

65895

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KUM FİLTRELERİNDE DENEYSEL OLARAK BULUNAN YÜK
KAYIPLARININ TEORİK MODELLERLE UYGUNLUĞUNUN
ARAŞTIRILMASI**

Halil HASAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ELAZIĞ
1997**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMENTASYON MERKEZİ**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KUM FİLTRELERİNDE DENEYSEL OLARAK BULUNAN YÜK
KAYIPLARININ TEORİK MODELLERLE UYGUNLUĞUNUN
ARAŞTIRILMASI**

Halil HASAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez,/...../1997 Tarihinde, aşağıda belirtilen jüri tarafından
Oybirliği / Oyçokluğu ile Başarılı / Başarısız olarak
değerlendirilmiştir.

(imza)

Danışman

Prof. Dr. Nusret ŞEKERDAĞ

(imza)

(imza)

ÖZET**Yüksek Lisans Tezi****KUM FİLTRELERİNDE DENEYSEL OLARAK BULUNAN YÜK
KAYIPLARININ TEORİK MODELLERLE UYGUNLUĞUNUN
ARAŞTIRILMASI****Halil HASAR****Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
1997, Sayfa : 61**

Filtrasyon deneylerinde gözlemlenenler, genellikle yük kaybı ve sızıntı konsantrasyonları ile sınırlıdır. Bunlara bağlı olarak, deneysel olarak absolut spesifik birikinti değerlerinin hesaplanması mümkün iken, bulk spesifik birikinti değerlerinin hesaplanması yük kaybı modellerini kullanmak suretiyle mümkündür. Bir çok önceki çalışmada, bulk faktörü olarak adlandırılan bir terim kullanılmıştır. Bulk faktörü ile absolut spesifik değerleri arasında yapılan matematiksel çarpma işlemi sonucunda, bulk spesifik birikinti değerleri hesaplanmıştır. Alternatif olarak, bazı araştırmacılar, Kozeny'e ait yük kaybı modelini kullanarak bulk faktör ile absolut spesifik birikinti arasındaki değişimi elde etmişlerdir. Fakat şimdiye kadar elde edilen bulk faktör değişimlerinin tamamen teorik olduğu görülmektedir.

Bu çalışma, geliştirilen bir bilgisayar programı ile deneysel olarak elde edilen verilerin birleştirilmesine dayanan yeni bir yöntem sunmaktadır. Ayrıca bu yöntemle en uygun yük kaybı modelinin Camp'e ait yük kaybı denklemi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Filtrasyon, yük kaybı, absolut spesifik birikinti, bulk spesifik birikinti, bulk faktör

SUMMARY**Master Thesis****INVESTIGATION OF APPROPRIATE OF EXPERIMENTALLY
OBSERVED HEADLOSS TO THEORETICAL MODELS IN SAND FILTERS****Halil HASAR****Firat University****Graduate School of Natural and Applied Sciences****Department of Environmental Engineering****1997, Page: 61**

The observations in filtration experiments are generally restricted to the monitoring of headloss and filtrate concentration (in mass units). Based on these values, while the estimates of the absolute specific deposit values (m/v) are possible experimentally, the estimates of the bulk specific deposit values are possible using headloss models. In many previous studies, a term known as the bulk factor is incorporated into the modelling of the filtration process such that the product of the bulk factor with the absolute specific deposit, gives an estimate of the bulk specific deposit (v/v). In these investigations, the bulk factor is treated as constant. Alternatively, other researchers have obtained theoretically the variation of the bulk factor with the absolute specific deposit by using Kozeny's headloss model.

This study presents a novel approach based on the comparison of values obtained through the computer programming with the experimental values. However, it is shown that the best finding headloss model through this approach is Camp's headloss model.

Key Words: Filtration, headloss, absolute specific deposit, bulk specific deposit, bulk factor

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmasının planlanıp yürütülmesinde büyük yardımlarını esirgemeyen, danışman hocam Prof. Dr. Nusret ŞEKERDAĞ'a ve Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel çalışmalar esnasında, deneyisel düzeneğin hazırlanmasında ve numune alımında yardımlarını esirgemeyen kıymetli arkadaşım Arş. Gör. Ubeyde İPEK'e, deney düzeneği için gerekli olan malzeme temininde yardımcı olan Tarsus İçme suyu Arıtım Tesisi İşletme Müdürü ve Çevre Mühendisi Halit ERGİN'e, Kimya Mühendisliği Bölümü personellerinden Laborant Atilla ASLAN'a ve manevi desteklerini benden esirgemeyen değerli arkadaşlarıma teşekkürü borç bilir, saygılarımı sunarım.

Halil HASAR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	III
SUMMARY.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	XI
SİMGELER LİSTESİ.....	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. FİLTRASYONLA İLGİLİ GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Filtrasyondan Maksat ve Su Tasfiyesindeki Yeri.....	3
2.2. Filtrasyonun Genel Mekanizması.....	5
2.2.1 Mekanik suzulme.....	5
2.2.2 Çökelme.....	6
2.2.3 Adsorpsiyon.....	6
2.2.4. Biyolojik Faaliyet.....	7
2.2.5. Kimyasal Reaksiyon.....	7
2.3. Derin Yataklı Filtrasyon Teorisi.....	9
2.3.1 Konsantrasyonun Derinlikle Değişimi.....	11
2.3.2 Özgöl Birikinti Formülleri.....	13
2.3.2. Yuk Kaybı Formülleri.....	18
2.3.3.Filtrasyon Mekanizmasının Geliştirilen Bilgisayar Programıyla Çözümü.....	20
3. DENEY DÜZENEGİNİN HAZIRLANMASI.....	22
3.1. Deney Düzenegi.....	22

3.2. Kum Numunelerinin Hazırlanışı.....	24
3.3. Asit testinin yapılması.....	24
3.4. Kumun Özgöl Ağırlığının Bulunması.....	25
3.5. Kumun Çökelme Hızının ve Küresellik Katsayısının Tayini.....	26
3.6. Porozite Tayini.....	28
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	30
4.1. Deneysel Çalışmada İzlenecek Metod.....	30
4.2 Deneysel Sonuçlar.....	31
5. TEORİK VE DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	37
6. SONUÇLAR.....	58
KAYNAKLAR.....	60
EK.1.....	62

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2. 1. Anaerobik Yeraltı Suyunun Arıtım Şeması.....	3
Şekil 2. 2. Az Kirlenmiş Yüzey Suları için Arıtım Şeması.....	4
Şekil 2. 3. Yüzey Sularının Arıtım Şeması.....	4
Şekil 2.4. Filtre Malzemesi Arasında Kalan Deliklerin ve Süspansiyon Haldeki Maddelerin Korunumu.....	5
Şekil 2. 5. Suyun Kum Filtrelerinden Süzülmesini Sağlayan Unsurların Genel ve Şematik Görünüşü.....	7
Şekil 2.6. Üniform Taneli Bir Filtrede Konsantrasyonun Derinlikle Logaritmik Azalışı.....	12
Şekil 2. 7. Süreklilik Denkleminin Çıkarılışı.....	15
Şekil 3.1. Derin Yataklı Filtre Kolonu Akış Şeması.....	23
Şekil 5.1. Bilgisayar Programına Ergun denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi.....	45
Şekil 5.2. Bilgisayar Programına Kozeny-Carman denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi.....	45
Şekil 5.3. Bilgisayar Programına Camp denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi.....	46
Şekil 5.4. Bilgisayar Programına Ergun denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi.....	47
Şekil 5.5. Bilgisayar Programına Kozeny-Carman denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi.....	47
Şekil 5.6. Bilgisayar Programına Camp denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi.....	48

Şekil 5.7. Bilgisayar Programına Ergun denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi.....	48
Şekil 5.8. Bilgisayar Programına Kozeny-Carman denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi.....	49
Şekil 5.9. Bilgisayar Programına Camp denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi.....	49
Şekil 5.10. Bilgisayar Programına Ergun denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi.....	50
Şekil 5.11. Bilgisayar Programına Kozeny-Carman denklemi Uygulandığı Zaman Elde Edilen Korelasyon Denklemi.....	51
Şekil 5.12. Bilgisayar Programına Camp denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi.....	51
Şekil 5.13. Yatak Kalınlığı ve Hıza Bağlı Olarak Absolut Spesifik Birikinti ile Bulk Spesifik Birikinti Arasındaki İlişki.....	52
Şekil 5.14. Yatak Kalınlığı ve Hıza Bağlı Olarak Absolut Spesifik Birikinti ile Bulk Spesifik Birikinti Arasındaki İlişki.....	52
Şekil 5.15. Yatak Kalınlığı ve Hıza Bağlı Olarak Absolut Spesifik Birikinti ile Porozite Arasındaki İlişki.....	53
Şekil 5.16. Yatak Kalınlığı ve Hıza Bağlı Olarak Absolut Spesifik Birikinti ile Porozite Arasındaki İlişki.....	53
Şekil 5.17. Yatak Kalınlığı ve Hızlara Bağlı Olarak Absolut Spesifik Birikinti ile Yük Kaybı Arasındaki İlişki.....	54
Şekil 5.18. Yatak Kalınlığı ve Hızlara Bağlı Olarak Absolut Spesifik Birikinti ile Yük Kaybı Arasındaki İlişki.....	54
Şekil 5.19. Yatak Kalınlığı ve Hızlara Bağlı Olarak Absolut Spesifik Birikinti ile Yük Kaybı Arasındaki İlişki.....	55
Şekil 5.20. Yatak Kalınlığı ve Hızlara Bağlı Olarak Yük Kaybı ile Porozite Arasındaki İlişki.....	55

Şekil 5.21 Yatak Kalınlığı ve Hızlara Bağlı Olarak Yük Kaybı ile Porozite Arasındaki İlişki.....	56
Şekil 5.22. Yatak Kalınlığı ve Hızlara Bağlı Olarak Yük Kaybı ile Porozite Arasındaki İlişki	56
Şekil 5.23. Yatak Kalınlığı ve Hızlara Bağlı Olarak Bulk Spesifik Birikinti ile Porozite Arasındaki İlişki.....	57



TABLOLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1. Asit Testi Deney Verileri.....	24
Tablo 3.2. Kum Danelerinin Çökelme Süreleri.....	26
Tablo 4.1. 1 nolu Deney Sonuçları.....	32
Tablo 4.2. 2 nolu Deney Sonuçları.....	34
Tablo 4.3. 3 nolu Deney Sonuçları.....	35
Tablo 4.4. 4 nolu Deney Sonuçları.....	36
Tablo 5.1. Bilgisayar programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Ergun Denklemi Esas Alınmıştır).....	38
Tablo 5.2. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Ergun Denklemi Esas Alınmıştır).....	39
Tablo 5.3. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Ergun Denklemi Esas Alınmıştır).....	39
Tablo 5.4. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Ergun Denklemi Esas Alınmıştır).....	40
Tablo 5.5. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Kozeny-Carman Denklemi Esas Alınmıştır).....	40
Tablo 5.6. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Kozeny-Carman Denklemi Esas Alınmıştır).....	41

Tablo 5.7. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Kozeny-Carman Denklemi Esas Alınmıştır).....	41
Tablo 5.8. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Kozeny-Carman Denklemi Esas Alınmıştır).....	42
Tablo 5.9. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Camp Denklemi Esas Alınmıştır).....	42
Tablo 5.10. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Camp Denklemi Esas Alınmıştır).....	43
Tablo 5.11. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Camp Denklemi Esas Alınmıştır).....	43
Tablo 5.12. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Camp Denklemi Esas Alınmıştır).....	44

SEMBOLLER LİSTESİ

$\frac{\partial C}{\partial L}$ = Birim Filtre Boyunca Konsantrasyon Değişimi

C_0 = Filtre Giriş Konsantrasyonu

C = Filtre çıkış Konsantrasyonu

L = Filtre Yatak Kalınlığı

λ = Filtre Katsayısı

λ_0 = Başlangıç Filtre Katsayısı

u = Akış Hızı

u_f = Filtre Akış Hızı

$\partial \sigma_a$ = Absolut Spesifik Birikinti Değişimi

$\partial \sigma_b$ = Bulk Spesifik Birikinti Değişimi

σ_a = Absolut Spesifik Birikinti

σ_b = Bulk Spesifik Birikinti

σ_u = Filtre Veriminin Sıfıra Eşit Olduğu Andaki Birikinti Miktarı

ϵ_0 = Temiz Yatak Porozitesi

ϵ = Herhangi bir Filtrasyon Anında Yatak Porozitesi

ϵ_d = Birikinti Porozitesi

β = Kum Danesinin Küreselliğine ve Dizilişine Bağlı olan Amprik Sabit

b = Bulk Faktör

x, y, z = Amprik Katsayılar

$A_1, A_2, \dots, A_n$ = Sembli ve Ives'in Kullandığı Katsayılar

∂t = Zaman Değişimi

t = Zaman

$J = dh/L$ = Hidrolik Eğim

Re = Reynoulds Sayısı

Δd = Dane Çapında Meydana Gelen Birim Artış

d_0 = Temiz Yatak Dane Çapı

d = Dane Çapı

f = Puruzluluk Katsayısı

g = Yerçekim Ağırlığı

ρ = Suyun Özgöl Kütlesi

ν = Suyun Kinematik Vizkozitesi

μ = Suyun Dinamik Vizkozitesi

dP = L Boyunda Meldana Gelen Basınc Kaybı

dh = Filtre Boyunca Meydana Gelen Yık Kaybı

ϕ_c =Kum Danesinin Şekil Faktörü

V_s = Kum Danesinin Çökme Hızı

d_h = Kum DanesininHidrolik Çapı

C_D = Direnc Katsayısı



1. GİRİŞ

Ülkemizde son yıllarda nüfusun hızlı artışı, çarpık kentleşme gibi sorunlar önemli derecede çevre kirliliğine yol açmaktadır. Bu olumsuzluklardan en fazla etkilenen kaynaklar arasında içme suyu kaynakları yer almaktadır. Bilindiği gibi, içme suyu daha ziyade, menba ve kuyulardan temin edilmektedir. Bilhassa büyük kentlerimizde sadece kuyu ve menba suları yetersiz kaldığından, baraj ve göl gibi yüzey suları çeşitli arıtma ünitelerine tabi tutularak kamu hizmetine sunulmaktadır. Fakat yukarda da belirttiğimiz gibi çarpık kentleşme neticesinde baraj ve göllerin etrafında kaçak yapılar yapılmakta ve buralarda ikamet eden insanların atıksuları kontrolsüz bir şekilde baraj ve göllere deşarj edilmektedir. Bu yüzden baraj ve göllerden temin edilen sular halk sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır.

Baraj ve göllerden temin edilen suları, istenen kaliteye getirmek için çeşitli ünitelerden geçirmek gerekmektedir. Filtrasyon ünitesi arıtma işleminde en önemli ve en son ünitelerdir. Suların arıtımında filtrasyon, yüzeysel sularda mevcut olan süspansiyon halindeki maddeleri, kireçle yumuşatılmış sulardaki çökeltileri, kuyu sularında bulunabilen demir ve mangan parçacıklarını uzaklaştırmakta kullanılır. Kullanılmış suların tasfiyesinde filtrasyon; ikinci çökeltilme havuzunda çökeltmeyen biyolojik yumakları, kimyasal olarak fosfatın çöktürülmesinde ortaya çıkan süspansiyon maddeleri, kullanılmış suların fiziko-kimyasal veya ileri derecedeki tasfiyelerinde kimyasal koagülasyondan sonra suda kalan asılı haldeki maddeleri uzaklaştırmada tatbik edilir.

Giriş konsantrasyonundaki partiküller, filtrasyon esnasında akımın filtre ortamında geçmesiyle tutulurlar. Biriken süspansiyon miktarı ortamdaki derinlikle değişir. Birim ortam hacmindeki birikinti hacmi, Ojha ve Graham (1991) tarafından 'bulk spesifik birikinti' olarak adlandırılmıştır. Coad tarafından 1982'de yapılan çalışmalarda bulk spesifik birikintinin filtre ortamı boyunca oluşan yük kaybının artış gösteren değişimindeki önemi vurgulanmıştır. Mohanka (1969), bulk spesifik birikintiyi değerlendirmek için mevcut deneysel metodlar sunmuş, ancak

kayda değer sonuçlar elde edememiştir. Bir çok araştırmacı, alternatif olarak bulk spesifik birikintinin teorik olarak hesaplanmasını önermiştir. Teorik olarak bulunan bulk spesifik birikinti hesaplamaları yük kaybı modelinin tarzına dayanır. Yük kaybı, bulk spesifik birikintinin bir fonksiyonu olduğundan deneysel olarak ölçülen yük kayıpları, belirli bir yük kaybı denklemi vasıtasıyla bulk spesifik birikintinin değerlendirilmesinde yardımcı olur. Yük kaybı modellerinin büyük çoğunluğu literatürde bulunmaktadır (Tien ve Gimbel, 1982). Bütün bu modeller önceden değerleri bilinmeyen amprik parametreler içermektedir. Bu yüzden bilinmeyen amprik katsayılarla sahip bir yük kaybı modelini kullanarak bulk spesifik birikintinin değerlendirilmesi mümkün değildir.

Sembi ve Ives (1982) amprik olmayan parametrelerle Kozeny'in yük kaybı modelinin kullanılmasını önermişlerdir. Bu yük kaybı modeliyle deneysel olarak bulunan yük kaybı değerlerini kullanarak elde edilen bulk spesifik birikinti hesaplamaları, deneysel olarak ölçülen sznt konsantrasyonu yardımıyla elde edilen spesifik birikinti hesaplamalarıyla düzenlenmiştir. Korelasyon edilen parametre de bulk faktörü olarak adlandırılmıştır. Amprik olmayan parametrelere sahip bir yük kaybı modelinin kullanımının uygunluğu tartışılır niteliktedir. Böyle bir model çeşitli birikinti oluşum şekilleri ve değişen giriş karakteristikleri için doğru olmaz.

Filtrasyon mekanizması çok değişken olduğundan bugüne kadar yapılan çalışmalarda bu mekanizma tam olarak açıklanamamış olup teorik olarak bir çok yük kaybı ve birikinti denklemleri sunulmuştur. Bu çalışmada, laboratuvar şartlarında yapılan deneysel yük kaybı ve birikinti verileri teorik denklemlerle karşılaştırılmış ve en uygun denklem belirlenmiştir.

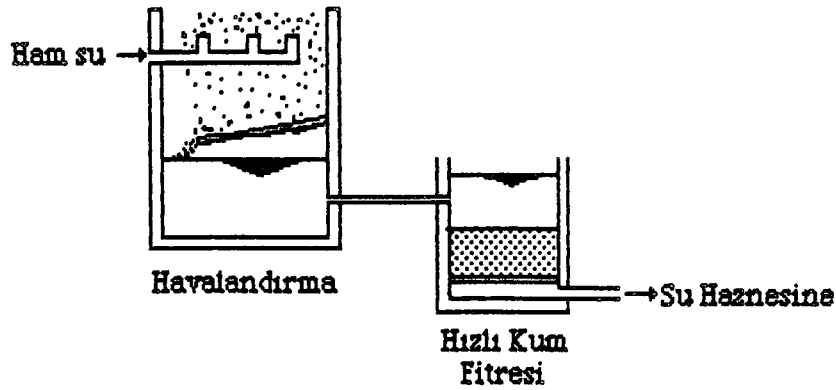
2. FİLTRASYONLA İLGİLİ GENEL BİLGİLER

2.1. Filtrasyondan Maksat ve Su Tasfiyesindeki Yeri

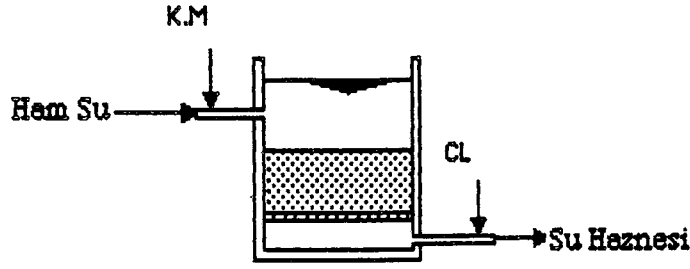
Özellikle içme suyu tasfiyesinde en eski ve en çok kullanılmış usüllerden biri filtrasyondur (süzme). Su tasfiyesinde filtrasyon işleminin maksatları şunlardır.

