

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

---

Damlatmalı Filtrelerde Madde Takatımı

Recep İleri

Yüksek Lisans Tezi

150  
104

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

100  
1500

DAMLATMALI FİLTRELERDE MADDE TÜKETİMİNE  
TESİR EDEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)  
İNŞMÜH. RECEP İLERİ

İSTANBUL - 1987

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ  
GENEL KİTAPLIĞI

Kot : ..... R.150 .....  
Alındığı Yer : Fen Bil. Ens. 104 .....  
Tarih : 22.12.1988 .....  
Fatura : .....  
Fiatı : 4500 TL .....  
Ayniyat No : 1/24 .....  
Kayıt No : 45915 .....  
UDC : 378.242 .....  
Ek : 628.16 .....

X

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



DAMLATMALI FİLTRELERDE MADDE TÜKETİMİNE  
TESİR EDEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)  
İNŞ. MÜH. RECEP İLERİ

İSTANBUL - 1987

Bu çalışmayı yöneten Doç.Dr.Adem BAŞTÜRK'e gösterdiği yakın ilgiden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin hazırlanışı sırasında çok değerli bilgilerinden istifade ettiğim ve desteğini gördüğüm Muhterem Hocam Prof.Dr. Yılmaz MUSLU'ya şükranlarımı arz ederim.

Ayrıca yardımlarını esirgemeyen Su-Çevre Anabilim Dalı elemanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

## ÖZET

Bu çalışmada, damlatmalı filtrelerde madde tüketimine tesir eden faktörler araştırılmıştır.

Birinci Bölümde, konuya genel bir giriş yapılmış ve çalışma kısaca tanıtılmıştır.

İkinci Bölümde, damlatmalı filtreler hakkında genel bir bilgi verilmiş ve kullanılmış su tasfiyesindeki yerinden bahsedilerek, madde iletim ve tüketim mekanizması incelenmiştir.

Üçüncü Bölümde, damlatmalı filtrelerde madde tüketimini veren çeşitli bağıntılar ele alınarak, bunlara tesir eden parametreler belirtilmiş ve bu parametrelerden özgül yüzey alanının madde tüketimine etkisi araştırılmıştır.

Dördüncü Bölümde, olayın son derece karmaşık karakteri sebebiyle kübik dizilişli bir model seçilmiş ve damlatmalı filtrelerin hidroliği bir küre üzerinde elde edilen formüllerle izah edilmiştir.

Beşinci Bölümde, değişik şartlarda damla ve jet durumları deneysel olarak incelenmiş ve yapılan hesaplarla birim genişlik debileri ile özgül yüzey alanları arasında bir münasebetin varlığı gösterilmiştir. Atık suyun bu bağıntıyı etkilediği gösterilmiştir. Ayrıca aynı özgül yüzeylere sahip köşeli malzeme ile küresel malzeme arasında bir bağıntı olduğu tesbit edilmiştir.

Altıncı Bölümde, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar özet halinde verilmiştir.

## SUMMARY

In this study, the factors effecting on substrate removal in trickling filters have been investigated.

In the first chapter, has been covered introduction and a brief summary of the subject, studied.

In the second chapter, the general information about trickling filters have been given and the substrate transfer and removal mechanism have been studied by emphasising the importance of trickling filters in wastewater treatment.

In the third chapter, various relationships given the substrate removal in trickling filters by the literature have been studied and the parameters effecting on these relationships have been shown and the effect of the specific surface area on the substrate removal rate has been investigated.

In the fourth chapter, since the process is extremely complicated, a model with cubic arrangement has been chosen and hydraulic characteristics of trickling filters have been explained by using expressions obtained from a sphere.

In the fifth chapter, the cases of drops and jets have been searched experimentally for various conditions and a relationship has been found between the unit width flowrates and the specific surface areas. It has been shown that wastewater effects this relationship. In addition to this another relationship has been found between spherical and having corners material with the same specific surface area.

In the sixth chapter, the results obtained from this study have been summarized.

## İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

ÖZET	39
SUMMARY	44
BÖLÜM. I. GİRİŞ	1
BÖLÜM. II. DAMLATMALI FİLTRELERDE MADDE TÜKETİMİ	3
2.1. Damlatmalı Filtrelerin Kullanılmış Su Tasfiyesindeki Yeri ve Yapısı	3
2.2. Damlatmalı Filtrelerde Madde İletim ve Tüketim Mekanizması	7
2.3. Reaksiyon Kinetiği	11
2.4. Madde Tüketim Proses Analizi	16
BÖLÜM. III. DAMLATMALI FİLTRELERDE MADDE TÜKETİMİNİ VEREN ÇEŞİTLİ BAĞINTILAR VE FAKTÖRLERİ	24
3.1. Damlatmalı Filtrelerde Madde Tüketiminin Hesabında Kullanılan Başlıca Bağıntılar	24
3.1.1. Ulusal Araştırma Kurumu Formülü (NRC)	24
3.1.2. VELZ Formülü	26
3.1.3. RANKİN Formülü	27
3.1.4. GALLER GOTAAS Formülü	30
3.1.5. SCHULZE Formülü	31
3.1.6. ECKENFELDER Formülü	32
3.2. Özgül Yüzeysel Faktörünün Verim Üzerindeki Etkisi	33
BÖLÜM. IV. DAMLATMALI FİLTRELERİN HİDROLİĞİ	35
4.1. Giriş	35
4.2. Damlatmalı Filtrelerde Malzeme Şekilleri	35
4.3. Damlatmalı Filtrelerin Malzemeleri	36



	Sayfa No.
BÖLÜM.IV. 4.4. Damlatmalı Filtrelerde Malzemenin Diziliş Şekilleri	37
4.5. Akış Süresinin Hesabı	39
4.6. Taneli Malzeme İçindeki Akımın Hidroliği	44
<b>BÖLÜM.V. DAMLATMALI FİLTRELERDE DEĞİŞİK AKIM ŞEKİLLERİNİN İNCELENMESİ VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>	<b>46</b>
5.1. Damlatmalı Filtrelerde Değişik Akım Şekillerinin İncelenmesi	46
5.1.1. Küresel Malzemelerde Akım Şekilleri	46
5.1.2. Köşeli Malzemelerde Akım Şekilleri	51
5.2. Deneysel Çalışmalar	51
5.2.1. Küresel Malzemelerde Kübik diziliş Hali	54
5.2.2. Köşeli Malzemelerde Kübik Diziliş Hali	60
5.2.3. Küresel-Köşeli Malzemeler Arasındaki Bağıntının Araştırılması	69
5.2.4. Küresel Malzemelerde Normal-Deterjanlı Musluk Arasındaki Bağıntının Araştırılması	74
5.2.5. Köşeli Malzemelerde Normal-Deterjanlı Musluk Suyu Arasındaki Bağıntının Araştırılması	78
<b>BÖLÜM.VI. SONUÇLAR</b>	<b>82</b>

KAYNAKLAR

ÖZ GEÇMİŞ

## BÖLÜM.I GİRİŞ

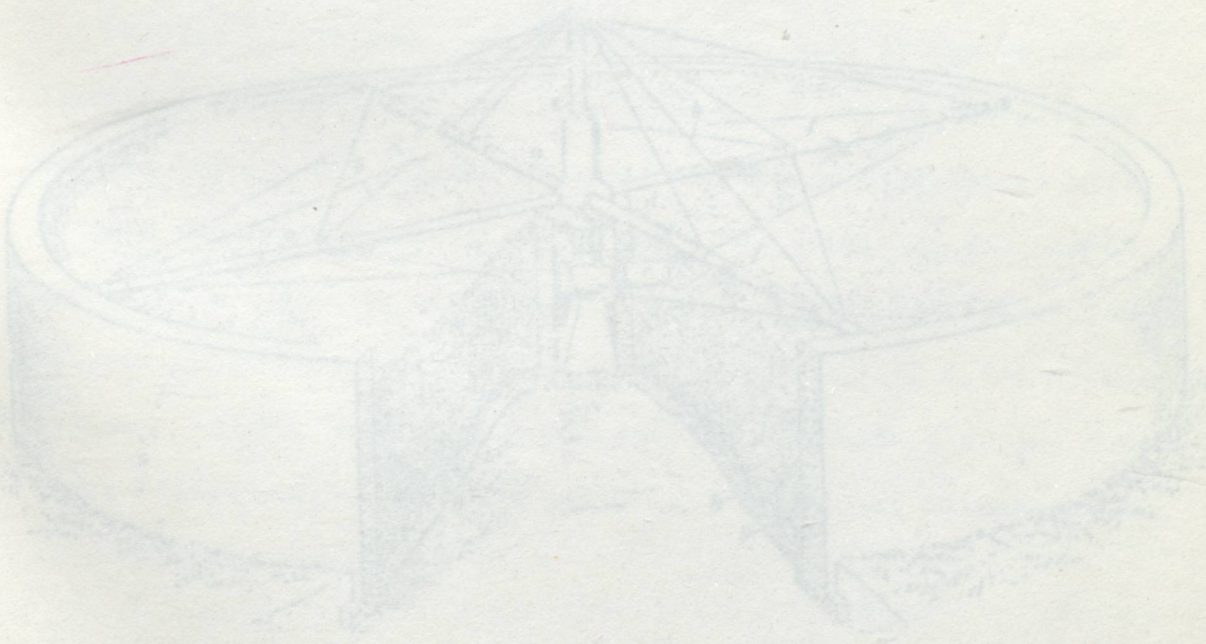
Kullanılmış suların tasfiyesi tekniğinde bu yüzyılın başından beri çok yaygın olarak kullanılan damlatmalı filtrelerin projelendirilmesinde akış süresi ve verim hesapları genellikle ampirik esaslara bağlı olarak yapılmaktadır. Literatürde filtrelerin verimleri ve projelendirilmeleri hakkında çok çeşitli metot ve formüllerin mevcut olması, bu hususta genel bir görüş birliğine varılamadığını göstermektedir.

Damlatmalı filtrelerde madde tüketimine tesir eden faktörler çok çeşitlidir. Bunlar; hidrolik ve organik yük, giriş suyunun organik madde konsantrasyonu, sıcaklığı, mikro ve makro organizmaların cins ve miktarı, filtre boyutları, geri devir miktarı ve oranı, malzeme karakteristikleri, özgül yüzey, reaksiyon ve dispersiyon katsayısı şeklinde yazılabilir. Bu faktörlerin bir kısmı damlatmalı filtrelerde bekleme süresine tesir eder. Diğer şartların uygun olması halinde bu sürenin uzunluğu, malzemenin üzerinde bulunan biyolojik tabakadaki organizmaların sıvı içindeki besin maddeleriyle daha fazla temas kurmasını temin eder. Bu da damlatmalı filtre veriminin yüksek olacağını ifade sayılmıştır.

Damlatmalı filtrelerde akış süresi ile verim arasında kuvvetli bir münasebetin olduğunu kabul eden Howland ve arkadaşları bu konunun ilk araştırmacılarından. Ayrıca özgül yüzey faktörünün verime etkisi olduğunu kabul eden ilk araştırmacı da Eckenfelder'dir.

Bu çalışmada, akışkan hareketi ve biyokimyasal olaylar bakımından çok kompleks bir yapıya sahip olan damlatmalı filtrelerde, akım parametreleri ile biyolojik verim arasındaki bağıntılar ele alınarak, bu parametrelerden özgül yüzey alanının, verim ve verime etki eden diğer faktörlerle ilişkisinin çeşitli yönlerden etüdü yapılmaktadır.

Damlatmalı filtreler; suyun bir basıncı geçmiş kullanılmış suların çözülmüş ve eskidaki maddelerini gidermek için kullanılan sistemlerden biridir. Bu sistem, silindirik yapılar içerisine kırma taş veya bir tabaklı malzeme doldurulmak suretiyle elde edilir.

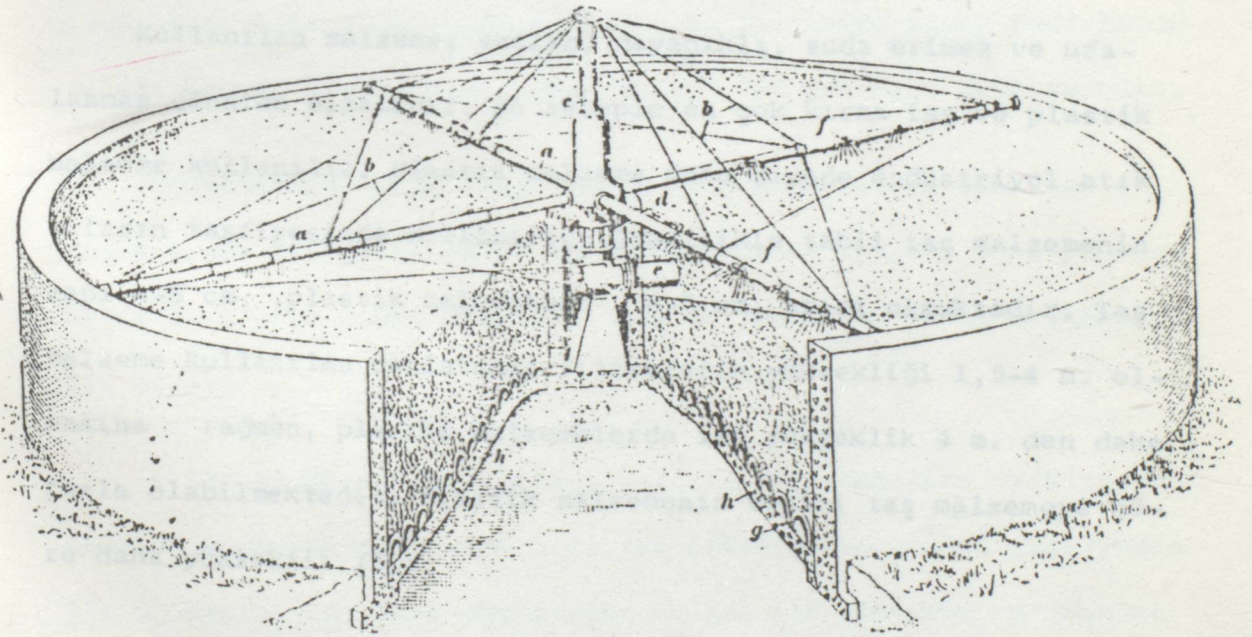


Şekil 2.1. Bir Damlatmalı Filtrenin Perspektif Görünüşü ve Kesiti.

## BÖLÜM.II DAMLATMALI FİLTRELERDE MADDE TÜKETİMİ

### 2.1. DAMLATMALI FİLTRELERİN KULLANILMIŞ SU TASFIYESİNDEKİ YERİ VE YAPISI

Damlatmalı filtreler; mekanik bir tasfiyeden geçmiş kullanılmış suların çözülmüş ve askıdaki maddelerini gidermek için kullanılan sistemlerden biridir. Bu sistem, silindirik yapılar içerisinde kırma taş veya iri taneli malzeme doldurulmak suretiyle elde edilir.



Şekil 2.1. Bir Damlatmalı Filtrenin Perspektif Görünüşü ve kesiti.

Bir damlatmalı filtrenin kesiti Şekil 2.1 de gösterilmiş olup başlıca kısımları; döner dağıtıcı, drenaj sistemi ve filtre malzemesidir. Kullanılmış su bir pompa ile dağıtıcının bağlı olduğu düşey boruya basılır. Dağıtıcıyı teşkil eden borular üzerine açılmış deliklerden dışarı fıskıran su jetleri, impuls-momentum teoreminden doğan reaksiyon kuvvetleriyle, dağıtıcının dönmesini temin eder. Böylece Kullanılmış sular filtre üzerine üniform olarak serpilmiş olur. Çıkış kanalı ve havalandırma bacaları filtre içinde iyi bir hava ceryanı olacak şekilde tertip edilir. Filtreden çıkan sular biyolojik verimi arttırmak ve minimum hidrolik yükü sağlamak için geriye alınarak tekrar filtreden geçirilir (1).

Kullanılan malzeme; sağlam, dayanıklı, suda erimez ve uflanmaz çinsten olmalıdır. Bu sebeple en çok kırma taş ve plastik malzeme kullanılır. Plastik malzeme daha ziyade endüstriyel atık suların tasfiyesinde kullanılır. Genellikle tabii taş malzemenin çapı 4-8 cm. , plastik malzemenin 6-8 cm. arası olmaktadır. Taş malzeme kullanılan damlatmalı filtrelerin yüksekliği 1,5-4 m. olmasına rağmen, plastik malzemelerde ise yükseklik 4 m. den daha fazla olabilmektedir. Plastik malzemenin verimi taş malzemeye göre daha yüksektir (3).

Damlatmalı filtreler ikiye ayrılır:

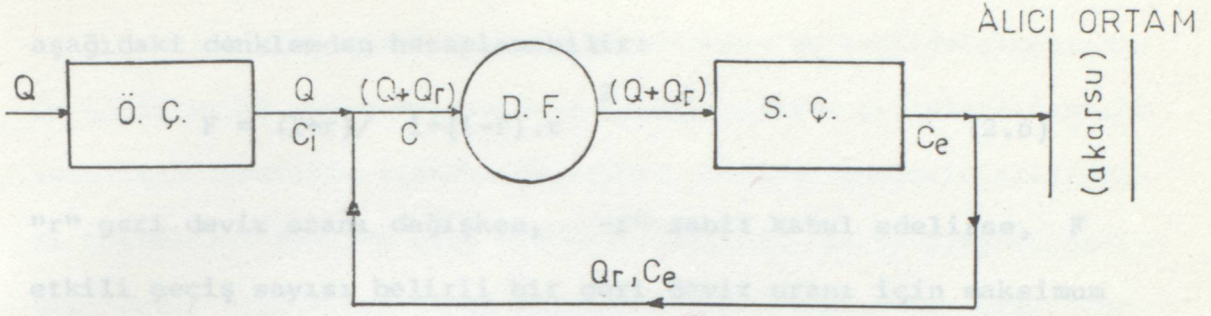
- Düşük hızlı damlatmalı filtreler
- Yüksek hızlı damlatmalı filtreler.

Düşük hızlı filtrelerde biyofilm miktarı fazla, filtrelerden sürüklenen artık çamur miktarı azdır. Bekleme süresi uzun olduğundan çıkış suyu kalitesi çok iyidir. Tam nitrifikasyon ve çamur stabilizasyonu olur. Sabit maliyeti çok yüksektir. Yüzey alanları büyük olduğundan lüzumlu arsa alanı ( $0,2 \text{ m}^2/\text{kişi}$ ) fazladır ve ancak debinin küçük olması halinde kullanılabilir. Yeni tesislerde düşük hızlı filtreler artık yapılmamaktadır. Çünkü bu filtrelerde organik yük  $175 \text{ g/m}^3/\text{gün}$  (Imhoff),  $250 \text{ g/m}^3/\text{gün}$  (Hammer) gibi küçük bir değerdedir. Düşük hızlı olarak yapılmış bütün eski tesisler, artık yüksek hızlı filtre haline dönüştürülmektedir.

Yüksek hızlı filtrelerde biyofilm miktarı az, atılan fazla çamur fazladır. Çamur stabilizasyonu olmaz. Az alana ihtiyaç gösterdikleri için ( $0,03-0,05 \text{ m}^2/\text{kişi}$ ) bu filtreler büyük tesislerde de söz konusu olabilirler. Organik yük  $700 \text{ g/m}^3/\text{gün}$  değerindedir.

Çökeltilmiş sular için  $\text{BOI}_5 = 35/\text{g/N/gün}$  kabul edilirse düşük hızlı filtrenin beher metreküp hacmine  $175/35 = 5$  ve yüksek hızlı filtrenin beher metreküp hacmine  $700/35 = 20$  nüfus bağlanabilir (2,3).

Filtreye giren kullanılmış suların  $\text{BOI}_5$  değerini küçülterek tasfiye verimini arttırmak için son çöktürme havuzunun çıkışından bir  $Q_r$  debisi ile geri döndürülen sular, ilk çöktürme havuzundan çıkan  $Q$  debisi ile karıştırılır. (Şekil 2.2).



Şekil.2.2. Geri devir yaptırılan yüksek hızlı bir filtrede akım diyağramı ve çeşitli noktalarda  $BOI_5$  konsantrasyonu değerleri - nin değişimi.

$r = Q_r/Q$  oranına "geri devir oranı" adı verilir. Buna göre filtreye giren akım:

$$Q+Q_r = Q+r.Q = (1+r).Q \quad (2.1)$$

Filtreye tatbik edilen konsantrasyon (C):

$$Q.C_i + Q_r.C_e = (Q+Q_r).C \quad (2.2)$$

$$Q.C_i + r.Q.C_e = (1+r).Q.C \quad (2.3)$$

$$C = (C_i + r.C_e)/(1+r) \quad (2.4)$$

denkleminde elde edilir.

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

$$F' = (Q+Q_r)/Q = (1+r).Q/Q = 1+r \quad (2.5)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada  $F'$  "geri devir katsayısı" adını alır. Geçiş sayısı arttıkça organik maddelerin ayrışma kabiliyeti yani biyolojik 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:

$$F = (1+r) / 1+(1-f).r^2 \quad (2.6)$$

"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 :

$$r = (2f-1)/(1-f) \quad (2.7)$$

bağıntısından hesaplanabilir. Damlatmalı filtrelerde  $f = 0,9$  civarındadır (1,2,4,5).

Damlatmalı filtrelerin işletilmesinde çıkış suyu geri deviri önemli bir husustur. Suya geri devir yaptırmakla:

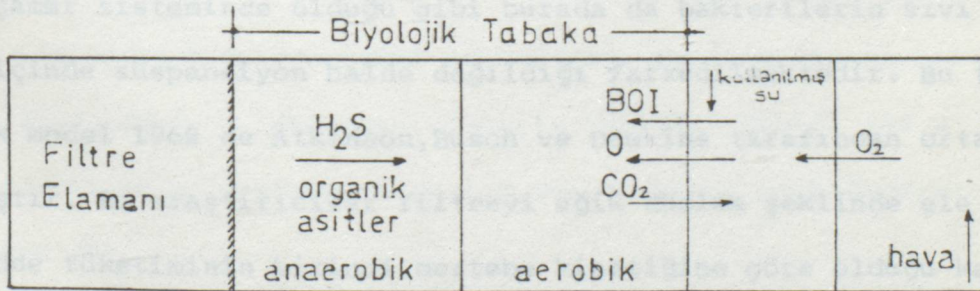
- Filtre malzemesine yapışmış biyokütle yıkanarak, son çöktürme havuzuna taşınır.
- Yüksek  $BOI_5$  girişli kullanılmış su seyreltilir.
- Debi ve organik yük dengelemesi yapılır.
- Toksik maddelerin (deterjan, fenol ve ağır metal) şok tesiri azaltılır.
- Temas süresinin uzun veya kısa olması sağlanır.
- Düşük geri devir oranlı tasfiye, düşük işletme maliyeti verir. (Normal veya fazla geri devir yaptırılabilir).

## 2.2. DAMLATMALI FİLTRELERDE MADDE İLETİM VE TÜKETİM MEKANİZMASI

Damlatmalı filtrelerde cereyan eden olaylar oldukça karışıktır. Besi maddesi giderme mekanizması ile ilgili olarak 1900 yılından beri çalışmalar yapılmaktadır. Bir çok ilerlemeler kaydedilmesine rağmen bu konunun çözülmemiş pek çok problemi mevcuttur (6,7).



