توسعه مدل ریاضی تعیین استراتژی مدیریت دارایی فیزیکی بر اساس فاکتورهای تأمین، نگهداری و تعمیرات

علی سیاح [۱]، رضا برادران کاظم زاده [۲،*]، محمد مهدی سپهری [۳]، حمیدرضا اسکندری [۴]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۴/۰۶

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۱۴

واژگان کلیدی:

مدیریت دارایی‌های فیزیکی،

نگهداری و تعمیرات،

تأمین تجهیزات،

برنامه‌ریزی نت پیشگیرانه،

بهینه‌سازی.

چکیده

بالارفتن هزینه سرمایه‌ای شرکت‌ها به علت افزایش پیچیدگی تجهیزات و ماشین-آلات و همچنین محدودیت مالی مصرف‌کنندگان موجب شده که ارائه‌دهندگان ماشین‌آلات و تجهیزات، راه‌های تأمین متنوعی را پیش روی تصمیم‌گیران قرار دهند. بعلاوه، نحوه نگهداری و تعمیرات تجهیزات تأثیر زیادی بر هزینه و سطح عملکرد آنها داشته و از طرف دیگر روش‌های تأمین نیز بر فعالیت‌های نت تأثیر می‌گذارند. از این رو، سازمان‌ها و شرکت‌ها برای جلوگیری از صرف هزینه اضافی نیازمند طراحی استراتژی بهینه تأمین و نت که با عنوان استراتژی مدیریت دارایی فیزیکی شناخته می‌شود، هستند. مدل ریاضی ارائه شده در این تحقیق با ایجاد امکان برقراری ارتباط بین سه محور پارامترهای تأمین، متغیرهای برنامه‌ریزی نت و داده‌های کارکردی گذشته تجهیز به تعیین استراتژی بهینه با توجه به افق زمانی پروژه می‌پردازد. خروجی مدل ارائه شده برداری شامل نوع روش تأمین (خرید، لیز (اجاره) و بازسازی) و استراتژی نت (درجه تأثیر فعالیت نت، زمان بین فعالیت‌های نت و سطح جوان‌سازی) و میزان هزینه می‌باشد. نحوه کارکرد مدل توسعه داده شده برای تعیین استراتژی مدیریت دارایی فیزیکی یک تجهیز معدنی با چشم‌انداز استفاده به مدت ۱۰ سال در معدن مس مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

۱- مقدمه

بر اساس تحقیق کمپل و همکاران [۱] در سال ۱۹۹۵، ۲۰ تا ۵۰ درصد کل هزینه صنعت معدن، ۱۵ تا ۲۵ درصد صنایع فلزی و ۳ تا ۱۵ درصد صنایع تولیدی را هزینه‌های نگهداری و تعمیرات تشکیل می‌دهند. در چنین صنایعی، هزینه نگهداری و تعمیرات و عملیاتی یک تجهیز در طول زمان استفاده از آن ممکن است بسیار بیشتر از هزینه خرید آن گردد. در نتیجه، تصمیم‌ها در نحوه برنامه‌ریزی و انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات می‌تواند بر کل هزینه طول عمر یک دارایی فیزیکی تأثیر به‌سزایی داشته باشد [۲].

از طرف دیگر، پیچیده‌تر شدن تجهیزات، باعث افزایش هزینه سرمایه‌ای سازمان‌ها و شرکت‌ها و در نتیجه کاهش توانایی خرید آنها شده است. این در حالی است که شرکت‌ها و بنگاه‌های اقتصادی برای انجام فعالیت‌های تولیدی و خدماتی خود با توجه به افزایش تقاضا و پیچیده شدن فرایندهای تولید ناگزیر به استفاده از این تجهیزات هستند [۳].

لذا، انگیزه بالایی برای شرکت‌ها وجود دارد تا این تجهیزات

*. پست الکترونیک نویسنده مسئول: rkazem@modares.ac.ir

۱. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس

۲. دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس

۳. استاد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس

۴. استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس

را از روش‌های با هزینه کمتر تأمین کنند. از طرف دیگر، تأمین‌کنندگان نیز تمایل دارند که با ارائه روش‌های متنوع تأمین، طیف مشتریان خود را گسترش دهند. در نتیجه، در عمل تصمیم‌گیران با روش‌های متنوع تأمین تجهیزات مانند خرید، اجاره، لیز و بازسازی تجهیزات موجود مواجه هستند و انتخاب گزینه بهینه بین آنها چالشی جدی می‌باشد.

در حال حاضر، چنین تصمیم‌هایی بر اساس تجربه خبرگان انجام می‌پذیرد که با افزایش پیچیدگی ماشین‌آلات و نوسانات هزینه‌ای و فاکتورهای زیاد دخیل در تصمیم‌گیری، این تصمیم‌گیری‌ها نمی‌تواند قابل اطمینان باشد [۴].

۲- ادبیات موضوع

از آنجا که مسئله این تحقیق، ترکیبی از چند حوزه متفاوت تحقیقاتی می‌باشد، در این بخش تلاش می‌شود تا به اختصار به معرفی ادبیات تحقیقات مرتبط با موضوع و نوآوری این تحقیق پرداخته شود.

در ادبیات موضوع، به صورت مفصل به مدل‌های تصمیم-گیری در تعیین استراتژی بهینه سرمایه‌گذاری پرداخته شده است. اما با این حال، تحقیقات بسیار کمی گزینه‌های خرید، لیز، اجاره و بازسازی را همراه با برنامه‌ریزی نت و شرایط قرارداد در مدل‌های خود در نظر گرفته‌اند.

بعضی از این تحقیقات به بررسی خرید در مقابل لیز پرداخته‌اند. به عنوان مثال، ملاقاسمی و همکاران [۵] روند اقتصادی پیاده‌سازی خرید در مقابل لیز را به وسیله ابزار تصمیم‌گیری چند معیاره تحقیق کرده‌اند.

در بعضی تحقیقات، آنالیز جریان نقدی[1] و تکنیک‌های ارزش کنونی[2] استفاده شده‌اند. داسگوپتا و همکاران [۶] نیز آمار توصیفی را برای ساخت یک مدل انتخاب مشتریان به جهت خرید یا لیز اتوموبیل استفاده کرده‌اند. اما هزینه-های نگهداری و تعمیرات در این تحقیق صرفاً بر اساس طول زمان استفاده از وسیله نقلیه حساب شده است که روش دقیقی نیست.

در تحقیق دیگر، برلین و لکزا [۷] دو گزینه خرید و لیز را بررسی، میزان ارزش کنونی جریان نقدی را محاسبه و انعطاف‌پذیری و از رده خارج شدن دستگاه به عنوان فاکتورهای کیفی را مطالعه نموده‌اند. بعضی تحقیقات دیگر، لیز را در مقابل فروش از دیدگاه سازنده یا فروشنده محاسبه کرده‌اند. باسکاران و گیلبرت [۸] تأثیر تولید یک محصول تکمیلی را به وسیله یک تولید کننده مستقل بر تصمیم گیری لیز با فروش تحقیق کرده‌اند. دسای و پوروهیت [۹] نرخ استهلاک ماشین را به عنوان متغیر تصمیم اصلی برای تعیین استراتژی بهینه یک تولید کننده بین لیز و فروش در نظر گرفته‌اند. ناکس و الیاشبرگ [۱۰] به‌وسیله ساخت یک پانل منحصر به فرد حاوی اطلاعات تصمیم‌گیری مصرف‌کنندگان بین اجاره و خرید اقدام به یافتن فاکتور اساسی‌تر در تصمیم مصرف‌کنندگان پرداخته‌اند.

