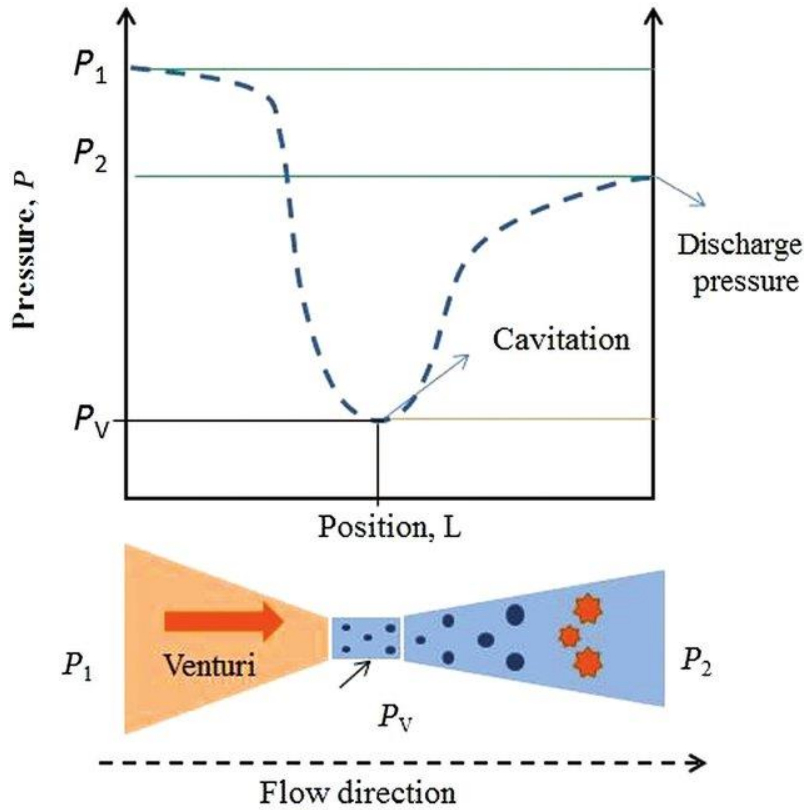


1. Kaviteasyon

Saf maddelerin faz değişim süreçlerinde sıcaklık ve basıncın bağımlı özellikler olduğu ve sıcaklıklar ile basınçlar arasında birebir ilişki olduğu iyi bilinmektedir. Belirli bir basınçta, saf bir maddenin faz değiştirdiği sıcaklığa doyma sıcaklığı (T_{sat}) denir. Aynı şekilde, belirli bir sıcaklıkta, saf bir maddenin faz değiştirdiği basınca doyma basıncı (P_{sat}) denir. Örneğin, 1 atmosfer mutlak basıncında (1 atm veya 101.325 kPa), suyun doyma sıcaklığı 100°C 'dir. Tersine, 100°C sıcaklıkta suyun doyma basıncı 1 atm'dir. Bir saf maddenin buhar basıncı P_v , belirli bir sıcaklıkta sıvısı ile faz dengesi içindeki buharının uyguladığı basınç olarak tanımlanır. P_v , saf maddenin bir özelliğidir ve sıvının doyma basıncı P_{sat} ile aynıdır ($P_v = P_{sat}$). Bir saf maddenin sıvı ve buhar fazları arasındaki faz değişim süreçlerinde, buhar saf olduğu için doyma basıncı ve buhar basıncı eşdeğerdir. Buhar basıncı sıcaklıkla artar. Dolayısıyla, daha yüksek sıcaklıklarda bir madde daha yüksek basınçlarda kaynar. Eğer sıvı basıncı buhar basıncından büyükse, sıvı ve buhar arasındaki tek değişim arayüzdeki buharlaşmadır. Ancak, sıvı basıncı buhar basıncının altına düşerse, sıvı içinde buhar kabarcıkları oluşmaya başlar.



Şekil 1. Ventürimetre boyunca kaviteasyon oluşumu (Carpenter vd., 2018).

