هفتمین کنفرانس بین‌المللی
مهندسی قابلیت اطمینان و ایمنی

اصلاح کارکرد تسمه های الکتروفن مجتمع پتروشیمی خارک با استفاده از مهندسی قابلیت اطمینان

مرتضی مدبّر [۱]، روح اله گنجی آزاد [۲] و محمد علی صنیعی منفرد[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد نت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران، Morteza61763@gmail.com (واحد پایش وضعیت ماشین‌آلات حساس، اداره تعمیرات، مجتمع پتروشیمی خارک، جزیره خارک)

۲- کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران ، ruliganjiazad@gmail.com (واحد مدیریت انرژی، اداره خدمات فنی، مجتمع پتروشیمی خارک، جزیره خارک)

۳- عضو هیات علمی و دانشیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه الزهرا، تهران، ایران mas_monfared@alzahra.ac.ir

چکیده

خرابی های مربوط به تسمه های سه گانه ۴۶ الکتروفن در صنعت پتروشیمی خارک با استفاده از پایش وضعیت بررسی و اقدامات اصلاحی متناسب پیشنهاد گردید. اقدامات اصلاحی شامل اصلاح در طرح اولیه نحوه گریسکاری، اصلاح در وضعیت هم محوری و هم ترازی پولی ها و همچنین تنظیم میزان کشش تسمه می گردد. کارکرد و طول عمر ۱۳۸ عدد تسمه در طی ۱۲ سال به کمک نظریه قابلیت اطمینان بررسی و منحنی طول عمر و قابلیت اطمینان تسمه ها پیش از اجرای اصلاحات و پس از آن استخراج گردید. در این مقاله، فرآیند بکارگیری نظریه قابلیت اطمینان در بررسی و اصلاح تسمه های الکتروفن با جزییات لازم گزارش می گردد.

واژه‌های کلیدی: پایش وضعیت، تابع قابلیت اطمینان، تابع توزیع طول عمر، پتروشیمی خارک

مقدمه

امروزه قابلیت اطمینان به عنوان یک مفهوم کلیدی در استمرار و پایداری تولید، ذهن بسیاری از مدیران کارخانجات صنعتی را به خود مشغول کرده است. قابلیت اطمینان را می توان از چهار منظر طراحی، ساخت و تولید، بهره برداری و نگهداری و تعمیرات مورد بررسی و اندازه گیری قرار داد و آنرا بهبود بخشید. هر مهندس با توجه به اینکه در کدام جزء از این مناطق واقع شده است می تواند به نوبه خود نقش مهمی در افزایش قابلیت اطمینان، عمر مفید و قابلیت دسترسی یک سیستم ایفا کند و در نهایت موجب کاهش هزینه گردد.

با توجه به شکاف موجود در معانی کیفی و کمی قابلیت اطمینان در صنعت ایران، مهم به نظر می رسد که بتوان با استفاده از داده های واقعی موجود در صنعت و محاسبه عددی قابلیت اطمینان، این مفهوم را به عنوان یک اصل اساسی و مورد نیاز صنعت کشور معرفی کرد و این نقطه کور را تا حدودی روشن گردانید. با بررسی های انجام شده، خوشبختانه یا متاسفانه مورد مشابهی از این نمونه تحقیق با دیتاهای واقعی در صنایع پتروشیمی ایران یافت نشد تا بتوان از آنها به عنوان الگو استفاده کرد و نقاط قوت و ضعف آنها را سرلوحه کار و تحقیق قرار داد. امید به اینکه این تحقیق مسیر جدیدی در دیدگاه مهندسین صنعت ایران باز و آغاز گر یک نگاه متفاوت جهت بهبود شرایط صنعتی باشد.

شرح مسئله مورد بررسی

در واحد پتروشیمی خارک ۴۶ عدد فن خنک کن با شماره Tag no:AE-5002 فعال می باشد که متانول تولیدی با ظرفیت $174000\ m^3$ از فاز گازی با دمای ۶۶ درجه سلسیوس به متانول دوفازی با دمای ۶۵ درجه تبدیل می کند و بعد از عبور از مبدل۵۰۰۷ و تبدیل به مایع ۴۰ درجه جهت ذخیره سازی در مخازن هدایت می شود.

