

بررسی تأثیر شش ضایعه عمده صنعت بر اثر بخشی کلی تجهیزات در کارخانه 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 و تعمیرات بهره ور فراگیر می باشد. این شاخص به همراه عملکرد کلی تجهیزات می تواند 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 کارخانه ی نورد سرد مجتمع فولاد مبارکه محاسبه شده؛ میزان فاصله ی 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 ضایعه های 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.

واژه های کلیدی: شاخص اثربخشی کلی تجهیزات، دسترسی، عملکرد، کیفیت، نگهداری بهره ور فراگیر،

مجتمع فولاد مبارکه

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 می‌توان به تولید برتر دست یافت. نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر یکی از شیوه‌های اصلی برای دستیابی به این هدف می‌باشد. پس از اجرای مؤثر نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر باید وضعیت سازمان ارزیابی شود و با بهترین سازمان‌های جهان مقایسه شود. ارزیابی مقایسه‌ای این امکان را می‌دهد تا برای دستیابی به یک سازمان استاندارد در سطح جهانی اهداف خود را معین سازیم (ناچاپیان و آناندارامان، ۲۰۰۵).

با توجه به مشکلات و محدودیت‌های 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 دهنده‌ی شاخص‌های اثر بخشی احساس می‌گردد. 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 شده‌ی دستگاه‌ها احساس می‌گردد که نیاز به تجزیه و تحلیل مستقیم را سبب می‌گردد. از طرف دیگر با توجه به این نکته که شاخص‌هایی به مانند ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات یا عملکرد مؤثر کلی

تجهیزات وسیله‌ای برای مقایسه‌ی ماشین‌آلات و خطوط تولید نسبت به یکدیگر و حتی نسبت به شرکت‌های دیگر و همچنین امتیاز دهی به عملکرد واحد نگهداری و تعمیرات شرکت‌ها می‌باشد (داسیلوا و همکاران، ۲۰۰۸)، ارزیابی و سنجش این شاخص از اهمیت والایی برخوردار می‌باشد. لذا این تحقیق در جایگاهی کاربردی برای خطوط تولید مورد نظر قرار می‌گیرد. مفهوم نگهداری و تعمیرات بهره‌ور معیار اثربخشی کلی تجهیزات را برای سنجش تاثیر تجهیزات منحصر به فرد در یک کارخانه ارائه داده است (کوبین، ۲۰۰۸)، که موضوعی مهم به حساب می‌آید ولی کافی نیست، چرا که سیستم تولید در کلاس جهانی بر خط تولیدی تمرکز دارد که شامل ماشین‌آلاتی 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^۱ 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^۲ وجود دارد که باعث کاهش اثربخشی ماشین‌آلات می‌شود (آهوچا و

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 روبه‌رو می‌شوند. بنابراین توجه به عملکرد کل کارخانه فارغ از عملکرد جداگانه تجهیزات امری ضروری می‌باشد. هدف هر کارخانه داشتن سیستم تکامل یافته با کارایی 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)^۲، ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات در خطوط تولید پیوسته (OEEML)^۳، اثربخشی کلی دارایی‌ها (OAE)^۴ و کارایی اثر بخشی کلیه تجهیزات (TEEP)^۵ شده است.

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 منحصر به فرد و در جهت عملکرد کلی خط تولید یا کارخانه مورد نظر باشد. اندازه‌گیری اثربخشی که در آن از ضریب اثربخشی کلی تجهیزات استفاده می‌شود 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 شیوه‌ای مناسب به حساب می‌آید. نتایج تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که شیوه پیشنهاد شده ضریب اثربخشی کلی تجهیزات و عملکرد 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 مؤثر است. علاوه بر آن می‌توان از این معیارها به عنوان ارزیابی مقایسه‌ای در سطوح مختلف استفاده کرد تا بتوان به استاندارد جهانی^۱ دست یافت. هر چند که دست‌آوردهای ضریب اثربخشی کلی تجهیزات مهم و در حال پیشرفت هستند، اما به سبب اینکه شرایط هیچ ماشینی را نمی‌توان جدا از محیط دانست لذا منفعت‌های 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،

