Archive of SID

مجله علمی – پژوهشی مدیریت تولید و عملیات
سال اول، شماره اول، پاییز و زمستان ۱۳۸۹
تاریخ وصول:۸۹/۹/۲
تاریخ پذیرش:۹۰/٤/۲۳
صص: ۸٦-۷۱

بررسی تأثیر شش ضایعه عمده صنعت بر اثر بخشی کلی تجهیزات درکارخانه نورد سرد مجتمع فولاد مبارکه

سید اکبر نیلی پور طباطبایی[۱]، عبدالرحیم رستم زاده[۲]، محمد مهدی رستم زاده[۳]

۱- استادیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی مالک اشتر
۲- کارشناس ارشد مدیریت صنعتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک
۳- کارشناس مجتمع فولاد آلیاژی اصفهان

چکیده

شاخص اثربخشی کلی تجهیزات یک شاخص کلیدی و مبنایی برای سنجش میزان اثربخشی تجهیزات و بررسی اثربخشی سیستم نگهداری وتعمیرات بهره ور فراگیر می باشد. این شاخص به همراه عملکرد کلی تجهیزات می‌تواند در خطوط تولید از جمله خطوط تولید فولاد به کار برده شود. هدف مقاله بررسی تأثیر ضایعات عمده صنعت بر روی شاخص اثربخشی کلی تجهیزات است. به این منظور، شاخص اثر بخشی کلی تجهیزات در خطوط تولید در کارخانه‌ی نورد سرد مجتمع فولاد مبارکه محاسبه شده؛ میزان فاصله‌ی خطوط تولید نورد سرد با استاندارد جهانی صنعت بررسی شده؛ دلایل نا کارآمدی سیستم تولیدی مورد مطالعه قرار گرفته؛ و میزان اثربخشی سیستم نگهداری و تعمیرات بهره ور فراگیر، نقاط گلوگاهی در بین تجهیزات و میزان تأثیر هر کدام از ضایعه‌های مهم صنعت بر اثر بخشی کلی تجهیزات مورد بررسی قرار گرفته است. یافته ها نشان می دهد که تأثیر تغییرات نرخ دسترسی و نرخ عملکرد بر روی شاخص اثربخشی کلی تجهیزات در خطوط تولید نورد سرد زیاد می باشد، در حالی که تغییرات نرخ کیفیت تأثیر چندانی بر روی اثربخشی کلی تجهیزات این خطوط تولید ندارد.

واژه‌های کلیدی: شاخص اثربخشی کلی تجهیزات، دسترسی، عملکرد ، کیفیت، نگهداری بهره ور فراگیر، مجتمع فولاد مبارکه

* نویسنده مسؤول: mkarbasi@mut-es.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

اکثر مؤسسات دریافته اند که علی رغم پیشرفت‌های چشمگیر در زمینه تولید یک پتانسیل بهتر و بزرگتری برای به کارگیری ابزارآلات و ماشین‌ها وجود دارد که از آن طریق بهتر می توان به تولید برتر دست یافت. نگهداری وتعمیرات بهره ور فراگیر یکی از شیوه های اصلی برای دستیابی به این هدف می باشد. پس از اجرای مؤثر نگهداری وتعمیرات بهره ور فراگیر باید وضعیت سازمان ارزیابی شود و با بهترین سازمان های جهان مقایسه شود. ارزیابی مقایسه ای این امکان را می دهد تا برای دستیابی به یک سازمان استاندارد در سطح جهانی اهداف خود را معین سازیم (ناچیاپان و آناندارامان،۲۰۰۵).

با توجه به مشکلات و محدودیت های ارزیابی عملکرد یک خط تولید به خصوص خطوط تولید پیوسته و همچنین اهمیت دستیابی به اثر بخشی تجهیزات، توجه به تجزیه و تحلیل عوامل تشکیل دهنده ی شاخص‌های اثر بخشی احساس می گردد. در خطوط تولید کارخانه‌ی فولاد مبارکه و به طور مشخص در خط تولید نورد سرد مشکلاتی از قبیل کاربردی نبودن محاسبات ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات به دلیل کاستی در سنجش اطلاعات لازم در محاسبات و همچنین مشکلاتی در زمینه‌ی کیفیت محصولات و میزان توقفات برنامه ریزی شده ی دستگاه‌ها احساس می گردد که نیاز به تجزیه و تحلیل مستقیم را سبب می‌گردد. از طرف دیگر با توجه به این نکته که شاخص هایی به مانند ضریب اثربخشی کلی تجهیزات یا عملکرد مؤثر کلی تجهیزات وسیله ای برای مقایسه‌ی ماشین آلات و خطوط تولید نسبت به یکدیگر و حتی نسبت به شرکت‌های دیگر و همچنین امتیاز دهی به عملکرد واحد نگهداری و تعمیرات شرکت‌ها می باشد(داسیلوا و همکاران،۲۰۰۸)، ارزیابی و سنجش این شاخص از اهمیت والایی برخوردار می باشد. لذا این تحقیق در جایگاهی کاربردی برای خطوط تولید مورد نظر قرارمی گیرد. مفهوم نگهداری وتعمیرات بهره ور معیار اثربخشی کلی تجهیزات را برای سنجش تاثیر تجهیزات منحصر به فرد در یک کارخانه ارائه داده است (کوین،۲۰۰۸)، که موضوعی مهم به حساب می آید ولی کافی نیست، چرا که سیستم تولید در کلاس جهانی بر خط تولیدی تمرکز دارد که شامل ماشین آلاتی هستند که حالت زنجیره‌ای مرتبط با هم دارند. هدف این مقاله ارائه یک شیوه مناسب برای ارزیابی اثربخشی کلی خطوط تولید در سیستم پیوسته خطوط تولید کارخانه نورد سرد مجتمع فولاد مبارکه می‌باشد.

