

## Pompalarda Malzeme Kaynaklı Hasarlar ve Malzeme Seçimi

Hamdi Nadir TURAL

7. Pompa ve Vana Kongresi – Mayıs 2011

### Özet

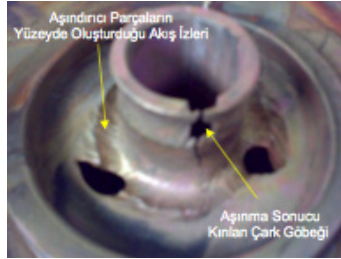
Korozyon ve erozyon kaynaklı malzeme kaybı, her yıl ülke ekonomisine bir servete mal olmaktadır. Yapılan araştırmalar, ülkelerin gelişmişlik düzeyine bağlı olarak Gayri Safi Milli Hâsıla'nın % 3'ü ile % 6'sı arasında bir kaybın korozyon nedeniyle oluştuğunu ortaya koymaktadır[1].

Kimya, petrokimya ve bu sektörlerle ilişkili diğer endüstriyel uygulamalarda hem fiziksel hem de kimyasal yöntemler kullanılarak ham maddeler satılabilir ürünlere dönüştürülmektedir. Ürünlerdeki çeşitlilik nedeni ile her bir ürün için farklı işlem adımları ve işlem koşulları ortaya çıkmaktadır. Tüketimde ortaya çıkan artışlar, üretim işlemlerinin hızlandırılmasını ve süreçlerin kısaltılmasını gerekli kılmakla beraber, henüz deneyim kazanılmamış bazı problemleri de beraberinde getirmektedir.

Bu bildiride, pompalarda oluşan hasarlar malzeme seçimi ve işletme koşulları açısından incelenecektir. Hasar oluşumundaki temel faktörler belirtilerek, hasarların oluşma şekilleri irdelenecektir. Bazı uygulamalar için malzeme seçimi konusunda yol gösterici bilgiler verilecektir.

### 1. Pompalarda Hasarlar

Pompalarda oluşan hasarlar incelendiğinde, hasara sebep olan birçok nedenden ancak birkaçı hakkında yeterli bilgiye ulaşılmaktadır. Hasarlar karmaşıklaştıkça, hasarla ilgili doğ-ru değerlendirmeleri yapmak zorlaşmakta, hatta yanlış değerlendirmeleri de beraberinde getirmektedir. Başarılı bir pompadan beklenen, performans ve uzun ömürdür. Performans pompanın basma yüksekliği, debi ve verimi ile ilgilidir. Ömür ise pompanın, kabul edilebilir bir performans ile çalışabilmesi için, bir veya birden fazla parçasının değiştirilmesinden önceki çalışma saatlerinin toplamıdır[2]. Başlangıçtaki performans pompa imalatçısının sorumluluğu altındadır ve hidrolik tasarımın sonucudur. Ömür ise, çalışma şartları altında kullanılan malzemelerin dayanıklılığının ölçüsüdür.



Şekil 1. İçinde kum içeren bir pompa çarkında aşınma

Parçalar yük altında farklı davranışlar sergilemektedir, ancak bu davranışlar malzemeden malzemeye değişmektedir. Doğru hasar analizi, parçalar üzerinde oluşan yüklerin ve bu yüklerin malzeme üzerindeki etkilerinin doğru belirlenmesi ile mümkündür. Örneğin, bir giriş üzerindeki kuvvetin iki katına çıkarılması sehimi de iki katına çıkaracaktır; ancak bir rulmanlı yatağa gelen kuvvetin iki katına çıkarmak, yatak ömrünü 8 ila 10 kat azaltacaktır.

Herhangi bir hizmet için en ekonomik malzeme seçiminde sadece pompanın tasarımı ve imalatı ile ilgili bilgiler yeterli olmaz. Ayrıca seçilen malzemenin pompadaki akış hızlarında erozyon ve korozyon özelliklerinin de bilinmesi gerekir. Deniz suyundan farklı sıvılar için santrifüj pompalarda karşılaşılan hızların korozyona etkisi hakkında çok az bilgi vardır.

