تأثير تعميرات و نگهداري پيشبينانه بر توليد و هزينه‌ها

كلمات كليدی:
تعميرات و نگهداری، كاهش مصرف انرژی الكتريكی، تعميرات و نگهداری پيشبينانه

تهيه‌كننده :
احمدرضا عسگری

مقدمه

از جمله راهكارهاي كاهش مصرف انرژی الكتريكی، اجراي صحيح برنامه تعميرات و نگهداري الكتروموتورها هست. در اين راستا به كارخانه‌هايي كه تعداد الكتروموتورهاي آن‌ها زياد هست پيشنهاد مي‌گردد كه نسبت به تدوين شناسنامه براي هر موتور به ويژه موتورهاي بزرگ اقدام شود تا بتوان با ثبت اطلاعات و اجرای درست برنامه تعميرات و نگهداری، عملكرد و بازدهي آن‌ها را تحت كنترل قرار داد. در اين صورت مي‌توان ميزان تلفات موتورها و در نتيجه هزينه مازاد جهت اتلاف انرژي را به حداقل رساند. در اينجا چند روش از فعاليت‌های نگهداری و تعميرات معرفی‌شده و به طور خاص نگهداری و تعميرات بر پايه پايش وضعيت توضيح داده می‌شود. در اين راستا تأثير نگهداري و تعميرات پيشبينانه بر توليد و هزينه‌ها بر اساس مطالعه‌ای كه توسط سازمان انرژي آمريكا (DOE) طي سال‌هاي 2000 و 2001 انجام گرفته، توضيح داده می‌شود. همچنين به بررسی انجام شده بر روی الكتروموتورها در يک كارخانه نمونه پرداخته شده و صرفه‌جويی‌های هزينه‌ای حاصل از آن برآورد می‌گردد.

به‌طور كلي فعاليت‌های نگهداري و تعميرات ماشين‌آلات از طريق يكي از روش‌های ذيل صورت می‌گيرد.

1-1-1. ادامه كار تا خرابي ماشين (Run To Failure):

مفهوم مديريت كاركردن تا حد خرابي، ساده و صريح است. در اين روش، تا زماني كه ماشين خراب نشود، هيچ هزينه اي صرف نمي‌شود. در حقيقت، روشي است كه منتظر مي‌ماند تا يک خرابي در دستگاه ايجاد شود و سپس به تعمير آن بپردازد و عملاً مي‌توان گفت كه مديريت تعمير و نگهداري در آن رعايت نمی‌شود. اين روش گرانترين روش مديريت تعمير و نگهداري است. به طور كلي در اين روش:

- ✓ داشتن اطلاع قبلي از نقص پيش از خرابي تقريباً غيرممكن است.
- ✓ وجود يک نقيصه در يک قطعه از ماشين می‌تواند باعث تسريع در خرابي، توسعه و تسريع خسارات به ساير قطعات گردد.

- ✓ تهيه و تدارک قطعات يدکي مورد نياز و گردآوري افراد متخصص مربوطه، به منظور انجام انواع تعميرات پيش بيني نشده، بسيار مشکل و يا غيرممکن به نظر مي‌رسد.

در مواردي که ماشين آلات خارج از محيط‌هاي بسته کارگاهي و دور از مرکز تعمير، فعاليت دارند (پروژه های عمراني، حمل و نقل و غيره) در صورت بروز خرابي و نياز به تعميرات اساسي، انجام عمليات تعميراتي دچار مشکلات عديده ايي خواهد شد که طولانی‌تر شدن خواب دستگاه و افزايش هزينه های تعميرات از آن جمله است.

1-1-2. نگهداري و تعميرات پيشگيری‌کننده (Preventive Maintenance):

تعميرات پيشگيرانه در مقايسه با روش قبل از يک کار ايي بالاتري برخوردار است و معمولاً از طرف سازندگان ماشين آلات صنعتي به عنوان روشی روتين پيشنهاد می‌گردد. پيشگيري تعميرات سامانه ای است که در دوره های زماني معين با جايگزين و يا تعويض، قطعات ماشين را آماده به کار نگه دارد. در اين سيستم ايجاب می‌نمايد که پس از دوره های زماني معين بعضي از قطعات تعويض گردد. اساس آن بر اين اصل استوار است که هر قطعه عمر مشخصي دارد که بر اساس يک عدد متوسط بيان می‌شود. بعضي از قطعات عمر بيشتر و بعضي عمر کمتري دارند. عمر قطعات توسط سازندگان تخمين زده می‌شود. سازندگان قطعات يدکي بسيار علاقه‌مند به اين روش می‌باشند، زيرا باعث رونق کار آن‌ها شده و قطعات بيشتر از آنچه واقعاً لازم است مصرف و تعويض می‌گردند. عليرغم اينکه تعميرات پيشگيرانه برخي از معايب روش قبلي را در خود ندارد، در عين حال داراي معايبي به شرح زير است.

