

## پیش بینی عمر اقتصادی تراکتور دو چرخ محرک با استفاده از مدل هزینه تجمعی و مقایسه آن با مدل کمینه سازی هزینه ها

عباس روحانی<sup>۱\*</sup>، حسن مسعودی<sup>۲</sup>

۱- نویسنده مسؤول: استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (arohani@um.ac.ir)

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۲۸

### چکیده

جایگزینی تراکتورها کار بسیار مشکلی است. اغلب مدیران مزرعه نیاز به اتخاذ چنین تصمیم اقتصادی در مورد ماشین های خود دارند. هزینه های تعمیر و نگهداری می تواند اثرات معنی داری بر چنین تصمیم های اقتصادی و پیش بینی ها داشته باشند. هدف از این تحقیق تعیین مدل رگرسیونی است که بتواند عمر اقتصادی را تعیین کند. این مطالعه با استفاده از داده های واقعی ۶۰ تراکتور دو چرخ محرک از کشت و صنعت آستان قدس رضوی در طول سال های ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۴ انجام شد. مدل توانی به عنوان بهترین مدل جهت پیش بینی هزینه های تعمیر و نگهداری انتخاب گردید. بر اساس مدل توانی، مدل هزینه تجمعی (CCM) برای پیش بینی عمر اقتصادی تراکتورها استفاده شد. بر اساس مدل هزینه تجمعی ۲۹۰۲۵ ساعت به عنوان عمر اقتصادی تراکتور مورد مطالعه به دست آمد، در حالی که بر اساس مدل کمینه سازی هزینه ها (CMM) این پارامتر برابر ۲۷۷۷۳ ساعت بود.

**کلید واژه ها:** تراکتور، عمر اقتصادی، مدل هزینه تجمعی، مدل کمینه سازی هزینه ها.

### مقدمه

دستیابی به تولید و سود بیشتر و تصمیمات مکانیکی با هدف حفظ و افزایش قابلیت اطمینان ماشین باشد. تصمیمات مربوط به ماشین ها بایستی بر اساس اصول علمی و اقتصادی اتخاذ گردد و نه بر اساس احساس یا مشاهدات مستقیم (تلسانگ<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵). بیشتر مدل های جایگزینی اقتصادی با هدف پیش بینی عمر بهینه اقتصادی ماشین بنا شده اند؛ بنابراین هدف پیدا کردن مدت زمان بهینه از سرویس دهی ماشین می باشد. بعد از این زمان مدیر باید حداقل یکی از گزینه های جایگزینی، بازنشستگی، بازسازی مجدد و غیره را مورد ارزیابی قرار دهد. عدم انتخاب یکی از این گزینه ها و نگهداری ماشین در همان حالت اولیه خود صرفه اقتصادی نخواهد داشت

اغلب ماشین های کشاورزی به دلیل نیاز به سرمایه بالا برای خرید، مدیریت علمی طلب می کنند. مدیر در طول مدت عمر ماشین ها مواجه با تصمیماتی از قبیل زمان سرویس دهی، تعمیر، بازسازی و خرید یا تعویض ماشین می باشد. همواره ارزیابی کیفی و کمی ماشین ها برای انجام به موقع عملیات زراعی از قبل برنامه ریزی شده، یکی از وظایف بسیار مهم هر مدیر می تواند باشد. در مدیریت ماشین های کشاورزی تراکتور به عنوان مهم ترین ابزار اجرایی مدیر است؛ بنابراین هر قدر توانایی مدیر در پیش بینی وقایعی از قبیل زمان تعمیر و جایگزینی بیشتر باشد، احتمال موفقیت او در انجام به موقع عملیات زراعی زیادتر خواهد بود. تصمیمات مدیریتی ماشین می تواند شامل تصمیمات عملیاتی با هدف

تراکتور دو چرخ محرک فعال در مزرعه نمونه آستان قدس رضوی در استان خراسان رضوی برای چهار نوع تراکتور جان‌دیر ۳۱۴۰، جان‌دیر ۴۴۵۰، مسی فرگوسن ۲۸۵ و فیات ۴۴۵ به ترتیب به تعداد ۲۸، ۵، ۱۷ و ۱۰ دستگاه استفاده گردید. این داده‌ها شامل هزینه تعمیرات (هزینه قطعات یدکی و دستمزد تعمیرات)، هزینه روغن (هزینه روانسازها و فیلترهای روغن)، هزینه سوخت (هزینه گازوئیل و فیلترهای سوخت)، هزینه تعمیر و نگهداری (مجموع هزینه تعمیرات، روغن و سوخت) و سال خرید و ساخت هر تراکتور می‌باشند.

