

BİYOLOJİK FİLM REAKTÖRLERİNİN KİNETİĞİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesince
«Doktor»
ünvanının verilmesi için kabul edilen tezdır.

Yük. Müh. Halil ÜRÜN.

Tezin Dekanlığa Verildiği Tarih : 21/3/1978
Tezin Müdafaa Edildiği Tarih : 8/6/1978

Doktorayı Yöneten Proföser : Prof. Dr. M. Nevzat KOR
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Yılmaz MUSLU
Doç. Dr. M. Halit GÖKNİL

KARADENİZ GAZETECİLİK VE
MATBAACILIK A.Ş. TRABZON
1978

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
İntasyon Merkezi

Tezi yönetmeyi üzerine alan ve çalışma boyunca teşvik ve ilgisini gördüğüm hocam Prof.Dr.M.Nevzat KOR'a şukranlarımı arzederim.

Tezin her safhasında değerli mesaisinden fedâkarlık ederek, engin tecrübesi ile yardımcı olan hocam Prof. Dr. Yılmaz MUSLU'ya ve ilgisini esirgemiyen hocam Doç.Dr.M.Hali GÖKNİL'e teşekkürlerimi sunarım.

Bilgisayar programlarının hazırlanmasında bana destek olan Dr. Zekâi ŞEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma devamınca bana her konuda yardımcı olan Çevre Bilimleri ve Teknolojisi Kürsüsünün isimlerini buraya almadığım diğer bütün mensuplarına ve E.H.B. Merkezi elemanlarına teşekkürlerimi arzederim.

T-2125

İ Ç İ N D E K İ L E R

NOTASYON	I
ÖZET	V
SUMMARY	VII
GİRİŞ	IX

BÖLÜM I. FİLM AKIŞLI BİYOKİMYASAL

REAKTÖRLER	1
1.1.Giriş	1
1.2.Plâstik Malzeme	4
1.2.1. Plâstik Malzeme ile İlgili Genel Bilgiler	4
1.3. Biyolojik Tabakanın Karakteristik Yapısı	9
1.4. Sıvı ve Biyolojik Tabaka İçinde Oksijen Transferi	14
1.5. Sıvı ve Biyolojik Tabaka İçinde Organik Madde Transferi	17
1.6. Mikroorganizmaların Faaliyeti	19
1.7. Damlatmalı Filtrelerde Biyolojik Verimi İfade Eden Çeşitli Matematik Modeller	26
1.8. Çeşitli Modellerin Dayandığı Teorik Esaslar	28

BÖLÜM II. FİLM AKIŞLI BİYOKİMYASAL REAKTÖRLERDE
KONSANTRASYON DAĞILIMINI VEREN GENEL
DİFERANSİYEL DENKLEMİN ÇIKARTILMASI 43

- 2.1. Dispersiyon Denkleminin En Genel Halde
Çıkartılması 43
- 2.2. Dispersiyon Denkleminin Lâminar Akımlar
İçin Yazılması 47
- 2.3. Dispersiyon Denkleminin Türbülanslı
Akımlar İçin Yazılması 48

BÖLÜM III. İNCELENEN PROBLEMİN TANITILMASI 54

BÖLÜM IV. DİSPERSİYON DENKLEMİNİN EĞİK
DÜZLEM MODELİ ÜZERİNDE İNCELENMESİ 57

- 4.1. Giriş 57
- 4.2. Eğik Düzlem Üzerindeki Lâminar Akımda
Dispersiyon 58
- 4.3. Sınır Şartları 61

BÖLÜM V. EĞİK DÜZLEM MODELİ BİYOKİMYASAL
REAKTÖRLERDE DİSPERSİYON DENKLEMİNİN
SONLU FARKLARLA ÇÖZÜMÜ 64

- 5.1. Diferansiyel Denklemin ve Sınır Şartlarının
Boyutsuz Hale Getirilmesi 64
- 5.2. (5.5) Bağıntısının Sonlu Farklar Denklem
Sistemleri Tarzında İfade Edilmesi 65
- 5.3. Uygun Sonlu Farklar Şekli 68

5.3.1. Seçilen Sonlu Farklar Şekli İçin	
Stabilite Analizi	70
5.3.2. Stabilite Şartının Grafik Yolla	
Doğrulanması ve Optimum Değer Çiftinin	
Bulunması	77
5.4. Diferansiyel Denklemin Çözümü	78
5.4.1. Akım İstikametindeki Z kesitleri	
İçin Ortalama Konsantrasyon Değerle-	
rinin Hesaplanması	80
5.4.2. (5.49) Bağıntısının $J=1$ Kesiti İçin	
Tahkiki	83
5.4.3. Çeşitli Kesitlerdeki Konsantrasyon	
Profillerinin Hesabı	84

BÖLÜM VI. FİLM AKIŞLI BİYOKİMYASAL REAKTÖRLERE AİT TEORİNİN KÜBİK DİZİLİŞİ BİR FİLTRE MODELİNE TATBİKİ 106

6.1. Küre Üzerinde Akım	106
6.2. Dispersiyon Denkleminin Küre Modeli	
Üzerinde İncelenmesi	110
6.3. En Uygun $\Delta\psi$ Merkez Açısının Tayini	116
6.4. (5.8) nolu Sınır Şartının Küre Modeli	
İçin Yeniden Yazılması	118
6.5. Çözümde Uygulanan Kompüter Programı,	
İcrası ve Elde Edilen Sonuçlar	119
6.5.1. Şekil (6.5) in İzahı	128
6.5.2. Bilgisayar Programının Akış Diyagramı..	141

6.5.3. K Parametresinin Değişim Bölgesi ...	146
6.5.3.1. K'nın Maksimum Değeri	146
6.5.3.2. K'nın Minimum Sınırları	147

BÖLÜM VII. TEORİNİN DENEY SONUÇLARI İLE

KARŞILAŞTIRILMASI 148

7.1. Giriş	148
------------------	-----

7.2. Deneyin Yapıldığı Şartlar ve Deney Teçhizatı	148
--	-----

7.3. Yapılan Hesaplar	151
-----------------------------	-----

SONUÇLAR	159
----------------	-----

EKLER	162
-------------	-----

KAYNAKLAR	180
-----------------	-----

HAL TERCÜMESİ	190
---------------------	-----

N O T A S Y O N

A_v	Özgöl yüzey alanı, $[L]^2 / [L]^3$
$A_{eff.}$	Effektif özgöl yüzey alanı, $[L]^2 / [L]^3$
C_e	Çıkış konsantrasyonu, $[M] / [L]^3$
C_r	Tortu içindeki madde konsantrasyonu, $[M] / [L]^3$
C_i, c_o	Giriş konsantrasyonu, $[M] / [L]^3$
K_m	Kütle transfer katsayısı
H	Dolgu malzemesi derinliği $[L]$
Q	Debi, $[L]^3 / [T]$
Q_A	Yüzeysel hidrolik yük, $[L]^3 / [T]$
J	Kütle akısını ifade eden vektör, $[M] \cdot [L]^2 / [T]$
$\underline{m}$	Yüzeysel alana dik birim vektör
S	Sıvı elemanının yüzey alanı, $[L]^2$
V	Sıvı elemanının veya filtre hacmi, $[L]$
F	Ayrışarak çökelen nihaî ürünler, $[M] / [L]^3 / [T]$
t	Akım zamanı, $[T]$
$u, v, w \dots x, y, z$	İstikametlerindeki akım hızları $[L] / [T]$
D	Moleküler difüzyon katsayısı $[L] / [T]^2$
w_{max}	z doğrultusunda max. sıvı hızı, $[L] / [T]$
$\bar{u}_i$	Türbülanslı akımlarda ($i = x, y, z$) doğrultusundaki akım hızları, $[L] / [T]$
u'_i	Çalkantı hızları ($i = x, y, z$ doğrultularında), $[L] / [T]$

