

# Analysis of Total Life Cycle Costing and Efficiency for Pumps

H. Sevil Ergur (Corresponding Author)  
Department of Mechanical Engineering,  
Faculty of Engineering and Architecture, Eskisehir Osmangazi University,  
PO box 26480, Eskisehir, Turkey,  
E-mail: [hsergur@ogu.edu.tr](mailto:hsergur@ogu.edu.tr)

## Abstract

Many pump users know the total cost of the product when used with the opportunity to pre-investment analysis. However, in addition to the initial investment costs, maintenance and replaced parts' expenses, taxes, such as energy use should also be taken into consideration. Entries are taken into account for energy costs in the electricity required to run the pump and mechanical or pneumatic controlled driver. As a result of the selection made carefully, life cycle of industrial pumps may be up to 50 years or higher value. In order to increase the life cycle, the decision to be taken by the user to prevent any problems in the next period should be sufficient accuracy. Besides, in determining the preferred life cycle of the pump and in making decisions, total operating costs must be analysed.

**Keywords:** Life cycle cost, Efficiency, Total operating cost, Purchase cost, Energy and maintenance cost, Pump selection.

## Pompalarda Verim ve Toplam İşletme Masraflarının Analizi

### Özet

Birçok pompa kullanıcısı, yatırım öncesi analiz yapma imkanına sahip olduğundan, kullanılan ürünün toplam maliyetini öngörürler. Ancak, ilk yatırım maliyetine ek olarak, bakım ve değiştirilen parçaların giderleri, vergiler ile enerji kullanımı gibi ek girdiler de dikkate alınmalıdır. Enerji maliyetinde, pompa ve mekanik ya da pnömatik kontrollü çevirici girdileri de dikkate alınmaktadır. Seçimin özenle yapılması sonucunda, endüstriyel pompaların kullanım ömrü, 50 yıl veya daha üst değerlere çıkabilmektedir. Ömür artışını sağlamak amacıyla, sonraki süreçlerde sorun yaşanmaması için kullanıcı tarafından alınması gereken kararlar, yeterli doğrulukta olmalıdır. Kararların alınmasında ve tercih edilen pompanın kullanım ömrünün belirlenmesinde, toplam işletme masraflarının analizi yapılmalıdır.

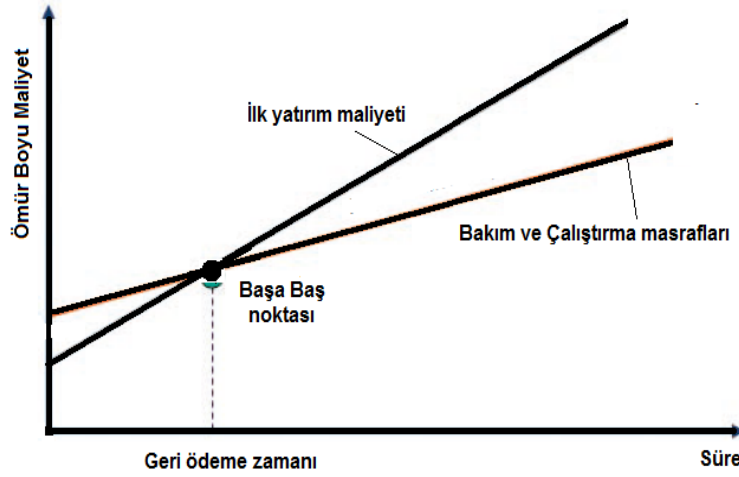
**Anahtar kelimeler:** Ömür boyu maliyet, Verim, Toplam işletme maliyeti, Satın alma maliyeti, Enerji ve bakım maliyeti, Pompa seçimi.