Genel olarak madde tüketim mekanizması şu şekilde olmaktadır. Ön çöktürmeden gelen kullanılmış sular, malzeme yığınları üzerine serpilme suretiyle içinden geçirilir. 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  $2^{\circ}\text{C}$  olduğu zaman tabii havalandırma başlar ve  $3^{\circ}\text{C}$  lik bir fark biyolojik oksidasyon için lüzumlu oksijenden defalarca fazlasını temin etmeye kafi gelir. Bu esnada tanelerin üzerinde mikro ve makro organizmalardan meydana gelen bir biyolojik tabaka teşekkül eder. Buradaki canlılar, sıvı içindeki mevcut organik maddeleri besin maddesi gibi kullanarak gittikçe bu tabakanın kalınlığını arttırmaları. sıvının sürüklenme kuvveti sebebiyle, belirli bir kalınlıktan sonra buradan kopan parçalar son çöktürme havuzunda sıvıdan ayrılırlar. Bu biyokimyasal olayda, canlıların çöğalmasını temin eden oksijen hava akımından sağlanır ve ortaya çıkan  $\text{CO}_2$  tekrar atmosfere döner. Canlıların metabolizma faaliyeti sırasında açığa çıkan artık maddeler ise tanelerin üzerinden akan sıvıya, kısmen de atmosfere geri verilir. (Şekil 2.3) (2).



Şekil 2.3. Damlatmalı filtrelerde biyokimyasal reaksiyonlar ile sıvı ve gaz fazları.

Enerji kaynağı genellikle kimyasaldır. Sıvı filmi içinde organik maddeler hız farkından ve diffüzyondan dolayı dağınık halde bulunurlar. Basitlik temin etmek için bir çok araştırmacı sıvı artıklardaki organik maddeleri tamamen çözülmüş kabul etmektedir. Bu haldeki bileşikler mikroorganizmalar tarafından tüketilir. Son yıllarda kullanış sahası oldukça genişleyen damlatmalı filtrelerde madde iletimi ve tüketimi başlıca iki görüş altında incelenmektedir. Bunlardan eski ve ampririk olan usul, deney noktalarına eğri intibak ettirme veya istatistik analize dayanır. Diğeri, yakın tarihlerde geliştirilmeye başlanan teorik modellerdir ve filtre yatağında cereyan eden temel işlemlerin detaylı şekilde incelenmesi sonucunda ortaya çıkmıştır (8).

Tanelerin arasındaki boşluklar, hava ile dolu olup oksijenin teminine veya CO<sub>2</sub> nin uzaklaştırılmasına hizmet eder. Filmin akımında organik maddeler moleküler diffüzyon ve konveksiyonla dispersiyona uğrarlar. Bu esnada katı yüzeyler üzerinde teşekkül eden biyofilm, bir kısım organik maddelerin tüketilmesine yol açar. Biyokimyasal oksidasyon tamamen sıvı filmi içindedir ve reaksiyon hızını gerektirecek hiç bir diffüzyonal direnç mevcut değildir. Aktif çamur sisteminde olduğu gibi burada da bakterilerin sıvı filmi içinde süspansiyon halde dağıldığı farzedilmektedir. Bu tip-ten ilk model 1962 de Atkinson, Busch ve Dawkins tarafından ortaya atılmıştır. Bu araştırmacılar filtreyi eğik düzlem şeklinde ele alarak madde tüketiminin birinci mertebe kinetiğine göre olduğu kabulü ile biyolojik verimi hesaplamışlardır. Buldukları sonuç, akış zamanı kavramını kullanan Howland ve Schulze tipi denklemlerin aynıdır (7,10,13,14).

Yukarıda açıklanan modellerde problemi çözerken, istif edilmiş yataklara ait taneli malzemenin hidroliği ile ilgili denklem ve özellikleri göz önünde tutmak gerekir. Halbuki literatürde taneli malzeme üzerindeki akımın hidroliği yerine, düşen filmlerin teorisi kullanılmıştır. Bu ise ancak düzlem yüzeyle elemanlardan meydana gelen sentetik malzemeli filtreler için uygundur. Bu sebeple Ürün (9) ve Topacık (11) küre şeklindeki filtre dayanma yüzeyleri üzerinde besi maddesinin dispersiyonu olayına sonlu farklar denklem sistemi ile incelemiştirlerdir. Ürün, heterojen bir model kabul etmiş, Topacık ise, harekete dik kesitlerde konsantrasyonun sabit olduğu psöde-homojen bir model kullanmıştır.

Biyofilmlerle ilgili teorilerin taneli filtrelere aktarılabilmesi için literatürde bu tip filtreler özgül yüzeyleri göz önünde tutularak aynı derinlikte düzlem yüzeyle filtrelere dönüştürülerek hesaplanmaktadır. Bilindiği üzere özgül yüzey, boşlukları dahil olmak üzere, hacmi birim olan filtre malzemesinin yüzey alanı olup, bunu aktif biyofilm yüzeyi olarak ta almak mümkündür. Özgül yüzey "S" ve yüzeysel hidrolik yük "  $Q_A$  " ile gösterilirse, bu filtrelerin biyokimyasal aktivite bakımından birim genişlik debisi "q" olan aynı derinlikteki düzlem yüzeyle filtre ile eşdeğer olduğu kabul edilebilir. Bu filtrelerin levhaları arasındaki t mesafesi, q birim genişlik debisi ile S özgül yüzeyi ve  $Q_A$  yüzeysel hidrolik yük arasında şu bağıntılar mevcuttur (8).

$$t = 1/S \quad (2.8)$$

$$q = Q_A \cdot t = Q_A/S \quad (2.9)$$

Burada :

$$S=(L^2/L^3), \quad Q_A=(L^3/L^2/T), \quad q=(L^3/L/T), \quad t=(L)$$

boyutlarıyla ifade edilebilir. (2.13)

### 2.3. REAKSİYON KİNETİĞİ

Kimyasal kinetikte reaksiyonların tipini gösteren denklem:

$$\pm \frac{dC}{dt} = k \phi(R) \quad (2.10)$$

şeklindedir. Burada, t zamanı, C incelenen maddelerin t anındaki konsantrasyonunu gösterir (+) işaret söz konusu maddenin teşekkül ettiğini, (-) işaret ise azaldığını ifade eder.  $\phi(R)$ , reaksiyona giren maddelerin konsantrasyonlarının bir fonksiyonudur.  $\bar{k}$ , reaksiyonun özgül hız sabiti olup  $\phi(R)$  nin kapsamı içine giren maddelerden bağımsızdır. Fakat sıcaklığa, eriyikteki şartlara ve bilinmeyen diğer faktörlere bağlı olabilir.

Kimyasal reaksiyonun hızı üstteki diferansiyel denklemin mertebesine göre sınıflandırılır. Buna göre birinci mertebeden bir reaksiyon, reaksiyona giren tek bir maddenin konsantrasyonu ile orantılı olan bir hıza sahip bulunur. Buna ait tipik bir denklem şudur:

$$- \frac{dC_A}{dt} = \bar{k} \cdot C_A \quad (2.11)$$

Birinci kademe biyokimyasal oksijen ihtiyacı genel olarak birinci mertebeden bir reaksiyon olarak kabul edilir. Buna göre (2.11) diferansiyel denkleminde  $C_A$  konsantrasyonu yerine, bir t anındaki organik madde konsantrasyonunu temsil eden  $L_t=L-y$  konulacaktır.

$$- \frac{dL_t}{dt} = \bar{k} \cdot L_t \quad (2.12)$$

$dL_t = - dy$  olduğundan

$$\frac{dy}{dt} = \bar{k} \cdot (1-y) \quad (2.13)$$

bulunur.

$t=0, y=0$  sınır şartları ile bu diferansiyel denklemin çözümü:

$$\ln \frac{L}{L-y} = \bar{k} \cdot t \quad \text{veya} \quad \ln \frac{L}{L_t} = \bar{k} \cdot t \quad (2.14)$$

olur. 10 tabanına göre alınmış logaritmalarla çalışmak istenirse

$$\log \frac{L}{L-y} = k \cdot t \quad \text{veya} \quad \log \frac{L}{L_t} = k \cdot t \quad (2.15)$$

yazılabilir. Logaritmalara ait özellikler sebebiyle  $k=0,4343 \bar{k}$  olmaktadır.

Filtreye giren suyun biyokimyasal oksijen ihtiyacı  $L$ , son çöktürme havuzundan çıkan temizlenmiş suyun biyokimyasal ihtiyacı  $L_t$  olduğuna göre biyokimyasal reaksiyon hızı denklem (2.14) yardımıyla hesaplanabilir. Ancak bunun için Suyun ne kadar bir süre ile biyokimyasal bir oksitlenmeye maruz kaldığını bilmek gerekir. Burada biyokimyasal olay sadece damlatmalı filtre içinde cereyan etmektedir. Şu halde (2.14) denkleminde  $t$  yerine suyun filtre içindeki akış süresini koymak gerekecektir.

Damlatmalı filtrelerde akış süreleri için şu genel denklem verilmektedir(2).

$$t = CH(S/Q_A)^n \quad (2.16)$$

burada:

$$t = \text{Akış süresi (dak)}$$

H= Filtre yüksekliği (m)

S= Özgül yüzey ( $m^2/m^3$ )

$Q_A$  = Hidrolik yük ( $m^3/m^2/gün$ )

$C, n$  = Tane büyüklüğüne ve istif şekline bağlı katsayılar

$C = 0,312$  (Yeni ve temiz malzeme için)

$C = 3 \times 0,312 = 0,936$  (pis dolgu malzemesi için)

$n = 2/3$  (Howland'ın verdiği ortalama değer)

Bir damlatmalı filtrede akış süresini veren (2,16) No.lu denklem, (2.15) bağıntısında yerine konursa  $k$  reaksiyon katsayısı hesaplanabilir.

$$k = \frac{\text{Log}(L/L_t)}{C.H(S/Q_A)^n} = \frac{(Q_A/S)^n \cdot \text{Log}(1/L_t)}{C.H} \quad (2.17)$$

(2.17) denklemin hacimsel hidrolik yük cinsinden de yazılabilir.

Bunun için (2.17) bağıntısında  $Q_A = Q_V \cdot H$  koymak gerekir.

$$k = \frac{(Q_V H/S)^n \cdot \text{Log}(L/L_t)}{C.H} = \frac{(Q_V/S)^n \cdot H^{n-1} \cdot \text{Log}(L/L_t)}{C}$$

$n=2/3$  ,  $C=0,936$  konulursa;

$$k = \frac{(Q_V/S)^{2/3} \cdot \text{Log}(L/L_t)}{0,936 \times H^{1/3}} \quad (2.18)$$

Belirli bir damlatmalı filtrede, son çöktürme havuzundan çıkan suyun  $L_t$  biyokimyasal oksijen ihtiyacı filtreye giren suyun  $L$  biyokimyasal oksijen ihtiyacının ve hidrolik yükün bir fonksiyonudur. Yani  $L_t = f(Q_V, L)$  dir. Genel olarak bu fonksiyon aşağıdaki etkenlerin tesiri altında bulunur.

- Damlatmalı filtreye giren suyun biyokimyasal oksijen ihtiyacı, L
- Dolgu malzemesinin özgül yüzeyi, S
- Filtrenin yüksekliği, H
- Yüzeysel veya hacimsel hidrolik yük,  $Q_A$  veya  $Q_V$
- $T_s$ , su sıcaklığı;  $T_h$ , hava sıcaklığı, hava sirkülasyonu ve diğer iklim faktörleri

Bu sebeple damlatmalı filtrelerde k reaksiyon katsayısı;

$$k = f_1(L), f_2(S), f_3(H), f_4(Q_V, T_s, T_h) \quad (2.19)$$

şeklinde yazılacak ve her bir fonksiyon çeşitli filtrelere ait yapılmış deney neticelerini değerlendirmek suretiyle tayin edilmektedir. (2) No.lu referansta bu konu ile ilgili daha geniş bilgi verilmiş olup, şu sonuca varılmıştır. Muhtelif tasfiye tesislerinin damlatmalı filtrelerine ait neşredilmiş deney sonuçlarının değerlendirilmesi göstermiştir ki damlatmalı filtrelerde geri devir yapılmaması halinde k reaksiyon katsayısı:

$$k = \frac{H^{1.11} \cdot f(T) \cdot f(Q_V)}{1,949 \cdot S^{0.4} \cdot f(L)} \quad (2.20)$$

denklemlerle ifade edilebilir. Burada:

H= filtre yüksekliği (m)

T= Su sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$Q_V$ = Hacimsel hidrolik yük ( $\text{m}^3/\text{m}^3/\text{gün}$ )

S= Malzemenin özgül yüzeyi ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )

1.949 = f(T) fonksiyonunun T=15  $^{\circ}\text{C}$  deki değeri.

$L$  = Filtreye giren kullanılmış suyun 5 günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı (mg/lt).

$\beta_o = 0.27 - 3.76$  (iklime, hava ve su sıcaklığına bağlı iklim faktörü katsayısı).

"k" nın bulunuşu bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

ÖRNEK:  $t = 18^\circ\text{C}$ ,  $f(18) = 2.2058$ , (referans 2 deki tablodan alınmıştır).

$H = 2$  m.

$Q_V = 5.47$  m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/gün,

$$f(Q_V) = \left[ 2.33 (5.47)^{-1.05} + 0.09 \cdot (5.47)^{0.607} \right]^{-1} = 1.553$$

$L = 290$  mg/lt

$$f(L) = \frac{1925}{(290)^{1.11}} + 0.165 \cdot (290)^{0.65} = 10.13$$

$\beta_o = 2.015$   
ort

$S = 86.0$  m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

$$k = \frac{(2)^{1.11} \cdot (2.2058) \cdot (1.553 + 2.015)}{1.949 \cdot (86)^{0.4} \cdot (10.13)} = \frac{16.988}{117.28} = 0.145 \text{ dk}^{-1}$$

"k" bu şekilde hesaplandıktan sonra, filtreye ve kullanılmış suya ait karakteristikler yani H, S, L ve T değerleri bilindiğine göre herhangi bir  $Q_V$  hacimsel hidrolik yükü altında filtreden çıkan temizlenmiş suyun biyokimyasal oksijen ihtiyacı yani  $L_t$  değeri (2.18) bağıntısından hesaplanabilir.

$$k = \frac{(Q_V/S)^{2/3} \cdot \text{Log}(L/L_t)}{0.936 \cdot H^{1/3}}$$



$$0.145 = \frac{(5.47/86)^{2/3} \cdot \text{Log}(290/L_t)}{0.936 \cdot (2)^{1/3}} \quad (2.31)$$

$$1.073 = \text{Log}(290/L_t)$$

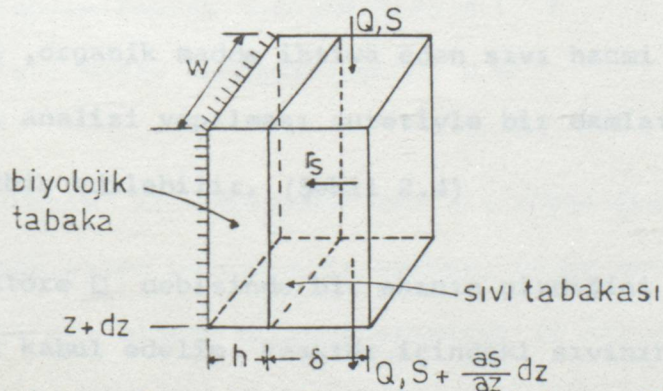
$$11.835 = 290/L_t$$

$$L_t = 24.5 \text{ mg/lt} \quad \text{bulunur.}$$

#### 2.4. MADDE TÜKETİM PROSES ANALİZİ

Yaratılmış olan madde, yaşadığımız fizik alemde normal olarak yok olmadığından, sistemi tarif eden bir kontrol hacmi alınarak buraya giren ve çıkan akımlar ve kontrol hacmi içinde meydana gelen değişiklikler için bir madde korunum denklemi yazmak mümkündür.

Atkinson ve arkadaşları; biyolojik tabaka içerisindeki diffüzyonun reaksiyon hızını kontrol ettiğini ve sıvı filmi kesitinden geçerken konsantrasyon değişimi olmadığını kabul ederek, birleşik tabaka içerisindeki organik madde flüks hızını tasvir eden aşağıdaki şu modeli teklif etmişlerdir. (Şekil 2.4) (17).



Şekil 2.4 Damlatmalı Filtre Prosesinin Analizi için Kontrol hacim elemanı krokisi.

$$r_s = - \frac{E \cdot h \cdot k_o \cdot \bar{S}}{K_m + \bar{S}} \quad (2.21)$$

Burada:

$r_s$  = Biyolojik tabaka içerisindeki organik madde flüksünün miktarı

$E$  = Etki faktörü ( $0 \leq E \leq 1$ )

$h$  = Biyolojik tabaka kalınlığı, m

$k_o$  = Maksimum reaksiyon hızı, gün<sup>-1</sup>

$\bar{S}$  = Hacim elemanının içindeki sıvı hacmi içerisindeki ortalama BOI konsantrasyonu.

$K_m$  = Yarı-Hız sabiti

Etki faktörü  $E$ , yaklaşık olarak sıvı içerisindeki BOI konsantrasyonu oranıdır. Bundan dolayı (2.21) denklemini şu şekilde yazılabilir:

$$r_s = - \frac{f \cdot h \cdot k_o \cdot \bar{S}^2}{K_m + \bar{S}} \quad (2.22)$$

Burada:

$f$  = Orantı faktörüdür.

Bu model, organik madde ihtiva eden sıvı hacmi için bir kütle dengesi analizi yapılması suretiyle bir damlatmalı filtre analizine tatbik edilebilir. (Şekil 2.4)

Bir reaktöre  $Q$  debisinde bir akımın girdiğini ve aynı debinin çıktığını kabul edelim. Reaktör içindeki sıvının tam olarak karıştığı ve burada birinci mertebeden bir kimyasal reaksiyon meydana geldiği kabul edilirse, çıkışta konsantrasyonu bulmak için

yazılacak madde korunum denklemi şu şekli alır:

-Genel İfade:

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Hacim Elema-} \\ \text{nındaki madde-} \\ \text{nin sistem i-} \\ \text{çindeki birik-} \\ \text{me hızı} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{Hacim ele-} \\ \text{manına bi-} \\ \text{rim zaman-} \\ \text{da giren} \\ \text{madde mik-} \\ \text{tarı} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{l} \text{Hacim Ele-} \\ \text{manından} \\ \text{birim za-} \\ \text{manda çı-} \\ \text{kan madde} \\ \text{miktarı} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{Hacim Ele-} \\ \text{manında bi-} \\ \text{rim zaman-} \\ \text{da tüketilen} \\ \text{madde miktarı} \end{array} \right]$$

-Basitleştirilmiş ifade:

YIĞIN (BİRİKİM) = GİREN - ÇIKAN + KULLANILAN (TÜKETİLEN)

-Sembolik olarak gösteriliş:

$$\frac{d\bar{s}}{dt} dV - Q \cdot S - Q \left( S + \frac{\partial S}{\partial Z} dz \right) + dz \cdot w \cdot \left( - \frac{f \cdot h \cdot k_o \cdot \bar{s}^2}{k_m + \bar{s}} \right) \quad (2.23)$$

Burada:

Q = Giren ve çıkan akımın debisi,  $L^3 T^{-1}$

w = Dik kesit genişliği, L

Z = Filtre derinliği, L

V = Reaktörün hacmi,  $L^3$

$d\bar{s}/dt$  = Konsantrasyon değişme hızı,  $M \cdot L^{-3} T^{-1}$

S = Girişte madde konsantrasyonu,  $M L^{-3}$

Eğer permenant haldeki yani uzun bir zaman geçtikten sonraki kararlı konsantrasyon bulunmak istenirse, madde birikme hızının sıfır ( $d\bar{s}/dt = 0$ ) olduğu dikkate alınır (2.23) denklemi:

$$0 = Q \cdot S - Q \cdot S - Q \cdot \frac{dS}{dZ} dZ - dZ \cdot w \cdot \frac{f \cdot h \cdot k_o \cdot \bar{S}^2}{K_m + \bar{S}}$$

$$Q \frac{dS}{dZ} dZ = -dZ \cdot w \cdot \frac{f \cdot h \cdot k_o \cdot \bar{S}^2}{K_m + \bar{S}}$$

$$Q \frac{dS}{dZ} = -f \cdot h \cdot k_o \cdot w \cdot \frac{\bar{S}^2}{K_m + \bar{S}} \quad (2.24)$$

haline gelir.

Doygunluk katsayısı  $K_m$ , gerçekte BOI değerinin yanında

küçük kabul edilirse o zaman (2.24) denklemi şu şekilde yazılabilir.

$$\frac{dS}{dZ} = - \frac{f \cdot h \cdot k_o \cdot w \cdot \bar{S}}{Q} \quad (2.25)$$

(2.25) denklemi ( $S_e$ ) ve ( $S_i$ ) ile (0) ve (z) aralarında integre edilirse şu sonuç elde edilir:

$$\int_{S_i}^{S_e} \frac{dS}{\bar{S}} = - \frac{f \cdot h \cdot k_o \cdot w}{Q} \int_{Z=0}^{Z=z} dZ \quad (2.26)$$

$$\left. \ln S \right|_{S_i}^{S_e} = - \frac{f \cdot h \cdot k_o \cdot w}{Q} \left. Z \right|_0^z \quad (2.27)$$

$$\ln S_e - \ln S_i = - \frac{f \cdot h \cdot k_o \cdot w}{Q} Z \quad (2.28)$$

$$\ln \frac{S_e}{S_i} = - \frac{f \cdot h \cdot k_o \cdot w}{Q} Z \quad (2.29)$$

$$\frac{S_e}{S_i} = e \left[ - \frac{(f \cdot h \cdot k_o) \cdot w Z}{Q} \right] \quad (2.30)$$

Burada:

$S_e$  = Çıkış konsantrasyonu (mg/lt)

$S_i$  = Giriş konsantrasyonu (mg/lt)

(2.30) denklemi;  $f, h$  ve  $k_0$  katsayıları kullanılarak verilmiştir.

(2.30) denkleminin benzer bir şekilde, Eckenfelder damlatmalı filtrenin verimini veren formülü şu şekilde önermiştir:

$$\frac{S_e}{S_i} = e^{-\left[ K \cdot Z \cdot S_a^m \left( \frac{A}{Q} \right)^n \right]} \quad (2.31)$$

Burada:

$K$  = Gözlenen reaksiyon hızı sabiti (genellikle pilot tesis çalışmalarında elde edilen değerdir, m/gün)

$Z$  = Filtre derinliği, m.

$S_a$  = filtrenin özgül yüzeyi =  $\frac{\text{Yüzey Alanı } A_s, m^2}{\text{Birim Hacim } V, m^3}$

$A$  = Filtre enkesit alanı,  $m^2$

$Q$  = Filtreye tatbik edilen debi,  $m^3/\text{gün}$

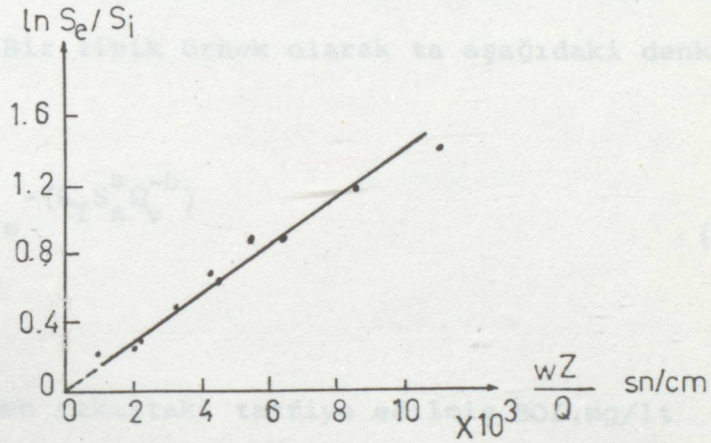
$m, n$  = Amprik sabitler.

(2.30) ve (2.31) denklemleri karşılaştırıldığında (2.30) denklemindeki  $(f \cdot h \cdot k_0) (wZ/Q)$  terimleri yerine (2.31) denklemindeki  $K \cdot Z \cdot S_a^m \cdot (A/Q)^n$  terimleri uygun olmaktadır. Bu benzerliklerin kullanılması,  $(f \cdot h \cdot k_0)$  terimleri; Eckenfelder'in önceden belirttiği analiz verilerinden tahmin edilmiştir. Bundah dolayı (2.30) denklemi yeniden aşağıdaki gibi yazılmıştır:

$$- \ln \frac{S_e}{S_i} = (f.h.k_o) \frac{wZ}{Q} \quad (2.32)$$

Eğer  $(- \ln \frac{S_e}{S_i})$  terimi  $(\frac{wZ}{Q})$  terimine göre planlanmışsa eğri-  
nin eğimi  $(f.h.k_o)$  terimiyle eşit bulunmalıdır. (Şekil 2.5)

(2.32) denkleminde Eckenfelder tarafından rapor edilmiş veriler  
kullanılmış olup,  $m=n=1$  kabul edilmesi halinde denklemler değişik  
hale gelmektedir.



