

## انتخاب الگوی مناسب پیش‌بینی میزان خرابی تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ در استراتژی‌های مختلف نگهداری

فاطمه افشارنیا\*

### چکیده

امروزه با مکانیزه شدن سیستم‌های کشاورزی، انجام به‌موقع فعالیت‌ها، نیازمند برنامه‌ریزی صحیح ماشینی است. برای برنامه‌ریزی صحیح، باید از زمان دقیق توقف ماشین‌ها اطلاع داشت. در همین زمینه، مطالعه‌ای برای پیش‌بینی دقیق میزان تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ برای دو استراتژی نگهداری اصلاحی و پیش‌گیرانه در استان خوزستان برنامه‌ریزی و اجرا شد. برای این منظور، الگوهای رگرسیون ARIMA و نمایی، برآورد و بهترین الگو انتخاب شد. بررسی آزمون تصادفی بودن (دوربین واتسون) سری‌های هر دو استراتژی مبین غیرتصادفی بودن آن‌ها بود. بر اساس نتایج حاصل از محاسبه معیار کمترین خطای پیش‌بینی، برای پیش‌بینی سری‌های استراتژی نگهداری اصلاحی و پیش‌گیرانه الگوی ARIMA به‌عنوان روش برتر در مقایسه با سایر روش‌ها شناخته شد؛ لذا استفاده از روش مذکور، به شرط ثابت بودن شرایط، نتایجی با کمترین خطا به‌دست خواهد داد. بر اساس نتایج حاصل از پیش‌بینی متغیر میزان خرابی، مشخص شد که تفاوت چندانی در ویژگی‌های میزان خرابی واقعی و میزان خرابی پیش‌بینی‌شده تراکتور وجود ندارد، که این امر بیان‌کننده دقت بالای پیش‌بینی با استفاده از مدل ARIMA است.

**واژه‌های کلیدی:** استراتژی نگهداری، پیش‌بینی، تراکتور، نمایی، ARIMA.

**ارجاع:** افشارنیا ف. ۱۳۹۷. انتخاب الگوی مناسب پیش‌بینی میزان خرابی تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ در استراتژی‌های مختلف نگهداری. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۷(۱): ۴۷-۵۵.

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز.

\* نویسنده مسئول: [phd.afsharnia@ramin.ac.ir](mailto:phd.afsharnia@ramin.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۱۹

## مقدمه

از کار افتادن دستگاه‌ها و سیستم‌ها موجب اختلال در سطوح مختلف تولیدی و پشتیبانی می‌شود و می‌تواند به‌عنوان تهدیدی شدید در افزایش هزینه‌های تولید تلقی شود (Vafaei et al., 2010). امروزه کشاورزی به‌عنوان نیروی محرکه رشد اقتصادی کشور و تراکتور از مهم‌ترین منابع توان کشاورزی است که توسعه مکانیزاسیون کشاورزی تا حد زیادی تابع میزان و چگونگی به‌کارگیری این منبع می‌تواند باشد، لذا توجه به احتمال خرابی، زمان تعمیر و علل آن ضروری است (Abubakr et al., 2013). اگر نگهداری مزرعه‌ای و مناسب تراکتورها در طولانی‌مدت اجرا شود، بخش بزرگی از کار، قبل از نیاز به تعمیرات اساسی انجام خواهد شد. تعمیر کردن تراکتورها می‌تواند هزینه بالایی نه تنها از نظر هزینه لازم برای تعمیر داشته باشد، بلکه به‌خاطر مشکلات به‌وجود آمده روی بهره‌وری محصول نیز تأثیر می‌گذارد. وسعت مشکل خرابی تراکتور در کشورهای در حال توسعه در مقایسه با کشورهای توسعه‌یافته جدی‌تر است و این به‌خاطر بحران نبود قطعات یدکی اصلی، نگهداری پیش‌گیرانه، نبودن طرحی جدید برای ادغام مدیریت نگهداری و برنامه‌هایی برای تشخیص معایب اولیه است (Musa Abbas et al., 2011). نگهداری عبارت است از مجموعه فعالیت‌هایی که به‌طور مشخص و معمولاً به‌صورت برنامه‌ریزی‌شده با هدف جلوگیری از خرابی ناگهانی ماشین‌آلات، تجهیزات و تأسیسات انجام می‌شود تا قابلیت اطمینان در دسترس بودن آن‌ها افزایش یابد (Rasekhi & Shamsi, 2010). استراتژی‌های نگهداری شامل دو دسته تعمیرات اصلاحی و نگهداری پیش‌گیرانه است. در استراتژی اصلاحی، تعمیرات پس از شکستگی یا وقوع آشکار یک خرابی انجام می‌شود. در استراتژی پیش‌گیرانه، نگهداری برای جلوگیری از وقوع شکستگی قطعات اجرا می‌شود. استراتژی نگهداری پیش‌گیرانه، برنامه‌های نگهداری بر پایه زمان را برای قطعات تعویضی اعمال می‌کند (Caballé et al., 2015) که شامل برنامه روانکاری، بررسی‌ها و تنظیم‌های روزانه است (Paman et al., 2012). در هر نوع برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات بایستی به این واقعیت توجه داشت که خرابی و ازکارافتادگی ماشین‌ها، مسأله‌ای نیست که بتوان به‌طور مطلق از آن جلوگیری و ممانعت کرد، بلکه می‌توان با استفاده از فنون برنامه‌ریزی، قابلیت اطمینان و قابلیت