$\bar{c}$	Türbülanslı akımlarda ortalama konsantrasyon, $[M] / [L]^2$
c'	Çalkantı konsantrasyonu, $[M] / [L]^3$
T	Zamansal ortalamanın alındığı peryot, $[T]$
R_e	Reynolds sayısı
$E_{T_{ij}}$	Türbülans difüzyon katsayısı, $[L] / [T]^2$
E_{ij}	Difüzyon tansörü, $[L] / [T]^2$
E_i	($i=j$) olması halinde difüzyon tansörü, $[L] / [T]^2$
ΔX	X eksenini doğrultusunda boyutsuz sonlu büyüklük
ΔZ	Z eksenini doğrultusunda boyutsuz sonlu büyüklük
K_i	Hız katsayısı, $[T] / [L]$
ψ	Eğik düzlemin yatayla yaptığı açı
h	Sıvı tabaka kalınlığı, $[L]$
h_o	Kürede $\psi=90^\circ$ 'ye tekabül eden sıvıfilmi kalınlığı, $[L]$
μ	Dinamik viskozite, $[M] / [L]^2 \cdot [T]$
ρ	Özgül kütle, $[M] / [L]^3$
g	Yerçekimi ivmesi, $[L] / [T]^2$
$\gamma = \rho \cdot g$	$[M] / [L]^2 \cdot [T]$
q	Birim genişlik debisi, $[L]^3 / [T]$
w_{ort}	z doğrultusunda ortalama akışkan hızı, $[L] / [T]$
c	Boyutlu halde madde konsantrasyonu, $[M] / [L]^3$
R''	Biyofilm yüzeyindeki mikroorganizmaların metabolik faaliyetlerini ifade eden bir terim
k_s	Reaksiyon hızı sabiti, $[L]^2 / [T]$
N	Geridevir oranı
$C = c/c_o$	Boyutsuz madde konsantrasyonu

- $X = x/h$ Düşey doğrultuda boyutsuz eksen (eğik düzlemde)
 $= x/h_o$ Düşey doğrultuda boyutsuz eksen (kürede)
- $Z = \frac{D \cdot z}{h_w \max}$ Yatay doğrultuda boyutsuz eksen
- $k_1 = k_s / D$ 1/ [L]
- $\eta = k_1 h$ Eğik düzlem modelinde
- $\eta = k_1 h_o$ Küre modelinde
- I Nümerik modelde akışkan yüzeyinden tabana doğru olan mesafeyi gösteren indis
- J Nümerik modelde akışkanın giriş kesitinden itibaren olan mesafeyi gösteren indis
- i Kompleksliği ifade eden indis
- k_{se} Yüzeysel reaksiyon hızı katsayısı, $[L]^2 / [T]$
- k_L Hacımsal reaksiyon hız katsayısı, $[L]^3 / [T]$
- A Amplifikasyon faktörü
- $NX = X / \Delta X$ Yatay tabaka sayısı
- $NZ = Z / \Delta Z$ Düşey tabaka sayısı
- m,n Deney sonucu elde edilen katsayılar
- A_i Trapez kaidesi uygulanırken hesaplanan yamuk alanları, (i=1,2,3,...,21)
- y_i Trapez kaidesinde ordinatlar, (i=1,2,...,21)
- X_i Herhangi bir Z kesitindeki apsisler (i=1,2,...,21)
- G Doğrudan doğruya türbülansa bağlı olan akışkan içindeki kesme kuvveti, $[M] / [L]^2$
- K_o Bir sabit
- $K_{L,t}$ Laminer veya türbülansın Q'ya bağlı fonksiyonel katsayıları

c_{ort} Boyutlu halde ortalama konsantrasyon, $[M] / [L]^3$

C_{ORT} Kesitsel ortalama konsantrasyon

$C(I,J)$ I ve J indisleri ile tarif edilen boyutsuz konsantrasyon

a Küre yarıçapı, $[L]$

ψ_i Eğik düzlem dilimlerini karşılayan açı, $(i=1,2,...n)$

$w_{o_{max}}$ 90° 'ye tekabül eden sıvı hızı, $[L] / [T]$

Z_i Eğik düzlem dilimlerinin boyutsuz boyuna mesafesi, $(i=1,2,...n)$

h_i Küre üzerindeki akımın, herhangi bir ψ_j açısındaki kalınlığı, $(i=1,2,...n)$, L

$w_{i_{max}}$ Herhangi bir kesitteki max. sıvı hızı, $[L] / [T]$

$$K = \frac{D.a}{h_o^2 w_{o_{max}}}$$

$$R = \sum_{i=1}^n (\sin \psi_i)^{5/3}$$

Ö Z E T

Bu çalışmada biyolojik filtrelerin verimlerinin hesabı ile ilgili olan teoriler incelenmiş, özel olarak düzlemsel yüzeyli biyofilmlerde besi maddesi tüketimini karakterize eden kısmî türevli diferansiyel denklemin, boyutsuz değişkenlerle ifade edildikten sonra, bazı sınırlar şartları altında bilgisayar yardımı ile nümerik çözümü yapılarak bu modelin küresel yüzeyli biyofilmlere tatbik şekli gösterilmiştir.

Düzlemsel yüzeyli biyofilmlerle ilgili teorilerin taneli filtrelere aktarılabilmesi için literatürde bu tip filtreler, özgül yüzeyleri gözönünde tutularak, aynı derinlikte düzlemsel yüzeyli filtrelere dönüştürülmek suretiyle hesaplanmakta ise de, her iki tip malzemenin fiziksel özellikleri ve meydana gelen akımın şekli bakımından aralarında büyük farklar vardır. Bu itibarla bu çalışmada, küresel yüzeyli biyofilmlerde besi maddesi tüketimi ve konsantrasyon dağılımı hesaplanarak yukardaki kabulün neticeleri ile bir karşılaştırma yapılmak amacı güdülmüştür.

Olayın son derece karmaşık karakteri sebebi ile hesap kolaylığı ve karşılaştırma imkânı bakımından kübik dizilişli bir filtre seçilmiş ve nümerik bir metodla çözüme gidilmiştir.

Bu filtrenin matematik modeli düşey küre zincirlerinden oluştuğundan, kürelerin temas noktalarında tam bir karışım meydana geldiği kabul edilmiş, sistemin biyolojik verimi bir küre üzerindeki konsantrasyon değişimi yardımı ile hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar, düzlemsel yüzeyle bir filtre gibi hesaplanan kübik dizilişli küresel filtrelerin biyolojik verimi ile kıyaslanmış ve geliştirilen teorisinin deney neticeleri ile uygunluğu gösterilmiştir.

S U M M A R Y

In this study, theories concerning biological filter productivity have been largely considered, and in particular, partial differential equations in their dimensionless forms of finite difference equations characterizing the nutrient removal mechanisms of plane surface biofilms have been numerically solved with some boundary conditions, on digital computers. Subsequently, the way to apply the aforementioned equations to spherical surface biofilms has been effectively shown.

In order to apply theories of plane surface biofilms to the granular medium filters, these kind filters can be converted to the plane surface filters provided that specific surface areas are taking into account at the same depths. However, there exist major differences as regards to the physical properties and generated flow pattern of these two materials. Hence, the overall objective of this research work are first to evaluate the removal and concentration distribution of substrate on spherical surface biofilms and then to compare them with above mentioned findings.

Because of the complexity of events have occurred, to compare these two theories in an easy way, a filter of

cubically arranged plastic medium has been selected, and subsequently the problem has been solved numerically.

The mathematical model of this filter is of a vertical string plastic medium and at their contact points, it has been accepted that completely-mixed flow has occurred. The biological productivity has been computed by concentration gradients of a single spherical surface.

Finally, the results obtained are compared with biological yields of sphericalpacked and cubically arranged medium filters. A good agreement has been observed with experimental findings.

G İ R İ Ő

Günümüzde hızlı sanayileşmenin bir sonucu olarak çevre kirlenmesi de büyük boyutlar kazanmaktadır. Teknik sahada elde edilen başarı, sanayileşme teknolojisinin her gün artmakta olan kötü ürünlerini zararsız hale getirmekte, gösterilememektedir. Bu yönde yapılan çalışmalar genellikle istenen seviyenin çok altında kalmaktadır. Bu sebeple çevre kirlenmekte su, hava ve toprağın tabii dengesi bozulmaktadır.

Ülkemizde, sanayiın geliştiğı bölgelerde sıvı artıklarla akarsuların, deniz, göl ve haliçlerin birçok maksatla kullanılabilme imkânları kaybolmakta, bazı tarım alanları verimsiz hale gelmektedir. Bunun önlenmesi için, sanayi çıkış sularının tatminkâr bir tasfiyeden geçirildikten sonra alıcı ortamlara verilmesi gerekir.

