

POMPALARDA ÖMÜR BOYU MALİYET VE SİSTEM ETKİNLİĞİ

Bora Nalbantoğlu
Alarko Carrier Sanayi ve Ticaret A.Ş.

KISA ÖZET

Bu gün kullanmakta olduğumuz enerji kaynaklarını gelecekteki nesillerden ödünç aldık. Gelecekteki nesilleri güç durumda bırakmamak için bu enerjiyi olabildiğince ekonomik kullanmamız gerekmektedir. Buna göre; geleceğin enerjisini ve malzemesini korumaya çalışmak, aynı zamanda başka bir potansiyel problem olan maliyetlerin ucuzlatılmasına da yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada, geleceğin enerjisinin korunması, dolayısıyla maliyetin azaltılması pompa sistemleri bakımından ele alınacaktır.

Dünya elektrik enerjisi üretiminin, onda biri pompa sisteminde tüketilmektedir. Bu da bize pompa sistemlerinin, elektrik enerjisi tüketiminin ömür boyu maliyet açısından oldukça önemli olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada önce ömür boyu maliyet kavramı açıklanacak ve ömür boyu maliyet kapsamına giren maliyet unsurları açıklanacaktır. Daha sonra ise sistemin karakteristik özelliklerine bakılarak hesaplanması oldukça güç olan maliyet unsurlarının tahmin edilmesi açıklanacaktır.

GİRİŞ

Globalleşme sonucunda ulusal ve uluslar arası pazarın daralması ve rekabetin artması ile sistem tasarımı yapan mühendislerinin tüm maliyet unsurlarını ayrıntılı olarak incelemesi, en ekonomik ve ihtiyaca en uygun çözümü üretmesi gerekmektedir. Böyle bir inceleme yapan mühendislerin, bir ekonomist gibi düşünmesi ve mühendislik çözümleri üretmesi gerekir.

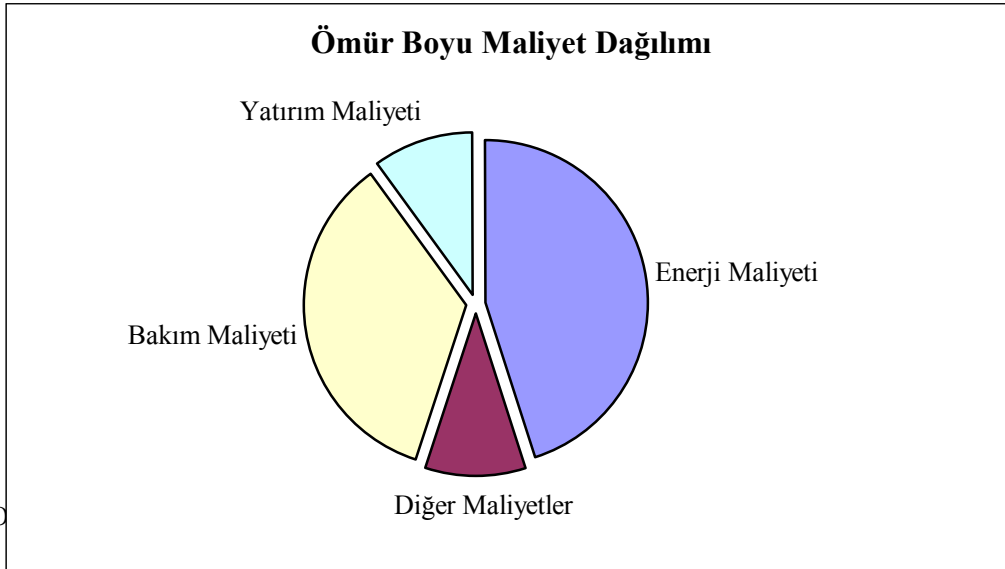
1960'lı yılların ortalarından itibaren sistem seçimine ilişkin kararların daha kolay alabilmesi için ömür boyu maliyet kavramı geliştirilmiştir. Geçtiğimiz yıl Karlsruhe'de yapılan pompa kongresinde de "Ömür Boyu Maliyet" oturum ana başlığı olarak seçilmiş ve ömür boyu maliyetin, "satın alma maliyeti ucuz olanın değil doğru olanın" satın alınmasını sağlayan bir araç olduğu açıklanmıştır.