2 Overall Performance Effectiveness

3 Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line

4 Overall Asset Effectiveness

5 Total Effectiveness Equipment Performance

1 World Class Manufacturing

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:

جدول ۱- کلاس جهانی ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات (فرهادیان و جوانبخت-۱۳۷۸)

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

در سر تا سر جهان مطالعات گسترده‌ای انجام گرفته که حاکی از میزان متوسط ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات ۶۰ درصد برای کارخانه‌های تولیدی می‌باشد^۱. در حالیکه با ملاحظه جدول شماره ۱ می‌بینیم 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 اثر بخشی تجهیزات می‌شود عبارتند از: ضایعات خرابی های اضطراری (از کار افتادگی های اضطراری)، ضایعات

به منظور بررسی عوامل تأثیر گذار بر میزان اثر بخشی کلی تجهیزات، با تفکیک عوامل تشکیل دهنده آن، سه سؤال اصلی مطرح می‌گردد، 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 اثر گذار است؟

۳- کیفیت تولید یا نسبت کیفیت تا چه اندازه بر اثر بخشی کلی تجهیزات در خطوط تولید نورد سرد اثر گذار 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)

$$\text{کیفیت} \times \text{عملکرد} \times \text{زمان دسترسی تجهیزات} = \text{اثر بخشی کلی تجهیزات}$$

محاسبه ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات متشکل از سه فاکتور اساسی دسترسی به تجهیزات، عملکرد و کیفیت می‌باشد که عبارتند از: (متولیان، ۱۳۸۶)

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

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)	$(OT=LT-DT)$
(۴)	قابلیت دسترسی = $\frac{\text{زمان عملیات}}{\text{زمان بارگذاری}}$	$(AV=\frac{OT}{LT})$
(۵)	سرعت یا عملکرد عملیات = $\frac{\text{تولید واقعی}}{\text{تولید اساسی}}$	$(SR\&PR=\frac{PDW(A)}{PDW(S)})$
(۶)	کیفیت = $\frac{\text{خروجی سالم}}{\text{کل تولید}}$	$(QR=\frac{GF}{TP})$

توقفات برنامه ریزی نشده از اهداف رایج در نگهداری و تعمیرات به حساب آمده و توقفات فنی نامیده می‌شود. توقفات برنامه ریزی 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).

MTBF و MTTR 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 برنامه ریزی 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

وقتی ماشین آلات همگی با هم در یک خط تولید کار می‌کنند، 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 تولید پیوسته (OLE)، اثربخشی کلی تجهیزات خط (OEEML) و چندین شاخص دیگر استفاده می‌شود. شاخص TEEP که شباهت زیادی به OEE دارد، اختلاف اصلی در گنجاندن توقفات برنامه ریزی شده در افق زمان برنامه ریزی کلی را نشان می‌دهد. به منظور نمایش تأثیر نگهداری و تعمیرات در کمک به بهره‌وری ماشین آلات کارخانه، وجه تمایز آشکاری بین توقفات برنامه ریزی شده و نشده تعیین شده است. کم نمودن

کارخانجات با تولید فرآیندی یا پیوسته قابل اجرا است.

می‌دهد. سایر عناصر گنجانده شده در TEEP زیانه‌های سرعت و نرخ کیفیت می‌باشد که در OEE نیز وجود دارد. TEEP به وسیله تقسیم زمان مفید عملیات⁴ (VOT) بر کل زمان در دسترس (TT)⁵ محاسبه می‌شود. شاخص TEEP مانند OEE محدود به بهره‌وری تجهیزات می‌باشد. این شاخص همچنین در

$$(7) \quad \text{بهره برداری از دارایی} = \frac{\text{زمان عملیات}}{\text{زمان کل}} \quad (AU = \frac{OT}{CT})$$

جدول ۲- عناصر تشکیل دهنده عملکرد کلی مؤثر تجهیزات (حامد احمدی-۱۳۸۷)