Pompa ömrünü uzatan faktörler şunlardır:

- Düşük sıcaklıkta nötr sıvılar,
- Sıvı içerisinde aşındırıcı parçaların bulunmaması,
- Pompanın optimum debisinde veya bunun çok yakınında sürekli çalışması,
- Pompa girişinde Mevcut Net Pozitif Emme Yükünün, Pompaya Gerekli Net Pozitif Emme Yükünden yeteri kadar büyük olması (ENPY<sub>m</sub>>ENPY<sub>g</sub>),
- Düşük akış hızları.

Bu şartların tamamını sağlayan bir pompaj sistemi uzun ömürlü olur. Buna örnek olarak su dağıtım şebekelerinin pompaları gösterilebilir. Bronz çarklı ve pik gövdeli olan bu pompaların bazıları 50 yıllık veya daha eskidir. Bunun tersine örnek olarak da, içinde askıda aşındırıcı parçalar bulunduran korozif sıvıları basan kimyasal pompalar gösterilebilir. Bu örnekte pompaya, mevcut olan en dirençli malzemelerden yapılmasına rağmen, yıllarla değil "ancak aylarla" ömür biçilebilir.

## 2. Yıpranma Şekilleri

### 2.1. Mekanik Aşınma

Bazı durumlarda pompa sıvı içerisinde askıda bulunan aşındırıcı parçaları da basmak durumundadır. Bu, pompanın asıl görevi veya beklenmedik bir durum da olabilir. Eğer bu daha önce planlanmış bir durum ise, pompa malzemesi ve devir sayısı bu koşullara uygun olarak seçilmiş olacaktır.

Basılan sıvı içerisindeki parçaların boyutu, şekli ve konsantrasyonu konusunda yeterli bilginin alınamaması genellikle tecrübe edilen bir durumdur. Bu durum daha çok kullanıcının bu bilgiyi aktarmak istememesinden değil, bu bilgiye sahip olmamasından kaynaklanmaktadır. Eğer aşındırıcı parçaların aktarımı prosesin hedeflerinden biri değilse pompanın içinden geçecek parça miktarını tahmin etmek çok zordur.

Diğer yandan, aşındırıcı parçaların aktarılması pompanın seçim aşamasında öngörülmemiş olabilir. Bu çok sık karşılaşılan bir durumdur. Temiz sıvılar için tasarlanmış yüksek verimli pompalar, sıvı içerisindeki aşındırıcı parçalara sınırlı dayanım gösterebilmektedir.

Mekanik aşınma, basılan sıvı ile taşınan katı parçacıkların metal yüzeyinden kesme veya aşındırma sureti ile malzemeyi mekanik olarak kaldırması ile oluşur. Dalgalı bir yüzey aşınması çoğunlukla mekanik aşınmanın belirtisidir. Herhangi bir malzemenin aşınma hızı, askıdaki katı parçacıklarının aşağıda verilen özelliklerine bağlıdır:

- Katı parça konsantrasyonu,
- Katı parçanın büyüklüğü ve kütlesi,
- Katı parçanın şekli (küresel, köşeli veya keskin çapaklı yüzeyli),
- Katı parçanın sertliği,
- Katı parça ile metal yüzeyi arasındaki bağıl hız.

Aşınma hızı pompanın dönen ve sabit parçalarının malzemelerine de bağlıdır. Malzemenin sertliği mekanik aşınma direnci için tek ölçü olmakla birlikte, santrifüj pompalarda çok kullanılan sünek malzemelerin seçiminde çok uygun bir göstergedir.

Kırılgan malzemelerin, mesela pik dökümün, mekanik aşınma direncinin aynı sertlikteki çelik veya bronz malzemeden çok daha düşük olduğuna dikkat etmek gerekir. Sünek malzemelerde mekanik aşınma hızı katı parça hızının karesi ile orantılıdır. Kırılgan malzemelerde ise bu oranın parça hızının altıncı kuvvetine kadar çıkabildiğine dair belirtiler vardır.



Şekil 2. Aşınma ve Rulman problem sonucu parçalanmış bir çark

### 2.2. Kaviteasyon

Kaviteasyon buhar habbeciklerinin yoğunlaşması ile metal yüzeyinde meydana çıkan çok yüksek gerilmelerin sebep olduğu malzeme aşınmasıdır. Habbeciklerin yoğunlaşması sırasında basınç yerel olarak 1.5 GPa mertebelerine kadar çıkabilmektedir[3]. Korozif ortamda aşınma hızı gittikçe artar.