ضریب اثربخشی کلی تجهیزات[1] یک ابزار اندازه‌گیری جامع از تجهیزات تولیدی کارخانه می‌باشد که متدولوژی کاهش مشکلات ماشین‌آلات تولیدی و اجرای بهبود مداوم تولید را به کار گرفته و در ابتدا از اقدامات اصلاحی به بهترین وجه در جهت محدود کردن تجهیزاتی که تأثیر منفی بر تولید داشته باشند استفاده می‌کند و در انتها اقدامات اصلاحی به دیگر قسمت‌های کارخانه بسط داده می‌شود. در هر فرآیند تولید، شش نوع ضایعات[2] وجود دارد که باعث کاهش اثربخشی ماشین‌آلات می‌شود (آهوجا و

1 Overall Equipment Effectiveness
2 Six Big Losses

www.SID.ir

Archive of SID

خامبا،۲۰۰۸). اگر چه ضریب اثربخشی کلی تجهیزات به طرز فزاینده‌ای محبوبیت پیدا کرده و به صورت یک ابزار ضروری و کمی برای اندازه‌گیری بهره‌وری مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما این ابزار محدود به رفتار تجهیزات مستقل است.باید تمرکز بر آنسوی عملکرد یک ماشین منحصربه فرد و در جهت عملکرد کلی خط تولید یا کارخانه مورد نظر باشد. اندازه گیری اثربخشی که درآن از ضریب اثربخشی کلی تجهیزات استفاده می شود برای پیشرفت در زمینه اثربخشی تجهیزات تولیدی منحصر به فرد بسیار مفید است. برای ایجاد پیشرفت در زمینه اثربخشی یک سیستم پیوسته خط تولید، عملکرد مؤثر کلی تجهیزات شیوه ای مناسب به حساب می آید. نتایج تحقیقات مختلف نشان می دهد که شیوه پیشنهاد شده ضریب اثربخشی کلی تجهیزات وعملکرد مؤثر کلی تجهیزات برای ایجاد پیشرفت جهت افزایش اثربخشی خط تولید در داخل یک دوره زمانی خاص از طریق مشخص ساختن اشکالات خط تولید، بسیار موثر است. علاوه برآن می توان ازاین معیارها به عنوان ارزیابی مقایسه ای در سطوح مختلف استفاده کرد تا بتوان به استاندارد جهانی[1] دست یافت. هر چند که دست آوردهای ضریب اثربخشی کلی تجهیزات مهم و در حال پیشرفت هستند، اما به سبب اینکه شرایط هیچ ماشینی را نمی‌توان جدا از محیط دانست لذا منفعت های مطرح شده در این شاخص ناکافی می‌باشد. این شاخصها بر این نکته تأکید دارند که فرآیند تولید ترکیب‌های مختلفی از فعل و انفعالات بین ابزار، فرآیند، مواد اولیه، ماشین آلات، نیروی انسانی، بخش‌ها، شرکت‌ها و فرآیندها می‌باشد (حاج شیرمحمدی،۱۳۸۲). هر چند این فعالیت‌های وابسته در اغلب موارد، به صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرند ولیکن برای گسترش منابع کارخانه (نیروی انسانی، اطلاعات مواد و ابزار) جهت مدیریت مناسب کارها با فقدان هماهنگی روبه رو می شوند. بنابراین توجه به عملکرد کل کارخانه فارغ از عملکرد جداگانه تجهیزات امری ضروری می‌باشد. هدف هر کارخانه داشتن سیستم تکامل یافته با کارآیی بالاست و نه تجهیزات جداگانه با عملکرد درخشان. از سوی دیگر کاربرد صنعتی ضریب اثربخشی کلی تجهیزات از یک صنعت دیگر متفاوت می‌باشد. با وجود اینکه پایه و اساس اندازه‌گیری اثر بخشی ناشی از مفهوم اصلی ضریب اثربخشی کلی تجهیزات می‌باشد، تولید کنندگان متناسب با نیازهای ویژه صنعتشان این شاخص را تغییر داده‌اند. افزون بر آن اصطلاح ضریب اثربخشی کلی تجهیزات در آثار نوشته شده در زمان‌های مختلف با توجه به کاربرد آن تغییر پیدا نموده است. این تغییرات منجر به گسترش ضریب اثربخشی کلی تجهیزات به سوی اثربخشی کلی ماشین آلات کارخانه (OPE) [2]، ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات در خطوط تولید پیوسته(OEEML) [3]، اثربخشی کلی دارایی‌ها (OAE) [4] و کارایی اثر بخشی کلیه تجهیزات (TEEP) [5] شده است.

1 World Class Manufacturing

2 Overall Performance Effectiveness
3 Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line
4 Overall Asset Effectiveness
5 Total Effectiveness Equipment Performance

www.SID.ir

Archive of SID

به منظور بررسی عوامل تأثیر گذار بر میزان اثربخشی کلی تجهیزات،با تفکیک عوامل تشکیل دهنده آن،سه سئوال اصلی مطرح می گردد،که عبارتند از:

۱- قابلیت دسترسی تجهیزات در خطوط تولید نورد سرد تا چه اندازه بر اثر بخشی کلی تجهیزات در خطوط تولید اثر گذار است؟

۲- عملکرد یا نسبت کارایی تجهیزات تا چه اندازه بر اثر بخشی کلی تجهیزات در خطوط تولید نورد سرد اثرگذار است؟

۳- کیفیت تولید یا نسبت کیفیت تا چه اندازه بر اثر بخشی کلی تجهیزات در خطوط تولید نورد سرد اثرگذار است؟

با توجه به سؤالات مطرح شده محقق در پی دستیابی به این نتیجه هستند که کدام یک از فاکتورهای ذکر شده در خطوط تولید نورد سرد، بیشترین تأثیر را بر روی اثر بخشی تجهیزات در این خطوط دارند.

۲- کلاس جهانی ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات

ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات در اصل نسبت زمان تولید خالص به زمان برنامه‌ریزی شده برای تولید می‌باشد اگر چه در عمل ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات تحت سه فاکتور سهیم در آن محاسبه می‌گردد :

(۱)

اثر بخشی کلی تجهیزات = کیفیت × عملکرد × زمان دسترسی تجهیزات

این نوع محاسبات، ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات را به یک آزمون سختگیرانه تبدیل می‌نماید. عملاً برای تحقق هدف رسیدن به سطح جهانی در ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات هر یک از فاکتورها بایستی به مقداری کاملاً متفاوت با یکدیگر برسند که این مقادیر در جدول شماره ۱ آورده شده است :

جدول۱-کلاس جهانی ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات(فرهادیان و جوانبخت-۱۳۷۸)

مقدار ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات در کلاس جهانی	فاکتور ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات
۹۰ درصد	دسترسی به تجهیزات
۹۵ درصد	عملکرد
۹۹/۹درصد	کیفیت
۸۵ درصد	میزان ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات

در سرتا سر جهان مطالعات گسترده‌ای انجام گرفته که حاکی از میزان متوسط ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات ۶۰ درصد برای کارخانه‌های تولیدی می‌باشد[1]. در حالیکه با ملاحظه جدول شماره 1 می بینیم که برای قرار گرفتن در کلاس جهانی ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات میزان ۸۵ درصد و یا بیشتر بیان گردیده است. روشن است که با این وجود در هر کارخانه می‌بایست قسمتی برای بهبود ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات در نظر گرفته شود.

شش ضایعه بزرگ که باعث محدودیت اثربخشی تجهیزات می شودعبارتند از: ضایعات خرابی های اضطراری (از کار افتادگی های اضطراری)،ضایعات

1 - www.oee.com, 2006

www.SID.ir

Archive of SID

آماده سازی و تنظیم، ضایعات حرکت بدون تولید یا توقفات جزیی و کوتاه مدت، ضایعات کاهش سرعت،ضایعات کیفیت و دوباره کاری،ضایعات آغاز تولید.