Bu maksatla, gerek çok fazla insan emeğı istememele-ri, gerekse bakım ve işletilmeleri kolay ve ekonomik olduğundan daha iyi hizmet ettikleri için biyolojik tasfiye sistemlerine tatbikatta fazla rastlanmaktadır.

Ülkemizde coğrafi yapı genellikle eğimli ve dalgalı bir karaktere sahiptir. Bu sebeple, tabii eğimden istifade edilerek çok kademeli inşa imkânı bulunan damlatmalı filtrelerin, ülkemize en çok uyan biyolojik tasfiye tesisleri olduğu açıktır.

Bu tip tasfiye tesislerinin önemi, plâstik dolgu malzemesinin kullanılmaya başlanmasından sonra daha da artmıştır. Bu yüzden bu çalışma da plâstik malzeme üzerine yapılmıştır.

Küresel yüzeyli plâstik malzemenin biyolojik verimi ne şekilde değiştirdiğini anlamak için de bu çalışmada filtre dolgusu olarak kübik dizilişte tertibedilmiş böyle bir malzeme kullanılmıştır.

Evvelce düşük hızda çalıştırılmak üzere projelendirilen biyolojik filtrelerin günümüzde yüksek, hatta süper hızda çalıştırılmaları halinde çok daha yüksek bir biyolojik verim elde edilmektedir.

Damlatmalı filtrelerin, endüstriyel kullanılmış suların tasfiyesinde daha geniş bir tatbik sahası bulması için bu suların, o endüstri bölgesindeki evsel kullanılmış sular ile belirli bir oranda karışımı sağlanmalıdır. Böylece; biyolojik tasfiyenin ana prensibi olan mikroorganizmalar yolu ile sıvı içindeki organik artıkların tüketilmesi işleminin daha süratli olarak tamamlanması temin edilmiş olur. Aksi halde, mikroorganizmalar kendi hayatlarını devam ettirebilmek için ihtiyaç duydukları artıklardan mahrum kalırlar. Bu ise biyolojik tasfiyenin meydana gelmesini önler.

Sanayileşmiş ülkelerde bile çok fazla uygulama alanı bulan biyolojik filtrelerin çakıl veya taş dolgu malzeme ile işletilmesi halinde elde edilen verim, plâstik filtre malzemesi kullanılması halinde elde edilen verimden düşük

kaldığı, yapılan araştırmalardan anlaşılmıştır.

Tasfiye teknikleri geliştirilirken, deneysel çalışmalara paralel olarak, teorik değerlendirmeler de yapılmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmaların azlığı göz önünde bulundurularak, tezde teorik incelemelere de yer verilmiştir.



BÖLÜM I

FİLM AKIŞLI BİYOKİMYASAL REAKTÖRLER

1.1. Giriş

Damlatmalı filtrelerin kullanılmasına ilk olarak 1800 yıllarında başlanmıştır. Amerika'da deney filtreleri ilk olarak 1889 da Massachussetts'de Lawrence tecrübe istasyonunda inşa edildiler. Daha sonra, 1893 yıllarında İngiltere'nin Birmingham şehrinde kullanılmaya başlandı. Bugünlere nazaran iptidaî sayılan bu ilk filtreler, çakıl taşları ile doldurulmuş bir yatakta kullanılmış suyun çakıl taşlarına teması fikrinden doğmuştur. Operasyon süresince çakıl taşları ile doldurulmuş bu hacme verilen kullanılmış su kısa bir süre burada bekletilerek malzemenin bununla teması sağlanmış oluyordu. Daha sonra; çakıl yatağını dolduran kullanılmış su buradan alınarak, başka bir yerde dinlenmeye terkedilmekte, bir süre sonra da aynı su, çakıl yığınınına verilmekte idi.

Böylece kullanılmış suyun, çakıl yatağa ilk verilişi ile ikinci verilişi arasında geçen takriben 12 saatlik bir zamanın yarısı sıvının dinlendirilmesine harcanmış oluyordu.

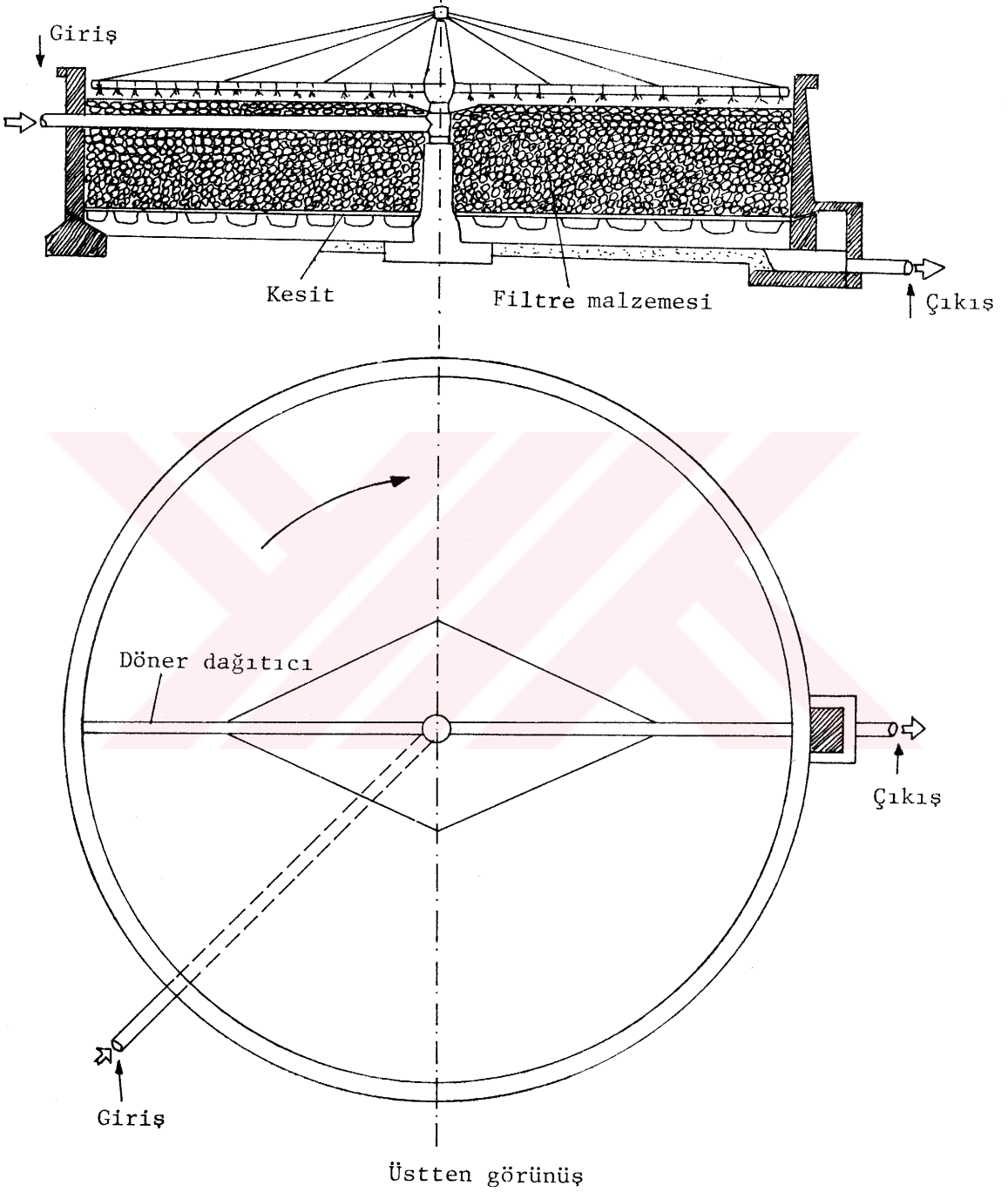
"Temas Filtreleri" de diyebileceğimiz bu ilk tiplerin kullanılması sınırlı olmuştur. Bu filtrelerden çıkan kullanılmış suyun dinlendirilmesi için uzun zaman peryotlarına ihtiyaç duyulması ve düşük yükte çalıştırılma zorunlulukları, önemli sayılabilecek mahzurları teşkil eder.