### استانداردسازی داده‌ها

در ابتدا و قبل از محاسبه هزینه تجمعی باید اثر تورم بر هزینه‌ها را تعدیل کرد (اسکوئزاد، ۱۳۸۳). به دلیل متفاوت بودن هزینه‌های تعمیر و نگهداری و نیز قیمت خرید اولیه انواع تراکتورهای مورد مطالعه و نیز متفاوت بودن طبیعت داده‌های مربوط به هر نوع تراکتور به دلیل به کارگیری آنها در عملیات زراعی مختلف، تمام این هزینه‌ها توسط رابطه (۱) استانداردسازی شد (میشل، ۱۹۹۸):

$$CCI_t = \frac{\sum_{t_0}^t C_t}{PP_0} \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه  $CCI_t$  شاخص هزینه تجمعی در زمان  $t$ ،  $C_t$  هزینه تعمیر و نگهداری در زمان  $t$  و  $PP_0$  قیمت خرید اولیه تراکتور می‌باشند. این شاخص در طول عمر تقویمی تراکتور همواره روند افزایشی یا ثابت دارد. بعد از استاندارد کردن هزینه‌ها، شاخص‌های تجمعی به صورت شاخص هزینه تجمعی تعمیراتی ( $CCI_{repair}$ )، شاخص هزینه تجمعی روغن ( $CCI_{oil}$ )، شاخص هزینه تجمعی سوخت ( $CCI_{fuel}$ ) محاسبه شد. این شاخص‌ها به عنوان متغیرهای وابسته در روش رگرسیون استفاده شد. شاخص هزینه تعمیر و نگهداری تجمعی برابر است با مجموع سه شاخص هزینه تجمعی سوخت، روغن و تعمیرات.

(تربورق<sup>۱</sup>، ۱۹۹۴). نظریه کمیته‌سازی هزینه به دنبال نقطه‌ای زمانی است که کاهش هزینه‌های مالکیت و افزایش هزینه‌های عملیاتی به یک حالت تعادلی برسند. عمر بهینه اقتصادی زمانی از عمر ماشین می‌باشد که شیب منحنی متوسط کل هزینه‌ها به صفر برسد (ادواردز<sup>۲</sup>، ۲۰۰۲) مدل پیشینه‌سازی سود با سه منحنی متوسط کل هزینه‌ها، متوسط درآمد و متوسط سود قابل توصیف می‌باشد. منحنی متوسط سود تقریباً قرینه منحنی متوسط کل هزینه‌ها است. عمر بهینه اقتصادی در نقطه اوج منحنی متوسط سود اتفاق می‌افتد (میشل<sup>۳</sup>، ۱۹۹۸). مدل هزینه تجمعی با داشتن تمام جنبه‌های مفید مدل‌های بالا قادر است به راحتی در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی مربوط به ماشین با اطمینان مورد استفاده قرار گیرد. روش‌های تحلیلی می‌توانند قابلیت‌های شهودی مدیر را افزایش دهند. داگلاس روش پیشینه‌سازی سود را به دو روش دیگر کمیته‌سازی هزینه و ادراک شهودی ترجیح داد و معتقد بود که تنها زمانی باید از سیاست کمیته‌سازی هزینه استفاده کرد که نتوان به طور کامل و دقیق سودها را محاسبه کرد (داگلاس<sup>۴</sup>، ۱۹۷۵).

هدف از انجام این پژوهش معرفی مدل هزینه تجمعی<sup>۵</sup> (CCM) به منظور پیش‌بینی عمر اقتصادی تراکتور و مقایسه نتایج آن با مدل کمیته‌سازی هزینه‌ها<sup>۶</sup> (CMM) می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

**داده‌های هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتور**  
داده‌های مزرعه‌ای تصویر واقعی تری را از چگونگی تغییرات هزینه‌های تعمیر و نگهداری در طول زمان نشان می‌دهند. برای انجام این تحقیق از داده‌های هزینه‌های تعمیر و نگهداری ماهانه در طی ۱۸ سال مربوط به ۶۰

- 
- 1- Terborgh
  - 2- Edwards
  - 3- Mitchell
  - 4- Douglas
  - 5- Cumulative Cost Model (CCM)
  - 6- Cost Minimization Model (CMM)

## طول عمر

عموماً متغیر مستقل در مدل رگرسیونی هزینه جمعی، عمر تراکتور است. برای طول عمر سه تعریف عمر تقویمی، عمر برحسب واحدهای تولید محصول و ساعات کارکرد جمعی وجود دارد و از بین آنها ساعات کارکرد جمعی<sup>۱</sup> (CHU)، مناسب‌ترین تعریفی است که می‌توان از عمر تراکتور داشت (میشل، ۱۹۹۸). CHU تعداد ساعاتی را که تراکتور به طور فیزیکی کار کرده است نشان می‌دهد و نیز تغییرات بسیار زیاد هزینه‌های تعمیر و نگهداری را به خوبی در طول زمان تعدیل می‌کند. به دلیل سالم نبودن ساعت شمار تراکتورها، تعداد ساعات کارکرد هر تراکتور بر اساس تعداد تعویض روغن موتور محاسبه گردید. برای دستیابی به عملکرد بهتر مدلسازی این هزینه‌ها توسط تکنیک رگرسیونی، CHU بر حسب صد ساعت محاسبه شد.

## فرض‌های مدلسازی

در ابتدای تحلیل هزینه‌های تعمیر و نگهداری باید فرض‌های زیر را در نظر گرفت:

۱- هزینه تعمیر و نگهداری تراکتور در ابتدای عمر آن صفر است. این فرض کاملاً قابل قبول و ضروری است؛ زیرا هزینه تعمیرات احتمالی قبل از به کارگیری تراکتور توسط شرکت سازنده پرداخت می‌شود. براساس این فرضیه ضریب عرض از مبدا مدل‌های رگرسیونی  $(\beta_0)$  صفر خواهد شد.