دسته دیگری از تحقیقات که می‌توان آنها را مرتبط با حوزه این تحقیق دانست، بهینه‌سازی استراتژی نت از دیدگاه‌های مختلف با هدف کاهش هزینه‌ها می‌باشد. تنوع در فرضیات و روش‌ها موجب به وجود آمدن ادبیات بسیار گسترده‌ای در این حوزه شده است که در مقالات مروری محدودی به دسته‌بندی این تحقیقات پرداخته شده است [۱۴-۱۱]. بخشی از این تحقیقات از این نظر که به محاسبه هزینه‌های چرخه عمر تجهیز در طول عمر آن می‌پردازند به حوزه این تحقیق نزدیک است [۱۸-۱۵]. بخش گسترده دیگری از نظر هدف قرار دادن بهینهسازی نت پیشگیرانه برای انجام این تحقیق مورد توجه بوده‌اند [۲۵-۱۹]. مقالات این حوزه بر اساس نحوه میزان تأثیر فعالیت نت به سه دسته عمده تقسیم‌بندی می‌شوند :

الف - تأثیرکامل[3] (باعث برگشتن نرخ خرابی تجهیز به حالت اول[4] آن می‌گردد) [۲۶ و ۲۷].

ب- تأثیر حداقلی[5]: تغییری در نرخ خرابی تجهیز ایجاد نمی‌شود] ۳۰-۲۸[.

ج- تأثیر ناقص[6]: نرخ خرابی تجهیز بعد از تعمیر بین دو

[1] Cash flow analysis
[2] Net present value (NPV)
[3] Perfect maintenance
[4] As good as new
[5] Minimal repair
[6] Imperfect maintenance

حالت قبل تغییر می‌کند [۳۱ و ۳۲] . از آنجا که در عمل این رویکرد واقعی‌تر از بقیه است، در این تحقیق از این رویکرد برای مدل‌سازی استفاده شده است.

یکی از پارامترهای مؤثر در میزان هزینه یک تجهیز، نوع خدمات وارانتی ارائه شده می‌باشد تحقیقات بسیار زیادی در این حوزه انجام شده که در مقالات مروری دسته‌بندی و مرور شده‌اند [۳۳ و ۳۴]. اما اکثر این تحقیقات از دیدگاه فروشنده هستند که در پی به‌دست آوردن میزان دوره وارانتی ارائه شده توسط فروشنده بر اساس هزینه می‌باشند. در حالی که جای تحلیل شرایط بر اساس نظر استفاده کننده از دستگاه در روش‌های مختلف تأمین و مقایسه آنها با هم در ادبیات خالی می‌باشد.

رویکرد مرتبط دیگر، مقالاتی با هدف تعیین استراتژی تعمیر و یا تعویض هستند [۳۷-۳۵]. همچنین، در حوزه لیزینگ نیز بعضی از محققین فاکتورهای نت را مورد توجه قرار داده‌اند [۳۰ و ۳۸].

در این تحقیق، تلاش می‌شود تا با مدل‌سازی راه‌های مختلف تأمین یک تجهیز، بر اساس شرایط پیش روی تصمیم‌گیر و یکپارچه‌سازی آنها روش بهینه تأمین و برنامه‌ریزی نت تجهیز بر اساس طول مدت استفاده تعیین شود. به این ترتیب که نه تنها نوع روش تأمین از بین خرید، لیز (اجاره) و بازسازی تعیین می‌شود، بلکه تأثیر تغییر فاکتورهای اساسی عملیات نت (به عنوان متغیرهای تصمیم) در طول زمان استفاده نیز در آن انتخاب دخالت داده می‌شود. در اغلب تحقیقات انجام شده یا روش تأمین را در ارتباط با سیاست نت قرار نداده‌اند و یا اگر در نظر گرفته باشند به تحلیل‌های صرفاً در فضای یک راه تأمین خاص و یا حداکثر مقایسه دو طریق (تعویض یا تعمیر) به صورت ساده (با پارامترهای نت ثابت برای محاسبه هزینه کل) پرداخته‌اند. از طرف دیگر، به نظر می‌رسد اغلب تحقیقات انجام شده به دنبال تعیین فاکتورهای نت بهینه و در بعضی تعیین فاکتورهای تأمین بر اساس نظر فروشنده و یا لیز دهنده در هر روش تأمین به صورت جداگانه بوده است، به نحوی که سود حداکثری را حاصل کند و نیازی به مقایسه بین آنها ندیده‌اند. اما در این تحقیق، تحلیل از دیدگاه مصرف‌کننده تجهیز، که مورد استفاده بیشتری در جامعه دارد، صورت می‌گیرد و این مستلزم در نظر گرفتن راه‌های تأمین متفاوت در کنار هم می‌باشد. این تحقیق شامل بخش‌های زیر می‌شود: در بخش دوم، انواع روش‌های تأمین بر اساس پارامترها، متغیرها و همچنین تعاریف، مدل‌سازی شده است. در بخش سوم، مدل بهینه‌سازی تشکیل و مطالعه موردی حل گردیده و نحوه عملکرد آن مورد بحث قرار گرفته است. در بخش چهارم، نتیجه‌گیری انجام گرفته است.

۳- تعریف متغیرها و پارامترها

در حالت کلی، سه راه عمده برای تأمین تجهیزات مورد نیاز برای شرکت‌ها در صنعت وجود دارد:

الف) خرید تجیهز

ب) لیزینگ و اجاره

ج) بازسازی تجهیز موجود

۳-۱- خرید

اگر چه ساده‌ترین راه تهیه و تأمین یک تجهیز خریدن آن است و از این طریق خریدار تملک بر تجهیز خواهد داشت و از خدمات وارانتی استفاده می‌کند، اما خرید لزوماً تصمیم بهینه و اقتصادی برای تأمین تجهیزات پروژه، به خصوص تجهیزات سنگین مانند ماشین‌آلات عمرانی که نیازمند متخصصین و قطعات یدکی گران‌قیمت برای نگهداری است، نمی‌باشد [۳۹]. لذا، برای ارزش‌گذاری این روش نسبت به روش‌های دیگر می‌بایست تخمین کل هزینه در طول عمر تجهیز در قبال بقیه روش‌ها انجام پذیرد. هزینه‌های خریدار شامل هزینه خرید، هزینه‌های نت و هزینه اسقاط در انتهای زمان پروژه می‌گردد.

$$C_{up} = S_b + C_{cm} + C_{pm} - S_r \qquad (۱)$$

- **هزینه خرید S_b :** هزینه‌ای که برای یک تجهیز در ابتدای مدت زمان استفاده آن (در خرید مالکیت تجهیز بلافاصله به خریدار منتقل می‌شود) پرداخت می‌شود.

- **هزینه‌های نت:** هزینه‌ای که در طول مدت استفاده از محصول به جهت نگهداری و تعمیرات آن مصرف می‌شود. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های ناشی از خرابی‌های پیش‌بینی نشده C_{cm} و هزینه‌های ناشی از عملیات نت پیشگیرانه (روتین) C_{pm} می‌باشد.

در طول مدت تعریف شده برای استفاده از تجهیز که مبتنی بر طول مدت پروژه t_p می‌باشد، خرابی‌های پیش‌بینی نشده اتفاق می‌افتد که متوسط هزینه رفع آنها C_r می‌باشد. از آنجا که وقوع خرابی‌های پیش‌بینی نشده به صورت تصادفی است، نمی‌توان میزان و زمان دقیق آنها را پیش‌بینی نمود. اما با تعریف زمان وقوع خرابی به صورت متغیر تصادفی t می‌توان تعداد مورد انتظار خرابی $N(t)$ را در هر بازه زمانی تخمین زد.