- ✓ باز و بسته کردن قطعات به خودي خود، می‌تواند باعث آسيب و فرسودگي گردد.
- ✓ عدم دقت کافي در مراحل باز و بست قطعات، منجر به آسيب و بروز عيوب بعدي می‌گردد.
- ✓ تعميرات، زماني می‌تواند منجر به تعويض قطعات فني شود که ممکن است هنوز بخش قابل توجهي از عمر مفيد آن باقي مانده باشد.
- ✓ چون اطلاعات دقيق دربارة وضعيت قطعات مختلف در دسترس نيست، مشکلات و عيوب ممکن است هنوز در سيستم باقي مانده و در بين دو فاصله زماني تعميرات (دوره اي) بروز نمايد.
- ✓ در اين روش عمدتاً بار تحميل شده به ماشين، تاثيرات مواد شيميايي يا تشعشعي، تاثير درجه حرارت، عدم کاربرد صحيح و تغيير در توليد در نظر گرفته نمی‌شود.

1-1-3. نگهداري و تعميرات بر پايه پايش وضعيت (PdM)

منظور از روش نگهداري و تعميرات به روش پايش وضعيت عبارت است از

بدست آوردن علائم و نشانه هايي از وضعيت ماشين آلات در حال كار تا دستگاه بتواند در يک شرايط ايمني و اقتصادي ادامه كار دهد يا مورد تعمير واقع شود. مزاياي عمده اين روش عبارت است از:

- ✓ از خرابی های عکس العملی متوالي جلوگيري مي‌كند.
- ✓ از خرابي فاجعه‌بار كه معمولاً مستلزم توقف درازمدت و تعمير نابهنگام تجهيزات است جلوگيري مي‌كند.
- ✓ برنامه ريزی توقف‌های، قابليت در اختيار بودن تجهيزات كارخانه را براي توليد افزايش مي‌دهد.
- ✓ يک مبناي اولويت‌بندی شده ای را براي تعمير و نگهداري تجهيزاتی كه نيازبه تعمير و نگهداري دارند فراهم مي‌كند.
- ✓ هزينه هاي اجرايي تعمير و نگهداري ماشين آلات را كاهش مي‌دهد.
- ✓ كيفيت محصول، ايمني كارخانه و كنترل محيط كار را بهبود مي‌بخشد.
- ✓ هزينه توليد محصول را كاهش و سود سرمايه‌گذاری را افزايش مي‌دهد.

در اين قسمت به بحث در مورد وضعيت اقتصادي، بازدهي و قابليت اطمينان موتور با استفاده از تركيبي از تحليل مدار موتور و آزمون لرزش پرداخته شده است. سپس تاثير نگهداري بر توليد و هزينه ها مورد بررسي قرار گرفته است. اين گزارش بر اساس مطالعه سازمان انرژي آمريكا (DOE)[1] كه باعث دگرگوني بازار طي سال هاي 2000 و 2001شد، انجام گرفته است. در اين گزارش موضوعات اصلي مورد بحث، تعميرات، عدم تعادل فاز، تعميرات شافت روتور، تميزكاري و مباحث مربوط به ياتاقان ها است.

موتورهاي الكتريكي چرخ هاي محرك صنعت هستند به طوريكه عمده مصرف انرژی در صنعت را شامل مي‌شوند. آمار زياد موتورهای الكتريكي در آمريكا باعث پرداختن DOE به بحث حاضر شده است. موتورهاي الكتريكي تا زماني كه به علت خرابي موجب توقف خط توليد شوند، كمتر مورد توجه قرار مي‌گيرند.