- Suda asılı halde bulunan küçük tanecikleri uzaklaştırmak, bulanıklığı gidermek
- Organik maddelerin okside olmasını sağlamak
- Mikroorganizmaları nispeten sudan uzaklaştırmak
- Demir ve mangani okside etmek

Filtrasyon işlemi su tasfiyesinde yalnız başına veya bir başka tasfiye işlemiyle birlikte kullanılabilir. Yeraltı suyundan su teminininde demir ve mangani gidermek için hızlı filtreler havalandırmayı müteakip çok yaygın olarak kullanılır (Şekil 2.1). Bu durumda 2 mm çapında oldukça kaba kum kullanılabilir ve 54 m/st 'a kadar, hatta daha büyük filtrasyon hızları tatbik edilebilir.



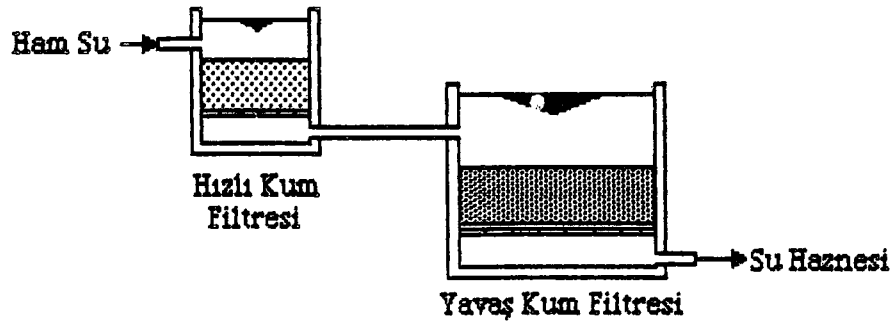
Şekil 2. 1. Anaerobik Yeraltı Suyunun Arıtım Şeması



Şekil 2. 2. Az Kirlenmiş Yüzey Suları için Arıtım Şeması

Su kalitesinin nispeten iyi olduğu bazı durumlarda ise yumak teşekkülü bakımından kimyevi maddelerinin ilavesinden sonra hızlı kum filtreleri kullanılabilir. Böyle hallerde filtrasyon işleminden sonra klor veya ozon gibi dezefektan maddelerle dezenfeksiyon yapılması uygundur (Şekil 2. 2).

Yavaş kum filtrelerinin çıkış suyu bakteriyolojik bakımdan hızlı kum filtrelerine nazaran daha iyidir. Ham suyun bulanıklığı fazla ise böyle durumlarda ön tasfiye gereklidir. Bunun için Şekil 2.3 ' de görüldüğü gibi yavaş kum filtrelerinden önce hızlı kum filtreleri kullanılır. Hızlı kum filtrelerinin gayesi yavaş kum filtrelerinin yükünü azaltmaktır.



Şekil 2. 3. Yüzey Sularının Arıtım Şeması

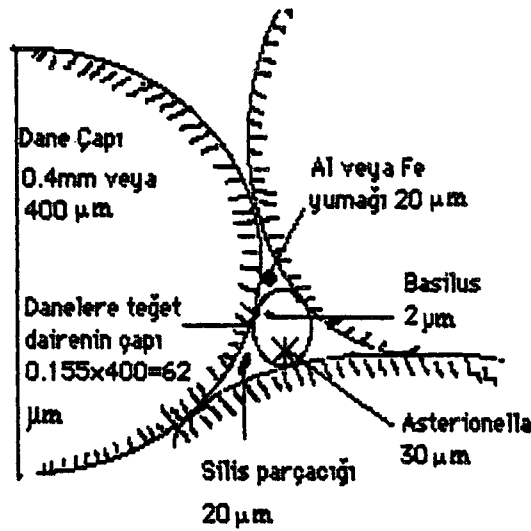
2.2. Filtrasyonun Genel Mekanizması

Su, kum tabakası içinden geçtiği zaman asılı haldeki ve koloidal maddelerin hemen hemen hepsi tutulur. Kimyasal özelliklerden bazıları değişir ve içindeki bakterilerin miktarı azalır. Filtrasyon işlemi sırasında aşağıdaki mekanizmalar rol oynamaktadır.

1. Mekanik Süzülme
2. Çökme
3. Adsorpsiyon (yüzeysel çekim)
4. Biyolojik Faaliyetler
5. Kimyasal Reaksiyonlar

2.2.1 Mekanik süzülme

Mekanik süzülme işlemi, ham suların filtre yatağından geçerken bazı kirleticilerin filtre malzemesi tarafından tutulması işlemidir. Süspansiyon halindeki partiküllerin boyutları yatak malzemesi gözeneklerinden daha büyük olduğundan burada tutulurlar. Ancak kum malzemesinin çapı 0.4 mm olsa dahi, küre şeklindeki kumların yanyana dizilmesi halinde arada kalan boşluk $0.155 \times 400 = 62 \mu\text{m}$ çapındadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Filtre Malzemesi Arasında Kalan Deliklerin ve Süspansiyon Haldeki Maddelerin Korunumu

Koloidlerin aplarının1 ile10 µm arasında olduğu dikkate alınırsa bunların 0.4mm çaplı malzemeyle teşkil edilmiş filtrelerde tutulmayacağı anlaşılır. Hatta küçük çaplı alüminyum ve demir yumaklarının (20-50 µm) da tutulması mümkün görülmemektedir.

Ancak filtrasyon sırasında bazı partiküllerin birbiriyle temas etmesi neticesi büyük yumaklar teşekkül eder, böylece kirletici maddelerin filtre yatağından szlp çıkış suyunu karışması engellenir. Hızlı kum filtrelerinde mekanik süzme, diğer giderme mekanizmaları yanında ihmal edilebilecek mertebededir. Bu yüzden çabuk tıkanmalara meydan vermemek için bu filtrelerde kum yatağının dane çapı daha büyük seçilir.

2.2.2 Çökelme

Filtrede filtre yatağının üzerinde bir durgun su sütunu bulunmaktadır. Burada kelme işleminde olduğu gibi, bazı partiküller filtre yatağının üzerine çökelir. Yatağın porozitesi ε ile dane çapı d ile gösterildiğinde 1 m³ hacimdeki küre şeklindeki kum malzemesinin toplam yüzey alanı;

$$\frac{6}{d} (1-\epsilon) , m^2 \text{ olarak hesaplanabilir.}$$

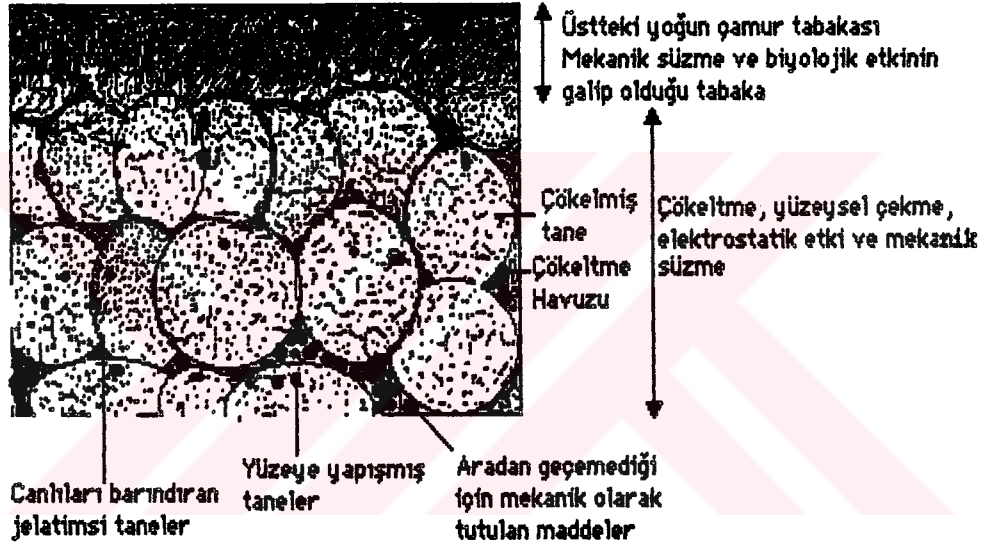
Filtrasyon sırasında çökelen malzemeler, gözenek hacmini azaltır, suyun geçtiği kesit daraldığından su hızı artar, filtre yatağındaki malzeme artan su hızı ile aşağıya taşınır, filtre yatağı kalınlığı sınırlı olduğundan çıkış suyu kalitesi bozulur. Bu durumda filtreyi temizlemek maksadıyla kum filtrelerinde geri yıkama gerçekleştirilir.

2.2.3 Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, koloidlerin ve kk asılı daneciklerin sudan uzaklaştırılmasında en önemli işlemlerden biridir. Adsorpsiyon kuvvetleri, en fazla 0.01-1 µm gibi çok kısa mesafeler için tesirli olmaktadır. Bununla birlikte kum partiküllerini saran film tabakasının kalınlığı bu mesafeden çok daha büyüktür.

2.2.4. Biyolojik Faaliyet

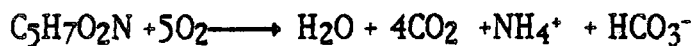
Biyolojik olaylar canlı hücrelerin hayat faaliyetleriyle meydana gelir. Bu olaylar yavaş kum filtrelerinde önemli rol oynar ve suyun kimyasal yapısının bir miktar değişmesine sebep olur. Sudaki maddeler canlı organizmanın metabolizmasında sarf olur. Organizmanın çoğalması ile suyun kimyasal yapısı da değişir. Filtrelerde canlı organizma faaliyetleri de mevcut olduğundan, elbetteki filtreye giren suyun yapısını değiştirirler. Şekil 2.5 ' de filtrelerde rol oynayan mekanizmalar topluca görülmektedir.



Şekil 2. 5. Suyun Kum Filtrelerinden Süzülmesini Sağlayan Unsurların Genel ve Şematik Görünüşü

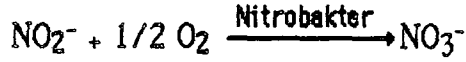
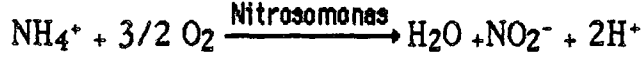
2.2.5. Kimyasal Reaksiyon

Çözünmüş haldeki kirlетici maddeler, bazı reaksiyonların cereyan etmesi sonucu ayrışır, daha az zararlı maddeler haline dönüşür veya çözünmeyen maddelere dönüşerek çökeltme ve adsorpsiyon ile sudan uzaklaştırılır. Suda oksijen mevcut ise organik maddeler, aerobik olarak ayrışır. Reaksiyon basit olarak,

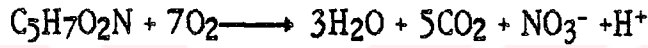


şeklinde yazılabilir. Burada görüleceği üzere 1 gr organik madde ayrışırken 1.4 gr oksijen sarfeder, 0.16 gr amonyum ortaya çıkar.

Amonyum da bakterilerin yardımıyla okside olur;



Reaksiyonlar topluca yazılırsa ;

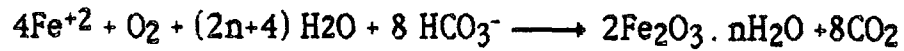


bulunur.

Diğer bir reaksiyon, demirin okside olmasıdır.

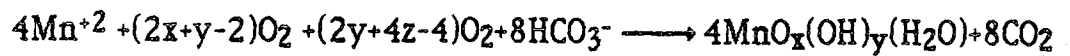
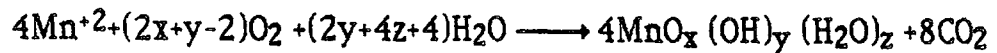


veya

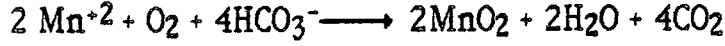


Bu reaksiyonlardan 1 gr demirin okside olması için 0.14 gr oksijene ihtiyaç olduğu görülebilir.

Manganın oksidasyonu için de benzer denklemler yazılabilir.



$(2x+y)$ 'nin mümkün olabilen en büyük değeri 4 veya $(2x+y-2)$ ise 2 'den büyük olmayacağından, 1 gr manganın oksidasyonu için 0.29 gr oksijenin lüzumlu olduğu bulunabilir. Reaksiyon;



şeklinde basitleştirilebilir.

2.3. Derin Yataklı Filtrasyon Teorisi

Derin yataklı filtrasyon modelini incelemek amacıyla geçen 20-30 yıl içinde çeşitli denemeler yapılmıştır. Mevcut filtrasyon modelleri iki kategoride toplanmıştır. İlk kategoriyi meydana getiren modeller, giriş partikülleriyle filtre taneleri arasında rol oynayan çeşitli kuvvetlerin ele alınmasına bağlıdır. Bu modeller yörünge teorisine bağlı olanları içermektedir. İkinci kategori modelleri, derin yataklı filtrasyona sıvı süspansiyonların uygulanmasıdır. İlk kategori modelleri henüz filtrasyon mekanizmasını tam olarak tanımlamak için yeterli değildir (Amirtharajah, 1988).

Filtrasyon katsayısı olarak tanımlanan bir parametre, çıkış suyu kalitesindeki değişimleri tanımlamak için modelleme konusu olmuştur. Benzer şekilde yük kaybının baştaki yük kaybına oranı, filtrasyon esnasında filtre derinliğiyle yük kaybı değişimini tanımlamak amacıyla modelleştirildi. Derin yataklı filtrasyon prosesini modelleme amaçları genelde filtre derinliğiyle değişen konsantrasyon ve yük kaybı değerlerinin yeterli bir şekilde bilinmesini sağlamaktır. Giriş ve çıkış konsantrasyonları tayin edildikten sonra filtre ortamındaki birikinti miktarıda bulunabilir.

Bu modeller, birçok araştırmacı tarafından ele alınmıştır. Fox ve Cleasby (1966), bulk spesifik birikintiyi hesaplamak için bulk faktör olarak tanımladıkları sabit bir değer kullanmışlardır. Yük kaybı bulk spesifik birikintinin bir fonksiyonu olduğundan, Fox ve Cleasby bulk faktör yardımıyla hesaplanan bulk spesifik birikintiyi, yük kaybı modelinde kullanmışlardır. Fakat sabit bir değer olarak alınan bulk faktörün neye göre alındığı aşıkardır. Buna rağmen, Sakthivadivel ve arkadaşları (1972)

Fox ve Cleasby'nin yük kaybı modelinin diğer yük kaybı modellerinden daha iyi olduğunu iddia etmişlerdir. Coad (1982), Kozeny yük kaybı modelinin doğruluğundan şüphe duyarken Sembi ve Ives (1982), bütün filtrasyon şartları altında sabit katsayılarla Kozeny yük kaybı modelini kullanmışlardır.

Giriş konsantrasyonundaki partiküller, filtrasyon esnasında akımın filtre ortamında geçmesiyle tutulurlar. Biriken süspansiyon miktarı ortamdaki derinlikle değişir. Birim ortam hacmindeki birikinti hacmi 'bulk spesifik birikinti', birim ortam hacmindeki birikintinin kuru ağırlığı ise 'absolut spesifik birikinti' olarak adlandırılmaktadır. Biriken maddenin porozitesi sıfır kabul edildiğinde, bulk spesifik birikinti absolut spesifik birikintiyle aynı olur. Coad tarafından 1982'de yapılan çalışmalarda, bulk spesifik birikintinin filtre ortamı boyunca oluşan yük kaybı değişimi üzerindeki etkisi vurgulanmıştır. Şayet birikinti arasındaki akım hızı çok küçükse birikinti gözeneklerinin, filtrasyon işlemi ilerlerken içten tıkanmadığını farzetmek de akla uygundur. Bununla birlikte filtre tıkanıkça, birikinti dış cepheden sıkışır. Birikinti gözeneklerinde tıkanmanın olmaması, bulk spesifik birikintinin arıtma proseslerinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

Giriş suyundaki partikül konsantrasyonu, birim hacimdeki birim kütle (mg/L) şeklinde ölçülür. Şayet süspansiyon numuneleri farklı ortam derinliklerinde birikmişse, herhangi bir ortam yüzeyinde süspansiyon konsantrasyonundaki değişim sadece kütle birimlerinde birikinti hesaplamalarını verir. Bulk spesifik birikintiye dönüştürmek için gözenekli birikintinin yoğunluğunu bilmemiz gerekmektedir. Bu amaçla, Mohanka (1969) bulk spesifik birikintiyi değerlendirmek için bazı deneysel metodlar sunmuştur. Fakat bu deneysel metodlardan kayda değer sonuçlar alınamamıştır. Birçok araştırmacı alternatif olarak, bulk spesifik birikintinin teorik olarak hesaplanmasını önermişlerdir.

Teorik olarak bulunan bulk spesifik birikinti hesaplamaları yük kaybı formüllerine dayanır. Yük kaybı, bulk spesifik birikintinin bir fonksiyonu olduğundan dolayı deneysel olarak ölçülen yük kayıpları, belirli bir yük kaybı denklemi vasıtasıyla elde edilen bulk spesifik birikintinin değerlendirilmesinde yardımcı olur. Yük kaybı modellerinin

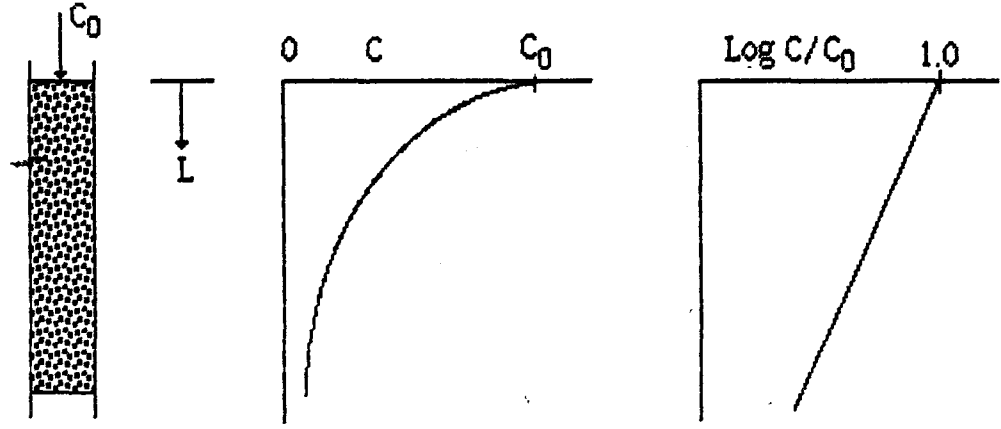
büyük çoğunluğu literatürde bulunmaktadır (Tien ve Gimbel, 1982). Bütün bu modeller önceden değerleri bilinmeyen amprik parametreler içermektedir. Bu yüzden bilinmeyen amprik katsayılara sahip bir yük kaybı modelini kullanarak bulk spesifik birikintinin değerlendirilmesi mümkün değildir.

Sembi ve Ives (1982) amprik olmayan parametrelerle Kozeny'in yük kaybı modelinin kullanılmasını önermişlerdir. Bu yük kaybı modeliyle deneysel olarak bulunan yük kaybı değerlerini kullanarak elde edilen bulk spesifik birikinti hesaplamaları, deneysel olarak ölçülen süzüntü konsantrasyonu yardımıyla elde edilen spesifik birikinti hesaplamalarıyla düzenlenmiştir. Korelasyon edilen parametre de bulk faktörü olarak adlandırılmıştır. Amprik olmayan parametrelere sahip bir yük kaybı modelinin kullanımının uygunluğu tartışılabilir. Böyle bir model, birikintinin filtre içinde farklı oluşum şekilleri ve değişen giriş karakteristikleri için doğru olmaz. Coad (1982), bulk spesifik birikintiyi hesaplamak için Kozeny modelinin uygunluğundan şüphe duymuştur.

