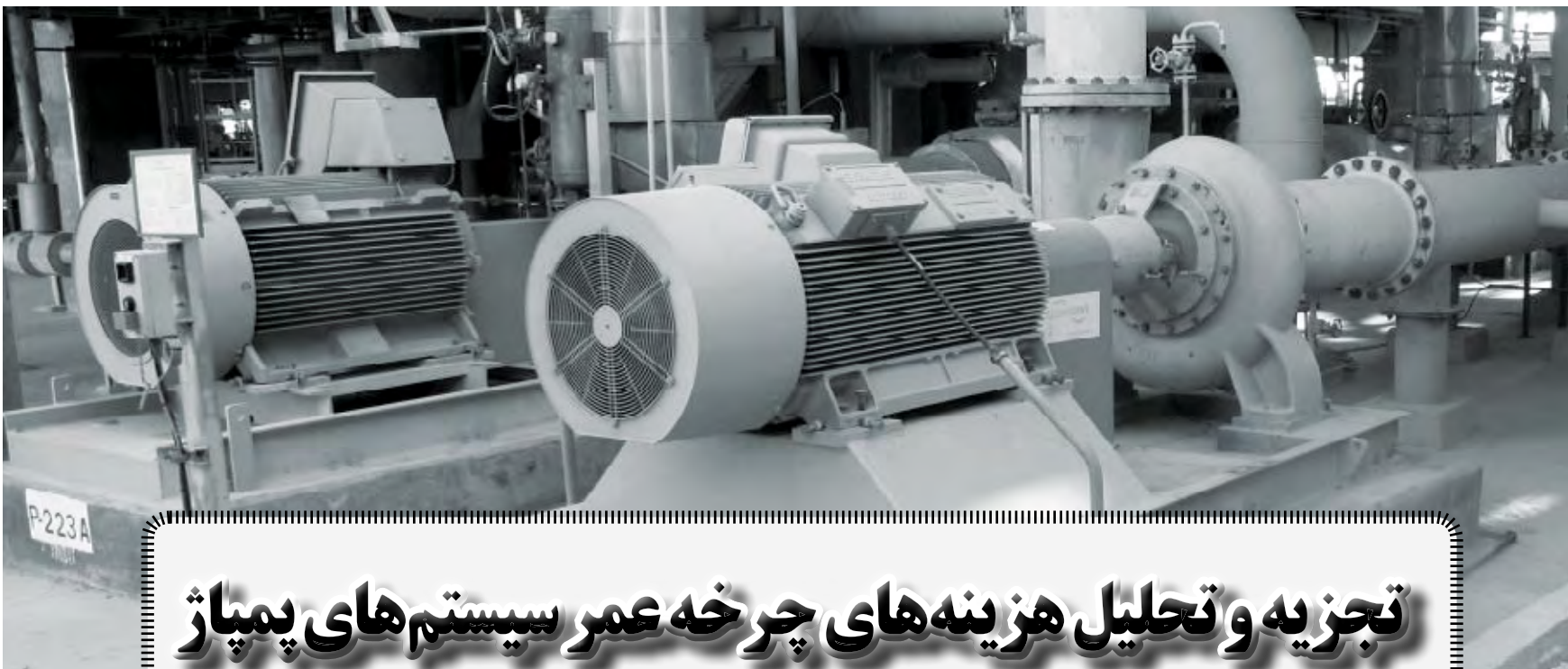




تجزیه و تحلیل هزینه‌های چرخه عمر سیستم‌های پمپاژ

A Guide to Life Cycle Costs (LCC) Analysis for Pumping Systems

Pishgaman Davar Machine Caspian Co.

موبایل: ۰۹۱۲۲۴۴۵۷۹۷



اکبر شفقی

(DBA , Mechanical Engineer)

کلمات کلیدی

چرخه عمر، سیستم‌های پمپاژ،

Life Cycle Costs, Pumping, System

چکیده

سیستم‌های Pumping تقریباً ۲۰٪ تقاضای انرژی الکتریکی جهان را به خود اختصاص داده و تقریباً ۲۵ درصد انرژی مصرفی در عملیات کارخانه‌های صنعتی صرف سیستم‌های پمپاژ می‌شود. سیستم‌های Pumping بطور گسترده‌ای استفاده می‌شوند. انرژی و موادی که در یک سیستم پمپاژ مورد استفاده قرار می‌گیرند به طراحی پمپ، طراحی سیستم، طراحی نصب و چگونگی بهره‌برداری از آنها بستگی دارد. آنالیز هزینه چرخه عمر تجهیزات اصلی یک ابزار مدیریتی است که می‌تواند به شرکت‌ها در به حداقل رساندن ضایعات و به حداکثر رساندن بهره‌وری از انرژی برای بسیاری از سیستم‌ها، از جمله سیستم‌های پمپاژ، کمک کرده و موثر واقع شود.