دانستن اين مطلب مهم است كه قبل از خرابي هاي فاجعه آميز، تجهيزات به مرور زمان خراب مي‌گردند، تلفات آن ها افزايش و قابليت اطمينان آن ها كاهش مي‌يابد. علي‌رغم اينكه بعضي خرابي ها لحظه اي هستند، اما اكثر خرابي هاي فاجعه آميز كه در توليد موثر است نتيجه‌ي اشتباه در پياده سازي برنامه‌ي تعميرات و نگهداري است. اين اشتباه اصولاً به اين دليل است كه بعضی از مديران به اين مطلب اعتقاد ندارند كه **تعمير و نگهداري در تجارت يك سرمايه‌گذاري محسوب مي‌شود نه يك هزينه.**

در DOE نشان داده شده كه پياده سازي صحيح برنامه‌ي نگهداري منجر به **كاهش 10-14 درصدي** در مصرف انرژي مي‌گردد. همچنين زمان توقف برنامه ريزی نشده خط توليد را كاهش مي‌دهد.

[1] Department of Energy

در پروژه اي مذكور در DOE در مورد انرژي و قابليت اطمينان، گروهي از موتورهاي 5 تا 200 اسب بخار در صنايع مختلف مورد بررسي قرار گرفتند. برخی از صنايع مذكور داراي برنامه نگهداري و تعمير و بعضی ديگر فاقد اين برنامه بودند. در موتورهايي كه در اين پروژه به صورت تصادفي مورد بررسي قرار گرفتند، 80 درصد داراي حداقل يك نقص بودند كه 60 درصد آن ها (يعني 48 درصد كل موتورها) نياز به اعمال هزينه جهت تعويض داشتند. در واحدهايي كه برنامه‌ي نگهداري و تعمير در آن ها اجرا نمي‌شد، بيشترين موتور معيوب و در واحدهايي كه برنامه تعمير و نگهداري در آن ها اجرا مي‌شد كمترين موتور معيوب يافت شد. 8 درصد از موتورها توسط آزمون لرزش و تحليل مدار موتور (MCA)[2] عيب‌يابی شدند. برخي از اين موتورها مشكلات مكانيكي و الكتريكي را هم‌زمان داشتند. نتايج حاصل از اين تحقيق درجدول1-1 آورده شده است.

جدول1-1. درصد خطايابي موتورهاي الكتريكي تحقيق‌شده به‌وسيله آزمونه‌های مختلف

نوع آزمون	درصد خطا
آزمون لرزش	45 درصد موتورها
تحليل مدار موتور MCA	70 درصد موتورها
آزمون مقاومت عايقي	5 درصد موتورها

در ادامه، توضيحاتی در مورد آزمون لرزش و آناليز مدار موتور آورده شده است.

- **آزمون لرزش**

آزمون و آناليز ويبره موتور، براي تعمير و نگهداري به صورت حرفه‌اي انجام مي‌شود و برخي از خطاهاي مكانيكي و الكتريكي در تجهيزات گردان را آشكار مي‌كند. خطاهاي روي ياتاقان‌ها، عدم روغن‌كاري، سفتي تسمه، غير هم‌محوری يا هر نامتعادلي باعث افزايش تلفات انرژي مي‌شود و اين تلفات خود را به صورت لرزش، نويز و گرما نشان مي‌دهند. انجام آزمونه‌های منظم و زمان‌بندي شده علاوه بر كاهش اين تلفات، موجب افزايش قابليت اطمينان موتورهاي الكتريكي در روند توليد مي‌شوند.

[2] Motor Circuit Analyzer

✓ **آنالیز مداري موتور**

با معرفي الكترونيک مدرن، روشها براي اندازهگيري ويژگيهاي ماشينهاي دوار در حالت ساكن پيشرفت كرد. تعداد زيادي از آناليزورهای مدار موتور (MCA) از سال 1985 به بازار جهاني معرفي شد كه روشهای زيادي براي بررسي ويژگيهاي پايهاي اجزاي مختلف ماشينهاي دوار را در اختيار قرار دادند. در اين گزارش ابزار ALL-TEST IV PRO (ساخت كشور آمريكا) براي اندازهگيريها انتخاب شده كه قادر به اندازهگيري مقاومت، امپدانس، اندوكتانس تا سطح 1 ميلی اهم است. همچنين ميتوان از آن در يک آزمون مخصوص كه پاسخ جريان را در فركانسهاي مختلف اندازهگيري ميكند استفاده كرد. در شكل1-1 نمايي از اين دستگاه آورده شده است.

شكل1-1. نمايي از دستگاه ALL TEST IV PRO

شايان ذكر است كه اين دستگاه در عيبيابي، نگهداري و تعمير پيشگيرانه ماشينهاي القايي، ماشينهاي DC، ژنراتورها و ترانسفورماتورها با موفقيت به كار رفته است.