Alternatif olarak, çeşitli gözlemciler tarafından bulk spesifik birikintinin hesaplanmasında önemli yere sahip olan bulk faktörü sabit olarak kabul edilmiştir (Sholji (1963), Camp (1966), Fox ve Cleasby (1966), Ives ve Sholji (1966) ve Mohanka (1969)). Bu çalışmalarda elde edilip kullanılan bulk faktörünün hangi yöntemlerle bulunduğu aşikar değildir.

2.3.1 Konsantrasyonun Derinlikle Değişimi

Filtre ortamından süspansiyon madde ihtiva eden su geçirildiğinde, filtrasyon işlemine bağlı olarak süspansiyon madde konsantrasyonu derinlikle azalır. Süspansiyon konsantrasyonunun azalma hızı filtre boşluklarında o anda mevcut konsantrasyonla orantılıdır. Şayet filtre tanesi ve süspansiyon parçacıkları üniform ise konsantrasyondaki azalma derinliğe bağlı olarak logaritmik olacaktır (Muslu, 1976). Şekil 2.6, üniform malzemeli bir filtrede konsantrasyon dağılımını göstermektedir.



Şekil 2.6. Uniform Taneli Bir Filtrede Konsantrasyonun Derinlikle Logaritmik Azalışı

Şekil 2.6 'da görüleceği gibi, logaritmik azalmanın neticesi olarak filtre giriş yüzeyinden daha uzakta bulunan tabakalar daha az miktarda süspansiyon maddeyi sudan uzaklaştırmaktadır. Bunun sebebi her tabakanın aynı oranda maddeyi sudan uzaklaştırmasıdır.

Filtrenin birim derinliğinde sudan uzaklaştırılan süspansiyon madde konsantrasyonu, su içinde o anda mevcut konsantrasyonla orantılıdır. Bu ifade matematiksel olarak aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial C}{\partial L} = -\lambda C \quad (2.1)$$

Bu denklemi entegre edersek,

$$\int_{C_0}^C \frac{\partial C}{C} = -\lambda \int_0^L \partial L$$

$$\ln \frac{C}{C_0} = -\lambda L$$

$$\frac{C}{C_0} = e^{-\lambda L}$$

$$C = C_0 e^{-\lambda L} \quad (2.2)$$

elde ederiz. Burada, C ; t anında L derinliğinde hacimsel olarak süspansiyon madde konsantrasyonudur, λ ; filtre katsayısı, ve C_0 ; $t = 0$ anında süspanse partikül konsantrasyonudur. λ değeri birikmiş katı hacmine bağlıdır.

2.3.2 Özgöl Birikinti Formülleri

Filtrasyon ilerledikçe boşluklar tıkanmaya başlar. Su içindeki süspansiyon ve birikinti maddeleri zamanla artmaya başlar. Iwasaki, 1937 yılında bir filtre yatağının davranışını, süreklilik denklemleri ve kinetiklerle aşağıdaki şekilde tanımlamıştır.

$$u \frac{\partial C}{\partial L} + \frac{\partial \sigma_a}{\partial t} = 0 \quad (2.3)$$

Burada C ; t anında L derinliğindeki süspanse partikül konsantrasyonudur, σ_a ; absolut spesifik birikinti (hacimsel olarak), u ; suyun yaklaşım hızıdır. Ojha ve Graham (1993), birikinti porozitesini ϵ_d kabul ederek bulk spesifik birikintiyi (σ_b) aşağıdaki şekilde ifade etmişlerdir.

$$\sigma_b = \frac{\sigma_a}{(1 - \epsilon_d)} \quad (2.4)$$

Ayrıca (2.3) nolu denklemi σ_b ve ϵ_d terimlerine aşağıdaki şekilde ifade etmişlerdir.

$$u \frac{\partial C}{\partial L} + (1 - \epsilon_d) \frac{\partial \sigma_b}{\partial t} = 0 \quad (2.5)$$

(2.1) ve (2.5) denklemlerinin çözümü λ ve σ_b arasında çeşitli fonksiyonel ilişkiler kabul edilerek elde edilmiştir. Tien ve Gimbel (1982), λ ve σ_b arasında çeşitli fonksiyonel bağıntılar sunmuşlardır. Bunların dışında, Ives (1975), 1969 yılında kendisi tarafından önerilen bağıntının pratiğe

uygun olduğunu belirtmiştir. Sembi ve Ives (1982), bu bağıntıyı başarılı bir şekilde kullanmışlardır. Bu bağıntı aşağıdaki şekildedir.

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 + \beta \frac{\sigma_b}{\varepsilon_0} \right)^y \left(1 - \frac{\sigma_b}{\varepsilon_0} \right)^z \left(1 - \frac{\sigma_b}{\sigma_u} \right)^x \quad (2.6)$$

Burada, ε_0 = filtre temiz iken porozite, b = tanenin küreselliğine ve filtredeki dizilişine bağlı olan amprik sabit, λ_0 = filtrasyon başlangıcındaki ($t=0$) filtre katsayısı, σ_u = filtrenin veriminin sıfıra eşit olduğu andaki birikinti miktarı ve x , y , z = amprik katsayılarıdır. Bununla birlikte, (2.6) nolu denklemin kullanımı için σ_b gereklidir. Birim filtre hacmi başına düşen kütle olarak ifade edilen σ_u ' yi bulmak mümkün iken, bu değere karşılık ε_d ' yi tayin ederek σ_b ' yi bulmak imkansız gibidir. Sembi ve Ives (1982), bu problemi aşağıdaki bağıntıyı kullanarak gidermeye çalışmışlardır.

$$\sigma_b = b \sigma_a \quad (2.7)$$

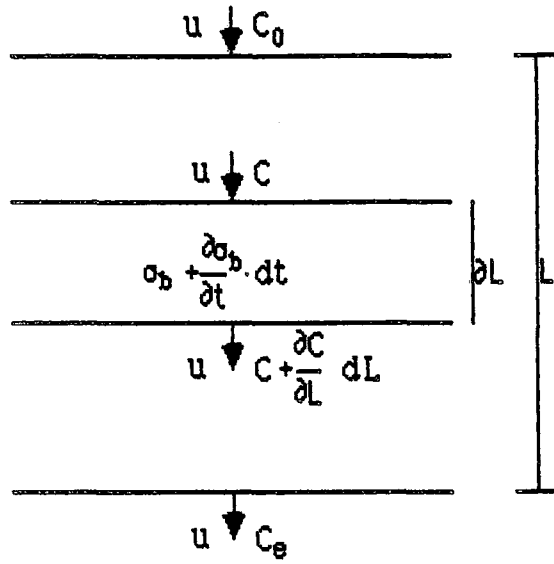
Burada σ_a : absolut spesifik birikinti olup birimi gr/cm^3 , b ; Sembi ve Ives tarafından tanımlanan bulk faktörü' dür. Sembi ve Ives (1982), $b \sigma_a$ ' yi aşağıdaki şekilde ifade etmişlerdir.

$$b \sigma_a = A_1 \sigma_a + A_2 \sigma_a^2 + \dots + A_n \sigma_a^n \quad (2.8)$$

Burada $A_1, A_2, \dots, A_n$; sabit katsayılar ve n ; polinom derecesidir.

Su içindeki süspansiyon ve birikinti miktarına göre dL kalınlığında bir filtre elemanı için bir süreklilik denklemi yazılabilir.

Arıtılacak su, filtreye u filtre hızıyla gelmekte ve aynı u hızı ile filtreyi terketmektedir. Girişteki süspansiyon madde konsantrasyonu C_0 olup filtrasyon prosesinden dolayı azalan bir C_e konsantrasyonu açıkça görülmektedir.



Şekil 2. 7. Süreklilik Denkleminin Çıkarılışı.

Şekil 2.7.' de, dL kalınlığındaki birim enkesit alanına sahip filtre elemanında içi su ile dolu hacim, $(\epsilon_0 - \sigma_b) dL$ olarak ifade edilebilir. Buna göre ikinci mertebeden terimler ihmal edilirse herhangi bir t anında, dL kalınlığındaki $(\epsilon_0 - \sigma_b) dL$ sıvı hacmi içinde süspansiyon madde konsantrasyonu $(\epsilon_0 - \sigma_b) C dL$ olur. $t + dt$ anındaki süspansiyon madde miktarı ise,

$$\left[\epsilon_0 - \left(\sigma_b + \frac{\partial \sigma_b}{\partial t} dt \right) \right] \left[\left(C + \frac{\partial C}{\partial L} dt \right) dL \right] \quad (2.9)$$

bulunur. O halde

$$\left[\epsilon_0 - \left(\sigma_b + \frac{\partial \sigma_b}{\partial t} dt \right) \right] \left[\left(C + \frac{\partial C}{\partial L} dt \right) dL \right] - (\epsilon_0 - \sigma_b) C dL \quad (2.10)$$

dL kalınlığındaki filtre elemanında dt zaman aralığında süspansiyon madde miktarının değişimini gösterir. Bu zaman zarfında filtre taneleri üzerine, $d\sigma_b = \frac{\partial \sigma_b}{\partial t} dt dL$ kadar birikinti yığılır. Konsantrasyonun derinliğe bağlı olarak değişimi ise, başlangıçta I-I kesitinde C iken II-II kesitinde $C + \frac{\partial C}{\partial L} dL$ şeklinde ifade edilebilir. Buna göre süspansiyon ve birikinti maddeleri arasındaki dengeyi veren süreklilik denklemi şöyle yazılabilir.

$$\begin{aligned}
& \left[\epsilon_0 - \left(\sigma_b + \frac{\partial \sigma_b}{\partial t} dt \right) \right] \left[\left(C + \frac{\partial C}{\partial t} dt \right) dL \right] - (\epsilon_0 - \sigma_b) C dL + \frac{\partial \sigma_b}{\partial t} dt dL \\
& = u C dt - u \left(C + \frac{\partial C}{\partial L} dL \right) dt
\end{aligned} \tag{2.11}$$

yukarıdaki bağıntı açılarak gerekli kısıtlamalar yapılır ve $\left(\frac{\partial C}{\partial t} \right)^2 dt^2 dL$ şeklindeki ikinci mertebe terim ihmal edilirse

$$(\epsilon_0 - \sigma_b) \frac{\partial C}{\partial t} dt dL + \frac{\partial \sigma_b}{\partial t} dt dL (1-C) = -u \frac{\partial C}{\partial L} dL dt \tag{2.12}$$

bulunur. Bu bağıntı düzenlenirse,

$$(\epsilon_0 - \sigma_b) \frac{\partial C}{\partial t} dt dL + \frac{\partial \sigma_b}{\partial t} dt dL - C \frac{\partial \sigma_b}{\partial t} dt dL = -u \frac{\partial C}{\partial L} dL dt \tag{2.13}$$

olur. Her iki taraf $u dt dL$ ile bölünürse

$$\frac{1}{u} (\epsilon_0 - \sigma_b) \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{(1-C)}{u} \frac{\partial \sigma_b}{\partial t} = - \frac{\partial C}{\partial L} \tag{2.14}$$

elde edilir. Birikinti hacmindeki artışa eşit hacimli bir sıvı kitlesi içindeki madde miktarını ifade eden $C \frac{\partial \sigma_b}{\partial t} dt dL$ terimi çok küçük olduğundan ihmal edilirse

$$\frac{1}{u} \frac{\partial \sigma_b}{\partial t} + \frac{(\epsilon_0 - \sigma_b)}{u} \frac{\partial C}{\partial t} = - \frac{\partial C}{\partial L} \tag{2.15}$$

şeklini alır (Ives, 1969).

Muslu ve Akkoyunlu (1976), yukarıdaki bağıntılarda süspansiyon konsantrasyonu ve özgül birikinti oranının bazen ağırlık cinsinden de ifade edilebileceğini belirtmişlerdir. Bu taktirde (2.1) nolu denklem

$$\frac{\partial C_g}{\partial L} = -\lambda C_g \quad (2.16)$$

olur. Özgöl birikinti artımı da

$$d\sigma_a = \frac{\partial \sigma_a}{\partial t} dt \quad (2.17)$$

şeklinde yazılır. (2.16) nolu denklemdeki C_g ağırlık (gravimetrik) cinsinden konsantrasyondur. (2.17) nolu denklemdeki σ_a özgül birikintisi, gravimetrik olup absolut spesifik birikinti olarak ifade edilmektedir (Huisman,1974).

Genellikle (2.15) denklemindeki 2. terim ihmal edilebiliyor. Buna göre C_g ve σ_a cinsinden (2.15) denklemi şöyle yazılabilir.

$$\frac{\partial C_g}{\partial L} = \frac{1}{u} \frac{\partial \sigma_a}{\partial t} \quad (2.18)$$

Benzer şekilde (2.2) nolu denklem de gravimetrik konsantrasyonlarla

$$C_g = C_0 e^{-\lambda_0 L} \quad (2.19)$$

şeklinde ifade edilir. Burada C_0 , gravimetrik olarak ifade edilen giriş konsantrasyonudur.

Filtre katsayısı λ 'nın, başlangıçtaki λ_0 değerine eşit ve sabit olması halinde su içindeki süspansiyon madde konsantrasyonu (2.19) denklemi ile verilir. (2.19) denklemi (2.16) denkleminde yerine konursa

$$-\frac{\partial C_g}{\partial L} = \lambda_0 C_0 e^{-\lambda_0 L} \quad (2.20)$$

olur. (2.20) ve (2.18) denklemleri birbirine eşitlenirse,

$$\frac{\partial \sigma_a}{\partial t} = u \lambda_0 C_0 e^{-\lambda_0 L} \quad (2.21)$$

$$\sigma_b = \varepsilon_0 - \varepsilon \quad (2.31)$$

denkleminde de yeni porozite bulunacaktır. Böylece, $d_0 + \Delta d$ dane çapı ve ε porozite değerleri vasıtasıyla $t_0 + \Delta t$ anında filtre ortamında meydana gelen yük kaybı değeri bulunacaktır. Bu iterasyon işlemine Δd kadar arttırılarak devam edilecektir. Yukarda anlatılan işlemler, bir bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır (Şekerdağ, 1997). Bilgisayar programı EK.1'de sunulmuştur.

Yukardaki denklemlerde, dh ; filtrede meydana gelen yük kaybı, J ; hidrolik eğim, u_f ; filtre yaklaşım hızı, ϕ_c ; kum tanesinin şekil faktörü, C' ; yük kaybı katsayısı, μ ; suyun dinamik vizkozitesi, ν ; suyun kinematik vizkozitesi, ρ ; suyun özgül kütlesi, g ; yerçekim ivmesi, ϵ ; filtre ortamının porozitesi, d ; kumun tane çapı, L ; filtre ortamının boyu ve dP ; L boyunda meydana gelen basınç kaybını ifade etmektedir.

Ergun denkleminin 1. terimine dikkat edilirse, katsayılar haricinde Camp ve Kozeny-Carman denklemleriyle aynı olduğu görülür. Ergun denklemindeki ikinci terim, kinematik enerji kayıplarını belirtir ve hız arttıkça ehemiyeti artar.

2.3.3.Filtrasyon Mekanizmasının Geliştirilen Bilgisayar Programıyla Çözümü

Filtrasyon başlangıcında, belirli bir filtre hızında filtre ortamında meydana gelecek yük kaybı, porozite ve tane çapının bilinmesiyle hesaplanabilir. Filtrasyon işlemi esnasında, filtre tıkanmaya başlar. Bununla birlikte tane çapı ve porozite de değişecektir. Herhangi bir andaki yük kaybını hesaplamak için o andaki porozitenin bilinmesi gerekmektedir. Bu poroziteyi bulmak için aşağıda gösterilen bir numerik yaklaşımla problem çözümü kolaylaştırılacaktır.

Bu maksatla başlangıçtaki d_0 temiz filtre dane çapı, Δd kadar artırılarak $d_0 + \Delta d$ çapına ulaşır. Bu Δd kadar artma, filtrede birikintinin arttığı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla birikintinin artmasıyla filtre ortamının porozitesinde bir azalma meydana gelecektir. Camp (1969), özgül birikinti ile porozite arasındaki ilişkiyi veren bağıntıyı aşağıdaki şekilde sunmuştur.

$$\left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right) - \frac{\sigma_b}{3(1-\epsilon_0)} = 0 \quad (2.30)$$

Yukardaki bağıntıda, dikkate alınan andaki bulk spesifik birikinti bulunacaktır. Daha sonra,

Camp, Re Reynoulds sayısı, f pürüzlülük katsayısı ve J hidrolik eğim arasındaki bağıntıyı aşağıdaki şekilde vermiştir.

$$f = \frac{2 i \phi^2}{Re} \frac{(1 - \epsilon)}{\epsilon} \quad (2.25)$$

$$Re = \frac{u_f d}{\nu \sqrt{\epsilon(1 - \epsilon)}} \quad (2.26)$$

$$J = \frac{dh}{L} = i \phi^2 \frac{\nu}{g} \frac{(1 - \epsilon)^2}{\epsilon^3} \frac{u_f}{(\phi_c d)^2} \quad (2.27)$$

Camp yuvarlak taneli Ottova kumu için $i \phi^2 = 240$ olarak $f-Re$ eğrisinin lineer kısmını çizmiştir. Bu akım için porozite 0,10-0,60 arasında değiştirilmiştir. Daha sonra 0,6-0,8 porozite değerleri için $i \phi^2 = 240$ almıştır.

Re sayısı 25,50 ve 100 olması halinde, $i \phi^2$ sırasıyla 260, 300, 370 değerlerini aldığı kabul edilmiştir. Bu bölgede Camp; Baklzmteff, Feodorof, Hudson ve Roberts denklemlerine göre hesap yapmıştır.

Ergun denklemi laminar bölgesini, geçiş bölgesini ve turbulanslı bolgeyi kapsayan bir yuk kaybı denklemdir.

$$J = \frac{dh}{L} = 150 \frac{(1 - \epsilon)^2 \mu}{\epsilon^3 (\phi_c d)^2} \frac{u_f}{\rho g} + 1,75 \frac{(1 - \epsilon)}{\epsilon^3 (\phi_c d)} \frac{u_f^2}{g} \quad (2.28)$$

Laminer akım bölgesini kapsayan Kozeny-Carman denklemi ise aşağıdaki şekildedir.

$$J = \frac{dh}{L} = 180 \frac{\nu}{g} \frac{(1 - \epsilon)^2}{\epsilon^3} \frac{U_f}{(\phi_c d)^2} \quad (2.29)$$

elde edilir. $t = 0$ da $\sigma_a = 0$, $t = t$ de $\sigma_a = \sigma_a$ sınır şartlarına göre (2.21) nolu denklem entegre edilirse

$$\sigma_a = u \lambda_0 C_0 e^{-\lambda_0 L} t \quad (2.22)$$

bulunur. (2.22) nolu denklem gravimetrik olarak özgül birikinti olan absolut spesifik birikintiyi verir.

Muslu ve Akkoyunlu (1976), 1 m^3 zahiri hacim içindeki birikinti ağırlığını $\gamma' \text{ m}^3/\text{kg}$ ile ifade ederek bulk ve absolut spesifik birikinti arasındaki bağıntıyı, aşağıdaki şekilde ifade etmişlerdir.

$$\sigma_b = \gamma' \sigma_a \quad (2.23)$$

Sembi ve Ives (1982), bulk ve absolut spesifik birikinti arasındaki bağıntıyı (2.7) nolu denklemde gösterilen şekilde ifade etmişlerdir. Burada b bulk faktör olup (2.23) denklemdeki γ' ile aynıdır. (2.22) nolu denklemi (2.7) denklemde yerine yazarsak

$$\sigma_b = b u \lambda_0 C_0 e^{-\lambda_0 L} t \quad (2.24)$$

olur.

2.3.2. Yük Kaybı Formülleri

Tanelerden meydana gelen bir ortamın boşluklarındaki akımı tetkik etmek için en kolay yol, bu boşluklu ortamı matematiksel bakımdan kolayca incelenebilen teorik modellerle temsil etmektir. En basit model, malzeme yığınının, taneler arasındaki boşluklardan meydana gelen paralel (kapiler) borular demeti şeklinde düşünmektir. Malzemenin yapısına yani tane dizilişi ve poroziteye göre, seçilen kapiler borunun çapı tayin edilirse, yük kaybı hidrolikte bilinen formüller vasıtasıyla hesaplanabilir. Bugüne kadar birçok araştırmacı teorik olarak, yük kaybı formülleri sunmuşlardır. Bunlardan en önemlileri Camp, Ergun ve Karman-Cozeny denklemleridir.