Pompa sistemleri genel olarak üç temel amaç için kurulmaktadır. Bunlar; bireysel, sanayi ve tarımsaldır. Sistem hangi amaç için olursa olsun, seçimine ilişkin kriterler sabittir. Bu çalışmada pompa seçimine ilişkin teknik kriterleri değil, ticari kriterleri ele alarak maliyet açısından doğru sistemin seçilmesi açıklanacaktır. Bir pompa sistemi seçilirken genelde satın alma ve montaj maliyetleri incelemektedir. Oysa ki satın alma maliyeti ve montaj maliyeti, sistemin işletilmesi esnasında oluşan maliyetin yanında çok az kalabilmektedir. Ömür boyu maliyet, sistemin tüm maliyet unsurlarının (satın alma, montaj, işletme, enerji tüketimi, bakım ve yerinden sökmeye) göz önüne alınmasıyla ayrıntılı maliyetinin oluşturulmasını amaçlamaktadır. 1991 ve 1996 yılları arasında ömür boyu maliyet çalışması ile uğraşan pek çok mühendis (Blankhard, Keçecioglu, Landers, Pecht ve Raheja), sistem etkinliği kavramını geliştirerek, ömür boyu maliyet çalışmalarının istatistik ve olasılık bilimlerinin katkısı ile daha doğru sonuçlar veren bir yapıya gelmesini sağlamışlardır.

Bu incelemede önce bir pompa sistemindeki ömür boyu maliyet unsurlarını inceleyeceğiz, daha sonra da sistem etkinliği kavramı açıklanacaktır.

ÖMÜR BOYU MALİYET ANALİZİ

Bir pompa sisteminin ömür boyu maliyeti, sistemin belirlenen bir ömrü süreci için ilk satın alma, işletme ve bakım maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır. Bir pompa sisteminin 15 – 20 yıllık ömrü olduğunu göz önüne alırsak, sistemin ömür boyu maliyetini tahmin etmek oldukça güçtür. Bu nedenle çoğunlukla sistem seçiminde bulunacak kişiler sadece ilk yatırım ve montaj maliyetini temel kriter alarak, sistem seçimi yapmaktadır. Ancak şekil 1'den de görüldüğü gibi orta büyüklükteki bir pompa sisteminin ilk yatırım maliyeti diğer (bakım ve enerji) maliyetleri yanında oldukça azdır. İlk yatırım maliyetine bakılarak yapılan seçimler çoğunlukla doğru seçimler olmamaktadır.



Şekil 1'den de görüleceği gibi tipik bir pompa sisteminde bakım ve enerji maliyeti, ömür boyu maliyetin oldukça büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle enerji ve bakım maliyetinin yüksek bir hassasiyetle belirlenmesi gerekir. Diğer maliyet unsurları ise (çevre, arıza nedeni ile iş kaybı vb.) geçmiş yılların veya projelerin dataları baz alınarak tahmin edilmektedir.

Dünya elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık olarak %25-50'si sanayide tüketilmektedir. Sanayi tüketiminin ise %20'si pompa sistemlerinde tüketilmektedir. Kısaca dünya elektrik enerjisinin %5-10'u pompa sistemlerinde tüketilmektedir. Bu oran sadece sanayide kullanılan pompa sistemlerini belirtmektedir. Bireysel kullanımı da eklediğimiz zaman oran çok daha yukarılara çıkmaktadır. Bu açıdan bakıldığında pompa sistemlerinin enerji tüketimi ve maliyeti ayrı bir önem kazanmaktadır.

Ömür boyu maliyet sekiz temel maliyetin toplamından oluşmaktadır. Bunlardan üç tanesi sabit maliyettir, diğerleri ise sistemin ömrüne bağlı olarak değişmektedir.

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_d + \sum_{n=1}^l (C_{ne} + C_{no} + C_{nm} + C_{ns} + C_{nev}) \quad [1]$$

- C_{ic} = Sistemin ilk yatırım maliyeti (pompa, boru vb. malzemelerin satın alma maliyeti)
- C_{in} = Sistemin montaj ve işletmeye alma maliyeti
- C_d = Sistemin yenilenmesi gerektiğinde sistemin sökülmesine ilişkin maliyet
- C_{ne} = Sistemin yıllık enerji tüketimi maliyeti
- C_{no} = Sistemin yıllık işletme maliyeti
- C_{nm} = Sistemin yıllık bakım maliyeti
- C_{ns} = Sistemin yıllık arıza nedeni ile durma maliyeti
- C_{nev} = Sistemin yıllık çevreye verdiği zararın maliyeti

Bir sonraki bölümde bu sekiz maliyet unsurları ele alınarak, her birinin nasıl belirleneceği açıklanacaktır.