### 1. Giriş

Endüstride kullanılan pompalarda, seçimin özenle yapılması kullanım ömrünü artırır. Son yıllarda, pompaların kontrol teknolojisine ilişkin gelişmeler, ilk maliyeti düşürürken enerjide de önemli kazançlar sağlamaktadır. Basınç ve viskozitedeki değişim, pompa performansı ve verim üzerinde etkili olduğundan, pompa seçiminde tüm çalışma şartlarının bilinmesi gerekir. Seyreltik sıvının basılmasında kullanılan, farklı çark ve yardımcı kontrol üniteleriyle değişken şartlarda ve değişken viskoziteli sıvılar ile çalışan pompaların verimleri düşecektir. Enerji verimliliği, endüstride alınan kararların değiştirilmesinde etkili değildir. Yapılan çalışmalar toplam işletme masraflarının analizi ile maliyetin düşürüleceğini göstermektedir (Frenning, L., et al. 2001). Pompanın ilk kullanım örneği olarak rüzgâr değirmenleri gösterilebilir. Günümüzdeki kullanım yerleri ise sulama, kullanım suyu ve yakıt iletiminde, havalandırma sistemleri, soğutma sistemleri, kimyasal kullanımlar, gıda sanayi, denizcilik olarak özetlenebilir. Dünya elektrik tüketiminin yaklaşık %20' sini pompalı sistemler oluşturmaktadır. Kullanılan bu enerjinin % 30 ile % 50' sinin tasarrufu mümkündür (Frenning, L., et al. 2001; Pump school 2007).

Ömür boyu maliyet, 1960' lı yılların ortalarında düşünülmüş ve geliştirilmeye başlanmıştır. Güncel kullanımlarda, daha önceleri yapılmış çalışmalara ait orijinal yazılar, baskı dışı kalmakla birlikte Blanckard ve arkadaşlarının bu konudaki çalışmaları hala önemli birer kaynaktır. Bu konuda değişik

araştırmacılar tarafından yapılmış çalışmalar, Maintainability (Blanchard 1995), Logistics Engineering and Management (Blanchard 1992). Systems Engineering and Analysis (Blanchard 1990), Life-Cycle Cost and Economic Analysis (Fabrycky & Blanchard 1991) şeklinde özetlenebilir. Sistem verimliliğini artırmak amacıyla, pompalardaki enerji tüketimi analiz edilerek, toplam ömür maliyeti tanımlanmalıdır. Şekil 1' deki gibi seçilen pompanın ortalama kullanım süresine bağlı olarak bakım ve işletme masraflarına göre ilk yatırım maliyeti için belirlenen doğruların kesiştiği, başa baş noktasındaki ömür boyu maliyet, firma için yeterlidir.



Şekil 1. Ömür Boyu Maliyette Başa Baş Noktasının Kullanımı [2]

Benzer teknik ile ekipman üreten çok sayıda üretici olduğunda, bunların satın alınması her zaman çok kolay değildir. Geri dönüş aşamasının, hangisinde daha çabuk olacağını anlayabilmek için işin başında, ömür boyu maliyet analizinin yapılması gerekir. Pompalardaki verim artışı ile uzun vadede tasarruf sağlanmaktadır. Ancak ömür boyu maliyet analizi her zaman yeterli olmayabilir. Ürünün zamanında teslim edilmemesi, satış sonrası hizmetler ve ürünün güvenilirliği gibi pompanın karakteristiklerine göre değişen başka faktörlerin de söz konusu analizlerde değerlendirilmesi gerekir.

Basit bir pompa uygulaması için ömür boyu maliyet analizi gerekli olmayabilir. Ancak, ilk maliyet ile işletme maliyetinin karşılaştırılması için detaylı bir analizin yapılması gerekir (Hydraulic Institute & Europump 2001). Sermaye harcaması ve işletme maliyeti, aşırı aşınma maliyeti, bakım, yedekler, plansız kesintiler (sistemdeki durmalar), keçe değişimi ve hasarlı parçalar ömür boyu maliyetin büyük bir kısmını oluşturacaktır.