هر فن که نمونه آن را در شکل ۱ نشان داده ایم با سه عدد تسمه توسط الکتروموتور به حر کت درمی آید و در واقع ۱۳۸ عدد تسمه در این مجموعه نصب می باشد.

مشخصات ماشین مورد مطالعه:
توان الکتروموتور:30 KW
دور الکتروموتور: 978rpm
دور فن: 244.5 rpm
قطر پولی الکتروموتور: 300mm
قطر پولی فن: 1200 mm
نوع تسمه: C195
طول تسمه: 4953 mm

شکل ۱. یکی از نمونه فن ها و الکتروموتور های مورد مطالعه

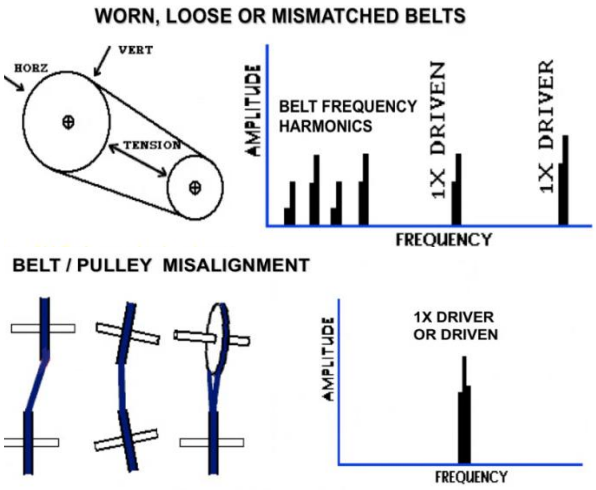
تعداد خرابی تسمه ها در طول ۱۲ سال متمادی یعنی از سال ۱۳۸۹ تا سال ۱۴۰۰ مورد بررسی قرار گرفت چنانچه در جدول ۱ مشاهده می‌گردد. قابل توجه اینکه تعداد خرابی ها در سال ۱۳۸۸ هم ۴۵ عدد می باشد که جزییات آن در دسترس نبود.

ما این ۱۲ سال کاری را به سه دوره چهار ساله تقسیم کردیم که دوره پیشا اصلاح، دوره اصلاح و دوره پسا اصلاح ما باشند، همانطوری که در جدول ۱ مشاهده می نمایید. سال ۱۳۹۳ شروع دوره دوم، به عنوان آغاز پایش و اصلاح روش های تعمیراتی می باشد.

اقدامات انجام شده:

۱- پایش و اندازه گیری ارتعاشات
۲- تنظیم هم راستایی و هم ترازی پولی ها
۳- تنظیم میزان کشش تسمه
۴- اصلاح روش گریسکاری (تغییر در طراحی)

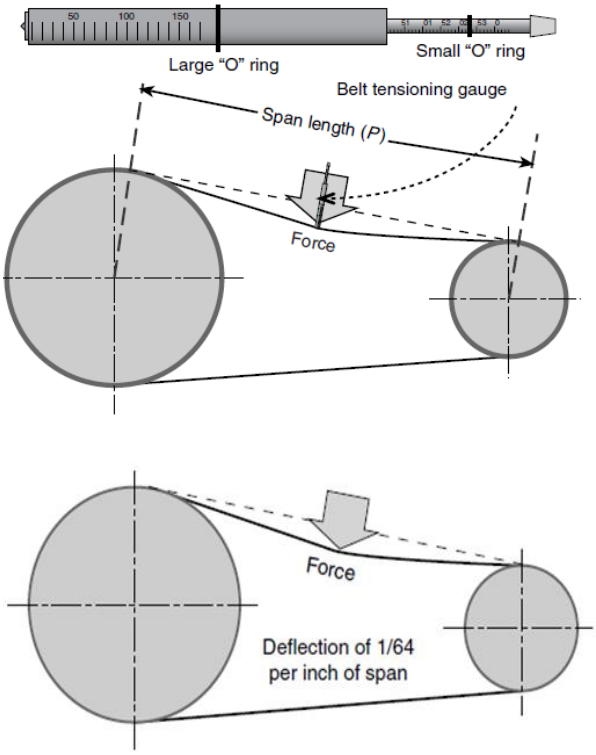
اندازه گیری کلی ارتعاش روی پایه های فن و الکتروموتور در کل مجموعه انجام گردید و با توجه به آنالیز و بررسی صورت گرفته در کل مجموعه نیاز به اصلاح وضعیت Alignment شامل تنظیم هم راستایی و هم ترازی پولی ها و همچنین اصلاح میزان کشش تسمه دیده شد. همچنین با توجه به دسترسی سخت نقاط گریسکاری، با انجام تیوب کشی مناسب و ایجاد دسترس پذیری، گریس کافی و مناسب به box bearing تزریق و روانکاری مورد قبول انجام گردید. بعد از انجام اصلاحات قید شده ارتعاش کلی در مجموعه از محدوده 1.5-7.4 mm/s به 1.1-4.5 mm/s کاهش پیدا کرد.