این خرابی‌ها به صورت جزیی[1] فرض می‌شوند تا نرخ خرابی تجهیز $r(t)$ بعد از تعمیر تغییری در آن صورت نگیرد. همچنین، در این تحقیق فرض شده که تابع چگالی زمان خرابی $f(t)$ و تابع توزیع تجمعی $F(t)$ در طول زمان بدون انجام فعالیت نت روتین (PM) از توزیع دوپارامتری بسیار منعطف ویبول[2] با پارامتر شکل β[3] و پارامتر مقیاس η[4] پیروی می‌کند.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (۲)$$

$$r(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (۳)$$

همچنین، فرض می‌شود که نرخ خرابی $r(t)$ در طول زمان افزاینده بوده ($\beta>1$) و در نتیجه تعداد مورد انتظار خرابی $N(t)$ از توزیع پواسون غیر همگن پیروی می‌کند (NHPP[5]) و مقدار آن بر اساس معادله (۴) به‌دست می‌آید.

$$r(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (۴)$$

$$N(t) = \int_0^t r(x)dx \quad (۵)$$

در صورت عدم وجود فعالیت‌های نت روتین هزینه خرابی‌های پیش‌بینی نشده با توجه به متوسط هزینه خرابی‌ها C_r به صورت زیر خواهد بود:

$$C_{cm} = C_r N(t) \quad (۶)$$

اما در عمل، فعالیت‌های نت پیشگیرانه موجب بهبود وضعیت ماشین‌آلات شده و نرخ خرابی آنها را کاهش می‌دهند. یک فعالیت نت پیشگیرانه دارای دو خصیصه اصلی می‌باشد. اول، زمان بین دو فعالیت روتین d_n و در نتیجه تعداد فعالیت نت n و دوم، میزان سطح تأثیر آن d_{pm}. از این رو، می‌بایست تأثیر این فعالیت‌ها را بر تعداد خرابی‌های پیش‌بینی نشده در طول مدت استفاده t_p مورد توجه قرار داد.

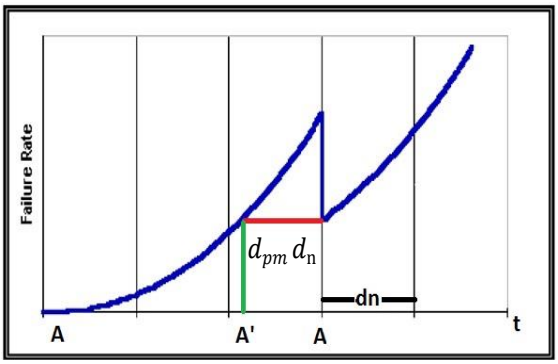
برای این منظور، طول دوره پروژه به n دوره نت پیشگیرانه با فواصل d_n تقسیم می‌شود $n = \left[\frac{t_p}{d_n}\right]$. در اینجا فرض شده است که فعالیت‌های نت پیشگیرانه در فواصل ثابت d_n از یکدیگر، انجام می‌شود. در اینجا، تأثیر فعالیت نت d_{pm} بر پایه روش عمر مجازی[6] [۴۰] و با این فرض که فعالیت‌های نت پیشگیرانه در طول مدت استفاده در یک سطح ثابت قرار داشته باشند مدل‌سازی می‌شود. بر اساس رویکرد عمر مجازی، تأثیر فعالیت نت به صورت کاهش عمر تجهیز از A به A' ($A'<A$) در نظر گرفته می‌شود. این رویکرد با فرض افزایشی بودن نرخ خرابی تجهیز می‌باشد، که در نتیجه با کاهش عمر تجهیز بعد از فعالیت نت پیشگیرانه به میزان نسبتی از بازه زمانی بین فعالیت‌های PM موجب کاهش نرخ خرابی می‌گردد. در شکل (۱)، با کاهش عمر تجهیز از A به A' میزان نرخ خرابی آن نیز از $r(A)$ به $r(A')$ همانطور که در روابط (۷) و (۸) آمده است کاهش پیدا می‌کند. لازم به ذکر است که منظور از عمر تجهیز، زمان سپری شده از زمان ساخت تجهیز می‌باشد.

[1] Minimal
[2] Weibull
[3] Shape parameter
[4] Scale parameter
[5] Non homogenous Poisson process
[6] Virtual age

$$A' = A - d_{pm}d_{\mathrm{n}} \quad (۷)$$

$$r(A') = r\left(A - id_{pm}d_{\mathrm{n}}\right) \quad (۸)$$

در رابطه بالا، i تعداد عملیات PM انجام شده تا زمان A ، d_{pm} عددی بین صفر تا ۱ و نشان‌دهنده میزان تأثیر فعالیت نت و d_{n} مدت زمان بین فعالیت‌های نت برنامه‌ریزی شده است. در اینجا، میزان کاهش عمر تجهیز به صورت نسبتی از دوره زمانی فعالیت PM قرار داده شده است. در صورتی که $d_{pm} = 0$ باشد به این معنی است که فعالیت PM تأثیری بر نرخ خرابی نمی‌گذارد و وضعیت تجهیز به بدی گذشته[1] می‌ماند. به بیان دیگر، هیچ گونه کاهشی در عمر تجهیز صورت نمی‌گیرد. در صورتی که $d_{pm} = 1$ باشد فعالیت PM وضعیت تجهیز را به خوبی ابتدای دوره برمی‌گرداند. در این تحقیق، بر اساس نظر خبرگان، فرض شده که فعالیت PM نمی‌تواند عمر تجهیز را بیشتر از d_{n} کاهش دهد ($d_{pm}d_{\mathrm{n}} \leq d_{\mathrm{n}}$). باید به این نکته توجه داشت که در رویکرد عمر مجازی، علاوه بر کاهش میزان نرخ خرابی از میزان $\mathrm{r(A)}$ به $\mathrm{r(A')}$ شیب نرخ خرابی تجهیز نیز به نقطه A' برمی‌گردد.



شکل ۱- تأثیر فعالیت نت پیشگیرانه بر اساس رویکرد کیجیما (محور افقی زمان و محور عمودی نرخ خرابی می‌باشد)

برای محاسبه تعداد مورد انتظار خرابی پیش‌بینی نشده در طول زمان استفاده $\mathrm{t_p}$ که شامل n فعالیت PM می‌شود می‌بایست این تعداد را برای تک تک دوره‌های زمانی بین فعالیت‌های نت PM محاسبه نمود. از طرف دیگر، در روش خرید، زمان گارانتی تجهیز بخشی از زمان استفاده را تشکیل می‌دهد که در طول آن فروشنده هزینه‌های خرابی محصول را به عهده گرفته و خریدار در آن دوره هزینه‌ای نخواهد کرد.

در اینجا، بر اساس عموم قراردادهای خرید ماشین‌آلات سنگین در ایران فرض می‌شود که فروشنده خدمات گارانتی خود را در قالب وارانتی FRW[2] و تجدیدناپذیر به خریدار ارائه می‌کند. در این نوع از وارانتی، فروشنده متعهد می‌گردد که همه هزینه‌های خرابی پیش‌بینی نشده دستگاه را در طول مدت زمان w به عهده بگیرد. لذا، این دوره زمانی را از طول دوره استفاده کم کرده و تعداد خرابی را در طول دوره بعد از وارانتی محاسبه می‌شود. بر اساس روابط (۴) و (۷) تعداد خرابی‌های پیش‌بینی نشده پس از زمان گارانتی w به صورت زیر مدل‌سازی می‌گردد:

$$N(t_p) = \int_{w}^{\left(\left[\frac{w}{d_n}\right]+1\right)d_n} r(t - \left[\frac{w}{d_n}\right] \mathrm{d_{pm}d_n})\mathrm{d(t)} + \sum_{\mathrm{i=n1}}^{\mathrm{n-1}} \int_{\mathrm{id_n}}^{\mathrm{(i+1)d_n}} \mathrm{r(t - id_p\, d_n)}d(t) + \int_{nd_n}^{\mathrm{t_p}} \mathrm{r(t - n\, d_{pm}d_n)} \quad (۹)$$

در رابطه (۹) ، n از آنجا که شروع زمان محاسبه $N(t)$ از w می‌باشد، زمان فعالیت نت PM بعدی از رابطه $\left(\left[\frac{w}{d_n}\right]+1\right)d_n$ به دست می‌آید که برای سهولت $n_1 = \left[\frac{w}{d_n}\right]+1$ نامیده شده است. n در رابطه (۸) تعداد کل فعالیت‌های PM می‌باشد که بر اساس زمان انجام پروژه به‌دست می‌آید $\left(\mathrm{n} = {}^{t_p}/_{d_{\mathrm{n}}}\right)$. در نتیجه، با داشتن $N(t)$ در رابطه (۶) هزینه خرابی پیش‌بینی نشده در خرید دستگاه محاسبه می‌گردد.

