

## مدیریت عملکرد و هزینه ماشین آلات با بهره‌گیری از شاخص‌های کلیدی

امین اسکندرزاده ثابت<sup>۱\*</sup>، کامران ترکمان<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، گروه مکانیک.

۲- کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم پزشکی، گروه مدیریت.

(دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۳، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۸)

### چکیده

امروزه با توجه به رشد تکنولوژی، کنترل و مدیریت آسان و برخط بر دارایی‌های فیزیکی و بهبود عملکرد مستمر آن‌ها، توسعه روش‌های نگهداری و تعمیرات، یک نیاز مهم و ضروری می‌باشد. در این راستا لازم است مدیریت سازمان با استفاده از ابزارهای کنترل و برنامه‌ریزی در حوزه نگهداری و تعمیرات، علاوه بر مدیریت هزینه، به بهبود عملکرد مستمر و افزایش قابلیت اطمینان ماشین‌آلات دست یابد. از آنجایی که هزینه نگهداری و تعمیرات ماشین‌آلات بخش قابل توجهی از منابع یک سازمان عمرانی را در بر می‌گیرد و با نگرش به اینکه نگهداری و تعمیرات یکی از ضروریات هر سازمان عمرانی بوده و شاخص‌های معینی در جهت مدیریت بهینه آن‌ها وجود ندارد، لذا به منظور ساماندهی و ایجاد وحدت رویه بر آن شدیم تا با بهره‌گیری از مقالات معتبر علمی، استفاده از بانک اطلاعاتی جامع ماشین‌آلات قرارگاه سازندگی خاتم‌الانبیاء<sup>(ص)</sup> به عنوان بزرگ‌ترین پیمانکار کشور، شاخص‌های کلیدی جهت مدیریت ماشین‌آلات تدوین نماییم.