شکل ۲. بروز برخی مشکلات تسمه در طیف فرکانسی

شکل های ۲ الی ۵ توضیحات تصویری مناسب از الکتروفن و تسمه های مربوطه، موقعیت نصب سنسور ارتعاش سنج و چگونگی اصلاحات بعمل آمده در نحوه گریسکاری را نشان می دهد.

شکل ۳. نمایش محل اندازه گیری ارتعاش



شکل ۴. نمایش نحوه تنظیم میزان کشش تسمه

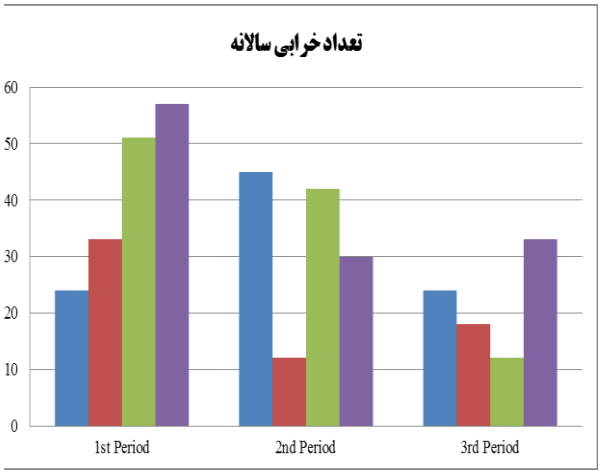
شکل ۵. اصلاح دسترس پذیری منجر به بهبود گریسکاری گردید

در ادامه، در جداول ۲ الی ۴ و اشکال ۶ الی ۱۳ کلیه نتایج مقایسه ای بدست آمده را گزارش کرده ایم بطوری که با مشاهده این نتایج تاثیر شگرف اقدامات و اصلاحات انجام شده در کاهش میزان خرابی و افزایش طول عمر تسمه ها قابل ارزیابی می گردد.

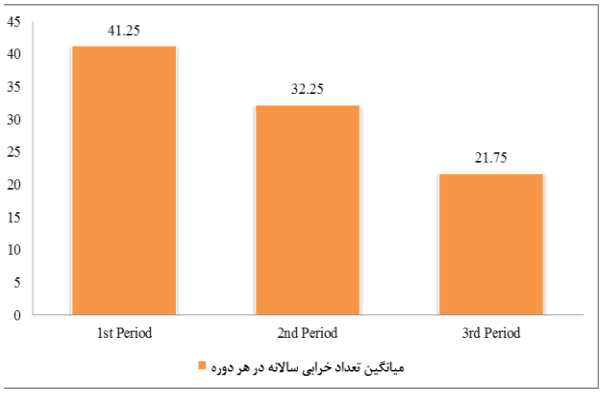
همانطور که مشاهده می شود نرخ خرابی در دوره سوم نسبت به دوره اول کاهش قابل توجهی را نشان می دهد و این یعنی طول عمر تسمه افزایش قابل توجهی را بدست آورده است.

جدول ۱. تعداد خرابی های سالانه تسمه در طول سه دوره پیشا اصلاح، در حین اصلاح و پسا اصلاح

