

Rafların Tasarımı

[1-4]

KAYNAKLAR

1. J.M. Coulson, J.F. Richardson ve R.K. Sinnott, 1983. Chemical Engineering V: 6, Design, 1st Ed., Pergamon, Oxford.
2. M.S. Peters ve K.D. Timmerhaus, 1985. Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 3rd Ed., McGraw-Hill, New York.
3. R.H. Perry, D. Green, 1984. Perry's Chemical Engineers' Handbook, 6rd Ed., McGraw-Hill, New York.
4. R. Turton, R.C.Bailie, W.B.Whiting, J.A. Shaeiwitz, 1998. Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes, 1st Ed., Prentice Hall, New Jersey.

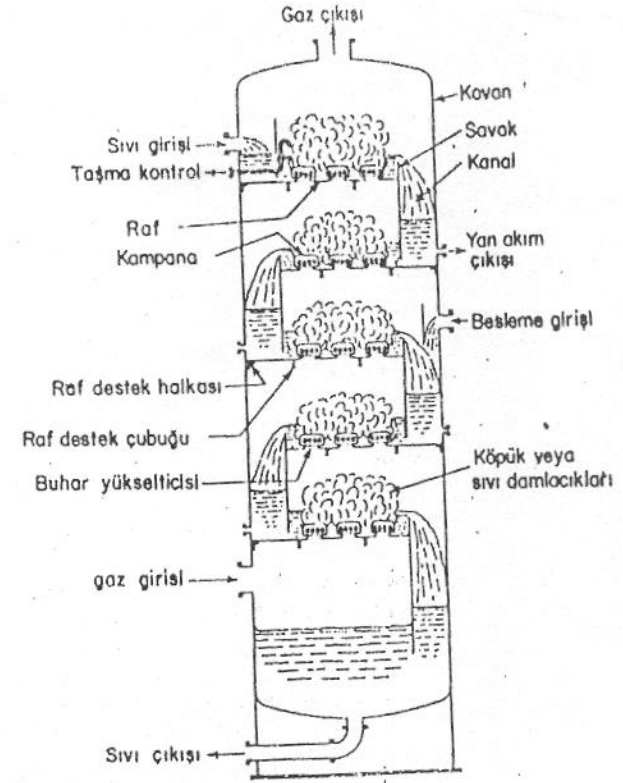
Raf Tipleri

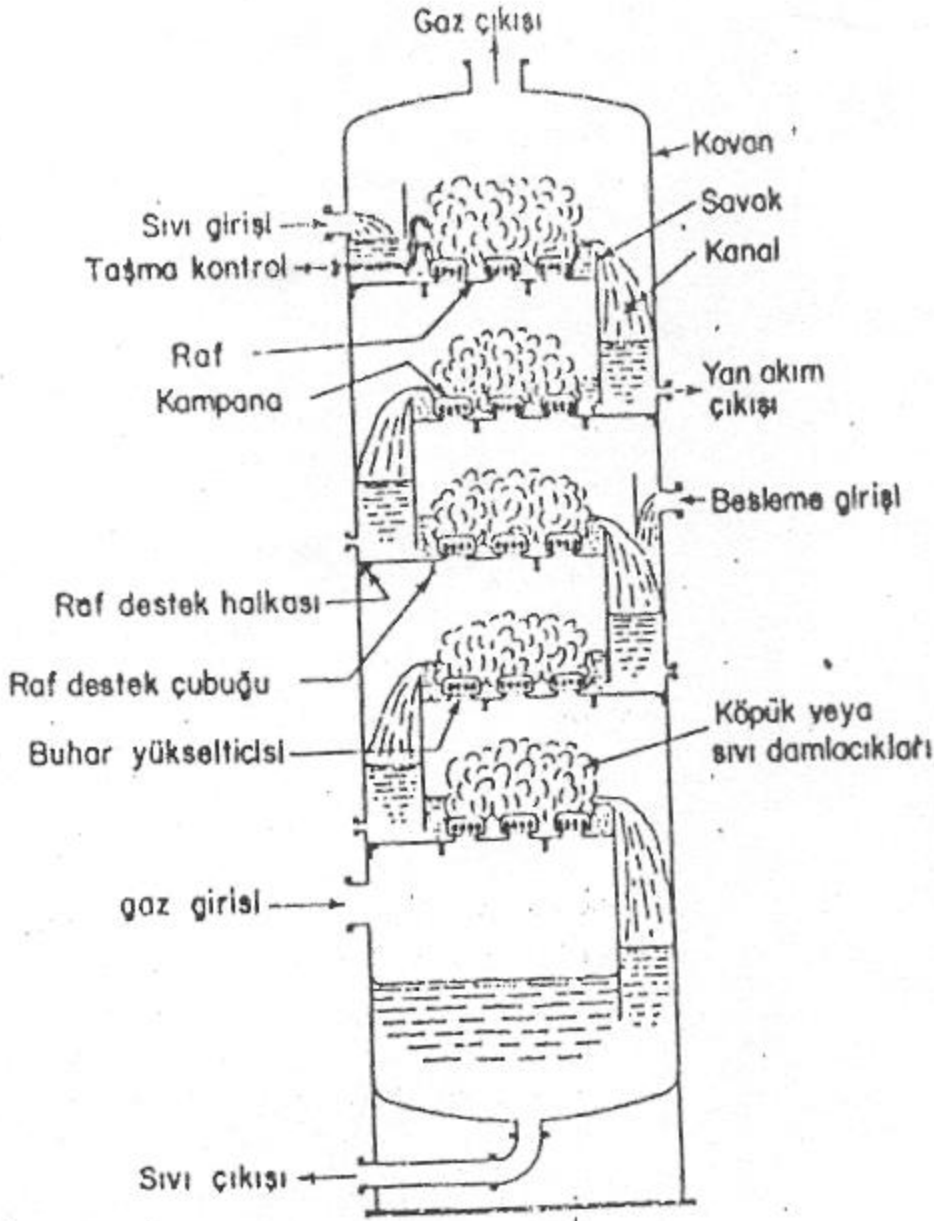
Buhar ve sıvının raf üzerinden çapraz akımla aktığı raflar en yaygın olarak kullanılan raf tipleridir. Bu raflar arasında sıvıyı bir raftan alttaki diğer bir rafa taşıyan dikey kanallar bulunur.