محاسبه ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات متشکل از سه فاکتور اساسی دسترسی به تجهیزات، عملکرد و کیفیت می‌باشدکه عبارتند از: (متولیان،۱۳۸٦)

۳- نحوه محاسبه OEE و TEEP

(۲)	زمان بارگذاری(برنامه ریزی شده)=زمان کل - زمانهای توقف برنامه ریزی شده	(LT=CT-ST)
(۳)	زمان عملیات(زمان فعال)=زمان کارکرد=زمان بارگذاری - (زمان توقفات +زمان تمام ایستها)	(OT=LT-DT)
(٤)	قابلیت دسترسی=	(AV=$\frac{OT}{LT}$)
(٥)	سرعت یا عملکرد عملیات=	(SR&PR=$\frac{PDW(A)}{PDW(S)}$)
(٦)	کیفیت =	(QR=$\frac{QP}{TP}$)

وقتی ماشین آلات همگی با هم در یک خط تولید کار می کنند، ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات به تنهایی برای ارتقاء عملکرد کل سیستم کافی نیست و باید از روشهای مفیدتر و کاملتری نسبت به ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات استفاده کرد (براگلیا و همکاران، ۲۰۰۹). به همین منظور از شاخصهای دیگری از قبیل عملکرد کلی مؤثر تجهیزات(TEEP)، اثربخشی کلی خط تولیدپیوسته(OLE)، اثربخشی کلی تجهیزات خط (OEEML) و چندین شاخص دیگر استفاده می شود. شاخص TEEP که شباهت زیادی به OEE دارد، اختلاف اصلی در گنجاندن توقفات برنامه‌ریزی شده در افق زمان برنامه‌ریزی کلی را نشان می دهد. به منظور نمایش تأثیر نگهداری و تعمیرات در کمک به بهره‌وری ماشین آلات کارخانه، وجه تمایز آشکاری بین توقفات برنامه‌ریزی شده و نشده تعیین شده است. کم نمودن توقفات برنامه ریزی نشده از اهداف رایج در نگهداری و تعمیرات به حساب آمده و توقفات فنی نامیده می‌شود. توقفات برنامه‌ریزی نشده تابعی از تعدادی خرابی ناگهانی در یک دوره زمانی خاص بوده و به صورت دو شاخص متوسط زمان بین دو خرابی(MTBF) و متوسط زمان برای تعمیر (MTTR) بیان می‌شود (فرهادیان و جوانبخت،۱۳۸۷).

MTTR و MTBF مدعی اندازه‌گیری موفقیت تجهیزات بوده و وابسته به هدف‌ها و تابعی از عملکرد و ظرفیت فرآیند می‌باشد(داسیلوا و همکاران-۲۰۰۸) با کمک گرفتن از TEEP توقفات برنامه‌ریزی شده و نشده قابل اندازه‌گیری می‌باشد. تحلیل کامل این دو عنصر وظایف نگهداری و تعمیرات را برای بهبود قابلیت دسترسی تجهیزات به وسیله افزایش MTBF یا کاهش MTTR جهت

www.SID.ir

Archive of SID

می‌دهد. سایر عناصر گنجانده شده در TEEP زیانهای سرعت و نرخ کیفیت می‌باشد که در OEE نیز وجود دارد. TEEP به وسیله تقسیم زمان مفید عملیات (VOT)[4] بر کل زمان در دسترس (TT)[5] محاسبه می‌شود. شاخص TEEP مانند OEE محدود به بهره‌وری تجهیزات می‌باشد. این شاخص همچنین در کارخانجات با تولید فرآیندی یا پیوسته قابل اجرا است.

(۷) بهره برداری از دارایی=$\frac{\text{زمان عملیات}}{\text{زمان کل}}$ $(AU=\frac{OT}{QT})$

جدول۲- عناصر تشکیل دهنده عملکرد کلی مؤثر تجهیزات(حامد احمدی-۱۳۸۷)

<table dir="rtl">
<tr><td>نرخ برنامه‌ریزی</td><td colspan="4">(TT) کل زمان در دسترس</td></tr>
<tr><td></td><td>زمان‌برنامه‌ریزی شدهٔ نگهداری و تعمیرات</td><td colspan="3">کل زمان برنامه‌ریزی شده تولید (PPT)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">نرخ دسترسی</td><td>توقفات برنامه‌ریزی نشده</td><td colspan="3">زمان بهره‌برداری (OT)</td></tr>
<tr><td>نرخ کارایی</td><td>زیانهای‌سرعت</td><td colspan="2">زمان بهره‌برداری (NOT)</td></tr>
<tr><td></td><td rowspan="2">نرخ کیفیت</td><td>ضایعات کیفیت</td><td>زمان‌مفید بهره‌وری (VOT)</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

(۸) عملکرد کلی موثرتجهیزات= بهره برداری از دارایی× نرخ سرعت × نرخ کیفیت $TEEP= AV\times PR\times QR$

(۹) عملکرد کلی موثرتجهیزات=$\frac{\text{زمان فعال‌بودن واقعی}}{\text{زمان تقویمی}}$ $(TEEP=\frac{TT}{QT})$

زمان بارگذاری از کم کردن زمانهای توقفات برنامه ریزی شده از زمان کل بدست می آید که باید زمانهای تعمیرات پیش گیرانه کاهش یابد، دستگاهها بهینه گردند و اپراتورها و عوامل اجرایی ازمهارت کافی برخوردار شوند تا این زمانها کاهش یابد.

(۱۰) $DT=\sum$ توقفات آماده سازی و تنظیم + توقفات الکتریکی + توقفات هیدرولیکی + توقفات مکانیکی + توقفات کوتاه مدت + ...

www.SID.ir

Archive of SID

زمانهای توقفات برنامه ریزی نشده شامل توقفات آماده سازی و تنظیم، توقفات کوتاه مدت، توقفات الکتریکی، توقفات مکانیکی، توقفات هیدرولیکی، کاهش سرعت دستگاه و.... می گردد که عموما به سه فاکتور اصلی تأخیر مواد[1] و توقفات ناگهانی[2] و توقفات راه اندازی و تنظیم[3] تقسیم می گردند، که برای افزایش زمان عملیاتی باید زمان توقفات برنامه ریزی نشده را کاهش دهیم.