ÖMÜR BOYU MALİYET ELEMANLARI

1. C_{ic} – Sistemin İlk Yatırım Maliyeti:

Pompa sistemini tasarlayan mühendisinin, sistemde kullanacağı boru çapı ve pompa gücü arasındaki ters orantıdan ekonomik açıdan en uygun noktayı tespit etmesi ve buna göre boru çapını belirlemesi gerekmektedir. Eğer sistem boru çapı küçük seçilirse, boru ve bağlantı parçalarının yatırım maliyeti düşük olur. Ancak sistemin ihtiyaç duyduğu pompanın gücü yüksek olur. Bir başka önemli nokta ise boru çaplarının küçük seçilmesi durumunda pompa emişindeki NPSHA'nın azalmasıdır. Bu durumda düşük hızlı pompa seçilmesi gerekir. Düşük hızlı pompaların fiyatı ise yüksek hızlı pompalara göre oldukça yüksektir.

İlk yatırım maliyeti içerisinde oldukça önemli bir yere sahip ve tasarım aşamasında göze alınması gereken diğer bir kriter ise seçilecek ekipmanların kalitesidir.

İlk yatırım maliyeti hesaplanırken aşağıdaki maliyetlerin göz önüne alınması gerekmektedir.

- Tasarım mühendislik hizmetleri maliyeti
- Pazarlık prosesi maliyeti
- Satın alma prosesi maliyeti
- Test ve kabul prosesi maliyeti
- Yedek parça envanteri
- Eğitim maliyeti

2. C_{in} – Sistemin Montaj ve İşletmeye Alma Maliyeti:

Pompa ve tesisat montaj maliyeti aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır.

- Pompa sistemi inşaat maliyeti
- Pompa sisteminin yerine yerleştirme maliyeti
- Sistemin, proses borularına bağlantı maliyeti
- Sistemin elektrik bağlantılarının yapılması ve bunun için gerekli araçların maliyeti
- Sistemin performansının denetlenmesinin maliyeti
- Eğitim maliyeti

Genelde, bir pompa sisteminin montajı ya pompa sistemini satan kişi veya taşeron yada kullanıcı tarafından yapılmaktadır. Montaj maliyeti, montaj esnasında ihtiyaç duyulan ekipman ve personelin kabiliyetine göre değişmektedir. Sistemin ilk işletmeye alınması taşeron firma veya kullanıcı tarafından koordine edilmektedir. Kullanıcı personelin sistem ile ilgili eğitilmesi, başarılı bir montaj ve işletmeye almanın en önemli aşamasıdır.

İşletmeye alma esnasında yapılacak kontroller ekipmanın imalatçısı tarafından belirlenen özelliklere göre yapılmalıdır.

3. C_a – Mevcut Sistemi Sökme Maliyeti:

Kurulacak pompa sistemi mevcut bir pompa sisteminin yerine kurulacak ise mevcut pompa sisteminin sökülmesi gerekmektedir. Özellikle toksin ve radyoaktif sıvıları pompalayan sistemlerin sökülmesi esnasında yasal olarak alınması gereken tedbirler vardır. Bu tedbirlerin maliyeti oldukça yüksektir. Diğer tehlike taşımayan pompa sistemlerinin sökme maliyeti çok düşüktür. Bu nedenle montaj maliyeti içerisinde yer alabilmektedir.

4. C_{ne} – Sistemin Yıllık Enerji Tüketimi Maliyeti:

Özellikle pompa çalışma süresi yılda 2000 saatin üzerinde ise, enerji tüketimi, ömür boyu maliyet analizinin temel maliyet unsuru olmaktadır. Enerji tüketimi sistem çıkışındaki datalardan hesaplanır. Sistem çıkışındaki datalar sabit ise enerji tüketimini hesaplamak çok kolaydır. Sistem çıkışındaki debi ve basınçtan aşağıdaki formüle göre pompa sisteminin şebekeden çektiği güç hesaplanır.

$$P = \frac{Q \cdot H}{102 \cdot \eta_p \cdot \eta_m} (kW) \quad [2]$$

P	=	Pompa sisteminin şebekeden çektiği güç
Q	=	Debi (m ³ /h)
H	=	Basınc (mSS)
η_p	=	Pompa verimi
η_m	=	Motor verimi

Sistem debisi zamana göre değişken ise sistemin zamana göre enerji tüketiminin belirlenmesi gerekmektedir. Enerji tüketim eğrisinin altında kalan alan sistemin, ön görülen süre için enerji tüketimini vermektedir. Buradan da sistemin elektrik tüketimi maliyeti kolaylıkla hesaplanabilir.