Bu kanallara, aşağıya taşıyıcı boru veya SAVAK KANALI (downcomer) adı verilir. Bu tip raflı kolonlar basınç düşmesinin küçük olmasının gerektiği hallerde kullanılırlar ve çapraz akım rafları adı ile bilinirler.

Savak kanalı içermeyen diğer raf tipleri üzerinde çapraz akım söz konusu değildir.

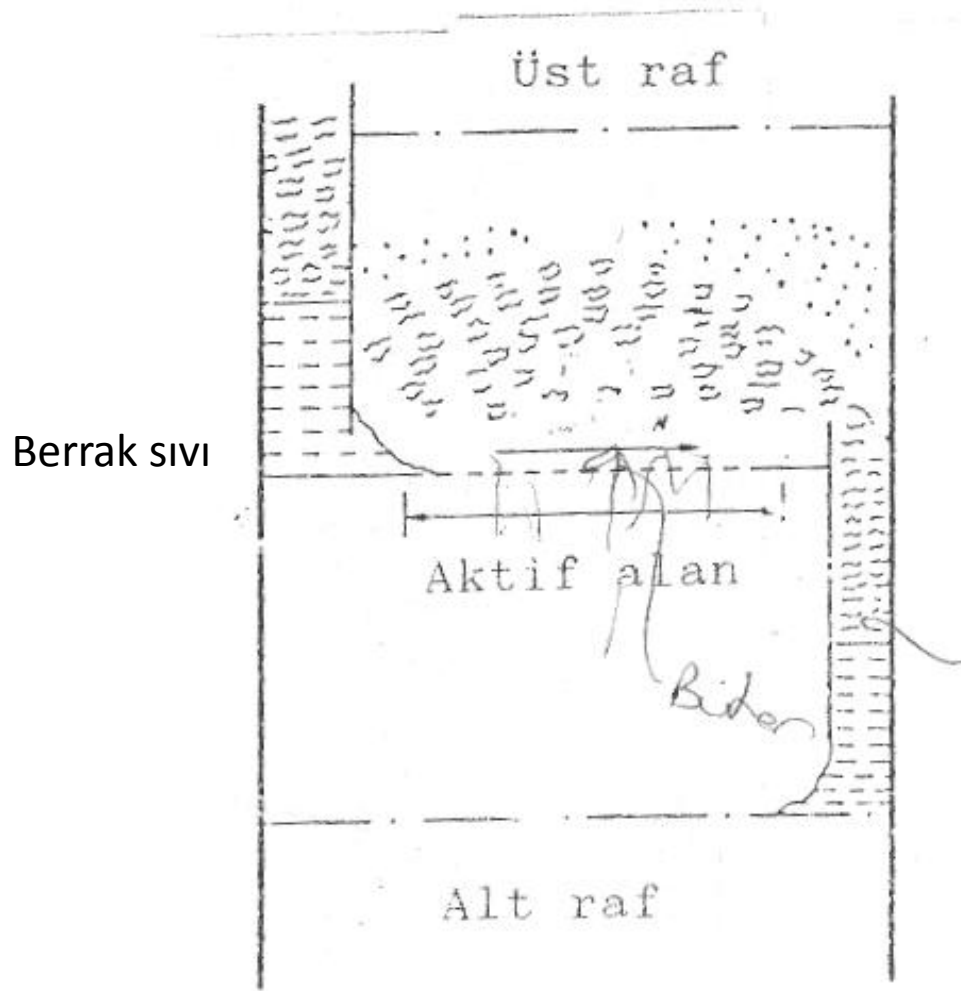
Bir raflı kolon örneği ve savak kanalı içeren raflar şematik olarak Şekil-10'da gösterilmiştir.





Şekil 10

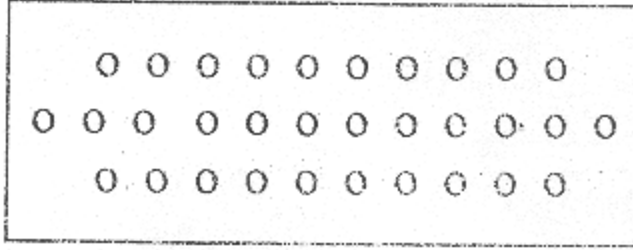
Rafli kolonların genel görünümü



Delikli rafta koşulların görünümü

Delikli, kabarcık başlıklı ve yüzer başlıklı olmak üzere üç tip raf vardır.

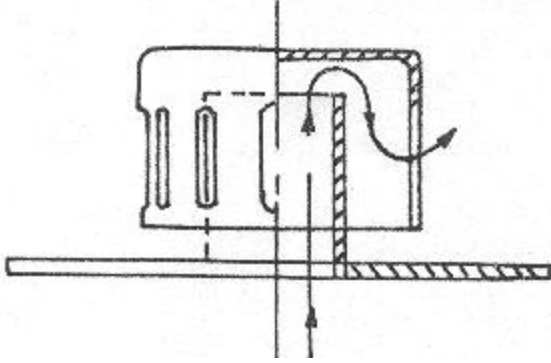
1. DELİKLİ RAFLAR (Sieve Plate or Perforated Plate)



En basit çapraz akım rafıdır. Buhar, raf üzerinde bulunan deliklerden yukarıya doğru geçer ve raf üzerinde sıvının kalması buhar akımıyla sağlanır. Mutlak bir buhar-sıvı sızdırmazlığı söz konusu değildir.

Buhar akış hızının küçük olduğu durumlarda sıvı deliklerden aşağıya doğru sızar. WEEPING (sızma) adı verilen bu olay raf veriminin düşmesine neden olur.

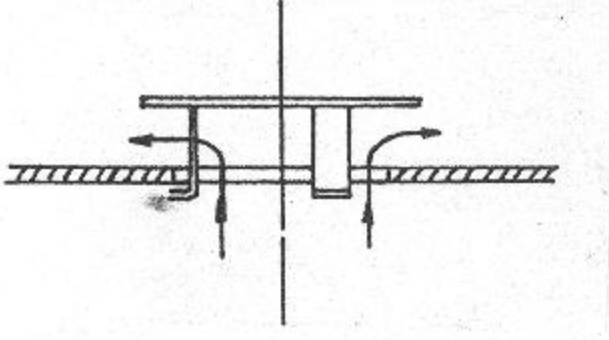
2. KABARCIK BAŞLIKLI RAFLAR (Buble Cap Plates)



Buhar akımı kısa bir borudan (RISER-yükseltici) yukarıya doğru akar. Kısa borunun üst kısmında, kenarlarında yarıklar bulunan bir Şapka vardır. Endüstride ilk kullanılan çapraz akım rafıdır.

