

ÇÖKTÜRME DENEY FÖYÜ

1.1 GENEL BİLGİLER

Danelerin yerçekiminin etkisiyle tek tek birbirinden bağımsız olarak hareket ettiği çökeltme tipidir. Daneler arasında flokleşme olmaz. Bu yüzden çökeltme hızı yükseklikle değişmez. Yani yüksekliğin çökeltme hızına etkisi yoktur.

Çöken dane üzerinde etkili olan kuvvetler yerçekimi kuvveti (F_G) ve sürtünme kuvveti (F_S) olarak gösterilebilir. Danecik üzerinde etkili olan net kuvvet bu kuvvetlerin bileşkesidir ve denklem 1.1 deki gibidir.

$$F_{\text{net}} = F_G - F_S \quad (1.1)$$

Yukarıdaki denklemde F_G , F_B ve F_S ifadeleri yerine açılımları yazılacak olursa;

$$F_{\text{Net}} = ma = (\rho_p - \rho_w)gV_p - \frac{1}{2}C_D\rho_w A_p s^2 \quad (1.2)$$

ifadesi ortaya çıkar. Burada;

ρ_p : partikülün yoğunluğu,

g : yerçekimi ivmesi,

V_p : partikül hacmi,

C_D : direnç katsayısı

ρ_w : Suyun yoğunluğu

A_p : partikülün yüzey alanı

s : çökeltme hızını göstermektedir.

Dane bu kuvvetlerin bileşkesi olan F_{net} kuvvetinin etkisiyle tabana doğru hareket eder. Bu hareketi esnasında bir noktadan sonra tüm bu kuvvetlerin bileşkesi sıfır olur, ve dane kazandığı s çökeltme hızının etkisiyle çökmeye başlar. $F_{\text{net}} = 0$ olduğu düşünülerek (1.2) denklemini düzenlenecek olursa çökeltme hızı (s);

$$s = \sqrt{\frac{2g(\rho_p - \rho_w)V_p}{C_D\rho_w A_p}} \quad (1.3)$$

olarak hesaplanır.

Denklem (1.3)'de partikülün hacmi olan V_p ile partikülün yüzey alanı olan A_p düzenlenecek olursa;

$$\frac{V_p}{A_p} = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{\pi r^2} = \frac{4}{3}r = \frac{2}{3}D \quad (1.4)$$

Denklem (1.4)'de bulunan değer denklem (1.3)'de yerine konursa;

$$s = \sqrt{\frac{4g(\rho_p - \rho_w)D}{3C_D\rho_w}} \quad (1.5)$$

denklemini elde edilir. Reynolds sayısı 1'den küçük olduğunda çökme hızının formülü denklem (1.6) 'daki gibi olur.

denklemini elde edilir. Reynolds sayısı 1'den küçük olduğunda çökme hızının formülü denklem (1.6) 'daki gibi olur.

$$s = \frac{1}{18} \frac{g(\rho_s - \rho_w)}{\nu \rho_w} D^2 \quad (1.6)$$

Burada ;

ν : kinematik viskozitedir.

Görüleceği üzere bir partikülün çökme hızına etki eden faktörler yerçekimi ivmesi, partikülün ve sıvının yoğunluğu, partikülün çapı ve kinematik viskozitedir. Ayrıca sıcaklık arttıkça kinematik viskozite azalacağından çökme hızı artmış olur.

1.2 ÇÖKELME HIZLARI TOPLAM DAĞILIM EĞRİSİNİN ÇİZİLMESİ

Daneli çökmenin gerçekleştiği havuzlarda çok değişik çökme hızlarına sahip bir sürü partikül tipi vardır. Bu tip havuzlarda çökme verimini etkileyen en önemli husus yüzey yükünün ne olarak seçileceğidir. Seçilen yüzey yükü istenen verimde partikülün çökmesini sağlayacak şekilde olmalıdır. Bu yüzden yüzey yükü seçilmeden önce partiküllerin çökme hızlarının bilinmesi gerekir. Bu amaçla yapılan bir takım deney neticeleri sonucunda havuzdaki partiküllerin çökme hızlarının bir eğrisi çizilir. Çizilen bu eğrinin yardımıyla seçilen bir yüzey yükü için havuzdaki çökme veriminin ne olacağı hesaplanabilir.

