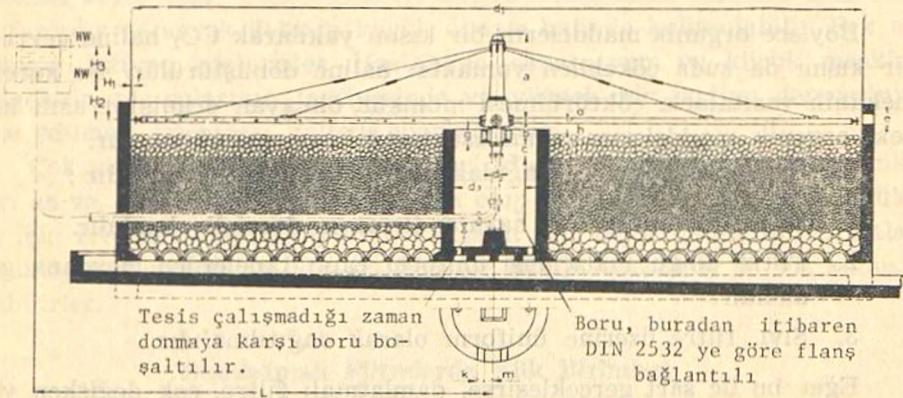


# DAMLATMALI FİLTRELER

Yılmaz MUSLU <sup>1)</sup>

## Giriş

Mekanik bir tasfiyeden geçmiş ve içindeki çökebilir maddeleri ayrılmış olan kullanılmış sular, kırma taş veya iri taneli malzeme yığınları içinden geçirilir. (Şekil 1). Burada tanelerin arasındaki boşluklar tamamen sıvı ile dolu değildir. Su ve hava sıcaklığına bağlı olarak, tanelerin arasındaki boşlukların bir kısmından - yani sıvının doldurmadığı kısımdan - aşağıdan yukarıya veya yukarıdan aşağıya doğru hava akımı meydana gelir. Dış hava ile su sıcaklıkları farkı 2°C olduğu zaman tabii havalandırma başlar ve 3°C lik bir fark biyolojik oksidasyon için lüzumlu oksijenden defalarca fazlasını temin etmeye kâfi gelir (1). Bu esnada tanelerin üzerinde mikro ve makro organizmalardan meydana gelen bir biyolojik tabaka teşekkül eder. Buradaki canlılar, sıvı içinde

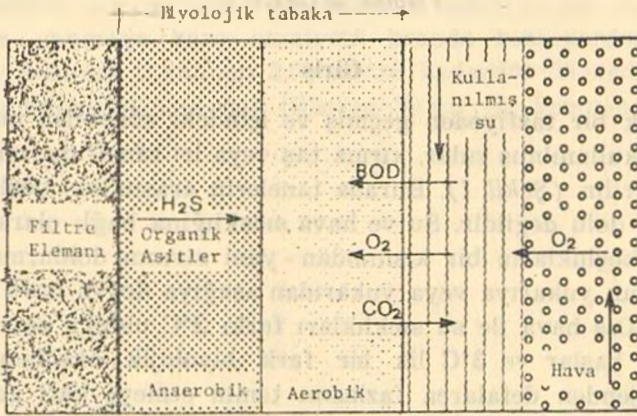


Şekil 1 Bir damlatmalı filtrenin kesiti (Passavant)

mevcut organik maddeleri besin maddesi olarak kullanarak gittikçe bu tabakanın kalınlığını artırır. Sıvının sürüklenme kuvveti sebebiyle, belirli bir kalınlıktan sonra buradan kopan parçalar son çöktürme havuzunda sıvıdan ayrılırlar.

1) Doç. Dr. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Çevre Sağlığı ve Teknolojisi Kürs.

Bu biyokimyasal olayda, canlıların çoğalmasını temin eden oksijen hava akımından sağlanır ve ortaya çıkan  $CO_2$  tekrar atmosfere döner. Canlıların metabolizma faaliyeti sırasında açığa çıkan artık maddeler ise tanelerin üzerinden akan sıvıya, kısmen de atmosfere geri verilir. (Şekil 2).



Şekil 2 Damlatmalı filtrelerde biyokimyasal reaksiyonlar ile katı, sıvı ve gaz fazları.

Böylece organik maddelerin bir kısmı yakılarak  $CO_2$  haline çevrilir, bir kısmı da suda çökebilen yumaklar haline dönüştürülür. Bu suretle mekanik vasıtalarla çöktürülmesi mümkün olmayan erimiş ve asılı haldeki organik maddelerin sudan uzaklaştırılması mümkün olur.

Bir damlatmalı filtre aşağıdaki şartlar yerine getirmelidir :

1. Filtre tabanı iyi bir havalandırmaya elverişli olmalıdır.
2. Filtre dolgu malzemesi uniform çaplı tanelerden meydana gelmelidir.
3. Sıvı, filtre üzerine üniform olarak dağıtılmalıdır.

Eğer bu üç şart gerçekleşirse, damlatmalı filtre, çok değişken yük durumlarında dahi iyi bir tasfiye yapabilir.

Damlatmalı filtrelerin değişken yüklere karşı esnekliği, tabii su yataklarının tabanlarındaki çakıl ve taşlar üzerindeki yaşama şartlarının aynının, filtre malzemesi üzerindeki biyolojik tabakada kendini göstermesinden ileriye gelir. Eğer filtre tabanı gerektiği gibi havalandırılırsa, biyolojik film, organizmaların gelişmesi için kâfi oksijen kazanmış olur. Sıvının filtreye kesintili olarak verilmesi canlıların yok olmasına yol açmaz. Çünkü kapiler ve moleküler kuvvetler sebebiyle tanelerin temas



noktaları ile biyolojik tabakada ve sıvı filmi içinde tutulan ve akışa iştirak etmeyen bir sıvı hacmi daima mevcuttur. Fakat canlıların büyüme hızları yavaşlar. Bu durum, aynı zamanda filtrenin tıkanmasını da önler. Bu sebeple filtrenin maruz kaldığı yük ile, biyolojik tabakanın gelişme hızı arasında iyi bir denge kurarak tatminkâr işletme şartlarını hazırlamak gerekir. Taşlar arasındaki boşlukların tıkanmaması için, teşekkül eden biyolojik tabaka su ile birlikte sürekli olarak parçalanıp taşınmalıdır.

### Damlatmalı Filtrelerin Çeşitleri

Damlatmalı filtreler ikiye ayrılır:

- 1) Fasilalı olarak su sevkedilen (fasıllı çalışan) az yüklü filtreler,
- 2) Sürekli çalışan, çok yüklü filtreler.

Az yüklü filtreler hacimleri fazla olduğu için çok miktarda bakteri maddesi ihtiva ederler ve bu sebepten temizleme güçleri yüksektir. Değişken debilere ve değişken organik yüklere karşı uygundurlar. Sıvı akımı kesildiği zaman, canlılar birbirlerini tüketirler. Akım tekrar geldiğinde bunların bir kısmının yerlerinden kolaylıkla koparılarak su ile taşınması kolay olur. Yüzey alanları büyük olduğundan lüzumlu arsa alanı fazladır ve ancak debinin küçük olması halinde kullanılabilir. Pek az bakıma ihtiyaç gösterirler. Hastahane, sanatoryum ve küçük meskûn bölgelerin pis sularının tasfiyesinde ve yüksek bir tasfiye derecesinin elde edilmesi istenmesi halinde uygundurlar.

Çok yüklü filtrelerin ise hacimleri küçük olduğundan, bakteri miktarı az ve, temizleme kabiliyeti sınırlı olup sabit debiler ve organik yükler için elverişlidirler. (Veya bu maksatla geri devir yaptırılır). Az alana ihtiyaç gösterdikleri için bu filtreler büyük tesislerde de söz konusu olabilirler.

### Damlatmalı Filtrelerde Yük Birimleri

Damlatmalı filtreler, ilk çöktürme havuzundan çıkan mekanik olarak temizlenmiş suların, beş günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı (= BOI<sub>5</sub>) cinsinden ifade edilen organik madde konsantrasyonunu, mikroorganizmalar yardımıyla indirgerler. Filtrenin biyolojik verimi, filtreye giren ve son çökeltim havuzundan çıkan suların BOI<sub>5</sub> değerleri arasındaki fark cinsinden ifade edilir. Filtre veriminin belirtilmesi için lüzumlu olan bazı tarifler aşağıda verilecektir :

### Organik Yük:

Filtreye bir günde giren suyun içindeki, meselâ  $BOI_5$  birimleriyle ifade edilen organik madde miktarının filtre hacmine bölünmesiyle elde edilen değer olup  $B_v$  sembolü ile gösterilir.

$$[B_v] = \text{gr } BOI_5/m^3/\text{gün}$$

### Hacimsel Hidrolik Yük:

Filtrenin birim hacmine günde isabet ede su miktarı olup  $Q_v$  sembolü ile gösterilir:

$$[Q_v] = m^3/m^3/\text{gün}$$

Filtreye giren suyun  $BOI_5$  değeri  $gr/m^3$  cinsinden  $c$  ile gösterilirse,

$$B_v = c Q_v$$

yazılabilir. ( $mg/lt$  cinsinden konsantrasyon  $gr/m^3$  cinsinden konsantrasyonla aynıdır). Mesela  $c=200 \text{ mg/lt}=200 \text{ gr/m}^3$ ,  $Q_v=4 \text{ m}^3/m^3 \text{ gün}$  ise,  $B_v=200 \times 4=800 \text{ gr } BOI_5/m^3/\text{gün}$  olur.

### Yüzeyel Hidrolik Yük

Filtrenin birim yüzeyine bir saatte isabet eden su miktarı olup  $Q_A$  sembolü ile gösterilir :

$$[Q_A] = m^3/m^2/\text{st}$$

Düşük hızlı damlatmalı filtreler için bu değer o kadar önemli değildir. Fakat yüksek hızlı filtrelerde, filtrenin yıkanması ile alakalı olduğu için ehemmiyetlidir ve bu iki tip filtreyi birbirinden ayıran bir özellik olmaktadır. Yüksek hızlı filtrelerde  $Q_A \geq 0,8 \text{ m}^3/m^2/\text{st}$  olmalıdır. Pratikte 1,5 hatta 4,8  $m^3/m^2/\text{st}$  değerine kadar çıktığı görülmektedir. Böyle yüksek hızlarda biyolojik tabaka devamlı olarak yıkanarak sürüklenir; birikmeye ve çürümeye vakit kalmaz. Çıkış suyunun yumak miktarı fazla olduğundan son çöktürme havuzunda bekleme süresi 2 saatten fazla olmalıdır.

$D$  filtre çapını,  $A$  filtrenin taban alanını ( $A = \pi D^2/4$ ) ve  $H$  filtre yüksekliğini gösterdiğine göre yukarıda tariflenen büyüklükler arasında şu münasebetler mevcuttur.

$$Q = Q_v \cdot A \cdot H = \text{Filtreye giren debi} = m^3/g \quad (2)$$

$$Q_A = Q/A = Q_v \cdot H = m^3/m^2/g$$

Bir gündeki saat sayısı  $T$  ile gösterilirse

$$Q_A = Q_v H/T = \text{Yüzeysel hidrolik yük} = \text{m}^3/\text{m}^2/\text{st} \quad (3)$$

$$B_v AH = cTQ_A A = \text{giren organik madde} = \text{gr/gün} \quad (4)$$

$$B_v H = cTQ_A \quad (5)$$

olur.