Tüm buhar akış hızlarında raf üzerinde belirli bir sıvı seviyesinin oluşturulması mümkündür.

3. YÜZER BAŞLIKLIL RAFLAR (Valve Plates, flouting cap plates)



Büyük delikler ve delikler üzerinde hareketli şapkalar içeren bir raf şeklidir.

Buhar akış hızı arttığında şapka yukarı kalkar ve buhar üst rafa geçer. Buhar akış hızı azaldığında şapka tekrar kapanır.

Raf Tipinin Seçilmesi

Raf tipinin seçilmesinde etkin olan başlıca faktörler;

Maliyet, **kapasite**, **işletme ağırlığı**, **verim** ve **basınç düşmesidir**.

- **MALİYET:** Kabarcık başlıklı raflar en pahalı olanlarıdır. Yumuşak çelik malzemedен imal edildiği takdirde her üç raf tipi arasındaki takribi maliyet oranı şöyledir;
- Kabarcık başlıklı: Vafli: Delikli = 3,0: 1,5: 1,0
- **KAPASİTE:** Verilen bir akış hızı için gerekli kolon çapına bağlıdır. Aynı kolon çapındaki kolonlar için raf tiplerinin kapasiteleri arasında pek önemli fark yoktur.

İŞLETME ARALIĞI: En önemli faktördür. Buhar ve sıvı akış hızları belirli bir aralıkta değiştirildiğinde, rafın güvenli bir şekilde kullanılıp kullanılmayacağına bir ölçüsüdür. Raf tiplerinin kullanılacakları işletme aralıkları **dönüş oranının büyüklüğü** ile ölçülür. Dönüş oranı, en yüksek akış hızının en düşük akış hızına oranı olarak tanımlanır.

Yüzer başlıklı rafların işletme aralıkları diğerlerine kıyasla büyüktür.

VERİM: Her üç raf tipinin verimi yaklaşık olarak eşittir.

BASINÇ DÜŞMESİ: Basınç düşmesi delikli raflarda en az kabarcık başlıklı raflarda en fazladır.

Özetle, **delikli raflar** birçok uygulama için güvenilir olup maliyeti ucuzdur. **Yüzer başlıklı raflar**, özel bir dönüşüm oranı gerektiğinde tercih edilmelidir.

Kabarcık başlıklı raflar ise buhar akış hızının çok küçük olduğu koşullarda tercih edilmelidir.

RAFLARIN HİDROLİK TASARIMI

Damıtma kolonlarında bulunan rafların tasarımında göz önünde bulundurulması gereken en önemli noktalar şunlardır:

- Raf üzerinde iyi bir buhar-sıvı teması sağlanmalıdır.
- İyi bir kütle aktarımı için rafta yeterli sıvı tutulması sağlanmalıdır.
- Sürüklenme ve basınç düşmesinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olması için aktif alan ve raflar arasındaki uzaklık titizlikle saptanmalıdır.
- Sıvı fazın raflar arasında serbestçe akabilmesi için savak kanalının alanı yeterli büyüklükte olmalıdır.

Delikli raflar içeren bir damıtma kolonunda,

kolondaki buhar ve sıvı akış hızları istenilen aralığın dışına çıktığında karşılaşılan problemler şunlardır:

-Aşırı taşıma (Excessive ENTRAINMENT)

-Sızma, Ağlama (WEEPING)

-Taşma, Kanama (FLOODING)

-Aşırı sürüklenme (CONING)

RAFLARIN HİDROLİK TASARIMINDA İZLENECEK ADIMLAR

1. Belirli bir dönüş oranında buhar ve sıvı için maksimum ve minimum akış hızları hesaplanır.
2. Fiziksel özellikler kaynaklardan bulunur veya hesaplanır.
3. Raflar arası uzaklık için bir ön kabul yapılır.
4. Kanama göz önüne alınarak kolon çapı hesaplanır
5. Raflar üzerinde sıvı akış hızı çizilir.
6. Rafın ön taslağı hazırlanır. Bu adımda; aktif alan, savak kanal alanı, delik alanı, delik boyu, delik boyutu, savak yüksekliği için ön kabuller yapılır.
7. Sızma hızı (weeping rate) kontrol edilir. Sızma hızı istenmeyen değerlere ulaşmışsa 6. adıma geri dönülerek ön taslakta değişiklikler yapılır. Raflarda basınç düşmesi hesaplanır. Eğer istenmeyen büyüklükte basınç düşmesi ortaya çıkmışsa 6. adıma geri dönülür ve ön taslakta değişiklikler yapılır.
8. Savak kanalı içerisindeki berrak sıvı+köpük seviyesi hesaplanır. Eğer seviye çok yüksek çıkarsa 6. adıma veya 3. adıma geri dönülür.

9. Rafın ayrıntılı şekli ortaya konulur.
10. Daha önce hesaplanan kolon çapı temel alınarak kanama yüzdesi tekrar hesaplanır.
11. Sürüklenme tekrar kontrol edilir. Eğer çok yüksekse 4. adıma geri dönülür.
12. Tasarımın optimizasyonu yapılır. Raflar arası uzaklık ve kolon çapı için en küçük değerler bulununcaya kadar 3.ile 12. adımlar arasındaki işlemler tekrarlanır.
13. Rafın son şekli çizilerek spesifikasyonları belirtilir.

RAF ALANLARI

- Ac** : Kolonun toplam kesit alanı
An : Buhar ve sıvının temasta olduğu net alan
Ah : Delik alanı, Aktif deliklerin toplam alanı
Aap : Savak kanalı ile raf arasında kalan açık alan
Ad : Aşağıya taşıyıcı borunun kesit alanı
Aa : Aktif alan
Ap : Perfore alan (ölü bölgeler dâhil).

Örneğin tek geçişli bir rafın net alanı

$$A_n = A_c - A_d$$

aktif alanı $A_a = A_c - 2A_d$

KANAMA HIZINDAN YARARLANARAK KOLON ÇAPI HESABI

Kolon çapı kolondan akan buharın akış hızına bağlıdır.