مقدمه:

آنالیز هزینه چرخه عمر برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ در یک گزارش با عنوان "هزینه چرخه عمر در خرید تجهیزات" در صنایع نظامی مطرح شد. براساس بررسی‌های به‌عمل آمده، کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه برای تجهیزات اصلی در حدود حداکثر ۲۰٪ از هزینه‌های چرخه عمر آنها را تشکیل می‌دهد و ۸۰٪ هزینه‌های چرخه عمر مربوط به هزینه‌های دوران مالکیت دستگاه‌ها می‌باشد. پس مدیریت دوران بهره‌برداری و نگهداری تجهیزات با توجه به صرف هزینه‌های بالا از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و اتخاذ استراتژی‌های متناسب با تجهیزات برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از تجهیزات و کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات آنها امری ضروری است. مدیریت دارایی‌های فیزیکی برای سازمان‌های بزرگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و تعیین عمر مفید دستگاه‌ها در اتخاذ تصمیم‌های آنها موثر می‌باشد. مدیریت تجهیزات به لحاظ تعیین زمان مناسب برای جایگزینی آنها منافع سازمان‌ها را تامین می‌کند. چنانچه سیستم‌های پمپاژ پیش از موعد تعویض شوند هزینه‌های سربار به سازمان تحمیل می‌شود و تعویض دیر هنگام آنها نیز هزینه‌های نگهداری و تعمیر بالایی را به سازمان‌ها تحمیل می‌کند.

شرح مقاله:

- هزینه چرخه عمر چیست؟

هزینه چرخه عمر هر قطعه از تجهیزات، هزینه کل در طول عمر دستگاه برای خرید، نصب، اجرا، نگهداری، و جایگزینی این تجهیزات است. تعیین هزینه چرخه عمر شامل پیروی از یک روش برای شناسایی و تعیین کمیت کل مولفه‌های معادله هزینه چرخه عمر است. آنالیز هزینه چرخه عمر زمانی که به عنوان یک ابزار مقایسه بین گزینه‌های طراحی اولیه و جایگزین‌های آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد، اغلب راه حل‌های موثری در کاهش هزینه‌ها در محدوده داده‌های موجود نشان خواهد داد.

- چرا سازمان‌ها می‌بایست در ارتباط با هزینه چرخه عمر تجهیزات سرمایه‌ای حساسیت داشته باشند؟

بسیاری از سازمان‌ها تنها خرید اولیه و هزینه نصب یک سیستم را در نظر می‌گیرند. ولی برای مدیران بسیاری از واحدهای صنعتی دیگر ارزیابی هزینه چرخه عمر پیش از اقدام به نوسازی و تعمیرات اساسی به عنوان یک راه حل برای ارتقاء قابلیت اطمینان واحد، از اهمیت بنیادی برخوردار است. نتایج این ارزیابی بهترین گزینه مالی را برای مدیران مربوطه مشخص می‌نماید. صرفه‌جویی پیوسته در هزینه‌ها، باعث اصلاح و افزایش سوددهی واحدهای عملیاتی و محصولات آنها خواهد شد که برای حفظ رقابت‌پذیری یک سازمان در بازار رقابتی بین‌المللی امروز کاملاً ضروری است.

- انجام محاسبات تحلیلی هزینه چرخه عمر برای یک سیستم پمپاژ

در اعمال فرآیند ارزیابی هزینه چرخه عمر، یا در انتخاب پمپ و تجهیزات دیگر، بهترین اطلاعات مربوط به خروجی و عملکرد واحد بهره‌برداری باید تهیه شود. فرآیند ارزیابی به لحاظ ریاضی مطمئن است، اما اگر اطلاعات نادرست یا بی‌دقتی مورد استفاده قرار گیرد، به یک ارزیابی نادرست یا بدون دقت منجر خواهد شد. فرآیند هزینه چرخه عمر یک راه برای پیش‌بینی سودمندترین راه حل است؛ اما این یک نتیجه خاص را تضمین نمی‌کند، بلکه به طراح و یا مدیر اجازه می‌دهد که یک مقایسه منطقی بین راه حل‌های جایگزین در محدوده داده‌های موجود انجام دهد.