۲- ساعات کارکرد جمعی تنها متغیر مستقل برای مدل‌های رگرسیونی است. اگرچه ممکن است متغیرهای زیادی در تخمین هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتور تاثیرگذار باشند، ولی به دلیل وجود شرایط یکسان به کارگیری 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.

## مدل کمیته سازی هزینه‌ها (CMM)

عمر مفید اقتصادی از نظر مدل کمیته‌سازی کل هزینه‌ها، در سطحی از ساعات کارکرد جمعی ( $L^*$ ) می‌باشد که کل هزینه‌های تراکتور یعنی مجموع هزینه‌های تعمیر و نگهداری (مجموع هزینه دستمزد تعمیر، لوازم یدکی، سوخت و روغن) و هزینه مالکیت (مجموع هزینه استهلاک و سود سرمایه) بر حسب ساعات کارکرد آن به مقدار حداقل خود ( $T^*$ ) برسد و دوباره شروع به افزایش کند. این نقطه کمیته نشان دهنده سن جایگزینی تراکتور از نظر اقتصادی می‌باشد؛ بنابراین عمر اقتصادی در نتیجه کمیته‌سازی تابع هزینه کل ساعتی با رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$CC_{th} = CC_{rh} + CC_{oh} \quad (2)$$

هزینه جمعی مالکیتی ساعتی،  $CC_{oh}$  در این رابطه،  $CC_{rh}$  هزینه جمعی تعمیر و نگهداری ساعتی و  $CC_{th}$  باشند. هزینه جمعی کل ساعتی می‌باشد.

هزینه سرمایه جمعی به طریق رابطه (۳) محاسبه شد:

$$CC_{oh} = CC_{dh} + CC_{ih} \quad (3)$$

برای محاسبه استهلاک از روش موازنه نزولی استفاده شد، زیرا این روش تا حد قابل قبولی می‌تواند به نحوی مطلوب روند کاهش ارزش ماشین را در طول عمر آن نشان دهد:

$$D_n = RV_{n-1} - RV_n \quad (4)$$

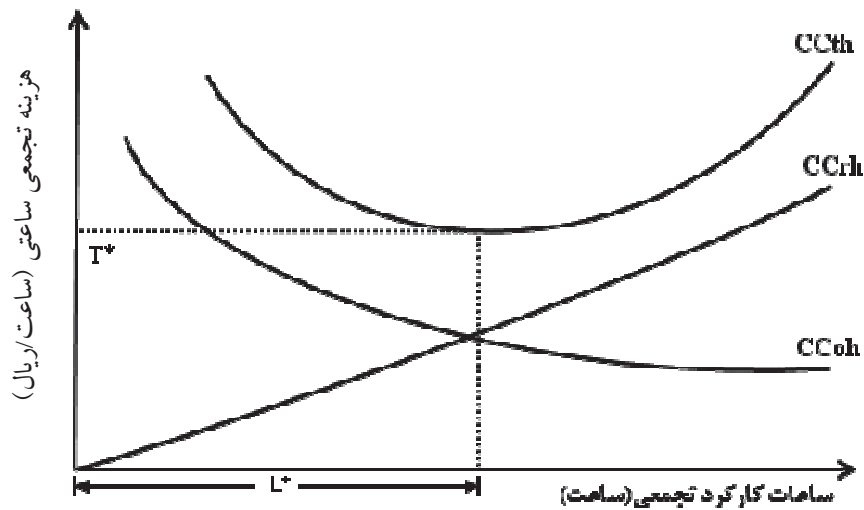
$$RV_n = PP_o \times (1-r)^n, \quad 1 < r < 2 \quad (5)$$

$$I_n = RV_{n-1} * i \quad (6)$$

$$C_{on} = D_n + I_n \quad (7)$$

در رابطه‌های ۴ تا ۷،  $D_n$  استهلاک در سال  $n$ ام،  $RV_n$  ارزش باقی‌مانده ماشین در انتهای سال  $n$ ام،  $r$  نسبت استهلاک،  $PP_o$  قیمت خرید ماشین،  $I_n$  سود سرمایه در انتهای سال  $n$ ام،  $i$  نرخ بهره برابر ۱۴٪ (بی‌نام، ۱۳۸۱)،  $C_{on}$  هزینه مالکیتی در انتهای سال  $n$ ام می‌باشد. مطابق شکل ۱ راه حل محاسبه و پیش‌بینی عمر اقتصادی، کمیته کردن هزینه کل ساعتی می‌باشد. برای این منظور رابطه

1- Cumulative Hours of Usage (CHU)