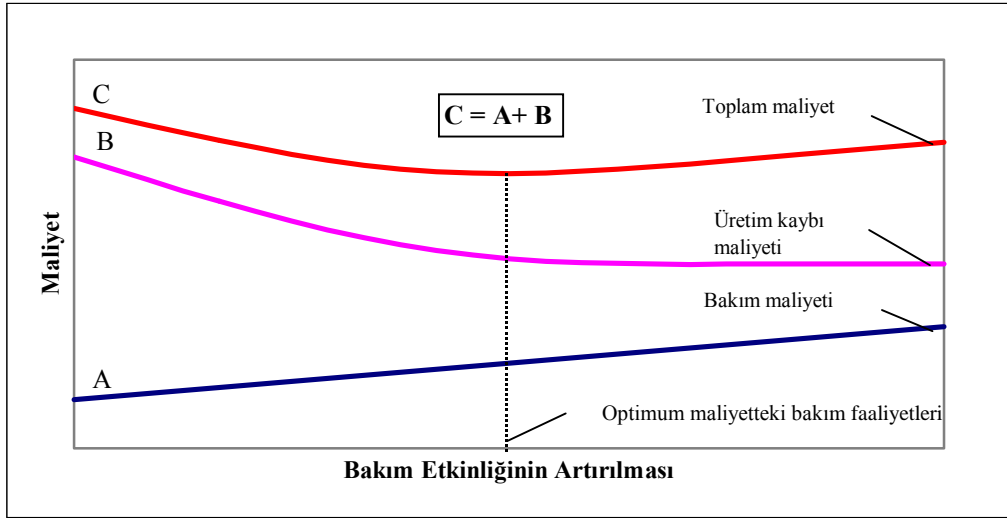
5. C_{no} – Sistemin Yıllık İşletme Maliyeti:

İşletme maliyeti, pompa sisteminin işletilmesi ile ilgili işçilik maliyetidir. İşletme maliyeti pompa sisteminin büyüklüğü ve karmaşıklığına bağlıdır. Örneğin tehlikeli durumlar için olan pompa sisteminin (yangın söndürme sistemi) işletilmesi ile ilgili işçilik gereksinimi yüksektir. Ancak tam otomatik ve tehlike durumuna sahip olmayan pompaların işletilmesi ile ilgili işletme maliyet oldukça düşüktür.

6. C_{nm} – Sistemin Yıllık Bakım Maliyeti:

Bir pompa sisteminin optimum ömür ile çalışma bilmesi için periyodik koruyucu bakımının yapılması gerekmektedir. Üretici firma, kullanıcıya yapılacak bakımların frekansını ve nasıl yapılacağını tanımlamak zorundadır. Yapılacak bakımların maliyeti, bakımın sıklığına, süresine ve bakım esnasında değiştirilecek malzemenin fiyatına bağlıdır.

Periyodik bakım faaliyetleri, temel bakım faaliyetlerinden çok gelişmiş (yağ analizi, kızıl ötesi izleme vb.) bakım faaliyetlerine kadar oldukça geniş bir faaliyet alanı içerisinde yer alabilmektedir. Sisteme hangi bakımların yapılacağına karar vermek için bakım faaliyetleri ve üretim kaybı maliyetinden oluşan toplam maliyet eğrinin tespit edilmesi gerekir (Şekil 2). Bu eğriden en düşük toplam maliyetten sisteme uygulanacak bakım faaliyetleri tespit edilir. Hangi periyodik bakım faaliyetlerinin uygulanacağını tespit edilmesi ile bu faaliyetlerin maliyeti de tespit edilmiş olur. Ancak sistemin periyodik bakımları dışında oluşabilecek arızaların da maliyetinin tahmin edilmesi gerekir. Bunun için olasılık ve istatistik biliminden yararlanılmaktadır. Sistem etkinliği bölümünde açıklayacağımız korunabilirlik kavramı ile periyodik olmayan arızaların tahmini yapılmaktadır. Böylece sistemin toplam bakım maliyeti hesaplanabilmektedir.