Şekil 3. Kaviteasyon Oluşumu

Santrifüj pompaların gerek projelendirilmesi ve gerekse kullanımı sırasında kaviteasyonu önlemek için her türlü çaba gösterilmesine rağmen pompanın optimum noktadan daha düşük debilerde çalıştırılması halinde her zaman bu amaç sağlanamaz. Şu da bilinmelidir ki, düşük debili çalışmada, beyan edilen ENPYg eğrisi genellikle tüm kaviteasyon tahribatının bastırılması için yeterli olmaz. Beyan edilen ENPYg, eğriler üzerinde gösterilen basma yüksekliği, debi ve verimi sağlayabilmek için gerekli olan değerdir. Düşük debilerde bir miktar kaviteasyon tahribatının olacağı beklenilmelidir. Bu düşük debilerde tüm kaviteasyonu önleyecek şekilde ENPY'yi sağlamaya çalışmak pratik değildir. O halde, düşük debilerde çalışmada bir miktar kaviteasyon olması beklenilmeli ve çark malzemesi değerlendirilmelidir.

Özellikle açık tip karışık akımlı çarklarda dönen kanatlar ile sabit gövde arasındaki dar aralıklar kaviteasyon erozyonuna duyarlıdır. Buna çoğunlukla kanat ucu erozyonu denir ve kanat ile gövde arasındaki aralıktaki vorteksler sebebi ile ortaya çıkar. Bu tip pompaların çark ve gövde malzemelerini değerlendirirken kanat ucu erozyonu ihtimalini de dikkate almak gereklidir.



Şekil 4. Kaviteasyonla aşınan östenitik-ferritik paslanmaz (sol) ve pik döküm(sağ) çark

Çok sayıda malzemenin kaviteasyon erozyonuna dirençlerini tespit etmek amacı ile yapılan çok kapsamlı laboratuvar deneyleri, santrifüj pompalarda kullanılan tüm malzemeler için veriler sağlamıştır. Laboratuvar verilerinden ve uygulamadaki tecrübelerden yararlanarak, pompa malzemelerinin kaviteasyon direnci özelliklerini veren direncinin artış sırasına göre şu şekilde verilmektedir[2]:

Pik döküm < Bronz < Çelik döküm<Martenzitik çelikler<Östenitik çelikler<Nikel-alüminyum bronzu<Stellite

## 2.3. Korozyon

### 2.3.1. Tanecikler arası korozyon

Tanecikler arası korozyon, malzemenin iç yapısında oluşan korozyondur. Metal yüzeyindeki direkt veya galvanik korozyondan farklı olarak, yüzeyde çok az belirti olduğu halde malzemenin mekanik özelliklerini aşırı olarak düşürür. Sadece iç yapı etkilendiğinden yüzeysel kontrollerde malzeme iyi durumda imiş gibi görünür. Bununla birlikte, gelişen tanecikler arası korozyon malzemenin parçalanmasına yol açacak mertebeğe ulaşabilir.

Östenitik paslanmaz çelik dökümün yavaş soğutulması sırasında karbit çökmesi sonucunda tanecikler arası korozyon oluşur. Korozif ortamda karbit özellikle etkilendir ve metal yapısı bozulur. Karbit çökmesi, dökümü önce 1100°C'ye kadar ısıtıp sonra su ile soğutulmasıyla kontrol edilebilir. Karbit 1100°C'de solüsyon halindedir ve çabuk soğuma ile çökmesi önlenir.



Şekil 5. Bir pompa gövdesinin salmastra bölgesinde oluşan tanecikler arası korozyon

Östenitik paslanmaz çeliğin tanecikler arası korozyona hassasiyeti alaşımdaki karbon miktarını kontrol ederek azaltılabilir. Standart östenitik paslanmaz çelikte (AISI304, AISI316, vb.) %0,08'den fazla karbon vardır. Uygun olmayan ısıl işlem nedeniyle bu çelik tanecikler arası korozyona eğilimlidir. 300 serisi içinde L sembolü ile gösterilen çok düşük karbonlu çelikler de vardır ve %0,03'ün altında karbon ihtiva eder. Bu çelikler tanecikler arası korozyona çok daha az duyarlıdır.