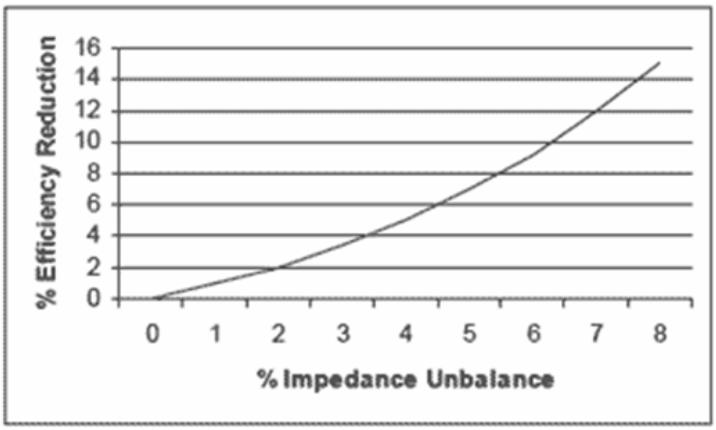
مفهوم MCA ايستا به منظور اندازهگيري ويژگيهاي مدار الكترومغناطيسي موتور، براي مشخص كردن وضعيت موتور به عنوان يک مدار الكتريكي است. در گذشته، آزمون ساده مقاومت و آزمون ضربه تنها راه دقيق براي اندازهگيري پارامترهاي موتور بودهاند. آزمون ساده مقاومت اطلاعات بسيار كمي ميداد و آزمون ضربه يک ولتاژ مخرب را اعمال ميكرد.

تحليل مداري موتور به كارشناس كمک ميكند كه خطاهاي سيمپيچي و قطعات روتور در يک موتور الكتريكي را آشكار سازد. يكي از قابليتهاي اين آزمون اين است كه ميتواند بدون بار

انجام شود.

خطاي اتصال كوتاه، خطاي زمين و غير تعادلي فاز كه همه باعث افزايش چشمگير در تلفات RI^2 مي‌شود توسط آناليز مدار موتور آشكار مي‌شود.

نامتعادلي در جريان باعث مي‌شود كه موتورها در حرارت بالاتري كاركرده و توانايي موتورها براي توليد گشتاور كمتر خواهد شد. يك قانون عمومي اين است كه به ازاي هر 10 درجه افزايش دما در حال عملكرد، طول عمر موتور را نصف مي‌كند. شكل1-2 كاهش بازده را در صورت وجود نامتعادلي امپدانس نشان مي‌دهد.



شكل2-1.نمودار كاهش بازده ناشي از نامتعادلي امپدانس مختلف

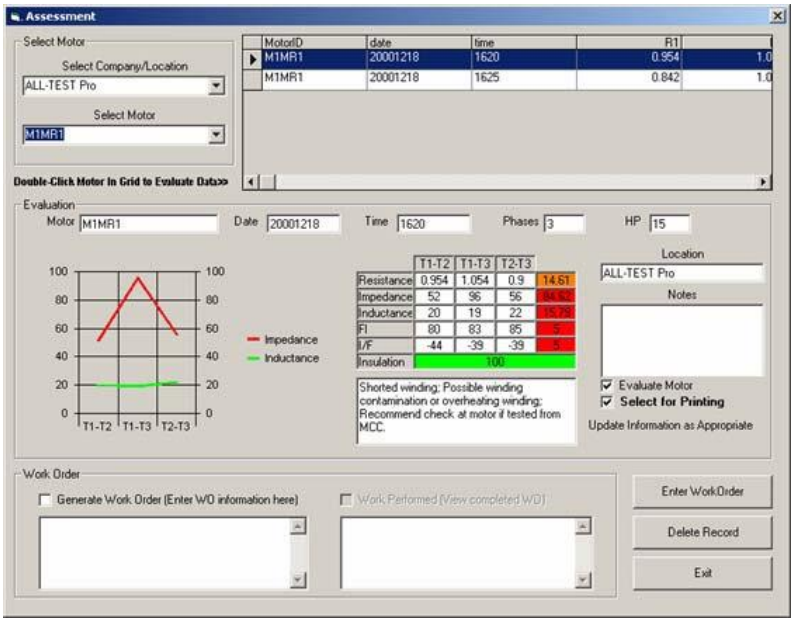
به عنوان مثال براي يك موتور كه بازده آن در شرايط نرمال 95 درصد مي‌باشد، وجود 4 درصد نامتعادلي در امپدانس موتور، 4 درصد كاهش بازده را در پي خواهد داشت.