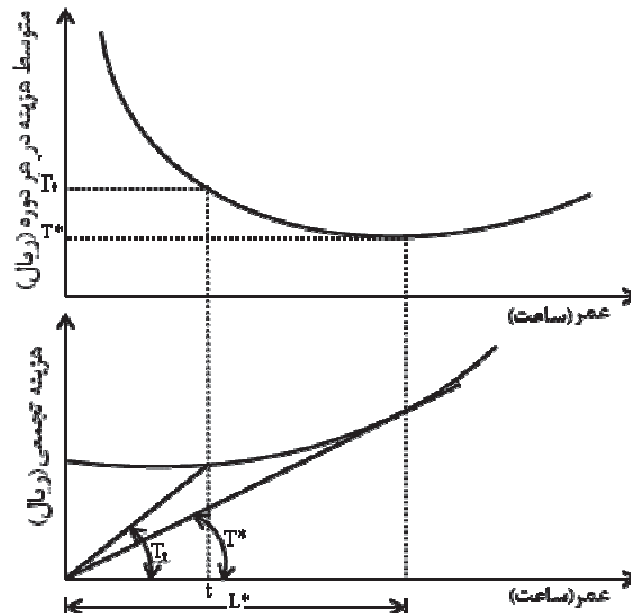
شکل ۱- تعریف عمر اقتصادی بر اساس مدل کمیته‌سازی هزینه‌ها

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 کمیته‌سازی 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 مبدا مختصات به هر نقطه بر روی منحنی هزینه تجمعی برای هر نقطه زمانی مشخص مانند  $t$  می‌باشد. محور افقی در مدل CCM 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 CCM، هزینه تجمعی می‌باشد که معمولاً به صورت مجموع یا ارزش حال خالص تمام هزینه‌ها تا آن تاریخ بیان می‌شود. بهترین موقع جایگزینی زمانی است که ارزش ماشین مدافع به طور قابل توجهی کاهش یابد و عملکرد ماشین رقیب بهتر از آن باشد. جایگزینی ماشین مدافع زودتر یا دیرتر از این زمان منجر به هزینه‌های اضافی و غیر ضروری خواهد شد.

رگرسیون  $CC_{th}$  برازش شده و با تعیین ریشه‌های آن،  $L^*$  و  $T^*$  محاسبه و پیش‌بینی می‌شوند.

#### مدل هزینه تجمعی (CCM)

اگر هزینه‌ها و درآمدها در یک نمودار رسم شوند و خطوط مماس بر منحنی رسم گردد، فهم دقیق‌تر فرآیند بهینه‌سازی ممکن خواهد شد (میشل، ۱۹۹۸). مدل هزینه تجمعی تنها یکی از مدل‌های جایگزینی اقتصادی است که حاصل ترکیب دو نظریه جایگزینی اقتصادی کلاسیک و نظریه محدودیت تعمیر می‌باشد. شکل ۲ دو مدل هزینه تجمعی و مدل کمیته‌سازی هزینه‌ها را با هم مقایسه می‌کند. از هر دو مدل می‌توان برای نشان دادن تابع بهینه‌سازی استفاده کرد. نقاط بهینه به کمک مماس‌های هندسی بر منحنی‌های هزینه تعریف می‌شود. روش کمیته‌سازی هزینه‌ها از طریق یک مماس افقی بر منحنی متوسط کل هزینه‌ها، کمیته متوسط هزینه سالانه ( $T^*$ ) و عمر بهینه اقتصادی ( $L^*$ ) را تعریف می‌کند. مدل هزینه تجمعی از یک خط مماس رسم شده از مبدا مختصات بر منحنی هزینه تجمعی یا استفاده می‌کند. این مماس همان نقطه بهینه تعیین شده توسط مماس افقی در مدل کمیته‌سازی هزینه‌ها می‌باشد.  $T^*$  و  $L^*$  در هر دو مدل دارای مفهوم یکسانی هستند، ولی مفهوم  $T^*$  در مدل هزینه تجمعی کمی متفاوت است، زیرا



شکل ۲- مدل هزینه تجمعی در مقابل مدل کمیته‌سازی هزینه‌ها

مدل‌های مورد بررسی می‌باشد. بر مبنای این استدلال مدل درجه سوم مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی شاخص هزینه تعمیر و نگهداری است؛ اما یکی از اهداف مدل‌سازی هزینه‌های تعمیر و نگهداری، پیش‌بینی هزینه‌ها غیر از محدوده ساعات کارکرد تجمعی است. شکل ۳، روند پیش‌بینی هزینه‌ها را به ازای مقادیر ساعات کارکرد تجمعی بیشتر از محدوده مورد مطالعه و تا ۴۵۰ ساعت کارکرد تجمعی نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، پس از حدود ۲۵۰ ساعت کارکرد تجمعی، پیش‌بینی مدل درجه سوم روند نزولی پیدا می‌کند که این امر برخلاف اصل تغییرات هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌باشد. بنابراین اگرچه مدل درجه سوم کمترین خطا و بیشترین ضریب تبیین را دارا است؛ ولی نمی‌تواند مدل مناسبی برای پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری باشد. با توجه به معیارهای خطا، ضریب تبیین و قدرت برونیابی می‌توان مدل را به عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی انتخاب نمود. فاصله تغییرات ضرایب رگرسیونی  $\beta_1$  و  $\beta_2$  مدل توانی در سطح اطمینان ۹۵ درصد به ترتیب برابر است با (۰/۰۹۳، ۰/۰۸۲) و (۱/۴۱، ۱/۳۹) شد. چون دامنه تغییرات این ضرایب نسبتاً کم است، لذا ضرایب