Şekil 2 Bakım etkinliği ve maliyet.

7. C_{ns} – Sistemin Arıza Nedeni İle Durma Ve Hatalı Üretim Maliyeti:

Sistemin arıza nedeni ile durması veya sistemin arıza nedeni ile hatalı üretim yapmasının maliyeti, toplam ömür boyu maliyet çalışmasında göz önüne alınması ve hesaba katılması gerekir. Sistemin arızalanması durumunda oluşacak iş kaybının maliyeti yüksekse sistemin durmasını engellemek için yedek pompa konularak sistemin durma riski azaltılır. Yedek pompalı sistemin, ilk yatırım maliyeti yüksektir. Ancak planlanmamış arızaların maliyeti azaltılmış olduğu için ömür boyu maliyet azalmış olur. Bir sistemin yedek pompalı olup olmayacağına, ömür boyu maliyet analizi yapılarak karar vermek gerekir.

Arızaların giderilme süresinin tahmini oldukça güçtür. Bunun için sistem etkinliği bölümünde açıklanan Korunabilirlik kavramı ile periyodik olmayan arızaların giderilme süresi tahmin edilebilmektedir. Periyodik olmayan arızaların giderilme süresi tahmin edildikten sonra, buna ilişkin iş kaybının süresi hesaplanabilmektedir.

8. C_{nev} – Sistemin Çevreye Verdiği Zararın Maliyeti:

Pompanın periyodik bakımlarında değiştirilen parçaların doğaya verdiği zararın maliyeti dir. Örneğin periyodik bakımlarda değiştirilen salmastra gibi malzemelerin çevreye zararsız hale getirilmesi için yapılan masrafin maliyetidir. Bu maliyet çoğunlukla diğer maliyetlerin yanında ihmal edilmektedir.

SİSTEM ETKİNLİĞİ:

Sistem etkinliği, ömür boyu maliyet hesaplamalarında kullanılan oldukça kullanışlı bir araçtır. Sistem etkinliği kavramı, 1991 ve 1996 yılları arasında pek çok bilim adamı (Blanchard 1995, Kececioglu 1995, Landers 1996, Pecht 1995 ve Raheja 1991) tarafından farklı şekillerde tanımlanmıştır. Sistem etkinliğinin hesaplanma amacı, hangi sistemin en uzun süre ile en düşük maliyete olacağına belirlemektir.

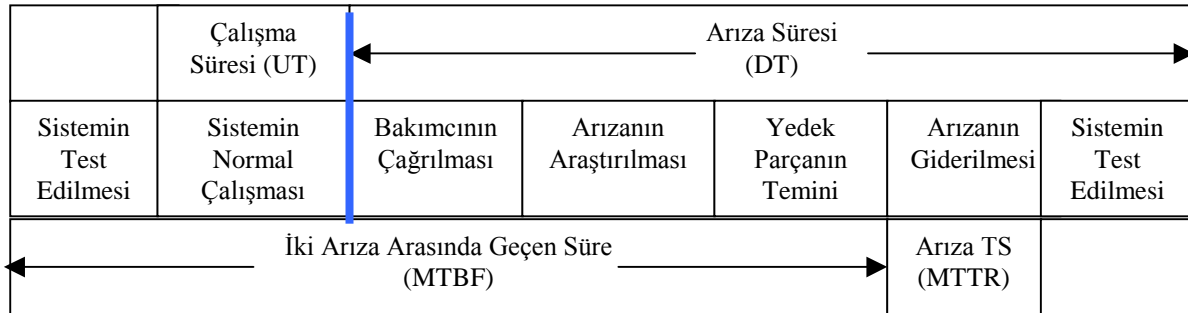
$$\text{Sistem Etkinliği} = \frac{\text{Etkinlik}}{\text{LCC}} \quad [3]$$

Maliyet, kullanılan kaynakların bir ölçüsüdür. Bütün olası elemanları içermese de, önemli kalemleri içermesi gerekmektedir. Etkinlik ise sisteme duyulan güvenin bir ölçüsüdür. Etkinlik kavramındaki her bir elemanın, sistemi öneren firma tarafından, sistemin anma değerlerine göre tanımlanması gerekir. Etkinlik 0 ile 1 arasında bir değer alabilmektedir.

$$\text{Etkinlik} = \text{Kullanılabilirlik} * \text{Güvenirlilik} * \text{Korunabilirlik} \quad [4]$$

Etkinlik kavramının ayrıntılarına girmeden önce bir sistemin çalışma ve arıza süreleri üzerinde açıklama yapmak gerekir. Şekil 3'teki tablodan da görüleceği gibi bir sistemin arıza süresi beş temel aşamanın toplamından oluşmaktadır. Bunlar;

- Bakımcının çağırılması
- Arızanın araştırılması
- Yedek parçanın temini
- Arızanın giderilmesi
- Sistemin test edilmesi



Şekil 3. Sistem çalışma ve arıza çevrimi.

