

Santrifüj Pompalarda Kavitezyon Problemi ve Maksimum Emme Yüksekliği (MEY) Hesabı

E. Cezmi Nurşen

7. Pompa ve Vana Kongresi – Mayıs 2011

ÖZET

Santrifüj pompaların kavitezyonda işletilmeleri, enerji ekonomisi, titreşim, gürültü ve çalışma ömrü açısından istenmeyen durumlar oluşturmaktadır. Uygulamada bu konunun önemi bilinmediğinden veya göz ardı edildiğinden dolayı, pompaların pek çok defa kavitezyonda işletmeye maruz kaldıkları görülmektedir.

Kavitezyon problemi, pompa üreticilerinden çok tesisat tasarım mühendislerinin veya pompa son kullanıcılarının, pompa emme tesisatlarının tasarımı ve yapımı aşamasında dikkat etmeleri gereken bir unsurdur. Bu durum pompaların işletmesi açısından birinci derecede önem arz etmektedir.

Bu bildiri de kavitezyon konusunun daha iyi anlaşılması bakımından kısa bilgiler verilmekle birlikte özellikle son kullanıcılara yönelik bilinen ancak yeterince önemsenmeyen maksimum emme yüksekliği (MEY) hesabının basitçe nasıl yapılacağına örneklerle gösterilmesi amaçlanmaktadır.

1. GİRİŞ

Santrifüj pompalarda alışılğelen seçim kriteri genelde belli bir debiyi belli bir performans ile belirli bir basma yüksekliğine basması şeklinde dir. Gerek işletmelerdeki son kullanıcılar ve gerekse tesisat tasarım mühendisleri genellikle pompanın daha ziyade basma tarafı ile ilgilenirler. Emme tarafındaki tesisatın tasarımı çoğu zaman çok fazla önemsenmez veya göz ardı edilir. Halbuki bir santrifüj pompanın sağlıklı bir şekilde basabilmesi için, sağlıklı bir şekilde de emmesi gerekir. Teknik üniversitedeki hocalarımından her zaman duyduğum bu konu ile ilgili çok sevdiğim bir söz vardır; “pompa emmesiyle emer, basmasıyla basar”. Bu söz çok basit gibi görünse de aslında biraz düşünülüğünde pompaların emme tarafına ne kadar fazla önem verilmesi gerektiğini bize söylemektedir.