نامتعادلي امپدانس علاوه بر تاثيراتي كه در بالا اشاره شد، باعث افزايش دماي موتور (به علت افزايش تلفات مسي) مي‌شود. در شكل1-3 رابطه بين نامتعادلي و افزايش دما در موتور آورده شده است.

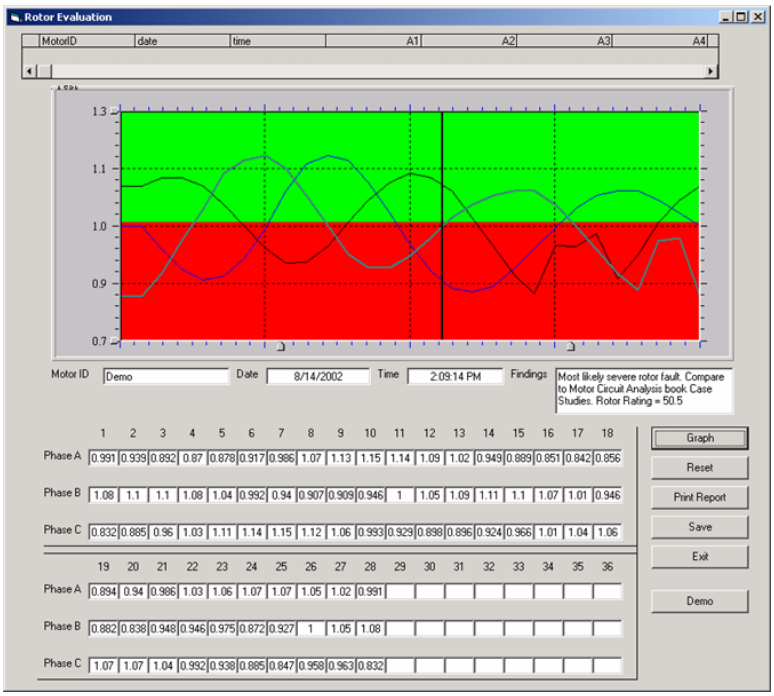
شكل3-1.نمودار افزايش دماي موتور با وجود نامتعدلي امپدانس مختلف

به عنوان مثال براي يك موتور با نامتعادلي 3/5 درصد، دماي موتور 30 درجه سانتيگراد افزايش خواهد يافت و اين افزايش موجب كاهش عمر عايقي موتور به ميزان 13 درصد ميشود.

نتايج بدست آمده از دستگاه های آناليز مداری موتور را ميتوان بهوسيله نرم افزار EMCAT تحليل نمود. نرم افزار مذكور با توجه به مقادير امپدانس، مقاومت، زاويه فاز و ... نوع خطاي بوجود آمده را مشخص ميكند. در شكل4-1 و شكل5-1 نمايي از نرم افزار EMCAT آورده شده است.



