

# HAVALANDIRMA

## Havalandırmanın Amaçları

Havalandırmanın amaçları şunlardır:

1. Suyu oksijen kazandırmak
2. Karbondioksit gidermek veya kazandırmak
3. Hidrojen sülfür gidermek
4. Metanın giderilmesi
5. Uçucu yağlar ve kimyasal maddelerin giderilmesi
6. Suların dezenfeksiyonu

## Havalandırıcıların Sınıflandırılması

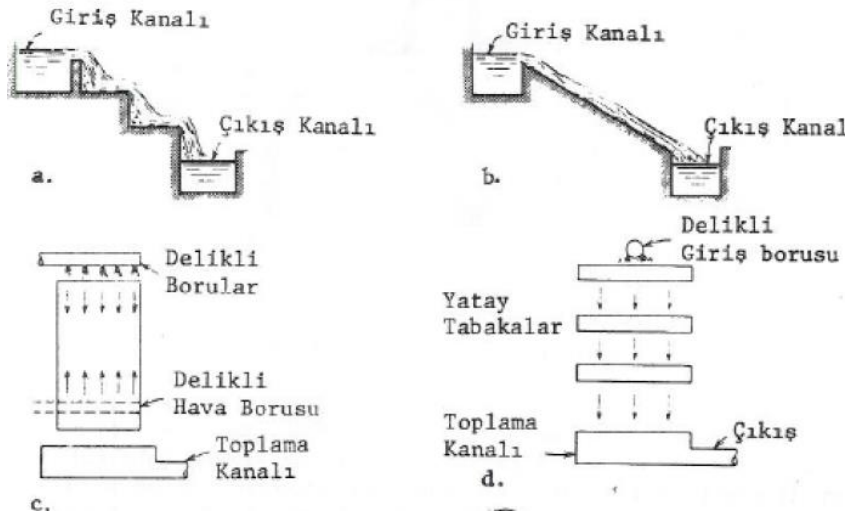
a) Cazibe ile çalışan havalandırıcılar: Bu cins havalandırıcıların çalışma prensibi suyun belli bir yükseklikten düşerken hava ile temas ederek suya oksijen kazandırmasıdır. Kademeli (kaskat) havalandırıcılar, eğik düzlem şeklindeki havalandırıcılar, düşümlü havalandırıcılar ve damlatmalı filtreler olarak sınıflandırılabilir.

b) Püskürtücüler (Fıskiyeli havalandırıcılar): Su püskürtücüden düşey veya eğimli bir açı ile yukarı doğru püskürtülür. Bu sırada su damlalara ayrılır. Böylece hava ile temas yüzeyi artar ve havadan oksijen alır. Püskürtücüler bir boru hattı üzerine ağızlıklar konularak elde edilir. Püskürtücüler yüksek verim sağlarlar ancak geniş alana ihtiyaç duyarlar ve kış aylarında don tehlikesi vardır. Püskürtücülerde özel ağızlıklar kullanılır.

Ağızlık çıkış deliklerinin çapları küçüldükçe havalandırmanın verimliliği artar. Ancak çok küçük ağızlıkların tıkanma tehlikesi olduğu için işletme bakımından uygun değildir. Bundan dolayı ağızlık çapları 5 ila 40 mm arasında yapılır. Bu çaplara tekabül eden su basınçları sırasıyla 5 ve 0,5 m civarında alınmaktadır. Ağız aralıkları 0,6-3,6 m arasında değişir.

c) Kabarcıklı havalandırıcılar: Kabarcıklı havalandırıcılar dikdörtgen planlı bir beton havuzdan ibarettir. Havuz tabanına yerleştirilen delikli borular veya gözenekli tüplerden basınçlı hava verilir. Böylece hem sudaki çözünmüş oksijen artırılır. İhtiyaç duyulan hava basıncı, boruların dalma derinliğine ve hava borularındaki yersel ve sürekli yük kayıplarına bağlı olarak hesaplanabilir. Kış şartlarında don problemi olmadığından püskürtücülere göre daha kullanışlıdır.

d) Mekanik havalandırıcılar: Bu havalandırıcılar bir tahrik ve dişli tertibatına bağlı bir havalandırıcıdan (türbün) ibaret olup, su ile temas eden aksam koni, plak veya fırça şeklinde yapılabilir.