Şekil 2.5. Plastik Malzeme ile Düzenlenmiş Yüksek Hızlı  
Damlatmalı filtreler İçin Organik verilerin  
Analizi.

(2.30) denklemindeki  $(wZ/Q)$  terimleri ile (2.31) denkleminde-  
ki  $S_a Z(A/Q)$  terimleri arasındaki takip eden bağıntı şu şekilde be-  
lirtilebilir.

$S_a = \text{Özgül Yüzey} = A_s/V$  olduğuna göre:

$$\frac{S_a Z.A}{Q} = \frac{A_s}{V} \frac{Z.A}{Q} = \frac{A_s}{V} \frac{V}{Q} = \frac{A_s}{Q} = \frac{w.Z}{Q} \quad (2.33)$$

(2.33) denkleminde de anlaşıldığı gibi Atkinson ve arkadaşlarının verdiği (2.30) denklemindeki (f.h.k<sub>0</sub>) terimi, Eckenfelder'in verdiği (2.31) denklemindeki (k) terimine denk geldiği görülmektedir. (Şekil 2.5) teki eğrinin eğimi (f.h.k<sub>0</sub>) terimini temsil etmekte olup, 1.35x10<sup>-4</sup> cm/sn veya 0.117 m/gün değerine eşit olmak üzere yaklaşık bir değer bulunmuştur. (2.30) ve (2.31) denkleminde belirtildiği gibi hacimsel yük oranının (Q/V) yazılabileceğini ve böylece son denklemde derinlik ile ilgili bir terimin olmayacağı belirtilebilir. Bir tipik örnek olarak ta aşağıdaki denklem verilebilir.

$$\frac{S_e}{S_i} = e^{-\left(K_T S_a^a Q_v^{-b}\right)} \quad (2.34)$$

Burada:

S<sub>e</sub> = Filtreden çıkıştaki tasfiye edilmiş BOI, mg/lt

S<sub>i</sub> = Filtreye tatbik edilen atık su BOI·si, mg/lt

K<sub>T</sub> = Deneysel hız sabiti, m/gün

S<sub>a</sub> = Filtre özgül yüzey alanı, m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

Q<sub>v</sub> = Filtrenin birim hacmine tatbik edilen hacimsel debi  
m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/gün.

a, b = Deneysel sabitler.

Uamlatmalı filtrelerin dizayn edilmesinde, çok değişik yersel faktörlere bağlı olarak değişen (f.h.k<sub>0</sub>) veya (K<sub>T</sub>) dikkatlice kullanılması gerekir. Bu faktörlerin en önemlilerinden sıcaklık ve geri devir faktörleri sayılabilir. Tasfiye sabiti K<sub>T</sub> ile ilgili olarak İngiltere'de Bruce ve Merters T=15°C için 0.025-0.06 m/gün

değerlerini vermişlerdir, ayrıca sıcaklık değişimi için de

$$K_T = K_{15} (1.08^{T-15}) \quad (2.35)$$

denklemini önermişlerdir. Eckenfelder  $K=0.117$  m/gün vermektedir. A.B.D' de  $K=0.06-0.120$  m/gün verilmektedir. Ayrıca  $T=20^\circ\text{C}$  için  $K=0,10$  m/gün alınması uygun görülür (17).

Sanitasyonel filtrelerin verimlerinin bulunması hususunda pek çok araştırma yapılmıştır. Araştırmacılar, elde ettikleri değerlere göre empirik ifadeler geliştirmişlerdir. Bu verim bağıntılarından bazıları aşağıda verilmiştir.

### 3.1.1. ULUSAL ARAŞTIRMA KURUMU FORMÜLÜ (NRC) (National Research Council)

İkinci Dünya savaşı sırasında taş dolgu filtreler üzerinde yapılan araştırma sonucu ortaya konmuş empirik bir ifadedir.

Geri çevir yapılmayan sistemin verimi aşağıdaki formül ile bulunabilir (12).

$$e_o = \frac{C_1 - C_2}{C_1} = \frac{1}{1 + 0.33(Q \cdot C_1 / V)} \quad (3.1)$$

Burada:

$e_o$  = Geri çevir yapılmayan filtre verimi (%)

$C_1$  = Sanitasyonel filtreye giriş konsantrasyonu (mg/l)

$C_2$  = Çıkış konsantrasyonu (mg/l)

$Q$  = Akış hızı (m<sup>3</sup>/gün)

$V$  = Filtre hacmi (m<sup>3</sup>)



### BÖLÜM.III DAMLATMALI FİLTRELERDE MADDE TÜKETİMİNİ VEREN ÇEŞİTLİ BAĞINTILAR VE FAKTÖRLERİ

#### 3.1. DAMLATMALI FİLTRELERDE MADDE TÜKETİMİNİN HESABINDA KULLANILAN BAŞLICA BAĞINTILAR

Damlatmalı filtrelerin verimlerinin bulunması hususunda pek çok araştırma yapılmıştır. Araştırmacılar, elde ettikleri değerlere göre amprik ifadeler geliştirmişlerdir. Bu verim bağıntılarından başlıcaları aşağıda verilmiştir.

##### 3.1.1. ULUSAL ARAŞTIRMA KURUMU FORMÜLÜ (NRC) (National Research Council)

İkinci Dünya Savaşı sırasında taş dolgulu filtreler üzerinde yapılan araştırma sonucu ortaya konmuş amprik bir ifadedir.

Geri devir yaptırılmayan sistemin verimi aşağıdaki formül ile bulunabilir (12).

$$E_o = \frac{C_i - C_e}{C_i} = \frac{1}{1 + 0.532(Q \cdot C_i / V)^{0.5}} \quad (3.1)$$

Burada:

$E_o$  = Geri devirsiz filtre verimi (%)

$C_i$  = Damlatmalı filtreye giriş BOI'si (mg/lt)

$C_e$  = Çıkış BOI'si (mg/lt)

$Q$  = Atık su debisi ( $m^3$ /dak)

$V$  = Filtre hacmi ( $m^3$ )

Tek kademeli veya iki kademeli sistemlerin birinci kademesi için şu formül verilmektedir (12).

$$E_I = \frac{C_i - C_e}{C_i} = \frac{1}{1 + 0.532 (Q \cdot C_i / V \cdot F)^{0.5}} \quad (3.2)$$

Burada:

$$F = \text{Geri devir faktörü} = (1+r)/(1+0.1xr)^2$$

$$r = \text{Geri devir oranı} = \text{Geri Devir Miktarı/Giriş suyu miktarı}$$

diğer terimler üstteki gibi tarif edilmiştir.

İki kademeli sistemin verimi için formül şu hale gelmektedir

$$\frac{C_e - C'_e}{C_e} = \frac{1}{1 + \frac{0.532}{1 - [(C_i - C_e)/C_i]} (Q \cdot C_e / V' \cdot F')^{0.5}} \quad (3.3)$$

Burada:

$$C_e = \text{Birinci kademe çıkış BOI'si (mg/lt)}$$

$$C'_e = \text{İkinci kademe çıkış BOI'si (mg/lt).}$$

$$V' = \text{İkinci kademe filtre hacmi (m}^3\text{)}$$

$$F' = \text{İkinci kademe için geri devir faktörü}$$

$$= (1+r')/(1+0.1.r')^2$$

$$r' = \text{İkinci kademe geri devir oranı}$$

(3.3) formülünden  $C'_e$  bulunarak aşağıdaki formülden iki kademeli sistemin toplam verimi bulunur.

$$E_{II} = \frac{C_i - C'_e}{C_i} \quad (3.4)$$

## 3.1.2. VELZ FORMÜLÜ

1948 yılında yaptığı analizlere dayanarak Velz geri devirsiz sistem için şu formülü vermiştir (12).

$$C_e = C_i \cdot e^{-kD} \quad (3.5)$$

$$E_o = (C_i - C_e) / C_i \quad (3.6)$$

Burada:

$E_o$  = Geri devirsiz sistemin verimi (%)

$C_i$  = Ham suyun BOI'si (mg/lt)

$C_e$  = Çıkış suyu BOI'si (mg/lt)

$D$  = Filtre derinliği (m)

$k$  = Deneysel bir katsayı olup yüksek hızlı damlatmalı filtrelerde 0.49, düşük hızlı damlatmalı filtrelerde 0.57 dir.

Birinci kademe sistem için formül şu şekli alır:

$$C_e = \left[ (C_i + r \cdot C_e) / (1+r) \right] e^{-kD} \quad (3.7)$$

Burada:

$r$  = Geri devir oranı'dır.

Bu formülden  $C_e$  bulunduktan sonra aşağıdaki formülde yerine konulmak suretiyle birinci kademe sistemin verimi bulunabilir.

$$E_I = (C_i - C_e) / C_i \quad (3.8)$$

iki kademeli sistem olması halinde ise formüller şu hale dönüşürler:

$$C'_e = \left[ \frac{(C_e + r \cdot C'_e)}{(1+r)} \right] e^{-kD} \quad (3.9)$$

$$E_{II} = (C_i - C'_e) / C_i \quad (3.10)$$

Burada:

$E_{II}$  = İki kademeli sistemin toplam verimi (%)

$C_i$  = Ham suyun BOI'si (mg/Lt)

$C_e$  = Birinci kademe çıkış BOI'si (mg/lt)

$C'_e$  = İkinci kademedeki çıkış BOI'si (mg/lt)

diğer terimler önceki gibi tarif edilmektedir.

### 3.13. RANKİN FORMÜLÜ

R.S.Rankin 1955 senesinde geliştirdiği şu amprik formülleri vermektedir (11).

Tek kademeli sistemlerde:

$$L_e = \frac{L_a}{2R+3} \quad (3.11)$$

Burada:

$L_e$  = Çöktürülmüş çıkış suyu BOI'si (mg/lt)

$L_a$  = Çöktürülmüş ham suyun BOI'si (mg/lt)

R = Geri devir oranı

Tek kademeli sistemlerde verim:

$$E_I = \frac{R+1}{R+1,5} \quad (3.12)$$

olup çöktürülmüş ham suyun BOI'sine tatbik edilir.

İki kademeli hızlı filtre için yapılan kabullere dayanarak Rankin aşağıdaki eşitliği vermiştir.

$$L_{e_I} = 0.5 L_a \quad (3.13)$$

$$L_{e_2} = (L_{e_1}) / (R_2 + 2) \quad (3.14)$$

Burada:

$L_a$  = Çöktürülmüş ham suyun BOI'si (mg/lt)

$L_{e_1}$  = Çöktürülmemiş birinci kademe filtre çıkışı BOI'si (mg/lt)

$L_{e_2}$  = Çöktürülmemiş ikinci kademe filtre çıkışı BOI'si (mg/lt)

$R_2$  = İkinci kademedeki filtrenin geri devir oranı.

İki kademeli sistemde verim:

$$E_{II} = \frac{R_2 + 1.5}{R_2 + 2} \quad (3.15)$$

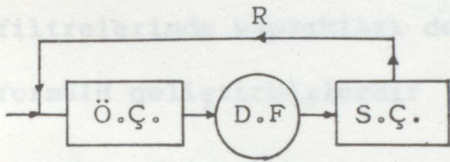
çöktürülmüş ham suyun BOI'sine uygulanır.

(12) No.lu referansta ise Rankin formülü ile ilgili olarak Tablo 3.1 verilmiştir.

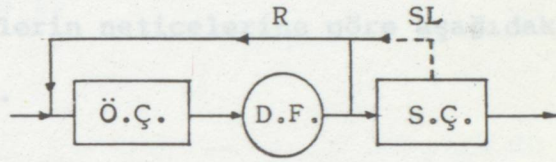
Tablo 3.1. Damlatmalı Filtre İşlemlerinde Çıkış BOI'si için Formüller

Akış Diyagramı	Kritik Yükleme		
	I	II	III
a,b,c,d,e (tek kademeli sistemler)	$C_e = (C_i - C_e)$ $\times \left( \frac{1+r}{1+1,5r} \right)$	$C_e = (C_i - C_e)$ $\times \left( \frac{1.78(1+r)}{2,78+1.78r} \right)$	$C_e = (C_i - C_e)$ $\times \left( \frac{1+r}{2+r} \right)$

- I. Hızı 9.366-28 m/gün ve geri devir organik yükü  $1.75 \text{ kg/m}^3/\text{gün}$  den daha az olan yüksek hızlı damlatmalı filtre işlemi.
- II.  $1.75-2.75 \text{ kg/m}^3/\text{gün}$  geri devirli yüksek hızlı damlatmalı filtre işlemi.
- III. İkinci kademeden önce ara (orta) tasfiyesiz birinci kademe işlemi. (Şekil 3.1 f)



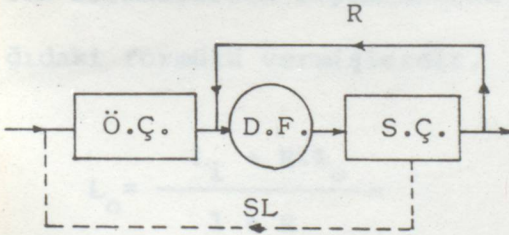
Şekil 3.1.a



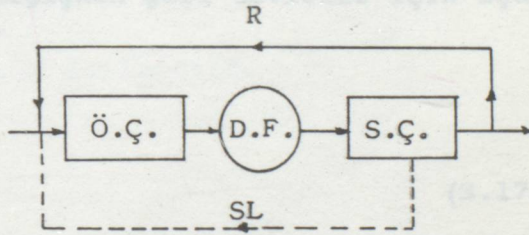
Şekil 3.1.b

R: Geri Devir Miktarı

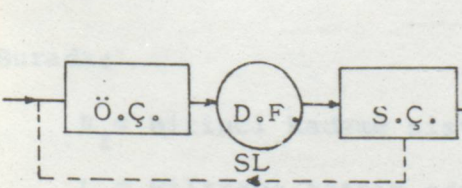
SL: Çamur geri devri



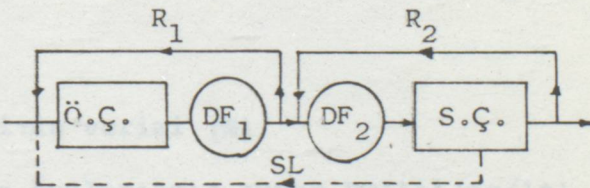
Şekil 3.1.c



Şekil 3.1.d



Şekil 3.1.e



Şekil 3.1.f: İki kademeli sistem

İkinci kademe filtrelerde çıkış  $BOI_5$  tabloda III altındaki denklemde verilmiştir. Eğer çıkış  $BOI_5$  30 mg/lt den daha küçükse ikinci kademe verimliliği % 50 yi geçmez.

### 3.1.4. GALLER GOTAAS FORMÜLÜ

1964 yılında, Galler ve Gotaas taş dolgulu pilot tesis filtrelerinde yaptıkları deneylerin neticelerine göre aşağıdaki formülü geliştirmişlerdir (11).

$$L_e = \frac{0.468 L_o^{1.19} (1+R)^{0.28} (Q/A)^{0.13}}{(1+3.25 D)^{0.67} T^{0.15}} \quad (3.16)$$

Galler ve Gotaas, Howland ve Eckenfelder tarafından verilen formüllerden faydalanarak değişken geri devirler için aşağıdaki formülü vermişlerdir.

$$L_o = \frac{L_i + R \cdot L_e}{1 + R} \quad (3.17)$$

$$E_I = (L_i - L_e) / L_i \quad (3.18)$$

Burada:

$E_I$  = Birinci kademe sisteminin verimi (%)

$L_o$  = Filtreye tatbik edilen kullanılmış suyun  $BOI$ 'si (mg/lt)

$L_e$  = Çöktürülmemiş filtre çıkış  $BOI$ 'si (mg/lt)

$L_i$  = Geri devirsiz filtre giriş suyu  $BOI$ 'si (mg/lt)

D= Filtre derinliği (m)

Q= Geri devir dahil filtre giriş debisi (m<sup>3</sup>/gün)

A= Filtre yüzey alanı (m<sup>2</sup>)

T= Kullanılmış su sıcaklığı (°C)

İki kademeli sistem için formül řu şekli alır:

$$L'_e = \frac{0.468 L_e^{1.19} (1+R')^{0.28} (Q/A)^{0.13}}{(1+3.25 D)^{0.67} T^{0.15}} \quad (3.19)$$

$$E_{II} = (L_i - L'_e) / L_i \quad (3.20)$$

Burada:

$E_{II}$  = İki kademeli sistemin verimi (%)

$L'_e$  = İkinci kademedeki çıkış BOI'si (mg/lt)

$R'$  = İkinci kademe geri devir oranı

$L_e$  = Birinci kademe çıkış BOI'si (mg/lt)

diğer terimler üstteki gibi tarif edilmiştir.

### 3.15. SCHULZE FORMÜLÜ

(13) no.lu referansta Schulze formülü geri devirsiz sistem için řu şekilde verilmektedir.

$$L_e / L_i = 10^{-kD/Q_A^n} \quad (3.21)$$

$$E_0 = (L_i - L_e) / L_i \quad (3.22)$$

Burada:

$E_0$  = Geri devirsiz sistemin verimi (%)

$L_i$  = Filtreye giriş suyu BOI'si (mg/lt)

$L_e$  = Çöktürülmemiş filtre çıkış suyu BOI'si (mg/lt)



D= filtre derinliği (m)

$Q_A$  = Hidrolik yük ( $m^3/m^2/gün$ )

n = Filtre malzemesi karakteristiği=0.666

k = Tasfiye sabiti=0.94

Tek kademeli sistem için şu formül verilmiştir(13).

$$p = L_e/L_m = 10^{-kD/Q_A^n} \quad (3.23)$$

$$E_I = \frac{1}{\left(\frac{1+r}{p} - r\right)} \quad (3.24)$$

Burada:

$E_I$  = Geri devirli sistemin verimi (%)

$Q_A$  = Geri devir dahil hidrolik yük ( $m^3/m^2/gün$ )

r = Geri devir oranı

$L_e$  = Filtreden çıkış BOI'si (mg/lt)

$L_m$  = Geri devirli halde filtreye tatbik edilen BOI (mg/lt)

Diğer terimler üstteki gibi tarif edilmektedir.

### 3.1.6. ECKENFELDER FORMÜLÜ

1963 yılında, Eckenfelder plastik malzeme üzerinde yaptığı deneylere dayanarak ampirik bir formül geliştirmiştir. Bu formülü özgül yüzeyi yüksek veya plastik malzeme kullanılan filtrelere uygulamak çok daha gerçekçi sonuç vermektedir.

Eckenfelder geri devirsez filtreler için şu formülü vermektedir (17).

$$\frac{S_e}{S_o} = e^{-\left[ kZ S^m (A/Q)^n \right]} \quad (3.25)$$

$$E_o = (S_o - S_e) / S_o \quad (3.26)$$

Tek kademeli sistem için de şu formüü verilmektedir (17).

$$\frac{S_e}{S_i} = e^{\left[ -k Z S^m \left( \frac{A}{(1+r)Q} \right)^n \right]} \quad (3.27)$$

$$S_i = \frac{S_o + r \cdot S_e}{1+r} \quad (3.28)$$

$$E_I = (S_o - S_e) / S_o \quad (3.29)$$

Tek kademeli sistemin formülü iki kademeli sisteme de uygulanabilir.

Burada:

$k$  = Reaksiyon hoz sabiti = 0.117 m/gün

$Z$  = Filtre derinliği (.m)

$S$  = Filtrenin özgül yüzeyi ( $m^2/m^3$ )

$A$  = Filtre en kesit alanı ( $m^2$ )

$Q$  = Filtreye tatbik edilen debi ( $m^3/gün$ )

$m, n$  = Amprik sabitler = 1

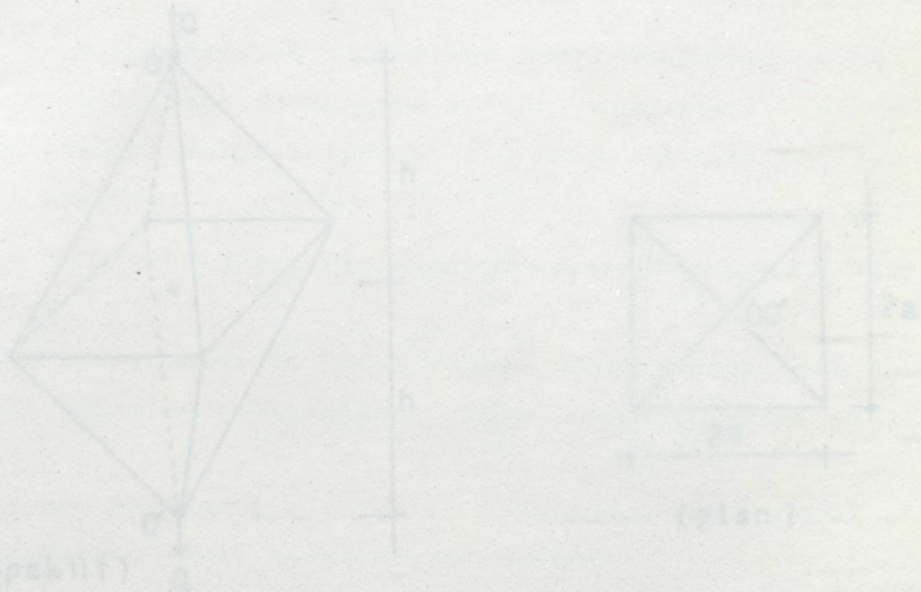
alınmak suretiyle filtrenin çıkış BOI'si ve verimlerini bulmak mümkün olur.

### 3.2. ÖZGÜL YÜZEY FAKTÖRÜNÜN VERİM ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Damlatmalı filtrelerde madde tüketimine tesir eden faktörlerin değişik araştırmacıların verim formüllerine göre farklı olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, araştırmacılar, değişik yıllarda yapmış oldukları deneysel çalışmalara farklı faktörleri etki ettirip, bazı faktörleri ele almamış olmalarındandır.

Ayrıca deney çalışmalarına farklı filtre malzemesi üzerinde yapmış olmalarıdır. Elde ettikleri deney sonuçlarına göre bu amprik formülleri geliştirmişlerdir.

Verim formüllerinde de görüleceği gibi  $S$ , özgül yüzeyi ; verim formülüne tesir ettiren sadece Eckenfelder olmuştur. Son yıllarda yapılmış olan araştırmalara göre özgül yüzeyinin; aktif biyofilm yüzeyine, temas zamanına, reaksiyon katsayısına, dispersiyon katsayısı ve sayısına , birim genişlik debisine dolayısıyla filtre verimine tesir ettiği anlaşılmıştır. Bundan dolayı 1963 yılında ilk defa Eckenfelder verim formülüne özgül yüzeyini direkt olarak tesir ettirmiştir. Fakat yapılan incelemeler sonucunda özgül yüzey ile ilgili çalışmaların az ve yetersiz olduğu göze çarpmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmanın deneysel kısmında  $S$ , özgül yüzeyi ile;  $q$ , birim genişlik debileri arasında bir bağıntı araştırılmıştır. Bu araştırma küresel malzeme ve köşeli malzeme olmak üzere iki farklı şekil üzerinde yapılmıştır.



Şekil 4.1. Köşeli malzeme (dik-kare prizma) modeli.