از آنجا که خرابی‌های پیش‌بینی نشده تجهیزات در ساعات کار تجهیز و بدون برنامه‌ریزی صورت می‌گیرد موجب اختلال در تولید و یا خدمات در حال ارائه توسط مجری می‌گردد. لذا، هزینه توقف C_{sh} تابعی از زمان مورد نیاز برای تعمیر T_r می‌باشد. زمان مورد نیاز برای تعمیر یک تجهیز خود یک متغیر تصادفی می‌باشد که در اینجا فرض می‌شود از توزیع نمایی g با پارامتر λ پیروی می‌کند. در

[1] As bad as old

[2] Free replacement warranty

توزیع نمایی، متوسط زمان تعمیر μ تجهیزات μ=1/ λ می‌باشد. در نتیجه، هزینه توقف به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$C_{sh} = N(t_p)\frac{C_s}{\lambda} \qquad (۱۰)$$

در رابطه (۱۰)، C_s میزان هزینه توقف تولید در واحد زمان می‌باشد یا به عبارتی سود حاصله در واحد زمان. در بخش دوم، هزینه‌های نت تجهیز شامل هزینه خود فعالیت‌های PM می‌باشد. این هزینه تابعی از دو خصوصیت اصلی فعالیت PM، یعنی زمان بین فعالیت‌ها d_n و سطح تأثیر d_{pm} آن می‌باشد. با توجه به ثابت بودن هر دو پارامتر، هزینه C_{pm} به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$C_{pm} = n(c_{pm}) \qquad (۱۱)$$

$$c_{pm} = c_{min} + kd_{pm} \qquad (۱۲)$$

در رابطه (۱۱)، C_{pm} هزینه هر فعالیت PM می‌باشد که در رابطه (۱۲) فرض می‌شود تابعی خطی غیر منفی و افزایشی از سطح تأثیر فعالیت PM و کمترین هزینه نت پیشگیرانه c_{min} است. k پارامتر حاصل از رگرسیون اطلاعات برای استخراج این رابطه می‌باشد.

۳-۲- هزینه اسقاط در انتهای زمان پروژه

از آنجا که هدف این تحقیق مقایسه روش‌های مختلف تأمین با یکدیگر از بُعد هزینه می‌باشد، لذا، با توجه به امکان فروش تجهیز خریداری شده پس از انجام پروژه، درآمد حاصل از آن که معادل قیمت قابل فروش به بازار تجهیز در انتهای زمان استفاده می‌باشد از هزینه کل روش کم می‌گردد. برای محاسبه قیمت قابل فروش S_s از رابطه (۱۳) استفاده می‌شود که تابعی از قیمت اولیه، عمر مفید و عمر تجهیز در پایان دوره استفاده می‌باشد. در حالت خرید، عمر تجهیز در زمان انجام پروژه معادل حاصل جمع عمر اولیه هنگام خرید (در صورت دست دوم بودن تجهیز) وزمان انجام پروژه می‌باشد. بر اساس این رابطه، ارزش قابل دریافت تجهیز در هر لحظه از زمان معادل نسبت باقی مانده از عمر آن از قیمت خرید دستگاه می‌باشد. البته از آنجا که در دنیای واقعی به محض خریداری کردن تجهیز و دست دوم شدن آن علی‌رغم نگذشتن زمان طولانی از زمان خرید، مقداری از ارزش آن کاهش پیدا می‌کند، ضریب θ برای در نظر گرفتن میزان کاهش ناگهانی تجهیز در رابطه (۱۳) آورده شده است. در واقع، θ نسبت باقی مانده از قیمت خرید دستگاه نو S_b یک تجهیز بلافاصله پس از خرید می‌باشد.

$$S_S = \theta S_b\left(1 - \frac{A + t_p}{L}\right) \qquad (۱۳)$$

در رابطه (۱۳)، L عمر مفید دستگاه می‌باشد که $t_p \le L$. به عبارت دیگر فرض شده است که طول زمان پروژه کمتر از طول عمر مفید تجهیز می‌باشد. در نهایت، کل هزینه طول عمر تجهیز در صورت خرید آن را می‌توان بر اساس روابط (۶)، (۹)، (۱۰) و ۱۱به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$C_b = \mathrm{S_b} + (\mathrm{C_r} + \tfrac{C_s}{\lambda})\Big[\int_w^{\left(\left[\frac{w}{d_n}\right]+1\right)d_n} r(A + t - \left[\tfrac{w}{d_n}\right]\mathrm{d_{pm}d_n})\mathrm{d(t)} + \textstyle\sum_{\mathrm{i=n1}}^{\mathrm{n-1}}\{\int_{\mathrm{id_n}}^{\mathrm{(i+1)d_n}} \mathrm{r(A + t - id_p\, d_n)}d(t)\} + \int_{nd_n}^{\mathrm{t_p}} \mathrm{r(A + t - n\, d_{pm}d_n)}d(t)\Big] + n(c_{min} + kd_{pm}) - \theta S_b\left(1 - \tfrac{A+t_p}{L}\right) \qquad (۱۴)$$

در رابطه بالا برای اینکه مدل حالاتی از قبیل خرید دست دوم را نیز شامل گردد، نرخ خرابی تجهیز با در نظر گرفتن عمر تجهیز A مورد محاسبه قرار گرفته است. در صورت خرید دستگاه نو $\mathrm{A} = 0$ خواهد بود و نرخ خرابی طبق توزیع آن از زمان صفر شروع خواهد شد. در غیر این صورت، عمر تجهیز در نرخ خرابی آن انعکاس خواهد داشت.

۳-۳- لیز و اجاره

گزینه دیگر و بسیار رایج و جذاب پیش روی تصمیم‌گیران تأمین تجهیزات از طریق قراردادهای لیز است که در طول مدت زمان می‌توانند تجهیزات مورد نیاز خود را تأمین کنند. براساس چهارچوب قرارداد خرید اقساطی اعلام شده توسط بانک مرکزی ایران برای خرید اقساطی (لیزینگ) در ابتدای دوره خریدار می‌بایست هزینه اولیه را به صورت نقدی

پرداخت کند و سپس در دوره‌های زمانی مشخص (عموما ماهانه) اقساط آن پرداخت گردد. در دنیا، لیزینگ دارای تنوع بسیار زیادی می‌باشد. اما در ایران یک نوع ساده از آن که به صورت اجاره به شرط تملیک می‌باشد مورد استفاده است. لذا، در این بخش، هزینه‌ها بر اساس این فرض مدل‌سازی می‌شوند [۴۱].

هزینه‌های ایجاد شده برای خریدار در شرایط لیز شامل هزینه‌های نت و هزینه پرداختی تأمین تجهیز می‌باشد. هزینه‌های نت مانند حالت خرید، شامل هزینه‌های ناشی از خرابی‌های پیش‌بینی نشده C_{cm} و هزینه‌های ناشی از عملیات نت پیشگیرانه (روتین) C_{pm} می‌باشند.