بهربرداری از ماشین‌ها را بهبود بخشید (Shirmohammadi, 2002). نظر به اینکه پیش‌بینی شروع برنامه‌ریزی است لذا کاربرد ابزارهای پیش‌بینی‌کننده دقیق ضروری به‌نظر می‌رسد. تکنیک‌های رگرسیونی را اولین بار انجمن مهندسان کشاورزی امریکا برای پیش‌بینی هزینه‌های تعمیر و نگهداری استفاده کردند (Afsharnia et al., 2014) که پس از آن در مطالعات زیادی از این تکنیک برای پیش‌بینی این هزینه‌ها استفاده شد (Vafaei et al., 2008; Morris, 1988; Almasi & Yaganeh, 2002; Rasekhi & Shamsi, 2010; Khodabakhshian & Shakeri, 2011; Rohani & Masoudi, 2014). تابع نمایی رایج‌ترین تابع در ارزیابی میزان خرابی است (Say and Sumer, 2011) که (Afsharnia et al., 2014) برای اولین بار این تکنیک را برای پیش‌بینی عوامل مؤثر بر میزان خرابی تراکتورها به کار بردند و میزان خرابی چهار مدل تراکتور را با استفاده از تابع نمایی ارزیابی کردند. علاوه بر رگرسیون، سری زمانی نیز شاخه‌ای از علم آمار است که با استفاده از اطلاعات گذشته متغیرها امکان پیش‌بینی مقادیر آینده را می‌دهد که این یک عامل مهم در برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری و مدیریت سیستم‌هاست (Sarlak et al., 2016). بنابراین با توجه به اهمیت پیش‌بینی مکانیزم روند خرابی سیستم تراکتور و نبود مطالعات در این زمینه، در این پژوهش سعی شده است تا با مقایسه عملکرد مدل‌های رگرسیون نمایی و سری زمانی در هر دو استراتژی نگهداری اصلاحی و پیش‌گیرانه به مدلی مناسب برای کاربرد مدیران و کاربران تراکتور دست یافت.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی در این مطالعه، شهرستان دزفول و جامعه آماری مورد پژوهش با استناد به جدول مورگان شامل ۱۰۰ دستگاه تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ است. اطلاعات مورد نیاز در انجام این پژوهش از طریق پرسش‌نامه و مصاحبه رو در رو با کاربران این مدل تراکتور در مناطق کشاورزی شهرستان در سال زراعی ۱۳۹۵ جمع‌آوری شده است. عمده‌ترین اطلاعات جمع‌آوری شده شامل نوع سرویس و نگهداری (اصلاحی و پیش‌گیرانه)، سن دستگاه، ساعت‌های استفاده سالانه از آن، تعداد خرابی سیستم‌های مختلف هر دستگاه تراکتور و کارکرد بر حسب ساعت در دوره‌های زمانی مشخص شود. همه

ثابت هستند.

مدل دیگر، فرآیند یا الگوی خودتوضیح میانگین متحرک (ARIMA) است که از تلفیق فرآیندهای خودتوضیح و میانگین متحرک به وجود می‌آیند و به صورت رابطه (۳) قابل نمایش است:

$$\phi(L)y_t = \alpha + \theta(L)\varepsilon_t \quad (3)$$

که در این عبارت روابط (۴) و (۵) که به ترتیب در فرآیندهای  $AR^2$  و  $MA^3$  صدق می‌کردند، برقرار خواهد بود:

$$(L) = 1 - \phi_1 L - \phi_2 L^2 - \dots - \phi_p L^p, \quad (4)$$

$$(L) = 1 + \theta_1 L + \theta_2 L^2 + \dots + \theta_q L^q, \quad (5)$$

شرط مانایی<sup>۴</sup> این فرآیند همانند شرط مانایی در فرآیند خودتوضیح است. این فرآیندها را خودتوضیح میانگین متحرک با درجات آزادی  $p$  و  $q$  می‌نامند و به صورت  $ARMA(p,q)$  نشان می‌دهند. حال اگر یک سری زمانی ناماننا<sup>۵</sup> باشد و بتوان آن را با  $d$  بار تفاضل‌گیری مانا کرد، آن‌گاه می‌توان آن را به صورت رابطه (۶) نمایش داد:

$$\phi(L)(1-L)^d y_t = \alpha + \theta(L)\varepsilon_t \quad (6)$$

در این روابط،  $p$  تعداد جملات فرآیند خودتوضیح و  $q$  تعداد جملات فرآیند میانگین متحرک و  $d$  تعداد دفعات لازم تفاضل‌گیری به منظور مانا شدن سری  $y_1$  هستند. این فرآیند را به صورت  $ARMA^6(p,d,q)$  نشان می‌دهند. در این عبارت نیز روابط (۴) و (۵) که به ترتیب در فرآیندهای  $AR$  و  $MA$  یا به طور همزمان در فرآیند  $ARMA$  صدق می‌کردند، برقرار است.