Yüzeysel hidrolojik yükün hesabında ekseriya saatlik maksimum debi esas alınır. Bu ise  $T=14$  ila 16 saat kabul etmek demektir.

### Misal 1

Çöktürülmemiş haldeki pis su için beş günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı 300 mg/lt dir. Çöktürülmüş pis su için  $\text{BOI}_5$  bundan % 33 daha az kabul edilecektir, yani  $c=200$  mg/lt dir.  $Q_A=0,8$   $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{st}$  alınırsa, 16 saatlik ortalama için filtrenin birim alanına günde isabet eden organik madde miktarı  $= 0,8 \times 16 \times 200 = 2560$   $\text{gr}/\text{m}^2/\text{gün}$  olur. Organik yük  $B_v = 700$   $\text{gr}/\text{m}^3/\text{gün}$  kabul edilirse, filtre yüksekliği

$$\frac{2560 A}{A H} = 700 \quad ; \quad H = \frac{2560}{700} = 3,65 \text{ m}$$

bulunur. Eğer  $B_v = 850$   $\text{gr}/\text{m}^3/\text{gün}$  alınsaydı,  $H = 3.00$  m olacaktı. Bu açıklamalardan çıkan sonuç, giriş suyunun  $\text{BOI}_5$  değeri ne kadar yüksekse, damlatmalı filtre yüksekliğinin o kadar büyük tutulması gerektirir. K. R. Imhoff, filtre yüksekliğini 3 ilâ 4 m tavsiye etmekte, yüksek temas süreleri sebebiyle filtre yüksekliğini büyük tutmakla daha iyi işletme sonuçları alınabileceğini ifade etmektedir. (2). A.B.D. ve İsviçre gibi su sarfiyatının çok fazla olduğu memleketlerde, kullanılmış sular fazla sarf edilmiş olduğundan düşük  $\text{BOI}_5$  değerlerine sahiptirler. Bu sebeple bu ülkelerde, filtre yüksekliği, aynı hacimsel hidrolik yükler için daha küçük alınabilir. Kanallara fazla yeraltı suyunun sızdığı yerler için de aynı durum söz konusudur. Kullanılmış suyun kirliliğinin az olduğu böyle yerlerde, organik yükü mümkün merteye yüksek tutarak buna rağmen daha iyi bir temizleme etkisi elde edilebilir. A.B.D. de, ekseriya  $B_v = 1200$   $\text{gr}/\text{m}^3/\text{gün}$  alınmaktadır (3).

Damlatmalı filtrelerin tasfiye veriminin, filtrenin birim hacmi başına düşen bakteri miktarının bir fonksiyonu olacağı düşünülebilir. Verilen bir filtrede bu miktar aşağı yukarı sabittir ve organik yük değerine göre değişir.



Heukelekian'a göre, yüksek hızlı filtrelerin biyolojik madde miktarları, kuru ağırlık cinsinden 3200 ila 6300 gr/m<sup>3</sup> arasında değişir. Organik yük  $B_v = 600$  gr BOI<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>/gün alınır, günde beher gr biyolojik madde başına isabet eden BOI<sub>5</sub> değeri, yani çamur yükü  $600 : 3200 = 0,19$  gr BOI<sub>5</sub>/gr kuru madde ile  $600 : 6300 \approx 0,1$  gr BOI<sub>5</sub>/gr kuru madde değerleri arasında değişir. Yüzeysel hidrolik yükü  $Q_A = 0,1$  ilâ 0,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/st arasında değişen düşük hızlı damlatmalı filtrelerde Heukelekian, biyolojik madde miktarını 4700 ila 7200 gr kuru madde/m<sup>3</sup> olarak ölçmüştür. Düşük hızlı filtreler için  $B_v = 200$  gr BOI<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>/g alınır, bu halde çamur yükü 0,03 ilâ 0,04 gr BOI<sub>5</sub>/gr kuru madde/gün olur. Bu sebeple, yüksek hızlı filtreler, düşük hızlı aktifleştirme tesisleri ile, düşük hızlı filtreler ise, biyolojik çamurları dahi aerobik ayrışmaya maruz kalan uzun havalandırmalı aktifleştirme tesisleri ile mukayese edilebilecek bir biyokimyasal oksidasyon olayına maruz kalırlar (2).

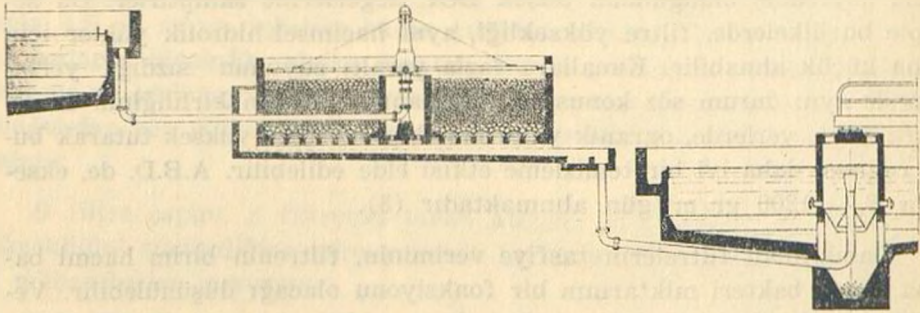
Tablo 1 de, düşük ve yüksek hızlı (=az ve çok yüklü) filtreler birbiriyle karşılaştırılmışlardır.

### Damlatmalı Filtrelerin Tertip Esasları

Damlatmalı filtrelerin tertip şekilleri herşeyden önce zeminin eğimine ve tasfiye tesisinin genel vaziyet plânına bağlıdır. Buna, seçilen işletme metodu da tesir eder. Aşağıda damlatmalı filtrelerin tertip esasları ile ilgili bazı misaller verilecektir (3).

#### *Kullanılmış Suların Yerçekimi ile Akıtıldığı Yüksek Hızlı Damlatmalı Filtreler (Şekil 3):*

İlk çöktürme havuzundan çıkan sular yerçekimi etkisiyle damlatmalı filtreye, buradan da son çöktürme havuzuna akarlar. Pis su debisi,



Şekil 3. Kullanılmış suların yerçekimi ile akıtıldığı yüksek hızlı damlatmalı filtre (Passavant)

Tablo 1. Alçak ve Yüksek Hızlı Damlatmalı Filtrelerin Birbiriyle Karşılaştırılması

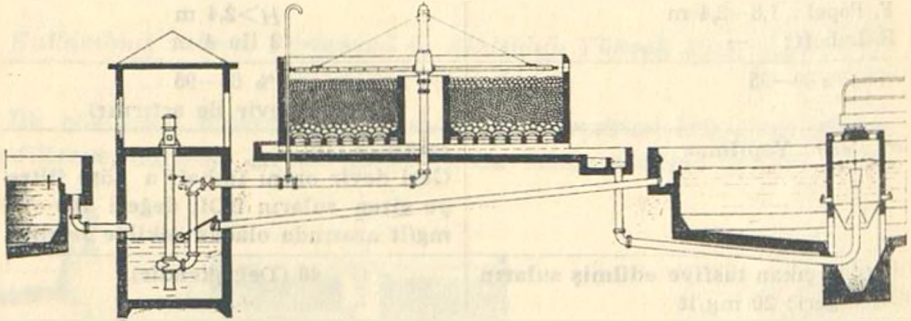
Alçak Hızlı Filtreler	Yüksek Hızlı Filtreler
<p><b>Organik Yük, <math>[B_o]=gr BOI_5/m^3/gün</math></b>  A.B.D. : 80-400  İngiltere : 100-200  Imhoff : 175</p> <p>(Imhoff'a göre çöktürülmüş pis su için <math>BOI_5=35 gr/Nüfus/gün</math> olduğundan filtrenin beher <math>m^3</math> üne bağlanabilecek nüfus sayısı şöyle olur:  <math>175 : 35=5 N/m^3</math>)</p>	<p>400-4750  —  700</p> <p><math>700 : 35=20 N/m^3</math></p>
<p><b>Yüzeysel Hidrolik Yük, <math>[Q_A]=m^3/m^2/st</math></b>  A.B.D. : 0,04-0,17  İngiltere : 0,03-0,05  Imhoff : 0,10</p> <p>Imhoff'a göre bu değer en fazla 0,3 olabilir. Imhoff'a göre alçak hızlı filtrelerde yüzeysel hidrolik yük fazla bir mana ifade etmez. Boyutlandırma filtre yüksekliği <math>H=1,8-2,4</math> m arasında kalacak şekilde yapılır.</p>	<p>0,35-1,7  —  <math>\geq 0,8</math></p>
<p><b>Yükseklik, <math>[H]=m</math></b>  A.B.D. : 1,5-2,4 m  İngiltere : 1,8 m  F. Pöpel : 1,8-2,4 m  K. R. Imhoff : —</p>	<p>0,9-1,8 m (2,4)  —  <math>H&gt;2,4</math> m  3 ila 4 m</p>
<p><b>Verim : % 80-95</b></p>	<p>% 65-95  (Geri devir ile artırılır)</p>
<p><b>Geri Devir : Yapılmaz</b></p>	<p><math>r=0,5-3</math> (10)  Geri devir oranı Imhoff'a göre filtreye giren suların <math>BOI_5</math> değeri 100-150 mg/l arasında olacak şekilde seçilir.</p>
<p><b>Filtreden çıkan tasfiye edilmiş suların <math>BOI_5</math> değeri : 20 mg/l</b></p>	<p>40 (Değişkendir)</p>
<p><b>Debi ve <math>BOI_5</math> değişken olabilir.</b></p>	<p>Debi ve <math>BOI_5</math> hiç değilse geri devirle sabit hale getirilmelidir.</p>
<p><b>Geniş arsa ister. İlk tesis masrafı yüksektir. Elektriğin pahalı, tasfiye tesisinin şehre uzak ve arsanın ucuz olması halinde düşünülebilir. Bugün pek kullanılmamaktadır.</b></p>	<p>İlk tesis masrafı az ise de işletme masrafı - geri devir sebebi ile - yüksektir. Tesis şehre yakın ve arsa pahalı ise alçak hızlı filtrelerden daha ekonomik olur.</p>
<p><b>Çabuk tıkanır. Don tehlikesi söz konusudur. Sinekler çok ürerler.</b></p>	<p>—</p>
<p><b>Daha ziyade İngiltere ve Hollanda'da kullanılır.</b></p>	<p>A.B.D. ve Almanya'da kullanılır.</p>

su sarfiyatı ile ilgili salınımlar gösterir. Döner dağıtıcının projelendirilmesinde bu husus dikkate alınmalıdır. Bu teçhizatı imal eden firmalar, minimum ve maksimum debi arasındaki orana göre kullanma sınırını tayin ederler. (Mesela minimum debi maksimum debinin en az 1/3'ü olabilir gibi)

Eğer tesise giren kullanılmış su debisi aşırı değişmeler gösteriyorsa veya, başlangıçta tesise bağlanan nüfus sayısının ileride fazla miktarda artacağı göz önüne alınıyorsa, ilk çöktürme havuzu ile damlatmalı filtre arasına Şekil 6 da görüldüğü gibi bir sifon konulur. Bu itibarla yüksek hızlı damlatmalı filtrelerin de fasılalı şekilde çalıştırılması mümkündür. Yüksek hızlı damlatmalı filtreye kesik kesik su verilmesi onun çalışmasını kötüleştirmez, bil'akis iyileştirir.