کلیه هزینه‌های وارده به یک خریدار در قالب قرارداد لیز (اجاره به شرط تملیک) به صورت زیر می‌باشد:

$$C_l = S_l + C_{re} + C_{cm} + C_{pm} - S_S \qquad (۱۵)$$

در رابطه (۱۵)، C_l کل هزینه برای لیز کننده یا اجاره کننده می‌باشد که در آن S_l مبلغ اولیه قرارداد و C_{re} هزینه ناشی از پرداخت‌های اقساط می‌باشد که در صورت اجاره تابعی از طول زمان استفاده t_p و در صورت لیز تابعی از تعداد معین پرداخت اقساط m_1 می‌باشد. لذا، هزینه پرداخت اقساط به صورت زیر مدل‌سازی می‌گردد:

$$\gamma = \begin{cases} 0 & if \quad \theta = 0 \\ 1 & if \quad \theta > 0 \end{cases} \qquad (۱۶)$$

$$C_{re} = \gamma m_1 C_d + (1-\gamma)\frac{t_p}{d} C_d \qquad (۱۷)$$

در رابطه (۱۷) d دوره پرداخت اقساط می‌باشد. در اینجا فرض شده است که طول دوره لیز کوتاه‌تر از دوره استفاده می‌باشد $m_1 \le \frac{\mathrm{t_p}}{\mathrm{d}}$. میزان هزینه پرداخت اقساطی بر مبنای پارامتر θ در روابط (۱۶) و (۱۷) مدل‌سازی شده است. در حالت خاص لیز، یعنی اجاره $\theta = 0$ ، پارامتر γ نیز صفر خواهد بود و هزینه اقساط بر اساس طول دوره استفاده و تعداد دوره پرداخت اجاره محاسبه می‌شود. اگر $\theta > 0$ پارامتر $\gamma = 1$ می‌شود و هزینه پرداخت اقساطی بر اساس تعداد مشخص اقساط لیز محاسبه می‌گردد. در اینجا با توجه به تورم فرض شده است که هزینه اجاره و یا اقساط بر اساس نرخ تورم سالانه افزایش می‌یابد. در این صورت، با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول تغییری در میزان آن در این مدل‌سازی ایجاد نمی‌کند. در نهایت، هزینه کل لیز یا در حالت خاص آن اجاره با جایگذاری رابطه (۱۷) در (۱۵) به صورت زیر در می‌آید :

$$C_l = S_l + \left(\gamma m_1 C_d + \gamma \frac{t_p}{d} C_d\right) + (\mathrm{C_r} + \frac{C_s}{\lambda}) \left[\int_w^{n_1 d_n} r(t - \left[\frac{w}{d_n}\right] \mathrm{d_{pm} d_n}) \mathrm{d(t)} + \sum_{\mathrm{i}=n_1}^{\mathrm{n}-1} \{\int_{\mathrm{id_n}}^{(\mathrm{i}+1)\mathrm{d_n}} \mathrm{r(t - id_{pm}\, d_n)} d(t)\} + \int_{nd_n}^{\mathrm{t_p}} \mathrm{r(t - n\, d_{pm} d_n)} d(t)\right] + n\left(c_{min} + k d_{pm}\right) - \theta S_b \left(1 - \frac{t_p}{L}\right) \qquad (۱۸)$$

همانطور که در رابطه (۱۸) دیده می‌شود، در صورت لیز کردن در انتهای دوره، لیز کننده می‌تواند تجهیز را به تملک خود درآورد و یا می‌تواند تجهیز را با ارزش بازاری آن بفروشد که از هزینه‌های او کاسته می‌شود. اما در صورت اجاره در انتهای دوره استفاده از تجهیز، هیچ تملکی برای اجاره کننده وجود نخواهد داشت. از این رو زمانی که پارامتر $w = 0$ و $\theta = 0$ باشد حالت خاص مدل که اجاره است روی می‌دهد. در این حالت، صفر شدن میزان ارزش بازاری تجهیز S_S نشان‌دهنده عدم تملک تجهیز بوده و همچنین $w = 0$ نشان دهنده عدم وجود وارانتی در حالت اجاره می‌باشد. لذا، مدل مذکور حالت اجاره را نیز به خوبی پوشش می‌دهد.

۳-۴- بازسازی

در بسیاری از مواقع، مجری یا پیمانکار یک پروژه دارای تجهیزات و ماشین آلات قدیمی می‌باشد و برای او مطلوب است که با توجه به شرایط این تجهیزات به بازسازی آنها بپردازد و در پروژه آنها را با برنامه نت فشرده‌تری به کار گیرد. اما ممکن است هزینه بازسازی و نت آنها آنقدر زیاد گردد که در طول انجام پروژه مقرون به صرفه نبوده و بهتر باشد که از طرق دیگر (خرید، لیز ، اجاره) تجهیز با شرایط بهتر جایگزین گردد.

هزینه‌هایی که در این نوع روش از تأمین متوجه پیمانکار یا

انجام دهنده پروژه می‌شود شامل هزینه بازسازی اساسی تجهیز و یا خرید دستگاه دست دوم C_u هزینه نگهداری تعمیرات در طول دوره کارکرد که شامل هزینه نت پیشگیرانه C_{pm} و نت اصلاحی C_{cm} و همچنین میزان ارزش آن در انتهای دوره استفاده S_r می‌باشد.

$$C_{up} = C_u + C_{cm} + C_{pm} - S_r \qquad (۱۹)$$

هزینه فعالیت بازسازی یک تجهیز تابعی از عمر A آن تجهیز و میزان سطح نوسازی q آن می‌باشد. سطح نوسازی در واقع (مانند درجه فعالیت PM) را می‌توان بر اساس میزان جوان‌سازی تجهیز مدل‌سازی کرد. مدل زیر بر اساس مدل‌سازی پونگچ و همکاران [۴۲] از هزینه یک فعالیت بازسازی ساخته شده است.

$$C_{\mathrm{u}}(\mathrm{A},\mathrm{q}) = \frac{\alpha q \mathrm{A}}{1 - \mathrm{e}^{-\varphi(\mathrm{A}-\mathrm{qA})}} \qquad (۲۰)$$

در رابطه فوق، q عددی بین صفر و یک است که میزان درصد نوسازی یک تجهیز در عملیات جوان‌ساز را نشان می‌دهد. با تعویض قطعات قدیمی می‌توان عمر مفید تجهیز را بیشتر یا به عبارتی آن را جوان‌تر کرد. میزان سطح نوسازی تجهیز بستگی به تعداد و نوع بخش قدیمی یا صدمه دیده تجهیز می‌باشد. q به صورت درصد تعویض قطعات تجهیز تعریف می‌شود. لذا، با این تعریف، در صورتی که $q = 1$ باشد به معنای ۱۰۰٪ تعویض قطعات بوده و از آنجا که فرض شده است که نمی‌توان تجهیز را به خوبی نو درآورد، هزینه آن بینهایت می‌گردد. همچنین، در صورتی که $q = 0$ باشد هیچ فعالیت جوان‌سازی روی آن انجام نمی‌گردد.

$$C_{up} = \frac{\alpha q \mathrm{A}}{1-\mathrm{e}^{-\varphi(\mathrm{A}-\mathrm{qA})}} + (\mathrm{C_r} + \frac{C_s}{\lambda}) \Big[\int_A^{A+d_n} r(t-\mathrm{qA})\mathrm{d(t)} + \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}-1}\{\int_{\mathrm{A+idn}}^{\mathrm{A+(i+1)d_n}} \mathrm{r(t-qA-idp\,d_n)}d(t)\} + \int_{A+nd_n}^{\mathrm{t_p}} \mathrm{r(t-qA-n\,d_{pm}d_n)}d(t)\Big] + n\left(c_{min} + kd_{pm}\right) - \theta S_b\left(1 - \frac{t_p+(A-qA)}{L}\right) \qquad (۲۱)$$

۴- مدل بهینه‌سازی

بر اساس مدل‌های ساخته شده در سه حالت خرید، لیز و اجاره و بازسازی هزینه‌هایی که استفاده کننده از تجهیز می‌بایست در هر یک از راه‌های پیش روی او پرداخت کند قابل محاسبه می‌باشد. اما همه این هزینه‌ها تابعی از پارامترهای هر یک از راه‌های تأمین و همچنین استراتژی نت مورد استفاده در طول زمان استفاده می‌باشند. لذا، برای اینکه یک تصمیم‌گیر بتواند با توجه به توانایی خود در کم و زیاد کردن برنامه‌ریزی نت تجهیز در طول مدت استفاده روش بهینه تأمین را انتخاب کند می‌بایست با تعیین پارامترهای مدل‌ها، فضای تصمیم را توصیف کند و در پی آن همه روش‌ها در کنار یکدیگر مورد ارزیابی قرار گیرند. در این بخش، به وسیله تعریف متغیرهای صفر و یک مدل‌ها X_1 ، X_2 ، X_3 با یکدیگر در یک مدل بهینه‌سازی با هدف کمینه کردن هزینه یکپارچه شده است.