1.2.1 Araçlar

1. Çeşitli yüksekliklerden numune alımına olanak tanıyan bir çökelme kolonu
2. Askıda katı madde ölçebilmek için gerekli tertibat ya da bulanıklık ölçen bir türbidimetre

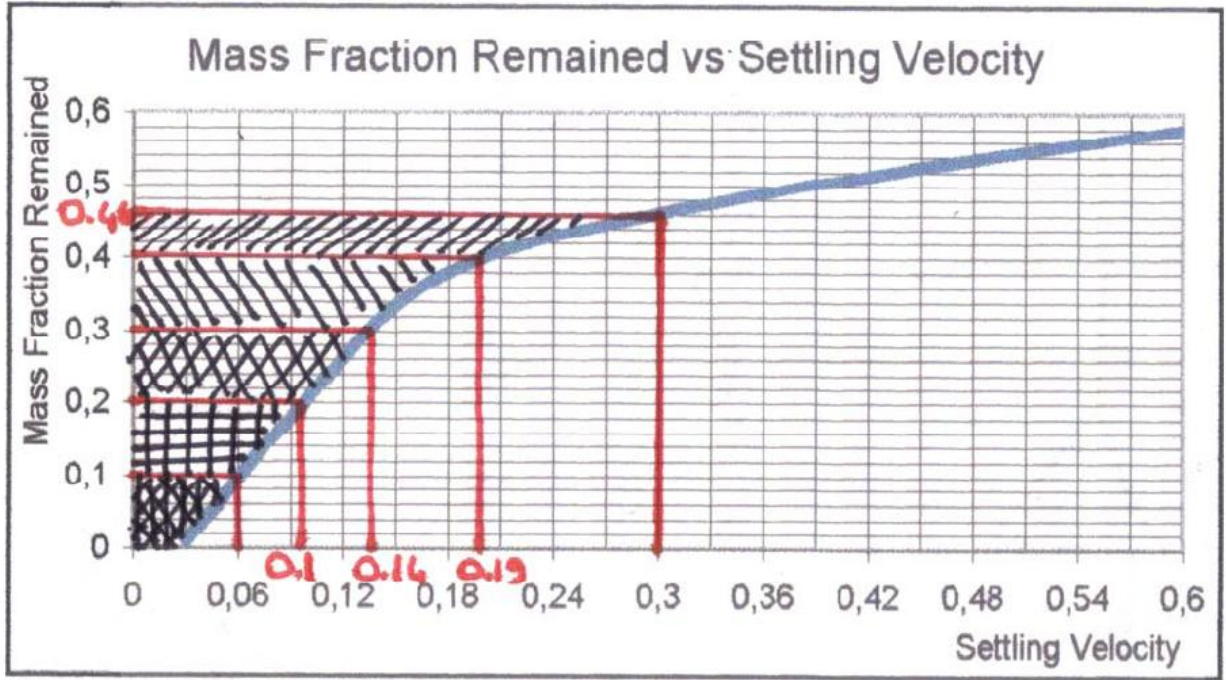
1.2.2 Prosedür

1. Öncelikle çökelme kolonuna belli bir seviyeye kadar numune konur.
2. Numune iyice çalkalanarak kolonun her bölgesinde eşit konsantrasyonlar olacak şekilde dağıtılır.
3. Çalkalama işlemi bittikten hemen sonra belli bir yükseklikten numune alınarak bu numunenin AKM konsantrasyonuna bakılır ve bulunan değer t_0 anındaki AKM konsantrasyonu olarak Tablo 1.1' e kaydedilir. Numuneler kolonun hangi yüksekliğinden alınırsa alınsın, çökelme hızı yükseklikten bağımsız olduğu için çökelme hızları toplam dağılım eğrisi değişmeyecektir.
4. Yine bu işlemle birlikte numune kolonda çökelmeye bırakılır ve zaman tutulmaya başlanır. Belli zaman aralıklarında aynı yükseklikten numune alınarak AKM değerlerine bakılır ve bulunan her değer Tablo 1.1' e işlenir.
5. Tablo 1.1' deki çökelme hızı kolonuna numunelerin alındığı noktanın numunenin üst noktasına mesafesi olan h değerinin her numune alınışı için gereken t süresine bölünmesiyle ortaya çıkan h/t değerleri yazılır. Örneğin numune üst noktasına 0,5 m uzaklıktaki bir noktadan numuneler alınıyorsa; $t = 5$ dk süresindeki çökelme hızı değeri $0,5 / (5 \times 60)$ eşitliğinden $1,67 \times 10^{-3}$ m/s, $t = 15$ dk süresindeki çökelme hızı değeri $0,5 / (15 \times 60)$ eşitliğinden $0,56 \times 10^{-3}$ m/s olarak bulunur. t_0 anında çökelme hızı sıfır olarak alınır.
6. P kolonuna her seferinde ölçülen AKM değeri C' 'nin başlangıçtaki C_0 değerine bölünmesiyle elde edilen değerler yüzde olarak yazılır. t_0 anında bu değer 100 olacaktır.
7. Tablo 1.1 yardımıyla x-ekseni çökelme hızı kolonu ve y-ekseni %P kolonu olacak şekilde noktalar belirlenir ve bu noktalara göre çökelme hızları toplam dağılım eğrisi çizilir.