#### *Kullanılmış Suların Yüksek Hızlı Damlatmalı Filtreye Tulumba İle Verilmesi Hâli (Şekil 4):*

Ekseriya zemin eğimi, suları yerçekimi ile akıtmaya yetmez. Bu sebeple ön çöktürme havuzu ile damlatmalı filtre arasına bir tulumba odası konur. Damlatmalı filtre ve son çöktürme havuzu öyle yerleştirilir ki kullanılmış sular, damlatmalı filtreden itibaren alıcı suya kadar yerçekimi ile akabilsin. Ön çöktürme havuzu, aynı zamanda bir dengeleme ha-



Şekil 4. Kullanılmış suların tulumba ile sevkedildiği bir yüksek hızlı damlatmalı filtre tesisi (Passavant).

vuzu vazifesi görerek saatlik maksimum debileri depolayacak derecede büyük hacimli olmalı ve böylece kullanılmış sular damlatmalı filtreye üniform olarak pompalanabilmelidir. Endüstri orijinli bazı tip kullanılmış sular için buna muhakkak ihtiyaç vardır. Bu sebeple tulumbaların



manometrik iletim yüksekliği lüzumundan fazla seçilmemeli, ancak az bir miktar basınç fazlası kalmalıdır. Döner dağıtıcının diyaframı, düşük direnç gösterecek ve kolayca dönecek şekilde ayarlanmış olduğundan, aşırı basınçlara maruz kalmamalı, ya bir taşma borusu yahut da basınç düşürme ventili ile techiz edilmelidir. (Şekil 4 e bakınız).

Bu tip tertip şeklinde, tulumba geri devir yaptırmak için de kullanılabilir. Bu maksatla tulumbanın emme haznesini son çöktürme havuzunun çıkış savaklarının döküldüğü kanala bağlamak kâfidir. Bu borunun ucu bir yüzgeç vana ile techiz edilerek belirli bir seviyede kapanması sağlanır. Böylece kullanılmış su debisindeki değişmeler geri dönen sularla dengelenerek damlatmalı filtreye sabit bir debinin basılması temin edilmiş olur.

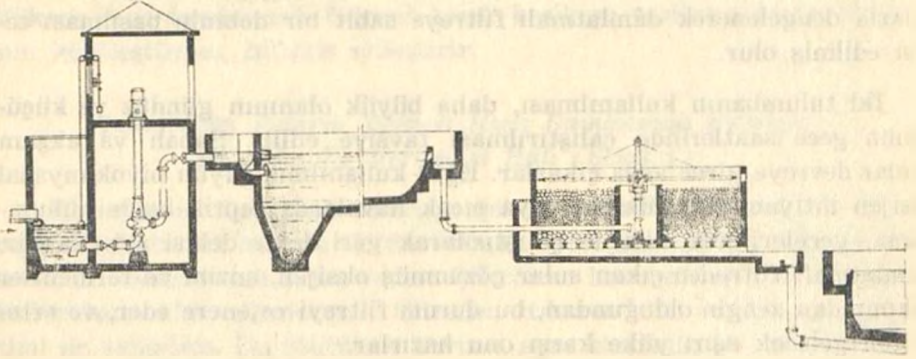
İki tulumbanın kullanılması, daha büyük olanının gündüz ve küçüğünün gece saatlerinde çalıştırılması tavsiye edilir. Sabah ve akşam bunlar devreye girer veya çıkarlar. Eğer kullanılmış suyun biyokimyasal oksijen ihtiyacı çok yüksek, veya sıcak havalarda septik halde bulunuyorsa, geceleri her ikisi de çalıştırılarak geri devir debisi artırılabilir. Damlatmalı filtreden çıkan sular çözünmüş oksijen, enzim ve fermentler bakımından zengin olduğundan, bu durum filtreyi rejenere eder, ve erte-si gün gelecek aşırı yüke karşı onu hazırlar.

Şekil 4 deki tertip tarzı düşük hızlı damlatmalı filtrelerde de söz konusu olabilir. Ancak bu halde, damlatmalı filtrenin kesik kesik besleneceği göz önünde tutularak tulumba ile filtre arasına bir dozlama haznesi (toplama odası) ve bir sifon konulmalıdır. Tulumba kâfi yükseklikte olan toplama odasına su verir ve oradan sular yer çekimi ile sifon üzerinden damlatmalı filtreye geçerler. Mamafih, bu hal için daha çok kullanılan bir şekil, tulumbayı, su seviyesine bağlı olarak otomatik bir şekilde, şalterler vasıtasıyla devreye sokup çıkarmaktır. Çünkü Şekil 4 deki tertip tarzında, yüzgeç şalterlerle tulumbayı kumanda etmek mümkün değildir. Zira geri devir borusunun ağzındaki vana da su seviyesine göre akımı ayarladığından iki tip ayar birbirine girer. Bununla beraber az yüklü filtrelerde zaten yüksek bir verim elde edildiğinden su kalitesini düzeltmek için geri devri yaptırmaya pek lüzum olmadığını hatırlatmalıdır.

Şekil 4 deki tertip tarzında tulumba daima bir ön temizlemeden geçmiş suları bastığından nâdiren tıkanma ve arızalanma tehlikesine maruz kalır. Bu sebeple tatbikatta ekseriyetle bu hal ile karşılaşırlar.

*İlk Çöktürme Havuzundan Önce Suların Yükseltildiği  
Damlatmalı Filtre Tesisleri (Şekil 5):*

Tasfiye tesisine gelen pis su kanalı çok derinde bulunuyorsa, tulumba odası, ilk çöktürme havuzundan önce de konulabilir. Bu halde sular ön çöktürme havuzuna pompalanır ve oradan alıcı suya kadar cazibe ile akarlar. Bu takdirde, tulumbalar, hiç bir işlem den geçmemiş pis sularda çalışacak şekilde sağlam yapılmalıdır. Şekil 5 deki tertip tarzı hem yüksek, hem düşük hızlı filtreler için tatbik edilebilir.



Şekil 5. İlk çöktürme havuzundan önce suların yükseltildiği bir damlatmalı filtre tesisi (Passavant)

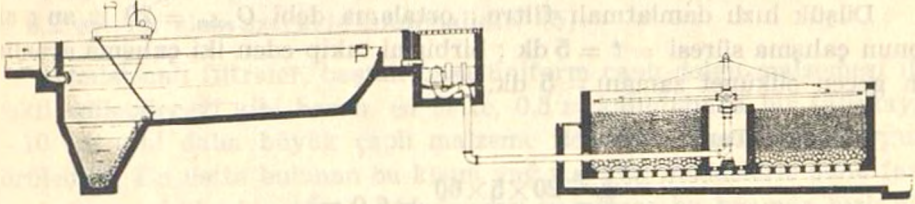
Kullanılmış sular, izgara ve kum tutucu üzerinden tulumbanın emme hazinesine gelir. Tulumbalar önceden tesbit edilmiş iki su seviyesi arasında kesik kesik çalışır. Böylece havuzlara ve damlatmalı filtreye sular fasıllı bir şekilde gönderilmiş olur.

Damlatmalı filtre böyle kesintili beslemeden bir zarar görmez, bilakis daha iyidir. Fasıllı çalışmak, düşük hızlı filtrelerde muhakkak lüzumlu, yüksek hızlı filtrelerde ise faydalıdır (3). Eğer emme haznesi kâfi derecede derin ise, geri devir doğrudan doğruya buraya yapılır. Ayrıca pompaj da yapılabilir. Ön çöktürme havuzunun bekleme zamanı, geri devir debisi ile normal akımın toplamına göre hesaplanır. Bilhassa geceleri yapılan geri devir, daha önce açıklandığı gibi tesise giren pis suyun islâhına imkân verir.



### Câzibe ile Beslenen Düşük Hızlı Damlatmalı Filtreler (Şekil 6):

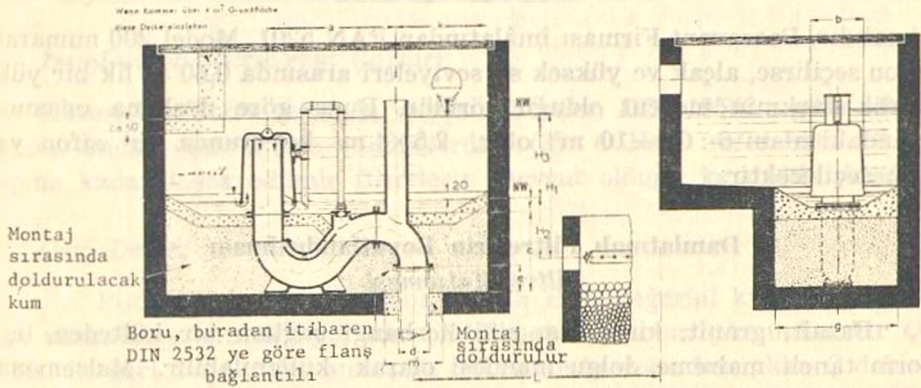
Az yüklü filtreler, daima fasıllı bir şekilde beslenmesi gerektiğinden, bir sifonla teçhiz edilmelidir. Sifonun bulunduğu yapıda giriş bölümünün hacmi, döner dağıtıcının 3 ilâ 5 dakika çalışmasına yetecek bii-yüklükte olmalıdır.



Şekil 6. Caziibe ile beslenen düşük hızlı damlatmalı filtre (Passavant)

### Dozlama Teçhizatı ve Sifon (Şekil 7):

Bu teçhizat bilhassa, pompa tesisi bulunmayan düşük hızlı damlatmalı filtreler için lüzumludur.



Şekil 7. Dozlama teçhizatı (sifon)

Dozlama tankında su seviyesi yükselirken, çan şeklindeki kısımda sıkışmış olan hava okla gösterildiği üzere yavaş yavaş dışarı çıkmaya çalışır. Bu durum, altındaki yardımcı sifon borusu boşalınca kadar devam eder. Böylece çan altındaki basıncın az olması sifonu harekete getirir. Bu durum, su seviyesi çanın alt kenarına düşünceye kadar devam eder. Bu seviyede, sifona hava dolar ve sifon etkisi son bulur.



Her sifon tesisatı bir dolu savak ile donatılmıştır. Bu, herhangi bir tıkanma durumunda suları tahliye için düşünülmüş bir tedbirdir. Debi, sifon kapasitesini geçtiği zaman da dolu savak fazla suları atar : Sifonun çalışma tarzı aşağıda bir misalle açıklanacaktır.

### Misal 2

Düşük hızlı damlatmalı filtre ; ortalama debi  $Q_{\text{gelen}} = 20 \text{ lt/sn}$  ; sifonun çalışma süresi =  $t = 5 \text{ dk}$  ; birbirini takip eden iki çalışma arasında geçen sükûnet zamanı =  $5 \text{ dk}$ .

Dozlama Tankı Hacmi :

$$V = \frac{20 \times 5 \times 60}{1000} = 6,0 \text{ m}^3$$

Sifon, çalışırken hem gelen debiyi iletmeli, hem de bu esnada depo edilen su hacmi tahliye edilmelidir. O halde sifonun kapasitesi

$$Q = \frac{V \times 1000}{t \times 60} + Q_{\text{gelen}}$$

$$= 20 + 20 = 40 \text{ lt/sn}$$

olmalıdır. Passavant Firması imâlatından PAN 5201, Model 200 numaralı sifon seçilirse, alçak ve yüksek su seviyeleri arasında 0,60 m lik bir yükseklik farkının mevcut olduğu görülür. Buna göre dozlama odasının plândaki alanı  $6 : 0,6 = 10 \text{ m}^2$  olur.  $2,5 \times 4 \text{ m}^2$  boyutunda bir sifon yapısı seçilecektir.