اجزای معادله محاسبه هزینه‌های چرخه عمر دستگاه‌ها در شکل زیر مشخص شده است:

$$LCC = C_{ic} + C_{im} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$

LCC = life cycle cost

C_{ic} = initial costs, purchase price (pump, system, pipe, auxiliary services)

C_{im} = installation and commissioning cost (including training)

C_e = energy costs (predicted cost for system operation, including pump driver, controls, and any auxiliary services)

C_o = operation costs (labor cost of normal system supervision)

C_m = maintenance and repair costs (routine and predicted repairs)

C_s = down time costs (loss of production)

C_{env} = environmental costs (contamination from pumped liquid and auxiliary equipment)

C_d = decommissioning/disposal costs (including restoration of the local environment and disposal of auxiliary services).



C_{ic} - Initial Investment Costs

هر چه سایز قطر لوله و اتصالات آن کوچکتر انتخاب شود هزینه‌های تامین و نصب به همان نسبت کاهش یافته و مناسبتر خواهند بود. با این حال، نصب قطر کوچکتر نیازمند یک پمپ قوی‌تر است که منجر به هزینه‌های اولیه و عملیاتی بالاتری می‌شود. علاوه بر این، اندازه لوله کوچکتر در قسمت ورودی یک پمپ، مکش مثبت خالص قابل دستیابی (NPSHA) را کاهش می‌دهد. به این ترتیب یک پمپ بزرگ‌تر و با دور پایین‌تر مورد نیاز خواهد بود که این پمپ‌ها معمولاً قیمت‌های بالاتری خواهند داشت.

C_{in} - Installation and Commissioning (Start-up) Costs

هزینه‌های نصب و راه‌اندازی شامل طراحی فونداسیون‌ها، آرماتوربندی و بتن‌ریزی، نصب و تنظیم دستگاه بر روی فونداسیون و گروتینگ، برقراری ارتباط با لوله‌های فرآیندی، برقراری سیم کشی‌های برقی و ابزار دقیق، برقراری تامین سیستم‌های جانبی و آب، برق، بخار و نیتروژن، برقراری سیستم‌های فلاشینگ و گردش آب و ارزیابی عملکردی در ابتدای راه‌اندازی می‌باشد.

C_e - Energy Costs

مصرف انرژی از پارامترهای اصلی هزینه بر در یک سیستم پمپاژ می‌باشد و مخصوصاً چنانچه یک سیستم پمپاژ بیش از ۲۰۰۰ ساعت در سال در سرویس قرار گیرد، این پارامتر، محاسبات هزینه‌های چرخه عمر سیستم را تحت‌الشعاع خود قرار می‌دهد. در نهایت، هزینه‌های مصرف انرژی و مواد مورد نیاز سیستم‌های کمکی جانبی نیز باید در محاسبات نظر گرفته شود. این هزینه‌ها ممکن است ناشی از مدارهای خنک‌کننده و یا مدارهای گرمایشی، از خطوط فلاش مایع، یا تجهیزات گاز یا مایع مانع (Barrier) باشد. برای مثال محاسبه هزینه‌های استفاده از یک سیستم خنک‌کننده با آب، شامل هزینه‌های تامین آب، در سرویس قراردادن پمپ آب، فیلترینگ، سیستم گردش سیال و انتقال حرارت می‌باشد.

C_o - Operation Costs

هزینه‌های بهره‌برداری، هزینه‌های نیروی کار مربوط به عملیات سیستم پمپاژ است. این موارد به طور گسترده‌ای بسته به میزان پیچیدگی و نقش تعیین شده برای سیستم متفاوت می‌باشند. برای مثال، یک پمپ با شرایط عملیاتی خطرناک ممکن است نیاز به چک روزانه برای اطمینان از عدم پخش مواد خطرناک، حفظ قابلیت اطمینان عملیاتی، و کنترل عملکرد در بازه پارامترهای قابل قبول داشته باشد. از طرف دیگر، یک سیستم کاملاً خودکار اتوماتیک با ریسک خطر پایین ممکن است نیاز به نظارت بسیار محدود داشته باشد.