3. DENEY DÜZENEGİNİN HAZIRLANMASI

3.1. Deney Düzenegi

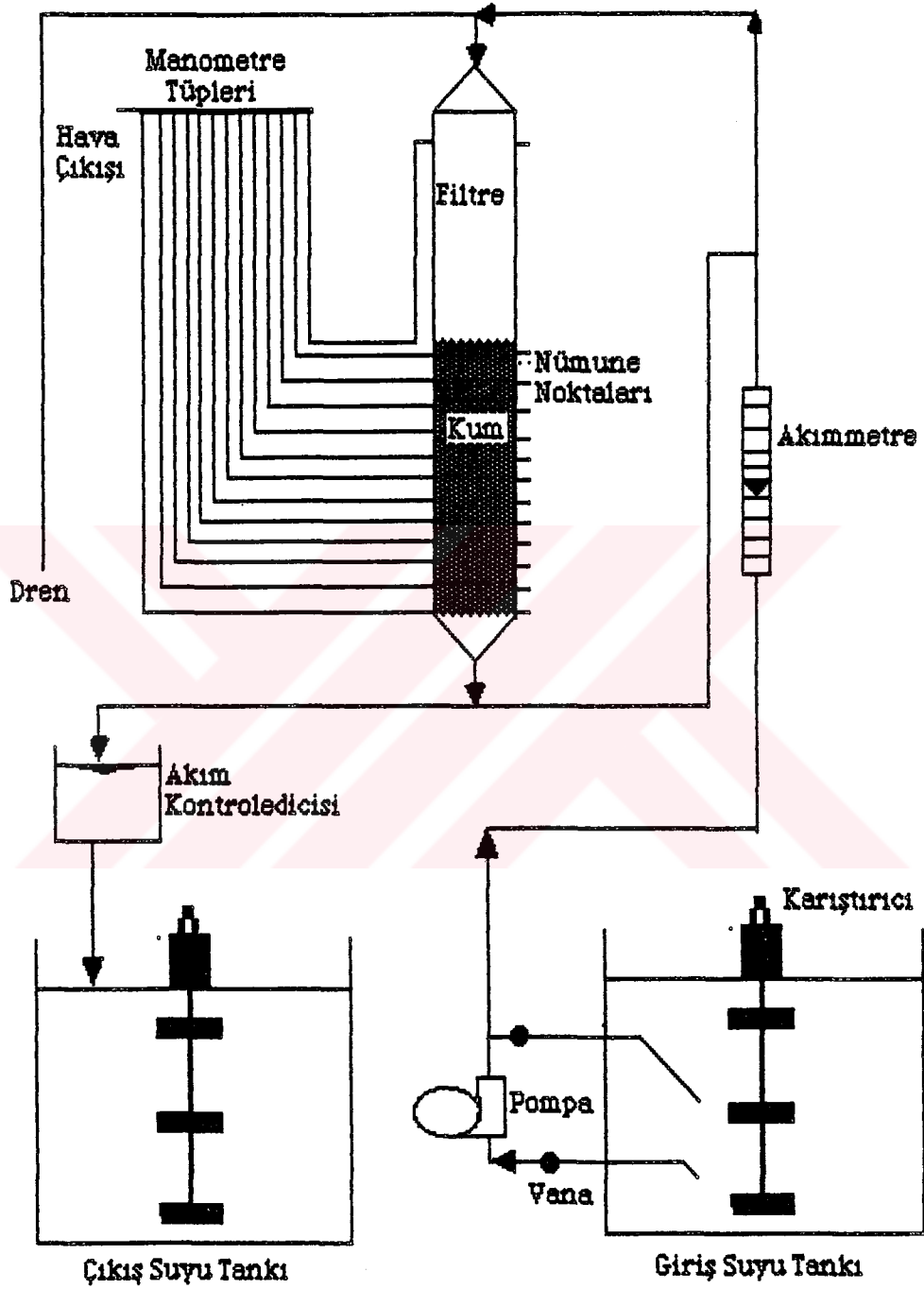
Deneyisel çalışmalarda ARMFIELD şirketinin derin yataklı filtre kolonu kullanılmıştır. Derin yataklı filtre kolonu, pleksiglastan yapılmış olup çapı 10 cm ve yüksekliği 1,5 m ' dir. Filtre kolonunda meydana gelen yük kayıplarını ölçebilmek için yanyana koyulmuş 40 adet manometre tüpü bulunmaktadır. Manometre tüplerindeki hava kabarcıklarını yok etmek için en üst noktada hava çıkış vanası bulunmaktadır. Filtre kolonuna giriş debisini ve hızını ayarlamak maksadıyla 1 adet akımmetre, suyu yükseltmek için de 1 adet pompa bulunmaktadır.

Filtre kolonuna ek olarak, herbirisi 350 L hacime sahip 2 adet su tankı bağlanmıştır. Su tanklarından biri filtreye ham su iletirken, ikinciside filtre çıkış suyunu biriktirmektedir. Su haznelerinde konsantrasyonun homojenliğini sağlamak amacıyla birer adet karıştırıcı yerleştirilmiştir.

Yukarda özellikleri belirtilen deney düzenegi Şekil 3.1'de görülmektedir.

ARMFIELD şirketinin yapmış olduğu çalışmalar neticesinde, 10 cm veya daha büyük çaplara sahip filtre kolonlarının tam ölçekli taneli yatak filrelerine benzer şekilde işledikleri saptanmıştır.

Şekil 3.1 ' deki derin yataklı filtre kolonu bu bakımdan üniversite ve endüstriyel laboratuvarlarda araştırma amaçları için kullanılabilir niteliktedir.



Şekil 3.1. Derin Yataklı Filtre Kolonu Akış Şeması

3.2. Kum Numunelerinin Hazırlanışı

Deneylerde Tarsus İçme Suyu Arıtım tesisinden temin edilen kum kullanılmıştır. Getirilen kum U.S.A. standartlarına uygun eleklerden elenmiştir. Bu elekler 18/16 nolu elekler olup standart boyutu 1.006 mm'dir. Eleme işlemi mekanik karıştırıcıda 15 dakikalık aralıklarda yapılmıştır.

3.3. Asit Testinin Yapılması

Deney düzeneğimizde kullanılacak olan kumun iyi özellikte, organik madde bakımından oldukça düşük ve uzun zaman tekrar kullanılabilir kalitede olması gerekir. Elimizde bulunan kumun filtrasyon işleminde kullanılıp kullanılmayacağını anlamak için asit testi yapılmıştır. Böylece kullanacağımız kumun, yukarıda sayılan özelliklerde olup olmadığı da anlaşılacaktır.

Asit testinde % 37' lik HCl asiti kullanılmıştır. Öncelikle yıkanıp 105 °C'de kurutulan iki kaba 25' er gram kum konulmuştur. Sonra bu kum numuneleri üzerine yukarıda sözü edilen asidi, köpüklenme olayı duruncaya kadar ilave edilmiştir. Daha sonra sözü edilen asite tabi tutulan bu numuneler oda sıcaklığında bir hafta bekletilmiştir. Bir hafta sonunda asit boşaltılmış ve numuneler saf suyla iyice yıkanmıştır. Yıkanan bu numuneler 105 °C 'de kurutulup tekrar tartılmış ve aşağıdaki neticeler elde edilmiştir.

Tablo 3.1. Asit Testi Deney Verileri

	1. Deney	2. Deney
Deneyden Önceki Ağırlık (gr)	25,000	25,000
Deneyden Sonraki Ağırlık (gr)	24,458	24, 515
Ağırlık Farkı (gr)	0,542	0, 485
Kayıp miktarı (%)	2,168	1, 940

Asit deneyine tabi tutulmadan önce bu kum numunesinden bir kısmı mikroskopla incelenmiştir. Asit deneyinden sonra da mikroskop ile incelenen kum numunesinde kayda değer çatlamlar görülmemiştir.

Tablo 3.1'de de görüldüğü gibi elimizdeki kumu bir haftalık, asite tabi tutmamız neticesinde ortalama % 2' lik kayıp söz konusudur. Bu değer % 5'den daha küçük bir değer olduğundan elimizde bulunan kumun özellikleri filtrede kullanılabilecek kumun özellikleri ile uyuşmaktadır.

3.4. Kumun Özgül Ağırlığının Bulunması

Öncelikle piknometre kabı saf suyla yıkayıp 105 °C' de kurutulmuştur. Boş haldeki kabın darası (W) alınmıştır. Boş olan bu kaptaki işaretli yere kadar saf su doldurulup tartılmıştır (R). Su boşaltılarak kap tekrar 105 °C'de kurutulmuştur. Sonra belli bir miktarda kum tanesi alınarak kaba konmuş ve tartılmıştır (P). Kum tanelerinin doldurulduğu kap su ile işaretli olan yere kadar doldurulup tartılmıştır (B). Yapılan işlemler sonucunda aşağıdaki neticeler elde edilmiştir.

$$W=24,443 \text{ gr}$$

$$R= 73,910 \text{ gr}$$

$$P= 25,922 \text{ gr}$$

$$B= 74,831 \text{ gr}$$

Akışkan olmayan bir maddenin özgül ağırlığı aşağıdaki formülle bulunabilir.

$$d = \frac{W-P}{(R-W)-(B-P)} \quad (3.1)$$

$$d = \frac{25,922 - 24,443}{49,467 - (74,831 - 25,922)} = 2,65 \text{ g/cm}^3$$

Böylece, kullanacağımız kumun özgül ağırlığı belirlenmiştir.

3.5. Kumun Çökelme Hızının ve Küresellik Katsayısının Tayini

1,19 mm çapındaki elekten geçip 0,841 mm çapındaki elekte kalan kum nümunesinden 30 adet kum danesi alınmıştır. Daha sonra bu kum daneleri teker teker, içi suyla dolu 95 cm yüksekliğine sahip silindir şeklindeki bir kolondan suyun içine serbest çökelmeye bırakılmıştır. Herbir kum danesinin, kolonun tabanına ulaşma süreleri not edilmiştir.

Bütün kum numunelerinin ortalama çökelme zamanları alınmış ve daha sonrada çökelme hızı bulunmuştur.

$$\Sigma t = 164 \text{ sn}$$

$$\text{Ortalama zaman, } t = \frac{\Sigma t}{30} \Rightarrow \frac{164}{30} = 5.47 \text{ sn}$$

$$\text{Çökelme hızı, } V_s = \frac{H}{t} \Rightarrow \frac{95}{5.47} = 17.37 \text{ cm/sn}$$

Tablo 3.2. Kum Danelerinin Çökelme Süreleri

Numune No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zaman (sn)	5	6	5	5	6	8	6	4	6	5
Numune No	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Zaman (sn)	7	6	6	6	5	5	6	5	5	6
Numune No	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Zaman (sn)	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5

Öncelikle V_s hızıyla çökelen dane için Stokes kanununun geçerli olduğu kabul edilsin. Buna göre çökme hızı,

$$\bar{V}_s = \frac{g}{18} \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) \frac{d_h^2}{\nu} \quad (3.2)$$

Sıcaklık 25°C için $\nu = 8.98 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sn}$

$$d_h^2 = \frac{18 V_s \nu}{g \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)} = \frac{18 \times 17.37 \times 8.98 \times 10^{-3}}{981 \left(\frac{265}{1.0} - 1 \right)} = 1.735 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$$

$$d_h = 0.042 \text{ cm}$$

$$Re = \frac{V_s d_h}{\nu} = \frac{17.37 \times 0.042}{8.98 \times 10^{-3}} = 80.57 > 0.2$$

olduğundan Stokes kanunu geçerli değildir.

$0.5 < Re < 10^3$ aralığındaki direnç katsayısı;

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{Re} + 0.34 \quad (3.3)$$

formülü ile hesaplanır (Muslu, 1974).

Bu takdirde çökme hızı;

$$V_s = \sqrt{\left(\frac{4}{3} \frac{g}{C_D} \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) d_h \right)} \quad (3.4)$$

olur.

$d_h = 0.096 \text{ cm}$ kabul edelim.

$$Re = \frac{V_s d_h}{\nu} = \frac{17.37 \times 0.096}{8.98 \times 10^{-3}} = 185.69$$

$$\bar{C}_D = \frac{24}{185.69} + \frac{3}{\sqrt{185.69}} + 0.34 = 0.689$$

$$V_s = \sqrt{\left(\frac{4}{3} \frac{981}{0.689} \left(\frac{265}{1.0} - 1 \right) 0.096 \right)} = 17.33 \text{ cm/sn}$$

Oyleyse seçilen d_h çapı uygundur.

$$d_{elek} = \frac{1.19 + 0.841}{2} = 1.0155 \text{ mm}$$

olduğuna göre şekil faktörü;

$$\phi_c = \frac{d_h}{d_{elek}} = \frac{0.96}{1.0155} = 0.945$$

gibi oldukça iyi bir değer bulunur.

3.6. Porozite Tayini

Kum, filtre kolonuna doldurulmadan önce kuru ağırlığı tartılmıştır. Daha sonra, içi suyla dolu filtre kolonuna L yatak kalınlığı kadar kum doldurulmuştur. Derin yataklı filtre kolonunun çapı belli olduğundan kumun doldurulduğu hacim hesaplanmıştır. Daha önceden yapılmış olan deney sonucunda kumun özgül ağırlığı (γ_s) 2650 kg/ m³ bulunmuştur.

Filtrenin hacmi

$$V = \frac{\pi D^2}{4} h = A L \quad (3.5)$$

Kolondaki kumun hacmi

$$V_k = (1 - \epsilon_0) A L \quad (3.6)$$

şeklindedir.

Aynı sonucu, tarttığımız kumun kuru ağırlığını kumun özgül ağırlığına bölerekte bulabilmek mümkündür.

$$V_k = \frac{G_k}{\gamma_s} \quad (3.7)$$

Bu denklemle bulunan V_k değeri, üstteki ifadede yerine yazılıp tek bilinmeyenli denkleme dönüştürülür. Buradan ϵ_0 'yi çekilip porozite tayin edilebilir.

Şimdi bir misalle yukarda anlatılanları açıklayalım. 4 nolu akışta yatak kalınlığı L. 75 cm ve bu yatak kalınlığını dolduran kumun ağırlığı da 9.695 kg olarak tartılmıştır.

$$V_k = \frac{9.695}{2650} = 3.658 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

(3.6) nolu denklemde yerine koyulduğunda,

$$3.658 \times 10^{-3} = (1 - \epsilon_0) \frac{\pi D^2}{4} L$$

$$3.658 \times 10^{-3} = (1 - \epsilon_0) \frac{\pi (0.10)^2}{4} 0.75$$

$$\epsilon_0 = 0.379$$

değeri elde edilmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deneyisel Çalışmada İzlenecek Metod

Bu çalışmada, 330 litre hacimli 2 adet su haznesi kullanılmıştır. 1 nolu hazne saf suyla doldurulmuş ve belli bir miktarda $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ bu suyun üzerine eklenmiştir. Her iki hazneye yerleştirilen karıştırıcılar yardımıyla konsantrasyonun homojenliği sağlanmıştır. Elde edilen sentetik su, 1 mm çaplı silis kumuyla doldurulmuş derin yataklı filtre kolonundan dört farklı deney çalışması için geçirilmiştir. 1 ve 2 nolu deneyde kullanılan yatak yüksekliği 50 cm, yaklaşım hızı sırasıyla 0.193 ve 0.378 cm/s, 3 ve 4 nolu deneyde kullanılan yatak yüksekliği 75 cm, yaklaşım hızı sırasıyla 0.193 ve 378 cm/s dir. Bunun gayesi aynı yatak yüksekliklerinde fakat farklı yaklaşım hızlarındaki yük kaybı ve birikinti değişimlerini gözlemleyebilmektir.

1 nolu hazneden 100 ml hacminde numune, toplam katı madde tayini için alınmıştır. Ayrıca atomik absorpsiyon spektrofotometresinde de demir konsantrasyonu okunmuştur. Kaydedilen bu konsantrasyonlar T=0 anındaki konsantrasyonlar olup C_0 ile gösterilmiştir.

Filtre kolonundan geçirilen atıksu 2 nolu çıkış haznesinde biriktirilmiştir. Belli zaman aralıklarında deney düzeneğinde mevcut olan manometreler yardımıyla yük kayıpları okunmuştur. Aynı zaman aralıklarında giriş ve çıkış haznelerindeki su hacimleri okunmuş ve numuneler alınarak toplam katı madde tayini ile demir konsantrasyonları ölçülmüştür. Aynı zamanda 1 ve 2 nolu haznelerde ölçülen toplam katı madde konsantrasyonları 'mg/L' cinsinden hesaplanmıştır. Giriş haznesindeki madde konsantrasyonu eksilen su hacmiyle, çıkış haznesindeki madde konsantrasyonu da biriken su hacmiyle çarpılıp farkı alınmış ve filtre kolonunda biriken madde 'gr' cinsinden bulunmuştur. Hesaplanan birikinti miktarı toplam yatak hacmine bölünmüş ve 'gr/cm³' cinsinden absolut spesifik birikinti miktarı bulunmuştur.

Yukarda prensibi anlatılan deneysel çalışmalarda, zamana bağılı olarak yük kaybı ve absolut spesifik birikinti değerleri bulunmuştur. Buna karşılık deneysel çalışmalarda zamana bağılı olarak porozite, dane çapı, ve bulk spesifik birikinti değişimlerinin bulunması imkansızdır. Şekerdağ (1997), teorik olarak yük kaybı, bulk spesifik birikinti, porozite dane çapı ve Reynoulds sayısındaki değişimleri bilgisayar programı yardımıyla hesaplamıştır. Yük kaybı değerleri dikkate alınarak her iki çalışma birleştirilmiştir. Böylece herhangi bir zamandaki yük kaybı, absolut spesifik birikinti, bulk spesifik birikinti, porozite ve Reynould sayısı belirlenmiştir. Daha sonra, deneysel olarak bulunan absolut spesifik birikinti ve bilgisayar programıyla hesaplanan bulk spesifik birikinti arasındaki ilişki grafikleştirilmiştir.

Bilgisayar programı Ergun, Kozeny-Carman ve Camp denklemlerine uygulanmış ve en uygun denklem bulunmuştur.

4.2 Deneysel Sonuçlar

Deneysel çalışmalar, dört farklı durum için yapılmıştır. 1 nolu deneysel çalışmada, yatak yüksekliği 0,50 m, filtre hızı 0,378 cm/s, temiz yatak porozitesi 0,370, temiz yatak dane çapı 1,0 mm ve giriş tankındaki toplam katı madde konsantrasyonu 150 mg/L alınmıştır. 1 nolu deney sonuçları Tablo 4.1' de sunulmuştur.

Tablo 4.1'de sembolik olarak gösterilen, C^0 giriş tankındaki demir konsantrasyonunu, C^* çıkış tankındaki demir konsantrasyonunu, h_k yük kaybını, V_1 çıkış tankındaki su hacmini, M_g filtre girişindeki madde miktarını, M_c filtre çıkışındaki madde miktarını, M_f filtre ortamında biriken madde miktarını ve σ_a da deneysel olarak hesaplanan absolut spesifik birikintiyi ifade etmektedir.