Havalandırıcılar a) Kademeli b) Eğik düzlem c,d) Düşümlü havalandırıcılar

## Gaz Transferi

Bir gazın sudaki çözünürlüğü, gazın cinsine, suyun sıcaklığına ve sudaki kirlleticilerin konsantrasyonlarına bağlıdır. Eğer bir sıvı ortam bir gaz veya gaz arışımlarıyla temas halinde ise gaz molekülleri, gaz ortamından sıvıya veya sıvıdan gaz ortamına geçerler. Bu durum gaz ile sıvı arasında bir denge oluşuncaya kadar sürer. Bu denge durumunda sıvı içindeki gaz konsantrasyonu doymun durumdadır. Gerçekte bir gazın sıvı içindeki doymunluk konsantrasyonu, gazın gaz ortamındaki konsantrasyonu ile doğru orantılıdır.

İçme Suyu Arıtımı

7

## Gaz Transferi

$$C_s = k_D \cdot C_g$$

$C_s$  : Gazın sıvı ortamındaki doymunluk konsantrasyonu, g/m<sup>3</sup>

$C_g$  : Gazın gaz ortamındaki konsantrasyonu, g/m<sup>3</sup>

$k_D$  : Yayılma katsayısı

Yayılma katsayısı gazın ve sıvının cinsine, sıcaklığına bağlı olarak değişir. Çözünmüş oksijenin sudaki doymunluk değeri, sıcaklığa ve klorür konsantrasyonuna bağlı olarak Çizelgede verilmiştir.

İçme Suyu Arıtımı

8

**760 mmHg basınçta ve % 20.90 oksijen içeren kuru havaya maruz tatlı ve tuzlu suyun Cs değerleri, mg/L**

Sıcaklık °C	Klorür Konsantrasyonu, mg/l				
	0	5000	10000	15000	20000
0	14,62	13,79	12,97	12,14	11,32
1	14,23	13,41	12,61	11,82	11,03
2	13,84	13,05	12,28	11,52	10,76
3	13,48	12,72	11,98	11,24	10,50
4	13,13	12,41	11,69	10,97	10,25
5	12,80	12,09	11,39	10,70	10,01
6	12,48	11,79	11,12	10,45	9,78
7	12,17	11,51	10,85	10,21	9,57
8	11,87	11,24	10,61	9,98	9,36
9	11,59	10,97	10,36	9,76	9,17
10	11,33	10,73	10,13	9,55	8,98
11	11,08	10,49	9,92	9,35	8,80
12	10,83	10,28	9,72	9,17	8,62
13	10,60	10,05	9,52	8,98	8,46
14	10,37	9,85	9,32	8,80	8,30
15	10,15	9,65	9,14	8,63	8,14
16	9,95	9,46	8,96	8,47	7,99
17	9,74	9,26	8,78	8,30	7,84
18	9,54	9,07	8,62	8,15	7,70
19	9,35	8,89	8,45	8,00	7,56
20	9,17	8,73	8,30	7,86	7,42
21	8,99	8,57	8,14	7,71	7,28
22	8,83	8,42	7,99	7,57	7,14
23	8,68	8,27	7,85	7,43	7,00
24	8,53	8,12	7,71	7,30	6,87
25	8,38	7,96	7,56	7,15	6,74
26	8,22	7,81	7,42	7,02	6,61
27	8,07	7,67	7,28	6,88	6,49
28	7,92	7,53	7,14	6,75	6,37
29	7,77	7,39	7,00	6,62	6,25
30	7,63	7,25	6,86	6,49	6,13

İçme Suyu Arıtımı

9

Doygunluk konsantrasyonu:

$$C_s = K_D \cdot \frac{f \cdot (p - p_w)}{R \cdot T} \cdot M_a$$

F: Kuru havada gazın hacim olarak yüzdesi

P: gaz basıncı

Pw: Buhar basıncı

Ma: gazın molekül ağırlığı

R: gaz sabiti(8.314 J/K.mol)