C_m - Maintenance and Repair Costs

استفاده بهینه از پمپ نیاز به سرویس منظم و کارآمد دارد. سازنده سیستم پمپاژ توصیه‌های لازم به کاربر در مورد فواصل زمانی و نحوه تعمیر و نگهداری روزمره دستگاه‌ها را انجام می‌دهد. میزان هزینه‌های نگهداری و تعمیر بستگی به مدت زمان بهره‌برداری، فاصله زمانی تعمیرات و هزینه قطعات مصرفی دارد. هزینه کلی انجام تعمیرات روزمره در چرخه عمر پمپ از حاصل‌ضرب هزینه‌های تعمیرات روزمره در تعداد دفعات انجام آن در طول مدت چرخه عمر پمپ بدست می‌آید. اگر چه خرابی‌های غیر منتظره بصورت دقیقی قابل پیش‌بینی نیستند اما با استفاده از محاسبات مربوط به مدت زمان متوسط بین خرابی‌ها (MTBF)، می‌توان بطور منطقی زمان بروز آنها را نیز گمانه زنی کرد. MTBF می‌تواند برای اجزاء سیستم محاسبه شده و از ترکیب آنها برای اجزای مختلف، می‌توان MTBF را برای تجهیز نیز نتیجه‌گیری کرد.

C_s - Downtime and Loss of Production Costs

هزینه توقف‌های پیش‌بینی نشده و توقف تولید در چرخه عمر سیستم بسیار زیاد می‌باشد و به تنهایی با هزینه‌های انرژی مصرفی و تعویض قطعات رقابت می‌کند. با وجود تمهیداتی که در طراحی به عنوان هدف برای طول عمر کاری اجزا و در نهایت خود پمپ مدنظر قرار داده می‌شود، مواقعی وجود خواهد داشت که یک خرابی غیرمنتظره رخ می‌دهد. در چنین مواقعی با توجه به اینکه هزینه‌های توقف تولید بسیار بالا می‌باشد یک پمپ نیز به عنوان پمپ یدکی آماده به کار بطور موازی با پمپ اصلی به منظور کاهش ریسک‌های موجود نصب می‌شود که خود هزینه‌بر است.

C_{env} - Environmental Costs, Including Disposal of Parts and Contamination from Pumped Liquid

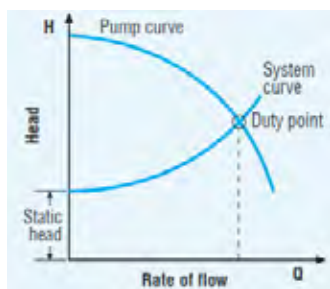
هزینه دفع آلودگی در طول عمر سیستم پمپاژ به میزان قابل توجهی بستگی به ماهیت سیال پمپ دارد. گزینه‌های خاصی می‌توانند به طور قابل توجهی میزان آلودگی را کاهش دهند، اما معمولاً اجرای این گزینه‌ها با افزایش هزینه سرمایه‌گذاری اولیه همراه خواهد بود. نمونه‌هایی از آلودگی محیط‌زیست می‌تواند شامل: آب خنک‌کننده و نشستی محفظه آب‌بندی پکینگ‌ها؛ محصولات پمپ شده خطرناک به مشعل‌ها، آلودگی ناشی از روغن‌های مصرفی؛ و استفاده از قطعات مصرفی آلوده، مانند نشت بندها باشد. هزینه‌های مربوط به بازرسی محیطی نیز باید در نظر گرفته شود.

C_d - Decommissioning/Disposal Costs, Including Restoration of the Local Environment

در اکثر موارد، هزینه اسقاط یک سیستم پمپاژ با طراحی‌های مختلف متغیر خواهد بود و ملاحظات زیست‌محیطی در این خصوص بسیار تاثیرگذار می‌باشند. در ارتباط با مواد سمی، رادیو اکتیو، یا دیگر مایعات خطرناک، به طور قانونی الزامات حفاظتی می‌بایست اعمال شوند که تا حد زیادی برای همه طراحی‌های انجام گرفته در سیستم نیز بطور یکسان خواهد بود. زمانی که اسقاط سیستم بسیار هزینه‌بر است، محاسبه هزینه چرخه عمر نسبت به عمر مفید تجهیزات بسیار حساس‌تر می‌شود.