### Damlatmalı Filtrelerin Boyutlandırılması

#### Filtre Malzemesi

Bazalt, granit, kireç taşı gibi herhangi sağlam bir külteden, üniform taneli malzeme dolgu maddesi olarak kullanılabilir. Malzemenin kâfi derecede sağlam ve dona dayanıklı olması ve yüzeylerinin fazla cilalı bulunmaması lâzımdır. Son zamanlarda sentetik malzeme de dolgu için kullanılmaktadır. (Bilhassa yüksek konsantrasyonlu pis sular ve endüstri artıkları için.)

Imhoff'a göre İngiltere'de filtre yüksekliği az ( $\sim 1,8 \text{ m}$ ) seçildiğinden dane çapları da küçük (3 ilâ 6 cm) tutulur ( $d_{\text{ort}} = 4 \text{ cm}$ ).

A.B.D. de ise filtreler daha yüksek (2 — 3 m) olduğundan dane çapı büyük (4 ilâ 8 cm), ortalama 6 cm alınır. (1). Imhoff dane çaplarının 4 ilâ 8 cm arasında seçilmesini tavsiye etmektedir.

Pöpel ise dane çaplarının filtre yüksekliğine göre şu şekilde tesbit edilmesi görüşündedir (4).

$$H < 2 \text{ m için } d_1/d_2 = 4/6 \text{ cm}$$

$$H < 3,6 \text{ m için } d_1/d_2 = 6/8 \text{ cm}$$

Fair - Geyer'e göre ise, danelerin % 95 i 10 cm lik elekten geçmeli, ve 6,2 cm lik elek üzerinde tutulmalıdır. (5).

Damlatmalı filtreler, baştan başa üniform çaplı dolgu malzemesi ile teşkil edilebileceği gibi bazan, en üstte, 0,5 m kalınlığında bir tabakayı, 8 - 10 cm gibi daha büyük çaplı malzeme ile teşkil etmek daha uygun görülebilir. En üstte bulunan bu kısım yağ v.s. gibi maddelerle daha fazla tıkanma tehlikesine maruz olduğundan ve ayrıca bu kısımda hızlı bir biyolojik gelişme kendini gösterdiğinden bu şekilde hareket edilmektedir. Filtre tabanı ise üst tabakalara taşıyıcılık vazifesi gördüğünden, bundan başka iyi bir havalandırma temin etmesi gerektiğinden, daha iri taneli malzemeden teşkil edilmelidir.

Bilhassa ehemmiyetli olan husus, bütün kısımlarda tanelerin hep aynı büyüklükte olması ve kum gibi ince maddeler ihtiva etmemesidir.

#### *Damlatmalı Filtrelerin Çapları:*

Ekseriya silindir şeklinde yapılan filtreler, DIN 19553 e göre 40 m çapına kadar standardize edilmişlerdir. (3). 6 No.lu referansta 53 m çapına kadar inşaa edilmiş filtrelerin mevcut olduğu kaydedilmektedir.

#### *Geri Devir:*

Filtreye giren kullanılmış suların BOI<sub>5</sub> değerini küçültmek tasfiye verimini artırmak için, son çöktürme havuzunun çıkışından bir  $Q$ , debisi ile geri döndürülen sular, ilk çöktürme havuzundan çıkan  $Q$  debisi ile karıştırılır. (Şekil 8).  $r=Q_r/Q$  oranına geri devir oranı adı verilir. Buna göre filtreye giren akım

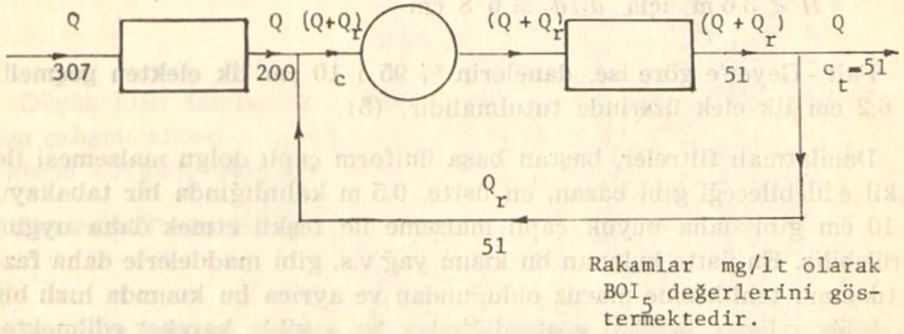
$$Q + Q_r = (1 + r) Q \quad (6)$$

olacaktır.

Bu durumda filtreden çıkan suyun bir kısmı geri alınarak devamlı surette filtre içinden geçirilmiş olur. Gelen kullanılmış su debisinin filtre içinden teorik ortalama geçiş sayısı

$$F' = \frac{Q + Q_r}{Q} = 1 + \frac{Q_r}{Q} = 1 + r \quad (7)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada  $F'$  «geri devir katsayısı» adını alır.



Şekil 8. Geri devir yaptırılan yüksek hızlı bir filtrede akım diyagramı ve çeşitli noktalarda  $BOI_5$  değerlerinin değişimi (Misal 6)

Geçiş sayısı arttıkça organik maddelerin ayrışma kabiliyeti, yani biyolojik tasfiyesinin verimi düşmektedir. Her geçişte verim, bir önceki geçiştekinin belirli bir kesrine eşit farzedilir ve birden küçük olan bu oran  $f$  ile gösterilirse,  $F$  etkili geçiş sayısı aşağıdaki denklemden hesaplanabilir. (5):

$$F = \frac{1+r}{[1+(1-f)r]^2} \quad (8)$$

$r$  geri devir oranı değişken,  $f$  sabit kabul edilirse,  $F$  etkili geçiş sayısı belirli bir geri devir oranı için maksimum olur. Bu geri devir oranı

$$r = \frac{2f-1}{1-f} \quad (9)$$

bağıntısından hesaplanabilir. Damlatmalı filtrelerde  $f = 0,9$  civarındadır.

### Misal 3.

Geri devir oranı  $r = 1$  ve  $f = 0,90$  olduğuna göre

- Kullanılmış suların damlatmalı filtre içinden ortalama geçiş sayısı ne olur?
- Etkili geçiş sayısı ne kadardır?



c) Etkili geçiş sayısını maksimum yapmak için lüzumlu geri devir oranı nedir?

d) Bu geri devir oranında ortalama ve etkili geçiş sayılarının nispetini bulunuz.

$$a) F' = 1 + r = 1 + 1 = 2$$

$$b) F = \frac{1+r}{[1+(1-f)r]^2} = \frac{1+1}{[1+(1-0,9) \times 1]^2} = 1,65$$

$$c) r = \frac{2f-1}{1-f} = \frac{2 \times 0,9 - 1}{0,1} = 8$$

$$d) F_{\max} = \frac{1+r}{[1+(1-f)r]^2} = \frac{1+8}{[1+(1-0,9) \times 8]^2} = 2,78$$

$$F' = 1 + r = 1 + 8 = 9$$

$$\frac{F_{\max}}{F'} = \frac{2,78}{9} = 0,31$$

#### Damlatmalı Filtrelerin Boyutlandırılması İle İlgili Misaller

Boyutlandırma daha ziyade, tecrübeden elde edilen yukarıda tariflenmiş yükleme değerlerine göre yapılır. Eskiden az yüklü filtrelerde  $0,75 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{g}$  ve çok yüklü filtrelerde  $3 - 4 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{g}$  değerinde bir hacimsel hidrolik yük göz önüne alınarak hesap yapılıyordu. Bugün bu şekilde bir hacimsel yük nazarı itibara alınmamaktadır.

Toplam çevre uzunluğunun fazla çıkması ve döner dağıtıcı maliyetinin artması sebebiyle aynı hacmi veren az sayıda filtre tercih edilir. İnşaa edilmiş damlatmalı filtrelerin çapları  $50 \text{ m}$  nin pek üstüne çıkmamaktadır. DIN 19553 e göre, damlatmalı filtreler  $40 \text{ m}$  çapına kadar standardize edilmişlerdir.

#### Misal 4.

*Az yüklü damlatmalı filtre hesabı :*

$$N = \text{Nüfus sayısı} = 50.000$$

$$\text{Su sarfiyatı} = 150 \text{ lt/N/G}$$

$$Q = 0,150 \times 50.000 = 7500 \text{ m}^3/\text{g}$$

$$Q_{18} = \frac{7500}{18} = 420 \text{ m}^3/\text{st}$$

$$\text{Filtre Hacmi} = V = \frac{50.000}{5} = 10.000 \text{ m}^3$$

Yüzeysel hidrolik yük bu filtrelerde o kadar önemli olmadığından yükseklik,  $H = 1,8 \sim 2,4$  m arasında kalacak şekilde seçilerek filtre alanı hesap edilir.  $H = 2$  m seçilirse

$$A = \frac{10.000}{2} = 5000 \text{ m}^2$$

$$Q_A = \frac{420}{5000} = 0,084 < 0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{st}$$

bulunur.

#### Misal 5.

##### Çok yüklü Filtre Hesabı

a) Geri devir yaptırılmadığına göre :

$$V = \frac{50.000}{20} = 2500 \text{ m}^3$$

$$A = \frac{Q_{18}}{Q_A} = \frac{420}{0,8} = 525 \text{ m}^2$$

$$H = \frac{2500}{525} = 4,76 \text{ m}$$

b) Geri devir yaptırıldığına göre :

Eğer yukarki misalde görüldüğü gibi, hesap geri devir yaptırılması sebebiyle büyük bir filtre yüksekliği verirse, uygun bir geri devir oranı seçerek yükseklik normal hale düşürülür. Mesela  $r = 1$  alınırsa,

$$Q = (1 + r) Q = (1 + 1) \times 420 = 846 \text{ m}^3/\text{st}$$

$$A = \frac{840}{0,8} = 1050 \text{ m}^2$$

$$H = \frac{2500}{1050} = 2,40 \text{ m}$$

bulunur. Filtre yüksekliği arttırılmak istenirse, organik yükü azaltıp, filtre hacmini arttırmak lazımdır. Veya daha doğrusu, yüzeysel hidrolik yük artırılabilir. Meselâ:  $Q_A = 0,84 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{gün}$  alınırsa,  $A = 525 \text{ m}^2$ , ve  $H = 2,5$  m bulunur. Geri devir oranının uygun seçilip seçilmediğini an-

lamak için biyolojik verim ifadeleri yardımıyla çıkış suyunun  $BOI_5$  değeri bulunmalı ve geri devir akımı ile karıştıktan sonra filtreye giren suların biyokimyasal oksijen ihtiyacı, geri devir oranı da göz önünde tutularak hesaplanmalıdır. Bu değer 100 - 150 mg/lt arasında olması halinde geri devir oranı iyi seçilmiş demektir. (Sahife 28 deki misal 5 e bakınız.)