1. Kullanılabilirlik (Availability):

Kullanılabilirlik sistemin çalışmaya müsait olma yüzdesini belirtir. Yukarıda yapılan arıza süresi tanımlarına göre aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$AV = \frac{UT}{(UT + DT)} \quad [5]$$

- AV = Kullanılabilirlik
 UT = Sistemin çalışmaya müsait olduğu süre
 DT = Sistemin çalışmaya müsait olmadığı süre

Eğer sistemin kullanılabilirlik oranı artarsa, sistemin çalışma süresi de artar. Eğer bir sistemin kullanılabilirlik oranını bilerseniz, bu sistemden yılda kaç saat faydalanacağımızı hesaplaya bilirsiniz. Eğer sistemin kullanılabilirliği %98 ise, bu sistem $0.98 \times 8760 \text{ saat/yıl} = 8584.8 \text{ saat/yıl}$ çalışabilir demektir.

2. Güvenirlilik (Reliability):

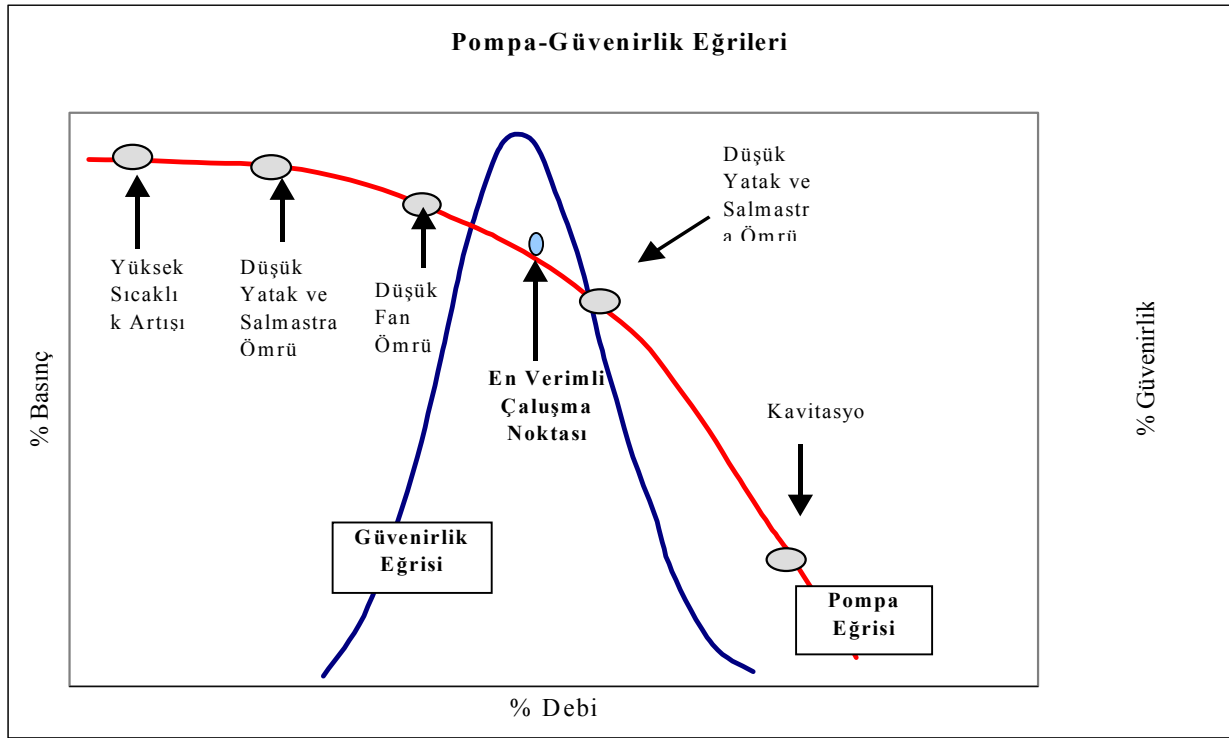
Sistem güvenirligi (Bazovsky,1961), bir sistemin belirli bir zaman araligi için arızasız çalışma olasılığını belirtir. Güvenirlilik kavramı verilen belirli bir zaman dilimi için tanımlanmaktadır ve sistem için tespit edilen iki arıza arasında geçen süreden hesaplanmaktadır. Bir sistemin güvenirligi yüksek ise arızasız çalışma olasılığı yüksektir demektir.