Bu yüzden, bu ilk tiplerden bu gün kullanılan filtreler geçmek zorunlu olmuştur (Şekil 1.1)|29|. Bu gün kullanılmakta olan filtreler, boşluklu ortamla doldurulmuş sığ ve geniş bir tanktan müteşekkil olup, biyolojik tasfiye işlemlerinin cereyan ettiği taneli malzeme yığınının ibaretidir. Bu yığına kullanılmış sular sabit veya döner dağıtıcılar vasıtası ile verilir. Kullanılmış sular üst yüzeyden aşağıya, çıkış noktasına doğru akar. Dolgu malzemesi, biyofilm (biyolojik tabaka), diye isimlendirilen, mikroorganizmaların geliştiği bir ortama dayanak teşkil eder. Filtre malzemesi yatağa o şekilde yerleştirilmelidir ki; yatağa verilen sıvı ve hava, birbirine zıt istikamette akabilsin. Gerçekte damlatmalı filtre; organik maddelerin ve oksijenin, biyolojik tabaka tarafından sıvı ve havadan adsorpsiyonu kolaylaştıran bir kontak vasıtasıdır.

Bu işlemin ana prensibi; biyofilm içindeki mikroorganizmalar tarafından yeni hücreler oluşturmak maksadıyla O_2 ve organik maddelerin kullanılmasıdır. Biyofilm içinde gidecek çoğalan bu hücre maddesi zaman zaman suyun sürükleyici kuvveti ile yerinden koparılıp filtre kolonunun çıkışına doğru uzaklaştırılır. Bu maddeler çökeltilerek tasfiyeden geçirilmiş sıvıdan ayrılır.

Damlatmalı filtre katalitik bir reaktöre benzetilebilir. Bu tip bir reaktörde göze çarpan en önemli taraf katalitik yüzeyin yani biyolojik tabakanın karakteristik yapısıdır.

- 3 -



Şekil 1.1. Bir Damlatmalı Filtreden Görünüş |29|

1.2. Plâstik Malzeme

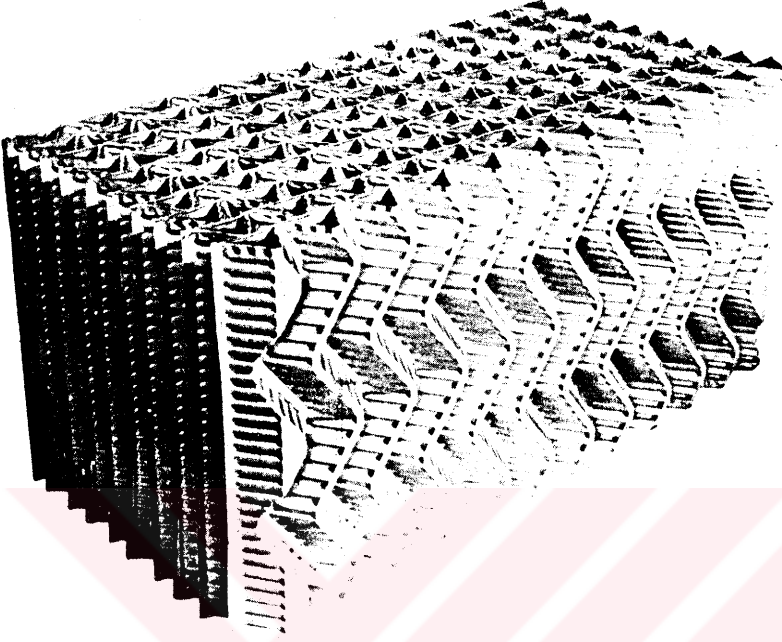
Aktif çamur sahasındaki gelişmeler üzerine damlatmalı filtrelerle karşı azalan ilgi, plâstik malzemenin filtre yatağında kullanılması nedeni ile tekrar artmaya başladı. İleri teknoloji uygulayan ülkelerde bu tip malzemenin daha fazla kullanıldığına şahit olunmaktadır.

1.2.1. Plâstik Malzeme İle İlgili Genel Bilgiler

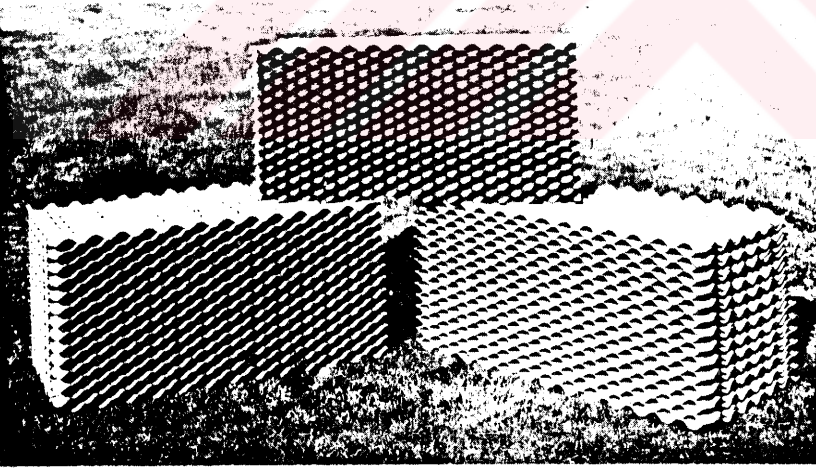
Plâstik malzemede porozite çok yüksek olmaktadır. Bu yüzden ön çökeltim tankından sağlanan verim, plâstik malzemenin kullanılması halinde doğrudan doğruya filtre tankından elde edilebilmektedir. Böyle hallerde ön çökeltim tankına ihtiyaç duyulmaz. Porozitenin yüksek olması çökelmenin yerçeki-mi ile oluşmasını sağlar.

Şekil (1.2) de görüldüğü gibi, filtre dolgusunda kullanılan plâstik malzeme, ya dikey gelecek tarzda düzenli olarak yerleştirilir, yahut kimya mühendisliğinde görüldüğü gibi kulelere rastgele dizilir. Malzeme dizilişinin önemi 20 yıl kadar önce farkedildi. Bu gün bu konuda yapılan çalışmalara da ışık tuttu. PVC malzemesinin kullanılmasına yolaçan, B.F.Goodrich Koroseal Vinyl Core, tam ölçekli bir tesisde başarı ile kullanıldı. Böylece ortalama bir verim elde edilerek, aktif çamur metoduna karşı damlatmalı filtrelerin daha cazib hale gelmesi sağlanmış oldu.

Günümüzde değişik tipteki plâstik malzeme üretimine başlandı. Vinyl Core (Koroseal) B.F.Goodrich, Flocor Ethyl (ICI),Dowpac, Surfpac Dow geliştirilen plâstik malzeme tipler-



(a)



(b)

Şekil 1.2. Plâstik Malzeme : (a) Flocor-Fotoğraf I.C.I.Ltd. Şirketi Tarafından Brixham Lâboratuvarında Çekilmiştir. (b) Kapalı Kıvrımlı (Crinkle-Close) Surf-pac-Fotoğraf Hydronyl Ltd.Tarafından Çekilmiştir.

ri arasında sayılabilir. En son geliştirilen malzeme arasında Dow'ın |21| ve Chippirfield'in |18| yaptığı dolgu malzemesi sayılabilir.

Tablo I.1 de görüldüğü gibi plâstik malzemenin çok düşük bir spesifik ağırlığı vardır. Taş dolgu malzemeye nazaran % 200 spesifik yüzey alanı ve % 200 boşluk oranı plâstik malzemenin en belirgin hususiyetleri arasında sayılabilir. Birim hacim başına maliyetin, taş dolgu malzemeye nazaran daha fazla olduğu gözönünde tutulursa; plâstik malzemenin sadece lüzumlu hallerde, ileri tasfiye isteyen çok konsantre kullanılmış sular için kullanılacağı anlaşılr.

1.2.2. Plâstik Malzemenin Diğer Tip Malzemeye Nazaran Üstünlüğü

Plâstik malzemenin taş ve benzeri diğer malzemeye nazaran üstünlüğü bir çok araştırmacı tarafından ortaya konulmuştur | 3 |, |63|, |56|.