### Damlatmalı Filtrelerde Biyolojik Verimin Hesabı

Biyolojik üniteye giren çöktürülmüş suların 5 günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı (= organik madde konsantrasyonu)  $c$ , son çöktürme havuzundan çıkan temizlenmiş suların biyokimyasal oksijen ihtiyacı  $c_1$  olduğuna göre, tesisin biyolojik verimi.

$$\eta_b = \frac{c - c_1}{c} \quad (10)$$

olarak tarif edilir.  $\eta_b$  değeri çok çeşitli faktörlere bağlıdır.  $\eta_b$  yi bu faktörlerin fonksiyonu olarak ifade etmek için çok çeşitli araştırmalar yapılmış ve değişik formül ve metodlar teklif edilmiştir. Bu konudaki çalışmalar hâlen devam etmektedir. Aşağıda klâsik literatüre geçmiş eski bir bağıntı olması bakımından, *NRC* formülü bir misal olarak verilecektir.

*NRC* (*National Research Council*) Kurumu, Fair ve Thomas'ın çalışmaları sonunda, çok sayıda tasfiye tesisindeki ölçme neticelerine dayanılarak aşağıdaki bağıntı teklif edilmiştir:

$$\eta_b = \frac{1}{1 + m i^n} \quad (11)$$

Burada  $i$ , damlatmalı filtrenin birim etkili hacmi ile ilgili organik yük olup  $F$  etkili geçiş sayısının  $F=1$  olması hâlinde  $i=B$ , dir. Genel olarak,  $V$  filtre hacmini gösterdiğine göre

$$i = \frac{y}{FV} \quad (12)$$

bağıntısıyla hesap edilir,  $y$ , filtreye bir günde giren toplam biyokimyasal oksijen ihtiyacını gösterir. Metrik birimlerle yazılırsa, bu formüldeki  $m$  ve  $n$  katsayıları, biyolojik ünitesi damlatmalı filtrelerden meydana gelen tesisler için,  $m = 0,444$  ;  $n = 0,5$  olur.

Buna göre *NRC* formülü

$$\eta_b = \frac{1}{1 + 0,444 \left( \frac{y}{VF} \right)^{0,5}} \quad (13)$$



$$[y] = \text{kg BOI}_5/\text{gün} ; [V] = \text{m}^3$$

şeklinde yazılabilir. Görüldüğü üzere geri devrin etkisi, filtre hacmini, etkili geçiş sayısı kadar artırarak nazarı itibara alınmaktadır.

### Misal 6.

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı  $c_0 = 307 \text{ mg/lit}$  ve debisi  $Q = 3790 \text{ m}^3/\text{g}$  olan kullanılmış sular bir ilk çöktürme havuzunda çöktürüldükten sonra bir damlatmalı filtreden ve onu tåkiben bir son çöktürme havuzundan geçiriliyor. Filtrenin yüzey alanı  $A = 749 \text{ m}^2$  ve yüksekliği  $H = 0,92 \text{ m}$  ise,

a) Geri devri yaptırılmadığına göre

b) Geri devir oranı  $r = 1,5$  ve  $f = 0,9$  olduğuna göre

tesisin biyolojik verimini bulunuz. İlk çöktürme havuzunun verimini %35 kabul ediniz. (Yani ilk çöktürme havuzu kendisine giren  $\text{BOI}_5$  değerinin % 35 ini sudan uzaklaştırmaktadır.\*).

### Çözümü:

$$y = 0,307 (1 - 0,35) \times 3790 = 756 \text{ Kg BOI}_5/\text{gün}$$

$$F = 1 \text{ (geri devir yok)} ; V = \text{Filtre hacmi} = 749 \times 0,92 = 689 \text{ m}^3$$

$$i = B_v = \frac{y}{V F} = \frac{756}{689 \times 1} = 1.105 \text{ Kg BOI}_5/\text{m}^3/\text{gün}$$

$$\eta_b = \frac{1}{1 + 0,444 \left( \frac{y}{F V} \right)^{0,5}} = \frac{1}{1 + 0,444 \times (1,105)^{0,5}} = 0,682$$

O halde mekanik ve biyolojik kısımların toplam verimi, yüzde olarak

$$\eta_r = 35 + (100 - 35) \times \frac{68,2}{100} = 79,5 \%$$

bulunur. Tasfiye edilmiş suların  $\text{BOI}_5$  değeri ise

$$c_t = (1.000 - 0,795) \times 307 = 63 \text{ mg/lit}$$

olur.

(\*) Imhoff, tasfiye tesislerine gelen hiçbir muameleden geçmemiş kullanılmış su için  $c_0 = 54 \text{ gr BOI}_5/\text{N/G}$ , ilk çöktürme havuzundan çıkan kullanılmış su için  $c' = 35 \text{ gr. BOI}_5/\text{N/G}$  değerlerini kabul etmektedir. Buna göre mekanik tasfiyenin verimi  $\eta_m = (54 - 35)/54 = 0,35$  alınabilir.

$$b) F = \frac{1+r}{[1+(1-f)r]^2} = \frac{1+1,5}{[1+(1,0-0,9) \times 1,5]^2} = \frac{2,5}{1,32} = 1,89$$

$$\frac{y}{VF} = \frac{756}{(749 \times 0,92) \times 1,89} = 0,584 \text{ Kg BOI}_5/\text{m}^3/\text{gün}$$

$$\eta_b = \frac{1}{1+0,444(0,584)^{0,5}} = \frac{1}{1+0,444 \times 0,763} = 0,746$$

Bu halde toplam verim, yüzde olarak

$$\eta_r = 35 + \frac{(100-35) \times 74,6}{100} = 35,0 + 48,5 = 83,5 \%$$

olur. Tasfiye edilmiş suların BOI<sub>5</sub> değeri ise

$$c_r = (1,000 - 0,835) \times 307 = 51 \text{ mg/lit}$$

bulunur. Hesaplanan değerler, Şekil 8 deki akım diyagramı üzerinde gösterilmiştir.

#### Not 1.

Damlatmalı filtrelerde geri devir oranı filtreye giren suların BOI<sub>5</sub> değeri 100 - 150 mg/lit oranında olacak şekilde seçilmelidir. Yukarıki misede bunu tahkik edelim (Şekil 8 e bakınız.)

İlk çöktürme havuzu çıkışında  $c = 307(1,00 - 35) = 200 \text{ mg/lit}$  olduğundan, bu suların, geri dönen sularla karışmasından sonra, filtreye girerken biyokimyasal oksijen ihtiyacı, bir süreklilik denklemi yazarak hesaplanabilir :

$$Q \times 200 + Q_r \times 51 = (Q + Q_r) \cdot c$$

$$200 + \frac{Q_r}{Q} \times 51 = \left(1 + \frac{Q_r}{Q}\right) c$$

$$Q_r/Q = r = 1,5 \text{ konulursa}$$

$$200 + 1,5 \times 51 = 2,5 c$$

$$c = 111 \text{ mg/lit}$$

elde edilir. Görüldüğü üzere geri devir oranı uygun seçilmiştir.

#### Not 2.

Kullanılmış suyun BOI<sub>5</sub> değeri gr/Nüfus/gün olarak verilmiş ise bunu mg/lit olarak şu şekilde ifade edebiliriz : Meselâ su sarfiyatı 200

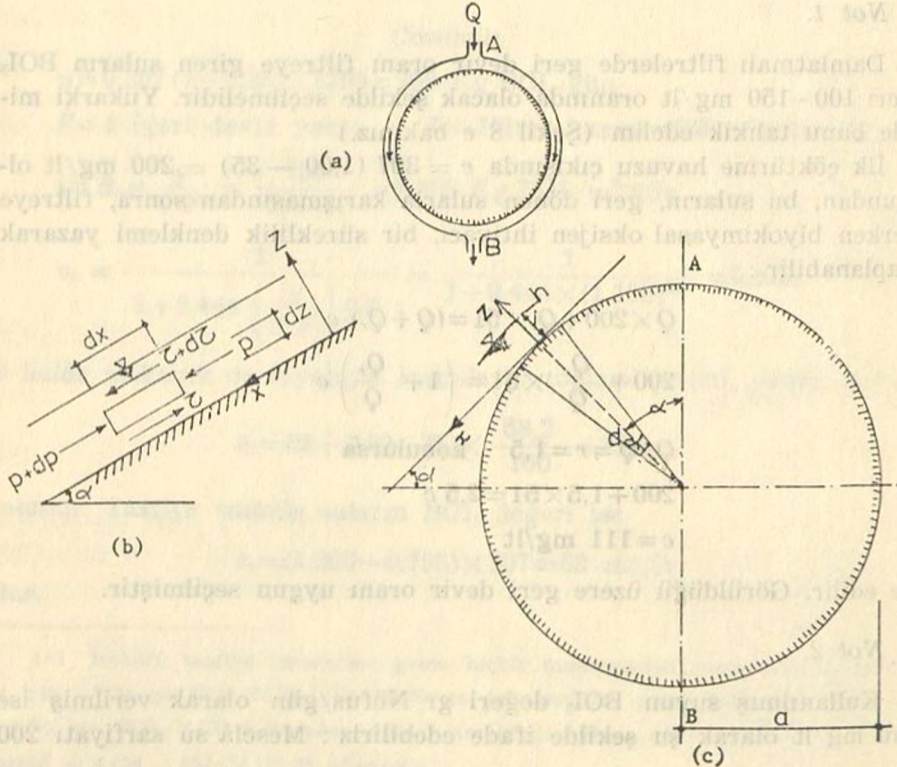
lt/N/G ve çöktürülmemiş pis suyun biyokimyasal oksijen ihtiyacı 54 gr  $\text{BOI}_5/\text{N/G}$  olsun. Çöktürülmüş pis suyun biyokimyasal oksijen ihtiyacını 35 gr  $\text{BOI}_5/\text{N/G}$  kabul edelim. Buna göre mg/lt olarak konsantrasyonlar, ham su için  $54 \times 1000/200 = 270$  mg/lt ve çöktürülmüş su için  $35 \times 1000/200 = 175$  mg/lt bulunur. mg/lt olarak konsantrasyon gr/m<sup>3</sup> olarak konsantrasyona eşdeğer olduğundan yukarıki değerler sırasıyla, 270 gr/m<sup>3</sup> (= 0,270 kg/m<sup>3</sup>) ve 175 gr/m<sup>3</sup> (= 0,175 kg/m<sup>3</sup>) şeklinde de yazılabilir

### Damlatmalı Filtrelerde Akış Süresinin Hesabı.

W. Howland'ın çalışmalarına göre, yarı çapı  $a$  olan küre şeklinde bir tane üzerinde sıvının A dan B ye gelmesi için geçen zaman

$$t = 2,6 \left( \frac{3\nu}{g} \right)^{1/3} \frac{(2\pi)^{2/3} a^{5/3}}{Q^{2/3}}$$

denklemleri ile ifade edilebilir (Şekil 9). (7,8). Burada  $Q$  sıvının debisini  $\nu$  kinematik viskozitesini göstermektedir. Kinematik viskozite sıvı sıcak-



Şekil 9. Tek bir küre üzerindeki akım.



lığının bir fonksiyonudur. Kullanılmış suların sıcaklığı  $12^{\circ}\text{C}$  ile  $15^{\circ}\text{C}$  derece arasında değişmekte ve  $\nu = 1,31 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sn}$  lik bir viskozite değeri ile hesap yapılması tavsiye edilmektedir. (9). Denklem 13 de bütün birimler MKS sisteminde yazılırsa

$$t = 6,526 \times 10^{-2} \frac{a^{5/3}}{Q^{2/3}} \quad (14)$$

olur. Tek bir küre yerine  $n$  küreden meydana gelen bir küre zinciri düşünülürse akış süresi

$$t = n \cdot 6,526 \times 10^{-2} \frac{a^{5/3}}{Q^{2/3}} \quad (15)$$

bulunur. Burada  $n = \frac{H}{2a}$  dir.