### کلیدواژه‌ها: قابلیت اطمینان، نگهداری و تعمیرات، مدیریت، شاخص‌های کلیدی

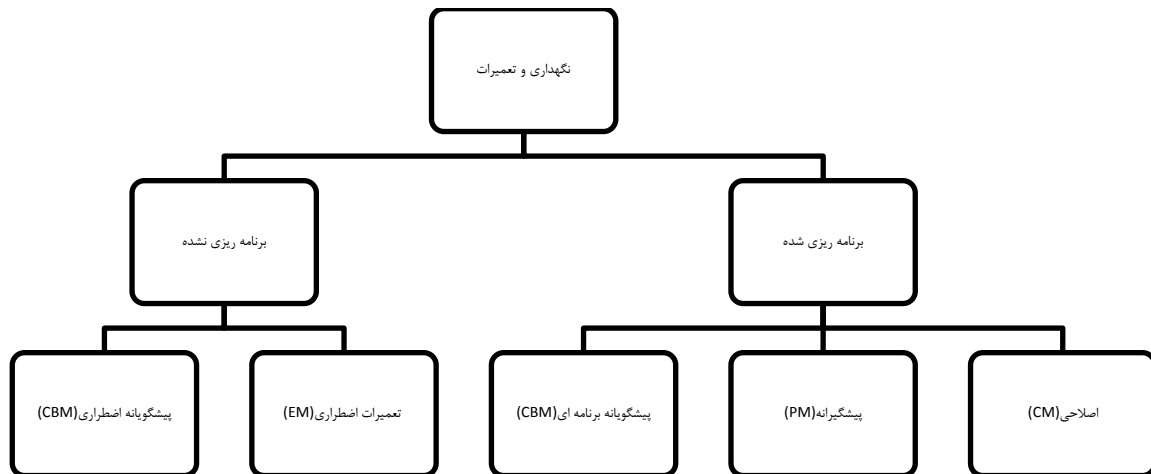
#### ۱. مقدمه

بشر از دیرباز با ابزار و روش‌های مختلف، سعی در نگهداری و تعمیرات امکانات و تجهیزات خود داشته است، با توسعه روزافزون فناوری و پیچیدگی تجهیزات و قطعاً و جایگزینی ماشین‌آلات بجای نیرو و منابع انسانی، سیستم‌های نگهداری و تعمیرات نیز توسعه یافته و نقش و اهمیت آن مطرح گردیده است [۱]. طی سال‌هایی که ماشین‌آلات مکانیکی ابداع و توسعه یافته‌اند، موضوع نگهداری و تعمیرات آن‌ها پیوسته به عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل مورد توجه قرار گرفته است [۱]. در این رابطه تلاش به منظور دستیابی به روش‌ها و تکنیک‌های مختلف در راستای افزایش هر چه بیش‌تر بازدهی، ایمنی کار و کاهش

هزینه تعمیرات صورت می‌گیرد [۲]. پیشرفت‌های فناوری و پیچیدگی‌های روزافزون ماشین‌آلات ضرورت توسعه و بهبود روش‌های موجود نگهداری و تعمیرات را ایجاد کرده است [۳]. علیرغم اینکه هزینه‌های نت در سازمان‌های ماشین‌آلات داخل کشور بخش قابل توجهی از بودجه سازمان را شامل می‌شود، هیچگونه تحقیق علمی برای تعیین نرم‌های قابل قبول در این زمینه انجام نشده است و این امر باعث می‌شود که بین تصمیم‌گیرندگان مختلف یک نگرش واحد و واقع بینانه نسبت به ارزیابی عملکرد و هزینه سازمان ماشین‌آلات وجود نداشته باشد که این خود سبب کاهش بازدهی ماشین‌آلات و در نهایت افزایش هزینه‌های سازمان می‌گردد. در مقاله پیش رو با بهره‌گیری و تدوین شاخص‌های چندگانه بومی شده در کنار هم در پی اهداف زیر می‌باشیم:

<sup>۱</sup> نویسنده پاسخگو: st\_a\_ eskandarzadeh@azad.ac.ir

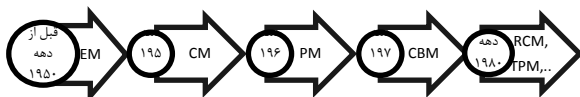
- کاهش هزینه‌های تعمیرات و افزایش سطح دسترسی ماشین‌آلات.
- کاهش مصرف قطعات یدکی ماشین‌آلات.
- ارزیابی کیفی نگهداری و تعمیرات ماشین‌آلات با استفاده از شاخص‌های مرجع.
- شناسایی دستگاه‌های پرهزینه جهت تعیین تکلیف.
- ارائه قالب گزارش‌های یکسان از وضعیت عملکرد و هزینه ماشین‌آلات.
- برآورد بودجه مورد نیاز نگهداری و تعمیرات ماشین‌آلات.
- تعیین قابلیت اطمینان دستگاه در طی مدت بهره‌برداری.
- تفکیک و شناسایی هزینه‌های نگهداری، تعمیرات و بهره‌برداری.
- برطرف نمودن نواقص و معایب جزئی قبل از احتیاج به تعمیرات کلی.
- اگر بخواهیم به صورت جامع، مدلی را برای سیستم نگهداری و تعمیرات ارائه دهیم، می‌توانیم مطابق شکل (۱)، شاخه‌های آن را تفکیک و معرفی نماییم:



شکل (۱). تقسیم بندی نگهداری و تعمیرات (نت)

در شکل (۲) به تاریخچه نت اشاره شده است، در واقع مطابق شکل (۲) تحقیقات نمایانگر این موضوع می‌باشد که تا قبل از دهه ۱۹۵۰ بحث تعمیر ماشین پس از وقوع خرابی و در دهه ۱۹۵۰ سیستم نت اصلاحی فعال بوده است. در دهه ۱۹۵۰ نت پیشگیرانه مطرح و در دهه ۱۹۶۰ در بسیاری از کشورهای صنعتی طراحی و پیاده سازی شده است. همزمان با نت پیشگیرانه، نت بر پایه وضعیت مطرح و در دهه ۱۹۷۰ به بلوغ رسید.