İptidaî dolgu malzemesi ile karşılaştırılacak olursa, plâstik malzemede sıra ile şu üstünlüklere rastlanır.

1) Aynı hidrolik yükte, birim dolgu hacmi başına daha fazla BOI giderir.

2) Birim yüzey alanı ve hacmi başına düşen yüksek seviyedeki hidrolik yüklerde çalışabilir. Böyle hallerde uygun çıkış BOI'si verir.

3) Özel bir havalandırmaya gerek görülmeden yüzeyindeki boşluklar sayesinde tabii havalandırma sağlanır.

4) Kendi tabii ağırlığını ve yüzeyine yapışan biyolojik kütleyi taşıyabilecek yapıdadır.

Tablo 1.1. Farklı Plâstik Malzeme Tiplerinin Karşılaştırılması | 35 |

Malzeme İsmi	Materyal	Spesifik Ağırlık (Kg/m ³)	Spesifik Yüzey Alanı (m ² /m ³)	Porozite (%)
Surfpac (DOW)	Polystyren	64	82	94
Flocor (ICI)	PVC	37	85	98
Mini-Flocor	PVC	45	180	98
Cloisonyl	PVC	80	220	94
Bioprofile (Babcock) 32 mm.	PVC	40	160	98
Bioprofile 42 mm.	PVC	32	120	99
Hydropack (geniş)	PVC	-	200	96

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

6) Biyolojik olarak ayrışmaz. Yani inerttir.

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

PVC ile yapılan dolgu malzemeleri yukarda sayılan vasıfları taşır. Filtre malzemesini esas manâda karakterize eden faktör spesifik yüzey alanı (A_v) olmaktadır. PVC için A_v şu sınırlar arasında değişir :

$$A_v = 30-300 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

Ortalama değeri ise :

$$A_v = 110 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

olmaktadır.

Filtrenin genel işleyişi sadece A_v ile bağımlı değildir. Malzeme dizilişi, boşluk oranı, v.s. gibi birçok faktörlere bağlıdır. Yüzey alanının biyofilmle kaplanması malzemenin A_v değerine tesir eder. Rastgele biyofilm düşmeleri ve çökelmeler yüzünden A_v efektif spesifik yüzey alanı azalır |56|.

Son zamanlarda $A_v = 225-270 \text{ m}^2/\text{m}^3$ olan plâstik malzeme tecrübe edilmektedir. Bu tip malzemeden daha iyi neticeler elde edildiği anlaşılmaktadır |56|.

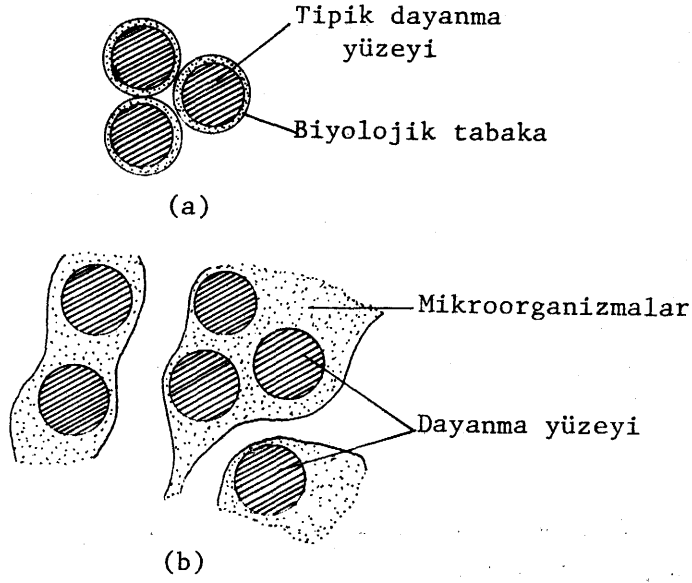
1.3. Biyolojik Tabakanın Karakteristik Yapısı

Biyolojik tabaka mikroorganizmaların oluşturduğu jelatin yapısında bir kütleden ibarettir. Damlatmalı filtrenin işletmeye açıldığı birkaç gün içinde bu tabaka teşekkül eder ve tanelerin yüzeyini kaplar.

Biyolojik tabaka; kolona verilen sıvının veriliş tarzına göre farklı kalınlıklar alabilir. Böylece, kalınlıkları kontrol edilebilen veya edilemeyen olarak iki tip biyofilm teşekkül eder. Şekil (1.3.a,b) | 8 |. Aseptik durumda, fludize hal için sıvı verilirken buna paralel olarak hidrodinamik yolla da hava basılır. Böylece katı yüzeylerin her tarafına sıvı temas eder ve kontrol edilemeyen biyofilm teşekkül eder. Ancak, yerçekimi ile verilen sıvı, sabit filtre malzemesi üzerinde kalınlığı kontrol edilebilen biyofilm oluşturur. Bu durumda gaz sürekli olarak sıvı ile temas halindedir.

Biyofilm içindeki reaksiyonlara mikroorganizmaların çoğalmasının tesiri, giriş parametrelerini sabit tutarak incelenebilir. Bu durumda çıkış parametreleri zamana bağlı olarak değişir. Böyle hallere, reaksiyon hızının biyofilm kalınlığına bağlı olduğu zamanlarda rastlanır.

Bilindiği gibi, biyolojik tasfiye ünitelerinde, tasfiyeyi mikroorganizmalar yapmaktadır. Bu esnada ya oksijen kullanırlar, ya da bu işi oksijensiz yaparlar. Biyofilm içindeki çözülmüş oksijeni kullanarak organik maddeleri ayrıştıran mikroorganizmalara "Aerobik mikroorganizmalar" denmektedir. Şayet ortamda oksijen yoksa ayrışma yine olur. Ancak bu halde, organik maddeler "Anaerobik mikroorganizmalar" tarafından ayrıştırılır.



Şekil 1.3. Tipik dayanma yüzeyli biyolojik filmler. (a) Kalınlığı kontrol edilebilen (b) kalınlığı kontrol edilemeyen filmler | 8 |.

Hazırlanmış bir filtre tesisinde biyofilmin, yukarıda anlatılanlara göre, iki farklı tabaka halinde olması gerekir.

Bir defa, sıvı tabakadan biyofilm'e doğru difüzyon yolu ile iletilen oksijen, biyolojik tabaka içinde ancak belirli bir mesafeye kadar yayılır. Çünkü aerobik tabaka içerisinde teşekkül eden ve organik maddeleri, oksijen yardımı ile indirgeyen aerobik mikroorganizmalar difüzyon yolu ile sevkedilen oksijeni müteakip tabakaya -anaerobik tabaka- varmadan tüketirler.

Böylece de iki tabaka halinde mütalâa edilebilecek biyofilmin, ikinci tabakası içinde ayrışma mikroorganizmalar tarafından oksijensiz yapılır.