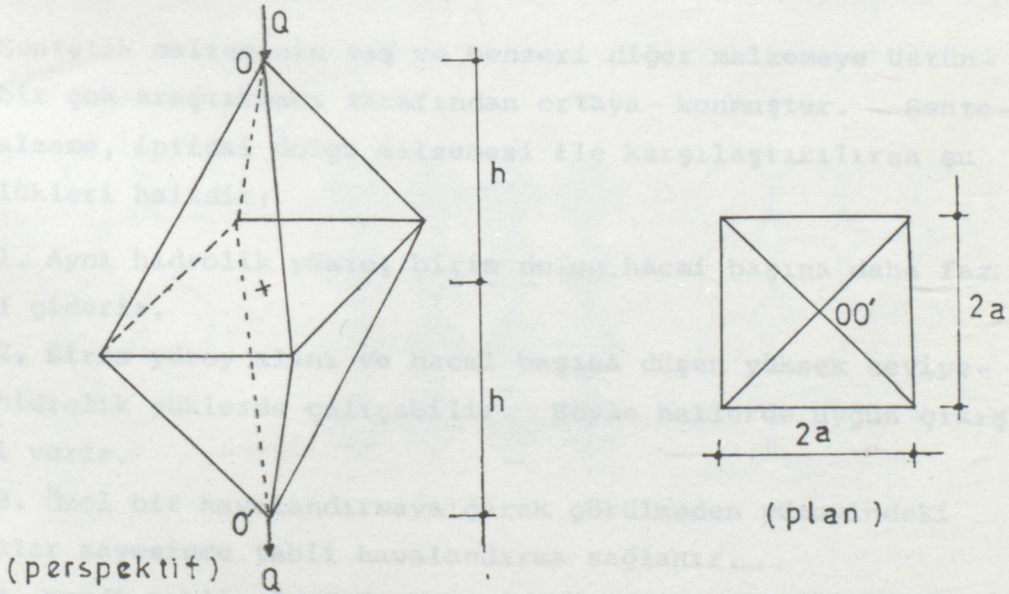
## BÖLÜM.IV. DAMLATMALI FİLTRELERİN HİDROLİĞİ

### 4.1. GİRİŞ

Damlatmalı filtrelerde atık sular, filtreyi teşkil eden iri tanelerin yüzeyleri üzerinden aşağıya akarken daima hava ceryanı ile temasta bulunur, yani tanelerin üzerindeki boşlukları doldurmazlar ve yüzeysel olarak akarlar. Bu bölümde, damlatmalı filtreyi meydana getiren tanelerin şekilleri, diziliş şekilleri ve bunların akışları hakkında bilgi verilecektir.

### 4.2. DAMLATMALI FİLTRELERDE MALZEME ŞEKİLLERİ

Daha önce yapılan çalışmalarda genellikle en uygun şekil olarak küre kabul edilmiş ve onun üzerinde çalışmalar sürdürülmüştür. Bu çalışmada; küre çalışmaları hakkında bilgi verilmiş ve ayrıca şekil olarak ta yeni bir sistem ortaya konmuştur. Bu şekil sistemi "düz-ters piramit" tabanı kare olan iki piramidi taban tabana birleştirmek suretiyle elde edilmiştir (Şekil 4.1)



Şekil 4.1. Köşeli malzeme (düz-ters piramit) modeli.

#### 4.3. DAMLATMALI FİLTRELERİN MALZEMELERİ

Damlatmalı filtrelerde genel olarak iki türlü malzeme kullanılır. Bunlar; taneli malzeme ve sentetik malzemedir.

Biyolojik tasfiyede, aktif çamur metodunda meydana gelen gelişmeler üzerine damlatmalı filtreler üzerine olan ilgi azaldı. Ancak, bu ilgi damlatmalı filtre yatağında sentetik malzeme kullanılmasıyla yeniden artmaya başladı. Sentetik malzemeli damlatmalı filtreleri bu gün gelişmiş ülkeler kullanmaktadır. Sentetik malzemede porozite çok yüksek olmaktadır. Porozitenin yüksek olması çökelmenin yerçekimi ile oluşmasını sağlar. Filtre dolgusunda kullanılan sentetik malzeme, ya düşey olarak düzenli bir biçimde yerleştirilir veya kule içine rast gele dizilir. Malzeme dizilişinin önemi 25 yıl kadar önce farkedilmiştir. Bu gün bu konuda yapılan çalışmalara da ışık tutmuştur. PVC malzemesinin kullanılmasına yol açan B.F.Foodrich Koroseal Vinly V Core tam ölçekli bir tesiste başarı ile kullandı. Böylece ortalama bir verim elde edilerek, aktif çamur metoduna karşı damlatmalı filtrelerin daha cazip hale gelmesi sağlanmış oldu (21).

Sentetik malzemenin taş ve benzeri diğer malzemeye üstünlüğü bir çok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur. Sentetik malzeme, iptidai dolgu malzemesi ile karşılaştırılırsa şu üstünlükleri haizdir:

1. Aynı hidrolik yükte, birim dolgu hacmi başına daha fazla BOI giderir.
2. Birim yüzey alanı ve hacmi başına düşen yüksek seviyedeki hidrolik yüklerde çalışabilir. Böyle hallerde uygun çıkış BOI'si verir.
3. Özel bir havalandırmaya gerek görülmeden yüzeyindeki boşluklar sayesinde tabii havalandırma sağlanır.
4. Kendi tabii ağırlığına vey yüzeyindeki biyolojik kütle-yi taşıyabilecek yapıdadır.

5. Hafiftir. Bu yüzden derinliği fazla olacak tarzda yerleştirilebilir.

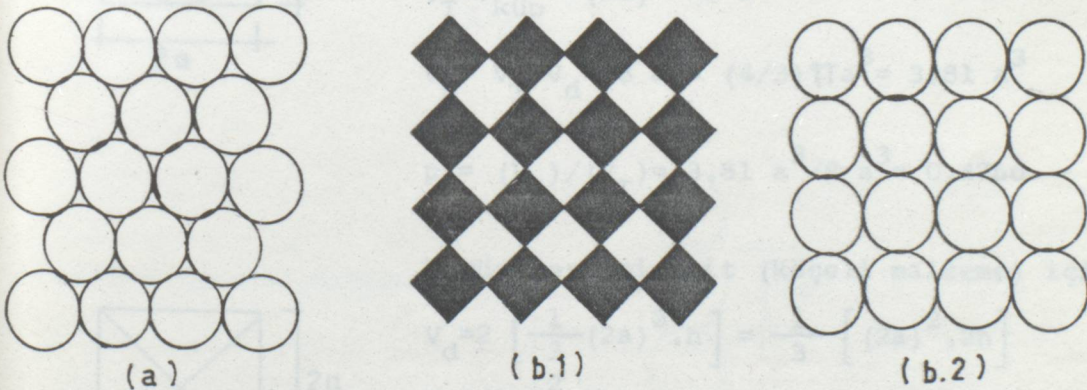
6. Biyolojik olarak ayrışmaz.

7. Kimyasal bileşiklere karşı dayanıklıdır. Yani herhangi bir çözelti karşısında ayrışmaz.

#### 4.4. DAMLATMALI FİLTRELERDE MALZEMENİN DİZİLİŞ ŞEKİLLERİ

Damlatmalı filtrelerde akış şartlarını belirtebilmek için ve matematik bir ifade geliştirebilmek için malzemenin filtredeki yerleşme tarzının ve özelliklerinin bilinmesi gerekir.

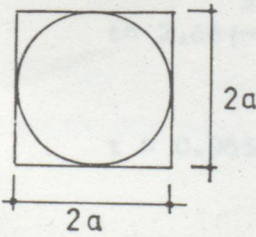
Aynı çaplı kürelerden meydana gelen yığınların diziliş tarzı üzerinde ilk çalışmayı Slichter yapmıştır. Slichter'in ortaya koyduğu teori Smith (1932), Graton ve Fraser (1935) tarafından geliştirilmiştir. Graton ve Fraser filtredeki diziliş şekillerini altı ana grupta toplamıştır. Üç tanesinde küre merkezleri yatay bir düzlemde olup, merkezleri birleştiren doğrular arasındaki açı  $90^{\circ}$  olmaktadır. Diğer üç halde merkezler yatay bir düzlemde olup, aralarındaki açı  $60^{\circ}$  dir. Şekil 4.2 de bu diziliş şekillerinin en tanınmış iki tanesi plan durumunda gösterilmiştir. Bunlar ortogonal (kübik) diziliş tarzı ile Rombik diziliş tarzıdır (15,16 ).



Şekil.4.2. a)Rombik b)Kübik(ortogonal) diziliş şekilleri

Bu çalışmada; kübik diziliş esas alınmıştır. İncelenecek olan kübik diziliş halindeki küreler ve düz-ters piramitlerin merkezlerini birleştiren doğrular arasında  $90^\circ$  lik açı bulunmaktadır. Merkezleri aynı bir yatay düzlem üzerinde bulunan küreler veya düz-ters piramitler çevrelerindeki 4 noktada temas halindedir (Ekvator enlemi üzerinde). Ayrıca alt ve üst kürelerle veya düz-ters piramitlerle birer nokta temas halindedir. Bu kübik diziliş halinde kürelerin porozitesi  $p=47.66$ , düz-ters piramitlerin  $p=66.7$  olup küreler veya düz-ters piramitler yer çekim etkisiyle ağırlıkları birbiri üzerine tesir etmektedir. Diğer bir ifadeyle ideal şartlarda yanlardaki elemanlardan hiç bir kuvvetin gelmediği ve elemanın (küre, düz-ters piramit) üzerindeki akımı bozmadığı kabul edilir. Bu takdirde filtrenin üst üste sıralanmış çok sayıdaki küre veya düz-ters piramit zincirinden ibaret olduğu söylenebilir. Bu sebeple bir elemanın üzerindeki akım, filtredeki akımı karakterize edebilir.

Porozite hesabı:



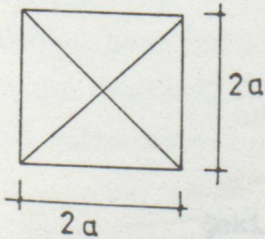
a) Küre için

$$V_d = V_{\text{küre}} = \frac{4}{3} \pi a^3$$

$$V_T = V_{\text{küp}} = (2a)^3 = 8 a^3$$

$$V_B = V_T - V_d = 8 a^3 - \frac{4}{3} \pi a^3 = 3.81 a^3$$

$$p = \frac{(V_B)}{(V_T)} = \frac{3.81 a^3}{8 a^3} = 0.4766$$



b) Düz-ters piramit (köşeli malzeme) için:

$$V_d = 2 \left[ \frac{1}{3} (2a)^2 \cdot h \right] = \frac{1}{3} \left[ (2a)^2 \cdot 2h \right]$$

$$V_T = (2a)^2 \cdot 2h$$

$$V_B = \left[ (2a)^2 \cdot 2h \right] - \frac{1}{3} \left[ (2a)^2 \cdot 2h \right] = \frac{2}{3} \left[ (2a)^2 \cdot 2h \right]$$

$$p = \frac{V_B}{V_T} = \frac{\frac{2}{3} \left[ (2a)^2 \cdot 2h \right]}{(2a)^2 \cdot 2h} = \frac{2}{3} = 0.667$$

## 4.5. AKIŞ SÜRESİNİN HESABI

Akış sürelerinin hesabında, küre için teorik çalışmalar yapılmış olup, köşeli malzeme için yapılmamıştır.

W.E.Howland, akım çizgilerinin eğriliği ile hızlanma ve yavaşlama tesirlerini ihmal ederek bir su zerresinin, kürenin en üst noktasından (A), en alt noktasına (B) (Şekil 4.3) gelmesi için geçen zamana :

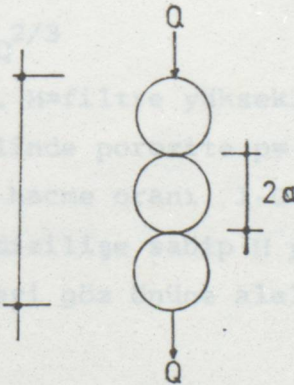
$$t = 2.6 \left( \frac{3\nu}{g} \right)^{1/3} \frac{(2\pi)^{2/3} a^{5/3}}{Q^{2/3}} \quad (4.1)$$

denklemleriyle hesaplamıştır. Burada; kinematik vizkoziteyi, g yerçekimi ivmesini, a küre yarıçapını ve Q sıvının debisini göstermektedir. Kinematik vizkozite sıvı sıcaklığının bir fonksiyonudur.  $t = 12-15^{\circ}\text{C}$  için  $\nu = 1.31 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sn}$  lik bir vizkozite değeri ile hesap yapılması tavsiye edilmektedir. Denklem (4.1) de bu değer yerine konursa o zaman "t" şu şekli alır:

$$t = 2.66 \left( \frac{3 \cdot (1.31 \times 10^{-6})^{1/3}}{9.81} \frac{(6.28)^{2/3} \cdot a^{5/3}}{Q^{2/3}} \right)$$

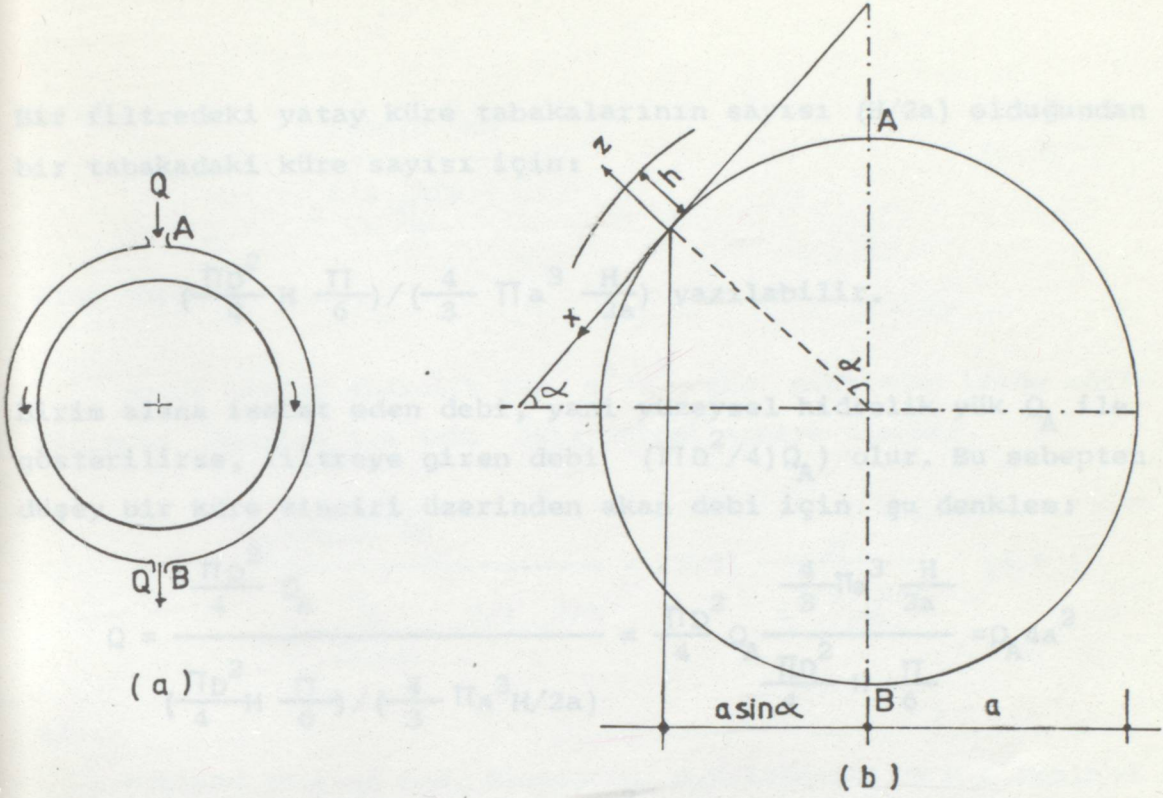
$$t = 0.06526 \frac{a^{5/3}}{Q^{2/3}} \quad (4.2)$$

Filtre Yüksekliği =  $H = n \cdot 2a$



Şekil 4.4. Düşey bir küre üzerindeki akım.





Şekil.4.3. a) Küre üzerinde laminer akım

b) Hidrolik denklemlerde geçen büyüklüklerin tarifi (MUSLU, Yılmaz. 1976).

Tek bir küre yerine  $n$  küredan meydana gelen bir küre zinciri düşünülürse akış süresi:

$$t = n \cdot (0.06526) \frac{a^{5/3}}{Q^{2/3}} \quad (4.3)$$

olur. Buradan  $n = H/2a$  dır.  $H$ =filtre yüksekliği,  $2a$ =küre çapı Kürelerin kübik diziliş halinde porozite  $p = 0.476$  olduğundan katı kısmın hacminin toplam hacme oranı  $1 - 0.476 = 0.524 = \pi/6$  olarak hesap edilir. Kübik dizilişe sahip  $H$  yükseklikli ve  $D$  çaplı bir damlatmalı filtreyi göz önüne alalım. Filtrede mevcut küre sayısı:

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

Bir filtredaki yatay küre tabakalarının sayısı  $(H/2a)$  olduğundan bir tabakadaki küre sayısı için:

$$\left(\frac{\pi D^2}{4} H \frac{\pi}{6}\right) / \left(\frac{4}{3} \pi a^3 \frac{H}{2a}\right) \text{ yazılabilir.}$$

Birim alana isabet eden debi, yani yüzeysel hidrolik yük  $Q_A$  ile gösterilirse, filtreye giren debi  $(\pi D^2/4)Q_A$  olur. Bu sebepten düşey bir küre zinciri üzerinden akan debi için şu denklem:

$$Q = \frac{\frac{\pi D^2}{4} Q_A}{\left(\frac{\pi D^2}{4} H \frac{\pi}{6}\right) / \left(\frac{4}{3} \pi a^3 \frac{H}{2a}\right)} = \frac{\pi D^2}{4} Q_A \frac{\frac{4}{3} \pi a^3 \frac{H}{2a}}{\frac{\pi D^2}{4} H \frac{\pi}{6}} = Q_A 4a^2$$

bulunur. Bu sebeple (4.3)  $Q=Q_A 4 a^2$  değerini koyarsak damlatmalı filtrede akış süresi:

$$t = \frac{H}{2a} (0.065266) \frac{a^{5/3}}{(Q_A 4a^2)^{2/3}} = 0.01295 \frac{H}{a^{2/3} Q_A^{2/3}}$$

$$t = \frac{1.295 \cdot 10^{-2} \cdot H}{a^{2/3} \cdot Q_A^{2/3}} \quad (4.4)$$

olur. Burada:

$t$  = Akış süresi (sn)

$H$  = Filtre yüksekliği (m)

$Q_A$  = Yüzeysel hidrolik yük ( $m^3/m^2/sn$ )

$a$  = Küre yarıçapı (m)

Aynı formül  $t=20^\circ C$  için  $\nu = 1.008 \times 10^{-6} m^2/sn$  için çıkarılacak olursa:

$$t = \frac{1.188 \times 10^{-2} \times H}{a^{2/3} Q_A^{2/3}} \quad (4.5)$$

elde edilir.

Genel olarak hidrolik yük  $m^3/m^2$  gün cinsinden ifade edildiğinden denklem 4.4 teki akış süresi saniye olarak:

$$t = \frac{1.295 \times 10^{-2} \times H}{\left(\frac{Q_A}{86400}\right)^{2/3} \cdot a^{2/3}} = 25.31 \frac{H}{a^{2/3} \cdot Q_A^{2/3}} \quad (4.6)$$

olur.

Howland teorisi D.E. Bloodgood, G.H. Teletzke ve F.G. Pohland tarafından deneysel olarak doğrulanmıştır (2).

Yukarıdaki denklemler filtre malzemesinin S özgül yüzeyine göre de yazılabilir. Bilindiği gibi özgül yüzey; haçım birimine isabet eden tanelerin yüzey alanlarının toplamına eşittir. Mesela kübik diziliş için damlatmalı filtrelerin özgül yüzeyi, bir kürenin yüzey alanı  $4\pi a^2$  olduğuna göre:

$$S = \text{Küre sayısı} \frac{4\pi a^2}{\text{filtre hacmi}} = \frac{\frac{\pi D^2}{4} H \frac{\pi}{6}}{\frac{4}{3} \pi a^3} = \frac{4\pi a^2}{\frac{\pi D^2}{4} H} = \frac{\pi}{2a} \quad (4.7)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Buna göre Howland teorisiyle bulunan (4.6) denkleminde  $a = \pi/2S$  konulursa şu denklem elde edilir:

$$t = 25.31 \frac{H}{(\pi/2S)^{2/3} Q_A^{2/3}} = \frac{25.31 \times (2)^{2/3} H \cdot S^{2/3}}{\pi^{2/3} Q_A^{2/3}} = 18.73 \cdot H \cdot (S/Q_A)^{2/3} \quad (4.8)$$

Zaman, dakika cinsinden ifade edilmek istenirse:

$$t = \frac{18.73}{60} H (S/Q_A)^{2/3} = 0.312 H (S/Q_A)^{2/3} \quad (4.9)$$

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

Daha genel bir ifade için mevcut deney neticeleri damlatmalı filtrelerdeki akış sürelerinin aşağıdaki denklem ile ifade edilebileceğini göstermektedir:

$$t = C.H.(S/Q_A)^n \quad (4.10)$$

Buradaki  $C$  ve  $n$  katsayıları tane büyüklüğü ile istif şekline bağlıdır. Yeni ve iri taneli temiz malzeme için  $C=0.312$ , eski ve pis dolgu malzemesi için  $C=3 \times 0.312 = 0.936$  kabul edilebilir.  $n$  için howland teorisi  $2/3$  değerini vermektedir.

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  $\gamma_s = 2600 \text{ kg/m}^3$  olduğu ve birim hacim ağırlığının  $\gamma = 0.5 \times 2600 = 1300 \text{ kg/m}^3$  ile  $\gamma = 0.6 \times 2600 = 1560 \text{ kg/m}^3$  arasında değiştiği kabul edilirse, özgül yüzey:

$$S = \frac{4.666}{d_m} \quad (4.11)$$

veya

$$S = 5.6/d_m \quad (4.12)$$

formülü ile hesaplanabilir.

Burada

$$d_m = \frac{2d_1 d_2}{d_1 + d_2} \quad (4.13)$$

çapları  $d_1$  ve  $d_2$  arasında değişen tanelerin ortalama çapını göstermektedir. Küçük taneli malzeme için (4.11) , büyük taneli malzeme için de (4.12) bağıntıları kullanılır. Çünkü küçük taneli malzemenin birim hacim ağırlığı daha küçüktür (2).

#### 4.6. TANELİ MALZEME İÇİNDEKİ AKIMIN HİDROLİĞİ

Damlatmalı filtrelerdeki akımın hidroliğini ilk defa inceleyen Howland'dır. Howland taneli malzemenin kübik dizilişli bir modelinde akımın, bir küre üzerindeki akımla eşdeğer olduğunu düşünerek biyolojik filtrasyonda en çok karşılaşılan laminer akım için bunun denklemini çıkarmıştır. (Şekil 4.3). Buna göre merkez açısındaki bir paralel dairesi üzerindeki su derinliği için:

$$h = \left( \frac{3\sqrt{Q}}{2\pi g} \frac{Q}{a \cdot \sin^2 \alpha} \right)^{1/3} \quad (4.14)$$

Birim genişlik debisi:

$$q = \frac{Q}{2\pi a \cdot \sin \alpha} \quad (4.15)$$

ve ortalama hız:

$$\bar{v} = \frac{Q}{h \cdot 2\pi a \sin \alpha} = \frac{\gamma h^2 \sin \alpha}{3\mu} \quad (4.16)$$

$$\bar{v} = \left( \frac{g}{12\sqrt{\pi^2}} \frac{Q^2}{a^2} \right) \sin \alpha^{-1/3} \quad (4.17)$$

denklemleri ile hesap edilebilir (7,11).