$$Min\ f = X_1(C_b) + X_2(C_l) + X_3(\mathrm{C_{up}})$$

Subject to:

$$\sum_{\mathrm{i}=1}^{3} X_i = 1$$

$$n = \left[\frac{t_p}{d_n}\right]$$

$$n_1 = \left[\frac{w}{d_n}\right] + 1$$

$$0 \le d_{pm} \le 0.9$$

$$0 \le q \le 0.8$$

$$t_p > d_n > 0 \qquad (۲۲)$$

تابع هدف مدل مشتمل بر سه رابطه ساخته شده بر اساس هزینه ناشی از پرداخت‌های مالی نوع تأمین تجهیز و همچنین فعالیت‌های نت، در طول زمان استفاده از تجهیز می‌باشد که در آن C_b در رابطه (۱۴) ، C_l از رابطه (۱۸) و $\mathrm{C_{up}}$ از رابطه (۲۱) بر حسب سه متغیر تصمیم q ، d_{pm} ، d_n محاسبه می‌گردد. محدودیت اول موجب می‌شود که همیشه یکی از مقادیر X_i مقدار یک گرفته و فضای جواب متعلق به هر روش از دیگری جدا شود. این موجب می‌شود که تأثیر هزینه‌ای مقادیر یکسانی از متغیرهای تصمیم در روش‌های مختلف به عنوان جواب‌های شدنی متفاوت مورد

بررسی قرار گیرد. محدودیت‌های اول و دوم دو متغیر n و n_1 که برای ساده سازی مدل‌ها ایجاد شده بودند را بر اساس متغیر تصمیم تعریف می‌کنند. محدودیت سوم (سطح عملیات روتین) و چهارم (سطح عملیات بازسازی) بازه‌های تغییر عملی متغیرهای تصمیم را بر اساس نظر خبرگان تعیین می‌کنند. محدودیت پنجم نیز نشان دهنده نامنفی بودن است و همچنین حد بالای آن که زمان استفاده از تجهیز می‌باشد را نشان می‌دهد. البته این مقدار بسیار بزرگ است و با تعریف فعالیت PM که باید به صورت مستمر انجام شود نزدیک نیست. اما موجب می‌شود هیچ جوابی از دست نرود.

۴-۱- حل مثال عددی (مطالعه موردی)

در این بخش، مدل ساخته شده برای تصمیم‌گیری در خصوص تعیین استراتژی مدیریت دارایی فیزیکی یک دستگاه لودر در معدن مس برای استفاده به مدت ۱۰ سال پیاده سازی شده است. در اینجا، برای توصیف فضای تصمیم، اطلاعات مربوط به یک لودر کوماتسو مدل D355 در نظر گرفته شده است. قیمت خرید تجهیز حدود S_b = $1000000 تقریباً ۴ میلیارد تومان می‌باشد. متوسط هزینه خرابی پیش‌بینی نشده ۳۰۰۰ دلار و عمر دستگاه از آنجا که خرید نو انجام می‌شود صفر محسوب می‌گردد. پارامترهای دیگر که در بخش مدل‌سازی توضیح داده شده اند در جدول ۱ آمده است. پارامترهای داده شده بر اساس داده‌های تاریخی ماشین‌آلات که در معدن مس کار می کردند به‌دست آمده است.

همانطور که در بازار نیز تجهیزاتی که لیز می‌شوند به وسیله بانک‌ها پشتیبانی مالی می‌شوند و تقریباً همه آنها برای تجهیزات نو این تسهیلات را اعطا می‌کنند در اینجا فرض شده که تجهیز لیز شده نو بوده است. لذا، همه پارامترهای گزینه خرید در لیز نیز وجود دارد و فقط پارامتر اول که مقدار اولیه قرارداد است تغییر یافته است. در جدول ۲، پارامترهای مربوط به لیز اضافه شده است.

جدول ۱- پارامترهای خرید لودر کوماتسو

قیمت خرید تجهیز S_b	۱۰۰۰۰۰۰$
متوسط هزینه خرابی پیش‌بینی نشده C_r	۳۰۰۰ $
طول دوره وارانتی w	۲ سال
عمر دستگاه A	۰
طول مدت پروژه t_p	۱۰ سال
هزینه نت روتین حداقلی C_{min}	۱۰۰$
پارامتر هزینه فعالیت روتین k	۶۵
میزان کاهش قیمت تجهیز بعد از خرید θ	۰/۹
طول مدت عمر مفید تجهیز L	۱۵ سال
ضریب تأثیر تجهیز در درآمد روزانه Ω	۰/۱
هزینه توقف تولید C_{sh}	۱۰۰۰۰$

جدول ۲- پارامترهای اختصاصی لیز

مبلغ اولیه قرارداد S_1	۲۷۵۰۰۰$
تعداد اقساط لیز m_1	۳۶
مقدار قسط C_d	۲۶۰۴۱$
دوره زمانی قسط d	یک ماه

در اینجا فرض شده که استفاده کننده از تجهیز دارای یک عدد از این لودر به سن ۸ سال بوده و می‌تواند با بازسازی آن را به سیستم بازگرداند. بر اساس داده‌های تاریخی خرابی پارامترهای زیر تخمین زده شده‌اند.

جدول ۱- پارامترهای اختصاصی بازسازی

پارامتر هزینه فعالیت بازسازی α	۱۰
پارامتر هزینه فعالیت بازسازی φ	۰,۰۵
متوسط هزینه خرابی پیش‌بینی نشده C_r	۳۰۰۰$
عمر دستگاه A	۸
طول مدت پروژه t_p	۱۰ سال(۱۲۰ ماه)
هزینه نت روتین حداقلی C_{min}	۱۰۰
پارامتر هزینه فعالیت روتین k	۶۵
میزان کاهش قیمت تجهیز بعد از خرید θ	۰,۷۵
طول مدت عمر مفید تجهیز L	۱۵

۴-۲- روش حل مدل

مدل به دست آمده با توجه به محدودیت‌ها و نوع تابع هدف

و متغیرهای آن یک مدل غیر خطی محدود شده[1] می‌باشد. الگوریتم‌های متفاوتی برای حل مدل‌های غیر خطی وجود دارد. اما در اینجا برای حل این مدل برنامه‌ای در نرم‌افزار متلب کدنویسی شده است. نرم‌افزار متلب برای حل یک مساله غیر خطی مینیمم سازی محدود شده از الگوریتم fmincon که بر اساس مفهوم محدوده‌های قابل اعتماد[2] می‌باشد، استفاده می‌کند.

با توجه به مقادیر پارامترها، خروجی حاصل شده در نسخه 2015a نرم‌افزار Matlab در جدول ۴ آمده است.

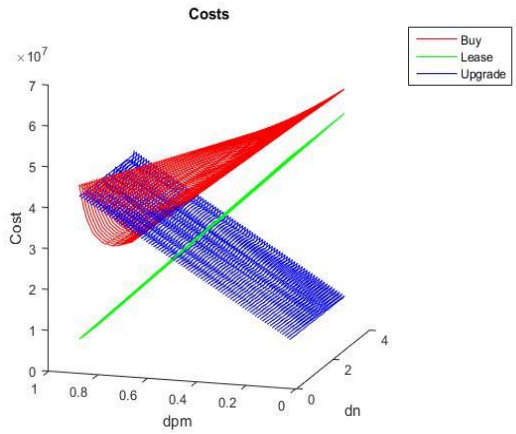
جدول ۲- خروجی نرم‌افزار Matlab

d_{pm}	d_n	q
۲/۶	۰/۰۱	۰/۶۸
خرید	لیز (اجاره)	بازسازی
۲۰۰۰۰۰۰۰	۴۳۰۰۰۰۰	۳۲۰۰۰۰۰

نتایج حاصل بیان کننده آن است که در شرایط موجود، استراتژی مناسب برای مدیریت دارایی فیزیکی مورد نظر که یک دستگاه لودر می‌باشد در شرایط تأمینی و با نرخ خرابی به‌دست آمده از داده‌های خرابی گذشته روش بازسازی[3] تجهیز موجود با درجه جوان‌سازی q=۰/۶۸ و با برنامه‌ریزی نت به این صورت که فعالیت‌های نت ما با فواصل d_n=۲/۶ ماه و میزان سطح تأثیر d_{pm}=۰/۰۱ باشد. این در حالی است کمترین هزینه کل متناظر با استراتژی بهینه نت خرید حدود ۲۰,۰۰۰,۰۰۰ دلار و در حالت لیز (اجاره) ۴,۳۰۰,۰۰۰ دلار و در بازسازی ۳,۲۰۰,۰۰۰ دلار در طول ده سال پروژه بهره‌برداری از معدن تخمین زده شده است.