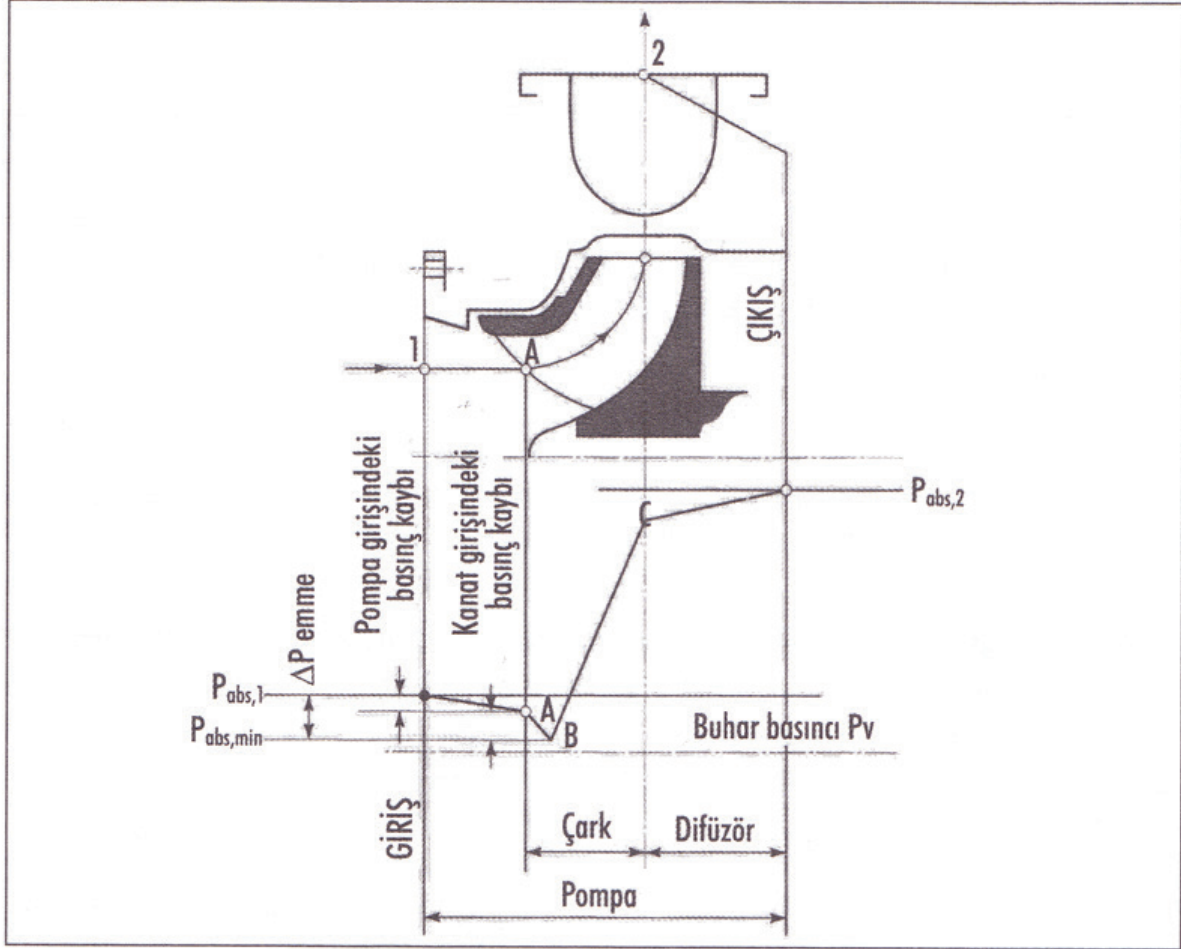
Pompaların emme tesisatlarının iyi tasarlanmaması sonucunda bizleri bekleyen ve pompacıların en çok korktuğu problem ortaya çıkar. Kavitezyon. Bu bildiri de pompaların baş düşmanı kavitezyondan nasıl kaçınılacağı ve kaçınılmazsa neler olacağı hakkında bilgi verilmesi amaçlanmaktadır. Aynı zamanda kavitezyon denildiği zaman ilk akla gelen ENPY (NPSH), ENPYG(NPSHR) ve ENPYM(NPSHA) kavramları kısaca tarif edilecektir. Bunların yanı sıra santrifüj pompaların emme tesisatlarının tasarımında çok işe yarayan, anlaşılması fiziksel anlamı itibariyle ENPY(NPSH) kavramına göre daha kolay olan Maksimum Emme Yüksekliği (MEY) hesabının basit olarak nasıl yapılacağı üzerinde durulacak ve basit örneklerle anlatılmaya çalışılacaktır.

2. KAVİTASYON NASIL MEYDANA GELİR

Bir santrifüj pompanın çark giriş kesiti (impeller eye) alanı, pompa emme flanşı kesitinden her zaman küçüktür. Akışkan bu kesitten geçerken hızlanır ve dolayısıyla basıncı düşer (Resim 1). Debi ne kadar fazlaysa, bu kesitteki hız o kadar fazla olacağından dolayı, bu basınç düşüşü de aynı oranda fazla olur. Debinin belli bir kritik değerinde buradaki basınç, sıvının buharlaşma basıncının altına düşerse sıvı içinde küçük gaz kabarcıkları oluşmaya başlar. Akış ile birlikte kanatların arasında sürüklenmeye başlayan bu kabarcıklar, basıncın buharlaşma basıncının üzerine çıktığı bir bölgeye geldiklerinde aniden patlayarak yok olurlar. Bu patlamalar neticesinde boşalan hacimler aynı hız ile sıvı tarafından doldurulur. Dakikada binlerce kez gerçekleşen bu fiziksel olay sırasında meydana çıkan basınç değerleri yüzler ve hatta binlerce bar mertebesindedir. Özellikle kanat emme kenarlarına yakın bölgelerde meydana gelen bu olaya kavitezyon diyoruz.

Pompalardan beklenen en önemli özelliklerden birisi de pompanın sıvıyı ne kadar yüksekte emebileceğidir. Bu özelliğin saptanabilmesi için ENPY, Emmedeki Net Pozitif Yük, (NPSH) kavramına açıklık getirelim. Burada iki farklı bakış açısıyla iki farklı tanımlama yapacağız. İlk önce pompa açısından baktığımız zaman, ENPYG, Emmedeki Net Pozitif Yük Gerekli, (NPSHR) kavramı karşımıza çıkmaktadır. ENPYG, pompa imalatçısı tarafından sadece ve sadece özel olarak yapılan kavitezyon deneyleri ile belirlenebilen ve debi arttıkça artan bir karakteristiğe sahip olan bir büyüklüktür. Tesisat açısından baktığımız zaman ise karşımıza ENPYM, Emmedeki Net Pozitif Yük Mevcut, (NPSHA) kavramı çıkmaktadır. Bu büyüklük ise diğerinin tersine debi arttıkça azalan bir karakteristiğe sahiptir ve hesap yöntemiyle bulunur. Pompanın işletilmesi sırasında

her zaman $ENPYG < ENPYM$ şartı sağlanmalıdır.