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از تحلیل رگرسیونی با هدف آزمون معنی داری ضرایب رگرسیونی مدل‌های مورد نظر و آماره  $F$  متناظر هر مدل و همچنین ضرایب تبیین هر مدل برای هر شاخص هزینه تعمیر و نگهداری تراکتور دو چرخ محرک در جدول ۱ آمده است. نتایج حاصل از آزمون معنی داری ضرایب رگرسیونی نشان می‌دهند که تمام ضرایب رگرسیونی کلیه مدل‌ها برای شاخص هزینه تعمیر و نگهداری در سطح احتمال یک درصد معنی دار هستند. این نتایج مؤید این موضوع هستند که چهار مدل درجه دوم، درجه سوم، نمایی و توانی برای مدل‌بندی شاخص‌های هزینه تعمیر و نگهداری تراکتور قابل بررسی هستند. از طرف دیگر این نتایج تأکیدی بر معنی داری آماره  $F$  در تمامی مدل‌ها و در سطح احتمال یک درصد می‌باشند، بنابراین انتخاب بهترین مدل با ارزیابی بزرگی  $R^2$  و کوچکی دو معیار خطای  $MAPE$  و  $RMSE$  صورت می‌گیرد. با لحاظ کردن این سه معیار، مدل درجه سوم در محدوده ساعات کارکرد تجمعی مورد مطالعه، بهترین مدل جهت پیش‌بینی شاخص هزینه تعمیر و نگهداری تراکتور دو چرخ محرک است؛ زیرا این مدل دارای بالاترین ضریب تبیین و کمترین خطا در مقایسه با سایر

انتخاب شد، باید از طریق این مدل عمر اقتصادی تراکتور را تعیین کرد؛ لذا باید به سوال "عمر اقتصادی در چه زمانی از عمر ماشین اتفاق می‌افتد؟" پاسخ داده شود. عمر اقتصادی ( $L^*$ ) فاصله مبدا تا نقطه‌ای از محور CHU است که در آن مماس امتداد یافته از منحنی CCI از مبدا مختصات عبور نماید. شاخص هزینه جمعی به صورت رابطه (۹) تبدیل می‌شود تا بتوان به مدل CCM دست پیدا کرد:

$$CCI_t = \frac{\sum (P_t + L_t + O_t)}{PP} + 1 \quad (9)$$

رگرسیون دارای عدم قطعیت کمتری می‌باشند. مدل رگرسیونی توانی به صورت رابطه (۸) می‌باشد:

$$CCI = \beta_1 CHU^{\beta_2} \quad (8)$$

نتیجه حاصل شده از مدل توانی نشان می‌دهد که این مدل دارای مقدار  $\beta_1$  کمتر از  $\beta_2$  می‌باشد. هر قدر مدیریت هزینه‌های تعمیر و نگهداری در طول عمر تراکتور بهتر باشد، روند رشد هزینه‌ها کمتر خواهد شد و در نتیجه عمر اقتصادی تراکتور نیز طولانی‌تر خواهد شد.

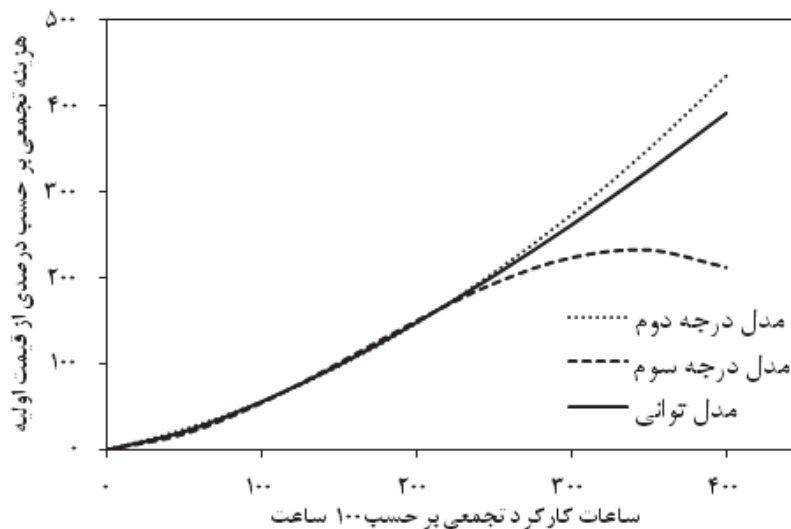
### عمر اقتصادی براساس مدل هزینه جمعی

بعد از آن که بهترین مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتور دو چرخ محرک

جدول ۱- نتایج تحلیل رگرسیونی هزینه تعمیر و نگهداری تراکتور دو چرخ محرک

MAPE	RMSE	R <sup>2</sup>	F	ضرایب رگرسیونی			نوع مدل
				$\beta_3$	$\beta_2$	$\beta_1$	
۲۰/۴۵	۳/۹۶	۰/۹۹۸	**۶۷۷۱۸	-	**۰/۰۰۲	**۰/۳۸۵	درجه دوم
$3 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-6}$	۰/۹۹۹	**۱۵۳۴۶۵۰	** $-1/0 \times 10^{-5}$	**۰/۰۰۵	**۰/۱۳۳	درجه سوم
۱۹۸	۹/۵۱	۰/۸۲۸	**۱۰۳۳	-	**۰/۰۱۷	**۵/۷۴۸	نمایی
۵/۶۱	۱/۲۹	۰/۹۹۳	**۳۲۶۵۴	-	**۱/۴۰	**۰/۰۸۷	توانی

توضیحات: 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 توانی:  $y = \beta_1 x^{\beta_2}$ ؛  $x$  ساعات کارکرد جمعی بر حسب ۱۰۰ ساعت،  $y$  هزینه جمعی بر حسب درصدی از قیمت اولیه. \* معنی دار در سطح احتمال یک درصد،  $R^2$ : ضریب تبیین.