۴-۳- بحث

برای بررسی نحوه تغییر متغیرها و تابع هدف هزینه نسبت به آنها نیاز است که این تغییرات در نمودار نشان داده شوند. البته به خاطر زیاد بودن پارامترها و محدودیت نمایش در سه بُعد بخشی از فضای تصمیم در شکل (۲) آورده شده است. این نمودار نحوه تغییر متغیرهای تصمیم در قبال یکدیگر و همچنین میزان هزینه در طول مدت استفاده از تجهیز (اینجا ۱۰ سال می‌باشد) را در گستره محدودی از متغیرها نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمودار انتشار استراتژی‌های مختلف تأمین و نت بر اساس تابع هدف هزینه (Cost)، درجه فعالیت نت پیشگیرانه (d_{pm}) و فاصله زمانی بین فعالیت‌های نت (d_n) در بخشی از فضای جواب

۵- بحث

همانطور که در شکل (۲) مشخص است، نحوه تغییر هزینه در روش‌های مختلف بسیار متفاوت است. در روش بازسازی، هر چقدر مقدار d_{pm} بیشتر باشد، یعنی سطح فعالیت نت روتین بالاتر باشد، میزان هزینه کل افزایش پیدا می‌کند. یکی از دلایل این مسئله این است که از آنجا که در این روش تجهیز دست دوم بوده و قدیمی می‌باشد و از عمر آن زمان زیادی (در اینجا ۸ سال) می‌گذرد، نرخ خرابی آن نسبت به تجهیزات نو با شیب بسیار زیادتری افزایشی می‌باشد. لذا، انجام فعالیت‌های نت روتین با درجه تأثیر بالا هزینه زیادی دارد که موجب هزینه اضافی می‌گردد. اما بر عکس، در روش لیز، با افزایش درجه فعالیت نت روتین میزان هزینه کاهش داشته و نشان دهنده مؤثر بودن این استراتژی در تجهیزات جدیدتر می‌باشد. در روش خرید نیز همچون روش لیز، با افزایش سطح فعالیت‌های PM، هزینه کاهش خواهد داشت.

لازم به ذکر است که در اینجا عمر تجهیز خریداری شده صفر در نظر گرفته شده است که به معنای نو بودن آن

[1] Constrained nonlinear minimization
[2] Trust regions
[3] Upgrade

می‌باشد. در روش خرید، هزینه‌های استراتژی‌ها با فاصله‌ای نسبت به دو روش دیگر تغییر می‌کند. این مسئله به خاطر این است که بخش عمده‌ای از هزینه روش خرید را هزینه اولیه که مقدار ثابتی می‌باشد تشکیل می‌دهد و به ازای تغییر متغیرها تغییر پیدا نمی‌کند.

این نکته می‌بایست مورد توجه قرار گیرد که فضای تصمیم بسیار متأثر از تغییر پارامترهای ورودی می‌باشد و با تغییر ترکیبی از آنها فضای تصمیم به کلی تغییر می‌کند. لذا، شکل (۲) صرفاً جهت تصمیم‌گیری برای تجهیز مورد نظر و آن هم بر اساس داده‌های گذشته تصمیم‌گیر از نحوه کارکرد این تجهیز و همچنین پارامترهای ناشی از فضای بازار می‌باشد.

مدل ساخته شده توانایی جذب این داده‌ها و تحلیل آن ها را برای تصمیم‌گیر فراهم می‌سازد.

خروجی این مدل می‌تواند به تصمیم‌گیر کمک کند تا بر اساس شرایط سازمانی خود راه‌حل مناسب‌تر را مورد انتخاب قرار دهد.

به عنوان مثال، ممکن است یک سازمان بر اساس ساختارش بخش جداگانه‌ای برای نت نداشته باشد و تعداد زیاد فعالیت نت روتین موجب کاهش نیروی انسانی برای بقیه بخش‌ها گردد. همچنین، شرایط دیگری همچون انجام عدم داشتن امکانات کافی برای انجام سطح بالای فعالیت نت، سطح مالکیت و نحوه پرداخت نیز می‌تواند موجب افزایش یا کاهش مطلوبیت هر یک از استراتژی‌ها برای هر سازمان گردد. نویسندگان این تحقیق در حال توسعه مدل ساخته شده با توجه به شرایط سازمان هستند که در تحقیقات آتی انتشار خواهد یافت.

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، مدل ریاضی برای تعیین استراتژی مدیریت دارایی فیزیکی یک تجهیز مشتمل بر روش تأمین و استراتژی نگهداری و تعمیرات آن در طول مدت استفاده ارائه شده است. مدل ارائه شده با توجه به محدودیت‌ها و نوع تابع هدف و متغیرهای آن یک مدل کمینه‌سازی غیر خطی محدود شده می‌باشد که با در نظر گرفتن فضای نسبتاً جامعی از روش‌های تأمین شامل خرید، لیز، اجاره و بازسازی استراتژی بهینه را انتخاب می‌کند. برای حل این مدل از الگوریتم fmincon که بر اساس مفهوم محدوده-های قابل اعتماد[1] می‌باشد، به کمک نرم‌افزار متلب، استفاده شده است.

این مدل‌سازی به تصمیم‌گیر اجاره می‌دهد تا با در نظر گرفتن تجربیات گذشته حاصل از نحوه کارکرد تجهیزات، زمان پروژه و شرایط تأمینی بازار به انتخاب دقیق‌تر روش تأمین تحت تأثیر برنامه‌ریزی نت پرداخته و سطح هزینه‌های خود را کاهش دهد. استراتژی فعالیت PM بر اساس سه متغیر درجه فعالیت پیشگیرانه، زمان بین این فعالیت‌ها و همچنین سطح تأثیر فعالیت جوان‌ساز مدل شده است.

مدل ساخته شده برای تعیین استراتژی بهینه مدیریت یک لودر کوماتسو در یک معدن مس که برای ۱۰ سال آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت به کار گرفته شد. ضمن تعیین استراتژی بهینه، نحوه انتشار استراتژی‌ها در فضای تصمیم به‌دست آمد.

زمینه‌هایی که می‌توان برای تحقیقات آتی پیشنهاد داد و بعضی از آنها توسط نویسندگان در حال مطالعه می‌باشد به صورت زیر است:

- مدل‌سازی سطح عملکرد سیستم بر اساس فعالیت نت و شرایط دستگاه در قالب مدل چندهدفه
- توسعه مدل ساخته شده بر اساس مطلوبیت استراتژی‌ها با در نظر گرفتن شرایط سازمان
- سنجش اهمیت تجهیز در ناوگان تجهیزات با ابزار مهندسی قابلیت اطمینان.

[1] Trust region

۶- مراجع

[1] J. D. Campbell, A. K. S. Jardine and J. McGlynn, “Asset Management Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions”, 2nd ed., Taylor & Francis, 2011.

[2] A. K. S. Jardine and A. H. C. Tsang, “Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications”, 2nd ed., CRC Press, 2013.