Burada:

$$h = \text{su derinliği (L)}$$

$$= \text{Kinematik vizkozite (L}^2\text{/T)}$$

$$g = \text{Yerçekimi ivmesi (L /T}^2\text{)}$$

$$Q = \text{Debi (L}^3\text{/T)}$$

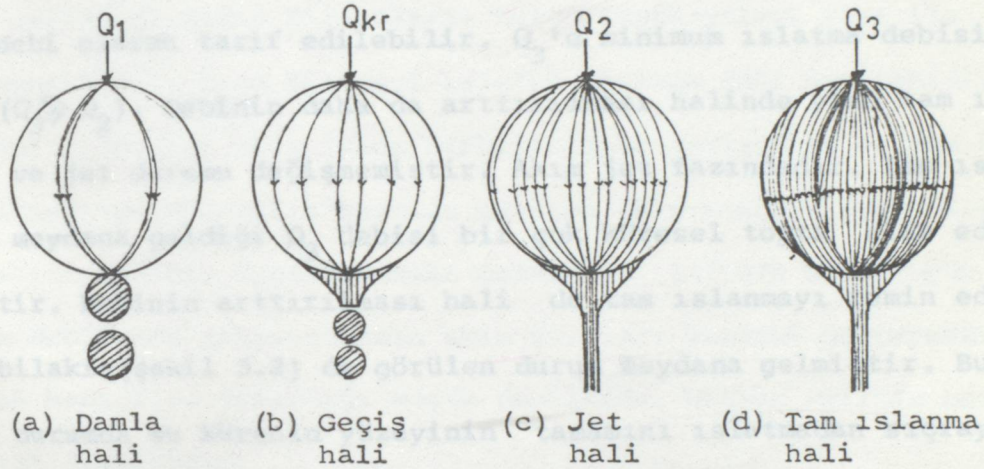
$$a = \text{Küre yarıçapı (L)}$$

görüldüğü gibi küre üzerinde laminer akım bütün meridyenlerde aynı şekilde meydana gelmektedir. Sıvı, küreye temas ettiği tepe noktasından itibaren ekvatora kadar genişleyerek yayılmakta, sonra tekrar daralarak en alt noktada küreyi terk etmektedir. Bir meridyen dilimi ele alınırsa, bu meridyen dilimi üzerinde akım, genişleyen, sonra daralan bir kanaldaki akıma benzer. Topacık (11) bu şekildeki bir dilimden çıkarılan bir sıvı elemanına maddenin korunumu prensibini tatbik ederek genel dispersiyon denklemini elde etmiştir.

## BÖLÜM V. DAMLATMALI FİLTRELERDE DEĞİŞİK AKIM ŞEKİLLERİNİN İNCELENMESİ VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1. DAMLATMALI FİLTRELERDE DEĞİŞİK AKIM ŞEKİLLERİNİN İNCELENMESİ

#### 5.1.1. KÜRESEL MALZEMELERDE AKIM ŞEKİLLERİ



Şekil 5.1. Küresel Malzeme Üzerindeki Akım.

a) Damla Hali: Küçük debilerde oluşur. Damlaların jet haline geçmeye başladığı ana kadar oluşan fazdır. Bu halin en büyük debisi geçiş debisine eşittir. Yani bu debide ve daha küçük debilerde kürenin alt noktasında damlalar oluşmaktadır. Bu halde geçerli olan debi,  $Q_1$  dir.

b) Geçiş hali (kritik akım fazı):  $Q_{kr}$  debisi geçerlidir. Bu debide akım, iki fazda da bulunur. Yani hem damla durumu hem de jet hali mevcuttur. Önce bir miktar jet teşekkül etmekte fakat kısa zamanda jet hali bozularak damlalar halinde akmaktadır.

$$Q_1 < Q_{kr} < Q_2$$

c) Jet Fazı:  $Q_2$  debisi geçerlidir. Bu debide damlalar artık tamamen jete dönüşmeye başlamıştır.  $Q_2$  ve ondan daha büyük debilerde akım jet fazdadır. Debi arttırıldıkça ıslak alan da artmıştır.

d) Tam Islanma Hali: Küre topların bütün yüzeylerinin ıslandığı debi olarak tarif edilebilir.  $Q_3$ 'e minimum ıslatma debisi denir. ( $Q_3 \gg Q_2$ ). Debinin daha da arttırılması halinde yine tam ıslanma ve jet durumu değişmemiştir. Akım jet fazındadır. Tam ıslanmanın meydana geldiği  $Q_3$  debisi bir çok küresel topta elde edilememiştir. Debinin arttırılması hali de tam ıslanmayı temin edememiş, bilakis (şekil 5.2) de görülen durum meydana gelmiştir. Bu görülen durumda su kürenin yüzeyinin tamamını ıslatmadan sıçrayarak küre yüzeyini terk etmiştir.



Şekil 5.2. Sıçrama Hali

Oleszkiewicz (1974) plastik malzemeli filtrelerde hidrolik rejim üzerine yaptığı araştırmalar sonucunda şu tesbitleri belirtmiştir. Gerek prototipte, gerek modelde küçük debilerde akım kanallara ayrılmaktadır. Bu esnada sıvı ile kaplı ıslak yüzey, toplam özgül yüzey alanınının %40 ına kadar inmektedir. Yani akış kesitinin



ancak % 40 ından sıvı geçtiği, geri kalan % 60 ı ise kuru kaldığı için, birim genişlik debisinin gerçek değeri her tarafın su ile kaplı olmasına nazaran 2,5 misli kadar daha büyüktür ( $Q'=2,5q$ ). Debi artarken akım rejimi de değişmektedir. Oleszkiewicz'in ölçmelerine göre  $29.34 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{gün}$  değerinde bir yüzeysel hidrolik yüke gelindiği zaman filtrelerin bütün özgül yüzeyi sıvı ile kaplanmaktadır. Buna filtreyi ıslatan minimum debi denilebilir. Bu debi civarında sıvı iyice birbirleriyle karışmakta ve tam karışımli reaktörlere yakın şartlar meydana gelmektedir. Debi arttıkça sıvı ipçikleri muntazam hale gelmekte,  $117-176 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{gün}$  gibi büyük debilerde dispersiyonlu akım şartları kendini göstermektedir. Akımın kanallara ayrıldığı küçük debilerde, Wehner -Wilhem Denklemi geçerli olmaktadır.

$$\frac{C}{C_0} = \frac{4a \exp(1/2d)}{(1+a)^2 \exp(a/2d) - (1-a)^2 \exp(-a/2d)} \quad (5.1)$$

Burada:

$C_0$  = Başlangıçtaki besi maddesi konsantrasyonu (mg/lt)

$C$  = Nihai besi maddesi konsantrasyonu (mg/lt)

$a = (1+4k.t.d)^{1/2}$  (boyutsuz)

$d = \bar{D}/\bar{w}L$ , reaktör dispersiyon sayısı (boyutsuz)

$\bar{D}$  = Dispersiyon katsayısı ( $\text{cm}^2/\text{sn}$ )

$L$  = Reaktör (filtre) uzunluğu (cm)

$\bar{w}$  = Suyun hızı (cm/sn)

$t = L/\bar{w}$  = reaktörde teorik bekleme zamanı (sn)

$$d = \frac{\emptyset}{L} q^{4/3} \quad (5.2)$$

$\emptyset$  = moleküler diffüzyon katsayısı

Oleszkiewicz, Eckenfelder ve Tchobonoglou  $\emptyset = 5000$  değerini vermektedirler.

$$d = 5000 \frac{q^{4/3}}{L} \quad (5.3)$$

$$q = (\text{cm}^3/\text{cm}/\text{sn}), L = (\text{cm})$$

Wehner-Wilhem denkleminin geçerli olduğu dispersiyonlu piston akım şartları hüküm sürer. Yapılan bazı deney neticeleri bu bölgenin üst sınırınının  $8.74 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{gün}$  civarında olduğunu göstermiştir.

Çok küçük debilerde Wehner-Wilhem denklemi;

$$\frac{C}{C_0} = e^{-kt} \quad (5.4)$$

denklemine yani ideal piston akım şartlarına uyar ( $d=0$ ).

$29.34 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{gün}$  civarındaki debilerde ise bütün filtre yüzeyi ıslak hale gelerek konsantrasyonlar tam karışımli reaktörlere ( $d = \infty$ ) ait:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1+kt} \quad (5.5)$$

bağıntısına göre hesaplanabilir. Bu debi arasında bir geçiş bölgesi mevcuttur. Tam karışımli akım bölgesinin üst sınırı  $43.85 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{gün}$  değerine çıkmaktadır.  $117-176 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{gün}$  gibi büyük debilerde, çıkış konsantrasyonu Wehner-Wilhem denklemiyle hesaplanabilir. Çok büyük debilerde hız çok büyük, akış zamanı ise çok

küçük olup Wehner-Wilhem denklemi ile  $C/C_0 = 1/(1+kt)$  denklemi birbirine yaklaşır.  $43.85-117 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{gün}$  hidrolik yükleri arasında tam karışımli akımdan dispersiyonlu piston akıma geçilen bir bölge mevcuttur.

Akımları daha genel bir ifade ile izah etmek istersek:

$Q_1$  den daha küçük debilerde (damla hali), tam karışımli akım

$Q_2$  den daha büyük debilerde (jet hali), dispersiyonlu piston akım.

$Q_1$  ve  $Q_2$  debileri arasında tam karışımli akımdan dispersiyonlu piston akıma geçilen bir geçiş bölgesi mevcuttur.

Tasfiyeden çıkış konsantrasyonu  $C$  ile giriş konsantrasyonu  $C_0$  arasındaki oran yukarıdaki denklemlerden hesap edildikten sonra madde tüketimi (biyolojik verim)  $E = 1 - (C/C_0)$  denklemi ile hesap edilebilir.

Bir damlatmalı giltredeki  $q$  (birim genişlik debisi) şu şekilde bulunabilir:

(A) filtrenin en kesit alanı, (L) filtrenin derinliği, (S) özgül yüzey, (B) ıslak genişlik'i göstermek üzere:

$$B \cdot L = S(A \cdot L) \quad , \quad B = S \cdot A \quad (5.6)$$

$$q = Q/B = Q/SA = (Q/A)/S = Q_A/S \quad (5.7)$$

Burada:

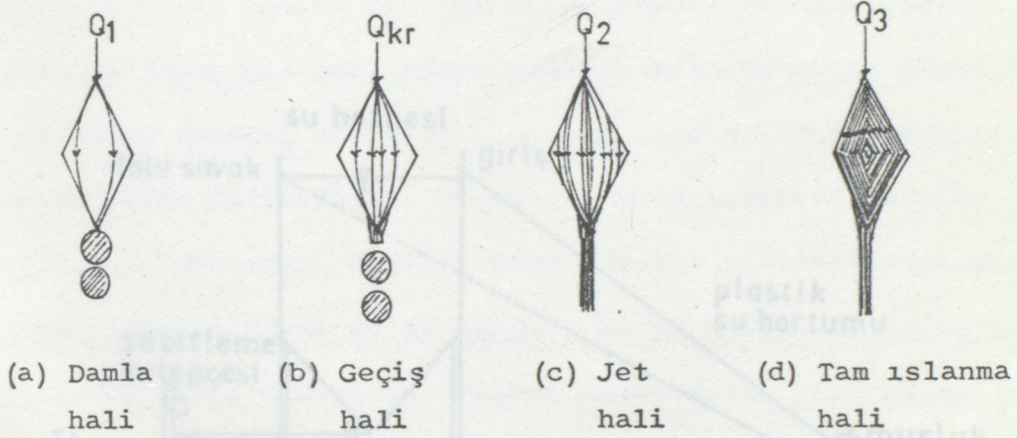
$$Q = \text{debi } (L^3/T)$$

$$Q_A = \text{Yüzeysel hidrolik yük } (L^3/L^2/T)$$

$q = \text{Birim genişlik debisi } (L^3/L/T)$

boyutlarıyla gösterilmektedir (19,20,21).

### 5.1.2. KÖŞELİ MALZEMELERDE AKIM ŞEKİLLERİ



Şekil.5.3.Köşeli Malzeme Üzerindeki Akım

Bu hallerin izahı 5.1.1 deki izahın aynısıdır.

Genellikle tam ıslanma hali elde edilemeden sıçrama müşahade edilmiştir.

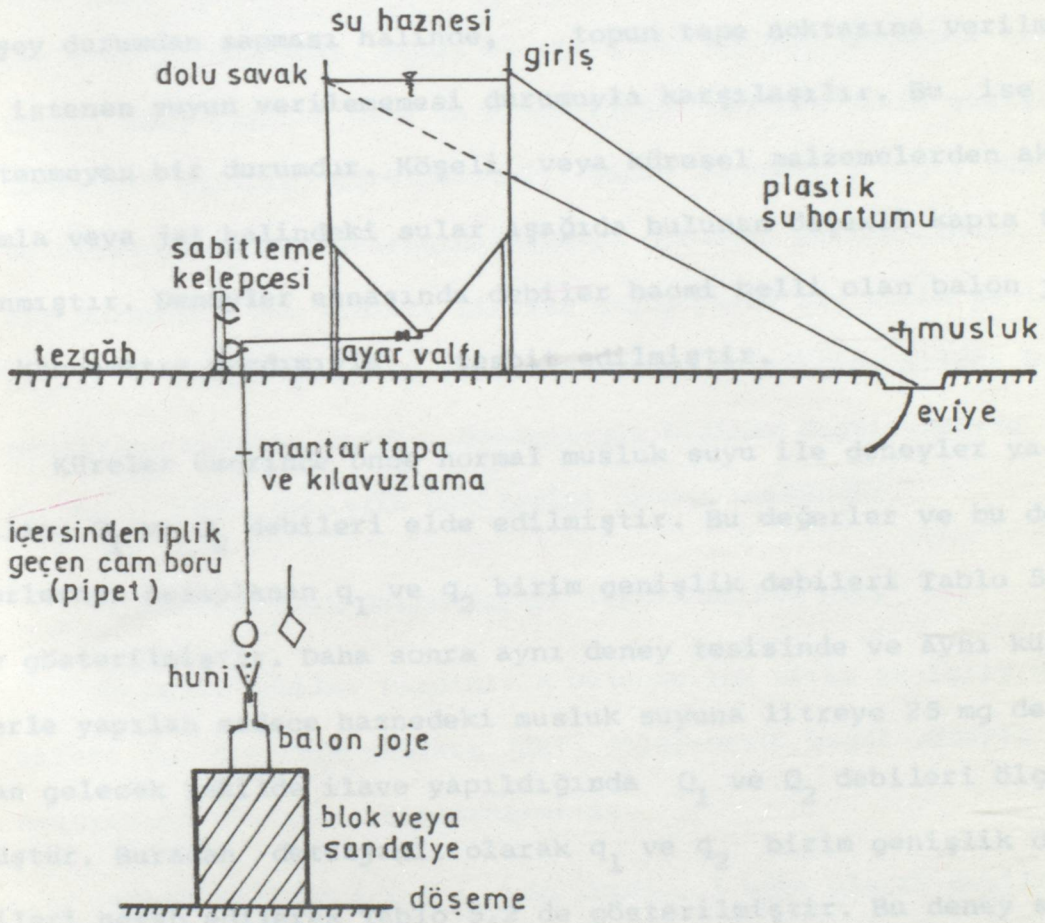
### 5.2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu konudaki deneyler, kübik dizilişli damlatmalı filtrelerdeki akış şartlarına laboratuvar ölçeğinde gözetleyebilmek maksadıyla (Şekil 5.4) te görülen düzen içinde yapılmıştır.

Sabit kalan düzenin çalışma tarzı şöyledir:

Musluktan plastik bir hortumla alınan su hazneye verilmiştir. Haznede teşkil edilen dolu savak yardımıyla sabit bir su seviyesi

temin edilmiştir. Sabit su seviyesi sayesinde basınç sabit tutulmuştur. Benzer deneyler böylece sabit basınç altında yapılmıştır. Haznenin altındaki ayar valfinden geçirilerek alınan su, küresel veya köşeli malzemenin tepe noktasına bir klavuz yardımıyla verilmektedir. Klavuz olarak bir cam boru (pipet) kullanılmıştır. Klavuzun tepe diğey bir pozisyonda kalması sağlanmıştır. Klavuzun



Şekil.5.4. Deney Düzeni

temin edilmiştir. Sabit su seviyesi sayesinde basınç sabit tutulmuştur. Bütün deneyler böylece sabit basınç altında yapılmıştır. Haznenin altındaki ayar valfindan geçirilerek alınan su, küresel veya köşeli malzemenin tepe noktasına bir klavuz yardımıyla verilmektedir. Klavuz olarak bir cam boru (pipet) kullanılmıştır. Klavuzun tam düşey bir pozisyonda kalması sağlanmıştır. Klavuzun düşey durumdan sapması halinde, topun tepe noktasına verilmesi istenen suyun verilememesi durumuyla karşılaşılır. Bu ise istenmeyen bir durumdur. Köşeli veya küresel malzemelerden akan damla veya jet halindeki sular aşağıda bulunan ölçekli kaptan toplanmıştır. Deneyler esnasında debiler hacmi belli olan balon jöje ve kronometre yardımıyla tesbit edilmiştir.

Küreler üzerinde önce normal musluk suyu ile deneyler yapıp,  $Q_1$  ve  $Q_2$  debileri elde edilmiştir. Bu değerler ve bu değerlerden hesaplanan  $q_1$  ve  $q_2$  birim genişlik debileri Tablo 5.1 de gösterilmiştir. Daha sonra aynı deney tesisinde ve aynı kürelerle yapılan sadece haznedeki musluk suyuna litreye 25 mg deterjan gelecek şekilde ilave yapıldığında  $Q_1$  ve  $Q_2$  debileri ölçülmüştür. Buradan deterjanlı olarak  $q_1$  ve  $q_2$  birim genişlik debileri hesap edilerek Tablo 5.2 de gösterilmiştir. Bu deney sonucunda; deterjanlı halde ,deterjansız musluk suyuna nazaran daha küçük debilerde damlaların jete dönüştüğü görülmüştür.

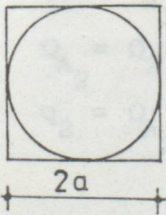
Tablo 5.1 ve 5.2 ye göre Şekil 5.5 ve 5.6 çizilmiştir.

Bu grafiklerde özgül yüzey apsiste, birim genişlik debileri ordinatta işaretlenmiştir. İşaretlenen noktalardan geçirilen eğrinin bir maksimum noktası olduğu görülmektedir. Eğrinin gidişinden, iki ayrı çaplı küre için aynı debide damlaların jet halini aldığı görülmektedir. Yani aynı kritik debi elde edilir. Demekki; küre çapı büyüdükçe damlaların jet halini alması için gereken kritik debi artmaktadır. Fakat bu artış bir noktada maksimum olmaktadır. Küre çapının daha da arttırılması halinde birim genişlik debisinin azaldığı görülmektedir. Çapın büyümesi ; özgül yüzeyin ve birim genişlik debisinin azalması durumunu getirmektedir. Limit durumda ; çap sonsuza giderse özgül yüzey ile birim genişlik debileri sıfıra gider ki bu durum sadece teoriktir. Ayrıca bu grafikten bilinen çapta , dolayısıyla bilinen özgül yüzeyde  $q_1$  ve  $q_2$  birim genişlik debilerini okumak mümkündür.

### 5.2.1. KÜRESEL MALZEMELERDE KÜBİK DİZİLİŞ HALİ

Burada, debiler yardımıyla bulunabilen birim genişlik debileri ( $q$ ) ile küre çapları ( $2a$ ), dolayısıyla özgül yüzeyler ( $S$ ) arasındaki münasebet incelenecektir.

Kübik diziliş için: 1 küp içinde, 1 küre olacak şekilde düşünülmüştür.



$$S = \text{Özgül Yüzey} = \frac{\text{Yüzey Alanı}}{\text{Hacim}} = \frac{4\pi a^2}{(2a)^3} = \frac{\pi}{2a} \quad (\text{cm}^2/\text{cm}^3)$$

$$Q_A = \text{Yüzeysel hidrolik yük} = \frac{Q}{(2a)^2} \quad (\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{sn})$$

$q = \text{birim genişlik debisi} = Q_A / S \text{ (Cm}^3/\text{Cm/Sn)}$

$$Q_{A_1} = Q_1 / (2a)^2, \quad Q_{A_2} = Q_2 / (2a)^2$$

$$q_1 = Q_{A_1} / S, \quad q_2 = Q_{A_2} / S$$

Porozite (boşluk oranı) hesabı:

$$p = V_b / V_T = (V_T - V_d) / V_T = 1 - (V_d / V_T) = 1 - \frac{\frac{4}{3} \pi a^3}{(2a)^3} = 0.4764$$

Burada:

$p = \text{porozite, } V_b = \text{Boşluk hacmi, } V_d = \text{Dolu hacim (küre)}$

$V_T = \text{Toplam hacim (küp)}$

Tablo 5.1. deki değerlerin hesaplarımı göstermek için bir örnek verilmiş olup, diğerleri aynı hesap yoluyla bulunmuştur.

$2a = 9.54 \text{ mm.} = 0.954 \text{ cm.}$  çaplı çelik bilye ile yapılan

deneyle:

$$Q_1 = 0.120 \text{ mlt/sn, } Q_2 = 0.261 \text{ mlt/sn.}$$

$$S = \pi / 2a = \pi / (0.954) = 3.293 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$$

$$Q_{A_1} = Q_1 / (2a)^2 = 0.120 / (0.954)^2 = 0.132 \text{ cm}^3 / \text{cm}^2 / \text{sn.}$$

$$q_1 = Q_{A_1} / S = 0.132 / 3.293 = 0.040 \text{ cm}^3 / \text{cm} / \text{sn}$$

$$Q_{A_2} = Q_2 / (2a)^2 = 0.261 / (0.954)^2 = 0.286 \text{ cm}^3 / \text{cm}^2 / \text{sn.}$$

$$q_2 = Q_{A_2} / S = 0.286 / 3.293 = 0.087 \text{ cm}^3 / \text{cm} / \text{sn}$$

(\*) İTÜNA.M. tarafından yapılan (21) de verilen değerlerdir.