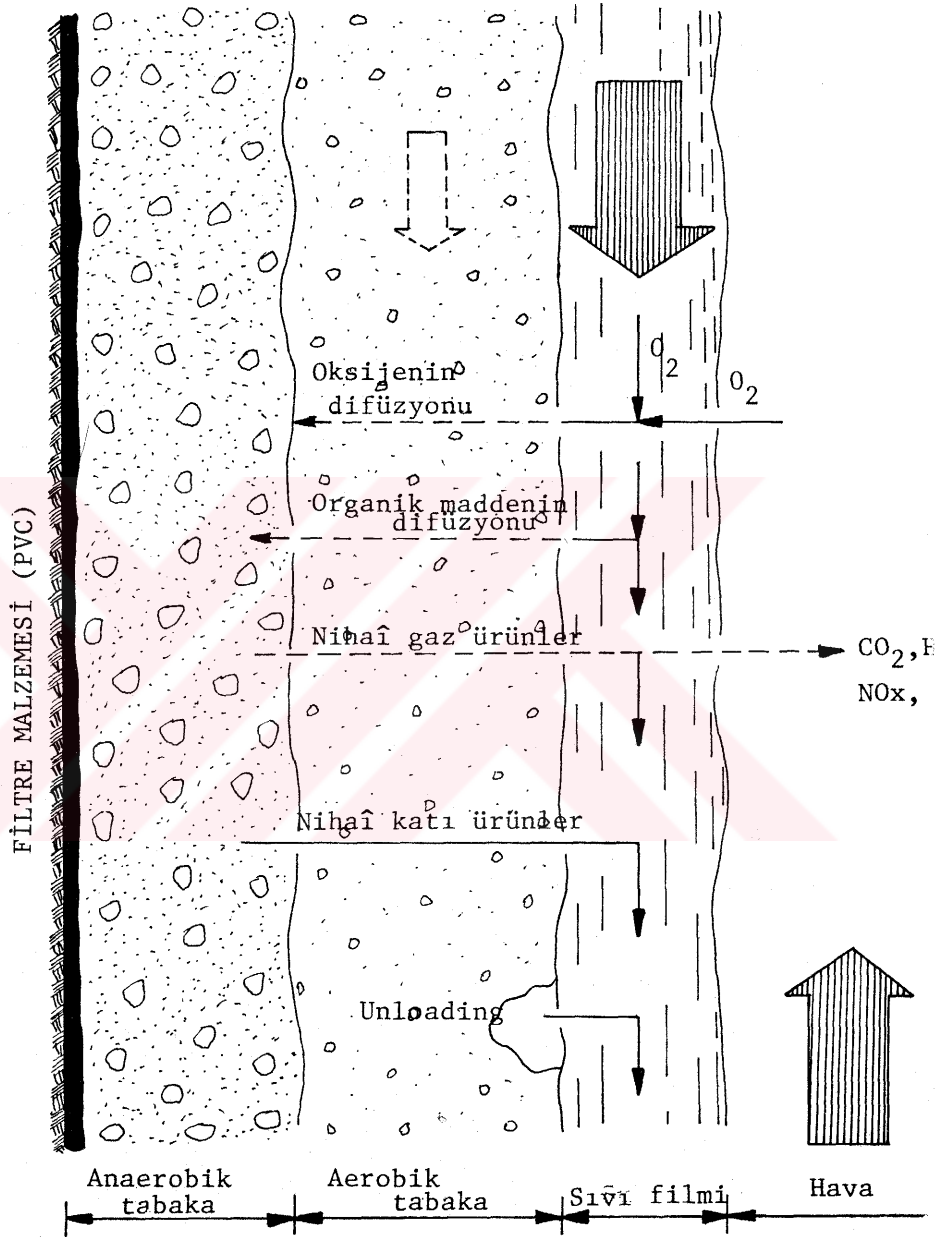
Bunun neticesi olarak da iç taraftaki mikroorganizmalar kendi hücre yapılarını oluşturmak için (ihtiyaç duydukları organik madde aerobik tabakada tüketildiğinden) lüzumlu karbon kaynağını elde edemezler. Bilhassa aerobik tabaka kalınlığı arttıkça bu durum daha da açık olarak belirlenir. Böylece iç solunum fazına girerler. Yani kendi hücrelerini karbon kaynağı olarak kullanırlar. Anaerobik mikroorganizmalar oldukları için de bu işi oksijen olmadan yaparlar.

İç solunum fazına girmeleri, bu mikroorganizmaların filtre malzemesi yüzeyine tutunma kabiliyetlerinin kaybolmasına neden olur. Bundan sonra sıvı, bu tutunamıyan ve katı hale dönüşen mikroorganizma kütlesini alır götürür. Yeni mikroorganizmalar teşekkül etmeye başlar. Bu olaya, yani biyofilmin azalmasına "Sloughing" (suyun sürükleyici kuvveti karşısında düşme) denir. Bu düşme sıvının "hidrolik" ve "organik" yükünün bir fonksiyonu olur. Hidrolik yük, burada sıvı hızı olarak, organik yük ise biyofilmin metabolizma (ayrıştırma) hızı olarak sisteme tesir eden temel parametrelerdir.

İlerde de görüleceği gibi, damlatmalı filtreleri hidrolik ve organik yükleme hızlarına tabi olarak, düşük hızlı ve yüksek hızlı diye iki sınıfa ayırmak mümkündür.

Damlatmalı filtrelerdeki tabakalar ve yukarda anlatılan bilgiler Şekil (1.4) de şematize edilmiştir.

Damlatmalı filtrelerde biyofilm içinde bulunabilen mikroorganizmalar şunlardır : Protistalar, aerobik, anaerobik



Şekil 1.4. Biyolojik Filtre Şeması | 55 |

ve fakültatif bakteriler, mantarlar, algler ve protozoalar. Sıvı tabaka içinde daha da büyük hayvanlar, solucanlar, kurtçuklar ve salyangozlar bulunabilir.

Fakültatif bakteriler damlatmalı filtrelerde en çok iş gören mikroorganizmalardır. Düşük PH değerlerinde mantarlar da organik maddeleri ayrıştırmada kuvvetli rol oynarlar. Işığın nüfuz edebildiği filtre bölgelerinde algler de yetişir. Genellikle damlatmalı filtre tipindeki biyolojik tasfiye ünitelerinde alglerin pek etkili olmamasına rağmen, güneş ışığının hakim olduğu saatlerde bu unsurlar da biyolojik tabakaya oksijen temin etmeye yararlar. Bu faydaları yanında filtreden geçen sıvının yolunu keserek zararlı da olabilirler.

Protozoalar ise filtre içinde ciliata grubuna mensup bulunduklarından, ayrışmayı sağlamaktan ziyade bakteri nüfusunu kontrol etmede yararlı olurlar.

Diğer ileri seviyede gelişmiş organizmalar biyofilm içindeki katı maddelerle beslenirler, böylece de bakteri nüfusunun dinamizmini temin ederler, daha yüksek bir tasfiye kapasitesinin elde edilmesine yardımcı olurlar.

Damlatmalı filtrelerde hadiselerin kinetiğini iyi bilmek gerekmektedir. Diğer biyolojik tasfiye prosesleri ile mukayese edildiğinde, damlatmalı filtrelerde teorik bir hesap çatısının kurulmasındaki güçlükler kolayca anlaşılır. Önemli olan husus; damlatmalı filtrelerdeki hadiselere etki eden parametrelerin tesbiti ve etki ediş yollarının bulunmasındaki güçlüktür.

Buna rağmen her hadisede olduğu gibi, burada da olayı iyi izah edebilmek için matematiksel metodlara başvurmak başlıca çıkar yol olmaktadır.

Burada iyi bilinmesi gereken husus sıvı ve biyolojik tabaka içinde oksijen ve organik madde transferinin nasıl olduğudur.

1.4. Sıvı ve Biyolojik Tabaka İçinde Oksijen Transferi

Yapılan çalışmalar, en önemli biyolojik reaksiyonların, biyofilmin aerobik bölgesinde vuku bulduğunu ve bunun ise oksijenin biyofilm içindeki "nüfuz derinliği" ile izah edildiğini göstermiştir. Nüfuz derinliği; oksijenin biyofilm içindeki difüzyon katsayısına, oksijenin kullanılma hızına ve biyofilm ile sıvı tabaka arakesitindeki oksijen konsantrasyonuna bağlıdır. Belirli bir debi ve organik madde konsantrasyonu için, biyofilm içindeki oksijen konsantrasyonu gradyanını doğrudan doğruya sıvı-biyofilm arakesitinin diğer tarafındaki oksijenin kütle akısına (kütle flux'u) bağlı olarak yazmak mümkündür.