سپس با ارائه مدل کیفیت فراگیر و تفکرات و نظرات پروفیسور دمینگ، بتدریج در دهه ۱۹۸۰ به بعد نت بهره‌ور جامع در صنایع



شکل (۲). تاریخچه نت

کشور ژاپن و بسیاری از کشورهای صنعتی به اجرا گذاشته شد [۴].

• **زمان آماده به کار:** مدت زمانی است که ماشین‌آلات سالم بنا به دلایلی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند [۴،۵].

• **زمان مورد انتظار (در دسترس):** زمان مورد انتظار هر دستگاه به تفکیک شیفت کاری مطابق با جدول ۳ می‌باشد.

• **زمان فعالیت دستگاه:** میزان بهره‌برداری کارگاه از ماشین‌آلات آماده به کار می‌باشد.

• **زمان تحت تعمیر:** میزان توقفات ناشی از خرابی ماشین‌آلات می‌باشد.

• **هزینه‌های مستقیم:** هزینه‌هایی که دارای سند یا فاکتور بوده و به‌طور دقیق قابل محاسبه و ثبت می‌باشد. این هزینه‌ها مربوط به موارد مشخص مانند مواد و قطعات مصرفی، قطعات یدکی، اجرت نیروی انسانی و... می‌باشد [۴ و ۱].

• **هزینه‌های غیرمستقیم:** هزینه‌هایی که فاقد سند یا فاکتور بوده، قابل پیش‌بینی است، عمدتاً در دراز مدت مشخص می‌شود و در یک بازه زمانی مشخص قابل محاسبه و اندازه‌گیری می‌باشد [۴ و ۱].

• **سطح دسترسی:** میزان عملکرد بخش نت در آماده سازی کل ماشین‌آلات می‌باشد.

### ۳. روش اجرای کار

۳-۱. **مدیریت هزینه:** جدول (۱) دسته‌بندی هزینه‌های نگهداری و تعمیرات ماشین‌آلات را نشان می‌دهد:

## ۲. تعاریف و اختصارات

۲. **هزینه‌های نگهداری:** هزینه فعالیت‌هایی (مطابق با جدول (۱)) که جهت آماده به کار بودن و کاهش تعمیرات ماشین‌آلات صورت می‌گیرد [۴ و ۵].

• **هزینه تعمیرات:** هزینه فعالیت‌هایی مطابق با جدول (۱) که جهت رفع عیوب ماشین‌آلات شامل قطعات، مواد مصرفی، دستمزد و... انجام می‌شود می‌باشد [۴ و ۵].

• **هزینه بهره‌برداری:** سایر هزینه‌های لازم به غیر از هزینه نگهداری و تعمیرات مطابق با جدول (۱) جهت بکارگیری ماشین‌آلات را شامل می‌شود [۴ و ۵].

• **درآمد ماشین‌آلات:** مبلغ اجاره بهای ماشین‌آلات در بازه زمانی مشخص درآمد نامیده می‌شود [۵].

• **نت پیشگیرانه (PM):** فعالیتی است که برای جلوگیری از خرابی‌های غیرمنتظره‌ی ماشین‌آلات، با توقف آن در بازه زمانی معین انجام می‌شود [۴].

• **نت پیشگویانه (CBM):** فعالیتی است که در آن با استفاده از آنالیز روغن، صوت، ارتعاشات و... به شکل مستقیم و در بازه‌های زمانی معین سلامت ماشین‌آلات بررسی می‌شود [۳].