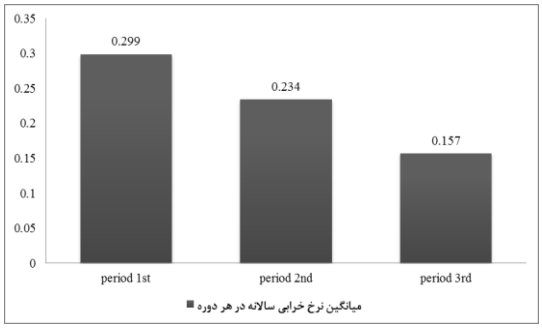
1st Period		2nd Period		3rd Period	
سال	تعداد خرابی	سال	تعداد خرابی	سال	تعداد خرابی
۱۳۸۹	۲۴	۱۳۹۳	۴۵	۱۳۹۷	۲۴
۱۳۹۰	۳۳	۱۳۹۴	۱۲	۱۳۹۸	۱۸
۱۳۹۱	۵۱	۱۳۹۵	۴۲	۱۳۹۹	۱۲
۱۳۹۲	۵۷	۱۳۹۶	۳۰	۱۴۰۰	۳۳



شکل ۶. مقایسه تعداد خرابی های سالانه در سه دوره



شکل ۷. میانگین تعداد خرابی های سالانه در سه دوره



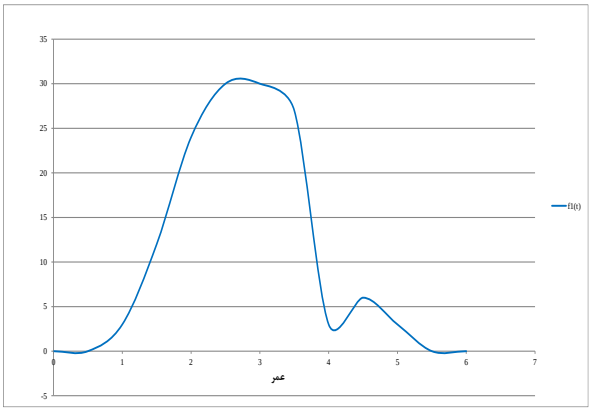
شکل ۸. میانگین نرخ خرابی ها در سه دوره

بررسی و توضیح نتایج

با در نظر گرفتن عمر کارکرد هر تسمه از یک مجموعه ۱۳۸ عددی که در شرایط واقعی قبل و بعد از ایجاد اصلاحات نصب شده اند، سعی کرده ایم تا تعداد خرابی بر حسب زمان و در نتیجه تابع احتمال خرابی را در طول مدت یک دوره عمر کارکرد مجموعه بدست آوریم.

جدول ۲. فراوانی از کار افتادگی ها در دوره پیشا اصلاح

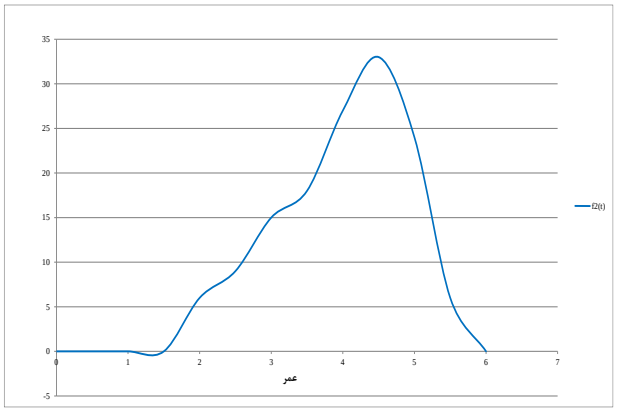
طول عمر کارکرد	فراوانی از کار افتادگی
0.5	0
1	3
1.5	12
2	24
2.5	30
3	30
3.5	27
4	3
4.5	6
5	3
5.5	0
6	0



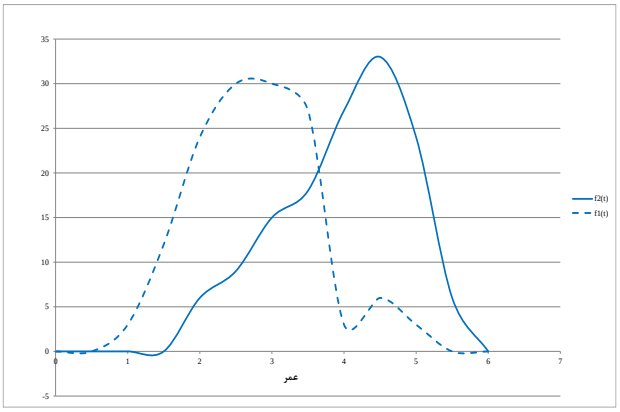
شکل ۹. تابع توزیع طول عمر در دوره پیشا اصلاح