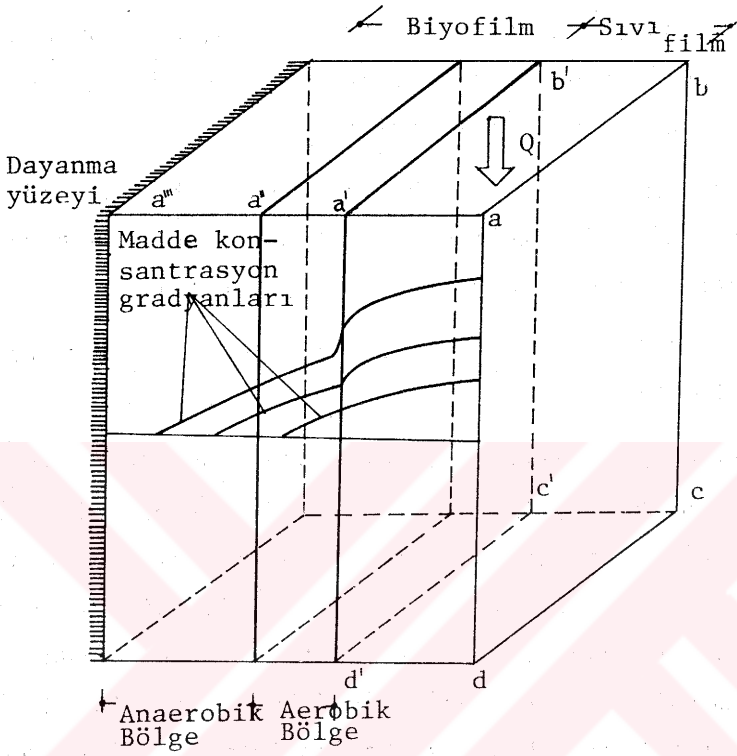
Sıvı-biyofilm arakesiti boyunca ihtiyaç duyulan çözünmüş oksijen, sisteme giren sıvıdan ve havadan transfer yolu ile karşılanmaktadır. Yapılan deneysel tecrübeler, giriş sıvısı ile birlikte sisteme giren çözünmüş oksijen muhtevasının, biyofilmin aerobik tabakasında ihtiyaç duyulan çözünmüş oksijen muhtevasını karşılamaktan çok uzak olduğunu göstermiştir. Bu nedenledir ki bu ihtiyacın, havadan transfer yolu

ile alınan oksijenle karşılandığı kabul edilmektedir. Pas-veer, yaptığı çalışmalardan elde ettiği sonuçlara dayanarak, sıva-hava arakesitinin sürekli olarak sabit ve doyumluk konsantrasyonunda olduğunu kabul etmiştir.

Bu çalışmada da filtre kolonu boyunca her noktada sıvı-hava arakesitinde oksijen konsantrasyonunun sabit ve doyumluk değerinde olduğu gözönünde tutulmuştur.

Şekil (1.5) böyle bir sistemin elemanter hacim içinde izahını vermektedir.

Akımı laminer kabul ettiğimize göre, oksijenin sıvı tabaka içerisindeki yayılması moleküler difüzyonla olmaktadır. Belirli bir debi için oksijen kütlesinin sıvı-hava arakesitinden, sıvı-biyofilm arakesitine transferini, sıvı-hava arakesitindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonu cinsinden ifade etmek mümkündür. Oksijenin biyofilm içine nüfuz derinliği ise, bu tabakanın çözünmüş oksijen ihtiyacı cinsinden ifade edilebilir. Belirli bir debide ve organik madde konsantrasyonlarının yüksek değerlerde bulunduğu hallerde biyofilm içinde ihtiyaç duyulan çözünmüş oksijen miktarı sabittir. Damlatmalı filtrenin herhangi bir noktasında bu şartlar hakimse; sıvı-biyofilm arakesitinden geçen çözünmüş oksijenin kütle akısı sabit ve buna bağlı olarak, biyofilmin aktif bölgesinin tabaka kalınlığı da sabit olur. Düşük madde konsantrasyonlarında, biyofilmin oksijen ihtiyacı azalmakta ve buna paralel olarak da sıvı-biyofilm arakesitinde çözünmüş oksijen muhtevası artmaktadır. Bu yüzden, bu arakesitin bir tarafından diğer tarafına oksijenin kütle akısı azalır. Böylece, sıvı-biyofilm arakesitinde, biyofilm içinde oksijene



Hava-sıvı arakesiti = abcd

Biyofilm-sıvı arakesiti = a' b' c' d'

Sıvı tabaka kalınlığı = aa'

Aerobik tabaka kalınlığı = a' a''

Anaerobik tabaka kalınlığı = a'' a'''

Şekil 1.5. Sıvı ve Biyofilm'e Ait

Elemanter Hacim | 36 |

az miktarda ihtiyaç duyulması sebebiyle, oksijen konsantrasyonunun yükselmesine, dolayısıyla oksijenin biyofilm içindeki nüfuz derinliğinin artmasına yol açılmış olur. Belirli bir debi ve düşük giriş konsantrasyonlarında, yukarıda açıklanan

nedene bağlı olarak, filtre kolonu boyunca, sıvı tabaka içinde madde konsantrasyonu düştükçe, oksijenin biyofilm'e nüfuz derinliği artar.

Sıvı debisinin arttığı hallerde, laminer akımlarda, debiye paralel olarak hızda da bir artma husule gelir. Bu esnada sıvı tabakasının kalınlığı da artacaktır. Sıvı hızındaki artma, sıvı-hava arakesitinden oksijen girişini hızlandırır. Bu ise sıvı-biyofilm arakesitinden oksijenin kütle akısında artmaya neden olur. Sıvı-biyofilm arakesitinde çözünmüş oksijen muhtevasında artma olunca bu, oksijenin biyofilm içindeki nüfuz derinliğini artırır. Bütün bunların neticesinde ise, belirli bir organik yük için, debiyi artırmak biyofilmin aktif parçasının kalınlığının artmasına sebep olur [36].

1.5. Sıvı ve Biyolojik Tabaka İçinde Organik Madde Transferi

Organik maddenin sıvı tabaka içindeki yayılması da akımın laminer olması sebebiyle moleküler difüzyon şeklinde olmaktadır. Aynı tarzda, oksijen için söylediğimize benzer olarak, sıvı tabaka içinde teşekkül edecek organik madde konsantrasyon gradyanı da; debiye, giriş konsantrasyonuna, organik maddenin moleküler difüzyon katsayısına ve sıvı-biyofilm arakesitinin bir tarafından diğer tarafına maddenin kütle akısına bağlıdır.

Belirli bir debi için, sıvı tabaka içinde bir madde konsantrasyon gradyanı gelişecektir. Düşük madde konsantras-

yonlarında konsantrasyon gradyanı, sıvı tabaka içine nüfuz ederek sıvı-hava arakesitine yaklaşır. Yani, bütün sıvı kalınlığınca konsantrasyonun değiştiği görülür. Şayet, giriş madde konsantrasyonu artırılır ise, konsantrasyon gradyanının nüfuz derinliği azalır. Yani konsantrasyon, biyofilm yüzeyine yakın dar bir bölge içinde değişir. Gradyan sıvı-biyofilm arakesitine doğru yaklaşır. Yüksek seviyedeki bir madde konsantrasyonu için, konsantrasyon gradyanı sıvı-biyofilm arakesitine çok yakın olan "durgun bölge" ye kadar gelir.

Aynı şeyler belirli bir giriş madde konsantrasyonu ve değişik debiler için de söylenebilir. Düşük debilerde, konsantrasyon gradyanı sıvı tabaka içine iyice nüfuz ederek, sıvı-hava kesitine doğru yaklaşır. Debi artırıldıkça, sıvı hızı da yükselir ve konsantrasyon gradyanının penetrasyonu azalır. Çok yüksek debilerde, keza konsantrasyon gradyanı sıvı biyofilm arakesitinde durgun bölgeye sıkışır kalır.

Bilinmesi gerekli hususlardan biri de; belirli bir debi ve giriş konsantrasyonu için, madde konsantrasyon gradyanının filtre derinliği ile değişmesidir. Filtre kolonunun artan derinliklerinde, konsantrasyon gradyanı, madde tüketimi nedeni ile sıvı tabaka içinde daha derinlere yayılır. Giriş madde konsantrasyonu az iken filtre kolonu boyunca, derin kısımlardaki madde konsantrasyon gradyanının yayılması, giriş madde konsantrasyonun yüksek olması haline nazaran daha büyüktür. Sıvı tabaka içinde, düşük madde konsantrasyon girişlerinde madde azalmasının, filtre kolonu boyunca sıvı-biyofilm arakesitinin bir tarafından diğer tarafına madde-nin kütle akısına önemli oranda tesiri vardır.

Biyofilm içinde, madde konsantrasyonunun muhtelif derinliklerde değişimi, aşağıdaki parametrelere bağlıdır: Sıvı debisi, sıvı tabaka içinde madde konsantrasyonu, maddenin biyofilm içindeki moleküler difüzyon katsayısı, aerobik (aktif) biyofilm içinde organik maddenin kullanılma hızı.