Resim 1 – Pompa çarkındaki basınç dağılımı

3. MAKSİMUM EMME YÜKSEKLİĞİ HESABI

Biz burada pompanın emme kabiliyetini veya bir başka deyişle kavitasyona girip girmeyeceğini belirlerken, fiziksel anlamı itibarıyla daha basit anlaşılacağını düşündüğümüz Maksimum Emme yüksekliği (MEY) kavramı üzerinde duracağız. Çok basit bir anlatımla aslında bir pompanın kavitasyona girip girmeyeceği sorusunun cevabı, o pompanın sıvıyı belli bir derinlikten emip emmeyeceğinin tespiti ile bulunabilir. Bu tespit ise MEY hesaplanarak yapılır.

Bilindiği gibi santrifüj pompaların emiş yapabilmesinin sırrı aslında bulunduğu ortamdaki atmosferik hava basıncıdır. Eğer santrifüj pompamızı dünya yerine aya götürsek ve çalıştırsaydık hiçbir şekilde negatif yükseklikten (pompa emme flanş ekseninin altından) emiş yapmasını bekleyemerdik. Çünkü ayın etrafında bir atmosfer olmadığı için herhangi bir basınç ta yoktur. Buradaki basınç bizim mutlak sıfır dediğimiz basınca çok yakın bir basınçtır. Dünyada deniz seviyesinde atmosfer basıncı 1.0133 bar yani diğer bir deyişle 10.33m'dir. Buna göre dünya üzerinde yapılabilecek en mükemmel pompa (NPSHR~ 0m olan), en mükemmel bir emiş tesisatına bağlansa (toplam kaybı ~0m) deniz seviyesinde maksimum 10.33m den emiş yapabilir. Bu yükseklikten daha fazla yüksekliklerde emiş yapabilen pompalar ise üzerlerinde emiş yapabilmeleri ile ilgili özel tertibatlar kurulmuş pompalardır.

Deniz seviyesinden yükseldikçe atmosfer basıncı da düşmektedir. Atmosfer basıncının yükseklikle değişimi aşağıdaki ampirik formül ile he-

saplanabileceği gibi bu formüle göre hesaplanmış (Tablo 1)'deki değerler de kullanılabilir.

Tablo 1- Atmosfer basıncının yüksekliğe bağlı değişimi

H (km)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Patm,H (bar)	0,9546	0,8988	0,8455	0,7949	0,7468	0,7010	0,6576	0,6163	0,5772
H (km)	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9
Patm, H (bar)	0,5401	0,5050	0,4717	0,4402	0,4105	0,3824	0,3559	0,3309	0,3073

Bir santrifüj pompanın maksimum emme yüksekliğini (MEY) hesaplamak için, deniz seviyesindeki standart atmosfer basıncından, bir takım emme yeteneğine ters etki yapan faktörlerin çıkartılması gerekmektedir. Bu faktörler; deniz seviyesinden yükseklik, sıcaklığa bağlı buharlaşma basıncı, pompanın ENPYG (NPSHR) değeri, emme borusundaki kayıplar ve güvenlik faktörüdür. Buna göre pompanın maksimum emme yüksekliğini hesaplamak için aşağıdaki formülün uygulanması yeterlidir.

Bu formüldeki büyüklükler ve boyutları aşağıdaki gibidir.