جدول ۳. فراوانی از کار افتادگی ها در دوره پسا اصلاح

طول عمر کارکرد	فراوانی از کار افتادگی
0.5	0
1	0
1.5	0
2	6
2.5	9
3	15
3.5	18
4	27
4.5	33
5	24
5.5	6
6	0
6.5	0
7	0



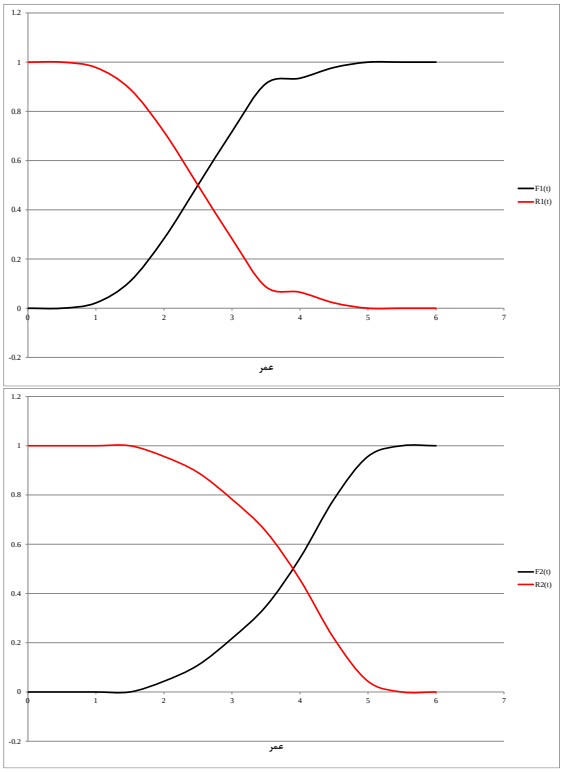
شکل ۱۰. تابع توزیع طول عمر در دوره پسا اصلاح



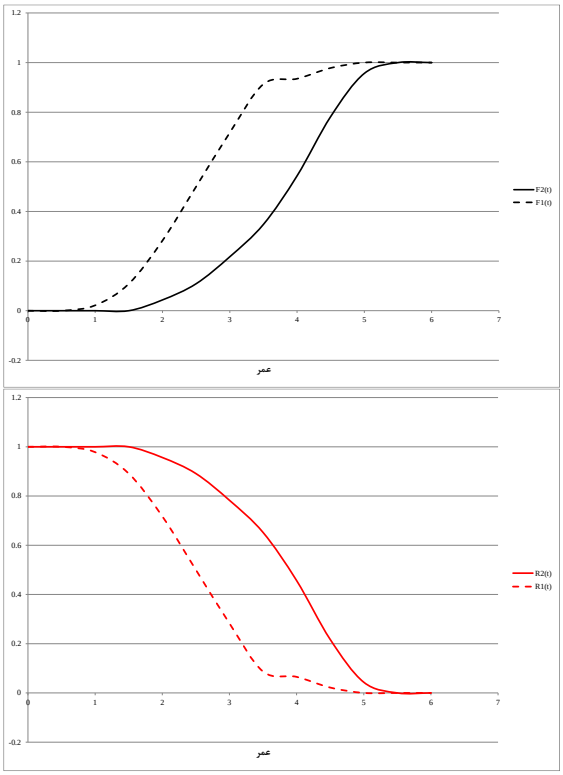
شکل ۱۱. تابع توزیع طول عمر در دو دوره پیشا اصلاح و پسا اصلاح