Maliyetin karşılaştırılmasında çeşitli analizlerden yararlanır. Bunlar sırasıyla,

- Ömür Boyu Maliyet analizi
- Nakit akış analizi
- Karlılık analizi
- Geri ödeme analizi

## 2. Toplam ömür maliyeti (TÖM)

Toplam ömür maliyetinin hesaplanmasında aşağıdaki denklem kullanılır (Frenning, L., et al. 2001).

$$TÖM = M_I + M_G + M_E + M_O + M_B + M_C + M_D + M_H \quad [1]$$

$M_I$ : İlk yatırım maliyeti (boru ve yardımcı elemanlar dahil)

$M_G$ : Montaj, komisyon ve eğitim masrafları

$M_E$ : Enerji maliyetleri (Sistem maliyeti, pompa çevirici ve kumandalar dahil)

$M_O$ : İşletme maliyetleri (İşçilik dahil)

$M_B$ : Bakım masrafları (periyodik bakımlar)

$M_C$ : Çevresel maliyetler (Basılan sıvı ve yardımcı eleman kirliliği)

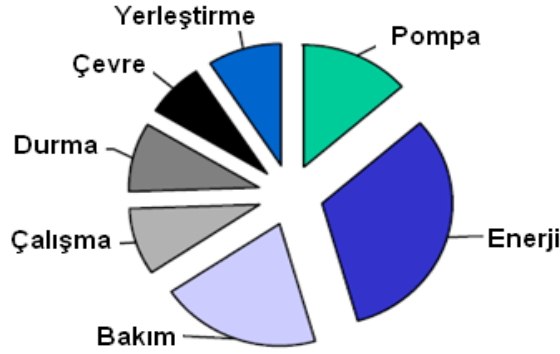
$M_D$ : Arıza sebebiyle ani kesinti maliyeti

$M_H$ : Hurda maliyeti (Pompa ve diğer yardımcı elemanlar için)

Yukarıdaki değerlerin endüstriyel kullanım alanlarına göre farklılıklar gösterdiği Şekil 2' de verilmiştir. Örneğin, petrokimya, ilaç ve otomasyondan yararlanan endüstriyel kuruluşlarda duruş maliyetleri çok önemlidir. Ayrıca, uygun çalışma aralıklarında yapılmayan bakım ve onarım eksiklikleri nedeniyle

meydana gelen arızalar, maliyeti artırır. Bunların yanı sıra, çalışma alanının bağlı olduğu yerel yetkili makamların, hurda satış maliyetleri de önemlidir. Birçok pompa kullanıcısının, toplam ömür maliyetine gereken önemi vermemesi ve herhangi bir öngörüye sahip olmaması nedeniyle maliyet artışı kontrol edilememektedir (Hydraulic Institute & Europump (2001) , Tutterow et al. 2002).

Pompanın kullanıldığı bir tesiste, uzun vadede kar etme amacı söz konusu ise, tam ömür maliyetinin düşürülmesi her zaman istenen bir durumdur. Maliyet düşürmek için çeşitli metotlardan daha çok, tecrübelerden elde edilen ve kolay uygulanabilir önemli tavsiyelerden yararlanır. Öncelikle pompa tesisatının tasarımı oluşturan aşamalar aşağıda verilmiştir (Pump school 2007).



Şekil 2. Endüstriyel Pompa Sisteminde Toplam Ömür-Maliyet Dağılımı [6]

- ❖ Pompa boyutu ve maliyeti
- ❖ Maliyetin dağılımı
- ❖ Özgül enerji
- ❖ Azaltılan pompa verimi
- ❖ Kaçak kayıpları
- ❖ Pompa TÖM analizi
- ❖ Çark aralığındaki artışın etkisi
- ❖ Mevcut ömür boyu maliyet değeri

Daha sonra, pompa seçimi, pompanın satın alınması, pompanın yerleştirilmesi, pompalarda yardımcı bakım ve onarımlar, periyodik koruyucu bakım gibi konular ele alınacaktır (Bowie Pumps 2013).