T.C.
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Mühendislikte Deneysel Metotlar II Kaviteasyon Deney Föyü

Sıvı akış sistemlerinde sıvı basıncının bazı bölgelerde buhar basıncının altına düşmesi ve bunun sonucunda istenmeyen buharlaşmanın meydana gelmesiyle kaviteasyon oluşur (bkz. Şekil 1). Örneğin, 10°C'deki su, basıncın 1.23 kPa'nın altına düştüğü yerlerde (pervane uçları veya pompaların emme tarafları gibi) buhara dönüşür ve kabarcıklar oluşturur. Buhar kabarcıkları, düşük basınç bölgelerinden uzaklaştıkça Şekil 2 ve 3'teki gibi çöker ve son derece yıkıcı, çok yüksek basınçlı dalgalar üretir. Performans düşüşünün ve hatta pervane kanatlarının aşınmasının (bkz. Şekil 5) yaygın bir nedeni olan bu fenomen, kaviteasyon olarak adlandırılır ve hidrolik türbinler ve pompaların tasarımında önemli bir husustur.

Literatürde kaviteasyon sayısı (Ca) Denklem 1'deki gibi formülize edilir. Burada p_a ortam basıncı, p_v buhar basıncı, V karakteristik hız ve ρ akışkan yoğunluğudur (White, 2016). Geometriye bağlı olarak, belirli bir akışın kavite olmaya başlayacağı kritik bir Ca değeri vardır

$$Ca = \frac{p_a - p_v}{\frac{1}{2}\rho V^2} \quad (1)$$

2. Kaviteasyon Oluşum Aşamaları

Kaviteasyon akış sistemleri içerisinde şu ana adımları izleyerek oluşur:

Aşama-1: Basıncın Düşmesi

- Bir sıvının hareketi sırasında belirli bölgelerde akış hızının artması, bu bölgelerde basıncın düşmesine neden olur. Bu durum, Bernoulli ilkesi ile açıklanabilir: akış hızının arttığı noktalarda basınç düşer.
- Basınç, sıvının buharlaşma basıncının altına düştüğünde, sıvı buhar fazına geçer. Bu kritik basınç, sıvının sıcaklığına bağlıdır ve belirli bir sıcaklıkta belirli bir değere sahiptir.

Aşama-2: Kabarcık Oluşumu

- Düşük basınç alanında sıvının buharlaşması ile buhar kabarcıkları oluşur. Bu süreç, nükleasyon olarak adlandırılır. Nükleasyon iki şekilde gerçekleşebilir (bkz. Şekil 4):
 - Homojen Nükleasyon: Sıvının kendi moleküllerinden kabarcık çekirdeklerinin oluşması.

- Heterojen Nükleasyon: Sıvı içindeki yabancı parçacıklar veya yüzeyler etrafında kabarcıkların oluşması.
- Oluşan kabarcıklar düşük basınç alanında büyür. Basınç düştükçe buharlaşma artar ve kabarcıklar genişler.

Aşama-3: Kabarcıkların Hareketi

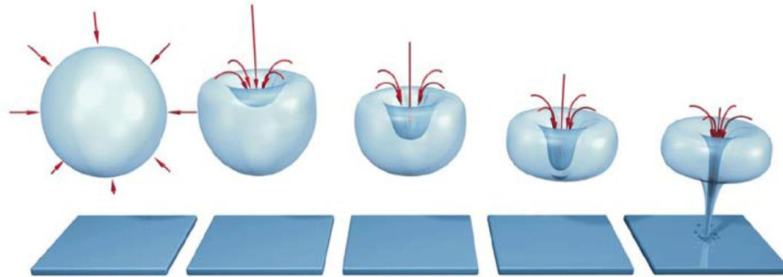
- Kabarcıklar, sıvının akış yönünde hareket eder. Bu süreçte, kabarcıklar düşük basınç bölgelerinden yüksek basınç bölgelerine doğru sürüklenir.