پیش از تخمین الگو، لازم است که درجه انباشتگی متغیرهای موردنظر نیز مشخص شود. برای شناسایی سری زمانی پایا از ناپایا از آزمون‌های متفاوتی از جمله آزمون ایستایی براساس همبستگی نگار، آزمون  $Q$ ، آماره لیونگ-باکس و آزمون‌های ریشه واحد استفاده می‌شود. در این مطالعه از آزمون ریشه واحد دیکی فولر (ADF) برای تشخیص ایستایی فرآیندهای سری زمانی استفاده شده است. زمانی که متغیرها ناپایا یا دارای ریشه واحد هستند، فرآیند تکنیک اقتصادسنجی مرسوم، ممکن است مناسب نباشد؛ زیرا تخمین رگرسیونی منجر به برآوردهای

تراکتورهای مورد بررسی، دارای وضعیت نگهداری و کاربری تقریباً مشابهی بودند. برای اندازه‌گیری میزان خرابی از رابطه (۱) استفاده شده است (Shirmohammadi, 2002):

$$MTBF = \frac{T}{n} \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{MTBF}$$

MTBF متوسط فاصله زمانی بین دو خرابی،  $L$  میزان خرابی،  $T$  کل زمان سیکل (ساعت)،  $n$  تعداد خرابی‌ها در یک سیکل زمانی است.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، مقدار ساعات کارکرد سالانه هر تراکتور مورد نیاز بود. از آنجا که کنتور (ساعت‌شمار) اغلب تراکتورها از کارافتاده بودند و همچنین با توجه به این نکته که در سایر موارد هم که کنتور سالم بود، عدد آن صرفاً نشان‌دهنده ساعات کارکرد سالانه تراکتورها نبود، از دو روش زیر استفاده شد:

(۱) با استفاده از تعداد ساعات کارکرد روزانه و شبانه، تعداد روزها و شب‌های کاری در هفته، تعداد ماه‌های کاری در سال اخیر و تعداد ساعات کارکرد سالانه محاسبه شد.

(۲) با توجه به اینکه تعویض روغن موتور این تراکتورها بعد از تعداد ساعات مشخصی انجام می‌شود، با ضرب کردن تعداد دفعات تعویض روغن در تعداد ساعات مشخص شده برای تعویض روغن موتور، ساعات متوسط کارکرد سالانه به دست آمد (Afsharnia et al., 2014).

مدل‌های به‌کار گرفته‌شده در این پژوهش به دو دسته مدل رگرسیون تابع نمایی (EXP) و مدل سری زمانی<sup>۱</sup> (ARIMA) تقسیم شده است. تابع نمایی رایج‌ترین تابع در ارزیابی میزان خرابی به شمار می‌آید (Kumar & Gross, 1977; Say & Sumer, 2011; Billinton & Allan, 1992). با توجه به این مطالعات، هم این مدل دارای  $R^2$  بالاتری نسبت به دیگر مدل‌ها بود و هم علائم ضرایب موافق انتظار بود. به همین خاطر، مدل‌سازی از طریق رگرسیون با تابع نمایی به‌عنوان یکی از مدل‌ها در نظر گرفته شد، بنابراین، مدلی نمایی مطابق رابطه (۲) برای محاسبه میزان خرابی ارائه شد:

$$Y = a_0 \exp(a_1 H) + U \quad (2)$$

در اینجا،  $Y$  میزان خرابی (تعداد خرابی بر ساعت)،  $H$  ساعت استفاده سالانه و  $U$  مقدار خطا و  $a_0$  و  $a_1$  ضرایب

2- Autoregressive  
3- Moving Average  
4- Stationary  
5- Non- stationary  
6- Autoregressive Moving Average

1- ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average)

علاوه بر خودهمبستگی میان  $(x_t, x_{t+k})$ ، اگر مدنظر ما این باشد که همبستگی میان  $(x_t, x_{t+k})$  بعد از اینکه وابستگی خطی مشترک میان متغیرهای  $(x_{t+1}, x_{t+2}, \dots, x_{t+k-1})$  حذف شد، بررسی شود، از تابع خودهمبستگی جزئی (PACF) استفاده می‌شود. رفتار این توابع در نمودار همبستگی‌نگار، از مهم‌ترین معیارها برای تخمین الگوی سری زمانی است. در صورت ناپایداری، ابتدا سری موردنظر با استفاده از سری تفاضلی مناسب و تبدیل داده‌ها از روش باکس-کاکس در میانگین و واریانس پایدار و سپس سری ایستا شد؛ بنابراین، در این مرحله با تجزیه و تحلیل واریانس داده‌های تفاضلی شده مرتبه پارامترهای  $D$  و  $d$  برای مدل طوری انتخاب شد که دارای حداقل واریانس باشد. از سوی دیگر، با استفاده از نمودارهای  $ACF^1$  و  $ACF^2$  مراتب  $p$ ،  $q$  و  $P$ ،  $Q$  مشخص شد.

(۲) برازش الگو (برآورد پارامترها): در این مرحله با شناسایی الگوهای مناسب در مرحله قبل، برای مقایسه چند الگو و انتخاب بهترین آنها می‌توان از معیار آکائیک ( $AIC^3$ ) استفاده کرد. معیار آکائیک اصلاح‌شده ( $AIC$ ) براساس رابطه  $(y)$  محاسبه می‌شود.

$$AIC = n \left( \ln \left( \frac{2\pi RSS}{n} \right) + 1 \right) + 2m \quad (y)$$

در اینجا  $m = (p+q+P+Q)$  و  $RSS$  مجموع مربعات باقی‌مانده‌هاست. مدلی را انتخاب می‌کنیم که کمترین مقدار  $AIC$  را داشته باشد.

(۳) تشخیص درستی الگو: برای بررسی درستی مدل، نمودار باقیمانده‌ها از نظر نرمال بودن و ایستایی ارزیابی شد.