T: Mutlak sıcaklık

İçme Suyu Arıtımı

10

Çözünmüş oksijenin sudaki doygunluk değerinin bulunması için çeşitli ampirik denklemler kullanılabilir. 4-30°C arasındaki su sıcaklıkları için:

$$C_s = \frac{468}{31.6 + T}$$

T: °C olarak su sıcaklığı

Doygunluk değerinin bulunmasında aşağıdaki formül de kullanılabilir.

$$C_s = 14.652 - 4.1022 \times 10^{-1} T + 7.9910 \times 10^{-3} T^2 - 7.7774 \times 10^{-5} T^3$$

## Havalanma Hızı Katsayısı

Gaz transfer hızı, çözünmüş oksijen eksikliği ile doğru orantılıdır.

$$\frac{dc}{dt} = k_2(C_s - C)$$

$k_2$  havalanma hızı katsayısıdır.  $t=0$  için  $C=C_0$  olduğu durumda denklem integre edilirse:

$$C = C_s - (C_s - C_0) e^{-k_2 t} \quad \frac{C_s - C}{C_s - C_0} = e^{-k_2 t}$$

bağıntısı elde edilir.

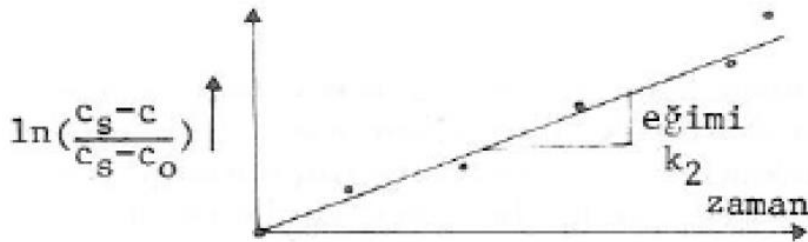
Havalandırma hızı katsayısı  $k_2$  sıcaklıkla değişir.  $k_2$  ile sıcaklık arasındaki ilişki:

$$(k_2)_{10} = (k_2)_T \cdot 1,0188^{(10-T)}$$

$(k_2)_{10}$  : 10 °C sıcaklıkta havalandırma hızı katsayısı; ( $T^{-1}$ )

$(k_2)_T$  : T °C sıcaklıkta havalandırma hızı katsayısı ( $T^{-1}$ )

$k_2$ 'nin tayini için başlangıçtan itibaren belirli zaman aralıklarında çözünmüş oksijen konsantrasyonları ölçülür. Yatay eksen zaman eksen, dikey eksen  $(-\ln[(C_s - C)/(C_s - C_0)])$  olmak üzere çizilen eksen takımında noktalar arasından geçirilen doğrunun eğimi  $k_2$ 'yi verir.



Suya oksijen verilmesi işlemlerinde en önemli parametrelerden birisi oksijen alma kapasitesidir ( $O_a$ ).

$$O_a = k_2 \cdot C_s$$

$O_a$  = Oksijen alma kapasitesi, g  $O_2$ /m<sup>3</sup> sn

$C_s$  = Standart şartlarda çözülmüş oksijenin doymunluk değeri, g  $O_2$ /m<sup>3</sup>

Standart şartlardan basınç olarak deniz seviyesindeki basınç 101.3 kPa veya 760 mmHg basıncı alınır.  $C_0 = 0$  dır.

Standart sıcaklık olarak Avrupa ve Amerika uygulamaları değişiktir. Avrupa'da standart sıcaklık olarak 10 °C, Amerikada ise 20 °C alınmaktadır.

Oksijen alma kapasitesi g  $O_2$ /sn cinsinden ifade edilmek istenirse  $O_2$  değeri havalandırma havuzu hacmi olan  $V$  ile çarpılır. Böylece:

$$O_c = O_a \cdot V = k_2 \cdot C_s \cdot V$$

$O_c$  = Oksijen alma kapasitesi, g  $O_2$ /sn

$O_c$  ve  $O_a$  değerleri standart şartlar içindir.