- طراحی سیستم پمپاژ

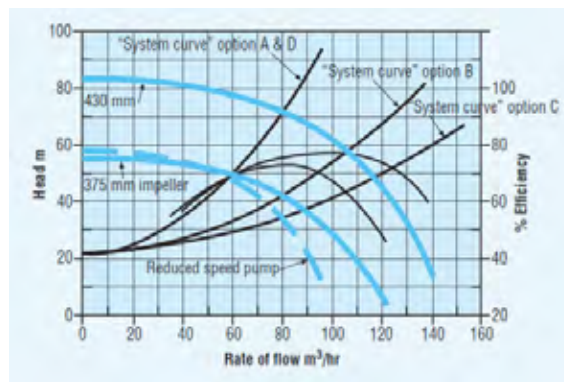
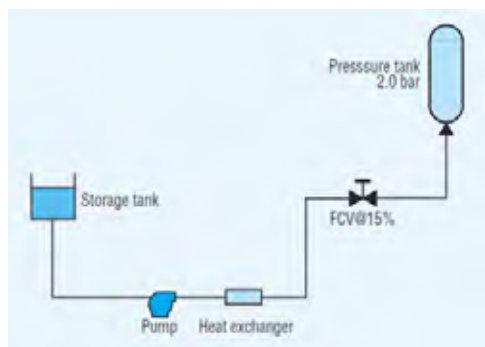
طراحی درست سیستم پمپاژ مهم‌ترین عنصر در به حداقل رساندن هزینه چرخه عمر آن است. تمام سیستم‌های پمپاژ از یک پمپ، یک گرداننده، لوله کشی‌ها و کنترل‌های عملیاتی تشکیل شده‌اند. در یک طراحی مناسب، تعامل بین پمپ و بقیه سیستم و محاسبه نقطه بهترین عملکرد در نظر گرفته می‌شوند. مشخصات سیستم لوله‌کشی باید محاسبه و تعیین شوند تا به واسطه آن امکان محاسبه بازدهی پمپ نیز فراهم گردد. با کاهش قطر لوله‌کشی هزینه‌های تدارکاتی لوله‌کشی و هزینه‌های نصب کاهش خواهد یافت، هزینه‌های خرید و نصب پمپ بالا خواهد رفت، زیرا به واسطه کاهش قطر سیستم لوله‌کشی، پمپ قوی‌تر و موتور قوی‌تر به همان نسبت می‌بایست خریداری گردند. همان‌گونه که در شکل زیر نشان داده شده است، نقطه کارکرد پمپ از محل تلاقی منحنی سیستم با منحنی پمپ بدست می‌آید. در چک لیست زیر اقداماتی که می‌توانند در کاهش هزینه‌های چرخه عمر سیستم پمپاژ موثر باشند ارائه شده است.



- ❑ Consider all relevant costs to determine the Life Cycle Cost
- ❑ Procure pumps and systems using LCC considerations
- ❑ Optimize total cost by considering operational costs and procurement costs
- ❑ Consider the duration of the individual pump duty points
- ❑ Match the equipment to the system needs for maximum benefit
- ❑ Match the pump type to the intended duty
- ❑ Don't oversize the pump
- ❑ Match the driver type to the intended duty
- ❑ Specify motors to be high efficiency
- ❑ Match the power transmission equipment to the intended duty
- ❑ Evaluate system effectiveness
- ❑ Monitor and sustain the pump and system to maximize benefit
- ❑ Consider the energy wasted using control valves
- ❑ Utilize auxiliary services wisely
- ❑ Optimize preventative maintenance
- ❑ Maintain the internal pump clearances
- ❑ Follow available guidelines regarding the rewinding of motors
- ❑ Analyze existing pump systems for improvement opportunities
- ❑ Use the showcases in the Guide as a source for ideas