Patm, H : Yüksekliğe bağlı yerel atmosfer basıncı, Pascal (Pa) , (Hatırlatma 1 bar = 100.000 Pa)

X : Suyun yoğunluğu, kg/m³ , (Hatırlatma :sıcaklığa ve konsantrasyona bağlı değişim gösterir, bkz Tablo 2)

g: Yer çekimi ivmesi, m/s², (Hatırlatma: enlem ve boylama göre değişse de hesaplarda 9.81m/s² kullanılabilir)

Pb : Suyun buharlaşma basıncı, Pascal(Pa), (Hatırlatma: sıcaklığa bağlı değişir, bkz Tablo 2)

Xe : Emme borusundaki toplam kayıp, m

ENPYG : Emmedeki Net Pozitif Yük Gerekli, m,

Tablo 2- Suyun buharlaşma basıncının ve yoğunluğunun sıcaklığa bağlı değişimi

Sıcaklık (°C)	P _s (bar)	ρ (kg/m ³)	Sıcaklık (°C)	P _s (bar)	ρ (kg/m ³)
0	0,00611	999,8	155	5,433	912,1
5	0,00872	1000	160	6,181	907,3
10	0,01227	999,7	165	7,008	902,4
15	0,01704	999,2	170	7,920	897,3
20	0,02337	998,3	175	8,924	892,1
25	0,03166	997,1	180	10,027	886,9
30	0,04241	995,7	185	11,233	881,5
35	0,05622	994,0	190	12,551	876,0
40	0,07375	992,3	195	13,987	870,4
45	0,09582	990,2	200	15,549	864,7
50	0,12335	988,0	205	17,243	858,8
55	0,15741	985,7	210	19,077	852,8
60	0,19920	983,2	215	21,060	846,7
65	0,2501	980,5	220	23,198	840,3
70	0,3116	977,7	225	25,501	833,9
75	0,3855	974,8	230	27,976	827,2
80	0,4736	971,6	235	30,632	820,6
85	0,5780	968,4	240	33,478	813,6
90	0,7011	965,2	250	39,776	799,2
95	0,8453	961,6	260	46,943	783,9
100	1,0133	958,1	270	55,058	767,8
105	1,2080	954,5	280	64,202	750,5
110	1,4327	950,7	290	74,461	732,1
115	1,6906	946,8	300	85,927	712,2
120	1,9854	942,9	310	98,70	690,6
125	2,3210	938,8	320	112,89	666,9
130	2,7013	934,6	330	128,63	640,4
135	3,131	930,2	340	146,05	610,2
140	3,614	925,8	350	165,35	574,4
145	4,155	921,4	360	186,75	527,5
150	4,760	916,8	370	210,54	451,8

Pratik hesap yapabilmek ve olayın fiziğini daha iyi anlayabilmek adına (2) deki terimlerin üzerinden teker teker geçelim;

I. Terim : Bu terimdeki Patm, H yerine doğrudan yükseklik farkı da dikkate alınarak Tablo 1'deki atmosfer basıncı değerleri kullanılacaktır. Aynı zamanda belli sıcaklıkta suyun yoğunluğu da değişeceğinden, bu yoğunluk değeri de formülde kullanılmalıdır.

II. Terim : Bu terimdeki Pb yerine doğrudan Tablo 2'deki suyun belli bir sıcaklıkta buharlaşma basıncını gösteren değerler kullanılacaktır. Suyun yoğunluğu dayine sıcaklığa bağlı değiştiği için göz önüne alınmalıdır.

III. Terim Xe : Bu terim santrifüj pompanın emme hattındaki tüm boru elemanları, süzgeç, filtre, redüksiyon, varsa izolasyon vanası vs'nin istenen çalışma noktası debisine göre hesaplanan toplam kayıptır. Birimi [m] cinsinden formüle yazılmalıdır.

IV. Terim ENPYG : Pompa üreticisi tarafından verilen ve sadece yapılan özel kavitasyon deneyleri ile belirlenen parametredir. Birimi [m] cinsinden formüle yazılmalıdır. Burada hemen belirtmekte yarar vardır ki, santrifüj pompa üreticisi bu deneyi her zaman akışkan su kullanarak yapar. Dolayısıyla ENPYG değeri su için verilen değerdir. Eğer akışkan sudan farklı ise formülde o akışkana ait değerler kullanılmalıdır ve bu arada ENPYG değeri için de eğer varsa literatürdeki düzeltme yaklaşımları uygulanmalıdır.

V. Terim SF Güvenlik Faktörü : bu faktör genel olarak 0,6m – 0,9m arasındadır. Yerel atmosfer basıncındaki değişimleri karşılamak üzere formüle konulmalıdır. Burada söylememiz gereken bir husus ta şudur ki hesaba katılan bu güvenlik faktörü hesapta yapılabilecek yanlışlıklar için veya formülde yerine koyduğumuz değerlerdeki olağan hatalı kabuller için konulmamıştır. Neticede formülde kullanılan atmosfer basıncı, buharlaşma basıncı, yoğunluk ve emme boru kayıpları çok az hata ile bilebileceğimiz değerlerdir. Eğer pompa üretici firmasının verdiği ENPYG değeri de doğruysa hata payımız çok az olmaktadır. Kritik hatlarda pompa üretici firmasıyla temasa geçip ENPYG değerinin doğruluğu onaylatılmalıdır.