(۱۱)

$$DT=\sum SETUP + EMERGENCY + DELAY$$

٤- روش تحقیق

روش تحقیق در این پژوهش،همبستگی، از شاخه میدانی می‌باشد و جزو تحقیقات موردی است. روش گردآوری اطلاعات در این تحقیق به دو صورت کتابخانه‌ای و میدانی می‌باشد. در خصوص جمع آوری اطلاعات در مورد سؤالات پژوهشی به طور عمده از روش میدانی استفاده گردیده و جهت جمع‌آوری اطلاعات ادبیات تحقیق از روش کتابخانه ای بهره گرفته شده است. عمده‌ترین ابزار گردآوری اطلاعات از طریق مشاهده و همچنین مصاحبه با کارشناسان و دریافت اطلاعات واقعی از طریق فرم ها می‌باشد. روش تجزیه و تحلیل اطلاعات استفاده از نمودارهای کنترلی و نمودارهای پاراتو و آزمون همبستگی در نرم افزار Minitab و نمودارهای میله ای و نمودارهای خطی در نرم‌افزار اکسل می‌باشد.

۵- اندازه گیری ضریب اثربخشی کلی تجهیزات در خطوط تولید نورد سرد

با توجه به موضوع پژوهش و سابقه‌ی مورد نظر پژوهشگر و میزان اطلاعات در دسترس از موضوع مورد پژوهش، خطوط تولید نورد سرد در مجتمع فولاد مبارکه ی اصفهان به عنوان قلمرو مکانی تحقیق در نظر گرفته شد. ناحیه نورد سرد بطور کلی از ۷ واحد تشکیل شده است که عبارتند از : خطوط اسیدشوئی، واحد تاندم میل، واحد نورد دو قفسه ای، واحد شستشوی الکترولیتی، واحد تمپرمیل، واحد قلع اندود، کارگاه غلتک (مرکز تحقیقات مجتمع فولاد مبارکه،۱۳۸۷) در فاز اندازه گیری داده های مربوط به فرآیند جمع آوری شده و محاسبات لازم برای استخراج داده های مورد نیاز انجام می شود. با توجه به اطلاعات قابل دسترسی از فایل‌های مربوطه در کارخانه‌ی نورد سرد فولاد مبارکه بررسی در مورد اطلاعات بدست آمده از سیستم تولیدی درشش ماه اول سال ۱۳۸۹ انجام شده است.

٦- تجزیه و تحلیل اطلاعات

در این مرحله از تحقیق سعی بر آن است که با بررسی اطلاعات خطوط تولید پیوسته در کارخانه نورد سرد مجتمع فولاد مبارکه اعداد واقعی ضریب اثربخشی کلی تجهیزات و عملکرد کلی مؤثر تجهیزات در خط تولید استخراج گردیده و با تجزیه و تحلیل این شاخص، نقاط ضعف خط تولید شناسایی و سعی در بهبود آن گردد. در فاز آنالیز پس از غربال کردن داده های لیست علت های بالقوه، با یکسری از تکنیکهای آماری عوامل اصلی و ریشه ای

1 - delay
2 - emergency
3 - setup

www.SID.ir

Archive of SID

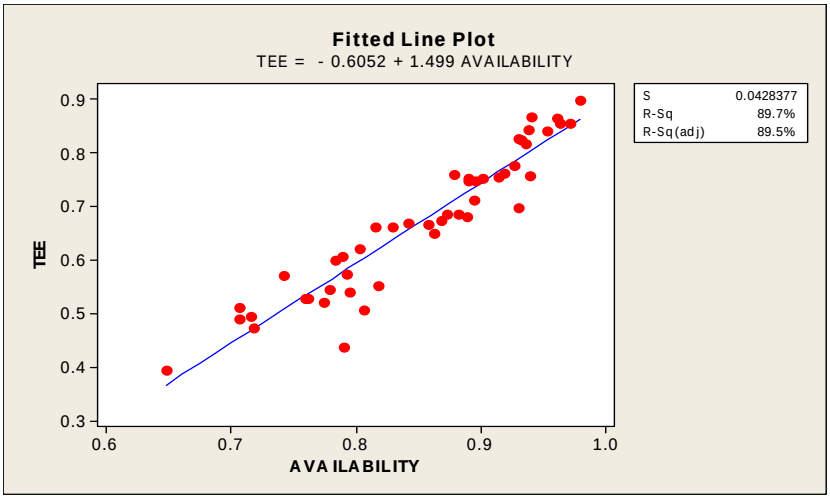
این نقاط ضعف تشخیص داده می شود (اکس،۱۳۸۵).

۱-٦- تجزیه وتحلیل سؤال اول تحقیق

دراین مرحله تأثیر قابلیت دسترسی تجهیزات درخطوط تولید نورد سرد بر اثر بخشی کلی تجهیزات بررسی می شود. با توجه به اینکه داده های هر دو پیوسته می باشند، در ابتدا تست نرمال بودن برای داده ها انجام می شود. برای بدست آوردن ارتباط بین نرخ دسترسی وضریب اثربخشی تجهیزات از ضریب همبستگی پیرسون استفاده می گردد.

ضریب همبستگی پیرسون بین نرخ دسترسی و ضریب اثربخشی تجهیزات در خطوط تولید برابر ۰/۹٤۷ می باشد. همچنین ضریب همبستگی پیرسون بین نرخ بهره برداری از دارایی و ضریب اثربخشی تجهیزات در خطوط تولید برابر ۰/۸۹٦ است.

همچنین با توجه به آزمون رگرسیون مشاهده می‌گردد که میزان R-sq، برابر با ۸۹/۷ درصد است که این مسأله نشانگر همبستگی بالای بین نرخ دسترسی و ضریب اثربخشی تجهیزات می باشد. زیرا میزانR-sq بالای ۷۰ درصد همبستگی بالا را می رساند. میزان R-sq بین نرخ بهره برداری از دارایی وضریب اثربخشی تجهیزات برابر ۸۰/۳ می باشد.



نمودار ۱- همبستگی ضریب اثربخشی کلی تجهیزات و نرخ دسترسی

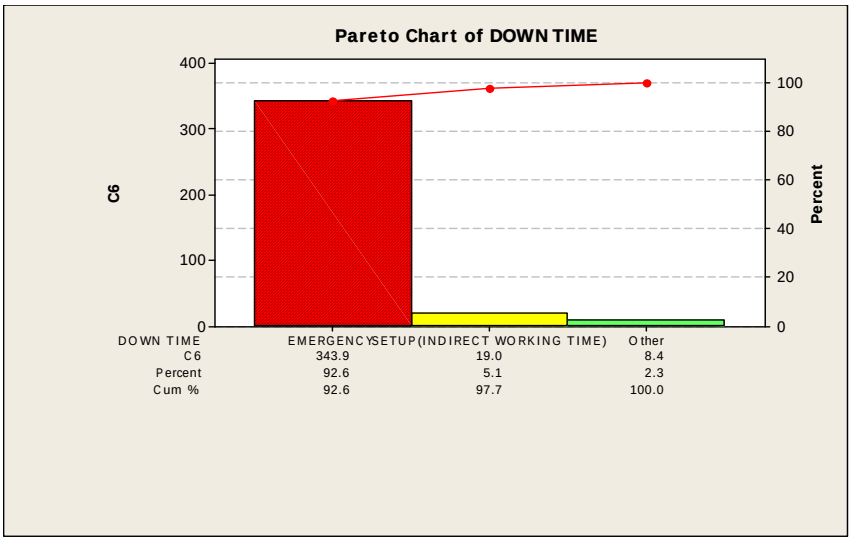
در نهایت معادله رگرسیون OEE=-.605+1.50AVAILABILITY. برازش گردید.