- مثال: یک سیستم پمپاژ با مشکل کنترل ولو

در این مثال تحلیل چرخه عمر سیستم پمپاژ با کنترل ولو موجود در سیستم مرتبط گردیده است. در این سیستم یک پمپ به تنهایی مدار انتقال سیال فرآیندی را که حاوی ذرات معلق نیز می‌باشد از یک مخزن ذخیره زمینی به یک مخزن تحت فشار را برقرار می‌سازد. یک مبدل حرارتی سیال را گرم می‌کند و یک کنترل ولو نیز میزان دبی سیال پمپ به سمت مخزن پرفشار را به میزان 80 m³/h (350 gpm) تنظیم می‌نماید. این سیستم با مشکلاتی از جانب FCV مواجه گردیده که دلیل آن نیز ایجاد سایش توسط سیال پمپ در FCV به دلیل بروز پدیده کاویتاسیون می‌باشد. FCV در یک بازه زمانی ۱۰ الی ۱۲ ماهه دچار خرابی می‌شود و هزینه تعمیر آن در هر بار بروز خرابی برابر ۴۰۰۰ دلار می‌باشد. جایگزینی FCV موجود با یک FCV جدید که قابلیت کارکرد در شرایط کاویتاسیون را دارد مدنظر قرار گرفته است. پیش از جایگزینی FCV مهندس پروژه در نظر دارد تا هزینه چرخه عمر آن را تجزیه و تحلیل نموده و راه حل‌های جایگزین را نیز بررسی نماید.



- سیستم چگونه کار می کند

در شرایط کنونی کنترل ولو در محدوده ۱۵ الی ۲۰ درصد بصورت باز با ایجاد سر و صدا و کاویتاسیون در سرویس قرار می گیرد. به نظر می رسد که کنترل ولو به لحاظ سایز برای این شرایط کارکرد درست انتخاب نشده است. بعد از بازبینی شرایط طراحی سیستم مشخص می شود که پمپ نیز برای این شرایط درست انتخاب نشده و بزرگتر از اندازه مورد نیاز است. ۱۱۰ m³/h (485 US gpm) بجای ۸۰ m³/h (350 USgpm) و این مسئله باعث افت فشاری بیش از حد نرمال در کنترل ولو می شود. به دلیل ایجاد اختلاف فشار زیاد در شرایط میزان دبی سیال در سیستم و مشاهده این نکته که کنترل ولو بطور منظم به دلیل کار در شرایط کاویتاسیون دچار خرابی می شود، چنین نتیجه گیری می شود که این کنترل ولو برای این سیستم مناسب نیست و می بایست تعویض گردد. در ادامه چهار انتخاب در پیش رو قرار می گیرد:

A. یک کنترل ولو جدید که با شرایط کاری اختلاف فشار بالا سازگاری داشته باشد جایگزین گردد.

B. قطر پروانه پمپ کاهش یابد که در نتیجه هد پمپ کاهش یافته و کنترل ولو در شرایط اختلاف فشار کمتری قرار خواهد گرفت.

C. یک VFD درایو بر روی موتور پمپ نصب و کنترل ولو از سیستم حذف شود. VFD با تغییر سرعت پمپ می تواند فلوی مورد نظر فرآیند را تامین کند.

D. سیستم بدون هیچ گونه اصلاحی مورد بهره برداری قرار گیرد و کنترل ولو همان گونه که مورد انتظار است بطور سالیانه تعمیر شود.

هزینه یک کنترل ولو جدید مناسب با شرایط کاری مذکور برابر ۵۰۰۰ دلار یا یورو می باشد. هزینه اصلاح پروانه پمپ برابر ۲۲۵۰ دلار یا یورو می باشد. این فرآیند با دبی ۸۰ m³/h به مدت ۶۰۰۰ h/year در سرویس قرار می گیرد. هزینه بهره برداری ۰۰۸ دلار یا یورو بر kWh با بازدهی موتور به میزان ۹۰٪ می باشد. مقایسه هزینه های انجام اصلاحات مختلف مطروحه در جدول زیر نشان داده شده است.

پس از کاهش قطر پروانه پمپ به ۳۷۵ mm مطابق (option B) هد کلی پمپ در دبی ۸۰ m³/h به ۴۲.۰ m (138 ft) به کاهش می یابد. این افت فشار در هد کلی پمپ میزان اختلاف فشار را در کنترل ولو به ۱۰ m (33 ft) نزول می دهد که به شرایط طراحی کنترل ولو نزدیک تر می باشد. هزینه های مصرف انرژی پس از کاهش قطر پروانه پمپ برابر ۶۷۲۰ یورو یا دلار در سال برآورد می گردد. هزینه تراشکاری، بازنمودن و بستن پمپ و تراشکاری قطر پروانه ۲۲۵۰ دلار یا یورو می باشد. هزینه خرید یک عدد A 30 KW VFD (Option C) برابر ۲۰۰۰۰ دلار یا یورو هزینه نصب و سایر هزینه ها برابر ۱۵۰۰ دلار یا یورو می باشد. هزینه نگهداری VFD بطور سالانه برابر ۵۰۰ دلار یا یورو می باشد. فرض هم بر این است که به مدت ۸ سال هزینه ای بابت تعمیرات VFD نو انجام نخواهد شد. هزینه ها برای (Option C) که تغییری در سیستم ایجاد نمی شود و فقط هزینه های سالیانه تعمیر کنترل ولو که دچار کاویتاسیون می باشد در آن محاسبه می شود برابر ۴۰۰۰ دلار یا یورو می باشد. این پروژه شامل هزینه های زمان توقف، هزینه های زیست محیطی و هزینه های اسقاط نمی باشد. طول عمر تعریف شده برای این پروژه ۸ سال می باشد. نرخ سود سرمایه در این پروژه ۸ درصد و نرخ تورم ۴ درصد در نظر گرفته شده است.