Ömür boyu maliyet bölümünde de belirttiğimiz gibi güvenirlilik kavramı ile periyodik olmayan arızalar tespit edilebilmektedir.

$$R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}} \quad [6]$$

MTBF = İki arıza arasında geçen süre

Örneğin bir pompanın 2 yıl arızasız çalışması isteniyor ve üreticinin beyan ettiği iki arıza arasında geçen süre (MTBF) 10 yıl ise bu pompanın güvenirligi %82'dir. Pompanın ilk iki yıl içerisinde arıza çıkartma olasılığı %18 dir.



Şekil 4. Pompa eğrisi ve güvenirlilik karşılaştırması.

Şekli 4'deki eğriden de görüleceği gibi pompa eğrisinin orta bölgesi pompaların güvenirliginin en yüksek olduğu bölgedir. Yani pompanın arıza çıkartma olasılığının en düşük olduğu bölgedir. Bilindiği gibi pompaların en verimli çalıştığı nokta da pompa eğrisinin orta noktasıdır. Bu noktanın dışına çıkıldıkça pompanın verimi azalmakta ve arıza çıkartma olasılığı da artmaktadır. Bu durum, pompa seçimi yaparken pompa eğrisinin orta noktalarında seçim yapmanın önemini bir kez daha vurgulamaktadır.

3. Korunabilirlik (Maintainability):

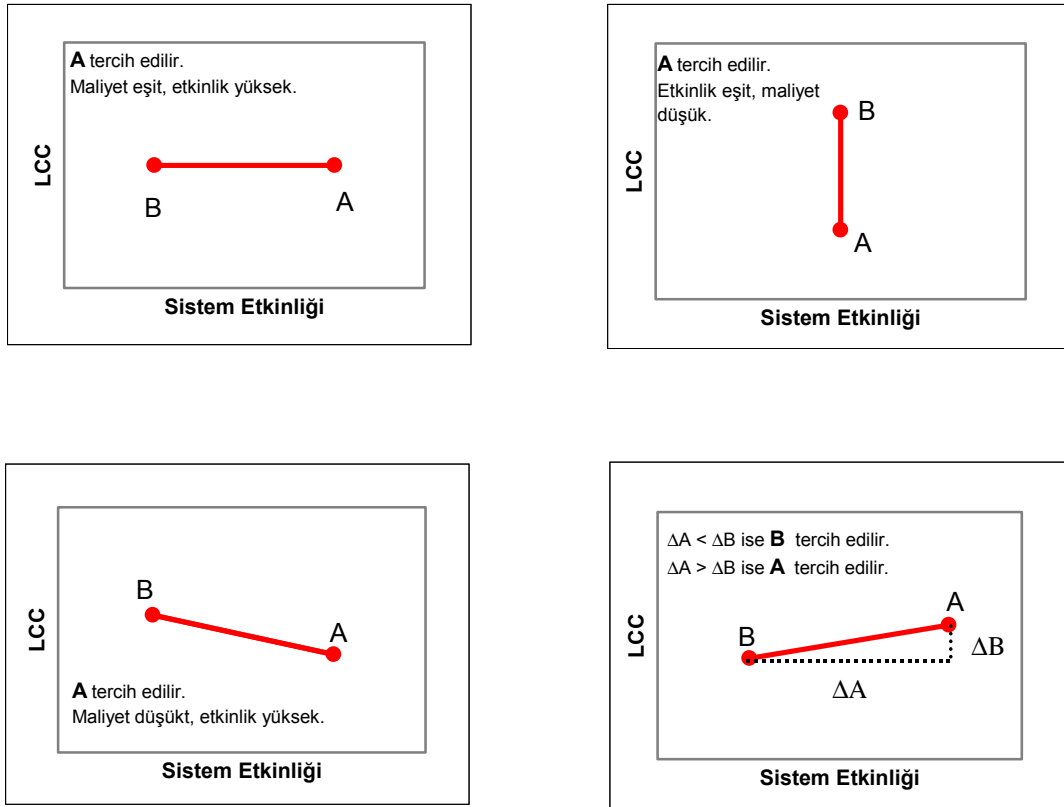
Korunabilirlik; sistem arızalandığı zaman, arızanın giderilerek en kısa sürede tekrar işletmeye geçme bilme olasılığıdır. Korunabilirlik arıza giderme süresi (MTTR) ne göre aşağıdaki bağıntıya göre hesaplanır. Sistemin korunabilirliği ile ilgili bilgilerin, sistemin tasarımcısı tarafından hazırlanan bakım prosedürlerinde yer alması gerekmektedir.