اکنون عوامل مؤثر بر نرخ دسترسی تجهیزات و نرخ بهره برداری از دارایی در خطوط تولید کارخانه نورد سرد فولاد مبارکه مورد بررسی قرار می گیرد. در ابتدا به بررسی میزان OEE و TEEP در خطوط تولید پرداخته می شود. با بررسی نمودار میله ای این دو شاخص اثربخشی تجهیزات در شش ماه اول سال مشخص می گردد، سپس با استفاده از نرم افزار Minitab نمودار کنترلی دو شاخص OEE و TEEP رسم می گردد. با توجه به اینکه دو عامل توقفات برنامه ریزی شده و توقفات برنامه ریزی نشده اصلی ترین عوامل تأثیر گذار بر نرخ دسترسی می باشند، با استفاده از نمودار پارتو می توان از بین علل مختلف

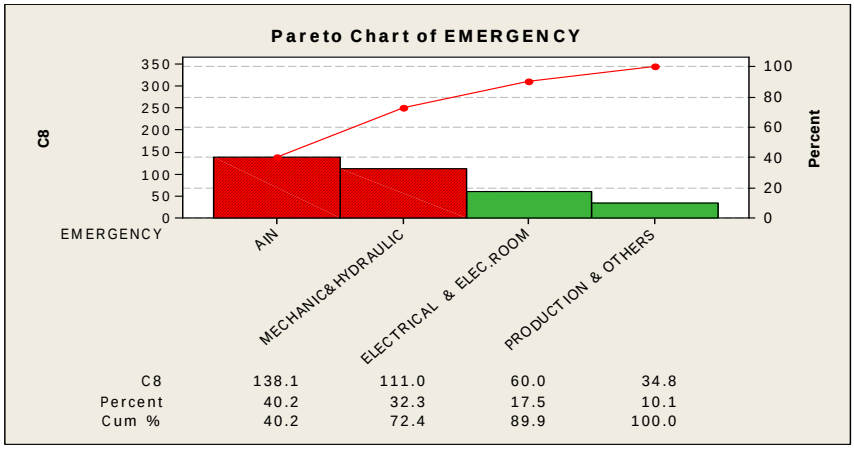
www.SID.ir

Archive of SID

علت های سبب ساز اصلی در توقفات برنامه ریزی نشده را در تمامی خطوط تولید شناسایی کرد. نمودار های ۲ و ۳ این مسأله را در خط اسید شویی ۱ نشان می دهند. در اینجا برای پیدا کردن مشکلات اصلی در زمینه توقفات برنامه ریزی نشده، دستگاهها وابزارآلاتی که در آنها این توقفات وجود داشته است را مورد بررسی دقیق قرار داده، دستگاههایی که بیشترین نرخ توقفات را داشته اند شناسایی گردیدند. برای مثال نمودار های ٤ و ٥ این دستگاهها را در خط اسید شویی ۱ نشان می دهد.



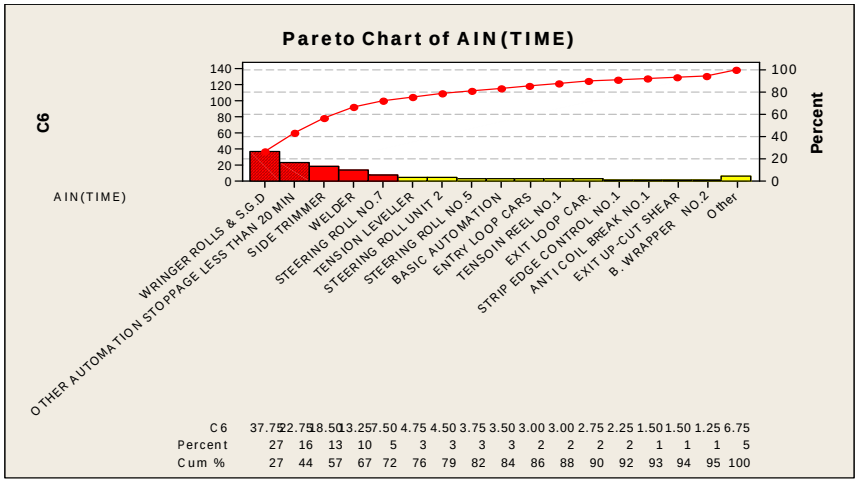
نمودار ۲- نمودار پارتو توقفات برنامه ریزی نشده در خط اسید شویی۱



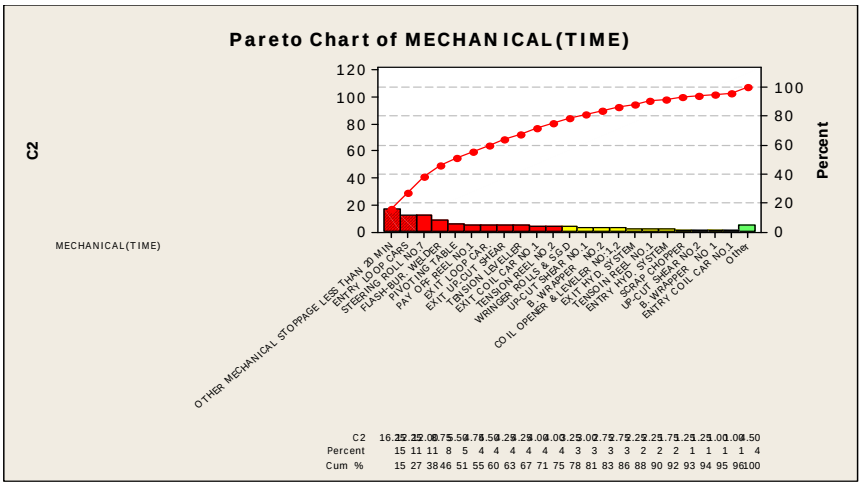
نمودار ۳- نمودار پارتو توقفات ناگهانی در خط اسیدشویی۱

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار٤- توقفات ناشی از اتوماسیون وابزار دقیق در خط اسیدشویی۱



نمودار٥: توقفات ناشی از مکانیکی وهیدرولیکی در خط اسیدشویی۱

۲-٦- تجزیه وتحلیل سؤال دوم تحقیق

در این بخش به بررسی تأثیر عملکرد تجهیزات در خطوط تولید نورد سرد بر اثر بخشی کلی تجهیزات پرداخته می شود.