Bir damlatmalı filtrenin matematik modeli olarak çeşitli şekillerde istif edilmiş bir küre yığını kabul edilebilir. Belli başlı diziliş şekilleri Ref. 10 ve Ref. 11 de incelenmiştir. Bunlar arasında sadece kübik istif şekli mahiyet itibarile küre zincirine tekabül eder ve Howland teorisi ile kolaylıkla hesaplanabilir. Bunun için damlatmalı filtrenin yüksekliğini  $H$  ve çapını  $D$  ile gösterelim. Filtrede mevcut küre sayısı

$$\left( \frac{\pi D^2}{4} \cdot H \cdot \frac{\pi}{6} \right) : \left( \frac{4}{3} \pi a^3 \right)$$

dür. Yatay küre tabakalarının sayısı  $(H/2a)$  olduğundan bir tabakadaki küre sayısı için

$$\left( \frac{\pi D^2}{4} \cdot H \cdot \frac{\pi}{6} \right) : \left( \frac{4}{3} \pi a^3 \cdot \frac{H}{2a} \right)$$

yazılabilir. Birim alana isabet eden debi, yani yüzeysel hidrolik yük  $Q_A$  ile gösterilirse, filtreye giren debi  $\frac{\pi D^2}{4} \cdot Q_A$  olur. Bu sebepten düşey bir küre zinciri üzerinden akan debi için

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} Q_A \frac{\frac{4}{3} \pi a^3 \cdot \frac{H}{2a}}{\frac{\pi D^2}{4} \cdot H \cdot \frac{\pi}{6}} = Q_A \cdot 4 a^2 \quad (16)$$

yazılabilir. Düşey bir küre zincirinde  $n = \frac{H}{2a}$  küre bulunur. Bu sebepten damlatmalı filtrede akış süresi

$$t = \frac{H}{2a} \cdot 2,6 \left( \frac{3v}{g} \right)^{1/3} \frac{(2\pi)^{2/3} a^{5/3}}{(4a^2 Q_A)^{2/3}} = 1,3 H \left( \frac{3v}{g} \right)^{1/3} \frac{(2\pi)^{2/3}}{4^{2/3} a^{2/3} Q_A^{2/3}}$$

$$t = \frac{H}{2a} \cdot 6,526 \times 10^{-2} \frac{a^{5/3}}{(4a^2 Q_A)^{2/3}} = \frac{1,295 \times 10^{-2}}{a^{2/3}} \frac{H}{(Q_A)^{2/3}} \quad (17)$$

olur. Bu denklemlerde  $t$  saniye olarak akış zamanını;  $H$ , m olarak filtre yüksekliğini;  $Q_A$ ,  $m^3/sn/m^2$  olarak yüzeysel hidrolik yükü;  $a$  metre olarak filtre tanesinin yarıçapını göstermektedir.

Genel olarak hidrolik yük  $m^3/gün/m^2$  cinsinden ifade edildiğinden akış süresi saniye olarak

$$t = \frac{1,295 \times 10^{-2}}{a^{2/3}} \cdot \frac{H}{\left( \frac{Q_A}{86400} \right)^{2/3}} = \frac{25,31}{a^{2/3}} \cdot \frac{H}{Q_A^{2/3}} \quad (18)$$

bulunur. Zaman, dakika cinsinden ifade edilmek istenirse

$$t = \frac{25,31}{60} \cdot \frac{H}{a^{2/3} Q_A^{2/3}} = \frac{0,422 H}{a^{2/3} Q_A^{2/3}} \quad (19)$$

olur. Burada

$$(t) = \text{dakika}$$

$$(H) = \text{m}$$

$$(Q_A) = m^3/gün/m^2$$

$$(a) = \text{m}$$

Howland teorisi D. E. Bloodgood, G. H. Teletzke, ve F. G. Pohland tarafından deneysel olarak doğrulanmıştır (12).

Yukarıdaki denklemler filtre malzemesinin  $S$  özgül yüzeyine göre de yazılabilir. Bilindiği gibi özgül yüzey hacim birimine isabet eden tanelerin yüzey alanlarının toplamına eşittir. Meselâ kübik diziliş için damlatmalı filtrenin özgül yüzeyi, bir kürenin yüzey alanı  $4\pi a^2$  olmasına nazaran,

$$S = \text{Küre sayısı} \cdot \frac{4\pi a^2}{\text{Filtre hacmi}} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H \cdot \frac{\pi}{6} \cdot \frac{4\pi a^2}{\frac{4}{3}\pi a^3} = \frac{\pi}{2a} \quad (20)$$

şeklinde ifade edilir. Buna göre Howland teorisiyle bulunan Denklem 19,  $S$  özgül yüzeyine göre yazılırsa

$$t = 1,3 \left( \frac{3\nu}{g} \right)^{1/3} \cdot \frac{(2\pi)^{2/3} \cdot H}{4^{2/3} \left( \frac{\pi}{2} \right)^{1/3}} \left( \frac{5}{Q_A} \right)^{2/3} = 1,3 H \cdot \left( \frac{3\nu}{g} \right)^{1/3} \cdot \left( \frac{5}{Q_A} \right)^{2/3} \quad (21)$$

bulunur.

Howland'dan sonra bu konuda en önemli çalışma M. D. Sinkoff, R. Porges, J. Mc Dermolt tarafından yapılmıştır. (13). Bu araştırmacılar, boyut analizi tatbik ederek  $t$ ,  $\nu$ ,  $S$ ,  $Q_A$  değişkenleri arasında aşağıdaki bağıntının bulunduğunu göstermişlerdir.

$$t_G = k \cdot \frac{H}{g^{1/3} \nu^{1/3}} \cdot \left( \frac{S}{Q_A} \right)^n \nu^n \quad (22)$$

Burada  $k$  ve  $n$  malzemenin özelliğine ve istif şekline bağlı sabitleri göstermektedir. Sinkoff ve arkadaşları yukarıki denklemin doğruluk derecesini küre ile dolu silindirik kolonlar içinden su geçirmek suretiyle araştırmışlar ve filtrenin girişinde suya NaCl ilave ederek çeşitli zaman fasıllarında bunun filtre çıkışındaki konsantrasyonunu ölçmüşlerdir.  $t_G$  akış süresi, (zaman — konsantrasyon) eğrisinin ağırlık merkezine teka-bül eden zaman fasılları olarak kabul edilmiştir. (Şekil 10).

Bilindiği üzere bu eğri malzemenin ve sıvının dispersiyon karakteristiklerine göre şekil alır. Çeşitli şekillerde tarif edilen bu akış süreleri arasındaki bağıntılar daha sonra 8 No.lu referansta araştırılmıştır.

Sinkoff ve arkadaşları bu deneylerde 1.27, 1.90 ve 2.54 cm çaplı cam küreler, ve 7.62 cm çaplı porselen küreler kullanmışlardır. Sonuç olarak cam küreler için

$$t_G = 3,0 H \frac{\nu^{0,50}}{g^{1/3}} \left( \frac{S}{Q_A} \right)^{0,83} \quad (23)$$

ve porselen küreler için

$$t_G = 1,5 H \frac{\nu^{0,20}}{g^{1/3}} \left( \frac{S}{Q_A} \right)^{0,53} \quad (24)$$

denklemleri bulunmuştur. 21, 23 ve 24 denklemlerinde

$$\nu = 1,31 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sn} ; g = 9,81 \text{ m}/\text{sn}^2$$

konulursa Howland teorisinin verdiği denklem

$$t = 0,312 H \left( \frac{S}{Q_A} \right)^{2/3} \quad (25)$$

olur ve cam küreler için



$$t_G = 0,335 H \left( \frac{S}{Q_A} \right)^{0,83} \quad (26)$$

porcelain küreler için

$$t_G = 0,321 H \left( \frac{S}{Q_A} \right)^{0,53} \quad (27)$$

bulunur. Bu denklemlerde  $t$  dakika,  $H$  metre,  $S$   $m^2/m^3$  ve  $Q_A$   $m^3/m^2/gün$  cinsinden yerine konulmalıdır.

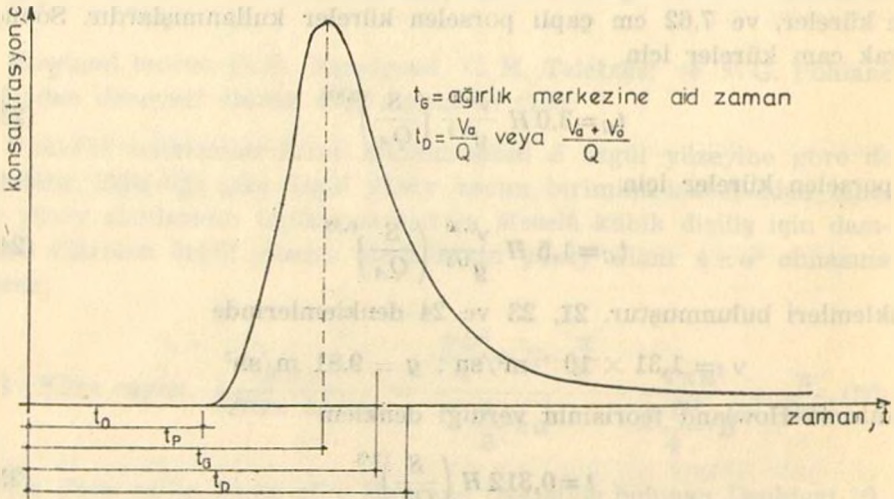
Şekil 10 da görülen zaman — konsantrasyon eğrisi, malzemenin ve sıvının dispersiyon karakteristiklerine göre biçim alır. Çeşitli tarzlarda tarif edilen bu akış süreleri arasındaki bağıntılar daha sonra 8 No.lu referansta araştırılmıştır. Buna göre eğrinin ağırlık merkezine ve tepe noktasına tekabül eden akış zamanları iki terimin toplamı şeklinde ifade edilebilir :

$$t_G = t_s + t_j \quad (28)$$

$$t_p = \frac{2}{3} t_s + t_j \quad (29)$$

Eğer malzemenin porozitesi  $\epsilon = 0,40$  ; su sıcaklığı  $T = 20^\circ C$ , ve suyun yüzey gerilimi  $\sigma/\rho g = 0,074 \times 10^{-4} m^2$  alınırsa

$$t_s = 10^{-3} \times 7,291 H (S/Q_A)^{2/3} \quad (30)$$



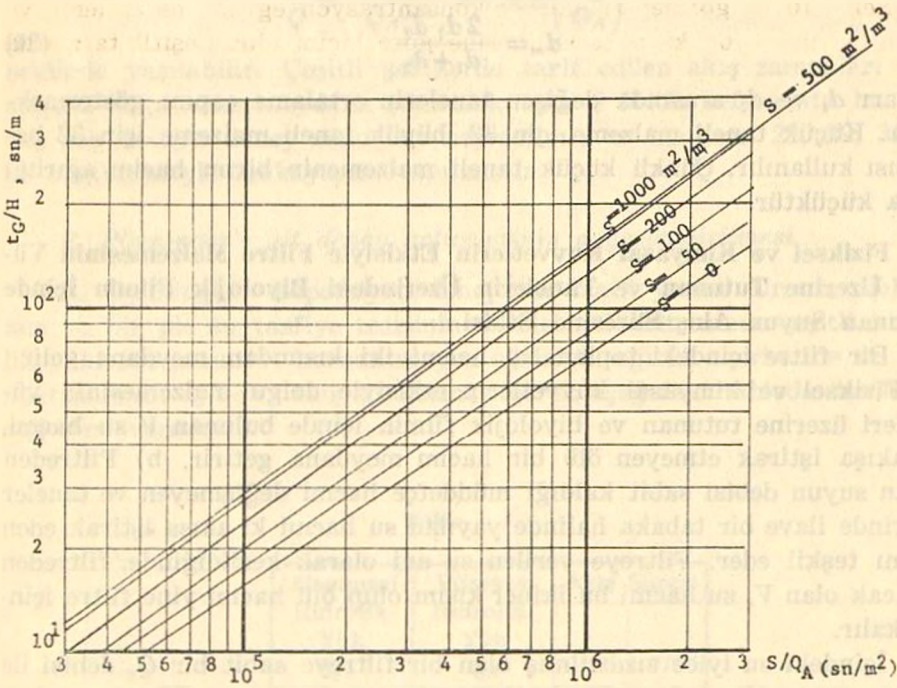
Şekil 10. Dispersiyon eğrisi ve akış zamanının çeşitli şekillerde ifade edilmesi.