		نرخ برنامه‌ریزی	
		زمان برنامه‌ریزی شده نگهداری و تعمیرات	
کل زمان برنامه‌ریزی شده تولید (PPT)			
زمان بهره‌برداری (OT)		نرخ دسترسی	
		توقفات برنامه‌ریزی نشده	
زمان بهره‌برداری (NOT)		نرخ کارایی	
		زیانه‌های سرعت	
زمان مفید بهره‌وری (VOT)		نرخ کیفیت	
		ضایعات کیفیت	

$$(8) \quad \text{عملکرد کلی مؤثر تجهیزات} = \text{بهره برداری از دارایی} \times \text{نرخ سرعت} \times \text{نرخ کیفیت} \quad \text{TEEP} = AV \times PR \times QR$$

$$(9) \quad \text{عملکرد کلی مؤثر تجهیزات} = \frac{\text{زمان فعال تولید}}{\text{زمان نظری}} \quad \text{TEEP} = \frac{TT}{CT}$$

بهینه گردند و اپراتورها و عوامل اجرایی از مهارت کافی برخوردار شوند تا این زمانها کاهش یابد.

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

$$(10) \quad DT = \dots + \text{توقفات کوتاه مدت} + \text{توقفات مکانیکی} + \text{توقفات هیدرولیکی} + \text{توقفات الکتریکی} + \text{توقفات آماده سازی و تنظیم}$$

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 تمپر میل، 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 فایل های مربوطه در کارخانه ی نورد سرد فولاد مبارکه بررسی در مورد اطلاعات بدست آمده از سیستم تولیدی درشش ماه اول سال ۱۳۸۹ انجام شده است.

۶- 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

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 عموماً به سه فاکتور اصلی تأخیر مواد^۱ و توقفات ناگهانی^۲ و توقفات راه اندازی و تنظیم^۳ تقسیم می گردند، که برای افزایش زمان عملیاتی باید زمان توقفات برنامه ریزی نشده را کاهش دهیم.

(۱۱)

$$DT = \sum \text{SETUP} + \text{EMERGENCY} + \text{DELAY}$$

۴- روش تحقیق

روش تحقیق در این پژوهش، همبستگی، از شاخه میدانی می باشد و جزو تحقیقات موردی است. روش گردآوری اطلاعات در این تحقیق به دو صورت کتابخانه ای و میدانی می باشد. در خصوص جمع آوری اطلاعات در مورد سؤالات پژوهشی به طور عمده از روش میدانی استفاده گردیده و جهت جمع آوری اطلاعات ادبیات تحقیق از روش کتابخانه ای بهره گرفته شده است. عمده ترین ابزار گردآوری اطلاعات از طریق مشاهده و همچنین مصاحبه با کارشناسان و دریافت اطلاعات واقعی از طریق فرم ها می باشد. 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 نرم افزار اکسل می باشد.

- 1 - delay
- 2 - emergency
- 3 - setup

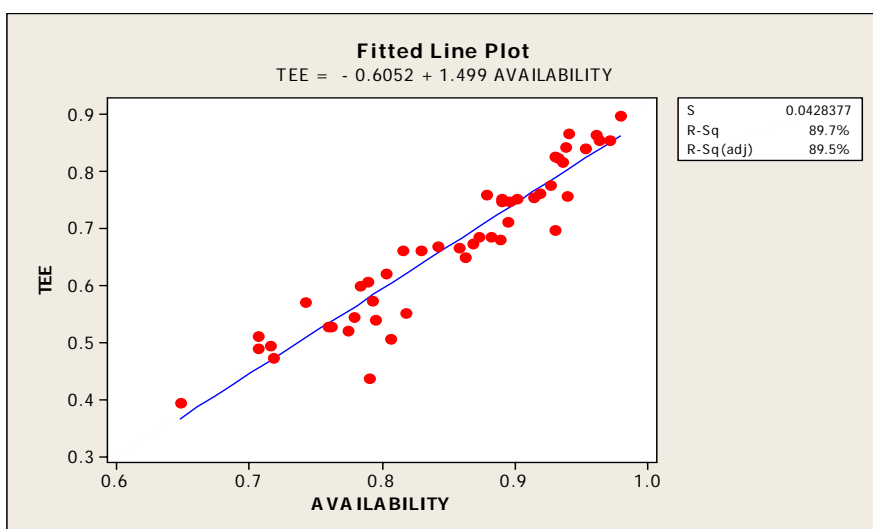
این نقاط ضعف تشخیص داده می شود (اکس، ۱۳۸۵).