• **نت اصلاحی (CM):** مجموعه فعالیت‌هایی است که به منظور حفظ ماشین‌آلات در سطح استاندارد در هنگام بروز مشکلات فنی صورت می‌گیرد. این فعالیت‌ها می‌توانند به منظور اصلاح و یا بهبود وضعیت ماشین‌آلات به کار برده می‌شود [۵].

جدول (۱). تقسیم بندی هزینه ماشین‌آلات

ردیف	شرح هزینه	بهره برداری	نگهداری	تعمیرات
۱	انواع سوخت، لاستیک و باطری	*		
۲	انواع لنت ترمز، تسمه و صفحه کلاچ	*		
۳	انواع لوازم باکت لودر، بیل مکانیکی، بلدوزر شامل ناخن، تیغ و...	*		
۴	انواع ابزار حفاری شامل سرمته، مته، راد، شانک، ناخن و...	*		
۵	دستمزد اپراتور	*		
۶	شماره گذاری، معاینه فنی، تغییر کاربری دستگاه	*		
۷	جابجایی دستگاه	*		
۸	کارکنان شاغل در دفتر ماشین‌آلات	*		
۹	بیمه بدنه، تمام خطر و شخص ثالث	*		

۱۰	دستمزد سرویسکار	*	
۱۱	انواع روانکار مصرفی و مایعات ویژه	*	
۱۲	انواع فیلتر مصرفی	*	
۱۳	مراقبت وضعیت ماشین آلات (آنالیز روغن و...)	*	
۱۴	دستمزد کارکنان تعمیرگاه	*	
۱۵	کلیه لوازم و قطعات مورد استفاده در تعمیر به جز موارد اشاره شده در مقوله نگهداری	*	

اعداد مورد اشاره تجزیه و تحلیل بانک اطلاعاتی ۵ ساله‌ی عملکرد ماشین آلات می‌باشد.

در انتهای هر سال می‌بایست جهت مقایسه هزینه و درآمد، کلیه هزینه‌های انجام شده ماشین آلات شامل نگهداری، تعمیرات و بهره‌برداری را با مبلغ اجاره (که در اینجا درآمد نامگذاری می‌گردد) مقایسه نمود تا مبنای گزارش‌های مدیریتی قرار گیرد. همچنین مدیریت ماشین آلات هر رده می‌بایست رده‌های تابعه را به صورت مستمر ارزیابی نموده و اطلاعات وارده توسط رده‌ها در سامانه نگهداری و تعمیرات (سانت) را به صورت ماهانه صحت سنجی نماید.

**۳-۳. شاخص‌های ارزیابی:** با استفاده از جامعه آماری ماشین آلات قرارگاه سازندگی خاتم النبیین<sup>(ص)</sup> و بهره‌گیری از روش برازش منحنی، شاخص‌های ذکر شده در جدول (۲) جهت ارزیابی مدیریت هزینه ماشین آلات ارائه می‌گردد [۶ و ۱۱].

در ابتدا تمامی هزینه‌ها مطابق جدول (۱) به تفکیک نوع ماشین آلات در سامانه نگهداری و تعمیرات ثبت گردیدند، سپس با استفاده از روش مذکور (برازش منحنی) شاخص‌ها حاصل گردیدند. برازش منحنی، به عملی گفته می‌شود که با کمک آن می‌توان معادله‌های خطوط پیچیده را از مجموعه‌ای از نقاط عبور داد. این نقاط می‌توانند همان داده‌های آزمایشگاهی باشند. مثلاً شما تعدادی داده‌ی آزمایشگاهی دارید و می‌خواهید بهترین مسیر با معادله  $y=ax^2$  را از این نقاط عبور دهید. معادله بدست آمده الزاماً از داده‌های شما عبور نمی‌کند؛ این معادله بهترین معادله‌ای خواهد بود که به تمامی داده‌های شما نزدیک است، یک مزیت دیگر این روش حذف اعداد خارج از محدوده و غیر طبیعی می‌باشد، به عنوان مثال در زیر یک نمونه از روش کار (کمپرسور معدنی) آورده شده است:

ردیف	هزینه نت (ریال)	ارزش (ریال)	عمر (سال)
۱	۲۸/۰۰۰/۰۰۰	۸۰۰/۰۰۰/۰۰۰	۱۰
۲	۳۲/۰۰۰/۰۰۰	۹۰۰/۰۰۰/۰۰۰	۱۱

**۲-۳. مدیریت عملکرد:** در مدیریت عملکرد ماشین آلات،

نحوه محاسبه پارامترهای عملکردی به شرح زیر است، این روابط مبنای محاسبه عملکرد ماشین آلات در سامانه سانت هستند [۶، ۷]. پس از ورود اطلاعات عملکردی ماشین آلات توسط اپراتور در این سامانه، پارامترهای مربوطه محاسبه شده و گزارش‌های خروجی سامانه، ورودی فرآیند تجزیه و تحلیل و در نتیجه انجام اقدامات اصلاحی است:

پارامتر درصد فعال از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$100 * \frac{\text{مجموع زمان فعالیت}}{\text{زمان مورد انتظار}} = \text{درصد فعال}$$

پارامتر درصد آماده به کار از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

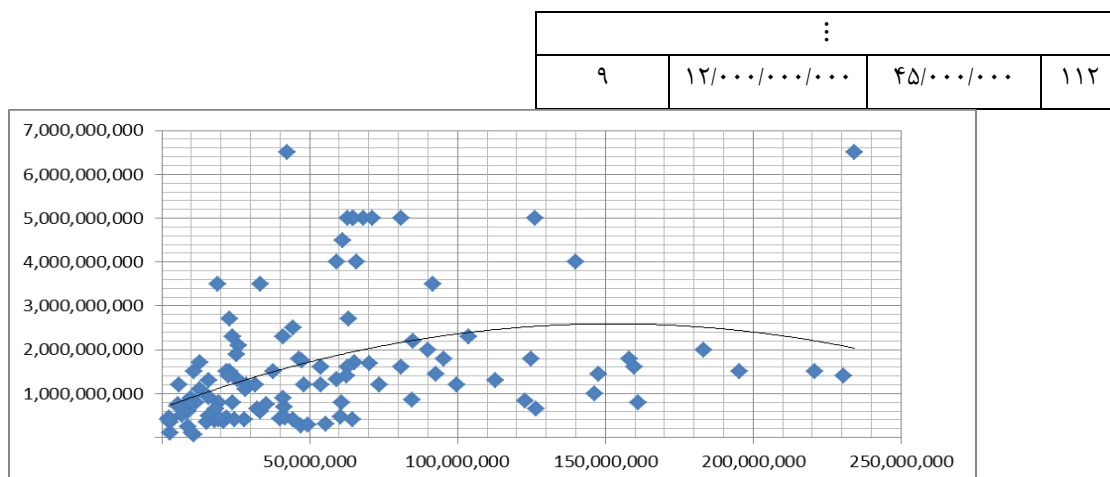
$$100 * \frac{\text{زمان آماده بکار}}{\text{زمان مورد انتظار}} = \text{درصد آماده به کار}$$

پارامتر درصد تحت تعمیر از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$100 * \frac{\text{زمان تحت تعمیر بودن دستگاه}}{\text{زمان مورد انتظار}} = \text{درصد تحت تعمیر}$$

این پارامتر، شاخص نسبت به تعمیرات هر یک از ماشین آلات بوده و معیار پذیرش استاندارد آن برای سازمان قرارگاه به میزان حداکثر ۱۵ درصد تعیین شده

است [۷ و ۱۰]. در صورتی که این شاخص برای هر یک از ماشین آلات در طول ۱ سال، نسبتی کمتر از مقدار تعیین شده بدست آید، عملکرد واحد مربوطه در حوزه نت با استاندارد سازمان منطبق می‌باشد. لازم به ذکر است اساس دستیابی به



شکل (۳). داده‌های ورودی به روش برازش منحنی

مشخص گشته و در نهایت عدد شاخص خروجی تعیین می‌گردد. لازم به ذکر است در روش مذکور به سادگی محدوده‌های غیرطبیعی از مسیر ارزیابی خارج می‌گردند.

