۴۴	۱۲۱۴/۱۹	۴۴۸/۶۴۸
۹	۲۵	۳۳۸/۸۴۴	۵۷/۰۷	۱۵۰/۰۸۷	۲۵/۲۸	۱۰۴/۷۴۱	۱۷/۶۵	۵۹۳/۶۷۲	۱۲۲۸/۱۴	۴۸۳/۳۹۱
۱۰	۲۵	۳۷۱/۳۷۴	۵۶/۸۵	۱۶۶/۱۱۳	۲۵/۴۳	۱۱۵/۷۵۴	۱۷/۷۲	۶۵۳/۲۴۱	۱۲۳۰/۱۸	۵۳۱/۰۱۳
۱۱	۲۵	۳۹۴/۱۱۹	۵۷	۱۷۴/۸۰۰	۲۵/۲۸	۱۲۲/۵۰۴	۱۷/۷۲	۶۹۱/۴۲۳	۱۲۶۳/۱۴	۵۴۷/۳۸۴
۱۲	۲۵	۴۱۲/۹۲	۵۷/۱۵	۱۸۳/۱۸۸	۲۵/۳۵	۱۲۶/۳۶۰	۱۷/۵	۷۲۲/۴۶۸	۱۲۳۸/۱۶	۵۸۳/۵۰۱
میانگین		۲۴۱/۴۲۳	۵۷/۰۷	۱۰۷/۵۶۳	۲۵/۵۵	۷۴/۱۳۲	۱۷/۳۸	۴۲۳/۱۱۹	۱۱۸۹/۶۶	۳۵۲/۳۸۴



شکل (۱) نمایش درصدی سهم هر یک از اقلام هزینه در کل هزینه‌های سالانه تعمیر و نگهداری هاروسترها



شکل (۲) منحنی نمایش روند تغییرات هزینه‌های تعمیر و نگهداری در مقابل سن هاروسترها

با استفاده از جدول ۱ مقادیر تجمعی هزینه‌های تعمیر و نگهداری و همچنین ساعات کارکرد تجمعی هاروسترها بدست آمد. مقادیر داده‌های Y (متغیر وابسته: هزینه‌های تعمیر و نگهداری تجمعی بر حسب درصدی از قیمت اولیه) با استناد به قیمت روز هاروستر که در سال مالی ۱۳۹۰ معادل ۳۳۸۰ میلیون ریال بود، محاسبه شد. مقادیر داده‌های X (متغیر مستقل: ساعات کار تجمعی بر حسب درصدی از عمر مبنا) با استناد به عمر مبنای توصیه شده توسط کارخانه سازنده که معادل ۱۰۰۰۰ ساعت بود، محاسبه شد. نتایج حاصل از عملیات فوق در جدول ۲ درج گردیده است. با استفاده از اطلاعات جدول ۲ عملیات تجزیه رگرسیون صورت گرفت که نتایج حاصل از این عملیات برای هفت مدل ریاضی مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است. جهت تعیین بهترین مدل برای برازش داده‌های مربوط به هاروسترها عملیات تجزیه واریانس نیز انجام شده و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت. این نتایج در جدول ۴ نمایش داده شده اند. شکل ۳ برازش رگرسیونی مدل‌های ریاضی مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.

جدول (۲) مقادیر ساعات کارکرد تجمعی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری تجمعی هاروسترها

سن هاروستر (سال)	کارکرد تجمعی		هزینه‌های تعمیر تجمعی	
	مقدار (ساعت)	درصد (از عمر مینا)	مقدار (میلیون ریال)	درصد (از قیمت اولیه)
۱	۱۰۹۶/۰۴	۱۰/۹۶	۱۷۲/۰۳۳	۵/۰۹
۲	۲۳۴۶/۱۶	۲۳/۴۶	۳۸۸/۳۵۱	۱۱/۴۹
۳	۳۵۱۱/۰۳	۳۵/۱۱	۵۸۸/۶۱۸	۱۷/۴۱
۴	۴۷۵۱/۱۸	۴۷/۵۱	۸۰۴/۶۹۴	۲۳/۸۱
۵	۵۹۰۵/۶۰	۵۹/۰۶	۱۰۴۳/۵۲۱	۳۰/۸۷
۶	۶۹۷۸/۰۲	۶۹/۷۸	۱۳۸۷/۱۹۶	۴۱/۰۴
۷	۸۱۰۲/۱۴	۸۱/۰۲	۱۸۷۱/۸۸۴	۵۵/۳۸
۸	۹۳۱۶/۳۳	۹۳/۱۶	۲۴۱۶/۶۲۸	۷۱/۵۰
۹	۱۰۵۴۴/۴۷	۱۰۵/۴۴	۳۰۱۰/۳۰۰	۸۹/۰۶
۱۰	۱۱۷۷۴/۶۵	۱۱۷/۷۵	۳۶۶۳/۵۴۱	۱۰۸/۳۹
۱۱	۱۳۰۳۷/۷۹	۱۳۰/۳۸	۴۳۵۴/۹۶۴	۱۲۸/۸۵
۱۲	۱۴۲۷۵/۹۵	۱۴۲/۷۶	۵۰۷۷/۴۳۲	۱۵۰/۲۲