[3] M. Pecht and R. Jaai, “A prognostics and health management roadmap for information and electronics-rich systems”, Microelectronics Reliability, Vol. 50, No. 3, 2010, pp. 317-323.

[4] J. Z. Sikorska, M. Hodkiewicz and L. Ma, “Prognostic modelling options for remaining useful life estimation by industry”, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 25, No. 5, 2011, pp. 1803-1836.

[5] M. Mollaghasemi, J. Pet-Edwards and U. Gupta, “A multiple criteria buy versus lease analysis for government contracts”, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 42, No. 3, 1995, pp. 278-287.

[6] S. Dasgupta, S. Siddarth and J. Silva-Risso, “To lease or to buy? A structural model of a consumer's vehicle and contract choice decisions”, Journal of Marketing Research, Vol. 44, No. 3, 2007, pp. 490-502.

[7] J. W. Berlin and F. J. Lexa, “An analysis of the buy-vs-lease decision”, Journal of the American College of Radiology, Vol. 3, No 2, 2006, pp. 102-107.

[8] S. R. Bhaskaran and S. M. Gilbert, “Selling and leasing strategies for durable goods with complementary products”, Management Science, Vol. 51, No. 8, 2005, pp. 1278-1290.

[9] P. Desai and D. Purohit, “Leasing and selling: Optimal marketing strategies for a durable goods firm”, Management Science, Vol. 44, No. 11, 1998, pp. S19-S34.

[10] G. Knox and J. Eliashberg, “The consumer's rent vs. buy decision in the rentailer”, International Journal of Research in Marketing, Vol. 26, No. 2, 2009, pp. 125-135.

[11] Wang, H., “A survey of maintenance policies of deteriorating systems”, European Journal of Operational Research, Vol. 139, No. 3, 2002, pp. 469-489.

[12] H. Pham and H. Wang, “Imperfect maintenance”. European Journal of Operational Research, Vol. 94, No. 3, 1996, pp. 425-438.

[13] S. G. D. Amik Garg, “Maintenance management: Literature review and directions”, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 12, No., 3, 2006, pp. 205-238.

[14] D. I. Cho and M. Parlar, “A survey of maintenance models for multi-unit systems”, European Journal of Operational Research, Vol. 51, No. 1, 1991, pp. 1-23.

[۱۵] سعید رمضانی، مصطفی یوسفی، محسن طاهری و عباس شریفی، ۱۳۹۰، "بهینه‌سازی زمان جایگزینی و تعویض تجهیزات با استفاده از هزینه چرخه عمر (مطالعه موردی: ناوگان اتوبوس‌رانی شرکت جوانسیر ایثار)"، فصلنامه مدیریت زنجیره تأمین، شماره ۳۴.

[۱۶] علی آشتیانی، ۱۳۸۳، "مدل تعیین عمر اقتصادی تراکتور کشاورزی در ایران، مطالعه موردی شرکت زراعی دشت ناز مازندران". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.

[۱۷] ا. عدلی، ۱۳۸۲، "بررسی عمر مفید کمباین های متداول در منطقه مغان"، مجله دانش کشاورزی، شماره ۱۳.

[۱۸] م. غفاری، ۱۳۸۹، "هزینه‌یابی دوره عمر محصول"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.

[19] C. E. Ebeling, “An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering”, McGraw-Hill Co., New York, 1997.

[20] C. Chareonsuk, N. Nagarur and M. T. Tabucaon, “A multicriteria approach to the selection of preventive maintenance intervals”, International Journal of Production Economics, Vol. 49, No. 1, 1997, pp. 55-64.

[21] L. Ma, Y. Sun and J. Mathew, “Effects of preventive maintenance on the reliability of production lines”, Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEE, Singapore, 2007.

[22] D. F. Percy, K. A. H. Kobbacy and B. B. Fawzi, “Setting preventive maintenance schedules when data are sparese”, Internatonal Journal of Production Economics, Vo. 51, No. 2,, 1997, pp. 223-234.

[23] Y. Sun, L. Ma and J. Mathew, “Determination of optimal preventive maintenance strategy for serial production lines”, The 1st World Congress on Engineering Asset Management, Springer-Verlag, Australia, 2006.

[24] Y. Sun, L. Ma and J. Mathew, “A practical approach for reliability prediction of pipeline systems”, European Journal of Operational Research, Vol. 198, No. 1, 2009, pp. 210-214.

[25] R. H. Yeh, K. C. Kao and W. L. Chang, “Optimal preventive maintenance policy for leased equipment using failure rate reduction”. Computers and Industrial Engineering, Vol. 57, No. 1, 2009, pp. 304-309.

[26] S. H. Chung, F. T. S. Chan and H. K. Chan, “A modified genetic algorithm approach for scheduling of perfect maintenance in distributed production scheduling“”. Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 22, No. 7, 2009, pp. 1005-1014.

[27] C. Ming Tan and N. Raghavan, “A framework to practical predictive maintenance modeling for multi-state systems”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 93, No. 8, 2008, pp. 1138-1150.

[28] C. Chang, C. C., S. H. Sheu and Y. L. Chen, “Optimal replacement model with age-dependent failure type based on a cumulative repair-cost limit policy”, Applied Mathematical Modelling, Vol. 37, No. (1-2), 2013, pp. 308-317.

[29] C. C. Chang, “Optimum preventive maintenance policies for systems subject to random working times, replacement, and minimal repair”, Computers and Industrial Engineering, Vol. 67, 2014, pp. 185-194.

[30] R. H. Yeh and W. L. Chang, “Optimal threshold value of failure-rate for leased products with preventive maintenance actions”, Mathematical and Computer Modelling, Vol. 46, No. (5-6), 2007, pp. 730-737.

[31] G. L. Liao and S. H. Sheu, “Economic production quantity model for randomly failing production process with minimal repair and imperfect maintenance”, International Journal of Production Economics, Vol. 130, No. 1, 2011, pp. 118-124.

[32] C. C. Chang, S. H. Sheu and Y. L. Chen, “Optimal number of minimal repairs before replacement based on a cumulative repair-cost limit policy”, Computers and Industrial Engineering, Vol. 59, No. 4, 2010, pp. 603-610.

[33] M. Shafiee and S. Chukova, “Maintenance models in warranty: A literature review”, European Journal of Operational Research, Vol. 229, No. 3, 2013, pp. 561-572.

[34] I. Djamaludin, D. N. P. Murthy and C. S. Kim, “Warranty and preventive mintenance”, International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, Vol. 8, No. 2, 2001, pp. 89-107.

[35] N. Jack, B. P. Iskandar and D. N. P. Murthy, “A repair-replace strategy based on usage rate for items sold with a two-dimensional warranty”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 94, No. 2, 2009, pp. 611-617.

[36] R. Pascual and J. H. Ortega, “Optimal replacement and overhaul decisions with imperfect maintenance and warranty contracts”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 91, No. 2, 2006, pp. 241-248.

[37] A. K. S. Jardine and A. H. C. Tsang, “Maintenance, Replacement and Reliability: Theory and Applications”, CRC Press, 2005.

[38] R. H. Yeh, H. C. Lo and R. Y. Yu, “A study of maintenance policies for second-hand products”, Computers and Industrial Engineering, Vol. 60, No. 3, 2011, pp. 438-444.

[39] M. Battersby, “Rent, lease or own? Your future is in this balance”, Paperboard Packaging, Vol. 90, No. 9, 2005, pp. 22-24.

[40] M. Kijima, H. Morimura and Y. Suzuki, “Periodical replacement problem without assuming minimal repair”, European Journal of Operational Research, Vol. 37, No. 2, 1988, pp. 194-203.

[41] M. C. Findlay, “Financial lease evaluation: Survey and synthesis”, Financial Review, Vol. 9, No. 1, 1974, pp. 1-15.

[42] J. Pongpech, D. N. P. Murthy and R. Boondiskulchuk, “Maintenance strategies for used equipment under lease”, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 12, No. 1, 2006, pp. 52-67.