Kanama probleminin ortaya çıkmasını önlemek amacıyla kolondaki buhar akış hızının belirli bir değerin altında olması gerekir.

Diğer taraftan yüksek raf verimi için buhar akış hızının yüksek olması istenir.

Bu nedenle öncelikle kolonda kanamaya neden olan buhar akış hızının diğer bir deyimle kanama hızının hesaplanması gerekir.

Kolondaki gerçek buhar akış hızının, **kanama hızının %80–85** i kadar olmasına dikkat edilir.

Kanamaya Hızı:

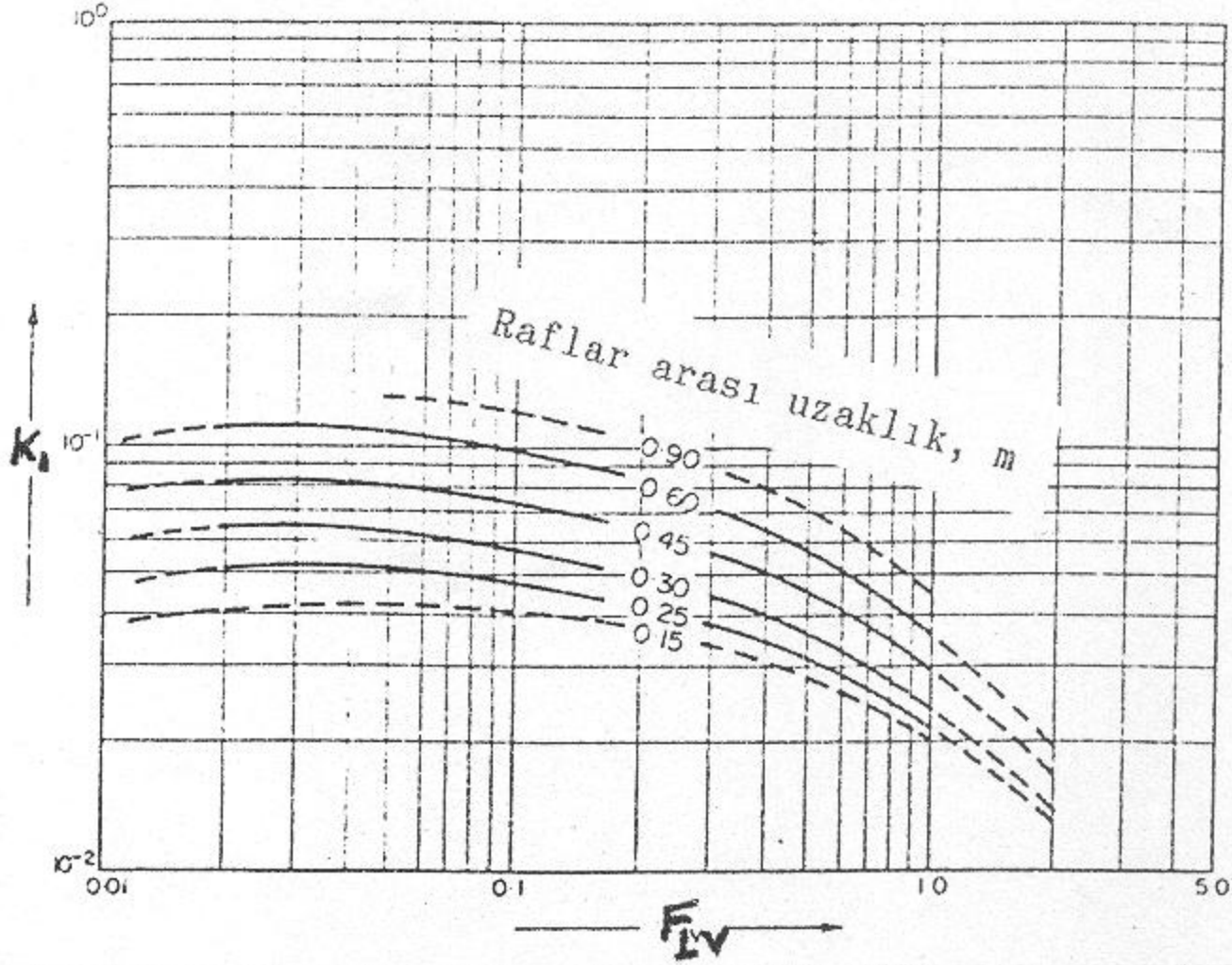
$$U_f = K_1 \left(\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} \right)^{0.5}$$

U_f : Kanama hızı, m/s (net kesit alanı, A_n üzerinden)

K_1 : Bir sabit olup Şekil-14'te sıvı buhar faktöründe F_{LV} ve raflar arasındaki uzaklığa bağlı olarak verilmiştir.

$$F_{LV} = \frac{L_w}{V_w} \sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_L}}$$

L_w : sıvı kütle akış hızı, kg/s
 V_w : buhar kütle akış hızı, kg/s



Şekil 14 Kanama hızı

Şekil-14'ün kullanılmasında bazı kısıtlamalar vardır. Bu kısıtlamalar:

1. Delik çapı 6,5 mm den küçük olmalıdır.
2. Savak yüksekliği raflar arasındaki uzaklığın en az %15'i kadar olmalıdır.
3. Sistemde köpürme olmamalıdır.
4. Delik alanının aktif alana oranı 0,10'den büyük olmalıdır.

Delik alanı/aktif alan oranı farklı bir değerde ise aşağıdaki verilen düzeltme tablosu kullanılarak Şekil-14'ten okunan K_1 değeri aşağıdaki tablodan okunan faktör ile çarpılmalıdır.

Delik alanı/aktif alan	Faktör
0,10	1,0
0,08	0,9
0,06	0,8

Sıvının yüzey gerilimi 0,02 N/m olmalıdır. Aksi takdirde K_1 yerine aşağıdaki denklem kullanılmalıdır.

$$K_1 x \left(\frac{\sigma}{0,02} \right)^{0,2}$$

Kolon çapının hesaplanabilmesi için net alanın bilinmesi gerekir.