(۴) پیش‌بینی: با استفاده از تبدیل باکس-کاکس<sup>۴</sup>، مقادیر سری داده‌های پیش‌بینی شده به مقادیر میزان خرابی تصحیح شدند. نتایج به‌دست آمده به‌عنوان داده‌های نهایی میزان خرابی پیش‌بینی شده برای ساعت‌های مورد نظر ارزیابی شد. برای مدل‌سازی داده‌های میزان خرابی در استراتژی‌های موردنظر از نرم‌افزار Minitab 17 استفاده شد که

تورش‌دار و گمراه‌کننده می‌شود (Engle & Granger, 1987)؛ از این‌رو ایستایی متغیرهای موردنظر آزمون و سپس به برآورد الگو پرداخته خواهد شد. برای آزمون ایستایی سری‌های میزان خرابی تراکتور مسی فرگوسن در هر دو نوع استراتژی از آزمون ریشه واحد و بسته نرم‌افزاری XLSTAT 2016 استفاده شد.

نکته دیگر در خور توجه در بحث پیش‌بینی متغیرها، اطمینان از قابلیت پیش‌بینی یک سری و به‌عبارتی تصادفی نبودن آن است. از این‌رو ضروری است که قبل از استفاده از روش‌های پیش‌بینی، آزمون تصادفی بودن سری داده‌ها بررسی شود. در صورتی که داده‌ها تصادفی باشند، استفاده از مدل‌های پیش‌بینی بر اساس روند گذشته مجاز نخواهد بود (Day, 1965). به‌طور کلی آزمون‌های مختلفی برای بررسی تصادفی بودن یک سری زمانی وجود دارد، که اکثر این آزمون‌ها ناپارامتریک هستند. همچنین بررسی تصادفی بودن سری‌های زمانی با روش‌های پارامتریک امکان‌پذیر است که از جمله این روش‌ها می‌توان به آزمون دوربین-واتسون اشاره کرد. گفتنی است که در این مطالعه، تصادفی بودن متغیرها با استفاده از آزمون دوربین-واتسون بررسی شد. در صورت پذیرفتن فرضیه وجود خودهمبستگی، فرض تصادفی بودن سری مردود است. یادآور می‌شود که استفاده از این آزمون مستلزم این است که مشاهدات دارای توزیع تقریباً نرمال باشند که برای این منظور می‌توان از آزمون کلموگروف اسمیرنوف استفاده کرد (Faraj zadeh & Shah Vahi, 2009). مراحل ساخت سری زمانی شامل چهار مرحله است که به صورت تکراری انجام شد (Saplioglu et al., 2010):

(۱) مرحله شناسایی الگو: در این مرحله با رسم نمودارهای خودهمبستگی ( $ACF$ ) و خودهمبستگی جزئی ( $PACF$ ) ایستایی در میانگین و واریانس داده‌ها ارزیابی شد. تابع خودهمبستگی ( $ACF$ ) یکی از ابزارهای بسیار مهم برای امتحان وابستگی داده‌هاست (Currie, 1989). این تابع، همبستگی میان مشاهدات را در فواصل مختلف اندازه می‌گیرد و برای بررسی یک سری زمانی یگانه در قلمرو زمان به کار می‌رود. این تابع اغلب بینشی از الگوی احتمالی که داده‌ها را تولید می‌کند، به ما ارائه می‌دهد که از این امر برای تشخیص و برازش مدل استوکاستیکی مناسب برای داده‌ها استفاده می‌شود.

1- Partial autocorrelation function  
2- Autocorrelation function  
3- Akaike Information Criteria  
4- Box-Cox

انجام شد. انجام آزمون ایستایی با استفاده از روش دیکی فولر تعمیم‌یافته نشان داد که متغیر میزان خرابی در استراتژی اصلاحی با انجام تفاضل‌گیری مرتبه اول و استراتژی پیش‌گیرانه با انجام تفاضل‌گیری مرتبه سوم دارای ایستایی هستند. جزئیات مربوط به آزمون ایستایی در جدول ۲ آمده است.

همچنان که قبلاً گفته شد، یکی دیگر از آزمون‌های مهم قبل از انجام پیش‌بینی سری‌های زمانی، آزمون تصادفی بودن سری است. در این باره باید عنایت داشت در صورتی که یک متغیر روندی تصادفی داشته باشد، پیش‌بینی آن متغیر غیرممکن خواهد بود. بر این اساس ابتدا تصادفی بودن متغیر در هر دو استراتژی نگهداری اصلاحی و پیش‌گیرانه با استفاده از آزمون دوربین-واتسون بررسی شد که نتایج به دست آمده در جدول ۳ ارائه شده است. به استناد نتایج حاصل از این آزمون، هر دو استراتژی غیرتصادفی و بنابراین قابل پیش‌بینی هستند. اگر یک سری زمانی دارای تغییرات فصلی نباشد، در نتیجه همبستگی‌نگار آن هم متناوب نخواهد بود. این تابع، اغلب بینشی از الگوی احتمالی که داده‌ها را تولید می‌کند، به ما ارائه می‌دهد که از این امر برای تشخیص و برازش مدل تصادفی مناسب برای داده‌ها، استفاده می‌شود. همان‌گونه که در اشکال ۱ و ۲ ملاحظه می‌شود، با توجه به بیرون‌زدگی خطوط همبستگی‌نگار از حدود اطمینان (خطوط قرمز) وجود همبستگی را بین داده‌های ساعتی میزان خرابی در هر دو استراتژی نگهداری و تعمیرات شاهد هستیم که نشان‌دهنده مستقل نبودن داده‌های ساعتی در زمان‌های تأخیر مختلف است.