با توجه به این نکته که هر دو داده پیوسته می باشند، در ابتدا تست نرمال بودن داده ها انجام شد که داده ها نرمال بودند. برای بدست آوردن ارتباط بین نرخ عملکرد وضریب اثربخشی تجهیزات از ضریب همبستگی پیرسون استفاده می گردد. ضریب همبستگی پیرسون بین نرخ عملکرد و ضریب اثربخشی تجهیزات در خطوط تولید برابر ۰/۹۵٦و بین نرخ عملکرد و عملکرد کلی مؤثر تجهیزات برابر ۰/۳۳٤ می باشد. همچنین آزمون رگرسیون مشخص نمود که میزان R-sq، برابر با ۹۱/۳ درصد است که این مسأله نشانگر همبستگی بالای بین نرخ عملکرد و ضریب اثربخشی تجهیزات می باشد. میزان R-sq، بین نرخ عملکرد و عملکرد کلی مؤثر تجهیزات (عملکرد کلی مؤثر تجهیزات) برابر ۱۱/۲ است که

www.SID.ir

Archive of SID

نشان دهنده همبستگی پایینی بین این دو نرخ می باشد. در ابتدا روند کلی نرخ عملکرد و اثربخشی کلی تجهیزات در خطوط تولیدی بررسی می شود. نمودار کنترلی نرخ عملکرد بر اساس نرخ استاندارد جهانی نشان می دهد که میزان عملکرد خطوط چگونه است. با توجه به این نکته که نرخ عملکرد از تقسیم تولید واقعی بر تولید اسمی حاصل می گردد نشان داده می شود که تولید واقعی در چه ماههایی پایین است. دو عامل اصلی توقفات جزئی وکاهش سرعت باعث کاهش تولید واقعی می گردد. در نهایت معادله رگرسیون OEE=-.522+1.49PERFORMANCE برازش گردید.

۳-٦- تجزیه وتحلیل سؤال سوم تحقیق

در این مرحله به بررسی تأثیر نرخ کیفیت تجهیزات در خطوط تولید نورد سرد بر اثر بخشی کلی تجهیزات پرداخته می شود. با توجه به اعدادی که از نرخ کیفیت در خطوط تولید در کارخانه نورد سرد استخراج گردیده است از آزمون رگرسیون استفاده می شود. در ابتدا تست نرمال بودن از اعداد نرخ کیفیت به عمل می آید. برای بدست آوردن ارتباط بین نرخ کیفیت وضریب اثربخشی تجهیزات از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون بین نرخ کیفیت و ضریب اثربخشی تجهیزات در خطوط تولید برابر ۰/۵۰٦ و بین نرخ کیفیت وعملکرد مؤثر کلی تجهیزات ۰/۱۱٦ محاسبه گردید.

همچنین آزمون رگرسیون خطی معین می نماید که میزان ضریب R-sq،برابر با ۲۵/٦ درصد است،همچنین آزمون رگرسیون درجه دو مشخص می کند که میزان R-sq برابر با ۲۷/٦ است که این مسأله نشانگر همبستگی پایین بین نرخ کیفیت و ضریب اثربخشی تجهیزات می باشد. میزان نوسان نرخ کیفیت تأثیر مهمی بر ضریب اثربخشی تجهیزات در خطوط تولید نورد سرد نداشته است. این نکته حائز اهمیت است که با توجه به استاندارد جهانی ۹۹/۹، نرخ کیفیت همه خطوط باید مورد بررسی قرار گیرد تا میزان فاصله نرخهای کیفیت در خطوط نورد سرد با استاندارد جهانی مشخص شود. نمودار کنترلی نرخ کیفیت بر اساس نرخ استاندارد جهانی نشان می دهد که میزان عملکرد خطوط در تمامی شش ماه اول چگونه است که نشانگر آن است که دوباره کاری و ضایعات و اتلاف بالا آمدن دستگاه در آن ماههای سال نسبت به کلاس جهانی در چه وضعیتی قرار دارد.

۷- بحث

با توجه به تجزیه و تحلیلهای انجام شده بر روی اطلاعات بدست آمده از خطوط تولید اهداف محقق شده به شرح ذیل می باشد:

الف : شناسایی میزان فاصله‌ی خطوط تولید نورد سرد با استاندارد جهانی صنعت:

در پی این تحقیق مشخص گردید که میزان اثربخشی خطوط تولید به عنوان یک وسیله سنجش با کلاس جهانی صنعت نشان می دهد که خطوط تولید نورد سرد به طور میانگین فاصله ای بیش از ۱۸ درصدی با استاندارد جهانی (۸۵ درصد) دارند.البته ذکر این نکته حائز اهمیت است که بدانیم میزان اثربخشی کلی تجهیزات، بنا به نوع صنعت،

www.SID.ir

Archive of SID

ویژگی‌های تجهیزات و سیستم تولیدی موجود دارای تفاوت است.

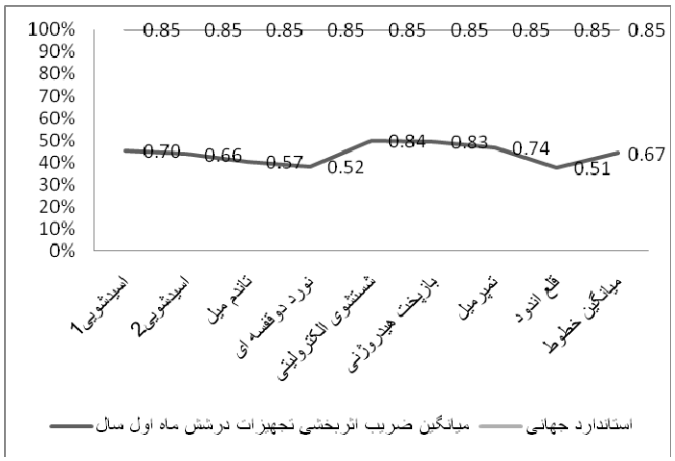
ب: شناسایی دلایل نا کارآمدی سیستم تولیدی: با شناسایی توقفات برنامه ریزی نشده دلایل ناکارآمدی سیستم تولیدی مشخص گردیده است.

ج : شناسایی میزان اثربخشی نگهداری و تعمیرات بهره ور: میزان اثربخشی کلی تجهیزات در خط تولید،به عنوان معیار میزان اثربخشی نگهداری وتعمیرات بهره ور قابل اتکا می باشد، که همانطور که اشاره شد در تمامی خطوط محاسبه گردید.

د : شناسایی نقاط گلوگاهی در بین ماشین آلات: دستگاههایی که در آنها بیشترین توقفات در خطوط تولید درکارخانه نورد سرد صورت گرفته مشخص گردیده است. می توان این تجهیزات را به عنوان نقاط گلوگاهی شناسایی کرد.