Tablo 1. 1 Çökelme hızları ve Çökelme Verimleri

T, (dk.)	Çökelme hızı, h/t , ($10^{-3} \times$ m/s)	AKM, (mg/lt)	P, C/C_0 , (%)
0			
10			
15			
20			
30			
30			
45			
60			
90			
120			

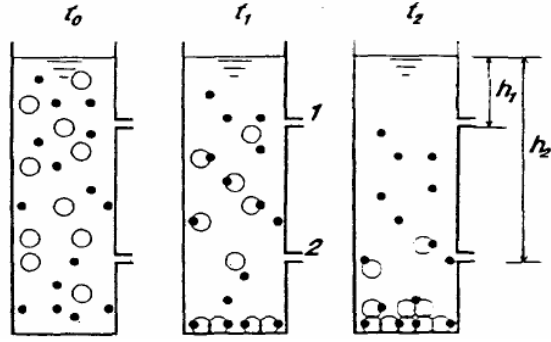
Şekil 1.1 de daha önce yapılmış bir deney sonuçlarına göre çizilmiş olan çökelme hızları toplam dağılım eğrisi görülebilir.



Şekil 1.1 Çökelme hızları toplam dağılım eğrisi

1.3 SORULAR

1. Şekil 1.2 de gösterilen çökelme kolonunda çeşitli zamanlarda 1 ve 2 no' lu musluklardan alınan numunelerin AKM konsantrasyonları bulunmuş ve bu değerler Tablo 1.2' e işlenmiştir. h_1 yüksekliği 0,5 m, h_2 yüksekliği 1,25 m ve başlangıç AKM konsantrasyonu 93 ppm olduğuna göre bu numuneye ait çökelme hızları toplam dağılım eğrisini çizin.



Şekil 1.2 Çökelme kolonu

Tablo 1.2 Çökelme hızları ve Çökelme Verimleri

t (dk.)	C (h_1) ppm	C (h_2) ppm
15	63	89
30	30	68
45	12	53
60	6	40
90	3	18
120	1	9
180	0	6

2. Bir numunede yapılan çökelme kolonu deneyinde sonuçlar şu şekilde çıkmıştır. Partiküllerin % 60'ının çökelme hızı $0,4 \times 10^{-3}$, %40'ının çökelme hızı ise $0,6 \times 10^{-3}$ dür.