شكل4-1. نمايي از نرم افزارEMCAT براي تحليل اطلاعات موتور

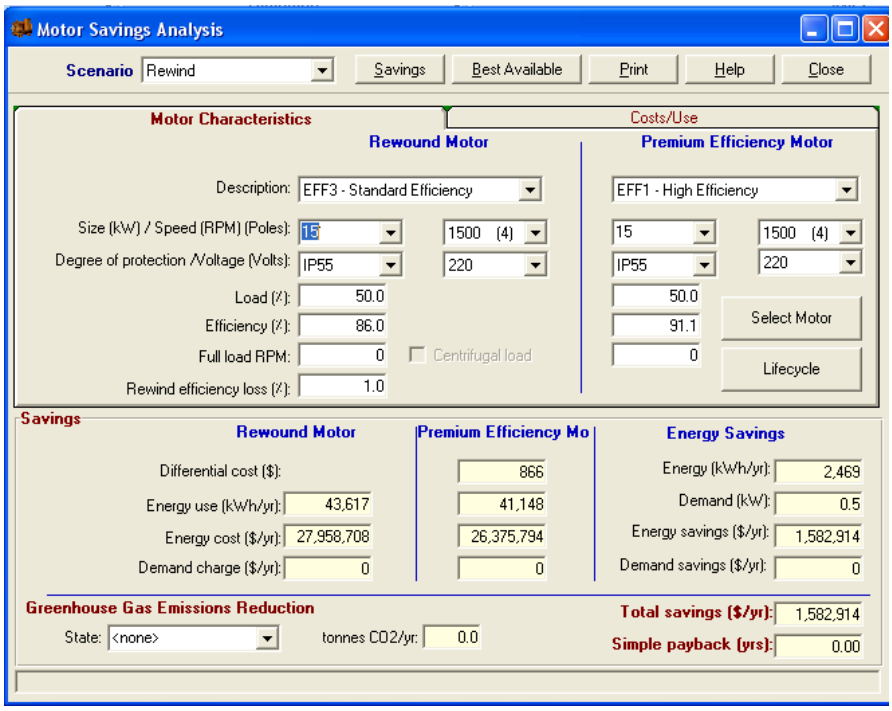


شكل5-1. نمايي از نرم افزارEMCAT براي تحليل پارامترهاي موتور

در ادامه، به بررسی مبحث پیشگیری در تعمیرات و نگهداری در یک کارخانه نمونه پرداخته شده و محاسبات هزینه‌ای و صرفه‌جویی‌های ناشی از آن برآورد شده است.

- **بررسی راهکار پیشگیری در تعمیر و نگهداری در یک کارخانه نمونه**

برای نشان دادن صرفه‌جویی حاصل از پیاده‌سازی برنامه تعمیر و نگهداری راه‌های بسیاری وجود دارد. در این مبحث، بر روش‌هایی که توسط IAC[3] ارائه شده تمرکز شده است. در این روش از نرم افزارهایی مانند Motor Master+ در محاسبات استفاده شده است. در شکل6-1 نمایی از نرم افزار مذکور آورده شده است.



شکل6-1. نمایی از نرم افزار Motor Master

بررسی تجهیزات بدون برنامه تعمیر و نگهداری در دو پروژه انجام گرفته در آمریکا، نشان داد که سیم‌پیچی مجدد موتورها به طور متوسط 85 درصد تعمیرات را شامل می‌شود. بعد از اعمال برنامه این عدد به 20 درصد کاهش پیدا کرده است.

حال به نتایج حاصل از بررسی 306 موتور موجود در یک کارخانه نمونه پرداخته خواهد شد. لازم به ذکر است که درصدهای استفاده شده در این بررسی، بر اساس تحقیقاتی است که در دو پروژه ذکر شده در آمریکا انجام پذیرفته است.

[3] Industrial Assessment Center (of DOE)

در جدول2-1 تعداد موتورهاي موجود در كارخانه مذكور و هزينه سيم‌پيچي مجدد و تعميرات آن‌ها آورده شده است. شايان ذكر است ليست موتورهاي آورده در اين جدول باتوجه به اطلاعات اخذ شده از كارخانه تهيه گرديده است.

جدول2-1. ليست موتورهاي موجود در يک كارخانه نمونه و هزينه سيم‌پيچي مجدد و تعميرات آن‌ها

آيتم	توان موتور (KW)	تعداد موتورها	هزينه‌ي سيم‌پيچي مجدد به ازاى هر موتور (ميليون ﷼)	هزينه تعميرات جزيى يا تعويض قطعات فرسوده به ازاى هر موتور (ميليون ﷼)
1	1.1	13	1.9	1.2
2	1.5	11	2.5	1.3
3	2.2	15	2.8	1.4
4	3	2	2.9	1.6
5	3.7	8	3	1.7
6	4	5	3.2	1.8
7	5.5	5	3.4	1.9
8	7.5	58	3.5	2
9	9.2	5	4.1	2.1
10	11	32	4.2	2.2
11	15	32	5.3	2.4
12	18.5	9	6.5	2.5
13	22	14	8.2	2.7
14	23.5	23	8.7	2.8
15	30	9	9.8	2.9
16	37	6	11.8	3.4
17	45	10	12.79	4.2
18	55	3	14.9	4.5
19	75	11	18.7	4.9
20	90	2	22.1	5.4
21	110	2	26.6	6.3
22	132	2	29.8	6.9
23	150	1	31.1	7.2
24	160	1	34.4	7.9

آیتم	توان موتور (KW)	تعداد موتورها	هزینه‌ي سیم‌پیچي مجدد به ازای هر موتور (میلیون ﷼)	هزینه تعمیرات جزیی یا تعویض قطعات فرسوده به ازای هر موتور (میلیون ﷼)
25	175	2	37.6	8.7
26	200	5	41.6	9.2
27	225	1	45.0	9.5
28	250	3	51.6	9.9
29	295	1	53.0	10.3
30	375	1	71.5	12.9
31	380	1	72	13
32	590	1	94	20.6
33	630	1	107	22.0
34	700	2	119	24.5
35	1100	1	220	38.5
36	2300	4	450	80.5
37	2500	4	489	88.5
جمع	10,732	306	——	——

✓ در مرحله اول، متوسط هزینه‌ي سیم‌پیچي مجدد موتورها محاسبه مي‌شود. در این مورد، موتورهاي با توان بالاتر از 1/1 کیلووات در نظر گرفته شده اند.