شکل ۳- قابلیت برونیابی سه مدل جمله‌ای درجه دوم و درجه سوم و مدل توانی در پیش‌بینی هزینه تعمیر و نگهداری

شکل ۴ مدل CCM همراه با مماس ترسیم شده از مبدا مختصات، برای مجموعه آماری تراکتورهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بنابراین در نقطه ۲۹۰۲۵ ساعت کارکرد جمعی، باید تراکتور دو چرخ محرک را تعویض کرد.

### عمر اقتصادی براساس مدل کمینه‌سازی

#### هزینه‌ها

عمر اقتصادی ( $L^*$ ) فاصله مبدا مختصات تا نقطه‌ای از محور CHU است که در آن مماس رسم شده بر منحنی  $CC_{th}$  موازی با محور CHU باشد. این روش براساس کمینه‌سازی متوسط هزینه‌ها بنا شده است. بر اساس مطالب بیان شده در بخش مواد و روش‌ها داریم:

$$CC_{th} = CC_{rh} + CC_{oh} \quad (16)$$

$$CC_{oh} = CC_{dh} + CC_{ih} = \frac{CC_d}{CHU} + \frac{CC_i}{CHU} \quad (17)$$

$$CC_{rh} = \frac{CC_r}{CHU} = f(CHU) \quad (18)$$

در رابطه‌های ۱۶، ۱۷ و ۱۸،  $CC_{oh}$  هزینه جمعی مالکیتی ساعتی،  $CC_{dh}$  هزینه جمعی استهلاک ساعتی،  $CC_{ih}$  هزینه جمعی بهره ساعتی،  $CC_{rh}$  تعمیر و نگهداری ساعتی و  $CC_{th}$  هزینه جمعی کل ساعتی می‌باشند. تابع  $f$  نیز مدل رگرسیونی می‌باشد. بنابراین هزینه تعمیر و نگهداری جمعی تنها تابعی از ساعات کارکرد جمعی می‌باشد. همچنین:

$$CC_{oh} = \frac{CC_d}{CHU} + \frac{CC_i}{CHU} = p_0(2+i-r) \sum_{n=1}^N \frac{(1-r)^{n-1}}{CHU_n} \quad (19)$$

$n = 1, 2, \dots, N$

در اینجا  $n$  سال مالکیت تراکتور و  $CHU_n$  ساعات کارکرد جمعی در سال  $m$  می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌شود،  $CC_{oh}$  تنها تابعی از  $CHU_n$  است. بنابراین در حالت کلی داریم:

$$CC_{th} = f(CHU_n) \quad (20)$$

با روش ترسیمی، می‌توان به سادگی  $L^*$  را با رسم مماسی از مبدا مختصات به منحنی شاخص هزینه جمعی بدست آورد. رابطه خط مماس (شکل ۱) به صورت رابطه (۱۰) تعریف می‌شود:

$$y = mx \quad (10)$$

در این رابطه  $m$  شیب خط مماس است.

برای محاسبه عمر اقتصادی بر اساس مدل CCM، عدد ثابت یک به هر کدام از معادلات شاخص هزینه جمعی بدست آمده در این مطالعه اضافه شد و سپس بر اساس روابط حاصل شده به صورت رابطه (۱۱) عمل شد:

$$CCI = \beta_1 CHU^{\beta_2} + 1 \quad (11)$$

با جای‌گذاری رابطه (۱۰) در رابطه (۱۱) داریم:

$$mCHU = \beta_1 CHU^{\beta_2} + 1 \quad (12)$$

با مشتق‌گیری از طرفین رابطه ۱۲ متغیر  $m$  به دست می‌آید و با جای‌گذاری مجدد در همین رابطه خواهیم داشت:

$$(\beta_1 \beta_2 CHU^{\beta_2-1}) CHU = \beta_1 CHU^{\beta_2} + 1 \quad (13)$$

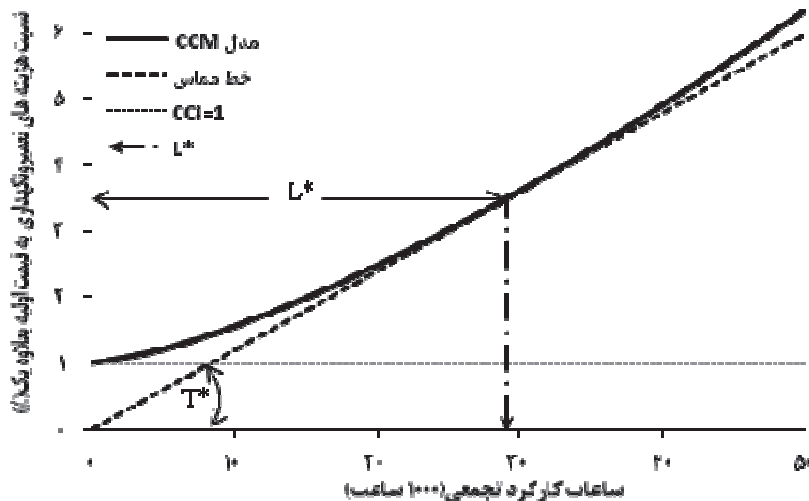
با ساده‌سازی رابطه ۱۳ داریم:

$$\beta_1 \beta_2 CHU^{\beta_2} - \beta_1 CHU^{\beta_2} = 1 \quad (14)$$

بنابراین، اگر مدل تخمین هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتور به شکل توانی باشد، عمر اقتصادی برابر است با:

$$L^* = \left( \frac{1}{\beta_1(\beta_2-1)} \right)^{1/\beta_2} \quad (15)$$

رابطه ۱۵ زمانی جواب دارد که شرایط  $\beta_2 \neq 0$ ،  $\beta_1 \neq 1$ ،  $\beta_2 \neq 0$  برقرار باشند. با محاسبه عمر اقتصادی بر اساس مدل توانی برای هزینه‌های تعمیر و نگهداری، می‌توان گفت که  $L^*$  تنها تابعی از رشد هزینه‌ها می‌باشد. بر اساس این رابطه، عمر اقتصادی تراکتورهای دو چرخ محرک مورد مطالعه ( $L^*$ ) برابر با ۲۹۰۲۵ ساعت به دست می‌آید.



شکل ۴- مدل CCM بر اساس مدل توانی هزینه تعمیر و نگهداری همراه با خط مماس منتج شده از مبدا مختصات

گزارش کردند. خوب بخت و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۰ و ۲۰۰۸) عمر اقتصادی تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ موجود در حومه اصفهان را ۱۸۳۱۶ ساعت تخمین زدند. بنائیان و زنگنه (۱۳۹۰) عمر بهینه تراکتور بر اساس شاخص های بهره وری در مزارع سیب زمینی استان همدان را ۸/۴۶ سال تعیین کردند. احمدی چنارین و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۱) عمر اقتصادی تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ بر اساس مدل کمینه سازی هزینه ها، ۹ سال گزارش کردند. در سال ۱۳۸۱، مرکز توسعه مکانیزاسیون وزارت جهاد کشاورزی متوسط عمر کارکرد تراکتورهای کشاورزی را برابر ۱۳ سال با متوسط ساعات کارکرد سالانه ۱۲۰۰ ساعت اعلام کرد. از آنجا که متوسط کارکرد سالانه تراکتور برابر با ۱۳۵۷/۵ ساعت بوده و تفاوت عمر اقتصادی پیش بینی شده بین مدل CCM و مدل کمینه سازی هزینه ها برابر با ۱۲۵۲ ساعت است؛ لذا تفاوت عمر اقتصادی بین دو مدل مذکور تقریباً یک سال می‌باشد. زیرا در مدل CCM از داده های هزینه واقعی استفاده شده است، به نظر می‌رسد عمر اقتصادی پیش بینی شده توسط مدل CCM به واقعیت نزدیک تر بوده و از خطای کمتری

رابطه ۲۰ نشان می‌دهد که عمر اقتصادی تنها تابعی از ساعات کارکرد تجمعی می‌باشد.

تعیین عمر اقتصادی با روش ترسیمی بسیار ساده است، کافی است خطی به موازات محور CHU رسم شود، به گونه ای که این خط مماس بر منحنی کل هزینه تجمعی ساعتی باشد (شکل ۵). اما از نظر ریاضی باید نقطه کمینه رابطه کل هزینه تجمعی را پیدا کرد. بدین منظور بایستی مشتق تابع  $CC_{th}$  را مساوی صفر قرار داده تا  $L^*$  بدست آید:

$$CC_{th} = 1.085 \times 10^{-5} CHU_n^2 - 0.591 CHU_n + 2.113 \times 10^4 \quad (21)$$

عمر اقتصادی از کمینه سازی رابطه ۲۱ به دست می‌آید. بر این اساس عمر اقتصادی تراکتورهای دو چرخ محرک مورد مطالعه برابر با ۲۷۷۳ ساعت به دست می‌آید. براساس متوسط ساعات کارکرد سالانه، عمر اقتصادی تراکتورهای دو چرخ محرک در مزرعه کشت و صنعت آستان قدس تقریباً برابر با ۲۱ سال می‌باشد. آشتیانی و همکاران (۱۳۸۵) عمر اقتصادی سه مدل تراکتور موجود در کشت و صنعت دشت ناز مازندران را پایان سال نهم با متوسط ساعات کارکرد ۱۳۶۳ ساعت