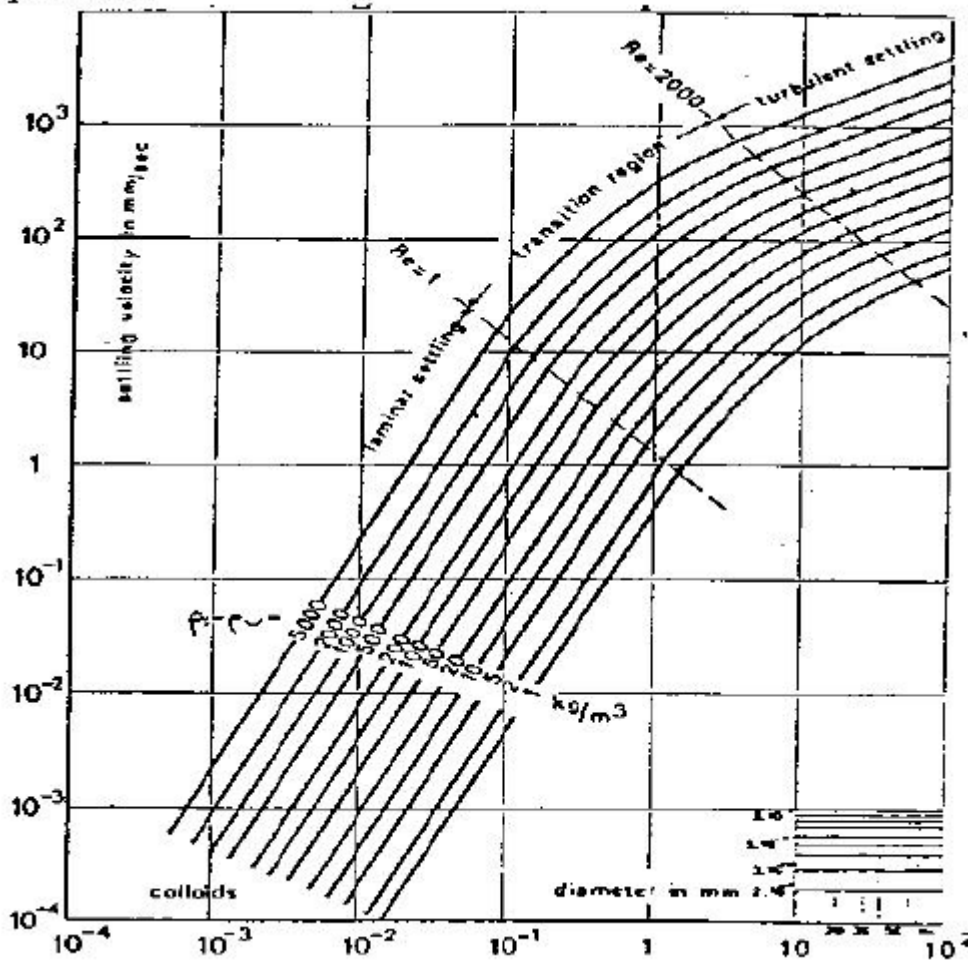
a) Bu numuneye ait çökelme hızları toplam dağılım eğrisini çizin.

b) Bu numunenin alındığı $4.320 \text{ m}^3 / \text{gün}$ debideki atıksu, 20 m boy ve 5 m genişliğe sahip çöktürme havuzunda arıtılacaktır. Çöktürme havuzunun AKM giderme verimini bulunuz.

2. YUMAKLI ÇÖKTÜRME

Çöktürme işlemi su ve atıksu arıtımında askıda katıların su fazından giderimi için kullanılan bir birim operasyonudur. Durgun sulardaki çöktürme işleminde yoğunluğu suyun yoğunluğundan büyük olan parçacıklar yerçekiminin etkisiyle aşağıya doğru hareket edip tank dibinde toplanarak yukarıda temiz bir su bırakırlar.

Genel olarak askıda maddelerin çökelme hızları artan partikül boyutu ve partikül yoğunluğu ile artar. Şekil 2.1 durgun sularda çökelen küresel partiküllerin çapına ve yoğunluğuna bağlı çökelme hızlarını göstermektedir.



Şekil 2.1 Partikül boyutu ve partikül yoğunluğuna bağlı çökelme hızları (Huisman, 1976)
Su ve atıksu mühendisliği alanlarında birçok çöktürme tankı yerçekimi kuvveti altında sürekli olarak işletilmektedir. Bu tip düzlemsel çökelme işlemi, doğal şartlarda *daneli* ve *yumaklı* çökelme işlemlerini ihtiva eder. Partiküllerin – koagulant eklendikten sonra – bir araya gelmesi ve daha büyük parçacıklar oluşturması sağlanıyorsa yumaklı çökelme işlemi baskın olur.

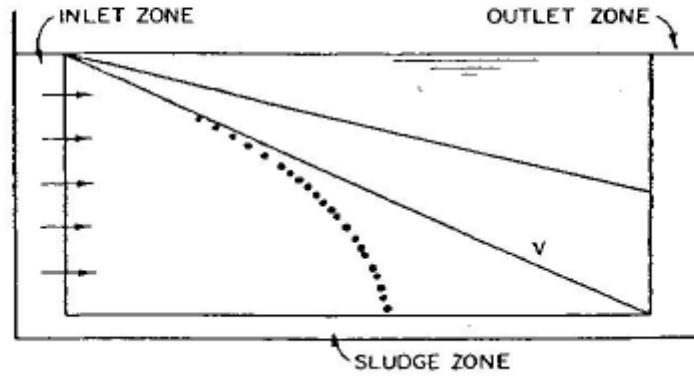
2.1 YUMAKLI ÇÖKELME

Kil, bakteri, kimyasal çökelekler ve kompleks organik bileşikler gibi bir çok kolloidal parçacıklar doğal sularda mevcuttur. Bu partiküller, bulanıklık, renk ve tat problemlerini ortadan kaldırmak için suyun arıtımı vasıtasıyla giderilmelidir.