Net alanın hesaplanabilmesi için ön taslakta; aşağıya taşıyıcı boru alanı toplam alanın %12'si kadar, delik alanı ise aktif alanın %10'u kadar olduğu kabul edilir.

$$A_d = 0.12A_c$$

$$A_h = 0.1A_a$$

SÜRÜKLENME (Entrainment)

- Sürüklenme kesri; kg sıvı akış hızı başına buharla birlikte sürüklenen kg sıvı miktarıdır.
- Sürüklenme kesri kolondaki kanama yüzdesine ve sıvı-buhar akış faktörüne bağlı olarak Şekil-16'da verilmiştir. Kanama yüzdesi ise aşağıdaki verilen bağıntıdan hesaplanabilir.

u_n : Net alan üzerinden gerçek akış hızı

u_f : Kanama hızı

Kanama yüzdesi =

$$\frac{u_n}{u_f}$$

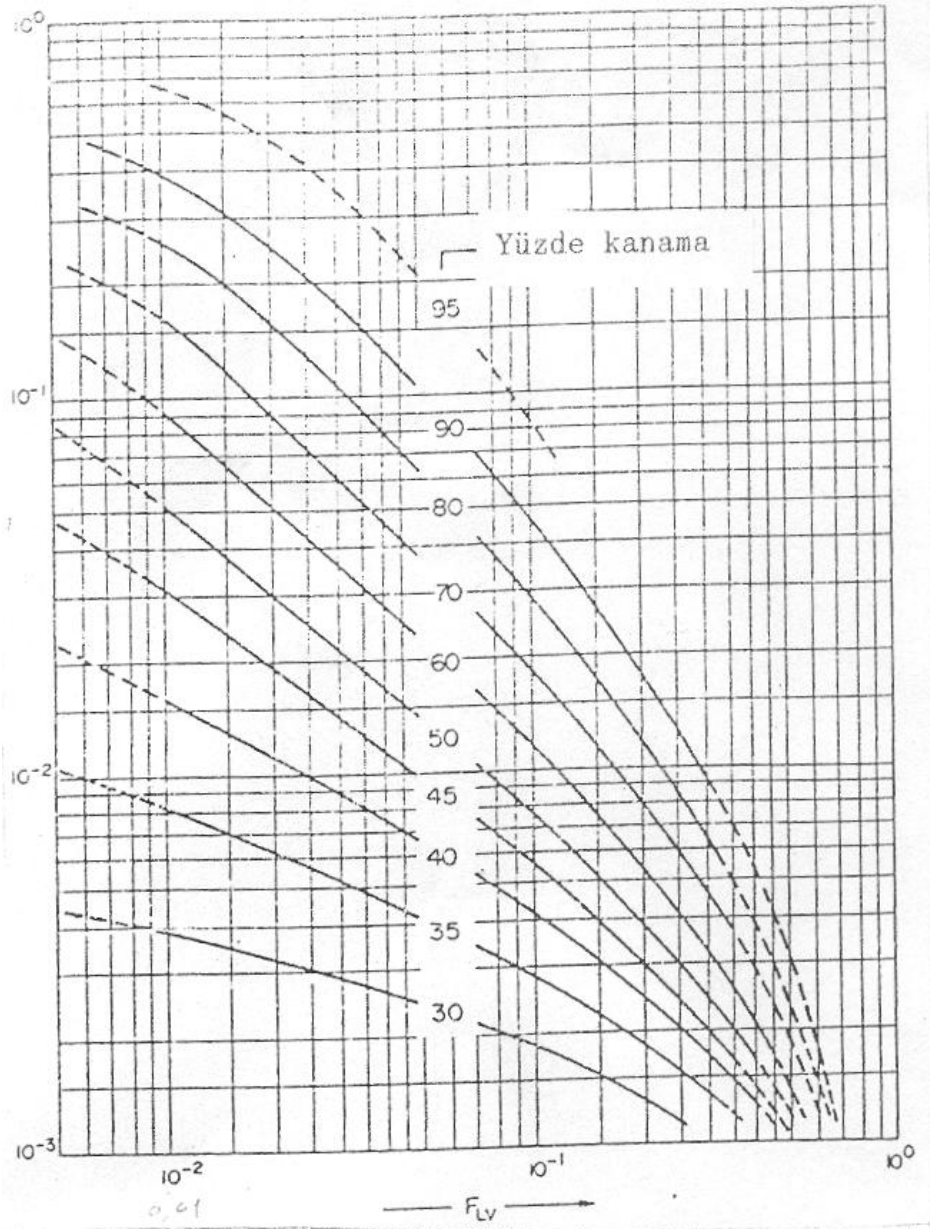
Sürüklenmenin raf verimi üzerine etkisi

$$E_a = \frac{E_{mV}}{1 + E_{mV} \left(\frac{\phi}{1 + \phi} \right)}$$

E_{mV} : Gerçek raf verimi. Belirli bir oranda sürüklenmenin olacağı kabul edilmiştir.

ϕ : Sürüklenme kesri

Sürüklenme Kesri



Şekil-16: Delikli raflar için sürüklenme kesri.

SIZMA NOKTASI (Weep point)

- Raf deliklerinden aşağıya doğru sıvı kaçaklarının aşırı olması halinde işletme aralığının alt sınırına gelinmiştir. **Yatışkın koşullarda işletme için sızma noktasına ulaşıldığında buhar akış hızı da minimuma ulaşmış olur.** Kolon, minimum buhar akış hızının daha altındaki buhar akış hızlarında çalıştırılmamalıdır. Bu koşulu sağlamak için delik alanlarında değişiklik yapılır.
- Kolonda izin verilen minimum buhar akış hızı, U_h , şu eşitlikten hesaplanır.