ضریب همبستگی پیرسون بین نرخ دسترسی و ضریب اثربخشی تجهیزات در خطوط تولید برابر ۰/۹۴۷ می باشد. همچنین ضریب همبستگی پیرسون بین نرخ بهره برداری از دارایی و ضریب اثربخشی تجهیزات در خطوط تولید برابر ۰/۸۹۶ است.

همچنین با توجه به آزمون رگرسیون مشاهده می گردد 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 میزان R-sq بالای ۷۰ درصد همبستگی بالا را می رساند. میزان R-sq بین نرخ بهره برداری از دارایی و ضریب اثربخشی تجهیزات برابر ۸۰/۳ می باشد.

۶-۱- تجزیه و تحلیل سؤال اول تحقیق

در این مرحله تأثیر قابلیت دسترسی تجهیزات در خطوط 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 و ضریب اثربخشی تجهیزات از ضریب همبستگی پیرسون استفاده می گردد.



نمودار ۱- همبستگی ضریب اثربخشی کلی تجهیزات و نرخ دسترسی

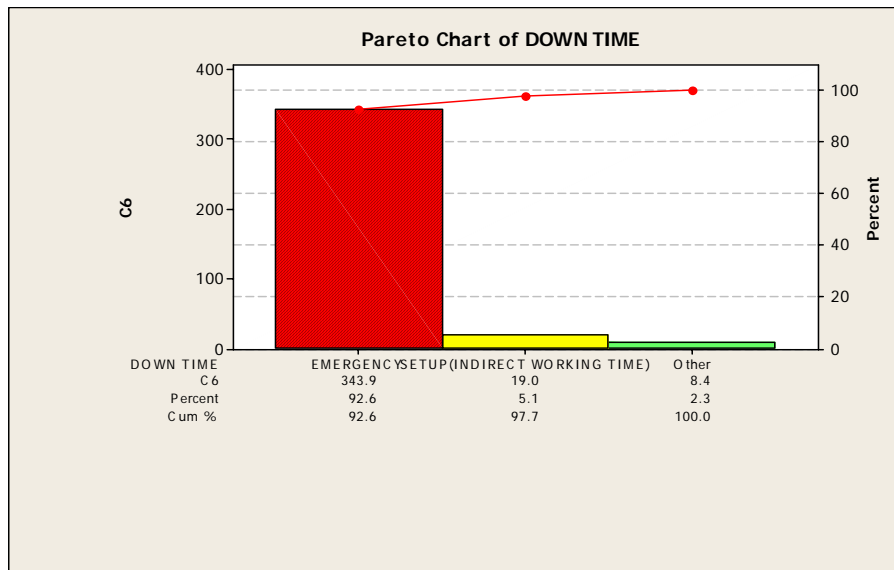
شاخص اثربخشی تجهیزات در شش ماه اول سال مشخص می گردد، سپس با استفاده از نرم افزار Minitab نمودار کنترلی دو شاخص OEE و TEEP رسم می گردد. با توجه به اینکه دو عامل توقفات برنامه ریزی شده و توقفات برنامه ریزی نشده اصلی ترین عوامل تأثیر گذار بر نرخ دسترسی می باشند، با استفاده از نمودار پارتو می توان از بین علل مختلف

در نهایت معادله رگرسیون $OEE = -0.605 + 1.50 \text{ AVAILABILITY}$ برازش گردید.