### 2.1 Pompa seçimi

Debi, basma yüksekliği, ortam sıcaklığı, basılacak sıvının özelliklerine (özelliklerine (özgül ağırlık, viskozite vb.) uygun bir seçim yapılmalıdır. Seçimde, pompa yedeklerinin kolaylıkla ulaşılabilir olması da önemlidir. Pompa seçiminin amacı, tesisin işletme ekonomisini iyileştirmektir. Pompalar bir yılda, kendi maliyetinin on katı tutarında enerji harcayabilir. Harcanan enerjinin optimum değere indirilebilmesi için uygun pompa seçimi şarttır. İstenilen performansa bağlı olarak uygun tip ve özelliklere sahip bir pompa seçiminde, sistem ihtiyaçlarını karşılayacak diğer pompalar da mutlaka incelenmelidir. Bir tesise uygun pompanın belirlenmesi için bazı faktörlerin analizi yapılmalıdır (Goncaloğlu et al. 2012). Bunlar, pompalanacak suyun sıcaklığı, özgül ağırlığı, viskozitesi ve temizliği olup, pompanın yapısal yönüyle yakından ilgilidir. Ayrıca, gerçek pompa geometrisine ulaşmak için tesisattaki debinin de bilinmesi gerekir.

### 2.2 Pompanın satın alınması

Uzun süre sorunsuz kullanım ve yedekleme sorununu ortadan kaldırmak için pompa satın alınmasında ilk başvurulacak yer, yetkili dağıtıcı firma olmalıdır. Orijinal yedek parçanın tercih edilmemesi durumunda maliyet artacaktır. Örneğin, döküm yedek parçanın kullanılması gerekli ise yeniden model yapımı söz konusu olacağından, ürün maliyeti artacaktır. Daha önce benzer ürün veya yedek parçalar satın alınmış ise ek indirimden yararlanma yolları aranmalıdır.

### 2.3 Pompanın yerleştirilmesi

Yerleşim alanının hazırlanması ve pompanın montajı aşamasında, tesisin büyüklüğüne göre anahtar teslimi tercih edilebilir. Bunun dışındaki (tesis elemanları tarafından yapılan) durumlarda ise pompa yerleşim düzeni, uzman kişiler tarafından yapılmalıdır. Hatalı montaj veya pompa kaidesi (temeli)

arızalara sebep olabilir. Bu durumlar, genelde ürünün garanti kapsamı dışındadır. Pompa, donma ve patlama tehlikesi olmayan ve havalandırması iyi olan bir yere monte edilmelidir. Montajı yapılan pompanın etrafında, pompaya rahatlıkla ulaşılması, bakım yapılabilmesi ve gerektiğinde de pompanın kaldırılabilmesi için pompanın üstünde yeterli bir boşluk bırakılmalıdır. Pompa emme borusu kısa olmalıdır. Düşey boruya bağlanmış pompada, akış yukarıdan aşağıya veya tersi yönünde olabilir. Yatay boruya bağlanmış pompalarda ise motor eksenini, yatay veya düşey konumda olabilir. Ancak, motor hiçbir zaman yatay düzlemin daha aşağısında bulunmamalıdır. Pompa temelini hazırlanmasında ve pompa grubunun montajında çok özenli çalışılmalıdır. Yanlış ve özensiz bir montaj, parçalarının erken aşınmasına ve arızalara neden olur. Pompanın temeli, titreşimleri sönmeyecek kadar ağır ve ayar bozulmalarını önleyecek kadar sağlam olmalıdır. Temel kütle betonu, pompanın montajından önce tamamen katılaşmış ve direnç kazanmış (priz süresini tamamlamış) olmalıdır. Beton üst yüzeyi, tamamen yatay ve çok düzgün olmalıdır (Pye & McKane 1999; Konuralp 1994).