جدول (۳) نتایج تجزیه رگرسیون داده‌های مربوط به هاروسترها

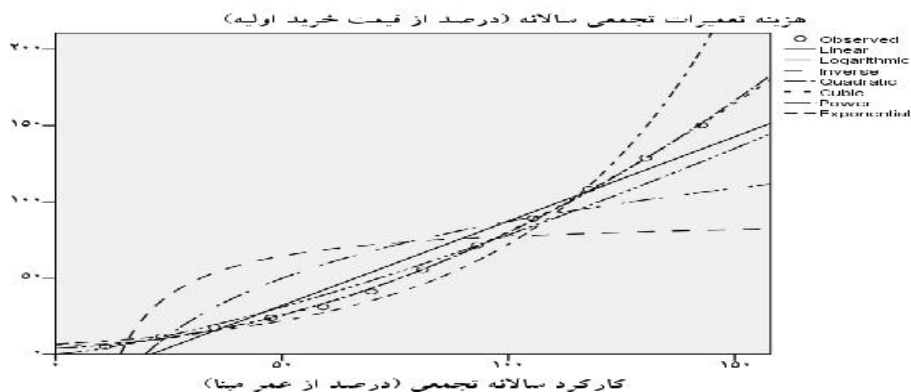
مدل	ساختار ریاضی	ضرایب معادله			
		d	c	b	a
خطی	$Y = a + b.X$	-	-	۱/۱۰۸**	-۲۳/۵۱۷*
لگاریتمی	$Y = a + b.LnX$	-	-	۵۳/۸۰۷**	-۱۶۰/۷۷۱*
معکوس	$\frac{1}{Y} = a + b.X$	-	-	-۱۲۹۴/۷۹۶*	۹۰/۱۲۶۷**
درجه ۲	$Y = a + b.X + c.X^2$	-	./۰.۰۶**	./۱۱۳*	۳/۹۱۰*
درجه ۳	$Y = a + b.X + c.X^2 + d.X^3$	-	./۰.۰۹**	./۰.۳۳ ^{n.s}	۶/۱۱۳*
توانی	$Y = a.X^b$	-	-	۱/۳۴۳**	۰/۱۶۲*
نمایی	$Y = a.e^{b.X}$	-	-	./۰.۲۴**	۶/۶۱۶**

**معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، *معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، ^{n.s} بدون معنی

جدول (۴) نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به هاروسترها

مدل ریاضی	منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	R ²	r
خطی	مدل	۱	۳۴۷۲۴/۴۱۷	۲۰۹/۵۷۷**	%۹۵/۴	۰/۹۷۷
	خطا	۱۰	۱۱۷/۹۷۳			
لگاریتمی	مدل	۱	۱۸۹۳۳/۷۹۱	۲۷/۱۱۰**	%۷۳/۱	۰/۸۵۵
	خطا	۱۰	۶۹۸/۰۳۵			
معکوس	مدل	۱	۱۰۶۱۶/۶۸۳	۶/۹۴۵*	%۴۱	۰/۶۴۰
	خطا	۱۰	۱۵۲۸/۷۴۶			
درجه ۲	مدل	۲	۱۲۹۴۰/۶۵۳	۵۰۹۹/۴۶۴**	%۹۹/۹	۱/۰۰۰
	خطا	۹	۲/۵۳۸			
درجه ۳	مدل	۳	۸۶۲۸/۲۵۰	۳۵۵۹/۰۰۸**	%۹۹/۹	۱/۰۰۰
	خطا	۸	۲/۴۲۴			
توانی	مدل	۱	۱۱/۷۷۶	۴۷۵/۶۷۱**	%۹۷/۹	۰/۹۹۰
	خطا	۱۰	۰/۰۲۵			
نمایی	مدل	۱	۱۱/۴۹۹	۲۱۹/۰۸۳**	%۹۵/۶	۰/۹۷۸
	خطا	۱۰	۰/۰۵۲			

**معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، *معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد



شکل (۳) برازش رگرسیونی مدل‌های مختلف ریاضی

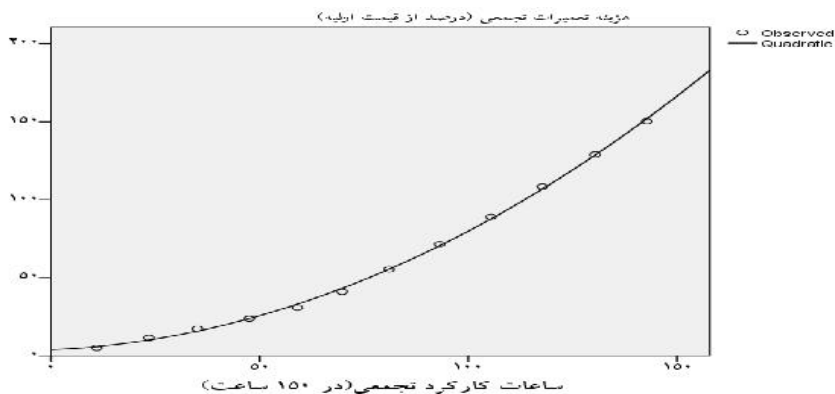
پس از تشکیل جداول برآورد ضرایب و تجزیه واریانس برای کلیه مدل‌های ریاضی، معنی‌دار بودن مدل‌ها و ضرایب آن‌ها با آماره‌های F و t استیودنت مورد آزمون قرار گرفت. با توجه به مقادیر F بدست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها که در جدول ۴ آمده است و مقایسه آن با مقادیر جدول توزیع F ، مشخص شد که مقدار F کلیه مدل‌ها بجز مدل معکوس (این مدل در سطح ۵ درصد معنی‌دار است) در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد، لذا نتیجه گیری می‌شود که کلیه مدل‌های ریاضی همبستگی مناسب و معنی‌داری را با داده‌های مربوط برقرار می‌سازند. مقایسه ضرایب تبیین (R^2) برآورد شده کلیه مدل‌های ریاضی نشان داد که مدل‌های درجه دوم، درجه سوم، توانی، نمایی و خطی به ترتیب دارای بالاترین مقدار ضریب تبیین می‌باشند. بدین معنی که توجیه مناسبی از تنوع مشاهده شده بین دو متغیر مستقل و وابسته را بیان می‌کنند. با بررسی ضرایب مدل‌های ریاضی مشخص شد مقدار عدد ثابت بدست آمده برای مدل خطی منفی می‌باشد که به دلیل برآورد مقدار هزینه منفی در سال‌های اولیه عمر ماشین نمی‌تواند مورد قبول باشد. تابع نمایی با وجود معنی‌دار بودن ضرایب در سطح یک درصد هزینه‌ها را بسیار بیشتر از مقدار واقعی تخمین می‌زد. تابع توانی نیز با وجود معنی‌دار بودن ضرایب در سطح پنج درصد هزینه‌ها را کمتر از مقدار واقعی تخمین می‌زد. دو تابع درجه دوم و درجه سوم کمترین اختلاف را در میزان هزینه‌های پیش‌بینی شده با مقدار هزینه‌های واقعی موجود سال‌های مطالعه داشتند که با بررسی ضرایب آن‌ها مشخص شد ضرایب تابع درجه سوم در سطح بالاتر از پنج درصد معنی‌دار شده‌اند و ضرایب تابع درجه دوم در سطح پنج درصد معنی‌دار گردیده‌اند.