Cost	Change Control Valve (A)	Trim Impeller (B)	VFD (C)	Repair Control Valve (D)
Pump Cost Data				
Impeller diameter	430 mm	375 mm	430 mm	430 mm
Pump head	71.7 m (235 ft)	42.0 m (138 ft)	34.5 m (113 ft)	71.7 m (235 ft)
Pump efficiency	75.1%	72.1%	77%	75.1%
Rate of flow	80 m ³ /h (350 USgpm)	80 m ³ /h (350 USgpm)	80 m ³ /h (350 USgpm)	80 m ³ /h (350 USgpm)
Power consumed	23.1 kW	14.0 kW	11.6 kW	23.1 kW
Energy Cost/Year	11 088 EURO or USD	6 720 EURO or USD	5 568 EURO or USD	11 088 EURO or USD
New Valve	5 000 EURO or USD	0	0	0
Modify Impeller	0	2 250 EURO or USD	0	0
VFD	0	0	20 000 EURO or USD	0
Installation of VFD	0	0	1 500 EURO or USD	0
Valve Repair/Year	0	0	0	4 000 EURO or USD

	Option A Change control valve	Option B Trim impeller	Option C VFD and remove control valve	Option D Repair control valve
Input				
Initial investment cost:	5000	2250	21 500	0
Energy price (present) per kWh:	0.080	0.080	0.080	0.080
Weighted average power of equipment in kW:	23.1	14.0	11.6	23.1
Average operating hours/year:	6 000	6 000	6 000	6 000
Energy cost/year (calculated) + Energy price x Weighted average power x Average operating hours/year:	11 088	6 720	5 568	11 088
Maintenance cost (routine maintenance/year):	500	500	1 000	500
Repair every 2nd year:	2 500	2 500	2 500	2 500
Other yearly costs:	0	0	0	4 000
Down time cost/year:	0	0	0	0
Environmental cost:	0	0	0	0
Decommissioning/disposal (Salvage) cost:	0	0	0	0
Life time in years:	8	8	8	8
Interest rate (%):	8.0%	8.0%	8.0%	8.0%
Inflation rate (%):	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%
Output				
Present LCC value:	91 827	59 481	74 313	113 930

هزینه‌های چرخه عمر برای هر یک از ۴ گزینه مطرح شده در جدول زیر بطور خلاصه آورده شده است. (Option B) شامل کم‌ترین هزینه می‌باشد و برای این پروژه به عنوان بهترین گزینه در نظر گرفته شده است.

نتیجه‌گیری:

با توجه به امکان ارائه پیشنهاد راه حل‌های مختلف برای حل مشکلات سیستم‌های پمپاژ، اتخاذ استراتژی مناسب برای به حداقل رساندن هزینه‌ها ضروری است. با توجه به بالا بودن هزینه‌ها در دوران نگهداری و بهره‌برداری بکارگیری روش مقایسه‌ای محاسبه هزینه چرخه عمر سیستم‌های پمپاژ، ابزار مناسبی در اختیار مدیران و طراحان برای کمک به اتخاذ تصمیم‌های درست به منظور حداقل‌سازی هزینه‌ها در طول زمان چرخه عمر آنها قرار داده و زمان در دسترس بودن تجهیز را افزایش می‌دهد و به این طریق قابلیت اطمینان سیستم‌های پمپاژ و به طبع آن کل واحدی که در حال بهره‌برداری است ارتقاء می‌یابد.

منابع:

- Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems is the result of a collaboration between the Hydraulic Institute, Europump, and the US Department of Energy's Office of Industrial Technologies (OIT).