ه: مقایسه ضریب اثربخشی کلی تجهیزات و عملکرد کلی تجهیزات در خطوط تولید نورد سرد با استاندارد جهانی

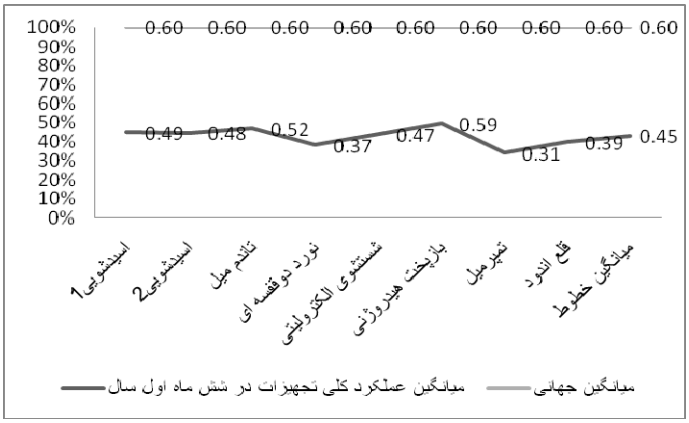
این مقایسه نشان می دهد که در بین خطوط تولید، خطوط شستشوی الکترولیتی و بازپخت هیدروژنی کمترین فاصله و خطوط قلع اندود و نورد دوقفسه ای بیشترین فاصله را با استاندارد جهانی ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات (۸۵ درصد) دارا می باشند. نمودار شماره ۱ این مقایسه را نشان می دهد. همچنین خط تولید تمپرمیل بیشترین فاصله و خط تولید بازپخت هیدروژنی کمترین فاصله را با استاندارد فرضی ۶۰ درصد دارا می باشند. نمودار شماره۲ این مقایسه را نشان می دهد.



نمودار٦: مقایسه ضریب اثربخشی کلی تجهیزات با استاندارد جهانی

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار۷: مقایسه عملکرد کلی تجهیزات با استاندارد جهانی

۸-نتیجه گیری

الف- نتایج حاصل از تجزیه وتحلیل سؤال فرعی اول (قابلیت دسترسی تجهیزات در خطوط تولید نورد سرد تا چه اندازه بر اثر بخشی کلی تجهیزات در خطوط تولید تأثیرگذار است؟)

با توجه به آزمون رگرسیون که بین اعداد نرخ دسترسی و اثربخشی تجهیزات در کل خطوط تولید نورد سرد انجام گردید، مشخص گردید که بین این دو همبستگی بالایی وجود دارد که نشان دهنده تأثیر بالای قابلیت دسترسی تجهیزات بر اثربخشی تجهیزات است. این نکته لازم به ذکر است که دو عامل شکست یا خرابی تجهیزات و زمانهای آماده سازی وتنظیم باعث کاهش این نرخ می گردند. با توجه به تجزیه وتحلیل های انجام گرفته برای تمامی خطوط تولید در نورد سرد مهمترین عوامل کاهش نرخ دسترسی در خطوط نورد سرد از بین عوامل اصلی توقفات بدین شرح می باشد:

۱- خط تولید اسید شویی۱: در خط اسید شویی۱ عامل ضایعات ناگهانی بیشترین تأثیر را بر روی میزان توقفات می گذارد و بیش از ۹۰ درصد آنها را شامل می گردد.و از بین تمامی ضایعات،توقفات ناشی از عوامل اتوماسیون وابزار دقیق و عوامل

مکانیکی وهیدرولیکی بالاترین نرخ را دارا است.(بیش از ۷۰ درصد)

۲- خط اسید شویی۲: در خط اسید شویی ۲ عامل ضایعات ناگهانی حدود ٦۰ درصد و عامل تأخیر مواد در حدود ۳۰ درصد از میزان توقفات را شامل می شود. از بین تمامی ضایعات،توقفات ناشی از عوامل الکتریکی و اتوماسیون و ابزار دقیق بیش از ٦۰ درصد ضایعات ناگهانی راتشکیل می دهد.

۳- خط تاندم میل: در خط تاندم میل عوامل تأخیر مواد و ضایعات ناگهانی در حدود ۸۰ درصد توقفات را باعث می گردند. از بین تمامی توقفات ناگهانی، توقفات ناشی از مشکلات اتوماسیون و ابزار دقیق و مکانیکی و هیدرولیکی در حدود ۷۰ درصد را شامل می شوند.

٤- خط نورد دو قفسه ای: در خط نورد دوقفسه ای عوامل تأخیر مواد و ضایعات ناگهانی در حدود ۷۰ درصد توقفات را باعث می گردند. از بین تمامی توقفات ناگهانی، توقفات ناشی از مشکلات فنی و

www.SID.ir

Archive of SID

افت تولید و اتوماسیون و ابزار دقیق در حدود ۷۰ درصد را شامل می شوند.

۵- خط شستشوی الکترولیتی: در خط شستشوی الکترولیتی عوامل تأخیر مواد و ضایعات ناگهانی بیش از ۷۰ درصد توقفات را باعث می گردند. از بین تمامی توقفات ناگهانی،توقفات ناشی از مشکلات مکانیکی و هیدرولیکی و الکتریکی در حدود ۸۰ درصد را شامل می شوند.

٦- خط بازپخت هیدروژنی: در خط بازپخت هیدروژنی عامل تأخیر مواد بیش از ۹۵ درصد توقفات را باعث می گردد.

۷- خط تمپرمیل: در خط تمپرمیل عوامل تأخیر مواد و ضایعات ناگهانی در حدود ۸۰ درصد توقفات را باعث می گردند. از بین تمامی توقفات ناگهانی، توقفات ناشی از مشکلات فنی و افت تولید و مکانیکی وهیدرولیکی بیش از ۸۰ درصد را شامل می شوند.

۸- خط قلع اندود: در خط قلع اندود عامل ضایعات ناگهانی در حدود ۸۰ درصد و عامل تنظیم و آماده سازی حدود ۲۰ درصد توقفات را باعث می گردند. از بین تمامی توقفات ناگهانی، توقفات ناشی از مشکلات فنی و افت تولید و مکانیکی و هیدرولیکی بیش از ۸۰ درصد را شامل می شوند.

ب- نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل سؤال فرعی دوم (عملکرد یا نسبت کارایی تجهیزات تا چه اندازه بر اثر بخشی کلی تجهیزات در خطوط تولید نورد سرد تأثیرگذار است؟)

آزمون رگرسیون بین اعداد حاصل عملکرد تجهیزات واثربخشی کلی تجهیزات در همه خطوط تولید نورد سرد انجام گردید ومشخص شد که بین این دو همبستگی بالایی وجود دارد که نشان دهنده تأثیر بالای عملکرد تجهیزات بر اثربخشی تجهیزات است. این نکته لازم به ذکر است که دو عامل توقفات جزئی و کاهش سرعت باعث کاهش تولید واقعی و در نتیجه کاهش نرخ عملکرد می گردند. باید توجه داشت که در تمامی خطوط تولید نورد سرد فولاد نوسانات نرخ عملکرد و ضریب اثربخشی تجهیزات تقریباً به صورت یکسان و هماهنگ عمل می کند.