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌گردد پس از ورود اطلاعات، یک معادله درجه ۲ که بهترین مسیر می‌باشد به دست می‌آید سپس مسیر مورد نظر بررسی شده و کمینه و بیشینه آن

جدول (۲). شاخص‌های ارزیابی ماشین‌آلات

ردیف	نوع دستگاه	نسبت هزینه نت به ارزش ریالی دستگاه به صورت سالانه (درصد)	میانگین عمر	تلرانس هزینه نت به ارزش ریالی (به ازای هر سال)
۱	کامیون	۸	۱۶	±۰,۵
۲	تراکتور	۷	۱۵	±۰,۴۷
۳	اتوبوس	۳	۸	±۰,۳۷۵
۴	مینی‌بوس	۳	۱۰	±۰,۳
۵	لودر	۸	۱۴	±۰,۵۷
۶	گریدر	۵	۱۸	±۰,۲۸
۷	بلدوز	۸	۲۸	±۰,۲۹
۸	دامپتراک	۵	۱۷	±۰,۲۹
۹	بیل مکانیکی	۹	۱۰	±۰,۹
۱۰	غلنک	۶	۱۰	±۰,۶
۱۱	سایدبوم	۳	۲۰	±۰,۱۵
۱۲	جرثقیل	۳	۱۶	±۰,۱۹
۱۳	اسکیدلودر	۴	۷	±۰,۵۷
۱۴	بکه‌لودر	۳	۹	±۰,۳۳
۱۵	فینیشر	۴	۱۸	±۰,۲۲
۱۶	حفاری TBM، هیدروفرز، دریل واگن و...	۴	۱۲	±۰,۳۳
۱۷	ریگ حفاری خشکی	۱۰	۱۰	±۱
۱۸	ریگ حفاری دریایی	۳	۲۲	±۰,۱۴
۱۹	دریایی و شناوری	۴	۱۴	±۰,۲۹
۲۰	بالگرد	۵	۹	±۰,۵۶
۲۱	سواری	۶	۸	±۰,۷۵
۲۲	دیزل ژنراتور	۵	۹	±۰,۵۶
۲۳	کمپرسور معدنی	۶	۱۲	±۰,۵

به در اختیار داشتن یک سیستم مدون و مجهز نگهداری و تعمیرات به نسبت توسعه و افزایش حجم فعالیت‌های آن فزونی می‌یابد.

از این‌رو وجود یک سیستم مجهز و برنامه‌ریزی شده نت که کنترل سیستم و اطلاع کامل از اوضاع و نحوه عملکرد واحد ماشین‌آلاتی را ممکن می‌سازد در قرارگاه سازندگی خاتم‌الانبیاء<sup>(ص)</sup> ضروری شده و تا حدود زیادی از هدر رفت هزینه‌ها جلوگیری نموده است، و لذا ارائه مطلوب‌ترین سرویس‌های تعمیراتی و اتخاذ بهترین روش‌ها برای تداوم کار با حداکثر بازدهی و حداقل هزینه امکان‌پذیر می‌گردد. بنابراین با تعیین شاخص‌های عملکردی و هزینه‌ای بومی شده در سازمان ماشین‌آلاتی می‌توانیم هزینه‌ها را کاهش دهیم.

همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد با توجه به شاخص‌های چندگانه ارائه شده که بر مبنای محاسبات دقیق ریاضی و استفاده از بانک اطلاعاتی ماشین‌آلات می‌توانیم به سرعت روند نامتعارف را شناسایی و مشکلات به وجود آمده را بررسی و حل نماییم. با استفاده صحیح از روش یاد شده می‌توان حداکثر بهره‌وری لازم را از منابع ماشین‌آلاتی به دست آورد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که میزان استفاده از ظرفیت ماشین‌آلاتی بستگی به توسعه‌ی آن سازمان دارد بدین معنی که هر قدر سطح توسعه پایین‌تر باشد میزان استفاده با حداکثر سطح دسترسی کمتر می‌باشد و بالعکس. بنابراین با اجرای فرآیند ارائه شده در این مقاله می‌توان هزینه‌های نت را کاهش داد و مدیریت بهینه‌ای را در سازمان ایجاد نمود.

## ۷. مراجع

1. M. Mirkazemi, "Investigation of military maintenance and repair systems, Imam hossein university publishing," 1379. (In Persian)
2. E. Right, "maintenance," Translated with sharif university, 1370. (In Persian)
3. R. K. Mobley, "An introduction to predictive maintenance," Elsevier, 2002.
4. R. Kumar, Tore Markeset, and Uday Kumar, "Maintenance of machinery," International Journal of Service Industry Management, 2004.

شاخص‌های جدول بالا با توجه به میانگین عمر مورد اشاره به دست آمده است و با یک تناسب ساده، قابلیت اجرا دارد. به‌عنوان مثال اگر میانگین عمر کمپرسورهای معدنی یک مجموعه ۱۰ سال می‌باشد، نسبت مطلوب هزینه نت به ارزش مقدار کوچکتر مساوی ۵ بوده و مقادیر بالاتر، نشان‌دهنده عدم اجرای صحیح نگهداری و تعمیرات می‌باشد، در واقع تفرانس اشاره شده در جدول ۲، بیانگر موضوع فوق می‌باشد (در خصوص همان کمپرسورهای معدنی با میانگین عمر ۱۰ سال، از آنجاکه تفرانس در نظر گرفته شده ۰/۵ واحد به ازای هر سال است، می‌بایست ۱ واحد از شاخص هزینه نت به ارزش کسر گردد که همان مقدار ۵ به دست می‌آید).

## ۴. راهکار کاهش هزینه‌های نت

در جهت اجرایی نمودن این مقاله در ابتدا می‌بایست آن دسته از ماشین‌آلاتی را که نسبت شاخص هزینه نت به ارزش آن‌ها بالاتر از مقادیر جدول (۲) می‌باشد را شناسایی و سپس دلایل آن‌را که می‌تواند ناشی از: ۱- عدم اجرای صحیح سرویس‌های دوره‌ای ۲- عدم اجرای صحیح مراقبت وضعیت (آنالیز روغن، ارتعاشات و...) ۳- تعمیرات جزئی یا اساسی با کیفیت نامناسب ۴- استفاده از اقلام مصرفی بی کیفیت از جمله روانکار، فیلتر و... ۵- عدم آموزش صحیح پرسنل نگهداری و تعمیرات و... باشد را بررسی و در نهایت مرتفع نماییم. در واقع اهداف اصلی ارائه این مقاله

- کاهش خرابی و توقفات ماشین‌آلات
- افزایش طول عمر ماشین‌آلات
- بهینه‌سازی و بهبود عملکرد ماشین‌آلات
- افزایش سطح دسترسی ماشین‌آلات
- بهینه‌سازی موجودی انبار
- بهبود سیستم برنامه‌ریزی و راندمان نیروها و... می‌باشد.

## ۵. نتیجه‌گیری

نگهداری و تعمیرات مناسب یک عنصر حیاتی در تحویل و ارائه به هنگام محصول و خدمات با صرف کمترین هزینه و منابع می‌باشد، با این وجود فعالان حوزه نگهداری و تعمیرات می‌دانند که دستیابی به قابلیت اطمینان، ساده نیست. نیاز صنایع مختلف