Pompalarda çark ve gövde için östenitik paslanmaz döküm düşünülürse tanecikler arası korozyon ihtimali dikkate alınmalıdır. Orta büyüklükteki dökümlerde düşük karbonlu çelik, doğru ısıl işlem uygulanmak kaydı ile yeterlidir. Çok daha pahalı olan %0,03 karbonlu çelikleri kullanmak gerekmez. Ancak daha büyük dökümlerde %0,03 karbonlu çelikleri düşünmek gerekir. Bu özellikle karışık akımlı ve aksel pompalarda kullanılan açık ve yarı-açık çarklarda doğrudur. Burada büyük ve yanaksız olan kanatlar su verme (soğutma) sırasında çok fazla çarpılabilir. Bu durumda hava ile soğutulmuş %0,03 karbonlu çelik tercih edilmelidir.

### 2.3.2. Erozyon korozyonu

Erozyon korozyonu rotodinamik pompaların en temel problemlerinden bir tanesidir. Akış yönünde at nalı şeklinde oluşan çukurlar ve parlak yüzeyli yapı en belirgin göstergesidir.

Bir akış içinde olduklarında metallerin birçoğunun korozyon hızı artar. Korozyon hızı parçaların akış doğrultusuna göre hücum açısına da bağlıdır. Genel kural olarak, hücum açısı arttıkça, yani akışkanın metal yüzeyinden ayrılması arttıkça, korozyon hızı artar. Ayrılmalar büyüdükçe türbülansın şiddeti artar, dolayısı ile yüzeyden metal kopmaları artar.

Çoğu metal ve alaşımların durgun haldeki sıvı ortamlarında korozyon hızı yüzeylerinde oluşan koruyucu tabakanın direncine bağlıdır. Bu tabakanın erozyonla zedelenmesi veya yerinden kaldırılması metalin korozif ortamda kalmasına sebep olur ve metal kaybı kesintisiz devam eder.

Santrifüj pompalarda özellikle çark erozyon korozyonuna duyarlıdır. Pompa gövdesi de erozyon korozyonuna maruz kalır fakat çarka nazaran daha az önemlidir. Çok sayıda kanatları olan difüzörlü gövdeler sadece tek kanatları olan salyangozlara nazaran çok daha fazla erozyon korozyonuna maruzdurlar. Aşınma bilezikleri de erozyon korozyonuna maruz kalırlar. Dolayısı ile malzeme seçiminde dikkat gerekir. Uygun malzeme seçilmediği takdirde dar aralıklardaki yüksek hızlı akışın etkisi ile aşırı aşınma olabilir. Genel kural olarak, sıvı aşındırıcı katı parçacıklar ihtiva etmemek şartı ile malzemenin seçiminde esas olarak hızlı ortamda korozyon direnci dikkate alınmalıdır. Eğer sıvının içinde aşındırıcı parçacıklar da varsa bu durumda malzeme seçiminde, hızlı ortamda korozyon direnci yeterli olmak şartı ile, mekanik aşınma direncini esas almak gerekir.

### 2.3.3. Galvanik korozyon

Kır döküm, demir ve grafit ihtiva eder. Grafit lameller halindedir ve pik dökümün karakteristik gri görünüşünü verir. Grafitin varlığı işleme sırasında yağlama etkisi sağlar. Bu özelliğe ilave olarak talaşın kolay kırılması pik dökümün çok kolay işlenebilmesini sağlar.



Şekil 6. Deniz suyu basan bir pompada galvanik korozyon

Bu özellikler ve çok düşük döküm maliyetleri pik dökümü pompa imalatında en çok kullanılan malzeme haline getirmiştir. Çeliğe göre düşük olan çekme gerilmesi ve esnekliği bir kenara bırakılırsa, pik dökümün korozyona dayanma özellikleri çok dikkatli incelenmelidir. Pik dökümün yapısında grafitin varlığı grafit korozyonu diye bilinen korozyona sebep olur. Bir elektrolitin varlığı halinde, demir ve grafit parçacıkları arasında galvanik pil oluşur. Demir anot ve grafit katot olur. Demirden grafitte galvanik akım başlar ve demir solüsyona karışır. Bu işlem yapıda sadece grafit kalıncaya kadar sürer. Orijinal döküm gözenekli grafit bir yapı haline dönüşür. Bu yapının fiziki özellikleri çok düşüktür. Döküm dıştan bakınca çok iyi görünmesine rağmen parmakla dokunmakla bile parçalara ayrılabilir.