$$t_j = \frac{1,4865 \times 10^{-2} H S^{11/8} (S/Q_A)^{7/8}}{S^{13/8} (S/Q_A)^{1/8} + 48345} \quad (31)$$

olur. Burada

$$[t_s] = [t_j] = \text{sn}; \quad [H] = \text{m}; \quad [S] = \text{m}^2/\text{m}^3; \quad [S/Q_A] = \text{sn}/\text{m}^2$$

Şekil 11 de, çeşitli  $S$  özgül yüzeyleri için, 28, 30 ve 31 denklemlerine göre hesaplanmış  $t_G/H$  akış zamanları, logaritmik taksimatlı bir eksen takımı üzerinde  $(S/Q_A)$  nın fonksiyonu olarak gösterilmiştir.



Şekil 11. Çeşitli  $S$  özgül yüzeyleri için  $S/Q_A$  nın fonksiyonu olarak  $t_G/H$  akış zamanları.

Laboratuvarlarda deney yapmak maksadıyla kullanılan model filtrelerde dolgu malzemesini teşkil eden küreleri saymak ve bunların işgal ettiği hacmi ölçerek  $S$  özgül yüzeyini tayin etmek mümkündür. Tasfiye tesislerinin biyolojik ünitesini teşkil eden damlatmalı filtrelerde ise bu şekilde hareket etmeğe imkan yoktur. Prof. F. Pöpel'e göre bu türlü filtrelerde, dolgu malzemesinin özgül ağırlığının  $\gamma_s = 2600 \text{ kg}/\text{m}^3$  olduğu

ve birim hacim ağırlığının  $\gamma = 0,5 \times 2600 \text{ kg/m}^3$  ile  $\gamma = 0,6 \times 2600 \text{ kg/m}^3$  arasında değiştiği kabul edilirse, özgül yüzey

$$S = \frac{4,666}{d_m} \quad (32)$$

veya

$$S = \frac{5,6}{d_m} \quad (33)$$

formülleriyle hesaplanabilir. Burada

$$d_m = \frac{2 d_1 d_2}{d_1 + d_2} \quad (34)$$

çapları  $d_1$  ve  $d_2$  arasında değişen tanelerin ortalama çapını göstermektedir. Küçük taneli malzeme için 32, büyük taneli malzeme için 33 bağıntısı kullanılır. Çünkü küçük taneli malzemenin birim hacim ağırlığı daha küçüktür.

#### **Fiziksel ve Kimyasal Kuvvetlerin Etkisiyle Filtre Malzemesinin Yüzeji Üzerine Tutunan ve Tanelerin Üzerindeki Biyolojik Filmin İçinde Bulunan Suyun Akış Süresine Etkisi :**

Bir filtre içindeki toplam su hacmi iki kısımdan meydana gelir :  
a) Fiziksel ve kimyasal kuvvetlerin etkisiyle dolgu malzemesinin yüzeyleri üzerine tutunan ve biyolojik filmin içinde bulunan  $V$  su hacmi, ki akışa iştirak etmeyen ölü bir hacim meydana getirir, b) Filtreden çıkan suyun debisi sabit kaldığı müddetçe hacmi değişmeyen ve taneler üzerinde ilave bir tabaka halinde yayılan su hacmi ki akışa iştirak eden kısmı teşkil eder. Filtreye verilen su ani olarak kesildiğinde, filtreden sızacak olan  $V_a$  su hacmi bu ikinci kısım olup ölü hacim yine filtre içinde kalır.

İçindeki su iyice sızdırılmış olan bir filtreye sabit bir  $Q_v$  debisi ile tekrar su verilirse önce ilk damlalar akmaya başlar ve filtreden çıkan  $Q_c$  debisi gittikçe artarak giren debiye eşit olur. (Yani  $Q_v = Q_c$  dir). Bu esnada filtre içinde depo edilen su hacmi, yukarıda açıklanan  $V_a$  hacminden ibarettir. Bu hacim filtreye giren akımı ani olarak kesmek ve sızan suyu toplamak suretiyle bulunabilir. Buna göre, tıpkı çöktürme havuzlarında olduğu gibi bir akış zamanı tarif edilebilir. (Şekil 10) :

$$t_D = \frac{V_a + V_s}{Q} \quad (35)$$

D. Meltzer (15), 5 cm çapında, 122 cm yüksekliğinde bir filtrede  $d_m = 1/4$  inç = 0,00635 m çaplı tanelerle yaptığı bu neviden bir deney sonunda



$$\frac{V_a}{Q} = \frac{52,85H}{Q_A^{0,76}} \quad (36)$$

formülünü vermiştir. Bu filtrenin özgül yüzeyi

$$S = \frac{4,668}{0,00635} = 734,8 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

olduğundan Denklem 36

$$\frac{V_a}{Q} = \frac{52,85H}{Q_A^{0,76}} = 0,35H \left( \frac{S}{Q_A} \right)^{0,76} \quad (37)$$

şeklinde yazılabilir. Çeşitli şekillerde tarif edilen akış zamanları arasındaki bağıntıları meydana çıkarmak için, 8 No.lu referansta bu türden çok detaylı deney sonuçları neşredilmiş ve bunların 28, 29, 30 ve 31 bağıntılarıyla mukayesesi yapılmıştır.

#### R. Pönninger'e ait deney neticelerinin değerlendirilmesi :

R. Pönninger, dispersiyon deneyinde NaCl yerine Uranin kullanmış ve bir pis su tasfiye tesisinin damlatmalı filtresinde çeşitli hidrolik yüklerde zaman — konsantrasyon eğrisinin ağırlık merkezine ve tepe noktasına ait  $t_G$  ve  $t_P$  akış sürelerini ölçerek aşağıdaki tabloda özetlenen değerleri vermiştir.

Tablo 2

Hacımsal Hidrolik Yük $Q_v$	Yüzeysel Hidrolik Yük $Q_A$	Akış Süresi	
		$t_G$	$t_P$
$\text{m}^3/\text{m}^3/\text{gün}$	$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{gün}$	dk	dk
1,10	4,07	244	65
1,50	5,55	172	
1,80	6,67	130	
2,25	8,32	94	
2,60	9,62	75	
2,85	10,55	60	25

R. Pönninger'in deneylerini yaptığı damlatmalı filtrenin çapı  $D = 14,50$  m, yüksekliği  $H = 3,70$  m olup, dolgu malzemesi üç tabakadan meydana gelmiştir. 1,00 m kalınlığındaki en üst tabaka 5 — 20 cm ; 2,30 m kalınlıklı orta tabaka 3 — 5 cm ve 0,40 m kalınlığındaki alt tabaka ise 15 cm çapındaki kırma taştan ibarettir.

Her bir tabakayı teşkil eden malzemenin özgül yüzeyleri ile bunların toplamından meydana gelen damlatmalı filtrenin özgül yüzeyi Tablo 3 de hesaplanmıştır. Buna göre R. Pönninger'in deneylerini yaptığı filtrenin özgül yüzeyi  $S = 115,73$  m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> dür.

Tablo 3. Pönninger'in Deneylerini Yaptığı Damlatmalı Filtrenin Özgül Yüzeyinin Hesabı ( $H = 3,70$  m,  $D = 14,50$  m)

Tane Çapı $d_1/d_2$	Tabaka Kalınlığı $h$	Bir Tabakadaki malzeme hacminin bütün malzemeye oranı $= \frac{h}{H}$	Ortalama tane çapı $d_m = \frac{2d_1d_2}{d_1+d_2}$	Özgül	Yüzey
				Toplam $S = \frac{5,60}{d_m}$	Kısmi (3) × (5)
cm	m	—	m	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6
5/20	1,00	0,270	0,08	70	18,9
3/5	2,30	0,622	0,0375	149,2	92,8
15	0,40	0,108	0,15	37,3	4,03
					115,73

$V_a$  ile gösterdiğimiz su hacmini bulmak için Pönninger, filtreye verilen akımı ânî olarak kesmiş ve filtreden sızan suyu toplamıştır. Çeşitli hidrolik yükler için bu şekilde toplanan  $V_a$  su hacimleri Tablo 4 ün 4. sütununda verilmiştir. Filtre çapı 14,50 m ve yüksekliği 3,70 m olduğundan m<sup>3</sup>/dk olarak debi

$$Q = \frac{\pi \cdot 14,50^2 \cdot 3,70 Q_v}{4 \cdot 24 \cdot 60} \quad (38)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada  $Q_v$  hacimsel hidrolik yükü göstermekte-