### 3. Periyodik Koruyucu Bakım Süreci

Pompa operatörleri ve bakımçıları, iyi eğitilmiş olmalı ve arıza tespitini kolaylıkla yapabilmelidirler. Bunun için, gerektiğinde ilgili imalatçı firmadan ücretsiz eğitim desteği alınmalıdır. Sistemde kaçak kontrolü, yağlama ve salgı kontrolleri düzenli olarak yapılmalıdır. İmalatçı tavsiyeleri dikkate alınarak, sıcaklık, basınç ve dönüş hızına göre maksimum çalışma aralığı belirlenmelidir. Bu yöntem, önceden belirlenen bir zaman periyodunda makine ve ekipman parçalarının bakımları ve onarımlarını içerir. Tüm donanımlar gözden geçirildikten sonra, tespit edilen arızalar giderilecektir. Periyodik bakımlarla, olası arızalar önenebilir. Bakım için planlanan süre ve parça değişimi kısa tutulmalıdır. Pompanın her türlü bakımı, onarımı, kullanımı, mutlaka uzman ve ehliyetli personeller tarafından yapılmalıdır. Rulman yağlarının değiştirilmesi sırasında, kullanılmış eski yağlar, çevreye zarar vermeyecek şekilde ortadan kaldırılmalıdır.

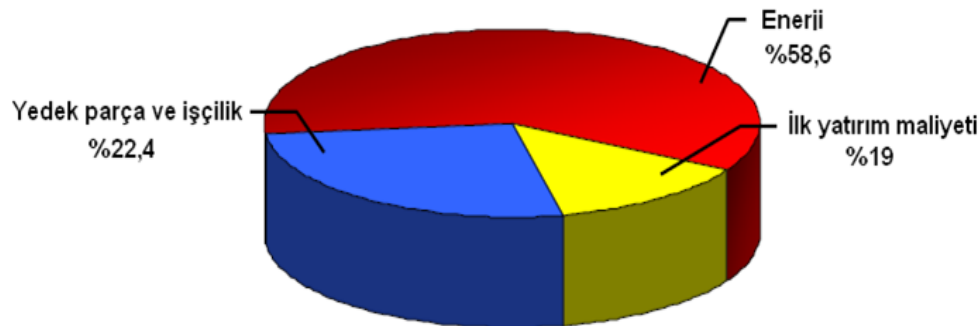
#### 3.1 Pompalarda düzeltici bakım ve tamirler

Sıcaklık, basınç ve dönüş hızı cinsinden maksimum çalışma aralığı tespit edildikten sonra, sistemin aşırı basınçtan korunması için basınç düşürücü valf kullanılmalıdır. Pompada her zaman orijinal yedek parça kullanımına özen gösterilmelidir. Hasarlı elemanlar için imalatçı tavsiyelerine ulaşılmalıdır.

#### 3.2 Satın alma maliyetinin analizi

Satın alma tarihinde teklif edilen pompa fiyatı, gerçekte çok yüksek görülebilir. Aslında, ilk maliyet, TÖM içinde küçük bir kısımdır. B50 tipi T.Ş.F.A.Ş Eskişehir Şeker Makine Fabrikasının bir ürünü olan santrifüj pompa için düzenlenen Şekil 3' de, 5 yıllık TÖM dağılımı gösterilmiştir. Burada elektrik enerjisindeki artışlar dikkate alınmamıştır. Beklendiği üzere, enerji ve yedek parçalar için yapılması gereken harcama, ilk yatırım maliyetinden oldukça yüksektir. Dolayısıyla, uzun süre kar sağlama düşünüyor ise ilk maliyetin dışındaki verilere ayrıca özen gösterilmelidir. TÖM' ü iyileştirmek için verim artışı, çarktaki aralığın korunması, giriş gücünün azaltılması, bakım-onarım masraflarının minimuma indirilmesi gibi tedbirlerin alınması gerekir.

Şekil 3' den de görüleceği üzere, dağılım yüzdeleri, pompalar arasında farklılık gösterirken, enerji maliyeti hepsinde ilk sırayı korumaktadır.



Şekil 3. B50 Tip Pompanın Maliyet Dağılımı

#### 3.3. Enerji Maliyeti

Enerji tasarrufu, pompaların giriş gücü düşürülüp, pompa genel verimi artırılarak ve daha yüksek pompa kullanılarak sağlanabilir. Pompalı bir sistemde, TÖM maliyetleri arasında en büyük pay enerji maliyetine

aittir. Enerji maliyeti, yıllık çalışma sürelerine bağlıdır. Sistemin enerji maliyetini belirleyen en önemli parametre, pompanın sisteme uygun olmasıdır. Ayrıca, yüksek verimli pompa seçimi, ilk yatırım maliyetini artıracığından enerji tüketimini etkiler. Enerji ve bakım maliyetlerini artıran en önemli yanlışlardan birisi de ihtiyaç fazlası basma yüksekliğine sahip pompaların seçimidir. Bu tip pompalarda, titreşimler ve yükler artacağı için arıza yapma olasılığı da artacaktır.