4. ÖRNEK UYGULAMA

Örnek 1: Yine $Q=300m^3/h$, $H_m =50m$ çalışma noktasında bu sefer 140oC sıcak suyu 1500m deniz seviyesinden yüksekte 2.5m beslemeli sistemden (su seviyesi ile pompa çark eksenini arası mesafe) bir santrifüj pompa ile emiş yaptırmak istiyoruz. Bu arada pompanın emiş flanşındaki basınç ise 2.8 bar'dır. Pompamızın performans eğrisinden çalışma noktası için okuduğumuz ENPYG değeri yine 3m ve emme borusundaki toplam kaybımız 0.5m olduğuna göre, bu pompanın çalışma sırasında kavitasyona girip girmeyeceğini tespit edelim.

Aynı şekilde Tablo 1 'den 1500m yükseklik için atmosfer basıncı 0.8455 bar, Tablo 2 den 140oC sıcak su için buharlaşma basıncı 3.614 bar ve yoğunluk 925,8kg/m³ değerlerini okuyarak bu değerleri (2) de yerine koyalım;

Çıkan bu değer, santrifüj pompamızın verilen çalışma koşullarında minimum 34.58m beslemeli olarak çalışabileceğini bize söylemektedir (negatif işarete dikkat). Halbuki mevcut sistemimizin emme tarafımızda;

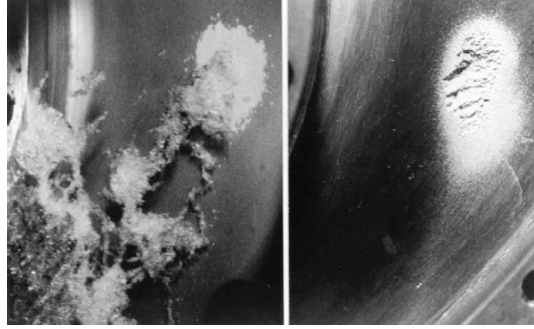
eşdeğer su yüksekliğimiz bulunmaktadır. Bu durumda istenilen çalışma koşullarında pompamızın kavitasyonda çalışacağını söyleyebiliriz.

5. KAVİTASYON OLUŞMASININ SEBEPLERİ, SONUÇLARI VE ALINABİLECEK ÖNLEMLER

Öncelikle şunu söylemeliyiz ki kavitasyon, basıncın düşük olduğu bölgelerde ortaya çıkacağına göre santrifüj pompaların çarkının giriş ağzında, çark kanatlarının hücum kenarı boyunca, kademeli pompalarda sadece ilk çarkın girişinde bu olayın oluşma ihtimali vardır. Kavitasyona uğramış bir çark Resim 2'de görüldüğü gibi bir hal alır. Bu resmi görülen çark yüksek kavitasyona maruz kalmış bir çarktır ve çok kısa bir zamanda hasara uğramıştır. Aynı zamanda Resim 3'de kavitasyon sonucu oluşan süngerimsi yapı görülebilir.



Resim 2- Kavitasyon sonucu hasara uğramış çark



Resim 3 - Kavitasyon ve hasar oluşumu

Kavitasyonu oluşturan işletme ile ilgili başlıca faktörleri şu şekilde özetleyebiliriz;

1. Deniz seviyesinden yükseldikçe kavitasyon riski artar.
2. Emme haznesindeki düşük basınç kavitasyonu kolaylaştırır.
3. Pompanın ani durması / yol alması sonucu sıvı kolonunun kopması ile geçici kavitasyon oluşabilir.
4. Emme borusu yük kayıplarının fazla olması kavitasyon riskini artırır.
5. Kavitasyon riski olan kritik hatlarda ENPYG değeri mümkün olduğu kadar küçük pompa seçimine önem verilmelidir. Gerekirse verimden feragat edip öncelikle emme yeteneği yüksek olan pompalar seçilmelidir
6. Sıvı içinde erimiş halde bulunan hava ve gazların miktarı arttıkça kavitasyon kolaylaşır
7. Sıvı sıcaklığı arttıkça, buharlaşma basıncı da artacağından kavitasyon tehlikesi büyür.
8. Gaz kabarcıkları katı cıdarlar üzerinde oluşacağından sıvı içindeki asılı maddelerin çoğalması kavitasyonu kolaylaştırır.
9. Sıvı ve buhar fazlarının dengesinde rol oynayan yüzey gerilimi, buhar yoğunluğu ve ısı iletkenlik kavitasyonu etkiler.