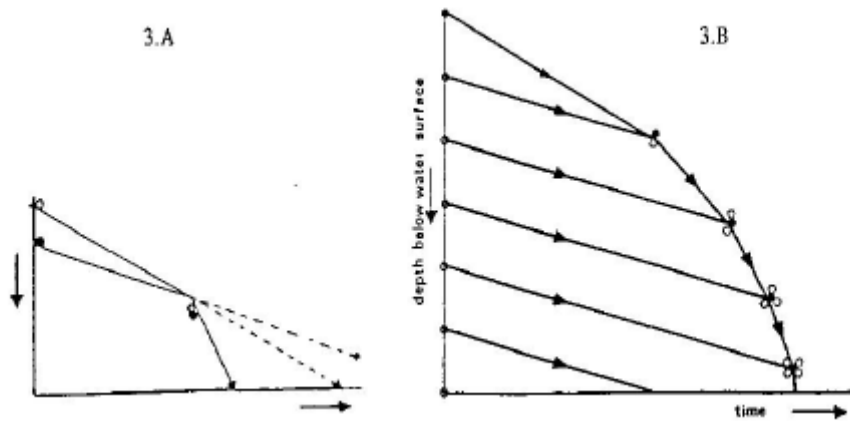
Çapları 0.01 mm' den küçük partiküllerin daneli çökme işlemi ile giderimi hemen hemen imkansızdır. Bu partiküllerin çökme hızları 0.002 mm/sn ya da 3.6 mm/gün'den daha küçüktür. Bu tip partiküllerin çökme hızları doğal ya da yapay olarak başlatılan flokulasyon işlemleri ile artırılabilir ki bu durumda suda, yumaklı çökme işlemi vuku bulur. Partiküller arasında etkileşim olduğunda ve partiküller birbirine çarpıştıklarında, askıda katı maddeler yumaklı çökmeye meyillidir. Yeni oluşan partiküllerin çapları daha büyük olup, Şekil 2.1'de verilen eğrilerin eğimlerinden de anlaşılacağı üzere, daha büyük çökme hızlarına sahiptirler.

Ham suya çeşitli koagulant ve polimerlerin eklenmesiyle partiküllerin topaklaştırılması ve bunun sonucunda flok formasyonunun sağlanması çok kullanılan metottur. Bu proseste, yumaklı çökme hızları su yüzeyinden aşağıya doğru inildikçe artmaktadır. Bir çöktürme tankı için en önemli tasarım parametresi yüzey yüküdür ki yüzey yükü aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$s = \frac{Q}{A}$$



Şekil 2.1 Daneli (düz çizgi) ve yumaklı (noktalı) çökme için ideal çöktürme tankı



Şekil 2.2 Partiküllerin yumaklı çökmesi

Burada Q , m^3/sa cinsinden su debisi ve A ise m^2 cinsinden çöktürme tankının yüzey alanıdır. Yüzey yükü ise $m^3/m^2.sa$ cinsinden ifade edilir.

Askıda katı maddelerin giderim verimi büyük oranda yüzey yüküne bağlıdır: Yüzey yükü büyüdükçe giderim verimi düşer. Ancak, yumaklaşan parçacıkların giderim verimi, Şekil 2.1'de de

görüldüğü gibi, tankın bekletme süresine de bağlıdır. Çökelme hızı su yüzeyinden aşağılara inildikçe arttığından, tank derinliği arttıkça giderim verimi de artar.