انتخاب بهترین الگوی پیش‌بینی و تعیین جایگاه آن بر اساس معیارهای خطا، یعنی RMSE و MAPE انجام شد. بدین مفهوم که برای پیش‌بینی هر یک از متغیرها از میان الگوهای مورد بررسی، یعنی نمایی و ARIMA از الگوی دارای کمترین خطای پیش‌بینی استفاده شد. در این زمینه، در جدول ۶ مقادیر RMSE و MAPE مربوط به هر الگو در پیش‌بینی میزان خرابی هر دو نوع استراتژی نشان داده شده است. به استناد اطلاعات آمده در این جدول، بهترین الگو برای پیش‌بینی میزان خرابی تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹، الگوی ARIMA است. شایان ذکر است که خطای پیش‌بینی این مدل نسبت به مدل نمایی دارای حداقل مقدار و برابر با ۲ درصد به دست آمده است.

اساس کار آن، همان شیوه تکراری باکس-جنکینز است. در کنار روش‌های نموداری یک آزمون مفید برای بررسی کفایت مدل آزمون پرت-مانتو است. این آزمون از خودهمبستگی باقی‌مانده‌ها برای بررسی فرضیه صفر توأم  $H_0: \rho_1 = \rho_2 = \dots = 0$  از آماره آزمون در رابطه (۸) استفاده می‌کند.

$$Q = n(n+2) \sum_{h=1}^k (n-h)^{-1} \widehat{p}_2^h \quad (8)$$

که در آن n تعداد مشاهدات است. این آماره آزمون، آماره Q اصلاح شده یا همان LBQ است و تحت فرض  $H_0$  تقریباً دارای توزیع  $\chi_{k-m}^2$  است. m تعداد پارامترهای برآورد شده در مدل است. هرگاه مقدار آماره Q از مقدار متناظر جدول کی دو بیشتر باشد، فرضیه  $H_0$  رد می‌شود. گاهی فرضیه  $H_0$  را فرضیه کفایت مدل نیز می‌نامند (El-Din & Smith, 2002).

### ارزیابی دقت الگوهای پیش‌بینی

از مراحل مهم در انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی یک متغیر، اندازه‌گیری و تعیین دقت مدل‌هاست. در این مطالعه از دو معیار ریشه میانگین مجذور خطاهای پیش‌بینی ( $RMSE^1$ ) و درصد میانگین خطاهای پیش‌بینی ( $MAPE^2$ ) برای مقایسه دقت پیش‌بینی الگوها استفاده شد (Anonymous, 2004).

### نتایج و بحث

مشخصات آماری سری زمانی میزان خرابی تراکتور در استراتژی‌های مختلف نگهداری و تعمیرات در جدول ۱ آورده شده است. همان‌گونه که مشخص است، متوسط میزان خرابی کل در نگهداری اصلاحی بیش از نگهداری پیش‌گیرانه است؛ زیرا طبق نتایج Jacobs et al. (1983) ماشین‌ها ممکن است به خاطر نقص در طراحی، آسیب فیزیکی یا فرسودگی و شکستگی عادی دچار خرابی شوند. در اکثر موارد، ماشین‌ها به دلیل نبود برنامه مناسب نگهداری از کار می‌افتند.

با توجه به اهمیت اطلاع از رفتار متغیر در طول زمان، آزمون‌های ایستایی و همچنین تصادفی بودن متغیر مورد مطالعه در هر دو استراتژی نگهداری اصلاحی و پیش‌گیرانه

1- Root mean square error

2-Mean Absolute Percentage Error

۰/۰۰۶ و ۰/۰۱۲۸ برای استراتژی پیش‌گیرانه است. همچنین میانگین میزان خرابی پیش‌بینی شده و میزان خرابی واقعی به ترتیب برابر با ۰/۰۱۳۸ و ۰/۰۱۳۵ برای استراتژی اصلاحی و ۰/۰۰۸۹ و ۰/۰۰۰۸ برای استراتژی پیش‌گیرانه است. با توجه به این آمارها مشخص است که تفاوت چندانی در ویژگی‌های میزان خرابی پیش‌بینی شده و میزان خرابی واقعی در هر دو استراتژی وجود ندارد که این امر بیانگر دقت بالای پیش‌بینی با استفاده از مدل ARIMA است. این نتیجه با پژوهش Fan & Fan (2015) که مدل ARIMA را گزینه‌ای مناسب برای پیش‌بینی خرابی تجهیزات بیان کردند، مطابقت دارد.

برای درک بیشتر این امر، می‌توان ویژگی‌ها و خصوصیات آماری سری زمانی میزان خرابی پیش‌بینی شده را بررسی و با سری زمانی اصلی مقایسه کرد. جدول ۷ بیانگر این موضوع است.