نتیجه‌گیری

بنابراین تابع درجه دوم با داشتن ضریب تبیین ۹۹/۹٪ و ضریب همبستگی ۱/۰۰۰ به عنوان مدل مناسب برای پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری هاروسترهای برداشت نیشکر مورد استفاده در شرکت کشت و صنعت امام خمینی (ره) انتخاب گردید که به صورت معادله ۱۴ می‌باشد و منحنی آن در شکل ۴ نشان داده شده است.

$$Y = 3.910 + 0.113\left(\frac{X}{100}\right) + 0.006\left(\frac{X}{100}\right)^2 \quad (14)$$

که در آن Y هزینه تعمیرات تجمعی بر حسب درصدی از قیمت اولیه و X کارکرد تجمعی بر حسب ساعت می‌باشد.

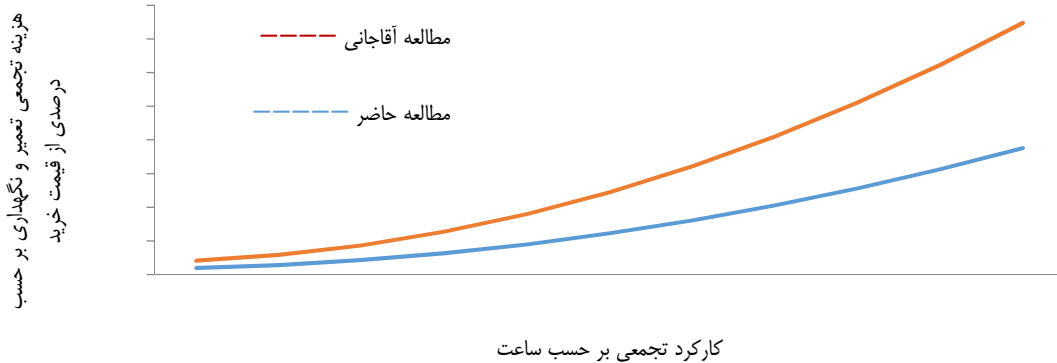


شکل (۴) منحنی برازش شده مدل درجه دوم برای پیش‌بینی هزینه تعمیر و نگهداری هاروسترها

در جدول ۵ مقادیر هزینه‌های تعمیر و نگهداری تجمعی به ازای ساعات کارکرد هاروستر که با استفاده از مدل درجه دوم بدست آمده، برآورد شده‌اند، درج گردیده است. جهت بررسی مدل نهایی بدست آمده از این تحقیق با نتایج سایر تحقیقات منحنی هزینه‌های پیش‌بینی شده توسط این مدل‌ها برای ساعات کارکرد از صفر تا ۱۰۰۰۰ ساعت در یک مجموعه رسم گردید. شکل ۵ نمایش دهنده این مقایسه می‌باشد. چنانچه در شکل ۵ مشاهده می‌شود منحنی حاصل از این تحقیق، مقدار هزینه‌ها را در سطحی پایین‌تر و با شیب یکسان نسبت به مطالعات قبلی تخمین می‌زند.

جدول (۵) پیش‌بینی مقادیر هزینه‌های تعمیر و نگهداری با استفاده از مدل درجه دوم

ساعات کارکرد	هزینه تعمیرات تجمعی (درصد از قیمت اولیه)	هزینه تعمیرات تجمعی (میلیون ریال)
۱۰۰۰	۵/۶۵	۱۹۰/۶۳۲
۲۰۰۰	۸/۵۷	۲۸۹/۶۶۶
۳۰۰۰	۱۲/۷۰	۴۳۹/۲۶۰
۴۰۰۰	۱۸/۰۳	۶۰۹/۴۱۴
۵۰۰۰	۲۴/۵۶	۸۳۰/۱۲۸
۶۰۰۰	۳۲/۲۹	۱۰۹۱/۴۰۲
۷۰۰۰	۴۱/۲۲	۱۳۹۳/۲۳۶
۸۰۰۰	۵۱/۳۵	۱۷۳۵/۶۳
۹۰۰۰	۶۲/۶۸	۲۱۱۸/۵۸۴
۱۰۰۰۰	۷۵/۲۱	۲۵۴۲/۰۹۸
۱۱۰۰۰	۸۸/۹۴	۳۰۰۶/۱۷۲
۱۲۰۰۰	۱۰۳/۸۷	۳۵۱۰/۸۰۶
۱۳۰۰۰	۱۲۰/۰۰	۴۰۵۶
۱۴۰۰۰	۱۳۷/۳۳	۴۶۴۱/۷۵۴
۱۵۰۰۰	۱۵۵/۸۶	۵۲۶۸/۰۶۸