جدول ۳. توابع طول عمر و قابلیت اطمینان در دو دوره پیشا اصلاح و پسا اصلاح

دوره پیشا اصلاح					
عمر (به سال) (t)	تابع توزیع فراوانی طول عمر f(t)	تابع تجمعی طول عمر F(t)	تابع قابلیت اطمینان R(t)	واریانس (انحراف از معیار)	میانگین طول عمر
0.5	0	0	1	0.714 (0.845)	$MTTF = \sum t.f(t) = [1*3+1.5*12+\cdots+5*3]/138 = 2.522$
1	3	0.021	0.978		
1.5	12	0.108	0.891		
2	24	0.282	0.717		
2.5	30	0.5	0.5		
3	30	0.717	0.282		
3.5	27	0.913	0.086		
4	3	0.934	0.065		
4.5	6	0.978	0.021		
5	3	1	0		
5.5	0	1	0		
6	0	1	0		
دوره پسا اصلاح					
عمر (به سال) (t)	تابع توزیع فراوانی طول عمر f(t)	تابع تجمعی طول عمر F(t)	تابع قابلیت اطمینان R(t)	واریانس (انحراف از معیار)	میانگین طول عمر
0.5	0	0	1	0.793 (0.891)	$MTTF = \sum t.f(t) = [2*6+2.5*9+\cdots.5.5*6]/138 = 3.750$
1	0	0	1		
1.5	0	0	1		
2	6	0.043	0.956		
2.5	9	0.108	0.891		
3	15	0.217	0.782		
3.5	18	0.347	0.652		
4	27	0.543	0.456		
4.5	33	0.782	0.217		
5	24	0.956	0.043		
5.5	6	1	0		
6	0	1	0		



شکل ۱۲. تابع توزیع تجمعی طول عمر و تابع قابلیت اطمینان در دوره پیشا اصلاح (بالا) و پسا اصلاح (پایین)



شکل ۱۳. تابع تجمعی طول عمر (بالا) و تابع قابلیت اطمینان (پایین) در دو دوره پیش اصلاح و پسا اصلاح

برای محاسبه میانگین طول عمر می توانیم سطح زیر نمودار تابع قابلیت اطمینان یا R(t)، را محاسبه کنیم (شکل ۱۳ پایین را نگاه کنید) که همان امید ریاضی یا MTTF می باشد. در واقع داریم:

$$MTTF = \int R(t).dt = \sum t.f(t)$$

با این حساب، میانگین طول عمر تسمه ها پیشا اصلاح و پسا اصلاح برابر است با:

$MTTF_1$= 2.522 year = 22092 hr
$MTTF_2$=3.750 year = 32850 hr

حالا با فرض ثابت گرفتن نرخ خرابی می توانیم بنویسیم $MTTF = \frac{1}{\lambda}$ و بدنبال آن داریم:

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

در نتیجه:

λ_1= 0.0000452653, $R_1(t) = e^{-0.000045265t}$
λ_2 = 0.0000304414, $R_2(t) = e^{-0.000030441t}$

همانطور که مشخص است افزایش قابلیت اطمینان حاصل شده ناشی از افزایش میانگین طول عمر تسمه ها یا همان MTTF است. هم چنین، زمان رخداد اولین خرابی یا همان FTTF هم چنانچه در شکل ۱۱ بخوبی دیده می شود بهبود پیدا کرده است که هر دو علامت های خوبی از بهبود فرآیند هستند اما متاسفانه واریانس تابع طول عمر برخلاف انتظار افزایش یافته است

از آنجا که کیفیت تسمه ها برای کل مجموعه پتروشیمی یکسان است، افزایش واریانس احتمالا بخاطر وجود یک عامل خرابی شناسایی نشده در بعضی از مکانیزم های مجموعه است که بررسی علت آن نیازمند مطالعات بیشتر است.

نتیجه‌گیری نهایی

انجام پایش وضعیت و بهبود شرایط طراحی و تعمیراتی می تواند نقش بسیار مهمی در توزیع عمر و قابلیت اطمینان تجهیز ایفا کند و هزینه های موجود را به طرز ملموسی کاهش دهد. ضمن این که با ثبت داده های تعمیرات و داده های مربوط به تعویض قطعات در طول زمان می توان به نتایج قابل ملاحظه ای جهت شناسایی شدت عیوب و نرخ خرابی و در نهایت بهبود وضعیت سیستم دست یافت. رسم نمودارهای توزیع عمر و قابلیت اطمینان تجهیزات کمک شایانی به برآورد و پیش بینی هزینه های مرتبط با آنها در طی زمان می کند. ما در این مقاله، یک تجربه محقق شده در پتروشیمی خارک را گزارش کردیم.

مراجع

[۱] جزوات درسی قابلیت اطمینان (دکتر محمد علی صنیعی منفرد)
[2] David J. Smith, *Reliability, Maintainability and Risk, fifth edition*.
[3] Bernd Bertsche, *Reliability in automotive and mechanical engineering*.
[4] John Piotrowski, *Shaft alignment handbook, third edition*.
[5] Bruel & Kjaer Vibro company`s training manual
[۶] آرشیو اسناد فنی و سوابق نگهداری و تعمیرات مجتمع پتروشیمی خارک