همان‌گونه که از این جدول برمی‌آید، کمترین و بیشترین مقدار برای میزان خرابی در دوره مورد پیش‌بینی به ترتیب برابر با ۰/۰۰۵ و ۰/۰۲۲۸ برای استراتژی اصلاحی و ۰/۰۰۵۵ و ۰/۰۱۳۵ برای استراتژی پیش‌گیرانه است که این مقادیر برای میزان خرابی پیش‌بینی شده با استفاده از مدل ارائه شده در این مطالعه، در دوره موردنظر، به ترتیب برابر با ۰/۰۰۴۸ و ۰/۰۲۳ برای استراتژی اصلاحی و

جدول ۱- مشخصات آماری سری زمانی میزان خرابی تراکتور

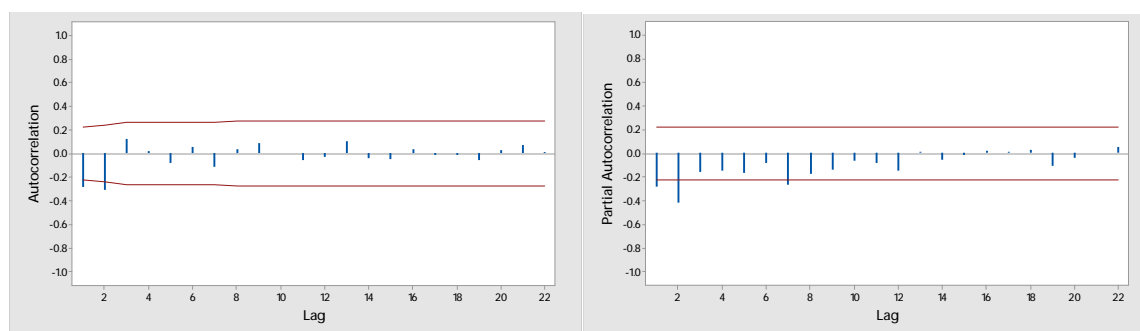
| استراتژی نگهداری | میانگین | بیشینه | کمینه  | انحراف معیار | چولگی |
|------------------|---------|--------|--------|--------------|-------|
| اصلاحی           | ۰/۰۱۳۸  | ۰/۰۲۲۸ | ۰/۰۰۵  | ۰/۰۰۳۹       | ۰/۲۹  |
| پیش‌گیرانه       | ۰/۰۰۸۹  | ۰/۰۱۳۵ | ۰/۰۰۵۵ | ۰/۰۰۲۶       | ۰/۵۴  |

جدول ۲- نتایج مربوط به بررسی مانایی در سری میزان خرابی تراکتور

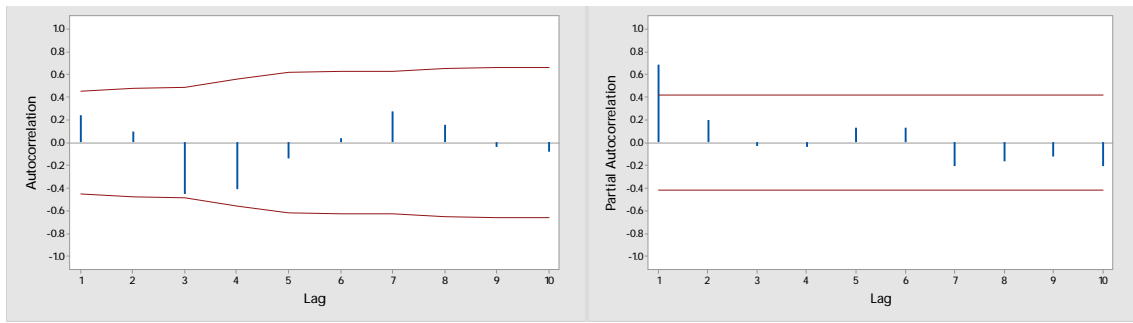
| متغیر      | نوع آزمون مانایی | مقدار آماره بحرانی | مقدار آماره محاسباتی | نتیجه آزمون |
|------------|------------------|--------------------|----------------------|-------------|
| اصلاحی     | ADF              | -۰/۷۴۱             | -۵/۹۱۸               | تفاضل ایستا |
| پیش‌گیرانه | ADF              | -۰/۴۱۹             | -۳/۷۷۱               | تفاضل ایستا |

جدول ۳- نتیجه آزمون تصادفی بودن دوربین واتسون

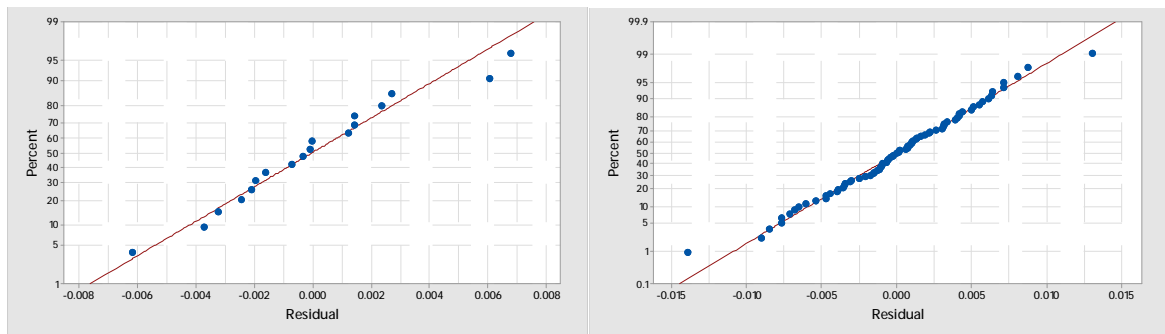
| متغیر      | آماره کولموگروف اسمیرنوف | آماره دوربین واتسون | نتیجه آزمون       |
|------------|--------------------------|---------------------|-------------------|
| اصلاحی     | ۱/۱۳۴                    | ۱/۵۶۷               | سری غیرتصادفی است |
| پیش‌گیرانه | ۱/۲۳۸                    | ۱/۳۶                | سری غیرتصادفی است |