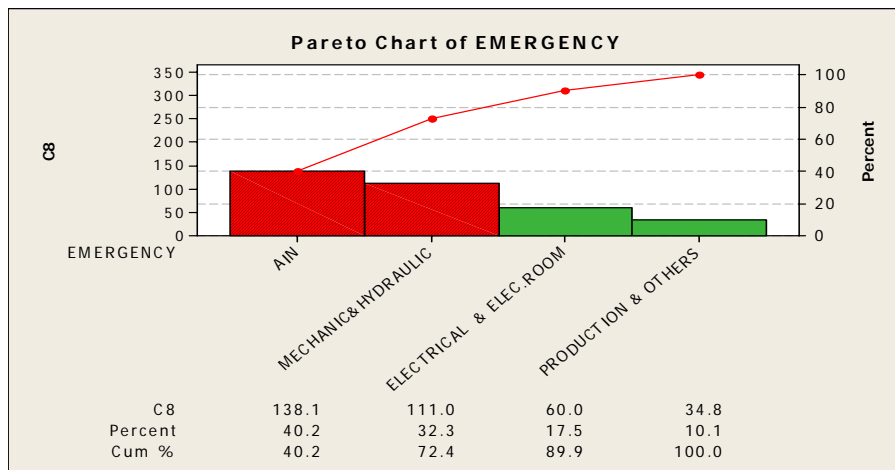
اکنون عوامل مؤثر بر نرخ دسترسی تجهیزات و نرخ بهره برداری از دارایی در خطوط تولید کارخانه نورد سرد فولاد مبارکه مورد بررسی قرار می گیرد. در ابتدا به بررسی میزان OEE و TEEP در خطوط تولید پرداخته می شود. با بررسی نمودار میله ای این دو

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 ۴ و ۵ این دستگاهها را در خط اسید شویی ۱ نشان می دهد.

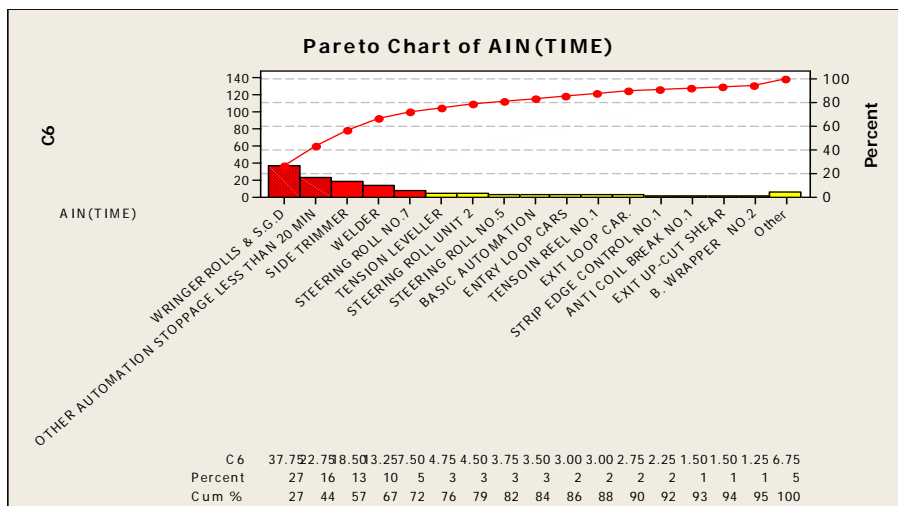
علت های سبب ساز اصلی در توقفات برنامه ریزی نشده را در تمامی خطوط تولید شناسایی کرد. نمودار های ۲ و ۳ این مسأله را در خط اسید شویی ۱ نشان می دهند. در اینجا برای پیدا کردن مشکلات اصلی در زمینه توقفات برنامه ریزی نشده، دستگاهها



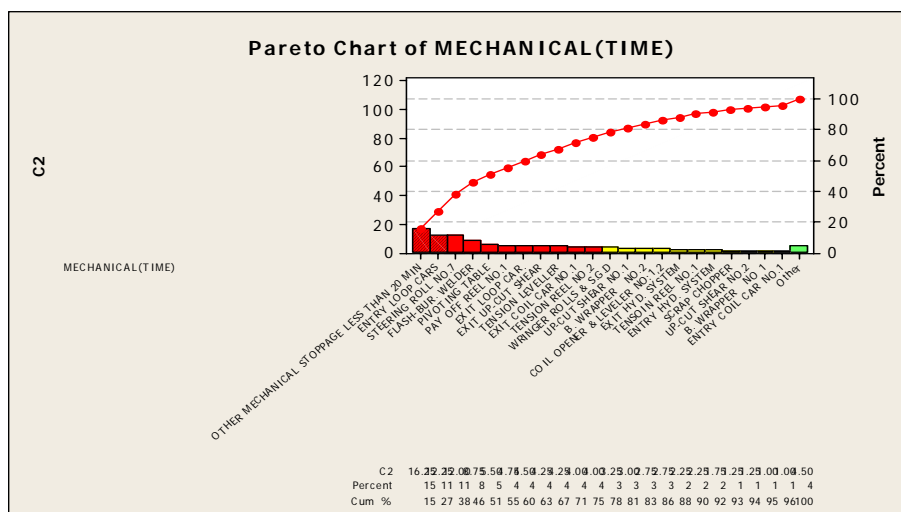
نمودار ۲- نمودار پارتو توقفات برنامه ریزی نشده در خط اسید شویی ۱