Deniz suyunda çalışan pompaların pik döküm çarklarında grafit korozyonunun etkisi çok görülmüştür. Aynı çarklar elektrolitik olmayan sıvıları, mesela temiz su, bastıklarında grafit korozyonu görülmez. Deneyler göstermiştir ki pik döküm çarklar asla hafif tuzlu su veya deniz suyu basmak için kullanılmamalıdır. Aksi halde sonuç grafit korozyonu ile kesin bozulmadır.

#### 2.4. Yorulma

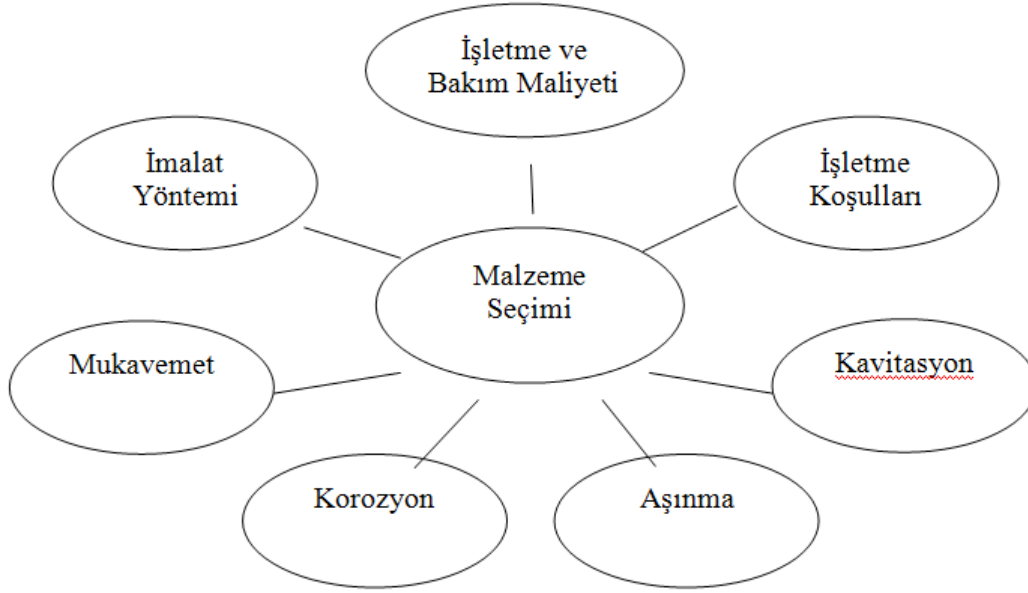
Değişken yüklere maruz kalan pompa parçalarının malzeme seçiminde malzemenin tam değişken zorlanma sınırı dikkate alınmalıdır. Tam değişken zorlanma sınırı, malzemenin sonsuz sayıda tam değişken gerilmeye maruz kaldığı halde bozulmadan dayandığı maksimum tam değişken gerilme değeridir. Mesela, çeliğin tam değişken zorlanma sınırı, çekme gerilmesinin yaklaşık %50'sidir. Çekme gerilmesi 400 MPa olan çelik statik halde bu gerilmeyi yaratan kuvvete dayandığı halde aynı gerilmeye sebep olan değişken yük altında çok kısa bir sürede bozulur. Gerilme değeri 200 MPa'a düşürülürse tam değişken zorlanma sınırı aşılmamış olacağından malzeme bozulmayacaktır. Fakat aynı çelik 200 MPa'lık tam değişken gerilmeye korozif ortamda maruz kalırsa kısa sürede bozulur[4]. Bozulma yorulma korozyonundan dolayı olur ve malzeme yüzeyinde kılcal çatlaklar oluşur. Korozif ortamda çatlakların bulunduğu malzeme yüzeyi hızla korozyona uğrar. Bunun sonucunda çatlaklar daha derine işler, korozyon artar ve sonunda malzeme bozulur.