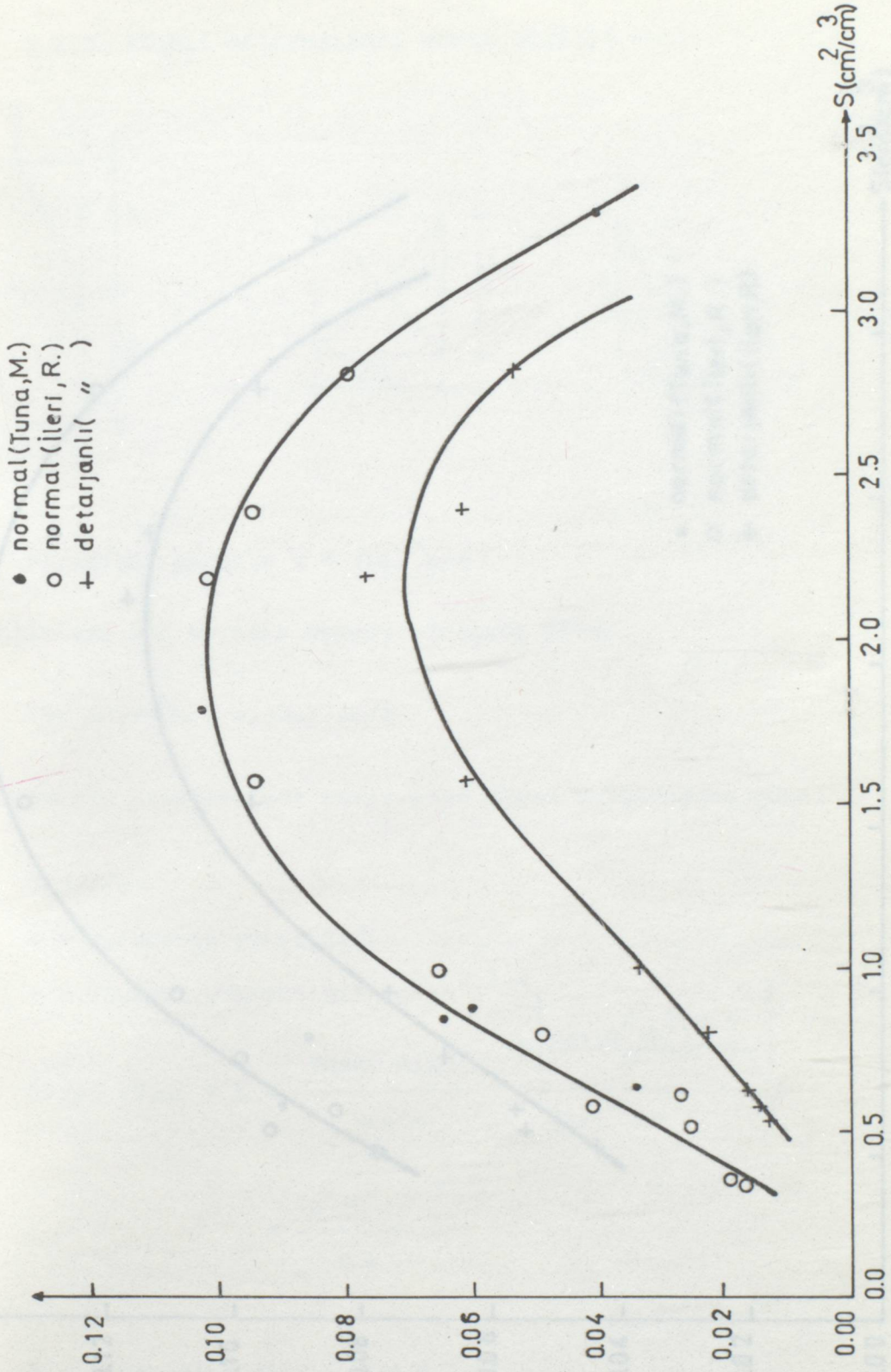
Tablo.5.1.Musluk Suyu ile Yapılan Deney Sonuçları (T=18°C)

Küre Cinsi	Çap 2a mm	Özgül yüzey $\frac{S}{cm^2/cm^3}$	$Q_1$ cm <sup>3</sup> /sn	$Q_2$ cm <sup>3</sup> /sn	$q_1$ $\frac{3 \cdot 1 \cdot 1}{cm \cdot cm \cdot s}$	$q_2$ $\frac{3 \cdot 1 \cdot 1}{cm \cdot cm \cdot sn}$
Çelik Küre (✖)	9.54	3.293	0.120	0.261	0.040	0.087
Ahşap Küre	11.1	2.830	0.278	0.416	0.079	0.121
Ahşap Küre	13.1	2.398	0.385	0.526	0.094	0.128
Ahşap Küre	14.3	2.197	0.455	0.625	0.101	0.139
Porselen Küre (✖)	16.7	1.881	0.540	0.750	0.102	0.142
Ahşap Küre	20.0	1.571	0.588	0.833	0.094	0.133
Ahşap Küre	30.8	1.020	0.625	1.042	0.065	0.108
Plastik küre (✖)	35.4	0.887	0.667	-	0.060	-
Plastik Küre (✖)	36.8	0.854	0.750	1.020	0.065	0.088
Lastik Küre	39.8	0.789	0.625	1.220	0.049	0.098
Plastik Küre (✖)	49.3	0.637	0.520	1.430	0.034	0.092
lastik Küre	50.0	0.628	0.417	1.333	0.027	0.084
Lastik Küre	54.4	0.577	0.714	1.600	0.041	0.094
Lastik Küre	60.5	0.519	0.480	1.460	0.025	0.077
Plastik Küre (✖)	85.0	0.369	0.526	-	0.019	-
Plastik Küre (✖)	86.1	0.364	0.480	-	0.017	-

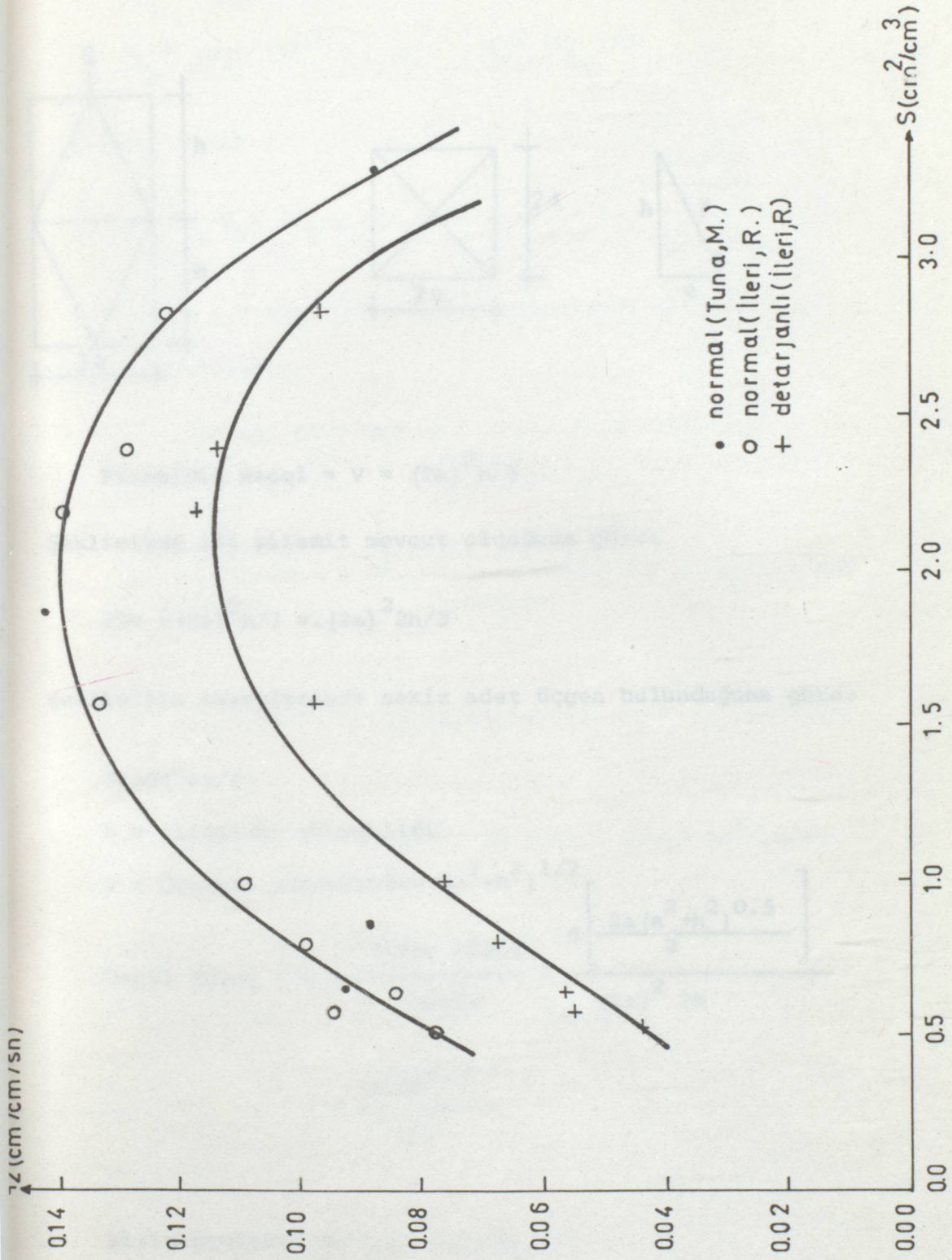
(✖) TUNA, M. tarafından referans (21) de verilen değerlerdir.

Tablo.5.2. Deterjanlı (25 mg/lt) Musluk suyu ile yapılan Deney Sonuçları (T=15°C)

Küre Cinsi	Çap 2a mm.	S cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	Q <sub>1</sub> cm <sup>3</sup> /sn	Q <sub>2</sub> cm <sup>3</sup> /sn	q <sub>1</sub> cm <sup>3</sup> /cm/sn	q <sub>2</sub> cm <sup>3</sup> /cm/sn
Ahşap Küre	11.1	2.830	0.177	0.333	0.051	0.096
Ahşap Küre	13.1	2.398	0.250	0.463	0.061	0.113
Ahşap Küre	14.3	2.197	0.340	0.521	0.076	0.116
Ahşap Küre	20.0	1.571	0.385	0.610	0.061	0.097
Ahşap Küre	30.8	1.020	0.328	0.735	0.033	0.076
Lastik Küre	39.8	0.789	0.285	0.833	0.022	0.067
Lastik Küre	50.0	0.628	0.250	0.877	0.016	0.056
Lastik Küre	54.4	0.577	0.238	0.943	0.014	0.055
Lastik Küre	60.5	0.519	0.250	0.833	0.011	0.044

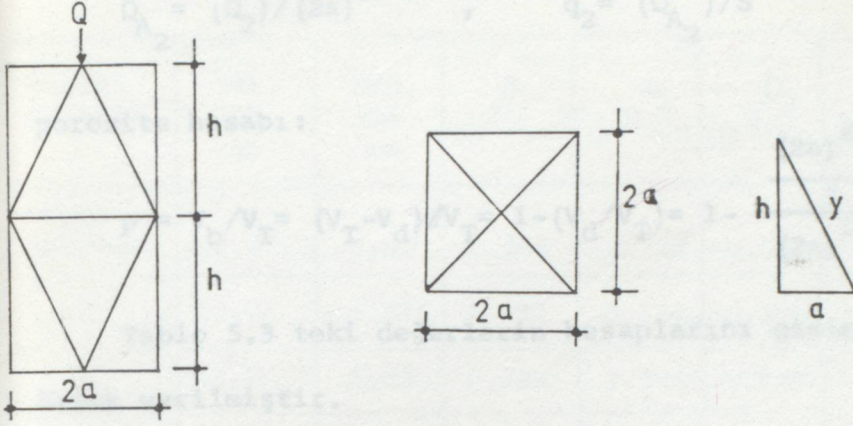


Şekil. 5.5. Küresel malzemelerde  $S - q_1$  bağıntısı



Şekil. 5.6. Küresel malzemelerde S-q<sub>2</sub> bağıntısı

## 5.2.2. KÖŞELİ MALZEMELERDE KÜBİK DİZİLİŞ HALİ



$$\text{Piramidin Hacmi} = V = (2a)^2 h/3$$

Şeklimizde iki piramit mevcut olduğuna göre:

$$2V = 2(2a)^2 h/3 = (2a)^2 2h/3$$

Şeklimizin yüzeylerinde sekiz adet üçgen bulunduğuna göre:

$$8A = 8(2ay/2)$$

$h$  = piramidin yüksekliği

$$y = \text{Üçgenin yüksekliği} = (a^2 + h^2)^{1/2}$$

$$\text{Özgül Yüzey} = S = \frac{\text{Yüzey Alanı}}{\text{Hacim}} = \frac{8 \left[ \frac{2a(a^2 + h^2)^{0.5}}{2} \right]}{(2a)^2 2h}$$

$$= \frac{(a^2 + h^2)^{0.5}}{a.h}$$

$$\text{Birim genişlik debisi} = q = Q_A/S$$

$$Q_{A_1} = (Q_1)/(2a)^2, \quad q_1 = (Q_{A_1})/S$$

$$Q_{A_2} = (Q_2)/(2a)^2, \quad q_2 = (Q_{A_2})/S$$

porozite hesabı:

$$p = V_b/V_T = (V_T - V_d)/V_T = 1 - (V_d/V_T) = 1 - \frac{(2a)^2 2h}{3(2a)^2 2h} = 0.667$$

Tablo 5.3 teki değerlerin hesaplarını göstermek için bir örnek verilmiştir.

$$2a=4.05 \text{ cm. (} a=2.025 \text{ cm.)}, \quad 2h=8.0 \text{ cm (} h=4 \text{ cm)}$$

$$Q_1 = 0.118 \text{ cm}^3/\text{sn}, \quad Q_2 = 0.556 \text{ cm}^3/\text{sn.}$$

$$S = \frac{(a^2 + h^2)^{0.5}}{a \cdot h} = \frac{[(2.025)^2 + (4)^2]^{0.5}}{(2.025)(4)} = 0.554 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

$$Q_{A_1} = Q_1/(2a)^2 = 0.118/(4.05)^2 = 7.194 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{sn}$$

$$q_1 = Q_{A_1}/S = (7.194 \times 10^{-3})/(0.554) = 0.013 \text{ cm}^3/\text{cm}/\text{sn}$$

$$Q_{A_2} = 0.556/(4.05)^2 = 0.0339 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{sn}$$

$$q_2 = 0.0339/0.554 = 0.061 \text{ cm}^3/\text{cm}/\text{sn}$$

Tablo 5.3 ve 5.4 grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo.5.3. Normal Musluk Suyu İle Yapılan Deneysel Sonuçları (T= 18°C)

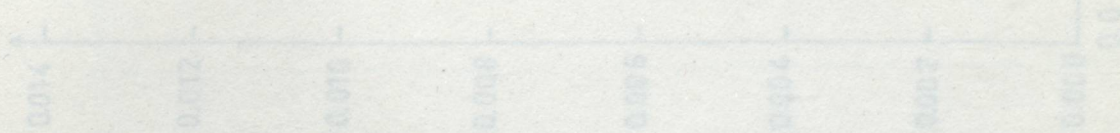
Köşeli Malzeme	Yük. 2h cm	Gen. 2a cm	S $\text{cm}^2/\text{cm}^3$	$Q_1$ $\text{cm}^3/\text{sn}$	$Q_2$ $\text{cm}^3/\text{sn}$	$q_1$ $\text{cm}^3/\text{cm}.\text{sn}$	$q_2$ $\text{cm}^3/\text{cm}.\text{sn}$
Ahşap Malzeme	8.0	4.05	0.554	0.118	0.556	0.013	0.061
"	10.0	5.575	0.411	0.128	0.588	0.010	0.046
"	11.7	8.85	0.284	0.147	0.667	0.0066	0.030
"	12.0	9.675	0.265	0.155	0.735	0.0062	0.030
"	19.5	8.50	0.257	0.125	0.531	0.0067	0.028
"	19.6	9.125	0.242	0.110	0.472	0.0055	0.023
"	16.0	9.775	0.240	0.108	0.490	0.0047	0.024

Tablo.5.4. Deterjanlı (25 mg/lt) Musluk Suyu ile yapılan Deneysel Sonuçları (T=15°C)

Köşeli Malzeme	Yük. 2h cm	Gen. 2a cm	S $\text{cm}^2/\text{cm}^3$	$Q_1$ $\text{cm}^3/\text{sn}$	$Q_2$ $\text{cm}^3/\text{sn}$	$q_1$ $\text{cm}^3/\text{cm}.\text{sn}$	$q_2$ $\text{cm}^3/\text{cm}.\text{sn}.$
Ahşap Malzeme	8.0	4.05	0.554	0.090	0.0478	0.0099	0.053
"	10.0	5.575	0.411	0.100	0.500	0.0078	0.039
"	11.7	8.85	0.284	0.108	0.560	0.0049	0.025
"	12.0	9.675	0.265	0.115	0.575	0.0046	0.023
"	19.5	8.50	0.257	0.085	0.390	0.0046	0.021
"	19.6	9.125	0.242	0.086	0.330	0.0043	0.017
"	16.0	9.775	0.240	0.082	0.377	0.0036	0.016

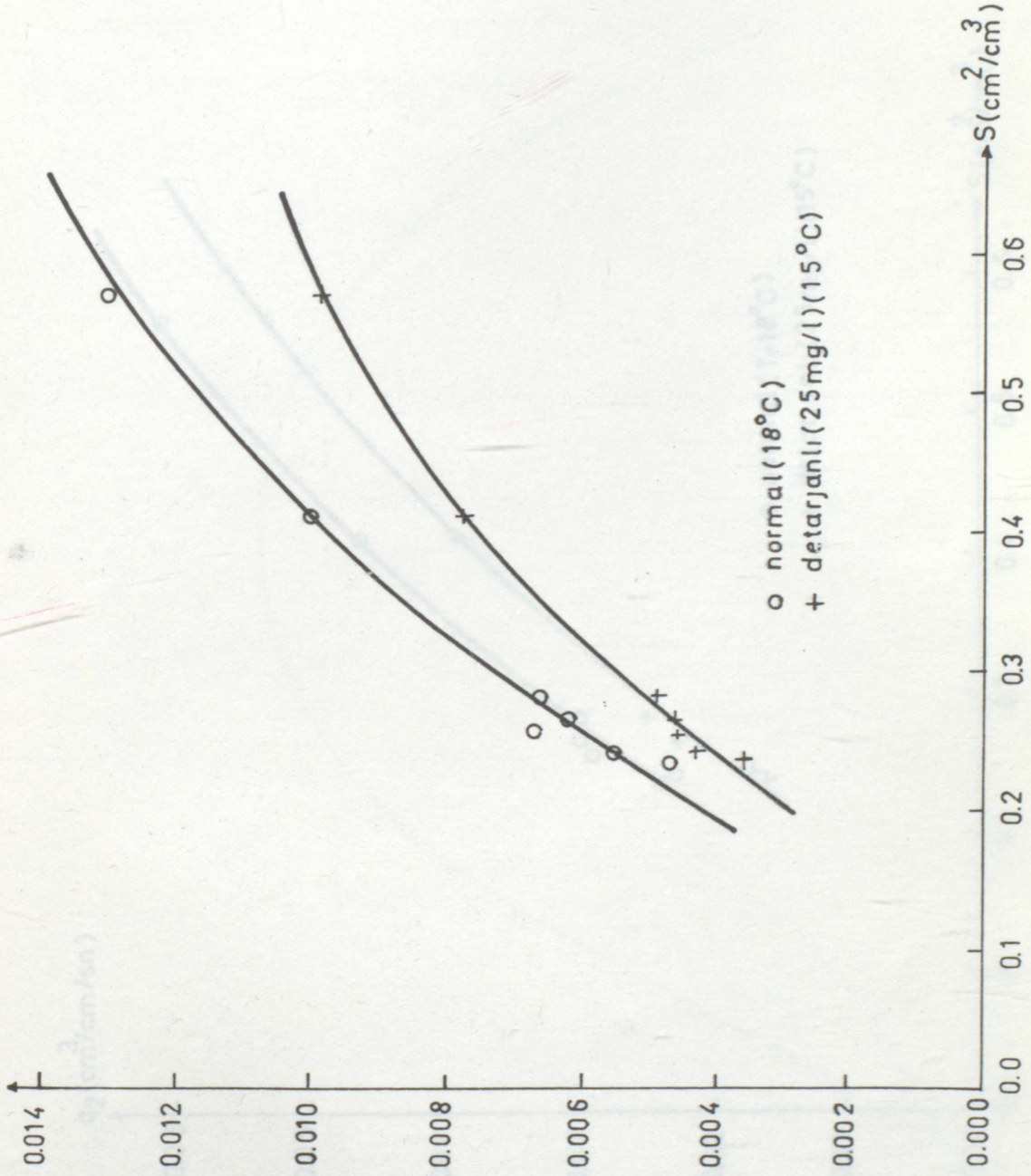
Tablo 5.3 ve 5.4 grafik olarak Şekil 5.7 ve 5.8 de gösterilmiştir.

Düz-ters piramitlerle yapılan deneylerde meydana gelen  $Q_1$  ve  $Q_2$  debileri küreye göre daha küçük değerlerdedir. Küre üzerinde damlalaxın jet halini alması için gerekli debinin düz-ters piramit (köşeli malzeme) üzerinde damlaların jet halini alması için gereken debiden daha büyük olacağı açıktır. Çünkü; köşeli malzeme yüzeyinde sivri uçlar, keskin kenarlar mevcut olduğundan damla ve jet hali küçük debilerde oluşmaktadır. Deterjanın etkisinin debi büyüdükçe azalma gösterdiği müşahede edilmiştir. Debi daha da arttırıldığında sıçrama meydana geldiğinden durum ölçülememiştir. Fakat sıçrama haline çok yakın debilerde bir değişiklik olmadığı yapılan deneylerle görülmüştür,

