

۱. در یک واحد صنعتی، سه دستگاه با نرخ‌های خرابی متفاوت فعالیت می‌کنند. نرخ خرابی دستگاه اول ۰,۰۰۴، خرابی بر ساعت، دستگاه دوم ۰,۰۰۷ و دستگاه سوم ۰,۰۰۲ است. اگر کارخانه ۲۴ ساعت در روز فعال باشد، نرخ متوسط خرابی سیستم (λ) را محاسبه و تحلیل نمایید.
۲. با استفاده از مدل MTBF و MTTR، مفهوم قابلیت اطمینان (Reliability) و دسترسی (Availability) یک ماشین را توضیح دهید. برای ماشینی با $MTBF = 180$ ساعت و $MTTR = 6$ ساعت، مقادیر این دو شاخص را محاسبه و تفسیر نمایید.
۳. مدل نگهداری مبتنی بر شرایط (CBM) را شرح داده و مزایا و محدودیت‌های آن را نسبت به نگهداری پیشگیرانه (PM) و اصلاحی (CM) تحلیل نمایید.
۴. کارخانه‌ای برای افزایش بهره‌وری تولید، تصمیم دارد چیدمان واحد تولید خود را بازطراحی کند. با استفاده از مدل "چیدمان مبتنی بر سلول" (Cellular Layout)، مراحل و مزایای اجرای این نوع چیدمان را بررسی کنید.
۵. در یک سیستم نگهداری، هزینه کل برابر است با مجموع هزینه‌های تعمیر، توقف تولید و پیشگیری. اگر هزینه تعمیر ۵ میلیون ریال، توقف تولید ۲۰ میلیون ریال و پیشگیری ۸ میلیون ریال باشد، تحلیل اقتصادی نگهداری را با هدف بهینه‌سازی هزینه کل انجام دهید.
۶. شاخص OEE بهره‌وری کلی تجهیزات یکی از شاخص‌های مهم در TPM است. برای یک دستگاه تولیدی با دسترسی ۹۰٪، عملکرد ۸۵٪ و کیفیت ۹۵٪، مقدار OEE را محاسبه کرده و تفسیر نمایید.
۷. مدل RCM نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان چگونه در صنایع حساس مانند هوافضا یا پتروشیمی پیاده‌سازی می‌شود؟ اجزای اصلی این مدل و فرآیند اجرایی آن را تشریح کنید.
۸. با استفاده از روش دیاگرام علت و معلول (Ishikawa)، دلایل احتمالی افزایش خرابی مکرر یک دستگاه CNC را تحلیل کنید.

۹. در یک واحد تولیدی، زمان آماده‌سازی تجهیزات تولید (Set-up Time) بسیار بالاست. با استفاده از تکنیک (SMED تک‌دقیقه‌ای‌سازی تعویض قالب)، مراحل کاهش زمان آماده‌سازی را تشریح کرده و تأثیر آن را بر بهره‌وری توضیح دهید.

۱۰. سیستم‌های نگهداری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT) در کارخانه‌های نسل چهارم چگونه پیاده‌سازی می‌شوند؟ با ذکر یک مثال واقعی، مزایا و چالش‌های آن را بیان کنید.

1 میانگین نرخ خرابی کل (λ) در صورت استفاده همزمان از دستگاه‌ها:

$$\begin{aligned} 3\bar{\lambda} &= (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \div \\ &= (0.004 + 0.007 + 0.002) \div 3 \\ &= 0.013 \div 3 = \mathbf{0.00433} \text{ خرابی بر ساعت} \end{aligned}$$

در یک روز کاری (۲۴ ساعت)، انتظار داریم:

$$\text{تعداد خرابی} = 0.00433 \times 24 \approx 0.104 \text{ خرابی/روز}$$

این عدد نشان می‌دهد به طور میانگین در هر ۱۰ روز، یک خرابی در سیستم رخ می‌دهد که برای برنامه‌ریزی نگهداری بسیار حیاتی است.

2

دسترس‌پذیری (Availability) = $MTBF \div (MTBF + MTTR)$

$$= 180 \div (180 + 6) = 180 \div 186 \approx \mathbf{0.9677} \text{ یا } 96.77\%$$

قابلیت اطمینان (Reliability) برای زمان t:

$$R(t) = e^{(-\lambda t)}$$

$$\lambda = 1 \div MTBF = 1 \div 180 \approx 0.00556$$

اگر $t = 100$ ساعت:

$$R(100) = e^{(-0.00556 \times 100)} \approx e^{(-0.556)} \approx 0.573$$

یعنی احتمال بدون خرابی بودن دستگاه در ۱۰۰ ساعت آینده حدود ۵۷٪ است.