Havalandırma sisteminin uygun olup olmadığını anlamak için birim enerji sarfiyatına karşılık suya verilen oksijen miktarı bilinmelidir. Bu havalandırma verimliliği olarak tanımlanır.

$$Oe = \frac{Oc}{Ng}$$

Oe: Havalandırma verimliliği kgO<sub>2</sub>/kw.sa

Ng: Güç J/s (w)

Oe değeri ne kadar büyükse havalandırma verimliliği o kadar iyidir.

## Düşümlü (Savak) Havalandırıcılar

Kademeli havalandırıcılar, düşümlü havalandırıcılar gibi havalandırıcılarda denklemdaki t zamanının tesbiti zor hatta imkansız gibidir. Bu yüzden hesaplarda kolaylık olması açısından verim sabiti ifadesi verilmiştir:

$$K = \frac{C - C_0}{C_s - C_0}$$

Kararlı halde havalandırma için başlangıçtan itibaren geçen süre t<sub>k</sub> ile gösterilirse

$$\frac{C_s - C_e}{C_s - C_0} = e^{-k_2 \cdot t_k} = \text{sabit} = 1 - K$$

ifadesi elde edilir.

Tek düşümden ibaret olan havalandırıcılarda verim sabiti K değeri, düşüm yüksekliğine, sıcaklığa ve suyun kirlilik derecesine bağlıdır. K'nın değeri:

Temiz suda  $K = 0,45 (1+0,046 T) h$

Kirletilmiş sularda  $K = 0,36 (1+0,046 T) h$

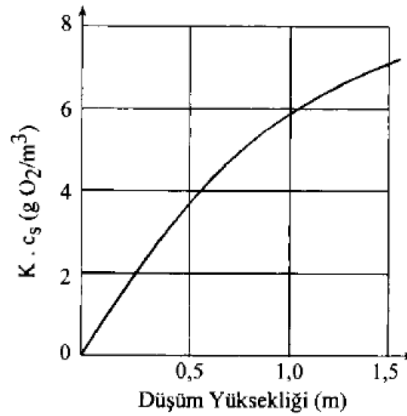
Kanalizasyon suyunda  $K = 0,29 (1+ 0,046 T) h$

şeklinde hesaplanabilir. T suyun C olarak sıcaklığı, h düşüm yüksekliği (m) dir.

Görüldüğü gibi tek düşümlü havalandırmanın verimliliği düşüm yüksekliğiyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Ancak yapılan çalışmalarda düşüm yüksekliğinin belli bir değerden sonra verimliliğinin artmadığı görülmüştür.

İçme Suyu Arıtımı

19



**Düşüm Yüksekliği ile K Cs arasındaki bağıntı**

İçme Suyu Arıtımı

20

Düşümlü havalandırıcılarda havalandırma verimliliği

$$O_e = \frac{O_c}{N_g}$$

Oksijen kapasitesi standart şartlar altında birim zamanda sisteme verilen oksijen miktarı olduğundan

$$O_c = K \cdot C_s \cdot Q$$

$$N_g = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot h}{\eta}$$

$\rho$ : Suyun özgül ağırlığı kg/m<sup>3</sup>

Q: Debi m<sup>3</sup>/s

H: Düşüm yüksekliği m

$\eta$ : verim

$N_g$ : Güç J/s

Yukarıdaki değerler yerine yazılırsa

$$O_e = \frac{K \cdot C_s \cdot Q \cdot \eta}{\rho \cdot g \cdot Q \cdot h} = \frac{K \cdot C_s \cdot \eta}{\rho \cdot g \cdot h} \quad \text{g O}_2/\text{J}$$

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  olduğundan  $O_e$  mgO<sub>2</sub>/J cinsinden ifade edilmek istenirse

$$O_e = \frac{K \cdot C_s \cdot \eta}{g \cdot h} \quad (\text{mg O}_2/\text{J})$$

## Kademeli Havalandırıcılar

Tek düşümlü (savak) havalandırıcılarda düşük yüksekliğinin 0,7 m den fazla olması halinde havalandırma verimliliğinin azaldığı ifade edilmişti. Tek düşümdeki bu mahzuru ortadan kaldırmak için basamak şeklinde kademeli bir havalandırma uygulanabilir.