Tablo 4.1'de gösterilen sonuçların nasıl elde edildiğini göstermek amacıyla, 30 dakikalık filtrasyon süresine karşılık gelen değerler dikkate alınsın. 30 dakika sonunda, yük kaybı manometrelerden 24,0 cm okunarak 2. kolona yazılmıştır. Filtre girişindeki toplam katı madde konsantrasyonu 150 mg/L iken demir konsantrasyonu 45 mg/L ve çıkış suyunun toplam

katı madde konsantrasyonu da 22,5 mg/L iken demir konsantrasyonu 1,78 mg/L olarak tayin edilmiştir. Tayin edilen çıkış suyu toplam katı madde konsantrasyonu da 4. kolona demir konsantrasyonu da 3. kolona yazılmıştır. Filtreden geçirilen suyun hacmi, çıkış suyunun toplandığı çıkış suyu tankından ölçülmüş ve 47,97 L olarak elde edilmiş ve 5. kolona yazılmıştır. Buna göre filtreye giren toplam madde miktarı (M_g),

$$M_g = C_0 \cdot V_1 = 150 \cdot 47,97 = 7,675 \text{ gr}$$

bulunmuştur. Elde edilen değer 6. kolona yazılmıştır. Aynı şekilde çıkış tankındaki toplam katı madde miktarı ($M_ç$),

$$M_ç = C \cdot V_1 = 22,5 \cdot 47,97 = 1,080 \text{ gr}$$

Tablo 4.1. 1 nolu Deney Sonuçları

$L_0 = 0,50 \text{ m}$ $v = 0,378 \text{ cm/s}$ $\varepsilon_0 = 0,370$ $d_0 = 1 \text{ mm}$ $T = 25^\circ\text{C}$ $C_0^* = 45 \text{ mg/L}$ $C_0 = 150 \text{ mg/L}$								
Zaman	h_k	C^*	C	V_1	M_g	$M_ç$	M_f	σ_a
dk	cm	mg/L	mg/L	L	gr	gr	gr	gr/cm ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	12,0	---	---	---	---	---	---	---
30	24,0	1,78	22,5	47,97	7,675	1,080	6,595	0,0017
60	32,5	1,32	21,17	95,94	14,391	2,031	12,360	0,0031
90	42,0	1,45	17,77	141,57	21,236	2,516	18,720	0,0048
120	56,5	1,78	17,27	187,79	28,169	3,244	24,925	0,0063
150	68,0	2,45	23,31	233,76	35,064	5,449	29,615	0,0075
180	84,5	3,20	26,76	281,97	42,296	7,546	34,750	0,0088
195	90,0	3,55	29,18	304,20	45,630	8,877	36,753	0,0094



bulunmuş ve 7. kolona yazılmıştır. Filtrede kalan madde miktarı (M_f),

$$M_f = M_g - M_c = 7,675 - 1,080 = 6,595 \text{ gr}$$

olarak bulunmuş ve elde edilen değer 8. kolona yazılmıştır. Absolut spesifik birikinti (σ_a), birim filtre hacminde biriken toplam madde miktarı olduğundan, filtrede biriken toplam katı maddenin toplam yatak hacmine bölünmesiyle bulunabilir. Öncelikle toplam yatak hacmi,

$$V = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{\pi (10)^2}{4} 50 = 3927 \text{ cm}^3$$

bulunarak absolut spesifik birikinti (σ_a),

$$\sigma_a = \frac{M_f}{V} = \frac{6,595}{3927} = 0,0017 \text{ gr/cm}^3$$

hesaplanmış ve elde edilen değer 9. kolona yazılmıştır. Böylece 1 nolu deney serisinde 30 dakikalık filtrasyon süresi sonunda filtre ortamında meydana gelen yük kaybı ve absolut spesifik birikinti değerleri bulunmuş olur. Diğer filtrasyon süreleri için de aynı işlemler uygulanmıştır.

2 nolu deneysel çalışmada, yatak yüksekliği 0,75 m, filtre hızı 0,378 cm/s, temiz yatak porozitesi 0,379, temiz yatak dane çapı 1,0 mm ve filtre girişindeki toplam katı madde konsantrasyonu 165 mg/L alınmıştır. 2 nolu deney sonuçları Tablo 4.2' de sunulmuştur.

Tablo 4.2. 2 nolu Deney Sonuçları

$L_0 = 0,75 \text{ m}$ $v = 0,378 \text{ cm/s}$ $\varepsilon_0 = 0,379$ $d_0 = 1 \text{ mm}$ $T = 25^\circ\text{C}$ $C_0^* = 45 \text{ mg/L}$ $C_0 = 165 \text{ mg/L}$								
Zaman	h_k	C^*	C	V_1	M_g	M_ϕ	M_f	σ_a
dk	cm	mg/L	mg/L	L	gr	gr	gr	gr/cm ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	18,0	---	---	---	---	---	---	---
30	29,5	1,30	23,96	45,95	7,582	1,101	6,481	0,0011
60	40,0	0,90	18,44	90,27	14,895	1,665	13,230	0,0022
90	49,0	0,80	13,59	136,06	22,450	1,850	20,600	0,0035
120	60,5	0,66	11,35	182,10	30,047	2,067	27,980	0,0048
150	71,0	0,60	16,83	228,45	37,694	3,844	33,850	0,0057
180	85,0	0,70	16,17	275,01	45,377	4,447	40,930	0,0069
195	96,0	0,80	17,59	297,87	49,149	5,239	43,910	0,0075
210	104,5	0,80	19,07	322,95	53,287	6,160	47,127	0,0080

3 nolu deneysel çalışmada, yatak yüksekliği 0,50 m, filtre hızı 0,193 cm/s, temiz yatak porozitesi 0,363, temiz yatak dane çapı 1,0 mm ve filtre giriş konsantrasyonu 175 mg/L alınmıştır. 3 nolu deney sonuçları da Tablo 4.3' de sunulmuştur.

Tablo 4.3. 3 nolu Deney Sonuçları

$L_0 = 0,50 \text{ m}$ $v = 0,193 \text{ cm/s}$ $e_0 = 0,363$ $d_0 = 1 \text{ mm}$ $T = 25^\circ\text{C}$ $C_0^* = 45 \text{ mg/L}$ $C_0 = 175 \text{ mg/L}$								
Zaman	h_k	C^*	C	V_1	M_g	M_φ	M_f	σ_a
dk	cm	mg/L	mg/L	L	gr	gr	gr	gr/cm ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	12,0	---	---	---	---	---	---	---
30	14,0	0,90	3,04	26,325	4,607	0,080	4,527	0,0012
60	19,0	1,00	2,80	53,820	9,419	0,150	9,269	0,0024
90	26,7	0,80	1,99	82,900	14,508	0,165	14,343	0,0037
120	33,5	0,80	3,33	108,810	19,042	0,362	18,687	0,0048
150	40,6	0,72	5,84	138,060	24,161	0,806	23,355	0,0059
180	46,0	0,70	16,16	164,385	28,767	2,657	26,110	0,0066
210	53,9	0,80	22,10	192,465	33,681	4,426	29,255	0,0074
240	62,1	1,00	25,15	218,790	38,288	5,503	32,785	0,0083
270	70,0	1,10	28,13	244,530	42,793	6,878	35,913	0,0091
300	78,0	1,20	30,00	270,270	47,298	8,111	39,187	0,0100
330	89,0	1,45	32,20	298,935	52,314	9,626	42,688	0,0109

4 nolu deneysel çalışmada, yatak yüksekliği 0,75 m, filtre hızı 0,193 cm/s, temiz yatak dane çapı 1,0 mm ve toplam katı madde konsantrasyonu 175 mg/L alınmıştır. 4 nolu deney sonuçları Tablo 4.4' de sunulmuştur. Deneysel çalışmaların yapıldığı ortamın sıcaklığı 25 °C' dir.

Tablo 4.4. 4 nolu Deney Sonuçları

$L_0 = 0,75 \text{ m}$ $v = 0,193 \text{ cm/s}$ $\varepsilon_0 = 0,378$ $d_0 = 1 \text{ mm}$ $T = 25^\circ\text{C}$ $C_0^* = 45 \text{ mg/L}$ $C_0 = 175 \text{ mg/L}$								
Zaman	h_k	C^*	C	V_1	M_g	M_g	M_f	σ_a
dk	cm	mg/L	mg/L	L	gr	gr	gr	gr/cm ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	18,0	---	---	---	---	---	---	---
30	22,0	0,70	11,7	26,225	4,721	0,306	4,415	0,0007
60	28,5	0,50	5,94	54,620	9,832	0,322	9,510	0,0016
90	35,0	0,30	4,10	82,100	14,778	0,337	14,441	0,0025
120	43,5	0,40	3,15	108,970	19,518	0,345	19,173	0,0033
150	52,5	0,50	2,65	135,120	24,322	0,358	23,964	0,0041
180	63,0	0,66	3,20	162,800	29,484	0,524	28,960	0,0049
210	72,5	0,73	5,70	190,320	34,258	1,085	33,173	0,0056
240	84,0	0,80	7,85	220,200	39,636	1,729	37,907	0,0064
270	94,0	0,95	10,55	244,530	44,015	2,580	41,435	0,0070
300	105,5	1,10	15,63	272,330	49,019	4,257	44,762	0,0076
330	117,0	1,30	22,30	301,200	54,212	6,720	47,792	0,0081

5. TEORİK VE DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Birçok araştırmacı (Ergun, Kozeny-Carman, Camp vb.), belli bir dane çapı ve poroziteye sahip temiz bir filtre ortamında yük kaybını veren çeşitli denklemler sunmuşlardır. Oysa filtrasyon işlemi başladıktan sonra, filtre ortamında zamanla madde birikmeye başlar. Buna karşılık porozite ve dane çapı da değişir. Filtrasyon esnasında, herhangi bir anda porozite ve dane çapında meydana gelen değişimler bilinmediğinden, o andaki yük kaybı hesaplanamaz. Bu nedenle, filtrasyon esnasında sözü edilen denklemlerin geçerliliği mümkün değildir. Fakat Şekerdağ (1997), yapmış olduğu bilgisayar programıyla, nümerik olarak dane çapı ve birikinti değişimlerini hesaplamıştır. Küresel bir filtre malzeme yığnında, d_0 dane çapı, Δd kadar nümerik olarak arttırılmış ve her artış sonundaki yeni dane çapı, buna karşılık yeni porozite ve bulk spesifik birikinti değişimi hesaplanmıştır. Dolayısıyla herhangi bir t anındaki porozite ve dane çapı bilineceğinden dolayı, yukarda sözü edilen formüller kullanılarak t anındaki yük kayıpları bulunmuştur. Ergun, Kozeny-Carman ve Camp'in yük kaybı denklemleri esas alınarak yapılan bilgisayar programıyla hesaplanan parametre değerleri, ayrı ayrı, deneysel olarak bulunan parametre değerleriyle birleştirildiğinde, zamana bağlı olarak yük kaybı, porozite, dane çapı, bulk spesifik birikinti, absolut spesifik birikinti ve Reynould sayısındaki değişimleri elde etmek mümkün olmuştur.

Bilgisayar programında yük kaybı için Ergun denklemi esas alınarak hesaplanan değerlerin deneysel verilerle karşılaştırılması Tablo 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4' de sunulmuştur. Bilgisayar programında Kozeny-Carman denklemi esas alınarak hesaplanan değerler Tablo 5.5, 5.6, 5.7 ve 5.8' de, Bilgisayar programında Camp denklemi esas alınarak hesaplanan değerler de Tablo 5.9, 5.10, 5.11 ve 5.12' de sunulmuştur.

Tablo 5.1. Bilgisayar programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Ergun Denklemi Esas Alınmıştır)

$L_0 = 0,50 \text{ m}$ $v = 0,378 \text{ cm/s}$ $\varepsilon_0 = 0,370$ $d_0 = 1 \text{ mm}$ $C_0^* = 45 \text{ mg/L}$ $C_0 = 150 \text{ mg/L}$ $T = 25^\circ\text{C}$							
Deneysel Çalışma			Teorik Çalışma				
	h_k	σ_a	h_k	σ_b	ε	$d + \Delta d$	R_e
dk	cm	gr/cm ³	cm	cm ³ /cm ³	--	cm	
0	12,0				0,370	0,100	
30	24,0	0,0017	24,5	0,009	0,361	0,101	9,018
60	32,5	0,0031	32,8	0,037	0,333	0,102	9,312
90	42,0	0,0048	42,5	0,059	0,312	0,103	9,585
120	56,5	0,0063	56,9	0,083	0,289	0,104	9,890
150	68,0	0,0075	67,4	0,098	0,271	0,105	10,175
180	84,5	0,0088	84,2	0,115	0,255	0,106	10,433
195	90,0	0,0094	90,2	0,120	0,250	0,106	10,550

Tablo 5.1'de, deneysel ve teorik verilerin birleştirilmesi, yük kaybı dikkate alınarak yapılmıştır. Örneğin, deneysel olarak elde edilen 24,0 cm yük kaybına 30 dk sonunda ulaşılmıştır. Bu zaman zarfında absolut spesifik birikinti değeri, deneysel olarak 0,0017 gr/cm³ bulunmuştur. Bilgisayar programıyla yapılan hesaplamalarda ise, 24,0 cm yük kaybı meydana geldiği andaki bulk spesifik birikinti 0,009 cm³/cm³, porozite 0,361, dane çapı 0,101 cm ve Reynould sayısı 9,018 olarak hesaplanmıştır. Daha sonra birbirine karşılık gelen bu değerler tablolarda aynı sütuna yazılmıştır. Tablolarda yer alan diğer sütunlardaki hesaplamalar da aynı şekilde yapılmıştır.

Tablo 5.2. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Ergun Denklemi Esas Alınmıştır)

$L_0 = 0,75 \text{ m}$ $v = 0,378 \text{ cm/s}$ $\varepsilon_0 = 0,379$ $d_0 = 1 \text{ mm}$ $C_0^* = 45 \text{ mg/L}$ $C_0 = 165 \text{ mg/L}$ $T = 25^\circ\text{C}$							
Deneysel Çalışma			Teorik Çalışma				
	h_k	σ_a	h_k	σ_b	ε	$d+\Delta d$	R_e
dk	cm	gr/cm ³		cm ³ /cm ³	—	cm	
0	18,0				0,379	0,100	
30	29,0	0,0011	29,6	0,002	0,377	0,100	8,898
60	40,0	0,0022	40,4	0,028	0,351	0,102	9,164
90	49,0	0,0035	49,7	0,048	0,331	0,102	9,382
120	60,5	0,0048	60,4	0,066	0,313	0,104	9,600
150	71,0	0,0057	71,4	0,080	0,299	0,104	9,791
180	85,0	0,0069	85,0	0,094	0,285	0,105	9,990
195	96,0	0,0075	96,5	0,104	0,275	0,105	10,160
210	104,5	0,0080	104,2	0,110	0,269	0,106	10,265

Tablo 5.3. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Ergun Denklemi Esas Alınmıştır)

$L_0 = 0,75 \text{ m}$ $v = 0,193 \text{ cm/s}$ $\varepsilon_0 = 0,378$ $d_0 = 1 \text{ mm}$ $C_0^* = 45 \text{ mg/L}$ $C_0 = 180 \text{ mg/L}$ $T = 25^\circ\text{C}$							
Deneysel Çalışma			Teorik Çalışma				
	h_k	σ_a	h_k	σ_b	ε	$d+\Delta d$	R_e
dk	cm	gr/cm ³	cm	cm ³ /cm ³	—	cm	
0	18,0					0,100	
30	22,0	0,0007	21,8	0,032	0,346	0,102	4,704
60	28,5	0,0015	28,2	0,056	0,322	0,103	4,843
90	35,0	0,0025	35,5	0,076	0,302	0,104	4,976
120	43,5	0,0033	43,1	0,092	0,286	0,105	5,096
150	52,5	0,0041	52,7	0,107	0,271	0,105	5,220
180	63,0	0,0049	63,0	0,122	0,256	0,106	5,345
210	72,5	0,0056	72,3	0,131	0,247	0,107	5,440
240	84,0	0,0064	84,0	0,142	0,236	0,107	5,547
270	94,0	0,0070	94,7	0,151	0,228	0,107	5,640
300	105,5	0,0076	105,0	0,157	0,221	0,108	5,710
330	117,0	0,0081	116,5	0,164	0,215	0,108	5,792

Tablo 5.4. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Ergun Denklemi Esas Alınmıştır)

$L_0 = 0,50 \text{ m}$ $v = 0,193 \text{ cm/s}$ $\varepsilon_0 = 0,363$ $d_0 = 1 \text{ mm}$ $C_0^* = 45 \text{ mg/L}$ $C_0 = 175 \text{ mg/L}$ $T = 25^\circ\text{C}$							
Deneysel Çalışma			Teorik Çalışma				
	h_k	σ_a	h_k	σ_b	ε	$d+\Delta d$	Re
dk	cm	gr/cm ³	cm	cm ³ /cm ³	—	cm	
0	12,0					0,100	
30	14,0	0,0012	14,5	0,013	0,350	0,101	4,646
60	19,0	0,0024	19,0	0,041	0,322	0,102	4,807
90	26,7	0,0037	26,6	0,069	0,294	0,104	4,998
120	33,5	0,0048	33,5	0,088	0,275	0,104	5,140
150	40,6	0,0059	40,7	0,103	0,261	0,105	5,267
180	46,0	0,0066	46,5	0,112	0,251	0,105	5,360
210	53,9	0,0074	54,0	0,123	0,240	0,106	5,460
240	62,1	0,0083	62,3	0,133	0,230	0,106	5,575
270	70,0	0,0091	70,1	0,141	0,222	0,107	5,658
300	78,0	0,0100	77,8	0,148	0,215	0,107	5,739
330	89,0	0,0109	88,9	0,156	0,207	0,108	5,835

Tablo 5.5. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Kozeny-Carman Denklemi Esas Alınmıştır)

$L_0 = 0,50 \text{ m}$ $v = 0,378 \text{ cm/s}$ $\varepsilon_0 = 0,370$ $d_0 = 1 \text{ mm}$ $C_0^* = 45 \text{ mg/L}$ $C_0 = 150 \text{ mg/L}$ $T = 25^\circ\text{C}$							
Deneysel Çalışma			Teorik Çalışma				
	h_k	σ_a	h_k	σ_b	ε	$d+\Delta d$	Re
dk	cm	gr/cm ³		cm ³ /cm ³	—	cm	
0	12,0				0,370	0,100	
30	24,0	0,0017	24,7	0,002	0,368	0,100	8,942
60	32,5	0,0031	32,3	0,017	0,353	0,101	9,097
90	42,0	0,0048	42,0	0,044	0,326	0,102	9,406
120	56,5	0,0063	56,5	0,068	0,302	0,104	9,716
150	68,0	0,0075	67,8	0,084	0,285	0,104	9,890
180	84,5	0,0088	84,7	0,101	0,269	0,105	10,215
195	90,0	0,0094	89,8	0,106	0,265	0,105	10,285

Tablo 5.6. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Kozeny-Carman Denklemi Esas Alınmıştır)

$L_0 = 0,75 \text{ m}$ $v = 0,378 \text{ cm/s}$ $\varepsilon_0 = 0,379$ $d_0 = 1 \text{ mm}$ $C_0^* = 45 \text{ mg/L}$ $C_0 = 165 \text{ mg/L}$ $T = 25^\circ\text{C}$							
Deneysel Çalışma			Teorik Çalışma				
	h_k	σ_a	h_k	σ_b	ε	$d + \Delta d$	Re
dk	cm	gr/cm ³	cm	cm ³ /cm ³	—	cm	
0	18,0				0,379	0,100	
30	29,0	0,0011	30,5	0,001	0,377	0,100	8,898
60	40,0	0,0022	40,3	0,010	0,368	0,101	8,985
90	49,0	0,0035	49,1	0,030	0,349	0,102	9,190
120	60,5	0,0048	60,8	0,050	0,329	0,102	9,400
150	71,0	0,0057	71,0	0,063	0,316	0,103	9,550
180	85,0	0,0069	85,3	0,079	0,299	0,104	9,760
195	96,0	0,0075	96,2	0,089	0,289	0,105	9,938
210	104,5	0,0080	104,8	0,096	0,283	0,105	10,030

Tablo 5.7. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Kozeny-Carman Denklemi Esas Alınmıştır)