Aşama-4: Basıncın Artması ve Kabarcıkların Çökmesi

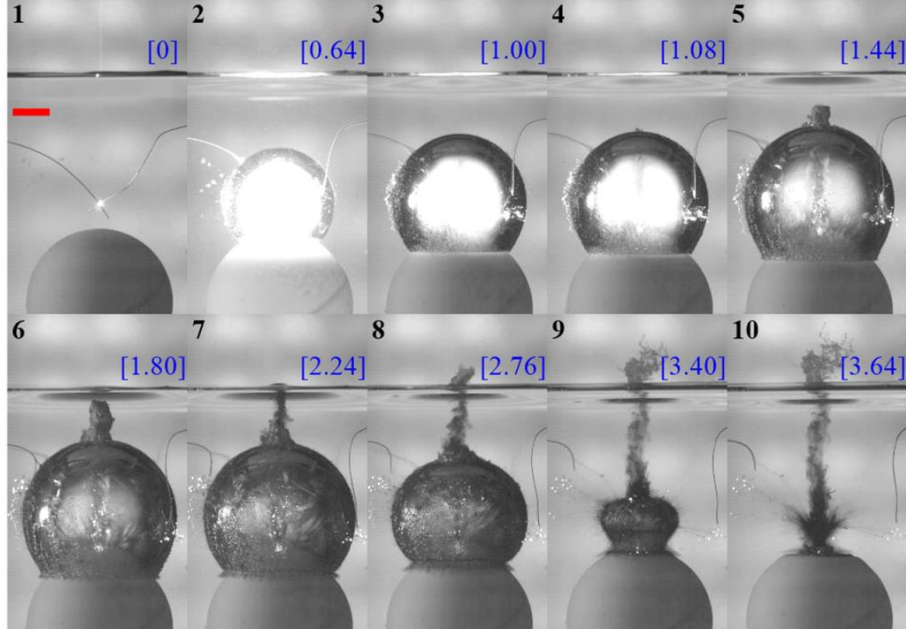
- Kabarcıklar yüksek basınç bölgelerine ulaştığında, çevredeki sıvının basıncı kabarcığın içindeki buhar basıncını aşar. Bu durumda kabarcıklar stabil kalmaz ve çökmeye başlar.
- Kabarcıkların çökmesi sırasında içlerine doğru hızla kapanırlar. Bu implozion sırasında çevrede yüksek enerjili mikro jetler ve şok dalgaları oluşur.

Aşama-5: Enerji Salınımı ve Hasar Oluşumu

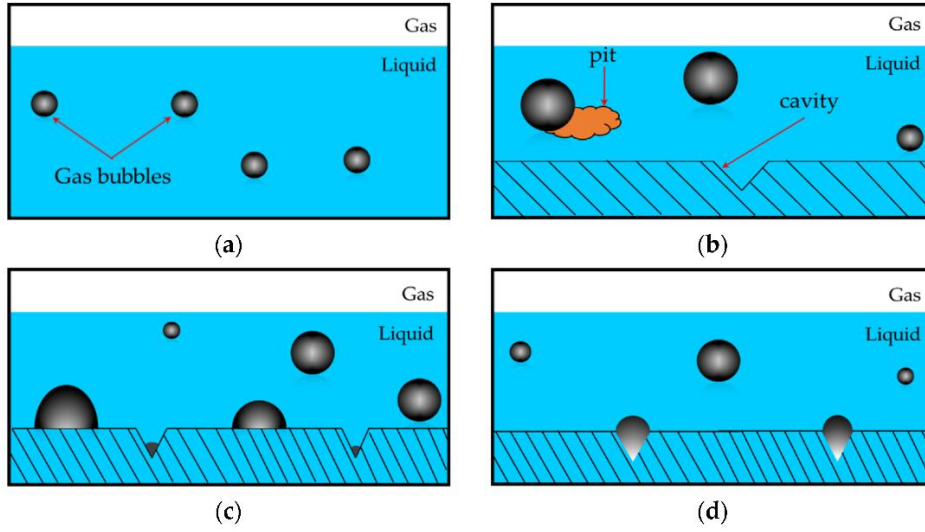
- Kabarcıkların çökmesiyle açığa çıkan enerji, mikro jetler ve şok dalgaları şeklinde yayılır. Bu enerjiler, çevredeki katı yüzeylere çarparak hasara neden olabilir.
- Tekrarlanan çökme olayları, yüzeyde küçük çukurcuklar ve erozyona yol açar. Bu, zamanla malzemenin yüzeyinde ciddi hasarlara neden olabilir.