#### 4. Sistemdeki İyileştirmeler

Pompa tasarımcıları küçük yatırım bütçeleriyle daha iyiye ulaşmak için başarılı tahminler yapmalıdırlar. Küçük çaplı boru kullanıldığında, tesisattaki dirsek sayısı ile birlikte sistem için gerekli olan basma yüksekliği ve güç değeri de artacaktır. Böylece, işletme maliyeti de yükselmiş olacaktır. Bunların yanı sıra, basılan sıvı viskozitesindeki değişim, boru cidarındaki malzeme birikimi veya korozyon atıkları da güç ihtiyacını artırır.

##### 4.1. Sistemdeki Enerji Tasarrufu

Pompalarda kullanılan kontrol teknolojisinde, son yıllardaki gelişmeler ile birlikte ilk maliyetin düşürülmesi, enerji artışındaki kontrollerin yerinde yapılabilmesi ve her zaman kullanılabilir olması sağlanmıştır. Gelişmeler, a) En iyi verim noktasındaki debiyi kontrol etmek ve mevcut basıncın devam ettirilmesinde değişken hızlı çevirici kullanımının günden güne artması b) Motor güç kullanımına göre pompa gücünde oluşabilecek sapmalarda, çeviriciyi durdurmanın mümkün olması ve böylece pompanın kuru çalışmasının ya da yüksek basınca çıkışın önlenmesi c) Debi, basınç, güç kullanımı ve sıcaklık gibi parametrelerin izlenebilmesi için PLC veya benzer lojik kontrollerin kullanılabilmesi şeklinde özetlenebilir. Tesisat ve sistem tasarımında, mevcut pompalara uygulanması genellikle kolay olan bu kontrollerin programlanması ise karmaşık ve yüksek maliyetlidir.

##### 4.2. Sistem Verimi

Pompa seçiminde tüm çalışma şartlarının bilinmesi gerekir. Basınç ve viskozitedeki değişim pompa performansını ve genel verimi etkileyebilir. Seyreltik sıvının basılmasında kullanılan pompalar, farklı çark ve yardımcı kontrol üniteleriyle, değişken şartlarda ve değişken viskoziteli sıvılarda düşük verimlerde çalışırlar (Pye & McKane 1999). Bazı kurumlarda, verim artışı sağlayan çalışanlara belli oranlarda ek ödeme yapılabilir. Karar vericiler, genelde üretim artırıcı projeleri tercih ederler. Enerji verimlilik projelerinin birçoğu, enerji tasarrufunun yanı sıra enerji kazanımı da sağlarlar. Bu projelerin genel amaçları sırasıyla; düşürülmüş bakım masrafları, artırılmış iş verimi, düşürülmüş ürün maliyetleri, düşürülmüş atık maliyetleri, geliştirilmiş ürün kalitesi, geliştirilmiş kullanım kapasitesi ile gelişmiş güvenilirlik ve işçi güvenliğidir.

Pompa veriminin hesaplanmasında en çok tercih edilen bağıntı, aşağıda verilmiştir.

$$\text{Verim (\%)} = \frac{[\text{Basma Yüksekliği (m)} \times \text{Debi (m}^3/\text{s)} \times \text{özgül ağırlık (N/m}^3) \times 100]}{[\text{Güç (kW)} \times 102]} \quad [2]$$

#### 5. Maliyet Analizi

Bir pompalı sistemdeki toplam ömür boyu maliyeti düşürebilmek için aşağıdaki kontrol listesinin gözden geçirilmesi önerilir (Barringer & Weber 1996).