$L_0 = 0,75 \text{ m}$ $v = 0,193 \text{ cm/s}$ $\varepsilon_0 = 0,378$ $d_0 = 1 \text{ mm}$ $C_0^* = 45 \text{ mg/L}$ $C_0 = 180 \text{ mg/L}$ $T = 25^\circ\text{C}$							
Deneysel Çalışma			Teorik Çalışma				
	h_k	σ_a	h_k	σ_b	ε	$d + \Delta d$	Re
dk	cm	gr/cm ³	cm	cm ³ /cm ³	—	cm	
0	18,0					0,100	
30	22,0	0,0007	22,2	0,017	0,361	0,101	4,621
60	28,5	0,0015	28,4	0,040	0,338	0,102	4,748
90	35,0	0,0025	35,3	0,060	0,318	0,103	4,868
120	43,5	0,0033	43,5	0,078	0,300	0,104	4,990
150	52,5	0,0041	52,3	0,092	0,285	0,105	5,100
180	63,0	0,0049	63,4	0,107	0,271	0,105	5,220
210	72,5	0,0056	72,2	0,118	0,260	0,106	5,310
240	84,0	0,0064	84,3	0,129	0,249	0,106	5,419
270	94,0	0,0070	94,1	0,138	0,240	0,107	5,500
300	105,5	0,0076	105,7	0,146	0,232	0,107	5,589
330	117,0	0,0081	117,7	0,153	0,226	0,108	5,660

Tablo 5.8. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Kozeny-Carman Denklemi Esas Alınmıştır)

$L_0 = 0,50 \text{ m}$ $v = 0,193 \text{ cm/s}$ $\varepsilon_0 = 0,363$ $d_0 = 1 \text{ mm}$ $C_0^* = 45 \text{ mg/L}$ $C_0 = 175 \text{ mg/L}$ $T = 25^\circ\text{C}$							
Deneysel Çalışma			Teorik Çalışma				
	h_k	σ_a	h_k	σ_b	ε	$d + \Delta d$	Re
dk	cm	gr/cm ³	cm	cm ³ /cm ³	—	cm	
0	12,0					0,100	
30	14,0	0,0012	14,5	0,002	0,361	0,100	4,584
60	19,0	0,0024	19,3	0,025	0,338	0,101	4,711
90	26,7	0,0037	26,4	0,053	0,310	0,102	4,885
120	33,5	0,0048	33,6	0,073	0,290	0,103	5,029
150	40,6	0,0059	40,8	0,089	0,274	0,104	5,150
180	46,0	0,0066	46,0	0,098	0,265	0,105	5,230
210	53,9	0,0074	54,0	0,110	0,253	0,105	5,344
240	62,1	0,0083	61,9	0,121	0,243	0,106	5,430
270	70,0	0,0091	70,6	0,129	0,234	0,106	5,530
300	78,0	0,0100	78,5	0,136	0,227	0,107	5,600
330	89,0	0,0109	89,0	0,145	0,218	0,107	5,709

Tablo 5.9. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Camp Denklemi Esas Alınmıştır)

$L_0 = 0,50 \text{ m}$ $v = 0,378 \text{ cm/s}$ $\varepsilon_0 = 0,370$ $d_0 = 1 \text{ mm}$ $C_0^* = 45 \text{ mg/L}$ $C_0 = 150 \text{ mg/L}$ $T = 25^\circ\text{C}$							
Deneysel Çalışma			Teorik Çalışma				
	h_k	σ_a	h_k	σ_b	ε	$d + \Delta d$	Re
dk	cm	gr/cm ³		cm ³ /cm ³	—	cm	
0	12,0				0,370	0,100	
30	24,0	0,0017					
60	32,5	0,0031	32,4	0,002	0,368	0,100	8,942
90	42,0	0,0048	41,9	0,027	0,343	0,101	9,200
120	56,5	0,0063	56,5	0,052	0,318	0,103	9,504
150	68,0	0,0075	67,8	0,068	0,302	0,104	9,716
180	84,5	0,0088	84,5	0,087	0,283	0,105	10,050
195	90,0	0,0094	90,1	0,093	0,277	0,105	10,079

Tablo 5.10. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Camp Denklemini Esas Alınmıştır)

$L_0 = 0,75 \text{ m}$ $v = 0,378 \text{ cm/s}$ $\varepsilon_0 = 0,379$ $d_0 = 1 \text{ mm}$ $C_0^* = 45 \text{ mg/L}$ $C_0 = 165 \text{ mg/L}$ $T = 25^\circ\text{C}$							
Deneysel Çalışma			Teorik Çalışma				
	h_k	σ_a	h_k	σ_b	ε	$d+\Delta d$	Re
dk	cm	gr/cm ³	cm	cm ³ /cm ³	—	cm	
0	18,0				0,379	0,100	
30	29,0	0,0011					
60	40,0	0,0022	40,3	0,002	0,377	0,100	8,898
90	49,0	0,0035	48,8	0,013	0,366	0,101	9,007
120	60,5	0,0048	60,4	0,032	0,347	0,102	9,206
150	71,0	0,0057	71,4	0,048	0,331	0,102	9,382
180	85,0	0,0069	84,7	0,064	0,315	0,103	9,577
195	96,0	0,0075	96,0	0,075	0,305	0,104	9,720
210	104,5	0,0080	105,0	0,082	0,297	0,104	9,810

Tablo 5.11. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Camp Denklemini Esas Alınmıştır)

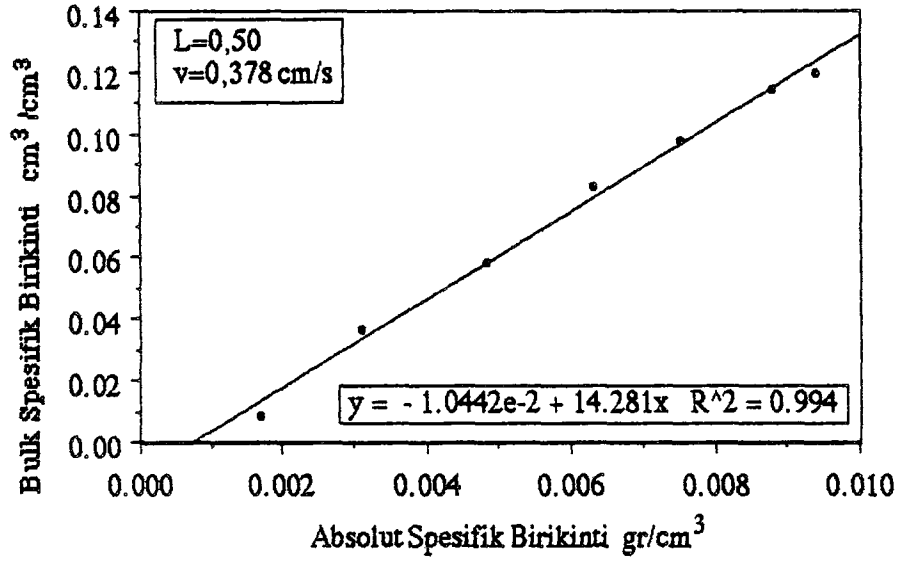
$L_0 = 0,75 \text{ m}$ $v = 0,193 \text{ cm/s}$ $\varepsilon_0 = 0,378$ $d_0 = 1 \text{ mm}$ $C_0^* = 45 \text{ mg/L}$ $C_0 = 180 \text{ mg/L}$ $T = 25^\circ\text{C}$							
Deneysel Çalışma			Teorik Çalışma				
	h_k	σ_a	h_k	σ_b	ε	$d+\Delta d$	Re
dk	cm	gr/cm ³	cm	cm ³ /cm ³	—	cm	
0	18,0					0,100	
30	22,0	0,0007	22,7	0,002	0,376	0,100	4,545
60	28,5	0,0015	28,7	0,025	0,353	0,101	4,661
90	35,0	0,0025	35,3	0,044	0,334	0,102	4,771
120	43,5	0,0033	43,4	0,063	0,315	0,103	4,890
150	52,5	0,0041	52,5	0,079	0,299	0,104	5,000
180	63,0	0,0049	63,4	0,094	0,284	0,105	5,106
210	72,5	0,0056	72,2	0,105	0,273	0,105	5,200
240	84,0	0,0064	84,1	0,117	0,261	0,106	5,301
270	94,0	0,0070	94,2	0,124	0,254	0,106	5,370
300	105,5	0,0076	105,6	0,134	0,245	0,107	5,460
330	117,0	0,0081	117,0	0,140	0,238	0,107	5,520

Tablo 5.12. Bilgisayar Programıyla Elde Edilen Verilerin Deneysel Verilere Uyarlanması (Camp Denklemi Esas Alınmıştır)

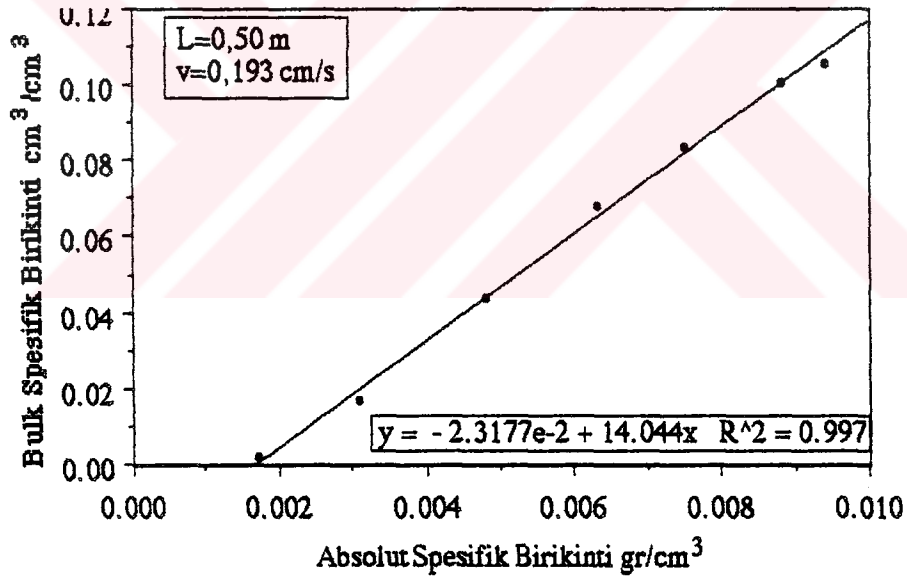
$L_0 = 0,50 \text{ m}$ $v = 0,193 \text{ cm/s}$ $\varepsilon_0 = 0,363$ $d_0 = 1 \text{ mm}$ $C_0^* = 45 \text{ mg/L}$ $C_0 = 175 \text{ mg/L}$ $T = 25^\circ\text{C}$							
Deneysel Çalışma			Teorik Çalışma				
	h_k	σ_a	h_k	σ_b	ε	$d + \Delta d$	R_e
dk	cm	gr/cm ³	cm	cm ³ /cm ³	—	cm	
0	12,0					0,100	
30	14,0	0,0012					
60	19,0	0,0024	19,4	0,010	0,353	0,101	4,625
90	26,7	0,0037	26,2	0,037	0,326	0,102	4,782
120	33,5	0,0048	33,5	0,059	0,304	0,103	4,930
150	40,6	0,0059	40,7	0,073	0,290	0,104	5,029
180	46,0	0,0066	46,6	0,086	0,277	0,104	5,125
210	53,9	0,0074	53,7	0,097	0,266	0,105	5,220
240	62,1	0,0083	62,0	0,108	0,254	0,105	5,330
270	70,0	0,0091	70,2	0,117	0,246	0,106	5,408
300	78,0	0,0100	77,7	0,125	0,238	0,106	5,480
330	89,0	0,0109	88,8	0,134	0,229	0,107	5,575

En uygun denklemin elde edilebilmesi için Kozeny-Carman, Ergun ve Camp denklemleri esas alınarak tablolarda gösterilen absolut spesifik birikinti ile bulk spesifik birikinti arasında korelasyon uygulanmıştır.

Şekil 5.1'de görüldüğü gibi, 1 nolu deney serisinde elde edilen absolut spesifik birikinti değerleri ile bilgisayar programından, Ergun yük kaybı denklemi esas alınarak, elde edilen bulk spesifik birikinti değerleri arasında korelasyon katsayısı $R^2 = 0,994$ olarak bulunmuştur.

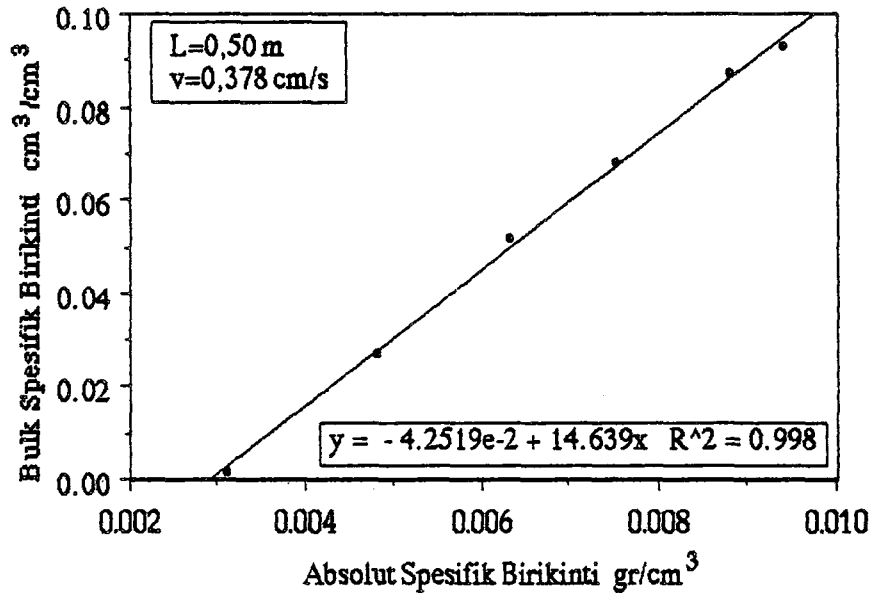


Şekil 5.1. Bilgisayar Programına Ergun Denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi



Şekil 5.2. Bilgisayar Programına Kozeny-Carman Denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi

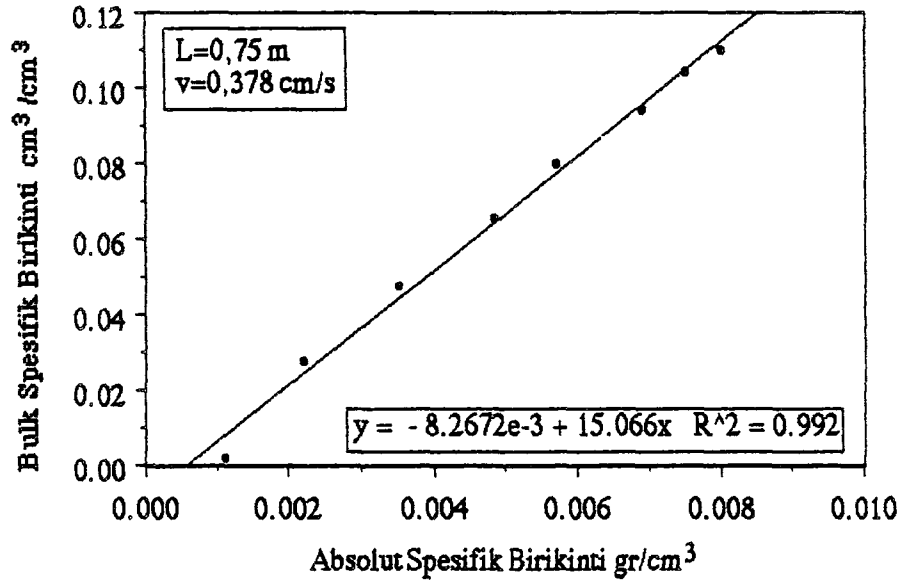
Şekil 5.2'de görüldüğü gibi, 1 nolu deney serisinde elde edilen absolut spesifik birikinti değerleri ile bilgisayar programından, Kozeny-Carman yük kaybı denklemi esas alınarak, elde edilen bulk spesifik birikinti değerleri arasında korelasyon katsayısı $R^2=0,997$ olarak bulunmuştur.



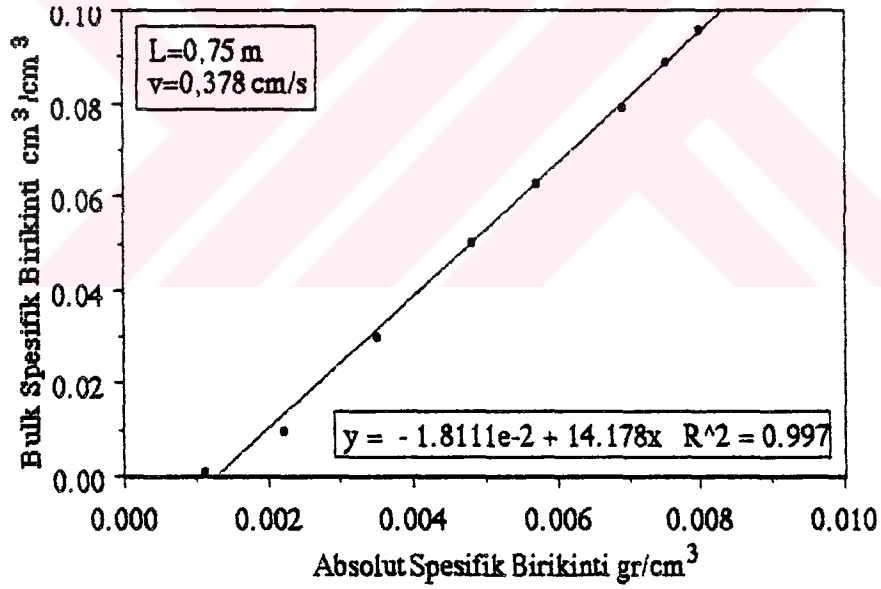
Şekil 5.3. Bilgisayar Programına Camp Denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi

Şekil 5.3'de görüldüğü gibi, 1 nolu deney serisinde elde edilen absolut spesifik birikinti değerleri ile bilgisayar programından, Camp'in yük kaybı denklemi esas alınarak, elde edilen bulk spesifik birikinti değerleri arasında korelasyon katsayısı $R^2=0,998$ olarak bulunmuştur.

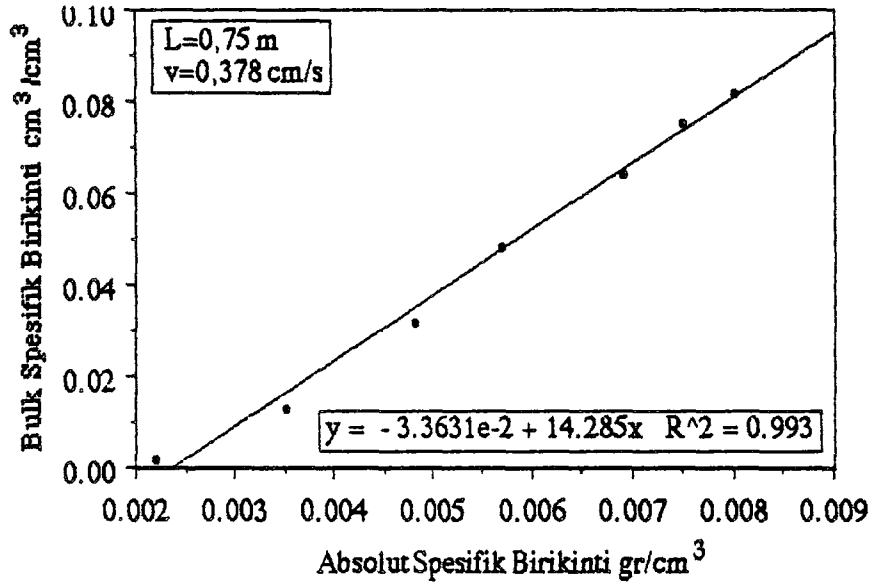
Şekil 5.4'de görüldüğü gibi, 2 nolu deney serisinde elde edilen absolut spesifik birikinti değerleri ile bilgisayar programından, Ergun'nun yük kaybı denklemi esas alınarak, elde edilen bulk spesifik birikinti değerleri arasında korelasyon katsayısı $R^2=0,992$, Şekil 5.5' de görüldüğü gibi Kozeny-Carman denklemi esas alınarak hesaplanan korelasyon katsayısı $R^2=0,997$, Şekil 5.6' da görüldüğü gibi Camp denklemi esas alınarak hesaplanan korelasyon katsayısı $R^2=0,993$ olarak bulunmuştur.