نمودار ۳- نمودار پارتو توقفات ناگهانی در خط اسید شویی ۱



نمودار ۴- توقفات ناشی از اتوماسیون و ابزار دقیق در خط اسیدشویی ۱



نمودار ۵: توقفات ناشی از مکانیکی و هیدرولیکی در خط اسیدشویی ۱

۲-۶- تجزیه و تحلیل سؤال دوم تحقیق

در این بخش به بررسی تأثیر عملکرد تجهیزات در خطوط تولید 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 و ضریب اثربخشی تجهیزات از ضریب همبستگی پیرسون استفاده می گردد. ضریب

همبستگی پیرسون بین نرخ عملکرد و ضریب اثربخشی تجهیزات در خطوط تولید برابر ۰/۹۵۶ و بین نرخ عملکرد و عملکرد کلی مؤثر تجهیزات برابر ۰/۳۳۴ 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

می کند که میزان R-sq برابر با ۲۷/۶ 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 فاصله 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،

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 و کاهش سرعت باعث کاهش تولید واقعی می گردد. در نهایت معادله رگرسیون $OEE = -522 + 1.49 \text{ PERFORMANCE}$ برآش گردید.

۳-۶- تجزیه و تحلیل 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 و ضریب اثربخشی تجهیزات از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون بین نرخ کیفیت و ضریب اثربخشی تجهیزات در خطوط تولید برابر ۰/۵۰۶ و بین نرخ کیفیت و عملکرد مؤثر کلی تجهیزات ۰/۱۱۶ محاسبه گردید.

همچنین آزمون رگرسیون خطی معین می نماید که میزان ضریب R-sq، برابر با ۲۵/۶ درصد است، همچنین آزمون رگرسیون درجه دو مشخص

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

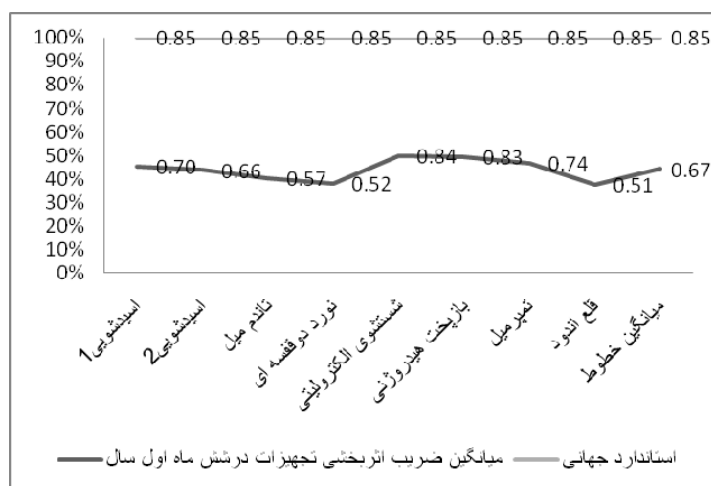
این مقایسه نشان می دهد که در بین خطوط تولید، خطوط شستشوی الکترولیتی و بازپخت هیدروژنی کمترین فاصله و خطوط قلع اندود و نورد دوقفسه ای بیشترین فاصله را با استاندارد جهانی ضریب اثر بخشی کلی تجهیزات (۸۵ درصد) دارا می باشند. نمودار شماره ۱ این مقایسه را نشان می دهد. همچنین خط تولید تمپر میل بیشترین فاصله و خط تولید بازپخت هیدروژنی کمترین فاصله را با استاندارد فرضی ۶۰ درصد دارا می باشند. نمودار شماره ۲ این مقایسه را نشان می دهد.