ج- نتایج حاصل از تجزیه وتحلیل سؤال فرعی سوم (کیفیت تولید یا نسبت کیفیت تا چه اندازه بر اثر بخشی کلی تجهیزات در خطوط تولید نورد سرد تأثیرگذار است؟)

با توجه به اینکه آزمون رگرسیون بین اعداد حاصل از نرخ کیفیت و اثربخشی کلی تجهیزات در همه خطوط تولید نورد سرد انجام گردید و مشخص شد که بین این دو رابطه وجود دارد ولی همبستگی پایینی بین این دو نرخ برقراراست.که ناشی از تغییرات اندک در نرخ کیفیت می باشد و از طرفی این نرخ در طول زمان اندازه گیری شده در سطح قابل قبولی نسبت به استاندارد جهانی قرار ندارد ولی بهبود نرخ کیفیت در خطوط تولید نورد سرد بر روی اثر بخشی کلی تجهیزات با توجه به وضعیت کنونی خطوط نورد سرد تأثیرگذاری بالایی ندارد و از عوامل اصلی نمی باشد.

هدف اصلی اندازه‌گیری ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات حرکت به سوی بهبود است. وقتی که اولین بار ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات محاسبه می شود ممکن است شاخص ضریب اثر بخشی کلی

www.SID.ir

Archive of SID

تجهیزات بسیار پایین باشد. در مجموع پایین بودن شاخص ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات در شروع کار چیز بدی نیست چون که فرصت‌های زیادی برای ایجاد بهبود در دست

است. اصولاً وقتی شاخص ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات پایین است ایجاد بهبود بسیارآسان تر است. علت آن نیز این است که افراد، آمادگی بیشتری برای حذف مشکلات و ضایعات آشکار دارند. بدین ترتیب پیشنهاداتی برای بهبود در سیستم تولیدی در خطوط نورد سرد فولاد مبارکه مطرح می گردد:

۱- استفاده از متدولوژی DMAIC: استفاده از فرآیند شش سیگما، تحلیلهای آماری، بررسیهای در محل و استفاده از روشهای طوفان ذهنی.بر اساس متدلوژیDMAIC نشان داد که توقفات تأخیر مواد و توقفات ناگهانی در حین تولید دلیل اصلی کاهش نرخ دسترسی تجهیزات و به تبع آن کاهش میزان اثربخشی تجهیزات است. دلایلی که بعضاً بدون ابتکار عمل خاص و تنها به صورت " فقط انجام بده " برطرف می شوند.

۲- بازنگری در دوره نگهداری و تعمیرات دستگاهها با توجه به نتایج حاصل از تحقیق

۳- استفاده از مدیریت محدودیتها در توقفات: هر توقف شامل چند مؤلفه می باشد. این موارد عبارتند از:تشخیص، بهره برداری، تابعیت، ترفیع دادن و برگشت به عقب.

٤- ارتقاء سیستم تعویض سریع: زمان راه اندازی و تنظیم ماشین‌آلات، مادامی که سبب کاهش زمان در دسترس تولید شود، به عنوان یک هدف بهبود، در ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات مورد توجه است.

۵- بهبود متمرکز تجهیزات و فرآیند: بهبود متمرکز تجهیزات و فرآیند، یکی از ارکان نگهداری وتعمیرات بهره ور فراگیر است که به طور مستقیم بر بهبود اتلاف تجهیزات تمرکز دارد.

۹- منابع و مؤاخذ

اکس،جرج، *"پویایی تیم های شش سیگما راز موفقیت پروژه های شش سیگما"*، ترجمه محسن انصاری وحجت انصاری، اول، تهران انتشارات رسا، ص7 ، 1385

حاج شیر محمدی،علی،*"برنامه ریزی نگهداری وتعمیرات (مدیریت فنی درصنایع)"*، چاپ چهارم، اصفهان، انتشارات غزل، 1376

حاج شیر محمدی،علی،*"نگهداری وتعمیرات (نت) بهره ور فراگیر(TPM)"*، چاپ سوم، اصفهان، انتشارات اردکان،1382

سازمان توسعه بهره وری آمریکا،*"اثربخشی کلی تجهیزات OEE"*، ترجمه محمد علی متولیان، چاپ اول، تهران، انتشارات رسا، صص -24 1386،80

سی هنسن،رابرت،*"اثربخشی کلی تجهیزات OEE"*، ترجمه حامد احمدی،چاپ اول، اصفهان،انتشارات ارکان دانش، صص -28 1387،52

فرهادیان، بابک، جوانبخت، مجتبی،*"نگاهی به نظام TPM وجایگاه شاخص OEE در نگهداری و تعمیرات"*، چاپ اول، اصفهان، انتشارات ارکان دانش، صص 59-30،1387

مرکز تحقیقات مجتمع فولاد مبارکه، ۱۳۸۷

Braglia, M; Frosolini, M; Zammori, F., "Overall equipment effectiveness of a

www.SID.ir

Archive of SID

I.P.S. Ahuja, J.S. Khamba., "Strategies and success factors for overcoming challenges in TPM implementation in Indian manufacturing industry", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol 14 No. 2, pp.123-147, 2008

Kevin.B, "TPM implementation"., *Jornal of maintenance& asset management*, vol 20, pp.4-8 , 2008

Nachiappan, R.M; Anantharaman, N." Evaluation of overall line effectiveness (OLE) in acontinuous product line manufacturing system", *Journal of Manufacturing Technology Managemen* Vol. 17 No. 7, pp. 987-1008, 2005

manufacturing line (OEEML) ", *Journal of Manufacturing Technology Management* Vol. 20No. 1 pp.8-29, 2009

Carlos Manuel Ina´cio da Silva, Carlos Manuel Pereira Cabrita , Joa˜o Carlos de Oliveira Matias، "Proactive reliability maintenance:a case study concerning maintenance service costs" , *Journal of Quality in Maintenance*

Engineering" ,Vol. 14 No. 4, pp. 343-355, 2008

da Silva Manuel Inacio , C; Manuel Pereira Cabrita, C; de Oliveira Matias Joao Carlos.P, "reliability maintenance:a case study concerning maintenance service costs"., *Journal of Quality in Maintenance Engineering* Vol. 14 No. 4, pp. 343-355,2008

Fast Track OEE For Production People On The Move, *www.oee.com* , p7, 2006

www.SID.ir