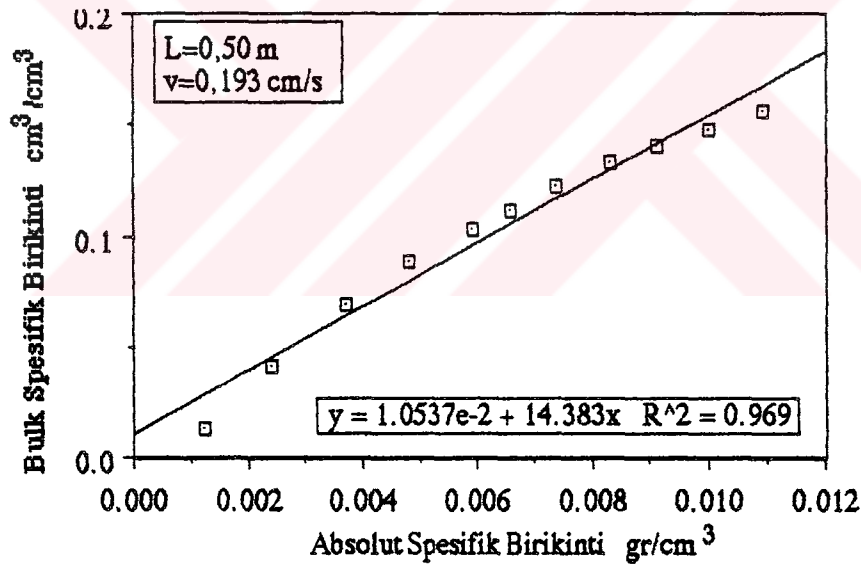
Şekil 5.4. Bilgisayar Programına Ergun Denklemini Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi



Şekil 5.5. Bilgisayar Programına Kozeny-Carman Denklemini Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi



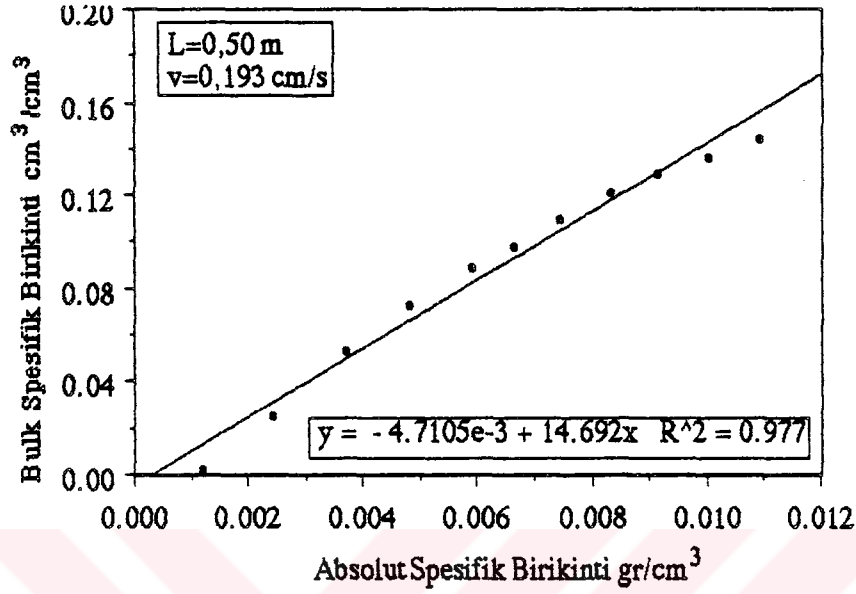
Şekil 5.6. Bilgisayar Programına Camp Denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi



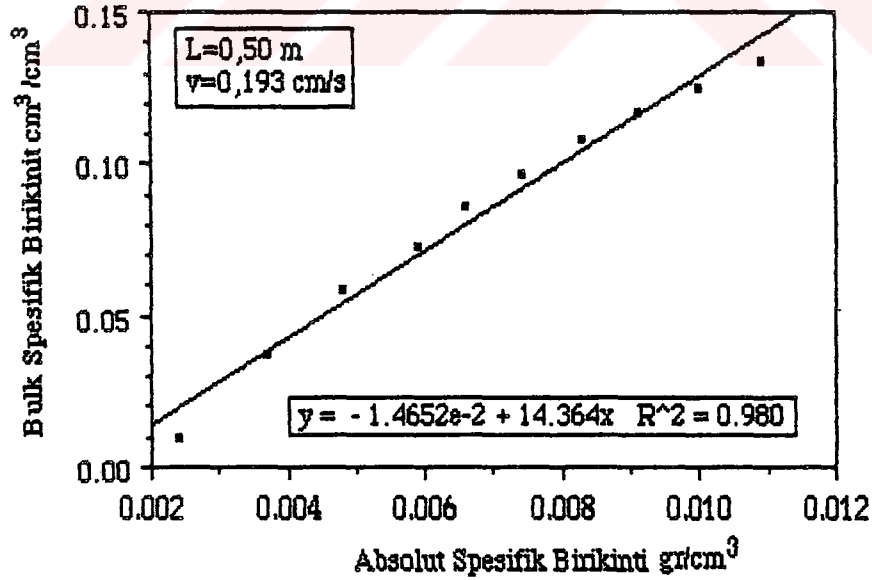
Şekil 5.7. Bilgisayar Programına Ergun denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi

Şekil 5.7'de görüldüğü gibi, 3 nolu deney serisinde elde edilen absulut spesifik birikinti değerleri ile bilgisayar programından, Ergun'nun yük kaybı denklemi esas alınarak, elde edilen bulk spesifik birikinti değerleri arasında korelasyon katsayısı $R^2=0,969$, Şekil 5.8' de görüldüğü gibi Kozeny-Carman denklemi esas alınarak hesaplanan korelasyon katsayısı

$R^2=0,977$, Şekil 5.9' da görüldüğü gibi Camp denklemi esas alınarak hesaplanan korelasyon katsayısı $R^2=0,980$ olarak bulunmuştur.

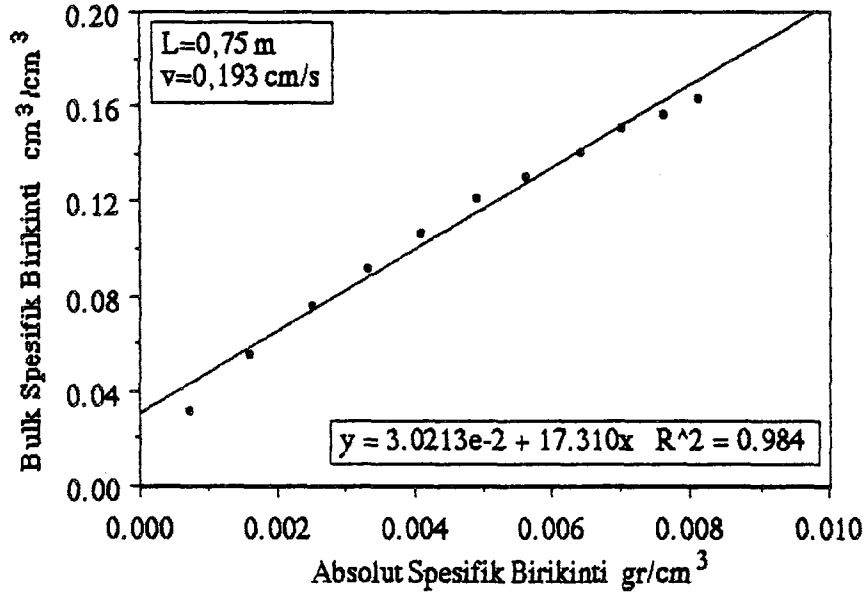


Şekil 5.8. Bilgisayar Programına Kozeny-Carman Denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi



Şekil 5.9. Bilgisayar Programına Camp Denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi

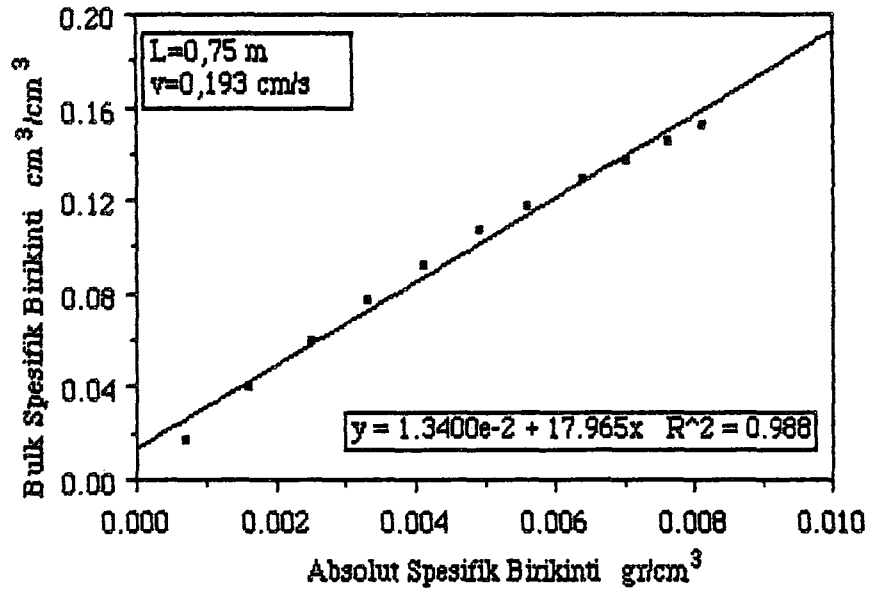




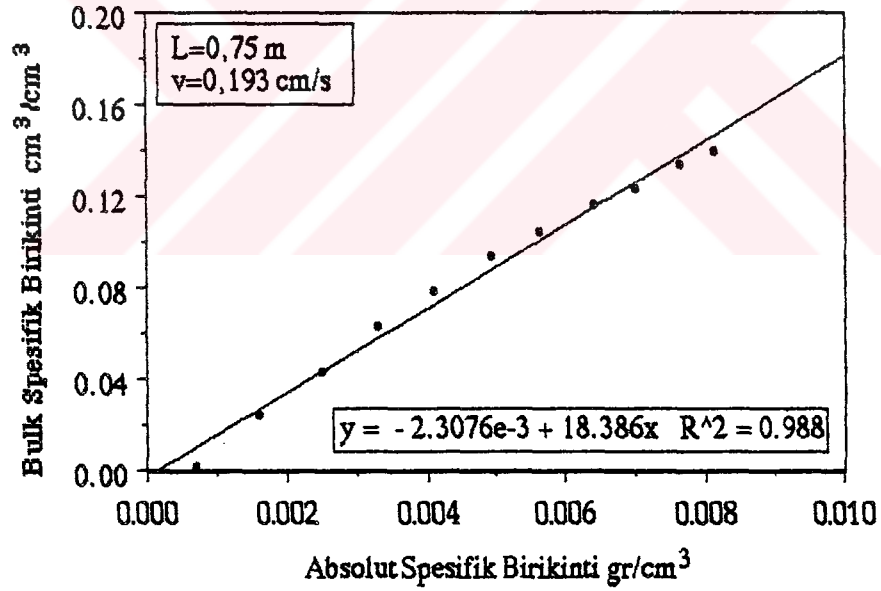
Şekil 5.10. Bilgisayar Programına Ergun Denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi

Şekil 5.10'da görüldüğü gibi, 4 nolu deney serisinde elde edilen absolut spesifik birikinti değerleri ile bilgisayar programından, Ergun'nun yük kaybı denklemi esas alınarak, elde edilen bulk spesifik birikinti değerleri arasında korelasyon katsayısı $R^2=0,984$, Şekil 5.11' de görüldüğü gibi Kozeny-Carman denklemi esas alınarak hesaplanan korelasyon katsayısı $R^2=0,988$, Şekil 5.12' de görüldüğü gibi Camp denklemi esas alınarak hesaplanan korelasyon katsayısı $R^2=0,988$ olarak bulunmuştur.





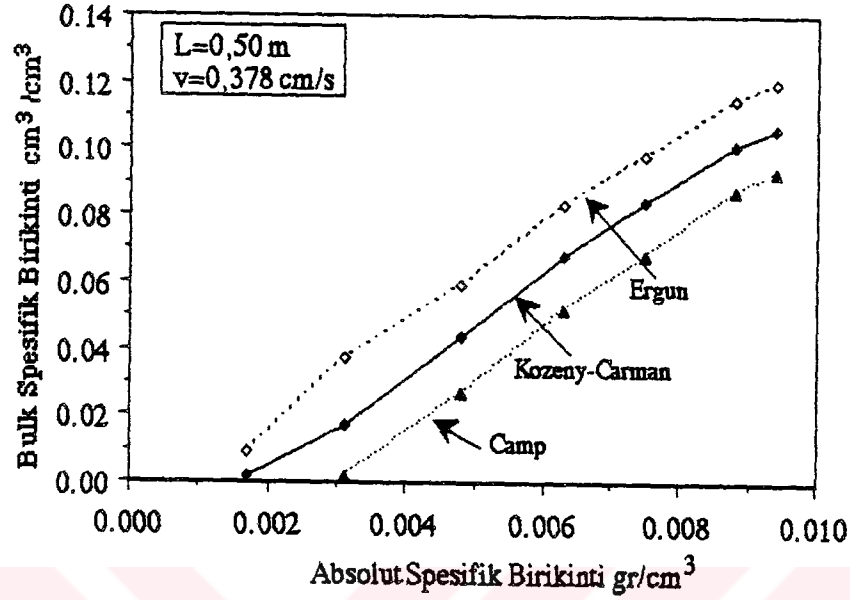
Şekil 5.11. Bilgisayar Programına Kozeny-Carman Denklemi Uygulandığı Zaman Elde Edilen Korelasyon Denklemi



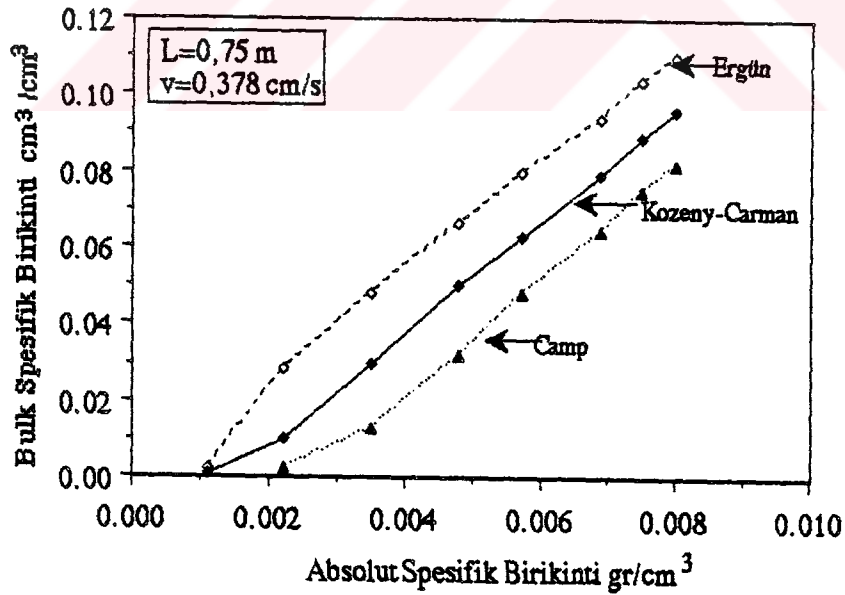
Şekil 5.12. Bilgisayar Programına Camp Denklemi Uygulandığında Elde Edilen Korelasyon Denklemi

Yukarda da görüldüğü gibi, deneysel olarak elde edilen absolut spesifik birikinti verileri ile teorik denklemler esas alınarak bilgisayar programı vasıtasıyla elde edilen bulk spesifik birikinti verilerinin

karşılaştırılması sonucunda, korelasyon katsayıların birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

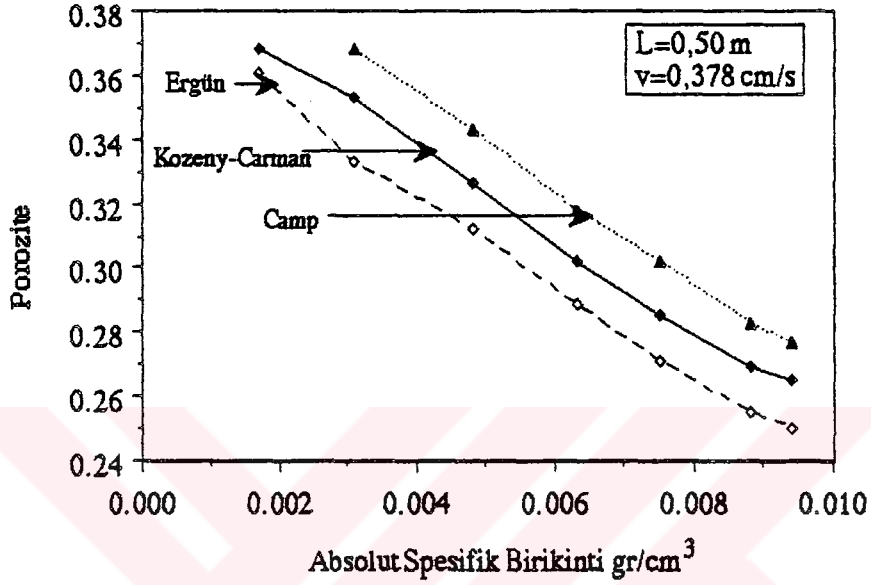


Şekil 5.13. Yatak Kalınlığı ve Hıza Bağlı Olarak Absolut Spesifik Birikinti ile Bulk Spesifik Birikinti Arasındaki İlişki

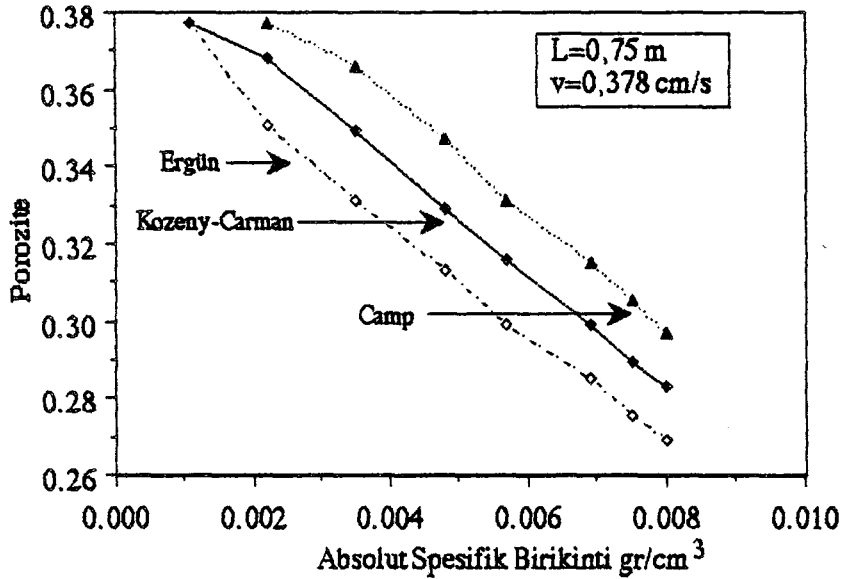


Şekil 5.14. Yatak Kalınlığı ve Hıza Bağlı Olarak Absolut Spesifik Birikinti ile Bulk Spesifik Birikinti Arasındaki İlişki

Şekil 5.13 ile 5.14'de farklı yatak yüksekliklerinde ve 0,378 cm/s hızında absolut spesifik birikinti ile bulk spesifik birikinti arasındaki ilişki ve Şekil 5.15 ile 5.16'da ise, farklı yatak yüksekliklerinde ve 0,378 cm/s hızında deneysel olarak bulunan absolut spesifik birikinti ile teorik olarak hesaplanan porozite arasındaki ilişki, farklı denklemler esas alınarak sunulmuştur.