Kavitasyondan kurtulmak için yapılması gerekenler hususunda aşağı yukarı her yerde genelde aynı önlemlerden bahsedilir. Biz de aslında bunlardan farklı birşey söylemeyeceğiz ancak birkaç önemli ayrıntıya da burada değinmeden geçmek doğru olmaz;

Dikkat edilmesi gereken bir önemli husus yalıtım konusudur. Normalde yalıtım tabii ki iyi bir şey ancak yalıtımın ne zaman yapıldığı çok önemli. Eğer pompa sistemi tasarlandıktan, kurulumu yapıldıktan sonra keyfi olarak yalıtım yapılmışsa problem olabilir. Yalıtım, borudan daha fazla ısı transferine yol açar. Örneğin yalıtım yaparak sıcaklığın 80oC'den 90oC'ye çıkartılması tesisatın ENPYM değerini 2.5m azaltır. Bu da kavitasyonun başlaması için yeterlidir. Sadece yalıtım konusunda değil bütün sistem olarak bu örneği genişletecek olursak, pompa tesisatının ilk tasarlandığı duruma göre şimdiki durumu ne kadar farklılık gösteriyor iyi incelenmelidir.

Bir başka çok önemli husus ise pompa çalışırken oluşan emme kaynaklı hava kabarcıkları ve yüzey girdaplarıdır. Yukarıda yaptığımız bütün bu hesaplar ideal çalışma için geçerlidir. Eğer pompa bir şekilde hava emiyorsa her ne kadar ENPYM>ENPYG şartı da sağlansa, hesaplanan MEY yeterli gibi bile görünse pompa kavitasyona girebilir. Resim 4 de bir dalgıç pompanın çalışırken, yetersiz dalma yüksekliği veya bir başka deyişle pompa emmesinin üzerinde olması gereken minimum su seviyesi azlığı nedeniyle emmesinden içeri giren yüzey girdabı görülmektedir. Bu şekilde girdaplardan ve emmeye hava girmesinden sakınmak için tesisat üzerinde muhakkak önlemlerin alınması gereklidir. Birçok tesisatta MEY yüksekliği şartı sağlanmasına rağmen, bu konuya yeterince önem verilmediği için pompalar çoğu zaman kavitasyonda işletmeye maruz bırakılmaktadırlar.

Genelde pompalarda kavitasyon bölgesi optimum noktadan sonraki bölgedir. Bu optimum noktadan sonra pompaların ENPYG karakteristiği üstel olarak debiye göre artar. Eğer pompa kavitasyona girmişse genelde bu durumdan kurtulmak için yapılan şey ayar vanasının kısılmasıdır. Vanayı kısmak tabiri caizse yağmurlu bir günde akıtan damın altına kova koymakla aynı şeydir. Damdaki deliğin yerini biliyoruz ancak yağmur yağarken damı tamir edemiyoruz ve yine hava güneşliken de tamir etmeye ihtiyaç duymuyoruz. Yani vanayı kapatmak yerine en baştan sistemimizi kurarken kavitasyon riskini de düşünerek önlemimizi önceden almalıyız. Uç bir benzetme yapacak olursak; arabanız ya da bilgisayarınız artık tamamen isteklerinizi karşılamadığı zaman ne yapıyorsunuz? Değiştiriyorsunuz. Eğer pompanız da sisteminizin ihtiyacını karşılamıyorsa hiç uğraşmayın değiştirin. Yine de pompanızı değiştirmek istemiyorsanız, işte size birkaç çözüm; pompanızı torna tezgahına koyun ve emmesini genişletin, yalnız salyangoz diline dikkat edin!, pompanızı emme tankına yaklaştırmayı deneyin yahut mümkünse dalgıç pompa kullanın.

KAYNAKLAR

- [1] Yazıcı H.F., "Su Makinaları Problemleri", sh 44-63, İTÜ, 1983
- [2] Stepanoff A.J., "Centrifugal and Axial Flow Pumps", sh225-268, Krieger, 1957
- [3] Özgür C., "Su Makinaları Dersleri", sh 182-188, İTÜ, 1977
- [4] Trokolanski A.T., Lazarkiewicz S., "Impeller Pumps", sh 367-395, Pergamon, 1965