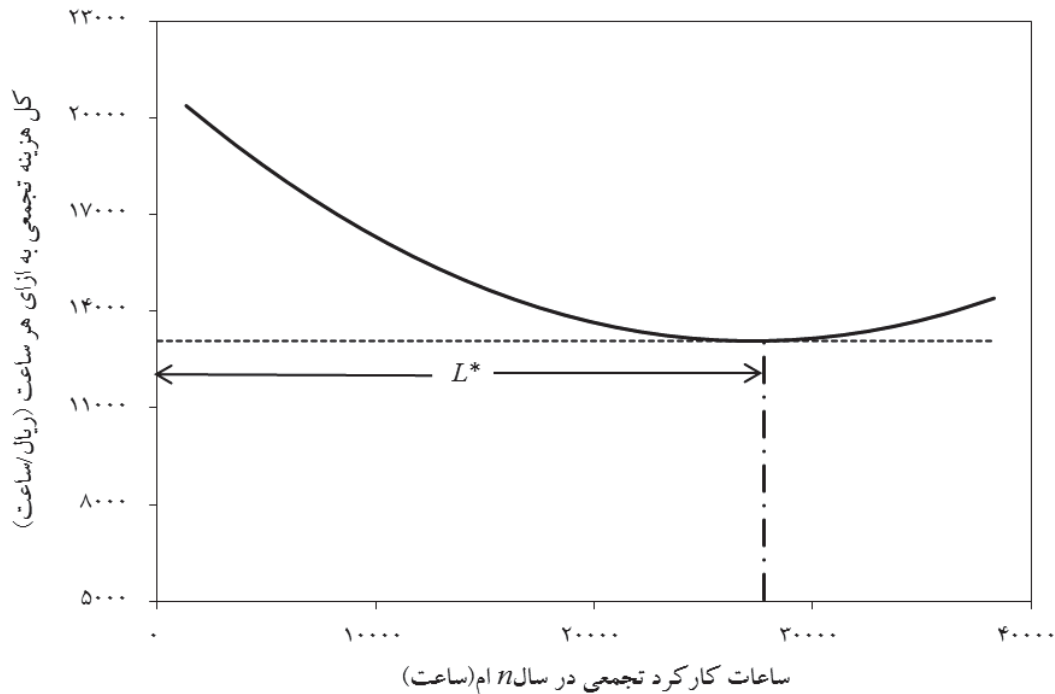
1- Khoub Bakht

2- Ahmadi Chenarbon et al.



صنعت آستان قدس رضوی باشد. از طرف دیگر در سایر پژوهش ها اغلب یک مدل تراکتور مورد بررسی قرار گرفته است، در حالی که در این پژوهش داده های تعمیر و نگهداری چند مدل مختلف استفاده شده‌اند.

برخوردار است. از طرف دیگر برای برازش مدل هزینه مالکیتی نیاز به مقادیر واقعی نرخ بهره و نسبت استهلاک می باشد. تفاوت عمر اقتصادی پیش بینی شده برای تراکتورهای مورد مطالعه با سایر مطالعات ممکن است در نتیجه مدیریت سازمان یافته و هدفمند شرکت کشت و



شکل ۵- مدل کمینه سازی هزینه‌های کل ساعتی تراکتور دو چرخ محرک

### منابع

- آشتیانی، ع.، رنجبر، الف. و تورچی، م. ۱۳۸۵. تعیین عمر اقتصادی سه مدل تراکتور کشاورزی در ایران (مطالعه موردی شرکت زراعی دشت ناز مازندران). مجله علوم کشاورزی، ۱: ۲۲۱-۲۳۱.
- اسکو نژاد، م.م. ۱۳۸۳. اقتصاد مهندسی یا ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی. چاپ بیستم. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران.
- بنائیان، ن. و زنگنه، م. ۱۳۹۰. برآورد عمر بهینه ی تراکتور و ماشین های کشاورزی بر اساس شاخص های بهره وری در مزارع سیب زمینی استان همدان. مجله مهندسی بیوسیستم ایران، ۴۲(۲): ۱۹۷-۲۰۴.
- بی‌نام. ۱۳۸۱. گزارش مشروح تجدید نظر شاخص بهای عمده فروشی کالا در ایران. اداره آمار اقتصادی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران.

5. Ahmadi Chenarbon, H., Minaei, S., and Arab Hosseini, A. 2012. Replacement age of agricultural tractor (MF285) in Varamin region (case study). *Journal of American Science*, 7(2): 674-679.
6. Douglas, J. 1975. *Construction equipment policy*. McGraw-Hill, New York, USA.
7. Edwards, W. 2002. *Farm Machinery Selection*. Available at <http://www.extension.iastate.edu/agdm>.
8. Khoub Bakht, G., Ahmadi, H., and Akram, A. 2010. Determination of optimum life for MF285 tractor based on repair and maintenance costs: a case study in center region of Iran. *International Journal of Agricultural Technology*, 6(4): 673-686.
9. Khoub Bakht, G., Ahmadi, H., Akram, A., and Karimi, M. 2008. Determination of optimum life (economic life) for MF285 tractor: a case study in center region of Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 4(1): 81-85.
10. Mitchell, Z. W. 1998. *A statistical analysis of construction equipment repair costs using field data and the cumulative cost model*. PhD Thesis in Civil Engineering, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
11. Telsang, M. 2005. *Production management*. S. Chand & Company Ltd., India. 476 pages.
12. Terborgh, G.W. 1994. *Dynamic Equipment Policy*. McGraw-Hill, New York, USA. 290 pages.