- ✓ Ömür boyu maliyetin belirlenmesi için konu ile ilgili tüm maliyetler ele alınmalıdır.
- ✓ Tam ömür tavsiyelerine göre pompa ve sistemler gözden geçirilmelidir.
- ✓ İşletme ve satın alma maliyetleri ile toplam ömür maliyeti optimize edilmelidir.
- ✓ Maksimum kazanç için sistem ihtiyacına uygun ekipman seçilmelidir.
- ✓ Düşünülen göreve uygun pompa ve çevirici seçilmelidir.
- ✓ Yüksek verimli motor tercih edilmelidir.
- ✓ Güç aktarım ekipmanı, düşünülen görev için uygun olmalıdır.
- ✓ Sistem verimsizliği değerlendirilip çözüm aranmalıdır.
- ✓ Kar etme oranını yüksek tutmak için pompa sistemi gözlenerek desteklenmelidir.
- ✓ Kontrol valfleri kullanıldığında, harcanacak enerji hesaba katılmalıdır.
- ✓ Yardımcı ekipmandan da yeterince yararlanılmalıdır.
- ✓ Koruyucu bakım en iyi hale getirilmeli ve böylece pompadaki mevcut aralıklar (çark vb.) korunmalıdır.
- ✓ Elektrik motorlarının tekrar sarılması halinde mevcut tavsiyelere mutlaka uyulmalıdır.
- ✓ Geliştirme fırsatlarını değerlendirmek için mevcut pompa sisteminin analizi gerekir.

### 5.1 Ömür Boyu Maliyet Analizi

Ömür boyu maliyet analizinin temel amaçları, harcama kararlarını doğrulamak, rekabette bulunan sistemleri karşılaştırmak, başka sistemlerin değerlendirilmesine olanak sağlamak, kararlara ilişkin detaylı bilgiye sahip olmak, program veya işlemin çok daha iyi gözlenmesini sağlamak, farklı seviyelerde güvenilirlik etkisi yaratmak şeklinde sınıflandırılabilir.

İki veya daha fazla pompa sistemi için ömür boyu maliyet analizi ele alındığında, birinci kademedeki değerlendirilecek işlem, ana maliyetin tanımlanmasıdır. Örneğin, analizde, sıvının türü, abrasif veya viskoz olup olmadığı, arıza süresi ve ürün verimliliği üzerindeki etkisi incelenebilir (Konuralp & Albayrak 2001). Bu ve benzer sorulardan yararlanarak, mevcut pompa sistemi de dikkate alınarak, her bir faktör için maliyetler çıkarılır. Narin ve kesilmeye karşı hassas malzemeler için de ürün ayrıştırma maliyeti ele alınmalıdır. Ürün ayrıştırma maliyeti, ömür boyu maliyet üzerinde çok etkili olmasına rağmen, genellikle gereken önem verilmemektedir. Bir çok pompa sistemi, çarpma prensibine göre çalışmaktadır. Global pazarda herhangi bir ürünün ticari alanda başarılı olması ve artan bir şekilde kabul görmesi için bu konuda çalışan mühendislerin ömür boyu maliyet hesaplarını çok iyi bilmeleri gerekmektedir (Waghmode & Sahasrabudhe 2010).

Ömür boyu maliyet hesaplarında dört temel aşama vardır. Bunlar sırasıyla (Veshosky & Nickerson 1993),

- 1) Amaç ve Kapsam: Ömür boyu maliyet çalışmalarına başlamadan önce, çalışma amacının ve kapsamının açıkça tanımlanması tavsiye edilir. Böylece, uygun hesaplama metodunun seçimi de kolaylaşacaktır.
- 2) Envanter Analizi: Amaç, kapsam ve metod belirlendikten sonra oldukça önemli olan envanter analizinin yapılması gerekir. Bunun için, tedarik zincirinden primer verilerin toplanması veya çok daha güvenli literatürden yararlanılarak sentezlenmesi şarttır. Çalışmada, kullanılacak malzeme, enerji ihtiyacı ve atıkların oluşumunun tespiti yapılarak, çok daha gelişmiş ve nitelikli bir ömür boyu analize ulaşılar.
- 3) Ömür boyu etkinin değerlendirilmesi: Toplanan veriler ve model ile ömür boyu analiz sonuçlarına ulaşmak kolaylaşacaktır. Böylece, çok farklı etkileşim sınıflarının analizi de yapılabilecektir.
- 4) Sonuçlar ve Tavsiyeler: Bu aşama, ömür boyu değerlendirmede anahtar kelimedir. Sonuçlar çok iyi analiz edilmelidir. Yapılan analizlerle tavsiyeler birbirlerini tamamen desteklemelidir.