Avg. of Rewinding Cost = Σ (Ni×RWCi)/N

= $((13_{1.1}\times1.9) + (11_{2.2}\times2.5) + \ldots.. + (4_{2500}\times489))/ 306$

= 22.6 Million Rials

Ni: تعداد موتور با توان نامي مشخص

RWCi: هزینه سیم پیچي مجدد هر موتور

N: تعداد کل موتورها

✓ در مرحله دوم، متوسط هزینه تعمیرات و تعویض قطعات فرسوده (نوکاري) به روش مشابه محاسبه مي‌گردد.

Avg. of Reconditioning Cost = $((13_{1.1}\times1.2) + (11_{2.2}\times1.5) + \ldots.. + (4_{2500}\times88.5))/ 306$

= 5. 4 Million Rials

✓ در مرحله سوم، هزینه متوسط تعمیرات بعد و قبل از پیاده‌سازي برنامه تعمیر و نگهداري محاسبه شده است. با توجه به تحقیقات گسترده و آمار ارائه شده توسط DOE ، در این گزارش فرض می‌شود که قبل از انجام برنامه پیشگیرانه از کل موتورهایي که خرابي عمده پیدا کرده اند 70% نیاز به

سيم‌پيچي دوباره و 30% نياز به تعميرات جزيي‌تر يا تعويض قطعه دارند.

(R_{avg}) 1 = %Recondition * Avg. of Reconditions Cost + %Rewind * Avg. of Rewinds Cost

= (70%× 22.6 Million Rials) + (30%×5. 4 Million Rials)

= 17.4 Million Rials

- ✓ در مرحله چهارم، هزينه متوسط تعميرات بعد از انجام برنامه تعمير و نگهداري برآورد مي‌شود. بعد از برنامه پيشگيرانه تعميرات،30% موتورها نياز به سيم‌پيچي دوباره و 70% نياز به تعميرات جزيي‌تر يا تعويض قطعه دارند. (با توجه به تحقيقات DOE).

(R_{avg}) 2 = %Recondition * Avg. of Reconditions Cost + %Rewind * Avg. of Rewinds Cost

= (30%×22.6 Million Rials) + (70%×5. 4 Million Rials)

= 10.6 Million Rials

- ✓ در مرحله‌ي پنجم، ميزان تفاوت هزينه ميان حالتي كه برنامه‌ي تعمير و نگهداري اجرا نمي‌گردد و حالتي كه اين برنامه اجرا مي‌گردد، به طور متوسط براى يک موتور محاسبه مي‌شود.

Rcost/motor = (Ravg) 1 - (Ravg) 2

= (17.4 Million Rials /motor) - (10.6 Million Rials /motor)

= 6.8 Million Rials/motor

در اين تحقيق فرض مي‌شود كه 5 درصد از كل موتورها (حدود 15 عدد در كارخانه نمونه) در سال معيوب كامل خواهد شد. بنابراين:

Rcost = (15 motors/year) × (6.8 Million Rials/motor)

= 102 Million Rials

لذا با اجراي برنامه تعميرات پيشگيرانه ميزان تفاوت هزينه تعميرات با سيم پيچي مجدد 102 ميليون ﷼ محاسبه شده است.

- ✓ در مرحله ششم، توان بالقوه‌ي ذخيره انرژي محاسبه مي‌گردد. در يك تخمين در بدترين حالت فرض مي‌شود كه پياده‌سازي برنامه تعميرات و نگهداري، موجب بهبود بازده به ميزان 2 درصد شود، كه اين بهبود بازده به علت عوامل زير هست:

1- روغن‌كاري (آزمون لرزش)

2- تنظيم و تعادل مناسب(آزمون لرزش)

3- تصحیح مدار نامتعادل (آنالیز مداري موتور)
4- کاهش دماي موتور (آنالیز مداري موتور)
5- حذف کاهش بازده به علت سیم‌پیچي مجدد (DOE میزان 1 درصد کاهش دربازدهي به ازاي هر سیم‌پیچي راتخمین زده)

در کارخانه نمونه فرض شده است که در شرایط بهره برداری عادی، از کل موتورهای در حال بررسی (با توان کل 31676 کیلووات)، 50 درصد در حال کار باشند. همچنین درصد بارگذاری متوسط موتورها 75 درصد و ساعات کارکرد سالیانه 8000 ساعت (330 روز) در نظر گرفته شده است.