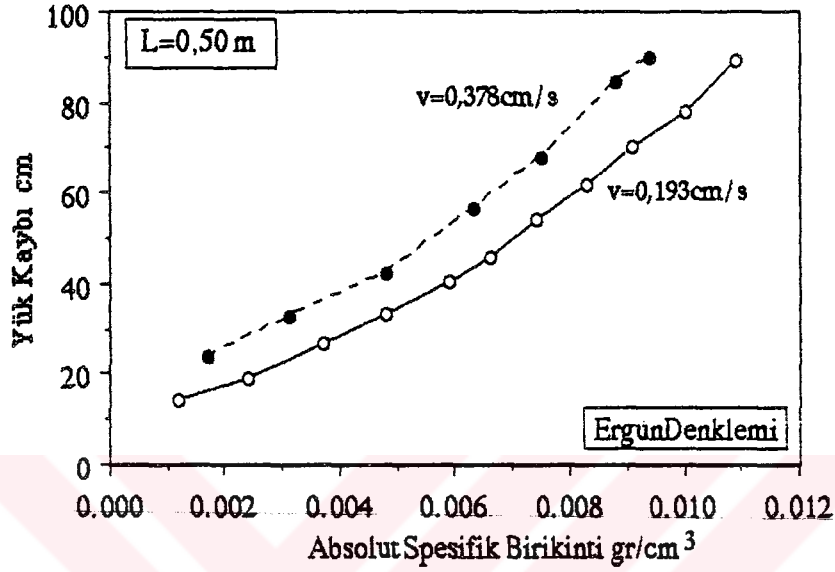


Şekil 5.15. Yatak Kalınlığı ve Hıza Bağlı Olarak Absolut Spesifik Birikinti ile Porozite Arasındaki İlişki

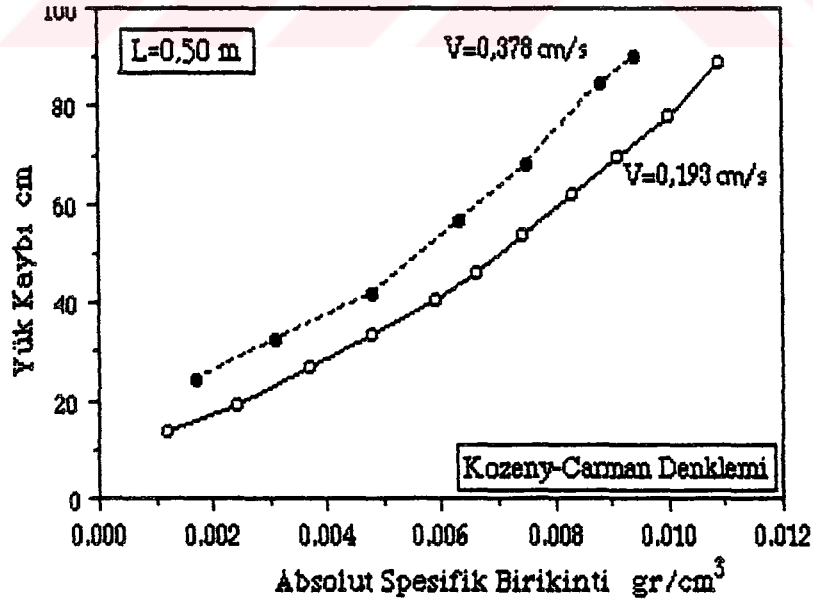


Şekil 5.16. Yatak Kalınlığı ve Hıza Bağlı Olarak Absolut Spesifik Birikinti ile Porozite Arasındaki İlişki

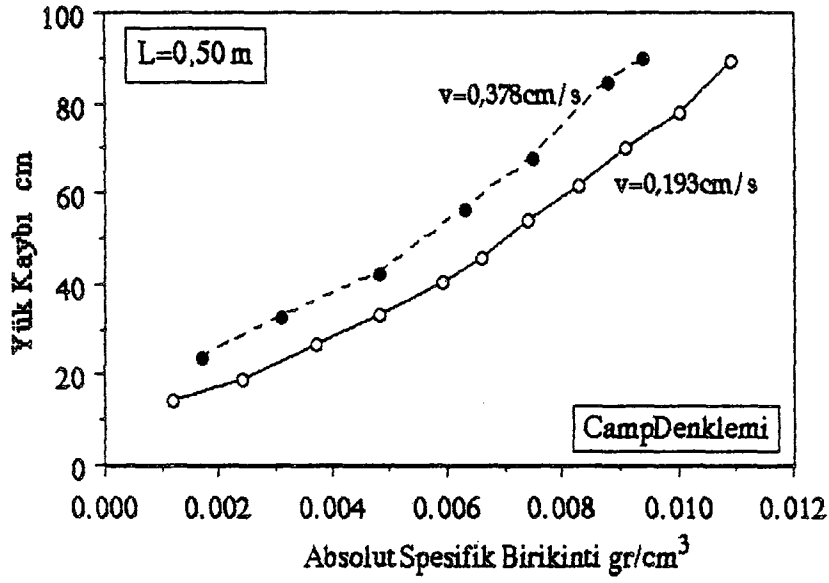
Şekil 5.17, 5.18 ve 5.19'da 0,50 m yatak kalınlığı ve iki farklı akım hızlarında, sırasıyla Ergün, Kozeny-Carman ve Camp denklemleri esas alınarak absolut spesifik birikinti ile yük kaybı arasındaki ilişki gösterilmiştir.



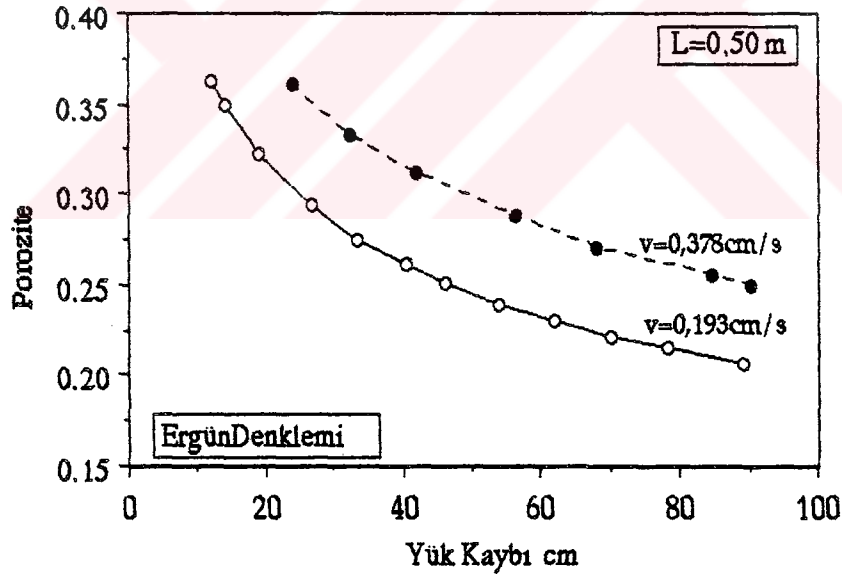
Şekil 5.17. Yatak Kalınlığı ve Hızlara Bağlı Olarak Absolut Spesifik Birikinti ile Yük Kaybı Arasındaki İlişki



Şekil 5.18. Yatak Kalınlığı ve Hızlara Bağlı Olarak Absolut Spesifik Birikinti ile Yük Kaybı Arasındaki İlişki

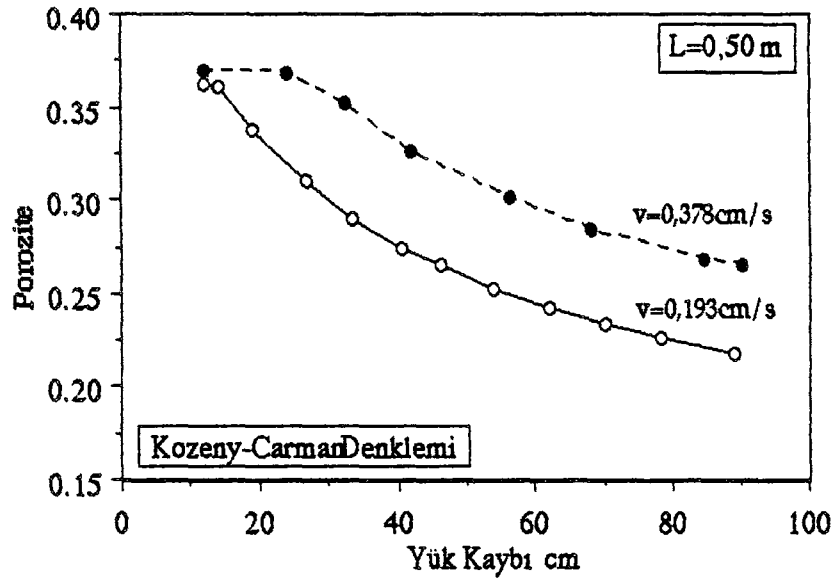


Şekil 5.19. Yatak Kalınlığı ve Hızlara Bağlı Olarak Absolut Spesifik Birikinti ile Yük Kaybı Arasındaki İlişki

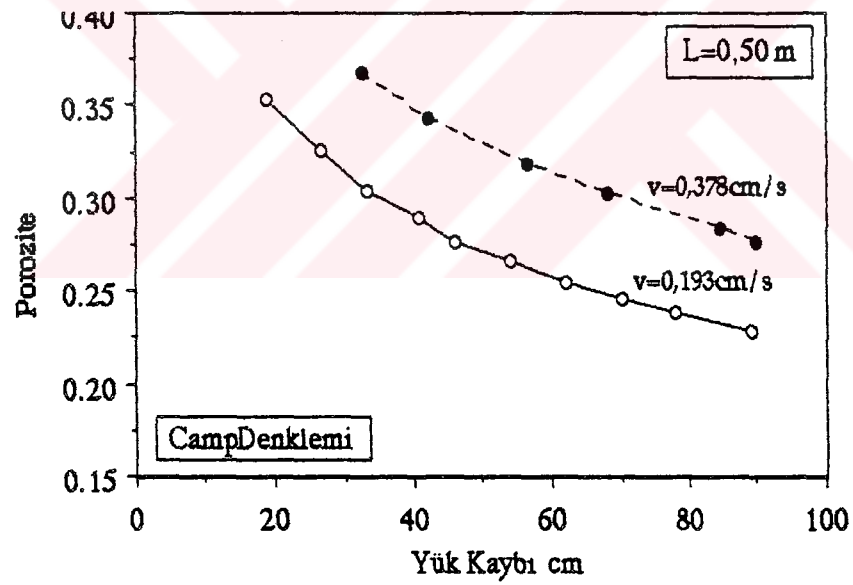


Şekil 5.20. Yatak Kalınlığı ve Hızlara Bağlı Olarak Yük Kaybı ile Porozite Arasındaki İlişki

Şekil 5.20, 5.21 ve 5.22'de 0,50 m yatak kalınlığı ve iki farklı akım hızlarında, sırasıyla Ergün, Kozeny-Carman ve Camp denklemleri esas alınarak porozite ile yük kaybı arasındaki ilişki gösterilmiştir.

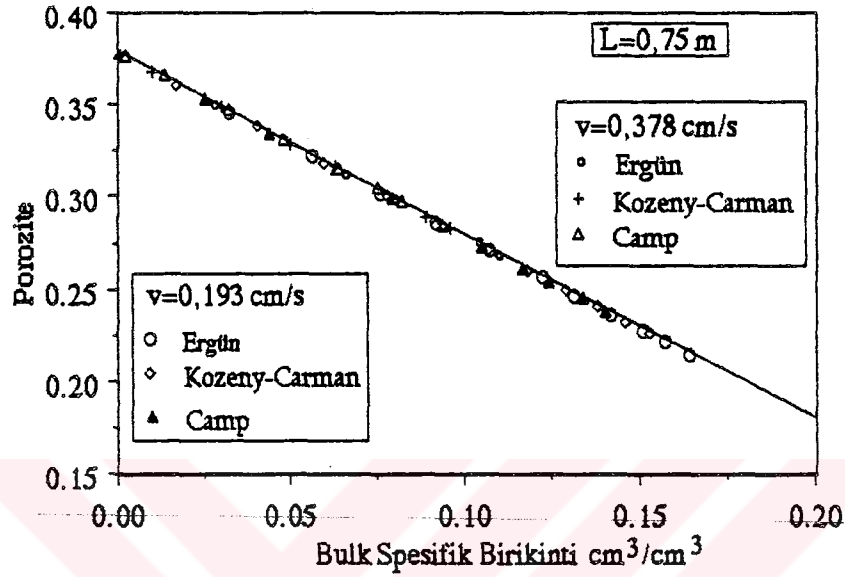


Şekil 5.21 Yatak Kalınlığı ve Hızlara Bağlı Olarak Yük Kaybı ile Porozite Arasındaki İlişki



Şekil 5.22. Yatak Kalınlığı ve Hızlara Bağlı Olarak Yük Kaybı ile Porozite Arasındaki İlişki

Şekil 5.23'de 0,75 m yatak kalınlığı ve iki farklı akım hızında, sırasıyla Ergün, Kozeny-Carman ve Camp denklemleri esas alınarak yük kaybı fonksiyonları olan bulk spesifik birikinti ile porozite arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 5.23. Yatak Kalınlığı ve Hızlara Bağlı Olarak Bulk Spesifik Birikinti ile Porozite Arasındaki İlişki

SONUÇLAR

Birçok araştırmacı tarafından çeşitli yük kaybı formülleri sunulmuştur. Bütün bu formüller belli bir dane çapı ve poroziteye sahip temiz filtre ortamı için geçerlidirler. Filtrasyon işlemi başladıktan sonra, herhangi bir t zamanındaki dane çapı ve porozitenin bilinmemesinden dolayı, bu formüllerin filtrasyon esnasında geçerliliği mümkün değildir. Şekerdag (1997), yapmış olduğu bilgisayar programı sayesinde, nümerik olarak dane çapını arttırmış, buna karşılık gelen porozite, bulk spesifik birikinti, Reynoulds sayısı ve yük kayıplarını hesaplamıştır. Yapılan bilgisayar programında elde edilen değerlerin zaman ve absolut spesifik birikinti ile değişimlerini incelemek için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yük kaybı dikkate alınarak deneysel değerlerle teorik değerler birleştirilmiş ve şu sonuçlar elde edilmiştir.

Hesaplamarda kullanılan bilgisayar programının uygunluğunu, bulk spesifik birikinti ile porozite arasındaki ilişkinin iki farklı hızda ve farklı yük kaybı formüllerinde aynı eğri üzerine düşmeleri göstermektedir.

Sırasıyla Ergün, Kozeny-Carman ve Camp denklemleri esas alınarak hesaplanan bulk spesifik birikinti ile deneysel çalışmalar sonucunda bulunan absolut spesifik birikinti değerleri arasında uygulanan korelasyon neticesinde, korelasyon katsayılarının birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Örneğin 1 nolu deney serisinde Ergün denklemi esas alınarak yapılan korelasyon işleminde $R^2=0,994$, Kozeny-Carman denklemi esas alınarak yapılan korelasyon işleminde $R^2=0,997$, Camp denklemi esas alınarak yapılan korelasyon işleminde $R^2=0,998$ olarak bulunmuştur. Diğer deneysel serilerinde de elde edilen korelasyon katsayıları oldukça birbirine yakındır. Bununla birlikte, Camp denklemi esas alınarak elde edilen korelasyon katsayıları Ergün ve Kozeny-Carman denklemlerine nazaran daha iyi sonuçlar vermiştir.

Ergün, Kozeny-Carman ve Camp denklemleri esas alınarak bulk spesifik birikinti ile absolut spesifik birikinti arasındaki ilişki grafiklendirildiğinde, bu değerlerin değişim aralıklarının sabit olmasına

karşılık aynı eğri noktaları üzerine düşmedikleri görülmüştür. Bu durumu formüle ettiğimizde,

$$\frac{\partial \sigma_b}{\partial \sigma_a} = b \text{ (sabit)}$$

$$\partial \sigma_b = b \cdot \partial \sigma_a$$

Yukardaki denklemin integrali alındığında

$$\int_0^{\sigma_b} \partial \sigma_b = b \cdot \int_0^{\sigma_a} \partial \sigma_a$$

$$\sigma_b = b \cdot \sigma_a$$

denklemini elde edilir. Bu formül Sembi ve Ives (1982) 'ın bulk spesifik birikinti ve absolut spesifik birikinti arasındaki ilişkiyi verdiğini iddia ettikleri formülle aynıdır.

Zamana bağlı olarak yük kaybı, bulk spesifik birikinti, porozite ve dane çapı arasındaki değişimler bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- CAMP, T.R., (1964). 'Theory of Water Filtration', **Journal of The Sanitary Engineering Division**, ASCE.
- CLEASBY, J.L., (1973). 'Backwashing of Granular Filters Used in Wastewater Filtration', **Engineering Research Institute**, Iowa State University, Ames, Iowa.
- CLEASBY, J.L., SAATÇI, A., IVES, K. J., (1979). **İçme Su Tasfiyesinde Filtrasyon**, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- GÖLHAN, M., AKSOĞAN, S., (1970). 'Hızlı kum filtreleri', **Suların Arıtılması**, Cilt.1, İstanbul.
- HUISMAN, I., (1970). **Rapid Filtration**, Delft University of Technology, Delft.
- IVES, K. J., (1969). 'Theory of Filtration', **In Proceedings of The International Water Supply Association**, Eighth Congress, Vienna, Vol. 1, pp. K1-K28.
- IVES, K. J., (1975). 'Mathematical Models of Deep Bed Filtration', **The Scientific Basis of Filtration**, Leyden, The Netherlands.
- IVES, K. J., (1982). 'Fundamentals of Filtration', **Preprints of Symposium on Water Filtration**, Antwerp, Belgium, 21-23 April, pp. 1-12.
- MOHANKA, S.S., (1969). 'Theory of Multilayer Filtration', **Journal of Sanitary Engineering Div.**, Proc. Am. Soc. Civ. Engrs. 95, pp. 1079-1095.
- MUSLU, Y., AKKOYUNLU, A., (1976). 'Filtrasyon Teorileri', **Sakarya D.M.M. Akademisi Dergisi**, Sayı 1, Sayfa 117-132.

- MUSLU, Y., (1981). 'Filtrelerde Lineer Olmayan Akımlar', **İ. T. Ü. Dergisi**, Cilt 39, Sayı 1, Sayfa 19-25.
- OJHA, C.S.P., GRAHAM, N.J.D., (1993). 'Computer-Aided Solutions of Filtration Equations', **Water Research**, Vol.27, No.3, pp.377-387.
- OJHA, C.S.P., GRAHAM, N.J.D., (1993). 'Theoretical Estimates of Bulk Specific Deposit in Deep Bed Filter', **Water Research**, Vol.26, No.2, pp.145-150.
- OJHA, C.S.P., GRAHAM, N.J.D., (1992). 'Appropriate Use of Deep Bed Filtration Models', **Journal of Environmental Engineering**, Vol.118, No.6, pp.964-980.
- OJHA, C.S.P., GRAHAM, N.J.D., (1994). 'Prediction of Deep-Bed-Filter Performance Using Recursive Algorithms', **Journal of Environmental Engineering**, Vol.120, No.4, pp.961-971.
- SEMBİ, S., IVES, K. J., (1982). 'Optimization of Size-Graded Filters', **In Proceedings of Symposium on Water Filtration**, Antwerp, Belgium, 21-23 April, pp. 5.1-5.12.
- ŞEKERDAĞ, N., (1980). 'Filtrelerde Çeşitli Faktörlerin Akım Üzerindeki Etkisinin Araştırılması', **M.M.L.S. Tezi** İ.T.Ü. İnşaat Fak.
- TABIASON, J.E., VIGNESWARAN, B., (1994). 'Evaluation of A Modified Model For Deep Beed Filtration', **Water Research**, Vol.28, No.2, pp.335-342.
- TIEN, C., GIMBEL, R., (1982). 'On The Development of A Comprehensive Model of Deep Bed Filtration', **Preprints of Symposium on Water Filtration**, Antwerp, Belgium, 21-23 April, pp. 1.1-1.13.

EK 1. Bilgisayar Programının Akış Seması