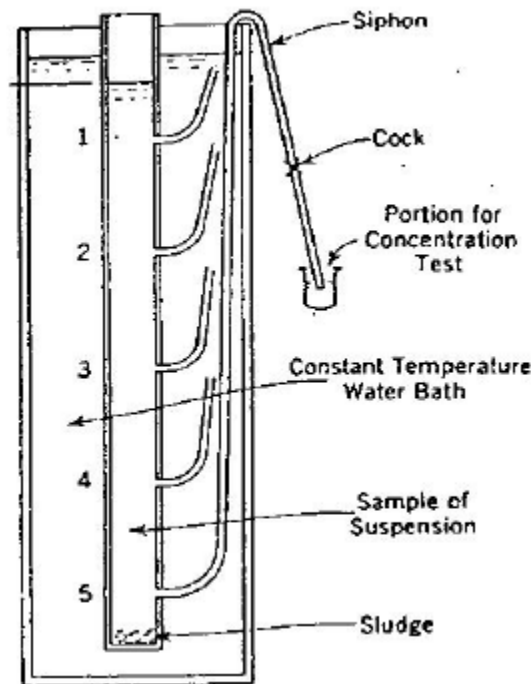
$$T = \frac{H}{s} = \frac{V}{Q}$$

Burada T, saat cinsinden bekletme süresi; H, m cinsinden tank derinliği; V, m³ cinsinden tank hacmi ve Q ise m³/sa cinsinden su debisidir. Daneli parçacıklar için giderim verimi, çökelme hızları tankın her yerinde sabit olduğundan, bekletme süresinden bağımsız olur.

2.2 ÇÖKELME ANALİZİ

Partikülleri yoğunluğu ve boyutları hakkında elde yeterli veri olmadığı zamanlarda, çöktürme tanklarının tasarımı sadece laboratuvar deneyleri ile yapılabilir. Bu deneyin amacı, bir kil süspansiyonu için yumaklı çökelme üzerine bir laboratuvar analizi yapmak ve elde edilen verileri yatay akışlı bir çöktürme tankının tasarımında kullanmaktır.

Deneyde kullanılan aparat belirli yüksekliklerde numune portları olan bir çöktürme kolonudur ki aparat Şekil 2.1’de verilen şekildedir. Bulanık suyun simülasyonunu yapmak amacıyla bu deneyde kullanılacak olan numune bir kil süspansiyonudur. Deneyin başında, süspansiyonu mümkün olduğunca homojen tutmak için karıştırıcı çalışır vaziyette iken, çöktürme kolonu AKM’si (ya da bulanıklığı) bilinen numune ile doldurulmaya başlanır. Çöktürme kolonu dolduğunda karıştırma işlemi durdurulur. Belirli zaman aralıklarında, her bir numune portundan alınan numunelerde AKM (ya da bulanıklık) analizi yapılır.



Sonuçta ortaya çıkacak olan veriler bir matris oluşturacaktır. Portlardan alınan numunelerde ölçülen AKM (ya da bulanıklık) değerleri $C(d, t)$ olarak matriste yerlerine konulur. Mesela 2 no.lu porttan $t=10$ dk anında alınan numunede ölçülen AKM değeri $C(2,10)$ olarak ve 3 no.lu porttan $t=20$ dk anında alınan numunedeki AKM değeri $C(3,20)$ olarak atanıp matris içinde uygun bir yere yerleştirilir. Deney tamamlandıktan sonra ortaya çıkacak olan konsantrasyon matrisi aşağıdaki gibi olur:

$$C(d_i, t_j) = \begin{bmatrix} \begin{matrix} d, m \\ t, dk \end{matrix} & t_1 & t_2 & t_3 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & t_m \\ d_1 & C(d_1, t_1) & C(d_1, t_2) & C(d_1, t_3) & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & C(d_1, t_m) \\ d_2 & C(d_2, t_1) & C(d_2, t_2) & C(d_2, t_3) & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & C(d_2, t_m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_n & C(d_n, t_1) & C(d_n, t_2) & C(d_n, t_3) & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & C(d_n, t_m) \end{bmatrix}$$

Deneyde kullanılan numunenin başlangıçtaki AKM değeri C_0 olarak alınırsa herhangi bir port ve andaki giderim verimi aşağıdaki gibi olur:

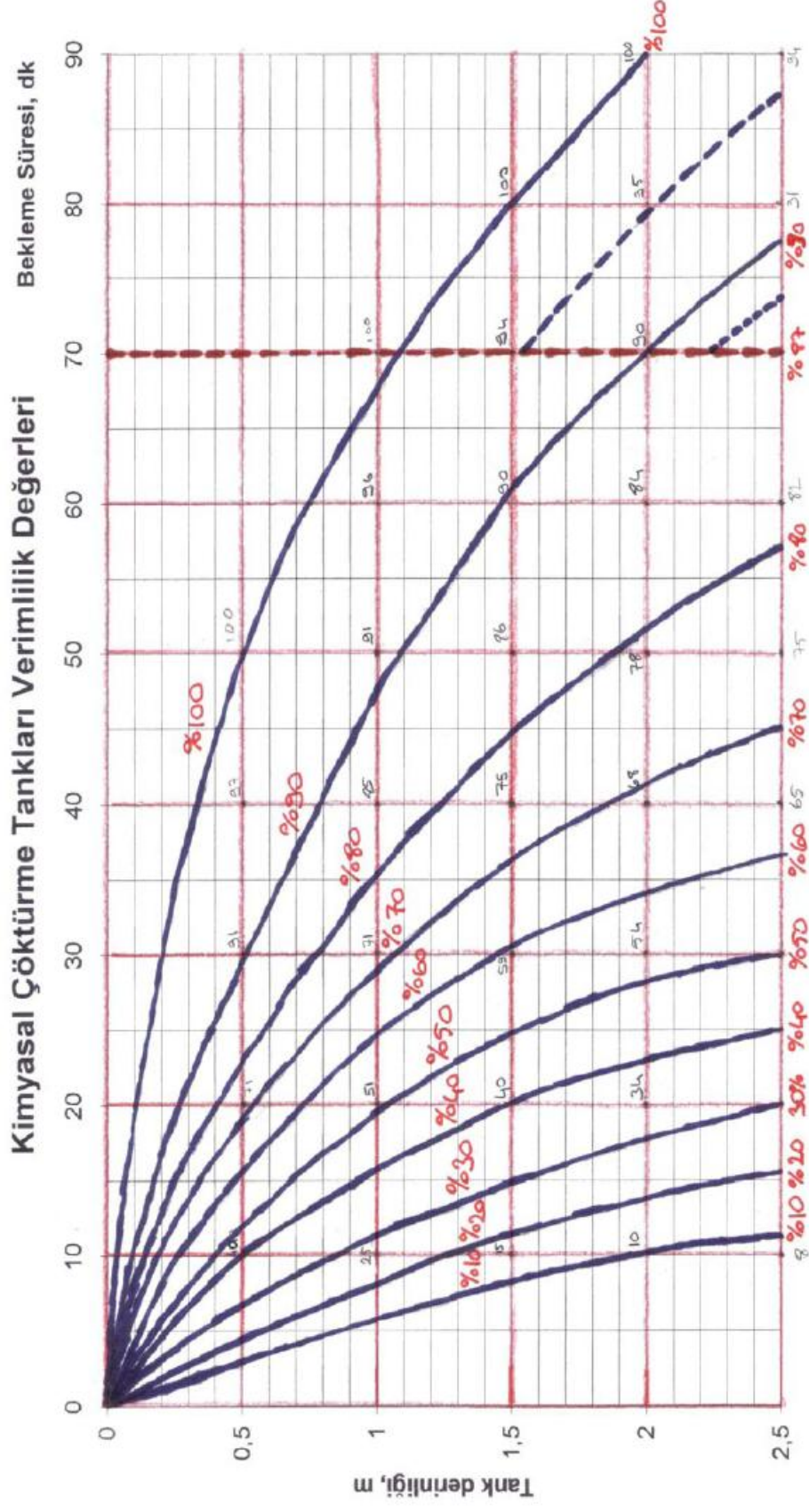
$$\eta(d_i, t_j) = \%100 \left[1 - \frac{C(d_i, t_j)}{C_0} \right], \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{ve} \quad j = 1, 2, 3, \dots, m$$

Bütün verim değerleri hesaplandıktan sonra, sonuçlar konsantrasyon matrisinde yerine konularak verim matrisi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\eta(d_i, t_j) = \begin{bmatrix} \begin{matrix} d, m \\ t, dk \end{matrix} & t_1 & t_2 & t_3 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & t_m \\ d_1 & \eta(d_1, t_1) & \eta(d_1, t_2) & \eta(d_1, t_3) & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \eta(d_1, t_m) \\ d_2 & \eta(d_2, t_1) & \eta(d_2, t_2) & \eta(d_2, t_3) & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \eta(d_2, t_m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_n & \eta(d_n, t_1) & \eta(d_n, t_2) & \eta(d_n, t_3) & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \eta(d_n, t_m) \end{bmatrix}$$

Bütün bu işlemlerden sonra verim değerleri aşağıdaki gibi bir grafik kağıdında yerlerine yazılır ve eş-verim eğrileri (ya da eş-çökme eğrileri) oluşturulur.