شکل ۱- تابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی سری زمانی میزان خرابی تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ در استراتژی نگهداری اصلاحی



شکل ۲- تابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی سری زمانی میزان خرابی تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ در استراتژی نگهداری پیش‌گیرانه



شکل ۳- به ترتیب از چپ به راست تابع توزیع تجربی مانده‌ها در کاغذ احتمالاتی نرمال برای (الف) استراتژی اصلاحی (ب) استراتژی پیش‌گیرانه

جدول ۴- خلاصه‌ای از پارامترهای آماری بهترین مدل‌های آریمای برازش یافته بر میزان خرابی استراتژی‌های مختلف نگهداری

| MAPE   | AIC     | $\lambda^2$ | Q    | $\theta_1$ | $\phi_2$ | $\phi_1$ | مدل           | نوع استراتژی |
|--------|---------|-------------|------|------------|----------|----------|---------------|--------------|
| ۱۷/۱۱۸ | -۸۲۷/۹۹ | ۳۲/۶۷       | ۲۳/۳ | -۱/۰۱۴۲    | -۰/۴۹۵۷  | -۱/۴۸۲۱  | ARIMA (2,1,1) | اصلاحی       |
| ۲۰/۴۳۶ | -۲۶۹/۴۱ | ۳۳/۹۲       | ۲۲/۶ | ۰/۸۶۱۲     | -        | -۰/۶۲۶۱  | ARIMA (1,3,1) | پیش‌گیرانه   |

جدول ۵- نتایج حاصل از برآورد رگرسیون نمایی داده‌های مربوط به تراکتور مورد مطالعه

| $R^2$ | F        | ضرایب استاندارد نشده             | ضرایب رگرسیون                   | نوع استراتژی |
|-------|----------|----------------------------------|---------------------------------|--------------|
| ۰/۵۵۱ | ۹۳/۲۶**  | ۰/۰۰۸۲<br>$۳/۴۱۴ \times ۱۰^{-۵}$ | عرض از مبدأ<br>ساعات‌های کارکرد | اصلاحی       |
| ۰/۷   | ۵۱/۳۷۲** | ۰/۰۰۶۱<br>$۳/۳۸۲ \times ۱۰^{-۵}$ | عرض از مبدأ<br>ساعات‌های کارکرد | پیش‌گیرانه   |

جدول ۶- اولویت‌بندی الگوی پیش‌بینی میزان خرابی تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹

| اولویت | MAPE   | RMSE   | الگوی پیش‌بینی | متغیر   |
|--------|--------|--------|----------------|---------|
| ۱      | ۱۷/۱۱۸ | ۰/۰۰۳  | ARIMA (2,1,1)  | تعمیرات |
| ۲      | ۲۲/۵۹  | ۰/۲    | نمایی          | تعمیرات |
| ۱      | ۲۰/۴۳۶ | ۰/۰۰۳۳ | ARIMA (1,3,1)  | تعمیرات |
| ۲      | ۲۱/۸۸  | ۰/۱۶   | نمایی          | تعمیرات |

جدول ۷- مشخصات آماری میزان خرابی پیش‌بینی شده و میزان خرابی واقعی تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹

| استراتژی نگهداری | میانگین | بیشینه | کمینه  | انحراف معیار | چولگی |
|------------------|---------|--------|--------|--------------|-------|
| اصلاحی           | ۰/۰۱۳۸  | ۰/۰۲۲۸ | ۰/۰۰۵  | ۰/۰۰۳۹       | ۰/۲۹  |
| پیش‌بینی شده     | ۰/۰۱۳۵  | ۰/۰۲۳  | ۰/۰۰۴۸ | ۰/۰۰۳۷       | ۰/۲۸۴ |
| اصولی            | ۰/۰۰۸۹  | ۰/۰۱۳۵ | ۰/۰۰۵۵ | ۰/۰۰۲۶       | ۰/۵۴  |
| پیش‌بینی شده     | ۰/۰۰۸   | ۰/۰۱۲۸ | ۰/۰۰۶  | ۰/۰۰۲۶       | ۰/۵۲۸ |

### نتیجه‌گیری

به استناد نتایج به‌دست آمده، الگوی ARIMA نسبت به الگوی نمایی از درجه اعتبار و دقت بیشتری برای پیش‌بینی متغیر مورد نظر برخوردار است. البته باید توجه داشت که الگوی ARIMA در مورد پیش‌بینی هر دو استراتژی اصلاحی و پیش‌گیرانه دقت بیشتری دارد و برای پیش‌بینی میزان خرابی تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ نسبت به روش نمایی کارایی بهتری نشان داد. بنابراین با توجه به این مدل و به‌دست آوردن اختلاف دقیق بین دو استراتژی نگهداری اصلاحی و پیش‌گیرانه و نیز برتر بودن استراتژی نگهداری پیش‌گیرانه در همه محاسبات این پژوهش، کاربران تراکتور با به‌کارگیری این مدل، می‌توانند به‌طور دقیق خرابی تراکتور خود را در هر استراتژی و با توجه به ساعت‌های کارکرد، پیش‌بینی و برای کاهش خرابی تراکتور خود از استراتژی نگهداری پیش‌گیرانه استفاده کرد.