Energy Saving = Total Power (KW) × 0.5 × Load Factor × Operation Hours × %saving × Electrical Energy cost (Rials /KWH)

= 31,676 KW × 0.5 × 75% ×8000 hrs × 2% × 641 Rials/KWH

= 1218.3 Million Rials/year

Total Motors (KW): کل توان نامي موتورهاي مورد بررسي

لذا مبلغ صرفه‌جویي ناشي از بهبود بازده در حدود 1218.3 میلیون ﷼ براي هر سال برآورد شده است.

- ✓ درمرحله هفتم، هزینه‌ي نیروي انساني براي پیاده سازي برنامه تعمیرات و نگهداري محاسبه شده است. در این قسمت فرض شده است، که جهت تعمیر و نگهداري هر موتور، ماهیانه یك نفر ساعت نیاز باشد. هزینه یك نفر ساعت کارگر متخصص حدود 200 هزار ﷼ در نظر گرفته شده است.

Labor Cost= 1 Hr/Month/Motor * Number of Motors * 12Months/Yr × Million Rials /Man-Hr

= 1 Hr/Month/Motor * 306 Motors * 12 Months/Yr × 0.2 Million Rials/Man-Hr

= 734.4 Million Rials/Yr

بنابراین در این کارخانه نمونه، هزینه نیروي انساني براي پیاده سازي برنامه تعمیرات و نگهداري حدوداً 734 میلیون ﷼ برآورد شده است.

- ✓ در مرحله هشتم بایستی هزینه خرید تجهیزات آزمون لرزش و ALL-TEST IV PRO 2000 که جهت برنامه تعمیرات و نگهداری مورد نیاز است، در نظر گرفته شود. مطابق استعلام قیمت گرفته شده از شرکت های معتبر، هزینه خرید تجهیزات مذکور در حدود 500 میلیون ﷼ می‌باشد.
- ✓ درمرحله نهم هزینه‌ي آموزش براي پیاده سازي برنامه فوق الذکر

محاسبه شده است. این هزینه شامل دو بخش هست که یکی هزینه آموزش تجهیزات عیبیابی و دیگری هزینه آموزش تعمیرات است. کل هزینه آموزش در این پروژه 20 میلیون ﷼ در نظر گرفته شده است.

- ✓ در مرحله دهم به محاسبه بازگشت سرمایه پروژه مذکور پرداخته شده است. فرض می‌شود در سال اول با پیاده سازی سیستم تعمیرات، تعداد توقف‌های ناشی از خرابی الکتروموتورها در خط تولید نصف شود. لذا می‌توان هزینه صرفه‌جویی ناشی از آن را محاسبه نمود. خلاصه نتایج در جدول1-3 آمده است.

جدول3-1. برآورد اقتصادی جهت انجام پروژه تعمیر و نگهداری با دستگاه ALL-TEST-PRO

هزینه های انجام تعمیرات پیشگیرانه	مبلغ (میلیون ﷼)	مبلغ صرفه‌جویی شده	مبلغ (میلیون ﷼)
هزینه کارگر	734	کاهش در هزینه تعمیرات و سیم‌پیچی دوباره	102
هزینه تجهیزات	500	بهبود بازده	1218
هزینه آموزش	20	ــــــــــــ	ــــ
کل هزینه مصرفی	**1254**	**کل صرفه‌جویی مالی سالیانه**	**1320**

زمان بازگشت سرمایه به صورت زیر محاسبه خواهد شد:

Payback = Total Costs Per Year / Total Savings per Year

= 1254 / 1320 = 0.95 years

همانگونه که محاسبات نشان می دهد، زمان بازگشت سرمایه در صورت اجرای برنامه تعمیرات و نگهداری، حدود یکسال برآورد می‌شود. البته باید دقت داشت که راهکار مذکور، از میزان توقفات خط تولید ناشی از خرابی موتورها نیز می کاهد که در محاسبات فوق لحاظ نشده و می تواند زمان بازگشت سرمایه را از عدد بدست آمده کمتر نماید.

منبع :

US Department of Energy, www.DOE.com