$$U_h = \frac{[K_2 - 0,90(25,4 - d_h)]}{(\rho_v)^{0,5}}$$

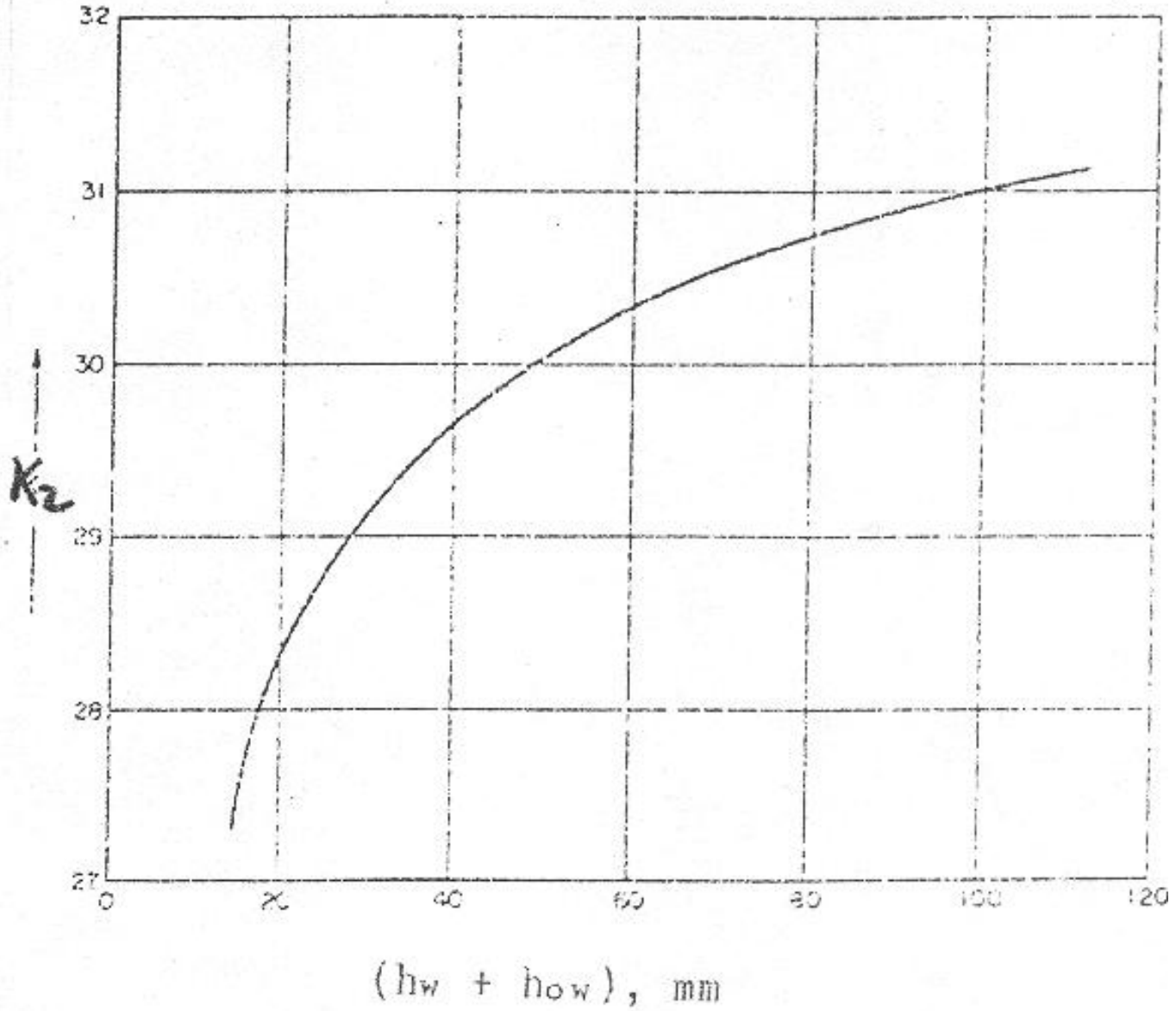
U_h : Minimum buhar akış hızı, delik alanı üzerinden, m/s

d_h : Delik çapı, mm

K_2 : Raf üzerindeki berrak sıvı yüksekliğine bağlı bir sabit.

Şekil-17'den yararlanılarak bulunabilir.

Savak yüksekliği, h_w ve savak üzerinde kalan berrak sıvı, h_{ow} yüksekliğinin bilinmesi gerekir.



Şekil 17 Sızma noktası korelasyonu

SAVAK ÜZERİNDEKİ BERRAK SIVI YÜKSEKLİĞİ, h_{ow}

$$h_{ow} = 750 \left[\frac{L_w}{\rho_L I_w} \right]^{2/3}$$

h_{ow} : mm

I_w : Savak uzunluğu, m

L_w : Sıvı akış hızı, kg/s

- En düşük sıvı akış hızlarında bile savak üzerindeki berrak sıvı yüksekliği 10 mm'den daha fazla olmalıdır.

SAVAK BOYUTLARI

Savak yüksekliğinin fazla olması raf verimini artırır fakat raflardaki basınç düşmesinin artmasından dolayı işletme masrafları da artar.

Atmosferik basınç ve daha yüksek basınçlarda işletilen kolonlarda savak yüksekliği 40–90 mm arasındadır.

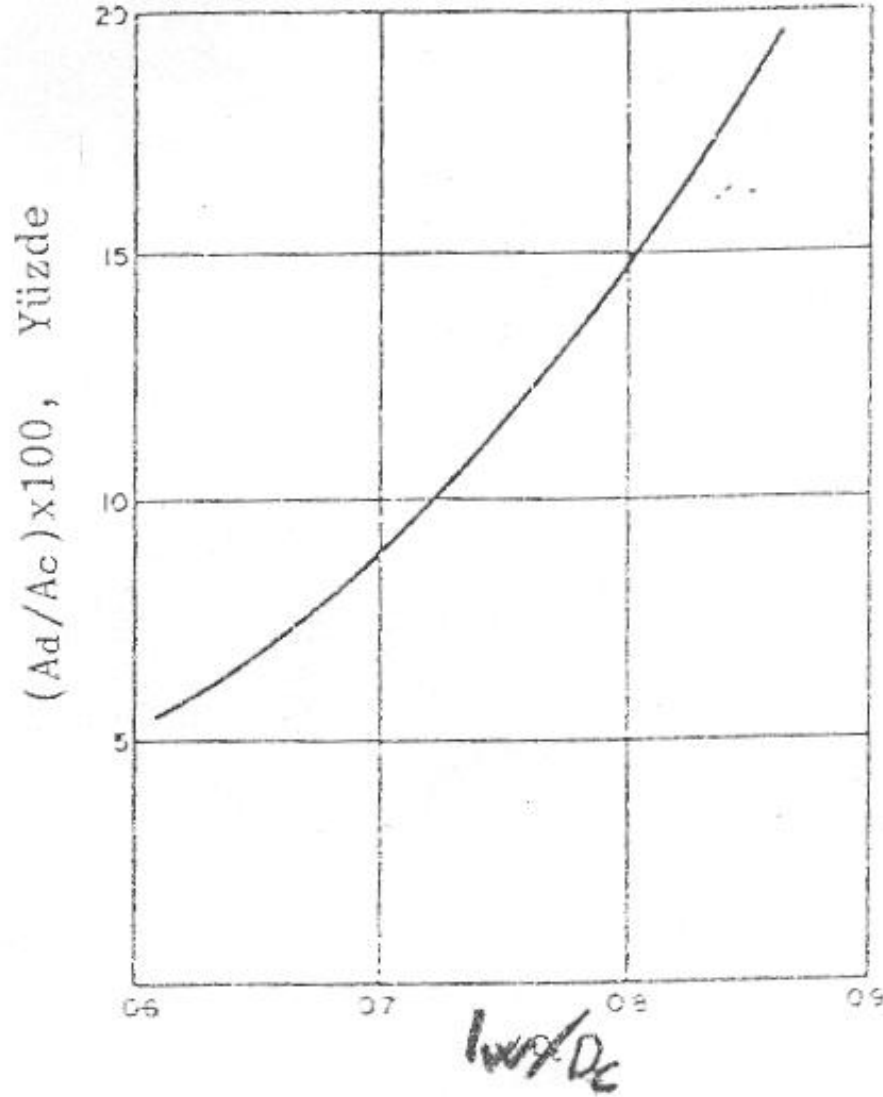
Ön tasarımda bu değerin 40–50 mm alınması önerilmektedir. Vakum altında işletilen kolonlarda ise 6–12 mm arasında bir değer alınmalıdır.