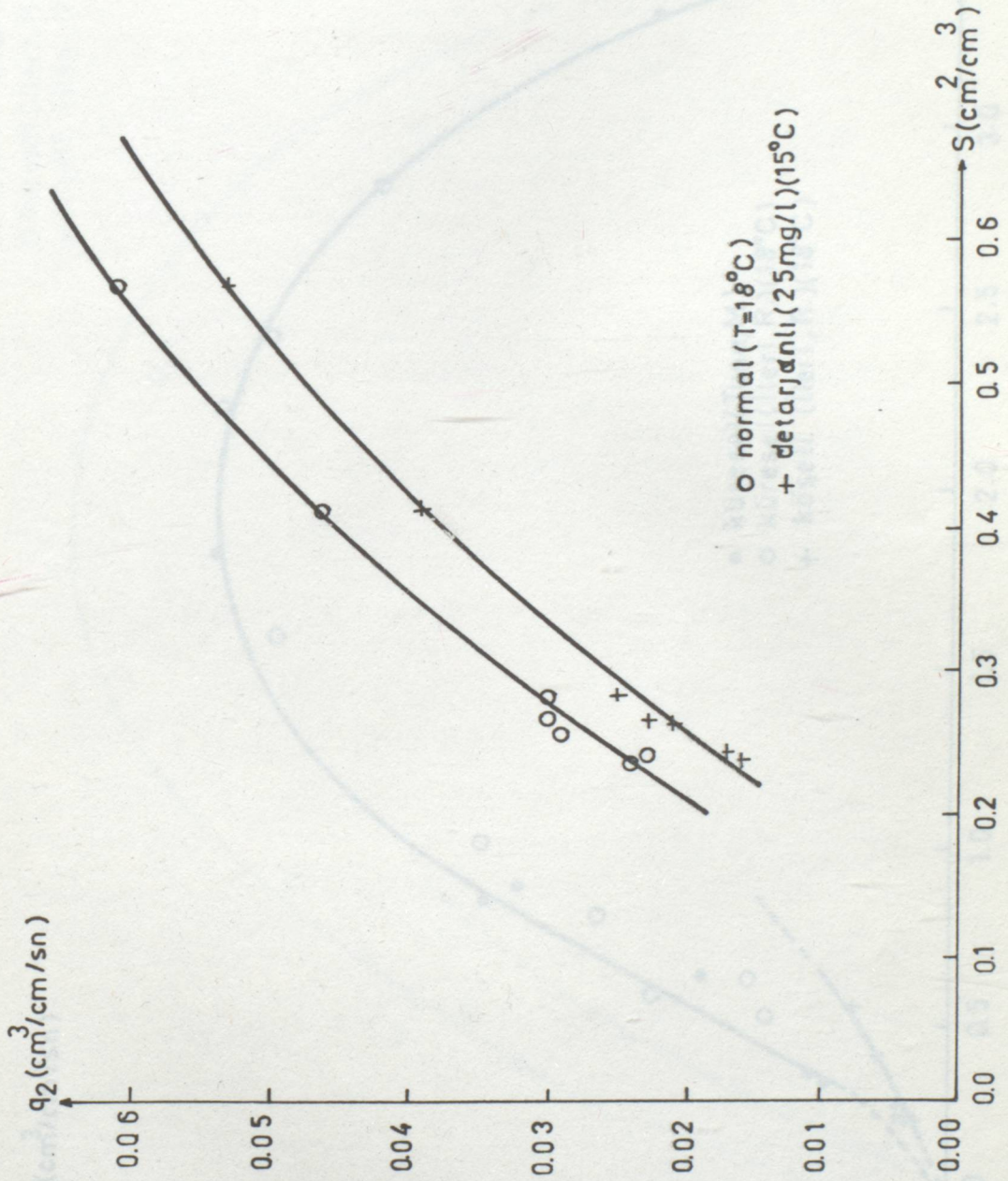


Şekil 3.7 Köşeli malzemelerde S-q bağıntısı

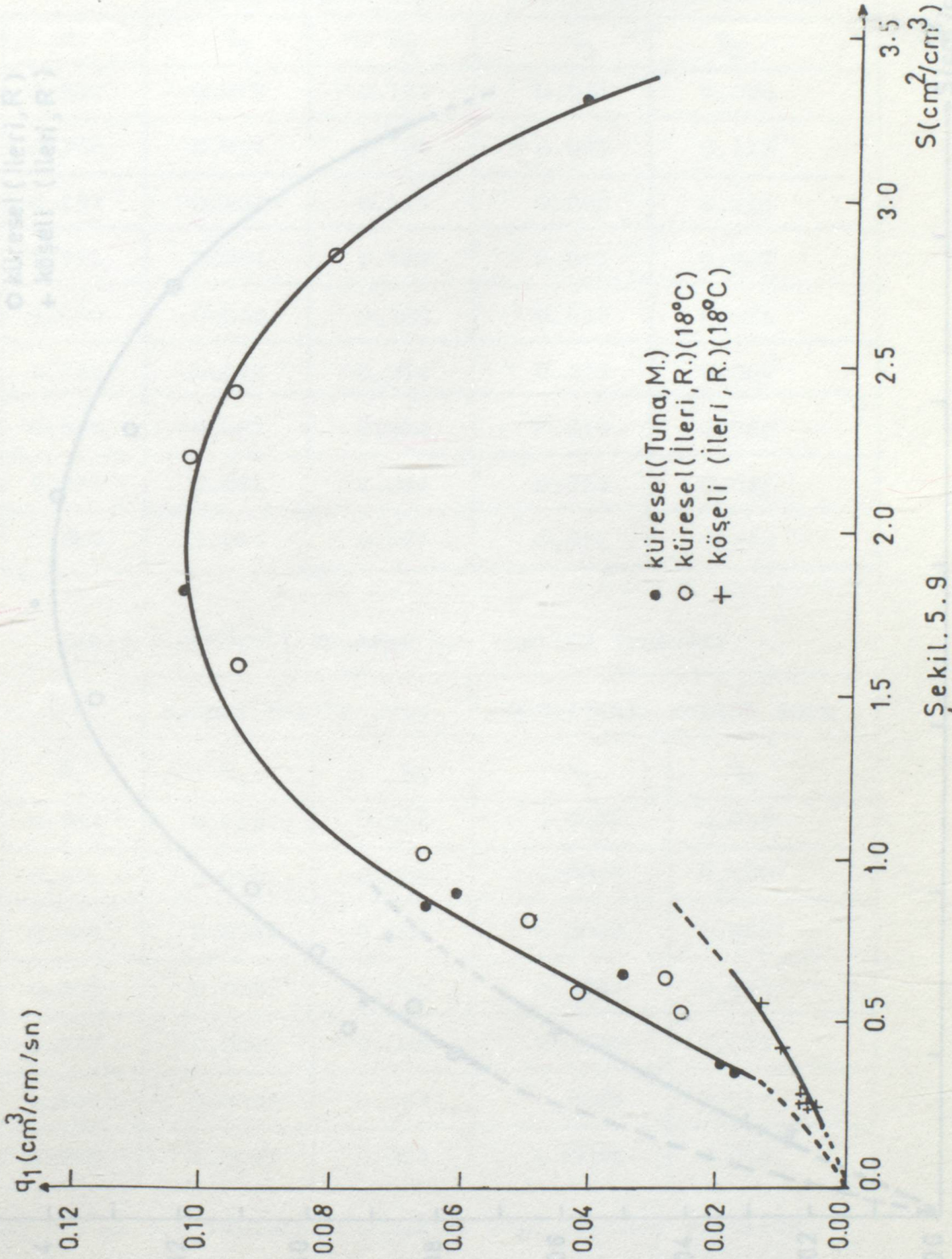




Şekil. 5.7. Köşeli malzemelerde  $S$ - $q_1$  bağıntısı

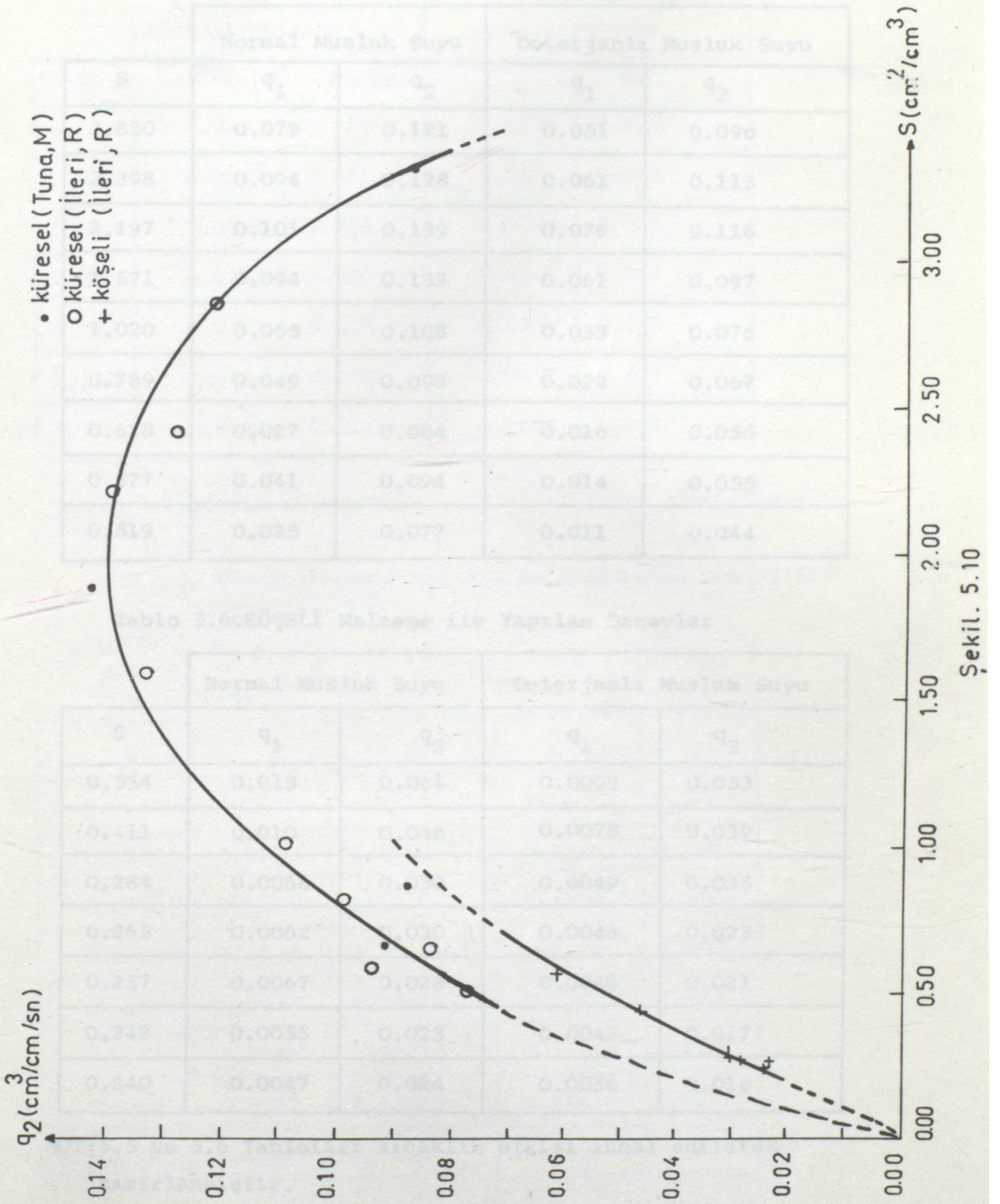


Şekil.5.8. Köşeli malzemelerde  $S$ - $q_2$  bağıntısı



Şekil. 5.9

Tablo.5.5. KÜRESSEL Malzemeyle Yapılan Deneyler



Tablo.5.5. KÜRESEL Malzemeyle Yapılan Deneyler

S	Normal Musluk Suyu		Deterjanlı Musluk Suyu	
	$q_1$	$q_2$	$q_1$	$q_2$
2.830	0.079	0.121	0.051	0.096
2.398	0.094	0.128	0.061	0.113
2.197	0.101	0.139	0.076	0.116
1.571	0.094	0.133	0.061	0.097
1.020	0.065	0.108	0.033	0.076
0.789	0.049	0.098	0.022	0.067
0.628	0.027	0.084	0.016	0.056
0.577	0.041	0.094	0.014	0.055
0.519	0.025	0.077	0.011	0.044

Tablo 5.6.KÖŞELİ Malzeme ile Yapılan Deneyler

S	Normal Musluk Suyu		Deterjanlı Musluk Suyu	
	$q_1$	$q_2$	$q_1$	$q_2$
0.554	0.013	0.061	0.0099	0.053
0.411	0.010	0.046	0.0078	0.039
0.284	0.0066	0.030	0.0049	0.025
0.265	0.0062	0.030	0.0046	0.023
0.257	0.0067	0.028	0.0046	0.021
0.242	0.0055	0.023	0.0043	0.017
0.240	0.0047	0.024	0.0036	0.016

NOT:5.5 ve 5.6 Tabloları sıcaklık etkisi ihmal edilerek hazırlanmıştır.

Tablo.5.7. Küresel-Köşeli Malzeme Arasındaki İlişki

S	Küresel Malzeme		köşeli Malzeme	
	$q_1$	$q_2$	$q_1$	$q_2$
0.554	0.0325	0.082	0.013	0.061
0.411	0.0225	0.071	0.010	0.046
0.284	0.0160	0.053	0.0066	0.030
0.265	0.0125	0.050	0.0062	0.030
0.257	0.0115	0.047	0.0067	0.028
0.242	0.0105	0.046	0.0055	0.023
0.240	0.0103	0.044	0.0047	0.024

Tablo 5.7 Grafik olarak Şekil 5.11 ve 5.12 de gösterilmiştir.

### 5.2.3. KÜRESEL KÖŞELİ MALZEMELER ARASINDAKİ BAĞINTININ ARAŞTIRILMASI

$$a) q_{1 \text{ küresel}} = X$$

$$q_{1 \text{ köşeli}} = Y$$

X	Y	XY	$X^2$	Y'
0.0325	0.0130	$4.2 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-3}$	0.013
0.0225	0.0100	$2.2 \times 10^{-4}$	$0.5 \times 10^{-3}$	0.0096
0.0160	0.0066	$1 \times 10^{-4}$	$0.3 \times 10^{-3}$	0.0073
0.0125	0.0062	$0.78 \times 10^{-4}$	$0.2 \times 10^{-3}$	0.0061
0.0115	0.0067	$0.77 \times 10^{-4}$	$0.13 \times 10^{-3}$	0.0058
0.0105	0.0055	$0.58 \times 10^{-4}$	$0.11 \times 10^{-3}$	0.0055
0.0103	0.0047	$0.48 \times 10^{-4}$	$0.11 \times 10^{-3}$	0.0054
$\Sigma: 0.1158$	$\Sigma: 0.0527$	$\Sigma: 0.001$	$\Sigma: 0.0023$	

$$\Sigma Y = n.a + b \Sigma X$$

$$\Sigma XY = a \Sigma X + b \Sigma X^2$$

X	0.0527 = 7 a + b(0.1158)			Y'
	0.001 = a(0.1158) + b(0.0023)			
	iki bilinmeyenli iki denklem çözüldüğünde			
	a = 0.002			
	b = 0.341	bulunur.		
	Y = 0.002 + 0.341 X			
	$q_1^{\text{Köşeli}}$	= 0.002 + 0.341	$q_1^{\text{Küresel}}$	
	bağıntısı bulunmuştur.			

Korelasyon katsayısı:

$$r = \frac{N \Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{\sqrt{[N \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2] \cdot [N \Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2]}}$$

r = 0.96 olarak hesaplanır.

İstatistiksel hesaplar referans 22 ye göre yapılmıştır.

b)  $q_2$  küresel = X       $q_2$  köşeli = Y

X	Y	$X_i$ $\times 10^{-3}$	$X^2$ $\times 10^{-3}$	Y'
0.082	0.061	5	6.7	0.061
0.071	0.046	3.3	5	0.050
0.053	0.030	1.6	2.8	0.032
0.050	0.030	1.5	2.5	0.029
0.047	0.028	1.3	2.2	0.026
0.046	0.023	1	2.1	0.025
0.044	0.024	1	1.9	0.023
$\Sigma: 0.393$	$\Sigma: 0.242$	$\Sigma: 0.015$	$\Sigma: 0.023$	

$$\Sigma Y = n \cdot a + b \Sigma X$$

$$\Sigma XY = a \Sigma X + b \Sigma X^2$$

$$0.242 = 7a + b(0.393)$$

$$0.015 = a(0.393) + b(0.023)$$

iki bilinmeyenli iki denklem çözüldüğünde

$$a = -0.021$$

$$b = 1.0$$

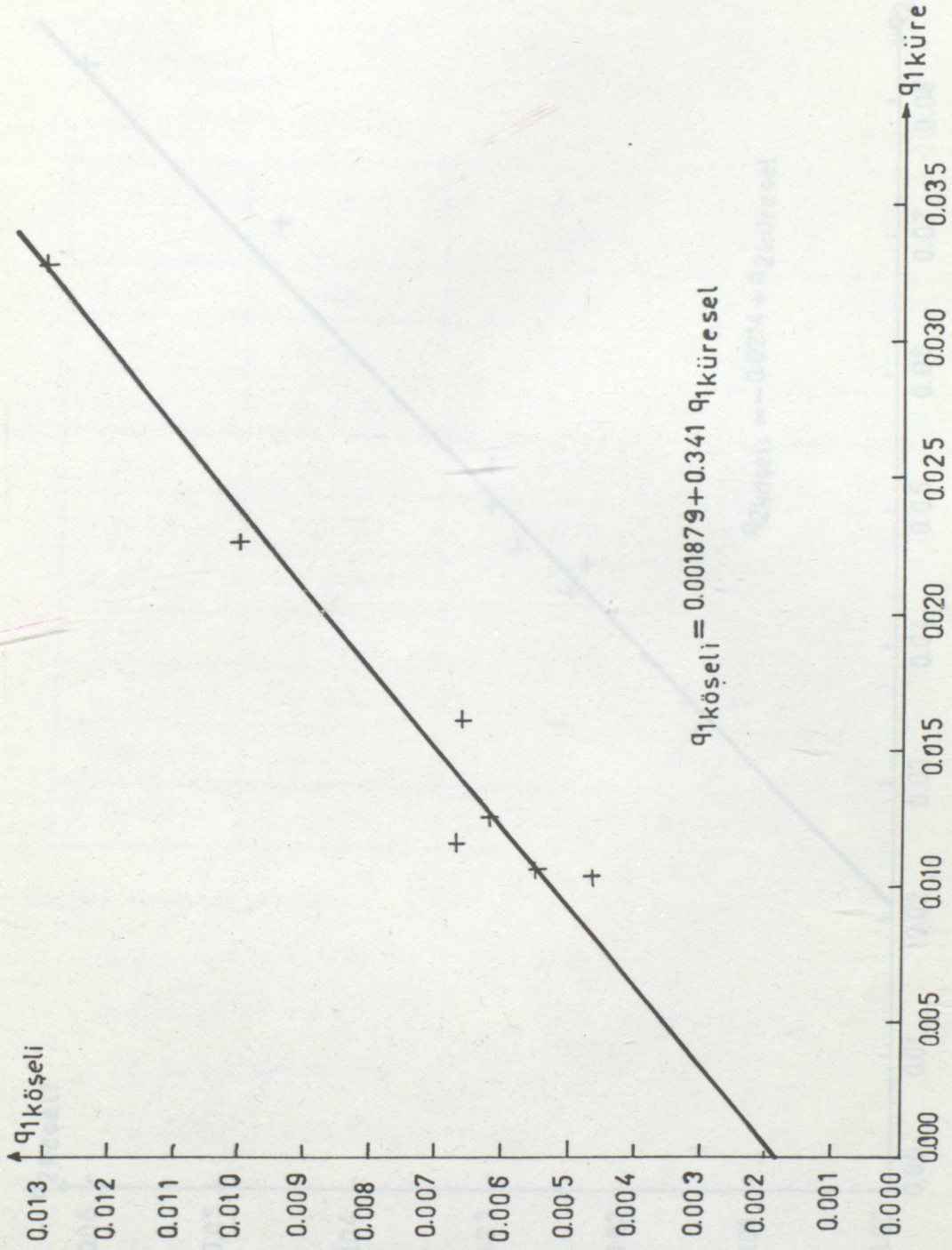
bulunur.

$$Y = -0.021 + X$$

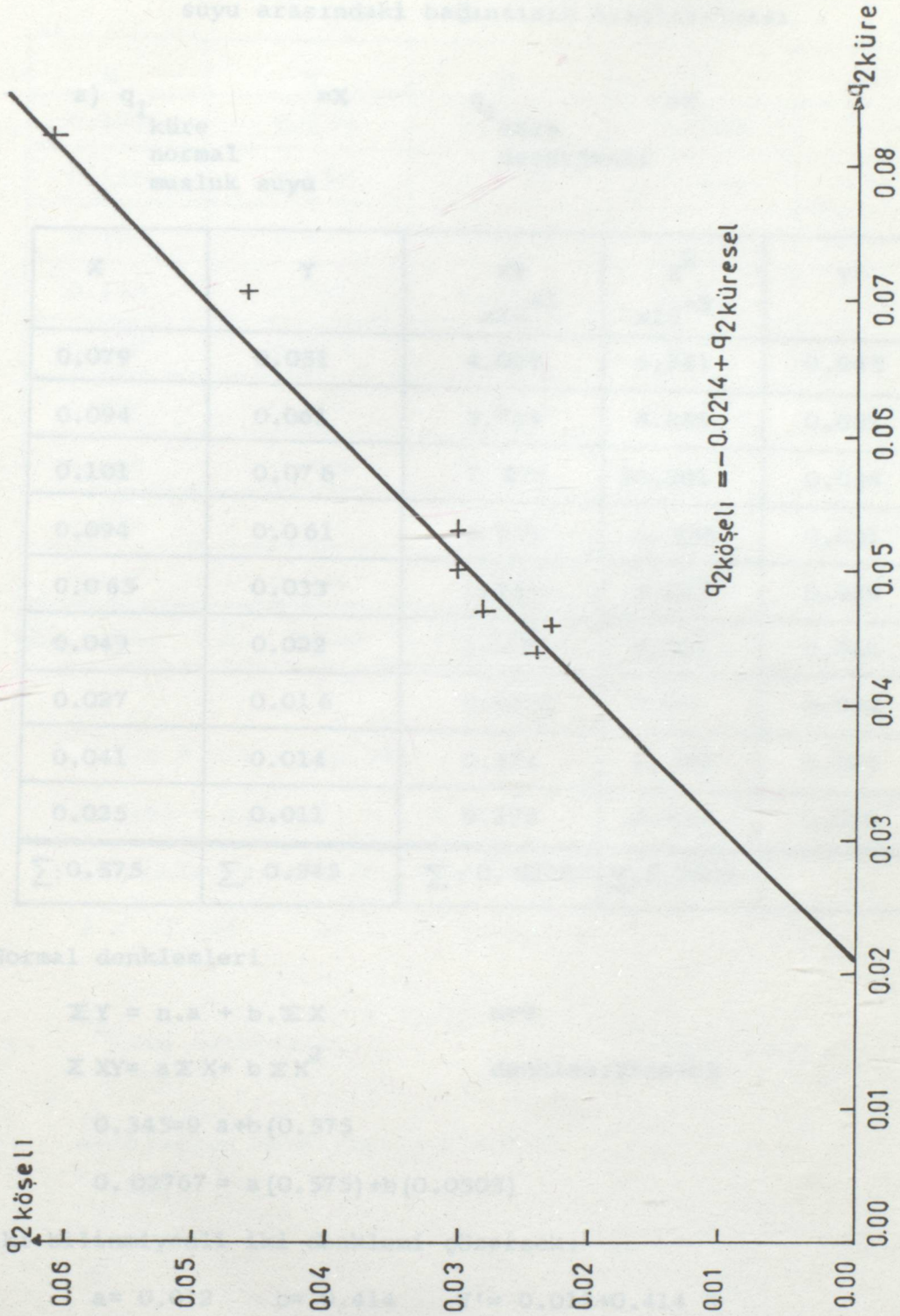
$$q_2 \text{ köşeli} = -0.021 + q_2 \text{ küresel}$$

bağıntısı bulunmuştur. Korelasyon Katsayısı  $r = 0,99$  dur.





Şekil . 5.11



Şekil. 5.12

5.2.4. Küresel Malzemelerde Normal-Deterjanlı Musluk suyu arasındaki bağıntının Araştırılması

X	Y	XY x10 <sup>-3</sup>	X <sup>2</sup> x10 <sup>-3</sup>	Y'
0.079	0.051	4.029	6.241	0.045
0.094	0.061	5.734	8.836	0.051
0.101	0.076	7.676	10.201	0.054
0.094	0.061	5.734	8.836	0.051
0.065	0.033	2.145	4.225	0.039
0.049	0.022	1.078	2.401	0.032
0.027	0.016	0.432	0.729	0.023
0.041	0.014	0.574	1.681	0.029
0.025	0.011	0.275	0.625	0.022
$\Sigma: 0.575$	$\Sigma: 0.345$	$\Sigma: 0.02767$	$\Sigma: 0.0503$	

Normal denklemleri

$$\Sigma Y = n.a + b.\Sigma X \quad n=9$$

$$\Sigma XY = a.\Sigma X + b.\Sigma X^2 \quad \text{denklem: } Y' = a + bX$$

$$0.345 = 9a + b(0.575)$$

$$0.02767 = a(0.575) + b(0.0503)$$

iki bilinmeyenli iki denklemi çözersek:

$$a = 0.012 \quad b = 0.414 \quad Y' = 0.012 + 0.414 X$$

$$q_1 \text{ küre deterjanlı} = 0.012 + 0.414 q_1 \text{ küre normal}$$

Korelasyon katsayısı =  $r = 0.70$ .