Şekil 2. Kaviteasyon oluşum evreleri şematik gösterimi (Sarasua vd., 2018).



Şekil 3. Kaviteasyon oluşum evreleri (Li vd., 2018).



Şekil 4. Homojen (a) ve heterojen (b, c, d) nükleasyon (Pradhan vd., 2022).

3. Kaviteasyon Zararları

Sistemde çok ciddi hasarlara yol açabilen kaviteasyonun zararları maddeler halinde şu şekilde özetlenebilir:

- Kaviteasyon, akış sistemlerinde türbülans yaratır ve bu da sistemin genel verimliliğini düşürür.

T.C.
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Mühendislikte Deneysel Metotlar II Kaviteasyon Deney Föyü

- Kabarcıkların patlaması, mekanik sistemlerde yüksek düzeyde gürültü ve titreşim oluşturur.
- Sürekli kabarcık patlamaları, malzemenin yüzeyinde yorgunluk ve çatlak oluşumuna yol açar (bkz. Şekil 5 ve 6).



Şekil 5. Karışık akışlı bir pompada oluşan tipik kaviteasyon hasarı (Blake, 1996).



Şekil 6. Bir gemi pervanesindeki kaviteasyon hasarı (Koch, 2014).

4. Kaviteasyon Önleme

Kaviteasyonu uygun önlemler alarak engellemek mümkün olmakla beraber bazı durumlarda da kaçınılmaz şekilde ortaya çıkmaktadır. Akışkan sistemlerinin tasarımı, basınç düşüşlerini en aza indirecek şekilde optimize edildiğinde kaviteasyon oluşumunun önüne geçilebilir. Ayrıca, sistemin çalışma hızları ve basınç seviyeleri optimize edilerek çalışma koşulları, kaviteasyon oluşumunu önleyecek şekilde ayarlanabilir. Bunlara ek olarak kaviteasyonun engellenemediği durumlarda dayanıklı malzemeler kullanılarak, oluşabilecek hasarlar minimize edilir.

KAYNAKLAR

Blake, J. R. (1996). *Cavitation and Bubble Dynamics*. Oxford University Press.

Carpenter, J., Badve, M., Rajoriya, S., George, S., Saharan, V. K., & Pandit, A. B. (2017). Hydrodynamic cavitation: an emerging technology for the intensification of various chemical and physical processes in a chemical process industry. *Reviews in Chemical Engineering*, 33(5), 433-468.

Cengel, Y., & Cimbala, J. (2013). *Fluid mechanics fundamentals and applications*. McGraw Hill.

Koch, M. (2014). Numerical modelling of cavitation bubbles with the finite volume method. *English*. <https://doi.org/10.25625/JVCJW>. Master thesis. Georg-August Universität Göttingen, Drittes Physikalisches Institut, CD Labor für Kavitation und Mikro-Erosion.

Li, S., Zhang, A., & Han, R. (2018). Counter-jet formation of an expanding bubble near a curved elastic boundary. *Physics of Fluids*, 30(12).

Sarasua, J. A., Sandá, A., Villasante, C., & Aranzabe, E. (2018, November). Non-immersion ultrasonic cleaning for heliostats. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2033, No. 1). AIP Publishing.

Pradhan, S., Counts, S., Enget, C., & Bikkina, P. K. (2022). Effect of wettability on vacuum-driven bubble nucleation. *Processes*, 10(6), 1073.

White, F. M. (2016). *Fluid Mechanics 8e in SI Units*.