### 6. Sonuçlar

Endüstriyel pompa sistemleri sadece enerjinin değil aynı zamanda bakım ve işletme için gerekli mali kaynakların da tüketicisi sayılır. Ömür boyu maliyetin düşürülmesi için önemli gelişmeler vardır. Ömür boyu maliyet analizi, alternatif tasarım için en düşük maliyet metodolojisi geliştirmekle beraber işlemin önemini gösteren mevcut çalışmalar, günden güne artmaktadır. Ömür boyu maliyet hesabında kullanılan her bir eleman için belirsizlik riskinin bulunması, daha büyük maliyetlere de zemin hazırlayabilir. Arıza maliyetleri de dikkate alındığında, gerekli işgücü sayısının ne kadar etkili olduğu görülecektir. Ömür boyu maliyet metodları, takas fikirleri yaratır. Tasarım mühendisleri, özellikle düşük maliyetli tesislerin, ömür boyu maliyet analizinde, yararlanacağı çok önemli bağlantılardır. Ancak yapılan çalışmalardan yeterli sayıda arıza verisi alınmadığı sürece, tasarım mühendislerinin efektif bir analizi gerçekleştirmeleri mümkün değildir.

### Kaynaklar

Frenning, L., et al. (2001), "Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems", Hydraulic Institute and Europump, Parsippany, New Jersey.

Pump school, (2007), Efficiency and life-cycle-cost calculation. [Online] Available: <http://www.pumpschool.com/applications/Energy.pdf> (2007)

Blanchard, B. S. (1992), *Logistics Engineering and Management*. (6th ed.). New Jersey: Prentice-Hall, Englewood, Cliffs. (Chapter 6)

Fabrycky, J. W., & Blanchard B. S. (1991), *Life-Cycle Cost and Economic Analysis*. (1st ed.). New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs (Chapter 8).

Hydraulic Institute & Europump (2001). *Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC analysis for pumping systems*. Parsippany, New Jersey.: Hydraulic Institute.

Tutterow V., Gunnar H., & McKane A. (2002), Life Cycle Costing for Industrial Pumping Systems. [Online] Available: <https://escholarship.org/uc/item/51m5d0x9> (July 8, 2002)



Bowie Pumps (2013), Tips on how to lower your pump life-cycle costs. [Online] Available: <http://www.bowiepumps.com> (February, 2013).

Pye M., & McKane A. (1999), "Enhancing Shareholder Value: Making a More Compelling Energy Efficiency Case to Industry by Quantifying Non-Energy Benefits", *Proceedings of the 1999 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry*, **1**, 1-12.

Barringer P.H., & Weber P.D. (1996), "Life Cycle Cost Tutorial", *5th International Conference on Process Plant Reliability*, Gulf Publishing Co., Houston **3**, 1-57.

Goncaloğlu İ.B. et al (2012), "Effect of Diurnal Changes in VOC Source Strengths on Performances of Receptor Models", *Environmental Science and Pollution Research*, **19**, Springer, 1503-1514.

Konuralp O., & Albayrak K. (2001), "Pompalı Sistem Uygulamalarında Ömür Boyu Maliyet Yaklaşımı", *POMSAD Yayınları*, No:12, 1-12.

Waghmode Y. L., & Sahasrabudhe D. A. (2010), "A Comparative Study of Life Cycle Cost Analysis of Pumps" *ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* **6**, 491-500. doi: 10.1115/DETC2010-28034.

Veshosky, D. & Nickerson, R. L. (1993), "Life-cycle costs versus life-cycle performance," *Better Roads Magazine*, **63** (5), 33-35.