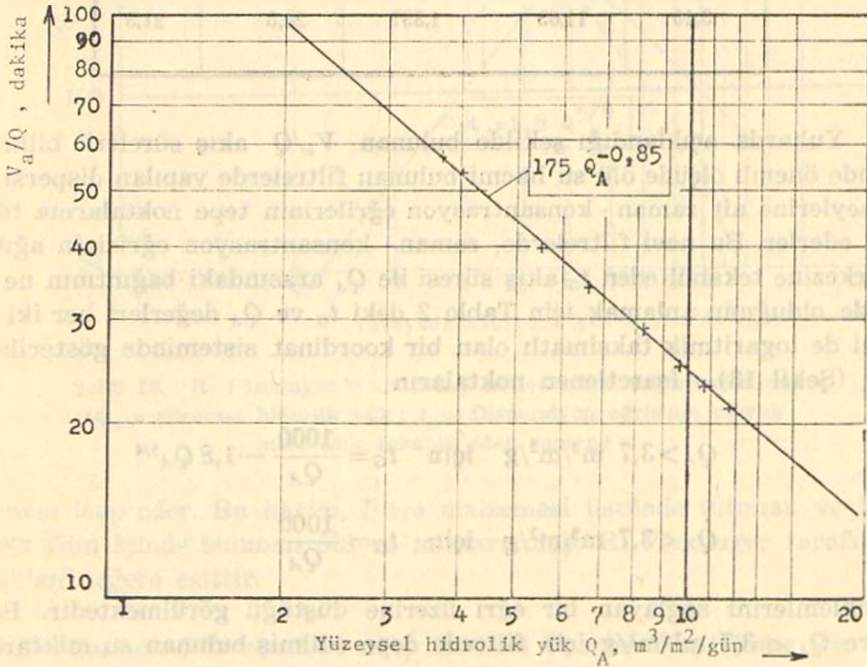
dir. Bu şekilde hesaplanan  $Q$  değerleri ile  $V_a/Q$  formülüne göre bulunan akış süreleri de Tablo 4 e kaydedilmiştir.  $Q_A$  yüzeysel hidrolik yükü apsiste ve bunlara ait  $V_a/Q$  akış süreleri ordinatta olmak üzere söz konusu değerler her iki eksenini de logaritmik olarak taksimatlandırılmış bir grafik üzerinde gösterilirse bütün noktaların

$$\frac{V_a}{Q} = \frac{175}{(Q_A)^{0,85}} \quad (39)$$

denklemini sağlayan doğru bir çizgi üzerine düştüğü görülür. (Şekil 12). Bu filtrede  $S = 115,73 \text{ m}^2/\text{m}^3$  olduğundan yukarıki denklem

$$\frac{V_a}{Q} = \frac{175}{(Q_A)^{0,85}} = 0,834 \times 3,70 \left( \frac{115,7}{Q_A} \right)^{0,85} = 0,834 H \left( \frac{S}{Q_A} \right)^{0,85} \quad (40)$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 12. R. Pönninger'e ait deney neticelerinin değerlendirilmesi  
 $[Q] = \text{m}^3/\text{dk}$  olarak debi;  $[V_a] = \text{m}^3$  olarak yerçekimi etkisiyle derene edilen su hacmi;  
 $[Q_A] = \text{m}^3/\text{m}^2/\text{gün}$  olarak yüzeysel hidrolik yük



Tablo 4

$Q_D$	$Q_A$	$Q$	$V_a$	$\frac{V_a}{Q}$
$m^3/m^3/g$	$m^3/m^2/g$	$m^3/dk$	$m^3$	$dk$
1	2	3	4	5
1,0	3,70	0,425	24,00	56,6
1,1	4,07	0,467	24,209	51,9
1,5	5,55	0,637	25,045	39,4
1,9	6,67	0,765	25,675	33,6
2,25	8,32	0,955	26,615	27,9
2,60	9,62	1,105	27,35	24,8
2,85	10,55	1,21	27,875	23,1
3,15	11,65	1,337	28,5	21,3

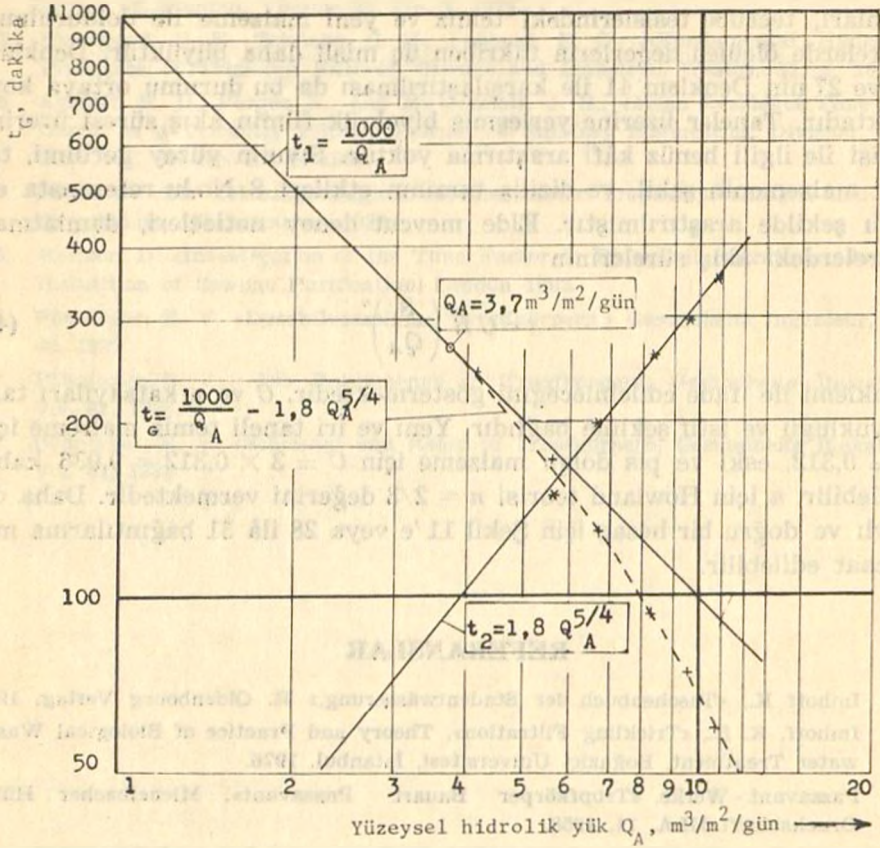
Yukarda açıklandığı şekilde bulunan  $V_a/Q$  akış süreleri bilhassa içinde önemli ölçüde ölü su hacmi bulunan filtrelerde yapılan dispersiyon deneylerine ait zaman - konsantrasyon eğrilerinin tepe noktalarına teka-bül ederler. Bu nevi filtrelerde, zaman—konsantrasyon eğrisinin ağırlık merkezine tekabül eden  $t_G$  akış süresi ile  $Q_A$  arasındaki bağıntının ne şekilde olduğunu anlamak için Tablo 2 deki  $t_G$  ve  $Q_A$  değerleri her iki ek-seni de logaritmik taksimatlı olan bir koordinat sisteminde gösterilmiştir. (Şekil 13). İşaretlenen noktaların

$$Q_A > 3,7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{g} \text{ için } t_G = \frac{1000}{Q_A} - 1,8 Q_A^{5/4} \quad (41)$$

$$Q_A < 3,7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{g} \text{ için } t_G = \frac{1000}{Q_A} \quad (42)$$

denklemlerini sağlayan bir eğri üzerine düştüğü görülmektedir. Buna göre  $Q_A < 3,7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{g}$  için filtrede depo edilmiş bulunan su miktarının

$$V = t_G \left( \frac{Q_A}{24 \times 60} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \right) = \frac{1000}{Q_A} \cdot \frac{Q_A \frac{\pi \cdot 14,50^2}{4}}{24 \times 60} = 114 \text{ m}^3 \quad (43)$$



Şekil 13. R. Pönninger'e ait deney neticelerinin değerlendirilmesi  
 ( $Q_A$  = yüzysel hidrolik yük ;  $t_G$  = Dispersiyon eğrisinin ağırlık merkezine tekabül eden zaman)

olması icap eder. Bu hacim, filtre malzemesi üstünde tutunan ve biyolojik film içinde bulunan ölü su miktarı olup, R. Pönninger tarafından ölçülen değere eşittir.

#### Damlatmalı Filtrelerdeki Akış Süreleri Üzerine Yaptığımız Bu Kısa Araştırmadan Çıkan Sonuç :

Çeşitli araştırmacılar akış sürelerini, zaman — konsantrasyon eğrisinin muhtelif karakteristik noktalarına tekabül eden apsis değerlerine göre ölçmüşlerdir.

Deney neticeleri göstermiştir ki, damlatmalı filtrelerdeki akış zamanları, tecrübe tesislerindeki temiz ve yeni malzeme ile doldurulmuş filtrelerde ölçülen değerlerin takriben üç misli daha büyüktür. Denklem 26 ve 27 nin Denklem 41 ile karşılaştırılması da bu durumu ortaya koymaktadır. Taneler üzerine yerleşmiş biyolojik filmin akış süresi üzerine etkisi ile ilgili henüz kâfi araştırma yoktur. Sıvının yüzey gerilimi, taneli malzemenin şekil, ve diziliş tarzının etkileri 8 No.lu referansta etraflı şekilde araştırılmıştır. Elde mevcut deney neticeleri, damlatmalı filtrelerdeki akış sürelerinin

$$t = CH \left( \frac{S}{Q_A} \right)^n \quad (44)$$

denklemleri ile ifade edilebileceğini göstermektedir.  $C$  ve  $n$  katsayıları tane büyüklüğü ve istif şekline bağlıdır. Yeni ve iri taneli temiz malzeme için  $C = 0,312$ , eski ve pis dolgu malzeme için  $C = 3 \times 0,312 = 0,936$  kabul edilebilir.  $n$  için Howland teorisi  $n = 2/3$  değerini vermektedir. Daha detaylı ve doğru bir hesap için Şekil 11'e veya 28 ilâ 31 bağlantılarına müracaat edilebilir.

### REFERANSLAR

1. Imhoff K., «Taschenbuch der Städtewässerung», R. Oldenbourg Verlag, 1972.
2. Imhoff, K. R., «Trickling Filtration», Theory and Practice of Biological Wastewater Treatment, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 1976.
3. Passavant - Werke, «Tropfkörper Bauart Passavant». Michelbacher Hütte, Druckschrift III A, 11, 1958.
4. Pöpel, F., «Umdrücke», Lehrstuhl f. Siedlungswasserbau und Wassergütewirtschaft, T. H. Stuttgart, 1969.
5. Fair, G. M., Geyer, J. C., «Water Supply and Wastewater Disposal», John Wiley and Sons, 1956.
6. Frangipane, E. de F., «Conventional Trickling Filters», Theory and Practice of Biological Wastewater Treatment, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 1976.
7. Howland, W. E., «Flow Over Porous Media as in a Trickling Filter», Proceedings, 12th Industrial Waste Conf., Purdue Univ., Lafayette, Ind., 1957.
8. Muslu, Y., «Doymamış Ortamda Maddenin Yayılması ve Yayılma Parametreleri», T.B.T.A.K. V. Bilim Kongresi, 1975.
9. ATV - Lehr und Handbuch der Abwassertechnik, 1969.
10. Graton, L. C. and Fraser, H. I., «Systematic Packing of Spheres With Particular Relation to Porosity and Permeability», Part I; The Journal of Geology No. 8, 1935.



11. Muslu Y., «Linear Flow Through Porous Media», Bulletin of the Technical University of Istanbul, Volume 24, No. 1, 1971.
12. Bloodgood, D. E., Teletzke, G. H., Pohland, F. G., «Fundamental Hydraulic Principles of Trickling Filters», Sewage and Industrial Wastes, 31, 3, 1959.
13. Sinkoff, M. D., Porges, R., and Mc Dermott, J. H., «Mean Residence Time of a Liquid in a Trickling Filter», Journal of Sanitary Engineering Division, A. S. C.E., Vol. 85, No. SA 6, 1959.
14. Pöpel, F. «Die Leistungsfähigkeit Hochbelasteter Tropfkörperanlagen und Ihre Berechnung», Habilitation, 1938.
15. Meltzer, D. «Investigation of the Time Factor in Biological Filtration», Journal Institution of Sewage Purification, London 1962.
16. Pönniger, R. V. «Durchflusszeit bei Tropfkörpern,» Gesundheits Ingenieur, Vol. 60, 1937.
17. Pönniger, R. V. «Die Rasenmenge in Tropfkörpern, Gesundheits Ingenieur, Vol. 61, 1938.
18. Pönniger, R. V. «Schlamm und Rasen in Tropfkörpern, Gesundheits Ingenieur, Vol. 61, 1938.