b)  $q_2$  küre normal =  $X$   $q_2$  küre deterjanlı =  $Y$

X	Y	XY	$X^2$	Y'
0.121	0.096	0.0116	0,0146	0.094
0.128	0.113	0.0145	0.0164	0.102
0.139	0.116	0.0161	0.0193	0.114
0.133	0.097	0.0129	0.0177	0.107
0.108	0.076	0.0082	0.0117	0.079
0.098	0.067	0.0066	0.0096	0.068
0.084	0.056	0.0047	0.0071	0.052
0.094	0.055	0.0051	0.0088	0.063
0.077	0.044	0.0034	0.0059	0.044
$\Sigma : 0.982$	$\Sigma : 0.720$	$\Sigma : 0.0831$	$\Sigma : 0.1111$	

$$0.720 = 9a + b(0.982)$$

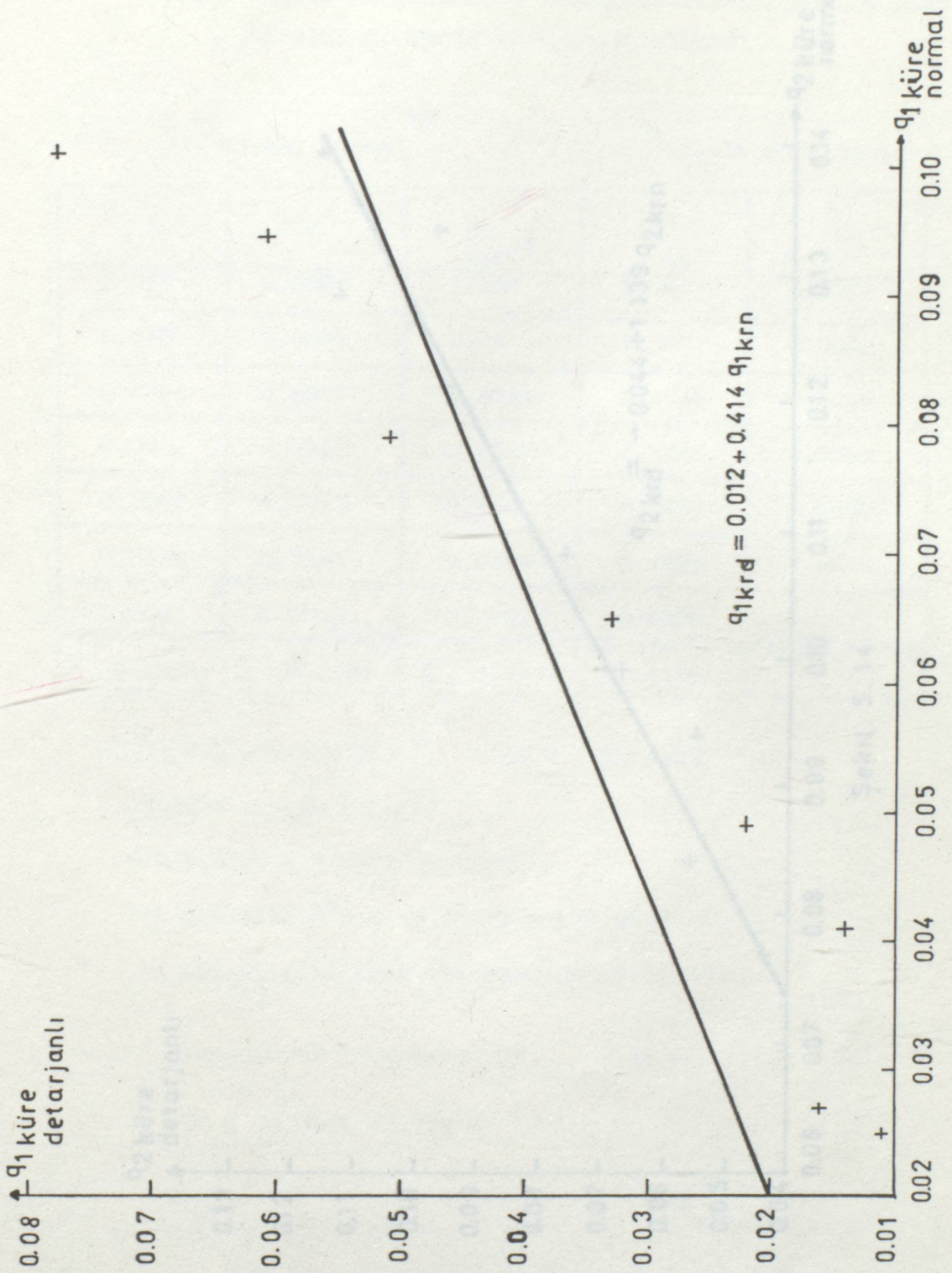
$$0.0831 = a(0.982) + b(0.1111)$$

iki bilinmeyenli iki denklem çözüldüğünde

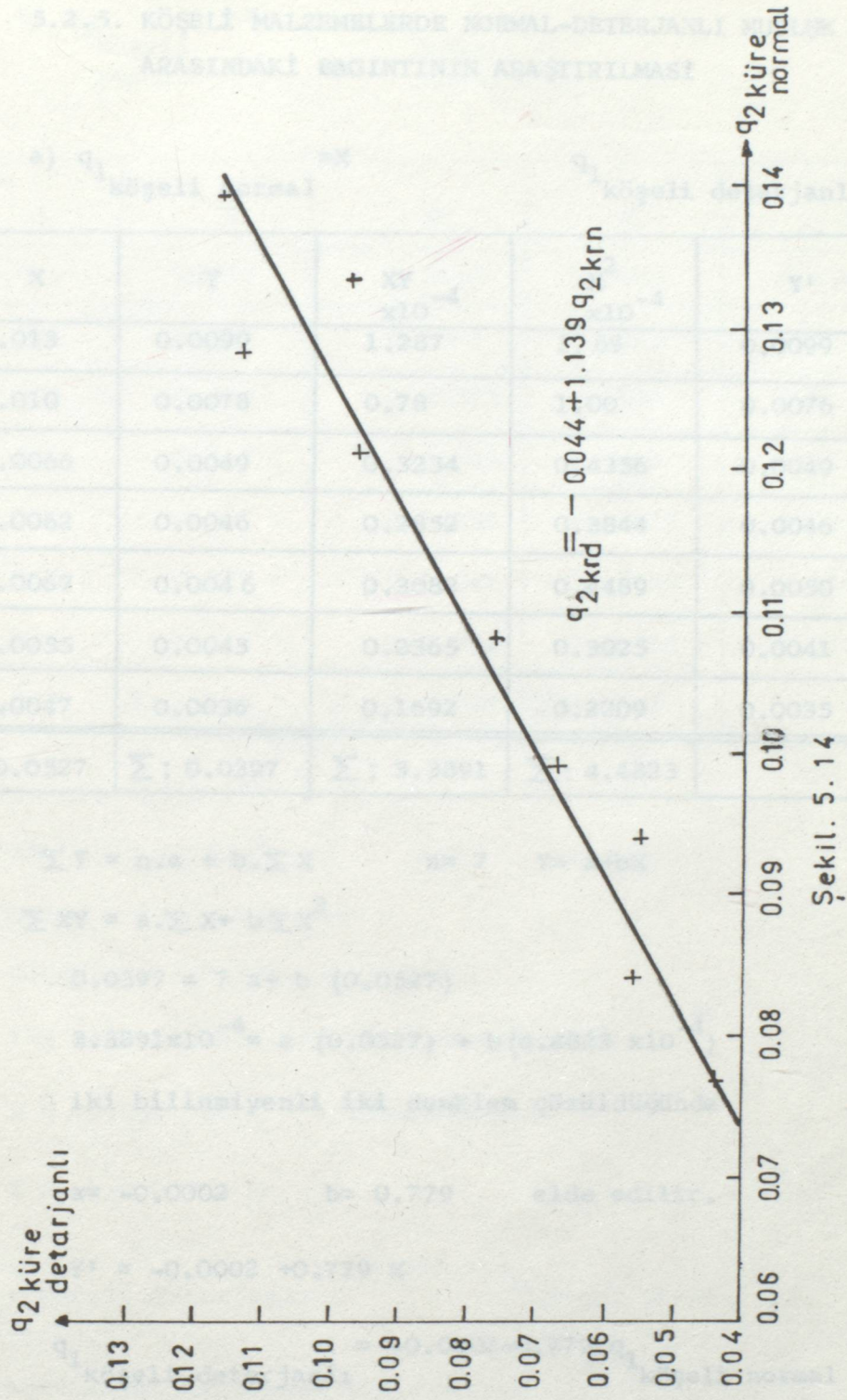
$$a = -0.044 \quad b = 1.139 \text{ bulunur.}$$

$$q_2 \text{ küre deterjanlı} = -0.044 + 1.139 q_2 \text{ küre normal}$$

$$\text{Korelasyon katsayısı} = r = 0.96$$



Şekil. 5.13



5.2.5. KÖŞELİ MALZEMELERDE NORMAL-DETERJANLI MUSLUK SUYU  
ARASINDAKİ BAĞINTININ ARAŞTIRILMASI

a)  $q_1$  köşeli normal =X  $q_1$  köşeli deterjanlı =Y

X	Y	XY $\times 10^{-4}$	X <sup>2</sup> $\times 10^{-4}$	Y'
0.013	0.0099	1.287	1.69	0.0099
0.010	0.0078	0.78	1.00	0.0076
0.0066	0.0049	0.3234	0.4356	0.0049
0.0062	0.0046	0.2852	0.3844	0.0046
0.0067	0.0046	0.3082	0.4489	0.0050
0.0055	0.0043	0.2365	0.3025	0.0041
0.0047	0.0036	0.1692	0.2209	0.0035
$\Sigma : 0.0527$	$\Sigma : 0.0397$	$\Sigma : 3.3891$	$\Sigma : 4.4823$	

$$\Sigma Y = n \cdot a + b \cdot \Sigma X \quad n=7 \quad Y = a + bX$$

$$\Sigma XY = a \cdot \Sigma X + b \Sigma X^2$$

$$0.0397 = 7a + b(0.0527)$$

$$3.3891 \times 10^{-4} = a(0.0527) + b(4.4823 \times 10^{-4})$$

iki bilinmeyenli iki denklem çözüldüğünde

$$a = -0.0002 \quad b = 0.779 \quad \text{elde edilir.}$$

$$Y' = -0.0002 + 0.779 X$$

$$q_1 \text{ köşeli deterjanlı} = -0.0002 + 0.779 q_1 \text{ köşeli normal}$$

Korelasyon katsayısı =  $r = 0.99$  bulunur.

b)  $q_2$  köşeli normal = X  $q_2$  köşeli deterjanlı = Y

X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y'
0.061	0.053	0.0032	0.0037	0.054
0.046	0.039	0.0018	0.0021	0.039
0.030	0.025	0.00075	0.0009	0.023
0.030	0.023	0.00069	0.0009	0.023
0.028	0.021	0.00059	0.00078	0.021
0.023	0.017	0.00041	0.00053	0.016
0.024	0.016	0.00038	0.00058	0.017
$\Sigma : 0.242$	$\Sigma : 0.194$	$\Sigma : 0.00782$	$\Sigma : 0.0095$	

$$\Sigma Y = n \cdot a + b \Sigma X$$

$$\Sigma XY = a \Sigma X + b \Sigma X^2 \quad n=7 \quad Y=a+bX$$

$$0.194 = 7a + b(0.242)$$

$$0.00782 = a(0.242) + b(0.0095)$$

iki bilinmeyenli iki denklem çözüldüğünde

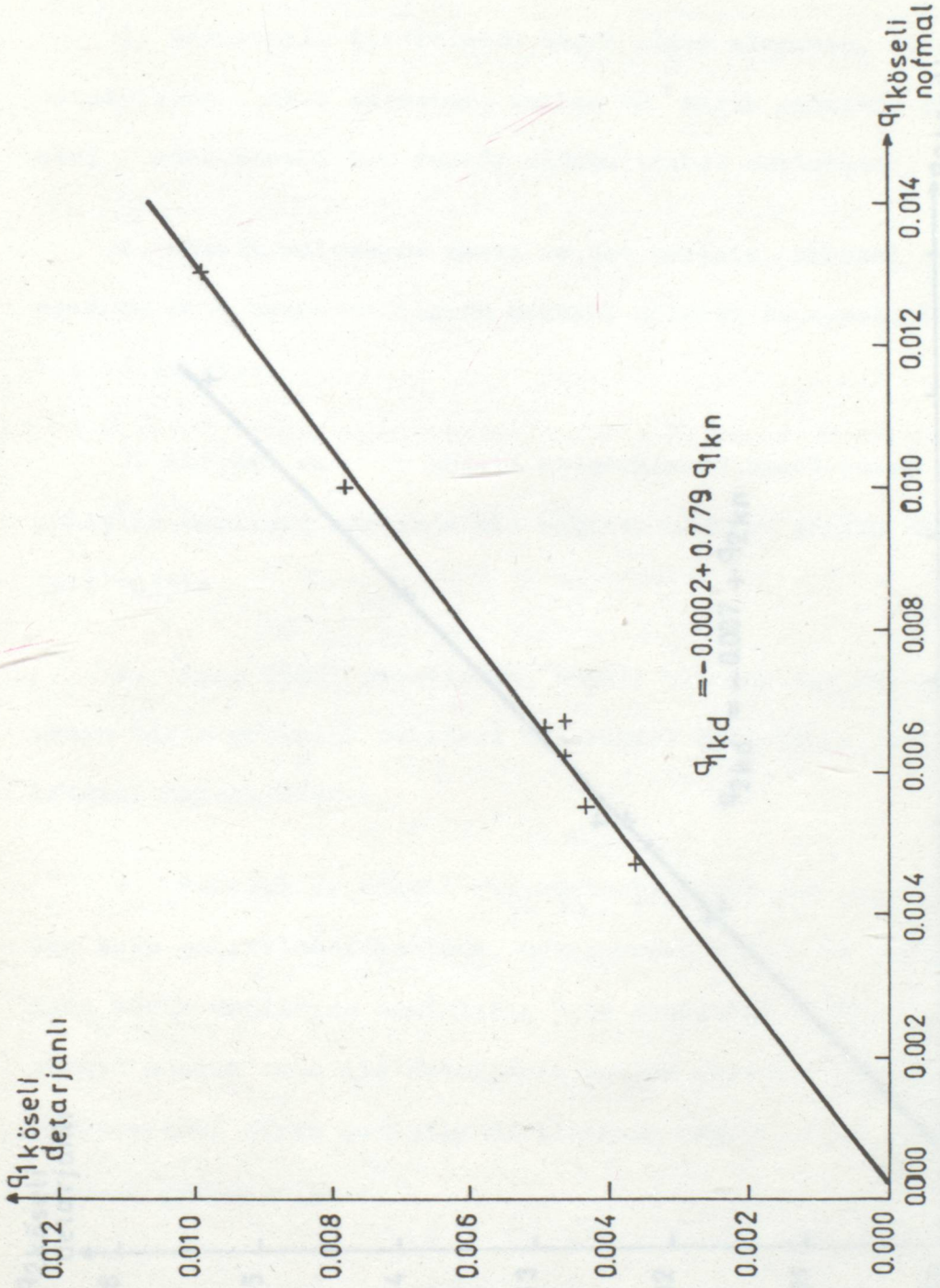
$$a = -0.007 \quad b = 1 \quad \text{elde edilir.}$$

$$Y' = -0.007 + X$$

$$q_2 \text{ köşeli deterjanlı} = -0.007 + q_2 \text{ köşeli normal}$$

$$\text{korelasyon katsayısı} = r = 1$$





Şekil. 5.15

## BÖLÜM.VI. SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

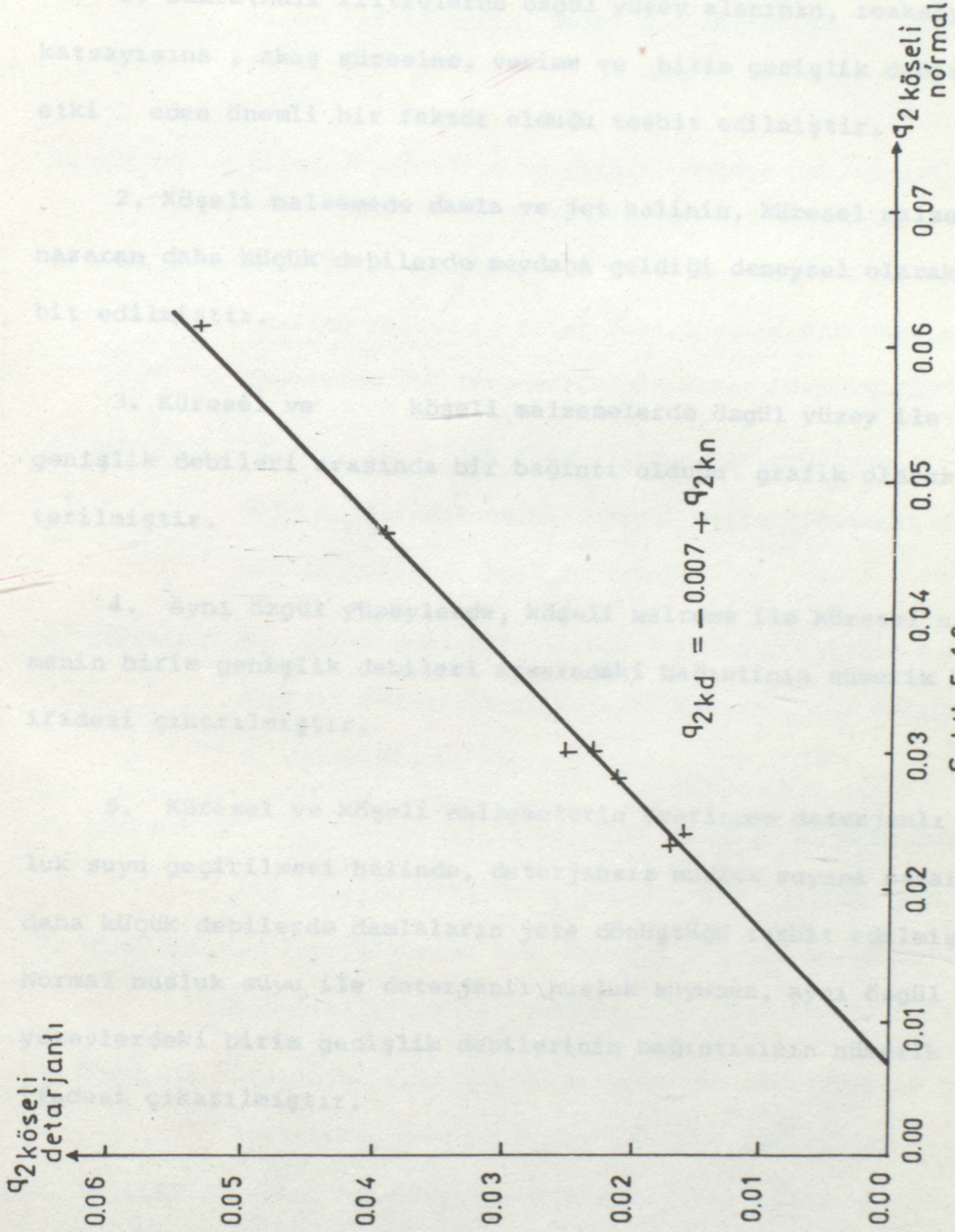
1. Dairesel ve köşeli filtrelerde yüksek basınçlı suyun, suyun geçirilmesini sağlayan, kum ve çakıl katmanına, suyun geçmesi için bir emniyet birliği olan bir emniyet birliği sağlanmalıdır.

2. Köşeli malzemelerin, dairesel malzemelerin, suyun geçirilmesini sağlayan, kum ve çakıl katmanına, suyun geçmesi için bir emniyet birliği sağlanmalıdır.

3. Köşeli malzemelerin, dairesel malzemelerin, suyun geçirilmesini sağlayan, kum ve çakıl katmanına, suyun geçmesi için bir emniyet birliği sağlanmalıdır.

4. Aynı ebatlı köşeli malzemelerin, dairesel malzemelerin, suyun geçirilmesini sağlayan, kum ve çakıl katmanına, suyun geçmesi için bir emniyet birliği sağlanmalıdır.

5. Köşeli malzemelerin, dairesel malzemelerin, suyun geçirilmesini sağlayan, kum ve çakıl katmanına, suyun geçmesi için bir emniyet birliği sağlanmalıdır.



Şekil. 5.16

## BÖLÜM.VI. SONUÇLAR

1. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Damlatmalı filtrelerde özgül yüzey alanının, reaksiyon katsayısına , akış süresine, verime ve birim genişlik debisine etki eden önemli bir faktör olduğu tesbit edilmiştir.

2. Köşeli malzemedede damla ve jet halinin, küresel malzemeye nazaran daha küçük debilerde meydana geldiği deneysel olarak tesbit edilmiştir.

3. Küresel ve köşeli malzemelerde özgül yüzey ile birim genişlik debileri arasında bir bağıntı olduğu grafik olarak gösterilmiştir.

4. Aynı özgül yüzeylerde, köşeli malzeme ile küresel malzemenin birim genişlik debileri arasındaki bağıntının nümerik bir ifadesi çıkarılmıştır.

5. Küresel ve köşeli malzemelerin üzerinden deterjanlı musluk suyu geçirilmesi halinde, deterjansız musluk suyuna nazaran daha küçük debilerde damlaların jete dönüştüğü tesbit edilmiştir. Normal musluk suyu ile deterjanlı musluk suyunun, aynı özgül yüzeylerdeki birim genişlik debilerinin bağıntısının nümerik bir ifadesi çıkarılmıştır.

## KAYNAKLAR

1. MUSLU, Y.- Su temini ve Çevre Sağlığı, Cilt III. İ.T.Ü., (1985)
2. MUSLU, Y.- Damlatmalı Filtreler ve Biyolojik Filtrelerin Reaksiyon katsayılarını veren Bir Bağıntının Araştırılması, Sakarya D.M.M.A. Dergisi, Cilt 1, Sayı 2 (1976)
3. ARAL, N. - Biyolojik Tasfiye Metotları, Yıldız Ün. Fen Bilimleri Enstitüsü Haziran, Yaz Okulu İstanbul (1986).
4. FAİR, G. and GEYER, J. and OKUN, d.- Water and Wastewater Engineering Volume 2, Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal, John Wiley Newyork (1968)
5. BEHN, V.C.- Trickling Filter Formulations, Proceedings of the 3 rd Conference on Biological Waste Treatment Manhattan College- NewYork (1960)
6. ŞEKERDAG, N.- Damlatmalı Filtrelerde Biyolojik Verimin Hesabı Akdeniz Üniversitesi Isparta Müh.Fak. III.Müh.Haftası Bildirileri, Mayıs (1986)
7. ŞEKERDAG, N.- Biyolojik Filtrasyonun Dispersiyonlu Akım Modeli ile İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ İnş.Fak. (1983)
8. SANSARCI, H.- Biyofilmlerde Besi Maddesi Tüketim Mekanizmasının Araştırılması, Doktora Tezi, İTÜ İnş.Fak. (1980).
9. ÜRÜN, H.- Biyolojik Film Reaktörlerinin Kinetiği Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, İTÜ. İnş.Fak. (1978)
10. SWILLEY, E.L. and ATKINSON, B.- A Mathematical Model for the Trickling Filter, Proc. 18 th. Ann. Ind. Waste Conf. Purdue Üniv. Lafayette, Indiana (1963)

11. TOPACIK, D.- Artık Maddelerin Ayırışma ve Dağılmasının Kübik Dizilişli Bir Filtre Üzerinde İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ.İnş.Fak. (1976)
12. STEEL, E.W. and MCGHEE, J.T.- Water Supply and Sewerage, 5 th Edition, McGraw Hill (1979)
13. SCHULZE, K.L.- Elements of A Trickling Filter Theory, Proc. 3 rd. Conf. on Biological Waste Treatment, Manhattan College, New York (1960)
14. HOWLAND, W.E., POHLAND, F.G., BLOODGOOD, D.E.- Kinetics in Trickling Filters, Proc. 3 rd. Conf. on Biological Waste Treatment, Manhattan College, New York (1960)
15. MUSLU, Y. Fundamental Factors Governing the Flow Over Packings and Beds, Bulletin of The School of Engineering and Architecture of Sakarya, July (1976)
16. MUSLU, Y.- Damlatmalı Filtrelerin Hidroliği Üzerine, Türk-Alman Çevre Mühendisleri Sorunları Semineri Ege Üniv. (1975)
17. METCALF and EDDY- Waste Water Engineering, Treatment, Disposal Reuse Revised by George Tchobanoglous TMH Edition, New Delhi (1983)
18. MARK J. HAMMER- Water and Waste Water Technology, New York (1975)
19. MUSLU, Y.- Dispersion in The Inclined Plane of Trickling Filters, Water Research, Vol. 17, pp. 105-115, (1983).

20. MUSLU, Y.- Dispersion in Granular-Media Trickling Filters,  
Journal of Environmental Engineering, Vol.110, No.5,  
pp.961-975, October (1984)
21. TUNA, M.- Damlatmalı Filtrelerde Biyolojik Verime Etkiyen  
Faktörlerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi,  
İTÜ, İnş.Fak., (1982).
22. GÜRTAN, K.- İstatistik Araştırma Metotları ve İş İdaresine  
Tatbikatı, İstanbul Üniv. (1979).

### ÖZ GEÇMİŞ

İnş.Müh. Recep İLERİ 1960 yılında Çanakkale'nin Biga ilçesinde dünyaya gelmiş, ilkö, orta ve lise öğrenimini Biga'da tamamlamıştır. 1979 yılında girdiği İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü'nden 1983 yılı Haziran döneminde mezun olmuştur.

Mezuniyetten sonra girdiği, İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü Hidrolik ve Su Yapıları Anabilim Dalında Balan Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır.

## ÖZ GEÇMİŞ

İnş.Müh. Recep İLERİ 1960 yılında Çanakkale'nin Biga ilçesinde dünyaya gelmiş, ilk, orta ve lise öğrenimini Biga'da tamamlamıştır. 1979 yılında girdiği İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü'nden 1983 yılı Haziran Döneminde mezun olmuştur.

Mezuniyetten sonra girdiği, İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü Hidrolik ve Su Yapıları Anabilim dalında halen Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