Chart1



Bundan sonra yapılacak iş, çöktürme tankının bekletme süresini hesaplamaktır. Hesaplanan bekletme süresi grafik üzerinde çizilerek belirlenir. Yukarıdan (zaman ekseninden) aşağıya doğru çizilen bekletme süresi çizgisinin aşağıdaki verim eksenini kestiği noktaya gelen yüzdelik değerin anlamı şudur: Parçacıkların bu kısmı çöktürme tankında kesinlikle çöktürülerek sudan ayrılır. Bundan sonra geriye kalan partiküller için, kalan eş-verim eğrilerinin orta eğrileri (median-curves) – mesela $\eta_1 = \%87$ ile $\eta_2 = \%90$ ve $\eta_1 = \%90$ ile $\eta_2 = \%100$ arası - bulunur (şekilde kesikli çizgiler). Bu orta eğrilerin, çizilen tank bekletme süresine kadar uzatılması ve bekletme süresi çizgisini kestiği noktada derinlik değerin (h) okunması yoluyla, orta eğrisi çizilen verim aralığında çökelme verimi aşağıdaki gibi hesaplanabilir (H tank derinliği olmak üzere):

$$\eta_{12} = \left(\frac{h}{H} \right) (\eta_2 - \eta_1)$$

2.3 DENEYİN YAPILIŞI

2.3.1 Deneyde Kullanılacak Malzemeler

1. Çöktürme kolonu
2. Zamanlayıcı
3. Alınan numuneleri saklamak için erlenler
4. AKM analizi için gerekli aparatlar

2.3.2 Prosedür

1. 100 stok ham suya 22 mg kaolin içeren 150 mL kaolin çözeltisi eklenir ve iyice karıştırılarak süspansiyon mümkün mertebe homojen tutulur.
2. Bu arada çöktürme kolonuna bir miktar kil süspansiyonu dökülür ve karıştırıcı çalıştırılır.
3. Diğer yandan kaolin içeren çözeltiye bir miktar koagulant (alum, ya da demir III klorür) eklenir ve 1 dakika boyunca çok hızlı bir şekilde karıştırılır.
4. Daha sonra bu karışım yavaşça çöktürme kolonuna boşaltılır, başlangıçtaki AKM konsantrasyonunu belirlemek için bir miktar numune alınır ve yavaş karıştırma işlemine başlanır.
5. 5-6 dakikalık yavaş karıştırma işleminden sonra karıştırıcı durdurulur ve zamanlayıcı başlatılır.
6. Her 10 dakikada bir bütün numune portlarından yeteri kadar numune alınır ve AKM analizi yapılmak üzere (i, j) şeklinde numaralandırılır.
7. Bu işleme 90 dk boyunca devam edilir ve sonunda toplanan numunelerin hepsinde AKM analizi yapılır.
8. Bulunan sonuçlar konsantrasyon matrisinde yerine konularak daha önce anlatılan işlemler yapılarak toplam çökelme verimi hesaplanır.

2.4 SORULAR

1. Kurulması planlanan bir içme suyu arıtma tesisi için yatay akışlı dikdörtgen bir çöktürme ünitesi tasarlanacaktır. Bu iş için, başlangıç (flokulasyon ünitesi çıkışı) AKM konsantrasyonu 250 mg/L olan bir numune ile yapılan çöktürme analizinin sonuçları mg/L cinsinden aşağıdaki matriste verilmiştir. Çöktürme tanklarının derinliği 2.5 m, ünitenin toplam yüzey alanı ise 476 m² olup, tesisin tasarım debisi 22,000 m³/tür. Aşağıdaki verileri kullanarak, bu çöktürme ünitesinde elde edilecek AKM giderim verimini hesaplayınız. Verileri grafik üzerine çizmek için bir sonraki sayfada verilen grafik kağıdını kullanınız.

$$C = \begin{bmatrix} \begin{matrix} d, m \\ t, dk \end{matrix} & 10dk & 20dk & 30dk & 40dk & 50dk & 60dk & 70dk & 80dk & 90dk \\ 0.5m & 150 & 73 & 23 & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1.0m & 188 & 123 & 73 & 38 & 23 & 10 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5m & 213 & 150 & 103 & 63 & 35 & 25 & 15 & 0 & 0 \\ 2.0m & 225 & 165 & 115 & 80 & 55 & 40 & 25 & 13 & 0 \\ 2.5m & 230 & 175 & 125 & 88 & 63 & 45 & 33 & 23 & 15 \end{bmatrix}$$

2. Bir önceki soruda verilen değerler için, aynı debi ve tank derinliğinde %96'lık bir verim elde edilmesine olanak sağlayacak tank tasarımı için toplam yüzey alanını bulunuz.

Yumaklı Çökelme için Eşverim Eğrileri