شکل (۵) مقایسه مدل ریاضی بدست آمده با سایر مطالعات

منابع

- ۱- آقاجانی، م.، و ر. الهی و ک.ا. جزایری. ۱۳۹۰. تعیین مدل ریاضی و ضرایب تعمیراتی مناسب برای پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری دروگر نیشکر مدل اس تافت. اولین همایش ملی راهبردهای دستیابی به کشاورزی پایدار. دانشگاه پیام‌نور اهواز.
- ۲- طباطبایی، ا. ۱۳۸۱. تهیه مدل ریاضی هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ و یونیورسال ۶۵۰ در استان کرمانشاه. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی. سال هشتم. شماره ۴.
- ۳- عجب شیرچی، ی. و ا. رنجبر و م. ولیزاده و ا. عزیزپناه و ع. عزیزپناه. ۱۳۸۸. تعیین بهترین مدل ریاضی جهت پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتورهای موجود در شرکت کشت و صنعت میثاق استان ایلام. مجله دانش کشاورزی پایدار. جلد ۱. شماره ۱. ۷۱-۸۰.
- ۴- وفایی، م.ر. و ح. مشهدی میغانی و ع.م. برقی. ۱۳۸۶. تعیین مدل ریاضی هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتورهای نیوهلند مدل TM155 و والترا ۸۴۰۰ در استان‌های مرکزی و فارس. مجله یافته‌های نوین کشاورزی. سال دوم. شماره ۲. ۱۹۹-۱۹۰.
- ۵- یگانه، ح. و م. الماسی. ۱۳۸۱. تعیین مدل ریاضی مناسب برای پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتورهای کشاورزی مورد استفاده در کشت و صنعت کارون. مجله علوم کشاورزی. جلد ۳۳. شماره ۴. ۷۰۷-۷۱۶.

6- ASAE Standards. 2000. S496. Uniform Terminology for Agricultural Machinery Management.

7- ASAE Standards. 2003. EP496.2. Agricultural Machinery Management.

- 8- Bowers, W. and D.R. Hunt. 1970. Application of mathematical formulas to repair cost data. Transactions of the ASAE. 13(6):806-809.
- 9- Khoub Bakht, G.H. and H.Ahmadi and A.Akram and M.Karimi. 2009. Repair and maintenance cost for MF285 tractor: A case study in central region of Iran. Advances in biological research 3(1-2):19-23.
- 10- Kitsopanidis, G. and E.Mygdakos and T.Gemtos. 2005. Optimum replacement time for cotton pickers in Greece. Agricultural Economics Review. 6. 54-63.
- 11- Peterson, C.L. and J.H.Milligan. 1976. Economic life analysis for machinery replacement decision. Transaction of the ASAE. 19. 5. 819-824.
- 12- Wahby, M.F. and S.A.Alsuhaibani. 2004. Repair and maintenance cost models for agricultural equipment in Saudi Arabia. Emir Journal Agricultural Science. 3. 2. 59-69.

Determine the Appropriate Mathematical Model to Predict Repair and Maintenance Costs of Sugarcane's Harvesters

Amin Kiyanpoor¹, Nima Nasirian²

1- MSc, Shushtar

2- PHD, Department of Mechanization, Shushtar Azad University

Abstract

One of the important items in farm machinery management is making decision about replacement of old farm machine with same as new one. The proper performance in this case can be finish farm operations in right time with high quality which is reduce product costs and increase incoming. One of the main factors to determine replacement farm machinery time is forecast repair and maintenance costs. This study aimed to determine the proper mathematical model to predict the cost of repair and maintenance of sugarcane's harvesters. The annual operations and repair and maintenance costs of 25 harvesters collected in Imam Khomeini sugarcane production industry of shoshtar area from 1379 to 1390. To determine the proper mathematical model to predict harvesters repair and maintenance costs examine seven models which is including linear, inverse, exponential, logarithmic, power, quadratic and cubic. The quadratic model choose as appropriate model with 99.9 percent R square.

Key words: Predict, Mathematical model, Harvester, Repair and Maintenance Costs