Savak uzunluğu, l_w , normalde kolon çapının %60 ile %85 arasındadır.

Ön tasarımda, $l_w = 0,77D_c$ olarak alınır.

Savak uzunluğu ile aşağı taşıyıcı borunun kesit alanı, A_d , arasında da bir ilişki vardır.

Bu ilişki şekil–18 de gösterilmiştir.



10. Çevrek kanalının alanı ve savak uzunluğu arasındaki ilişkiyi gösteren grafik aşağıdaki gibidir.

PERFORE ALAN

Bir raf üzerindeki delik alanları, rafın mekanik tasarımında kullanılan taşıma halkaları, taşıma kirişleri ve ölü (durgun) bölgelerden dolayı azalmış olur.

Ölü bölgeler, rafın giriş çıkış kısımlarındaki deliksiz bölgelerden dolayı oluşur.

Deliksiz bölgelerin, rafın her iki tarafındaki genişlikleri eşittir.

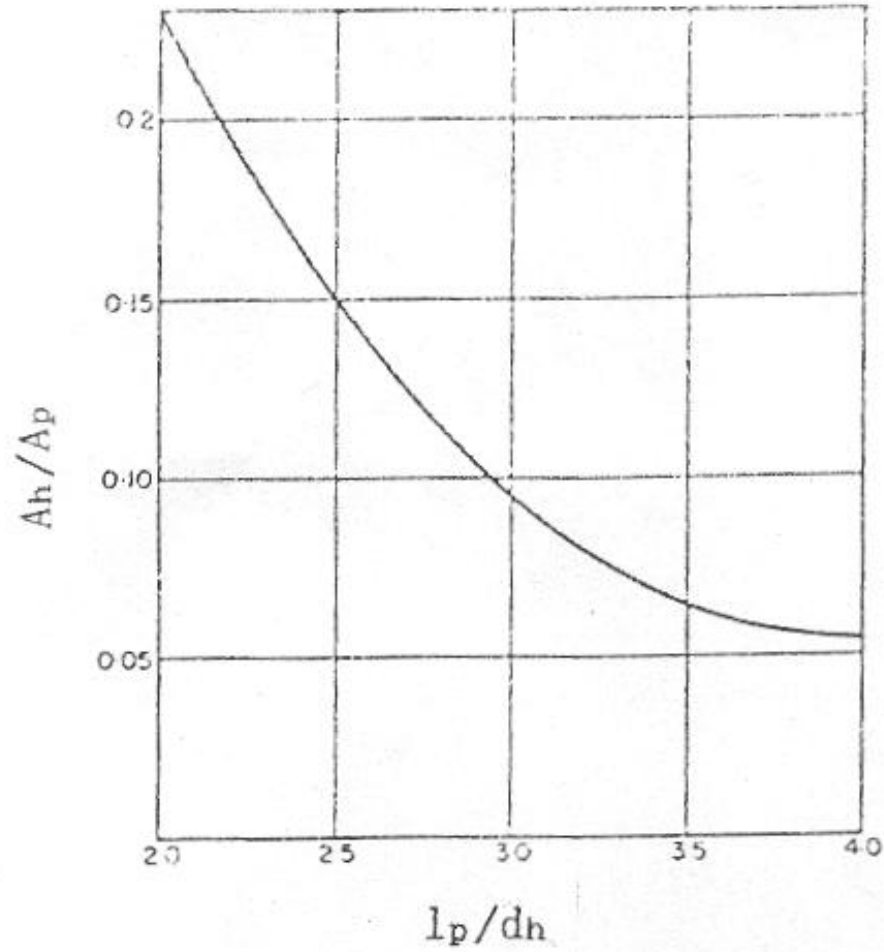
Çapı 1,5 metreden büyük olan kolonlarda deliksiz bölgelerin genişliği 100 mm,

Çapı 1,5 metreden küçük kolonlarda ise 75 mm olarak alınır.