ویژگی های تجهیزات و سیستم تولیدی موجود دارای تفاوت است.

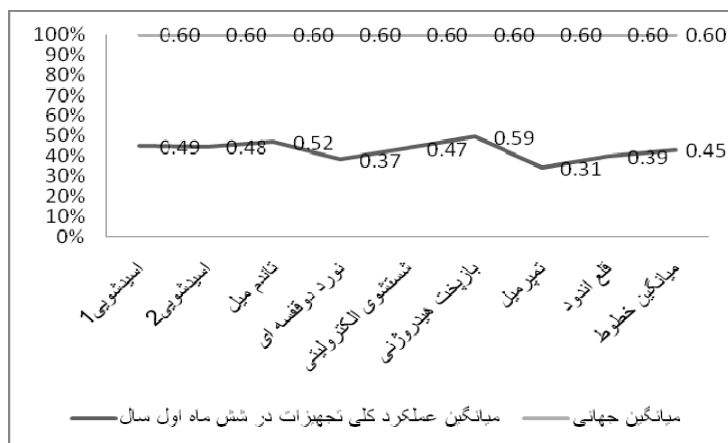
ب: شناسایی دلایل ناکارآمدی سیستم تولیدی: با شناسایی توقفات برنامه ریزی نشده دلایل ناکارآمدی سیستم تولیدی مشخص گردیده است.

ج: شناسایی میزان اثربخشی نگهداری و تعمیرات بهره ور: میزان اثربخشی کلی تجهیزات در خط تولید، به عنوان معیار میزان اثربخشی نگهداری و تعمیرات 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 در کارخانه نورد سرد صورت گرفته مشخص گردیده است. می توان این تجهیزات را به عنوان نقاط گلوگاهی شناسایی کرد.



نمودار ۶: مقایسه ضریب اثربخشی کلی تجهیزات با استاندارد جهانی



نمودار ۷: مقایسه عملکرد کلی تجهیزات با استاندارد جهانی

۸- نتیجه گیری

الف- نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل سؤال فرعی اول (قابلیت دسترسی تجهیزات در خطوط تولید نورد سرد تا چه اندازه بر اثر بخشی کلی تجهیزات در خطوط تولید تأثیر گذار 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 و تنظیم باعث کاهش این نرخ می گردند. با توجه به تجزیه و تحلیل 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 شویی ۱: در خط اسید شویی ۱ 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 و ابزار دقیق و عوامل مکانیکی و هیدرولیکی بالاترین نرخ را دارا است. (بیش از ۷۰ درصد)

۲- خط اسید شویی ۲: در خط اسید شویی ۲ عامل ضایعات ناگهانی حدود ۶۰ 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 ۶۰ درصد ضایعات ناگهانی را تشکیل 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.

۴- 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

تولید نورد سرد انجام گردید و مشخص 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 و تحلیل 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 برقرار است. 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 اندازه گیری 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

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.

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

۷- خط تمپر میل: در خط تمپر 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 فنی و افت تولید و مکانیکی و هیدرولیکی 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 و اثربخشی کلی تجهیزات در همه خطوط

۵- بهبود متمرکز تجهیزات و فرآیند: بهبود متمرکز تجهیزات و فرآیند، یکی از ارکان نگهداری و تعمیرات 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 و حجت انصاری، اول، تهران انتشارات رسا، ص 7، 1385

حاج شیر محمدی، علی، "برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات (مدیریت فنی در صنایع)"، چاپ چهارم، اصفهان، انتشارات غزل، 1376

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

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

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

فرهادیان، بابک، جوانبخت، مجتبی، "نگاهی به نظام TPM و جایگاه 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

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

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

۱- استفاده از متدولوژی DMAIC: استفاده از فرآیند شش سیگما، تحلیل های آماری، بررسی های در محل و استفاده از روش های طوفان ذهنی بر اساس متدولوژی DMAIC 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.

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

- 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 Inácio da Silva, Carlos Manuel Pereira Cabrita , Joaõ 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.oe.com* , p7, 2006