3

نگهداری مبتنی بر شرایط (CBM) مبتنی بر جمع‌آوری داده‌های لحظه‌ای از عملکرد تجهیزات با حسگرهای هوشمند است.

مزایا:

- جلوگیری از تعمیر بی‌مورد
- کاهش هزینه‌های اضافی
- پیش‌بینی دقیق خرابی

محدودیت‌ها:

- هزینه بالای نصب تجهیزات هوشمند
- نیاز به تحلیل گران داده
- نیازمند فرهنگ نگهداری پیشرفته

در مقابل، PM برنامه‌ریزی دوره‌ای دارد و CM فقط بعد از خرابی اجرا می‌شود.

4

چیدمان سلولی بر مبنای گروه‌بندی ماشین‌ها بر اساس خانواده قطعات است.

مراحل:

۱. شناسایی قطعات مشابه
۲. تشکیل سلول‌های کاری
۳. تعیین محل مناسب برای هر سلول
۴. حذف جریان‌های غیرضروری

مزایا:

- کاهش زمان حمل
 - کاهش توقف
 - افزایش تمرکز و بهره‌وری نیروی انسانی
- این چیدمان در صنایع مونتاژ بسیار مؤثر است.

5

کل هزینه = هزینه تعمیر + توقف تولید + پیشگیری

$$= ۵ + ۲۰ + ۸ = ۳۳ \text{ میلیون ریال}$$

هدف این است که هزینه پیشگیری افزایش یافته ولی هزینه تعمیر و توقف کاهش یابد.

مثلاً اگر هزینه پیشگیری به ۱۲ میلیون افزایش یابد و دو مورد دیگر به ۳ + ۱۰ کاهش یابد، کل هزینه = ۲۵ میلیون ریال خواهد بود.

این تحلیل نشان می‌دهد پیشگیری مؤثر، کل هزینه را کاهش می‌دهد.

6

$$OEE = Availability \times Performance \times Quality$$

$$= ۰,۹۰ \times ۰,۸۵ \times ۰,۹۵ = ۰,۷۲۶ \text{ یا } ۷۲,۶\%$$

این شاخص نشان می‌دهد ۴.۲۷٪ از ظرفیت تولید به دلایلی مثل توقف، سرعت پایین یا ضایعات از بین می‌رود OEE. مطلوب بالای ۸۵٪ است.

7

مدل RCM بر اساس ارزیابی عملکرد، حالات خرابی، اثرات و بحرانی بودن طراحی شده است.

اجزای اصلی:

- شناسایی عملکردهای حیاتی
 - تحلیل FMEA
 - انتخاب نوع نگهداری مناسب (PM)، CBM یا اصلاحی)
 - اجرای استراتژی بر اساس اولویت خطر
- در صنایع پتروشیمی، خرابی پمپ‌ها و ولوها با پیامد ایمنی زیاد، از طریق RCM مدیریت می‌شود.

8

دیاگرام علت و معلول برای خرابی: CNC

- انسانی: آموزش ناکافی، خستگی
 - ماشین: قطعات فرسوده، روغن کاری نامناسب
 - روش: نبود چک‌لیست
 - مواد: مواد اولیه باکیفیت پایین
 - محیط: دما و گردوغبار بالا
- با شناسایی این دلایل، می‌توان برنامه نگهداری هدفمند طراحی کرد.

9

مراحل: SMED

۱. تفکیک فعالیت‌های داخلی و خارجی
۲. تبدیل فعالیت‌های داخلی به خارجی
۳. ساده‌سازی فعالیت‌های باقی‌مانده
۴. اجرای مکانیزه‌سازی و ابزار سریع

کاهش Set-up از ۲ ساعت به ۱۵ دقیقه باعث افزایش ظرفیت، انعطاف تولید و کاهش ضایعات می‌شود.

10

در سیستم‌های نگهداری هوشمند، حسگرهای IoT روی ماشین‌آلات نصب شده و داده‌ها به صورت بلادرنگ به یک داشبورد ارسال می‌شود.

مثال: کارخانه خودروسازی BMW از IoT برای پایش دمای یاتاقان‌ها استفاده می‌کند.

مزایا:

- تشخیص زودهنگام خرابی
- کاهش توقف اضطراری
- چالش‌ها:
- امنیت داده
- نیاز به زیرساخت ارتباطی
- سرمایه‌گذاری اولیه بالا