Kademeli havalandırıcılarda oksijen transferinin matematik bağıntısının ifadesinde:

$$(C_e - C_o) = K (C_s - C_o)$$

denkleminde faydalanılabilir.

İçme Suyu Arıtımı

23

Eğer toplam düşüm yüksekliği  $n$  adet kademeye bölünür ve her kademenin verim sabiti  $K_n = K/n$  şeklinde ifade edilirse,  $n$ . Kademeden sonraki çözünmüş oksijen konsantrasyonu,  $C_n$  aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$C_e = C_s - (C_s - C_o) (1 - (K/n))^n$$

Burada  $K/n$  değeri her bir kademenin verim sabiti olarak alınmalıdır. Mevcut sabit bir düşüm yüksekliğinin olması halinde bu toplam düşüm yüksekliğinin kaç kademeye bölünmesinin uygun olacağı bilinmelidir. Çünkü belli bir düşüm sayısında çıkış suyunda çözünmüş oksijen içeriği en büyük değere ulaşacaktır.

İçme Suyu Arıtımı

24



İçme Suyu Arıtımı

25



İçme Suyu Arıtımı

26



İçme Suyu Arıtımı

27



İçme Suyu Arıtımı

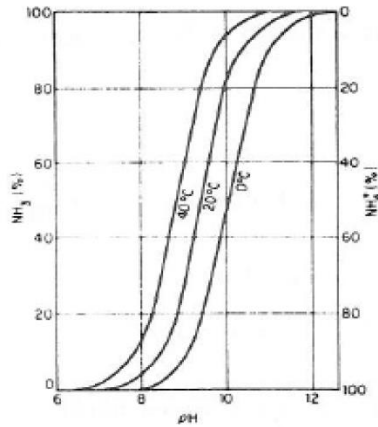
28

## Çok Katlı Tablalı Havalandırıcılar

Çok katlı tablalı havalandırıcılarda su, yukarıdan latalı, delikli veya tel örgülü tabanla teşkil edilmiş bir seri tablanın üzerine dağıtılarak verilir ve aşağı düşen su en altta bulunan havuzda toplanır. Kule şeklindeki çok katlı tablalı havalandırıcılar genellikle kapalı inşa edilirler ve karbondioksit ve amonyağın sulardan gideriminde kullanılır. Su yukarıdan aşağı dökülürken, aşağıdan yukarıya hava verilir (karşı akım esası).

İçme Suyu Arıtımı

29



Sıcaklık ve pH'nın Sudaki  $\text{NH}_3$  ve  $\text{NH}_4^+$  Dağılımına Etkisi

İçme Suyu Arıtımı

30

## Kabarcıklı Havalandırıcılar

Havalandırma verimliliği  $O_e$

$$O_e = \frac{O_c}{N_g}$$

bağıntısından bulunabilir.

$$N_g = Q_g \cdot P / \eta$$

Gerekli güç  $N_g$  (watt), verilen hava dehisi  $O_g$  (m<sup>3</sup>/s) ve hava basıncından,  $P$  (pa) bulunabilir.

$\eta$  toplam verimi ifade eder, motorun ve kompresörün (üfleyicinin) verimleri çarpımıdır.

$P$ , boru ve difüzördeki toplam kayıplar ile havuzdaki su basıncını yenmek için gerekli basıncın toplamı olduğundan

İçme Suyu Arıtımı

31

$$N_g = Q_g \cdot (\Delta P + d_i \cdot \rho \cdot g) / \eta$$

$\Delta P$  : Hava borularında ve gözenekli tüpteki toplam basınç kaybını, Paskal

$d_i$  : Gözenekli tüplerin su yüzeyinden derinliğini, m göstermektedir.

Bazı durumlarda basınç kaybı yerine, metre su sütunu (mss) cinsinden yük kaybı verilebilir.

$$\Delta h = \Delta P / \rho g \quad \text{ve} \quad \Delta h + d_i = h \quad \text{ve}$$

$$N_g = Q_g \cdot h \cdot \rho \cdot g / \eta$$

İçme Suyu Arıtımı

32