$$M(t) = 1 - e^{-\frac{t}{MTTR}}$$

[7]

Arıza süresi yukarıda belirtildiği gibi beş temel aşamadan oluşmaktadır. Aktif tamir ve arızanın tespit süresi, tamiri yapan kişinin eğitimi ve yeteneğine bağlıdır. Malzemenin temini ve bakımıcının bulunması gibi etkenlerden kaynaklanan maliyet, işletmenin yönetsel organizasyonuna bağlıdır.

Örneğin %90 korunabilirlik hedefi için 8 saatlik çalışma süresinde, sistemin arıza giderme süresinin (MTTR) 3.48 saat olması gerekir.



Şekil 5. Ömür boyu maliyet ve sistem etkinliği.

Sistem etkinliği, ömür boyu maliyet ve sistem seçiminde etkin bir araçtır. Şekil 5 teki grafiklerden de görüleceği gibi etkinliği yüksek ve maliyeti düşük olan sistem en düşük maliyetle en uzun süre ile işletilebilecek olan sistemdir.

SONUÇ:

Toyota fabrikalarında gelişerek tüm dünyaya yayılan yalın üretim felsefesi ile şirketler sürdürülebilir bir büyüme sağlayabilmek için, müşteri açısından değerini önemini ve nasıl yaratılabileceğini kavramaya başlamışlardır. Mevcut organizasyonlarını yeniden yapılandırırken veya yeni yatırımlar yaparken bu felsefeye uygun israfı ortadan kaldıran, maliyeti azaltan araçlar kullanmaya başlamışlardır. Sistem veya makine seçiminde ise kullanılan araçlar ömür boyu maliyet ve sistem etkinliğidir. Bu iki kavramın, şirket organizasyonları üzerindeki etkisi ise şu şekilde gerçekleşmektedir. Şirketler verimliliği yüksek, maliyeti düşük yatırımlar yapmaya başlamışlardır. Buna bağlı olarak da, şirketlerin bakım mühendisleri ve planlamacılarından oluşan bakım

departmanları, ekonometri araçları kullanarak mühendislik çözümler üreten işletme departmanı şekline dönüşmüştür.

Pompa kullanıcıları bakımından bakıldığında ömür boyu maliyet ve sistem etkinliği kavramları kullanım ihtiyacına göre sistem seçilmesini sağlamaktadır. Pompa imalatçıları bakımından bakıldığında ise, bu güne kadar çok fazla önemsenmeyen statiksel verilerin hazırlanması ve bunların pompa kullanıcılarının hizmetine sunulmasının önemi artmıştır.

KAYNAKLAR:

1. L.Frenning, G.Hovstadius, K.Alfredsson and B.Beekman “Pump Life Cycle Costs: A Guide To LCC Analysis For Pumping Systems”, Hydraulic Institute, New Jersey, 2001.
2. H. Paul Barringer, “Life Cycle Cost and Good Practices”, NPRA Maintenance Conference, Texas, May 19-22, 1998
3. J.M. Thorp, “Deconstructing Life Cycle Costing”, Pump & Systems Magazine, December 2000
4. D.L. Sturges, F.J. Brewerton, “A New, Old Way to View Organizations and Their Management”, International Business INTB 4365 Special Reding, <http://www.baclass.panam.edu>
5. Jeol Levitt, “Death of the Maintenance Department and What You Can Do About It.”. <http://www.maintenanceresources.com>
6. “Maintenance Techniques and Analysis”, <http://www.wmeng.co.uk>
7. “Machine Maintainability Should Be Designed In”, Plant Engineering Magazine, May 1997, <http://www.manufacturing.net/magazine/planteng>