### منابع

- Electrical and Electronics Engineers (IEEE), pp. 1-6.
- Aneke, D. O. 1994. A Survey of farm power problem in Nigeria. *Applied Engineering in Agriculture*, 10(5): 623-626.
- Anonymous. 2004. *Eviews 5 User's Guide*. Quantative Micro Software, LLC. Eviews Inc.
- Billinton, R. and Allan, R. N. 1992. *Reliability evaluation of engineering systems (concepts and techniques)*. Plenum Press, New York, London. 453 p.
- Caballé, N. C. Castro, I. T. Pérez, C. J. and Lanza-Gutiérrez, J. M. 2015. A condition-based maintenance of a dependent degradation-threshold-shock model in a system with multiple degradation processes. *Reliability Engineering and System Safety*, 134: 98-109.
- Currie, R. G. 1989. Comments on power spectra and Coherence of Drought in the interior Plains. *International Journal of Climatology*. 9: 91-100.
- Day, R. H. 1965. Probability distributions of field crop yields. *Journal of Farm Economics*, 47: 713-741.
- El-Din, A. G. and Smith, D. W. 2002. Aneural network model to predict the wastewater inflow incorporating rainfall events. *Water Research*, 36(1): 115-112.
- Engle, R. F. and Granger, C. W. 1987. Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, pp. 251-276.
- Fan, Q. and Fan, H. 2015. Reliability Analysis and Failure Prediction of Construction Equipment with Time Series Models. *Journal of Advanced Management Science*, 3(3): 203-210.
- Faraj zadeh, Z. and Shah Vahi, A. 2009. Forecasting agricultural crops prices: case study of cotton, rice and saffron. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 17(67): 43-72 (In Farsi).
- Grisso, R. D. and Pitman, R. 2009. Five Strategies for Extending Machinery Life. *Extention Engineer, Biological Systems Engineering Department*. University of Nebraska USA, pp. 442-451.
- Abubakar, M. S. Zakari, M. D. Shittu, S. K. and Attanda, M. L. 2013. Determination of repair and maintenance cost for MF375 Tractor: A case study in Kano Metropolis, Nigeria. *Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environmen*, 9: 27-35.
- Afsharnia, F. Asoodar, M. A. and Abdeshahi, A. 2014. Regression Analysis Modeling the Failure Rate and Finding the Effective Failure Factors of Tractors in Khuzestan province. *Journal of Agricultural Engineering*, 36(2): 49-58 (In Farsi).
- Almasi, M. and Yaganeh, H. R. 2002. Determining a suitable mathematical model to predict the repair and maintenance costs of farm tractors in Karoon agro-industry co. *Iranian journal of agricultural sciences*, 33(4): 707-716 (In Farsi).
- Amari, V. and Laughlin, Mc. 2006. Cost effective condition-based maintenance using markov decision processes. *The Institute of*



- mathematical model of repair and maintenance cost of New Holland TM155 and Valtra 8400 tractors in Markazi and Fars Provinces. *Journal of new finding in agriculture*, 2(2): 190-200 (In Farsi).
29. Vafaei, M. R. Mashadi Meighani, H. Almasi, M. and Minaei, S. 2010. Choosing of most appropriate method for reliability parameter calculation on cereal harvesting machine John deer 955 in Markazi province. *Daneshe Novine Keshavarzi magazine*, 5(15): 143-151 (In Farsi).
16. Jacobs, C. O. Harrell, W. R. and Shinn, G. C. 1983. *Agricultural power and machinery*. McGraw-Hill. Inc. New York.
17. Khodabakhshian, R. and Shakeri, M. 2011. Prediction of repair and maintenance costs of farm tractors by using of Preventive Maintenance. *International Journal of Agriculture Sciences*, 3(1): 39-44.
18. Kumar, R. J. and Gross, R. 1977. A study of combine harvester reliability. *Transactions of the ASAE*, 20(1): 30-34.
19. Morris, J. 1988. Estimation of Tractor Repair and Maintenance Costs. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 41: 191-200.
20. Musa Abbas, O. Ibrahim Mohammad, H. and Abdelgadir Omer, N. 2011. Development of Predictive Markov-chain Condition- Based Tractor Failure Analysis Algorithm. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*; 7(1): 52-67.
21. Paman, U. Uchida, S. and Inaba, S. 2012. Operators' capability and facilities availability for repair and maintenance of small tractors in Riau province, Indonesia: a case study. *Journal of Agricultural Science*, 4(3): 71-78.
22. Rasekhi, R. and Shamsi, M. 2010. A case study for determining and evaluation a mathematical model to predict the repair and maintenance costs of MF285 tractors. 6<sup>th</sup> National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Tehran. Iran (In Farsi).
23. Rohani, A. and Masoudi, H. 2014. Economic life prediction of two-wheel drive tractor using cumulative cost model compared with cost minimization model, *Journal of Agricultural Engineering*, 36(2): 59-68 (In Farsi).
24. Saplioglu, K. Cimen, M. and Akman, B. 2010. Daily precipitation prediction in Isparta station by artificial neural network: Ohrid, Republic of Macedonia.
25. Sarlak, A., Mohammadi, M. and Barzegar, M. 2016. Compare evaluation of AR, MA, ARMA and ARIMA time series models for stock index forecasting in Tehran stock exchange companies. *Journal of new research on management and accounting*, 3: 129-154 (In Farsi).
26. Say, S. M. and Sumer, S. K. 2011. Failure rate analysis of cereal combined drills. *African Journal of Agricultural Research*, 6(6): 1322-1329.
27. Shirmohammadi, A. 2002. *Repair and maintenance planning*. Arkane Danesh. Iran. 315 p (In Farsi).
28. Vafaei, M. R. Mashadi Meighani, H. and Borghei, A. 2008. Determination the