DELİK ÇAPI ve DELİK MERKEZLERİ ARASINDAKİ UZAKLIK

- Raf üzerindeki deliklerin çapının 2,5–12,0 mm arasında olması istenir. Ön tasarımda, delik 5 mm olarak alınır. Kolon malzemesinin aşınması veya korozyona uğraması gibi riskler mevcutsa delik çapının daha büyük seçilmesi gerekir.
- Delik merkezleri arasındaki uzaklık, I_p , delik çapının iki katından daha küçük olmamalıdır. Genellikle delik çapının 2,5–4,0 katı arasındadır. Bu uzaklık, delik alanı, perfore alan ve delik çapına bağlı olarak Şekil–19’ da verilen grafikten veya aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir.

$$\frac{A_h}{A_p} = 0,9 \left[\frac{d_h}{I_p} \right]^2$$



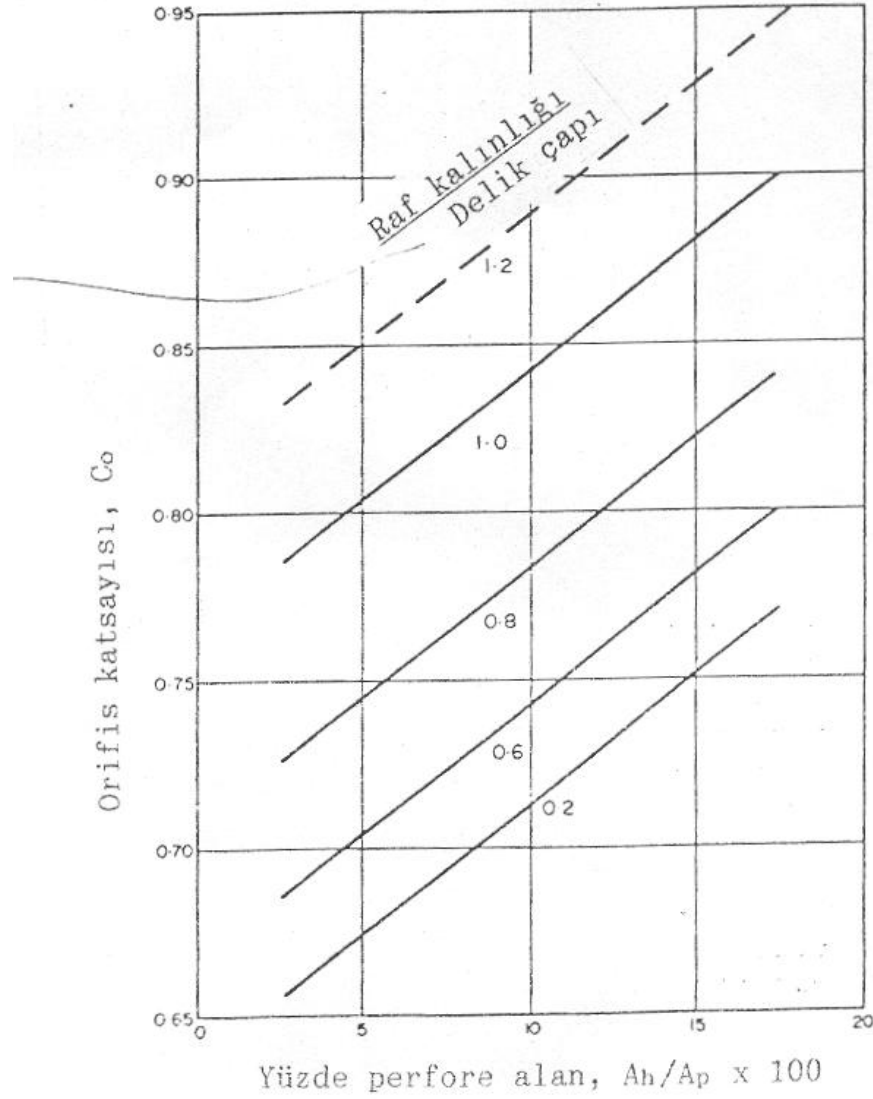
Şekil-19: Delik alanı ve delik merkezleri arasındaki ilişki.

RAFLADA BASINÇ DÜŞMESİ

- Raflarda basınç düşmesinin başlıca nedenleri şunlardır:
 - a) Deliklerden geçen buhar akımının neden olduğu basınç düşmesidir. Orifis kaybı olarak da düşünülebilir ve KURU RAF BASINCI KAYBI (h_d) olarak adlandırılır.

$$h_d = 51 \frac{U_h}{C_0} \frac{\rho_V}{\rho_L} \quad \text{bağıntısından hesaplanır.}$$

- U_h : Delik alanı üzerinden akış hız, m/s
- C_0 : Orifis katsayısı Şekil-20'de verilmiştir.



Sekil-20 Orifis katsayısı.

- b) Raf üzerindeki statik sıvı yüksekliğinin neden olduğu basınç düşmesi $h_w + h_{ow}$
- c) Diğer nedenlerden ötürü oluşan basınç düşmesi, h_r deneysel veriler ile (a) ve (b) den hesaplanan basınç düşmesi arasındaki farktır.

$$h_r = \frac{12500}{\rho_L}$$

Bir raftaki toplam basınç düşmesi, $h_t = h_d + h_w + h_{ow} + h_r$ bağıntısından mm akışkan olarak hesaplanır.

bağıntısından da Pascal olarak hesaplanır.

$$\Delta P_t = 9,81 \times 10^3 \times h_t \times \rho_L$$

SAVAK KANALININ (DOWNCOMER) TASARIMI

Raflar arasındaki uzaklık ve savak kanalının kesit alanı o şekilde ayarlanmalıdır ki savak kanalı içerisindeki berrak sıvı yüksekliğiyle köpük yüksekliklerinin toplamı giriş savağının yeteri kadar altında olsun. Aksi takdirde sıvının bir üst tarafa akması diğer bir deyimle kanama olması söz konusudur.

Savak kanalı içerisinde sıvının geri akmasına neden basınç düşmesidir. Diğer bir anlatımla savak kanalı içerisinde akışa karşı gösterilen dirençtir. Savak kanalındaki sıvı yüksekliği:

$$h_b = (h_{ow} + h_w) + h_t + h_{dc}$$

bağıntısından mm akışkan yüksekliği olarak hesaplanır.

h_{dc} , savak kanalına girişteki daralmanın neden olduğu basınç kaybı olup;

$$h_{dc} = 166 \left[\frac{L_{wd}}{\rho_L A_m} \right]^2$$

L_{wd} : Savak kanalında sıvı akış hızı, kg/s

A_m : Savak kesit alanı veya savak açıklığından hangisi küçük ise o değer alınır, m²

Savak açıklığı; $A_{ap} = h_{ap} \times I_w$

$$h_{ap} = h_w - (5-10\text{mm})$$

Savak kanalında sıvının kalma süresi en az 3 saniye olmalıdır. Bu süre;

$$t_r = \frac{A_d h_b \rho_L}{L_{wd}}$$

bağıntısından hesaplanır.