Mesela, pompa mili her dönüşünde tam değişken yüke maruzdur ve malzemenin kullanıldığı yerdeki yorulma korozyonu dayanımına ve dönme hızına bağlı olarak belirli bir ömrü olacaktır. Mil ömrünün azalmasını önlemenin en uygun yolu mil burçları kullanarak milin sıvı ile temasını engellemektir.

#### 3. Malzeme Seçimi

Pompa malzemesinin ve malzeme kombinasyonlarının seçiminde birçok farklı parametrenin etkisi dikkate alınmalıdır. Bu farklı parametrelerin en önemlisi işletme ve bakım maliyetleridir. Pompanın çalıştığı sistem üzerinde sürekliliği sağlaması ve beklenmedik duruşlara yol açmaması beklenmektedir.

Günümüzde çok gelişmiş izleme sistemleri sayesinde titreşim, sıcaklık, gürültü gibi parametreler sürekli olarak takip edilmekte ve olası arızalar önceden kestirilebilmektedir. Ancak önemli olan arıza sıklığı ve bakım maliyetlerini minimize eden malzeme kombinasyonları seçmek esas olarak üzerinde durulması gereken konudur.



Şekil 7. Malzeme seçimine etki eden parametreler

Pompa tesisatlarının çoğu düşük servis faktörü ile çalıştırılmaya başlanır ve işletme tecrübeleri sonucunda malzeme kalitesi, kabul edilebilir parça değiştirme sürelerine ulaşıncaya kadar, yavaş yavaş artırılır. Çok korozif çalışma ortamlarında pompa ömrü süresince sıvı ile temasta olan parçaların tadil ve değiştirilmesinin gerekeceği beklenmelidir. Basılan sıvı ile ilgili kimyasal ve fiziksel bilgiler malzemenin ve pompanın yapısal özelliklerinin belirlenmesinde en temel etkindir. Zira sıvı içerisinde bulunan partiküllerin boyutu, şekli ve sertliği hem malzemenin belirlenmesinde hem de hidrolik elemanların (çark, gövde, vb.) konstrüktif özelliklerinin (açık çark, geniş salyangoz, vb.) belirlenmesinde temel etkindir. Diğer yandan, sıvının saflık derecesi ve içeriği korozyon ve aşınma bakımından farklı etkiler gösterebilmektedir.

Şu kadarı var ki, sıvı içerisinde eser miktarda bile olsa farklı maddelerin bulunması çözeltinin korozif etkisini büyük ölçüde değiştirmekte, bununla beraber malzeme seçimini de etkilemektedir. Örneğin eser miktarda klor ve tuz bileşiklerini içeren sıvıların korozif etkisi çok fazla artmaktadır. Tersine, kromat ve dikromat gibi bazı maddelerin sıvı içerisinde bulunması metal üzerindeki korozif etkiyi azaltmaktadır[5].

#### Kaynaklar

- [1] "Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States", Teknik Rapor, Birleşik Devletler Federal Otoyol Yönetimi, 2002.
- [2] Karassik I., "Pump Handbook", 3. Baskı, McGraw Hill, 2001.
- [3] Stachowiak G.W., Batchelor A.W., "Engineering Tribology", Butterworth, 2000.
- [4] Eryürek B., "Hasar Analizi", 1. Baskı, Birsen Yayınevi, 1993.
- [5] "Hydraulic Institute Standards for Centrifugal, Rotary & Reciprocating Pumps", 14. Baskı, Amerikan Hidrolik Enstitüsü, 1983.
- [6] Wegst C.W., "Stahlschlüssel", Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH, 2010.
- [7] Tural H.N., "Santrifüj Pompalarda Karakteristik Arızalar", Seminer Notları, İstanbul, 2008.
- [8] Fontana M.G., "Corrosion Engineering", 3. Baskı, McGraw Hill, 1986.
- [9] Palgrave R., "Troubleshooting Centrifugal Pumps and Their Systems", Elsevier, 2003.
- [10] Nesbitt B., "Handbook of Pumps and Pumping: Pumping Manual International", Elsevier, 2006.