Sıvı tabaka içinde, belirli bir debi ve madde konsantrasyon gradyanı için, biyofilm içinde bir madde konsantrasyon gradyanı teşekkül eder. Kararlı denge halinde, biyofilm içindeki madde konsantrasyon gradyanı aynı kalır. Bu halde ; sıvı-biyofilm arakesitinin bir tarafından diğer tarafına maddenin kütle akısı, biyofilmin aktif tabakası içinde kullanılan toplam madde kütlesine eşit olur.

1.6. Mikroorganizmaların Faaliyeti

Damlatmalı filtreler içinde faaliyet gösteren mikroorganizmalar, bu sistemler içindeki çevre şartlarını çok iyi şekilde yansıtırılar. Sistem içinde hakim mikroorganizma türü bakterilerdir. Bunlar da daha evvel işaret edildiği üzere aerobik, fakültatif ve anaerobik olabilirler. Damlatmalı filtre içinde en çok iş gören tipi, fakültatif olanlarıdır. Bu tür bakteriler serbest oksijenin bulunduğu ortamda aerobik, serbest oksijenin bulunmadığı ortamda ise anaerobik bakteriler gibi faaliyet gösterirler.

Heterotrofik diye de anılan yukarda bahsi geçen bakteri tipi, kompleks organik maddelerle hayatlarını idame ettirirler. Bir seri reaksiyon sonunda; yeni hücrelerin teşekkülüne yarayan hücre maddesini (protoplazmayı) istihsal eder-

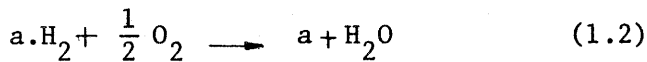
ler. Böylece gelişir ve çoğalırlar. Bu tipteki bir faaliyet iki safhada mütalâa edilir. Bakteriler, organik bileşikleri hem yeni moleküllerin teşekkülüne yarayan elementleri elde etmede, hem de bu dönüşümü (transformasyonu) temin için gerekli enerjiyi sağlamada kullanırlar.

Enerji, oksidasyon reaksiyonları yolu ile istihsal olunur. Bu reaksiyonlarda oksidasyon hadisesi, direkt olarak "oksijen ilâvesi" yolu ile değil de, "hidrojen giderilmesi" yolu ile husule getirilir. Hidrojenin giderilmesi (transferi) fikrinden hareket ederek, her biyolojik oksidasyonu aşağıdaki genel reaksiyon bağıntısı ile ifade edebiliriz.



(1.1) bağıntısında aH_2 oksitleyici madde olup H_2 istihsal etmeye yarar. b ise indirgeyicidir.

Şayet H_2 alarak indirgemeyi sağlayan madde O_2 ise, bu tip biyolojik transformasyonlar aerobik karakterlidir. İndirgemeyi temin eden madde O_2 dışında bir madde ise reaksiyon anaerobik karakterlidir. Hidrojen kabul eden (Hydrogen-acceptor) madde O_2 ise reaksiyon aşağıdaki gibi olur.



Redoks reaksiyonlar kendiliğinden, yani arada bir katalizör olmadan oluşmazlar. Bu katalizörler enzimlerdir. Vazifelerini icra ettikten sonra, bizzat bakterilerin ken-

dileri tarafından ayrıştırılırlar. Enzimler, kompleks organik bileşiklerin bakteriler tarafından ayrıştırılmaya hazır hale gelmesini sağlarlar demektir,

Redoks reaksiyonlar hiçbir zaman tek safhada meydana gelmezler. Pratikte bu prosesler münferit ve tam redoks reaksiyonlar olarak, herbiri belirli katalizör enzimler yolu ile olur. Genel anlamda bu söylenenleri (1.1) bağlantısı ile ifade etmek mümkündür.

Redoks prosesler (Reduksiyon-oksidasyon reaksiyonları) yeni hücre maddesinin teşekkülü esnasında, müteakip sentez fazı için ihtiyaç duyulan enerjiyi temin ederler.

Redoks reaksiyonları ile sentez proseslerini kesin hatlarla birbirlerinden ayrı hadiseler olarak düşünmek yanlış olur. Birçok hallerde, solunum prosesi sonunda hüsule gelen ürünler, yeni hücre maddesinin sentezinde kullanılır. Böylece iki katlı bir faaliyet tek bir proses ile gerçekleşir.

Enerji korunumuna ait olarak verilen izahlar ve enerjinin redoks reaksiyonlardan, tüketildiği sentez reaksiyonlara transferi halâ karmaşıklığını muhafaza etmekte olup bütünüyle açıklık kazanmamıştır | 43|. Bütün bunlara rağmen mantıkî bir izah vermek kabildir.

Redoks reaksiyonlar esnasında açığa çıkan enerji ısı enerjisi değildir. Bu yüzden, mikroorganizmalar tarafından yeni hücre maddesinin sentezinde kullanılmaz. Bunun üzerine diğer bazı biyokimyasal fenomenler sayesinde katlı kimyasal reaksiyonlar meydana gelir. Bu ise, başlangıçtaki redoks reaksiyonlar ile müteakip sentez reaksiyonları arasın-

daki fazı oluşturmaktadır. Bu fazda ADP koenzimi gerekli enerjiyi depo eder. Bu işlemi ise, inorganik fosforu adsorbe ederek ve ATP koenzimine dönüşerek sağlar. ATP koenzimi de daha sonra, kendinde depo ettiği enerjiyi sentez reaksiyonlarında gerekli olması üzerine vererek tekrar ADP koenzimine dönüşür. Sentez reaksiyonları, yeni hücre maddesinin teşekkül etmesine ve böylece de bakterilerin gelişip, çoğalmasına neden olurlar.

Hücre maddesinin (Protoplazmanın) genel ifadesi $C_5H_7O_2N$ olarak verilebilir. Görüldüğü gibi içinde karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O) ve azot (N) vardır. Hakikatte bir bakteri protoplazmasının teşekkül edebilmesi için yukarda bahsedilen elementlerin yanında P,S,Na,K,Ca,Mg,Fe, Mo,Co,Mn,Zn ve Cu gibi elementlere de ihtiyaç olur. Ancak, protoplazma içindeki muhtevaları az olduğundan bahse konu teşkil etmemektedirler. Bundan anlaşılan şudur : Sentez reaksiyonlarının teşekkül etmesi için yukarda söz konusu edilen dört elementin bulunabilmesi kâfidir.

Bilindiği üzere bir damlatmalı filtrenin bakteri yatağı içinden geçen sıvı, yani kullanılmış su, bakterilerin kendi protoplazmasını husule getirebilmesi için gerek duyduğu dört elementin bulunduğu karmaşık bir organik madde yapısı ihtiva etmektedir. Bu sistem içinde, organik maddeler sürekli olarak sıvıdan uzaklaştırılırken, bakteri faaliyeti çok aktif olursa organik maddelerin giderilme mertebesi yüksek olur. Bakterilerin çoğalması, damlatmalı filtrelerde, artıkların giderilme derecesine tesir eden çevre şartlarına bağlıdır.

Bakteriler genellikle bölünerek çoğalırlar. İki yeni mikroorganizmaya parçalanın hücrenin herbir parçası orjinal parça gibi davranır. Bölünme zamanı birkaç günden, birkaç saate kadar değişebilir. Hatta 20 dakikadan daha az zamanda bile bölündüğü görülür. Çoğalma bakteri tipine ve çevre şartlarına da bağılıdır. Hücrenin bölünme peryotlarını 20 dakika kabul ettiğimizi farzetsek, 10 saatlik bir zaman sonunda bir hücreden 1.000.000 adet yeni hücre meydana gelmektedir. 48 saat sonunda ise bu sayı 2^{144} 'e ulaşmaktadır. Böyle yüksek seviyede çoğalmayı sağlayan çevre şartlarına her zaman rastlanmaz, rastlansa da pek kısa sürer.

Bakterilerin damlatmalı filtrelerde çoğalması bazı faktörlerle sınırlandırılmıştır. Besin maddesinin karakteri, sıcaklığı, bakterilerin tabii ölümü, biyokimyasal reaksiyonlar sonucu ikinci kademe toksik ürünlerin akümülayonu ve diğer mikroorganizma türlerinin hayatlarını idame ettirebilmek için bakterileri besin olarak kullanması bu faktörler cümlesinden sayılabilir.

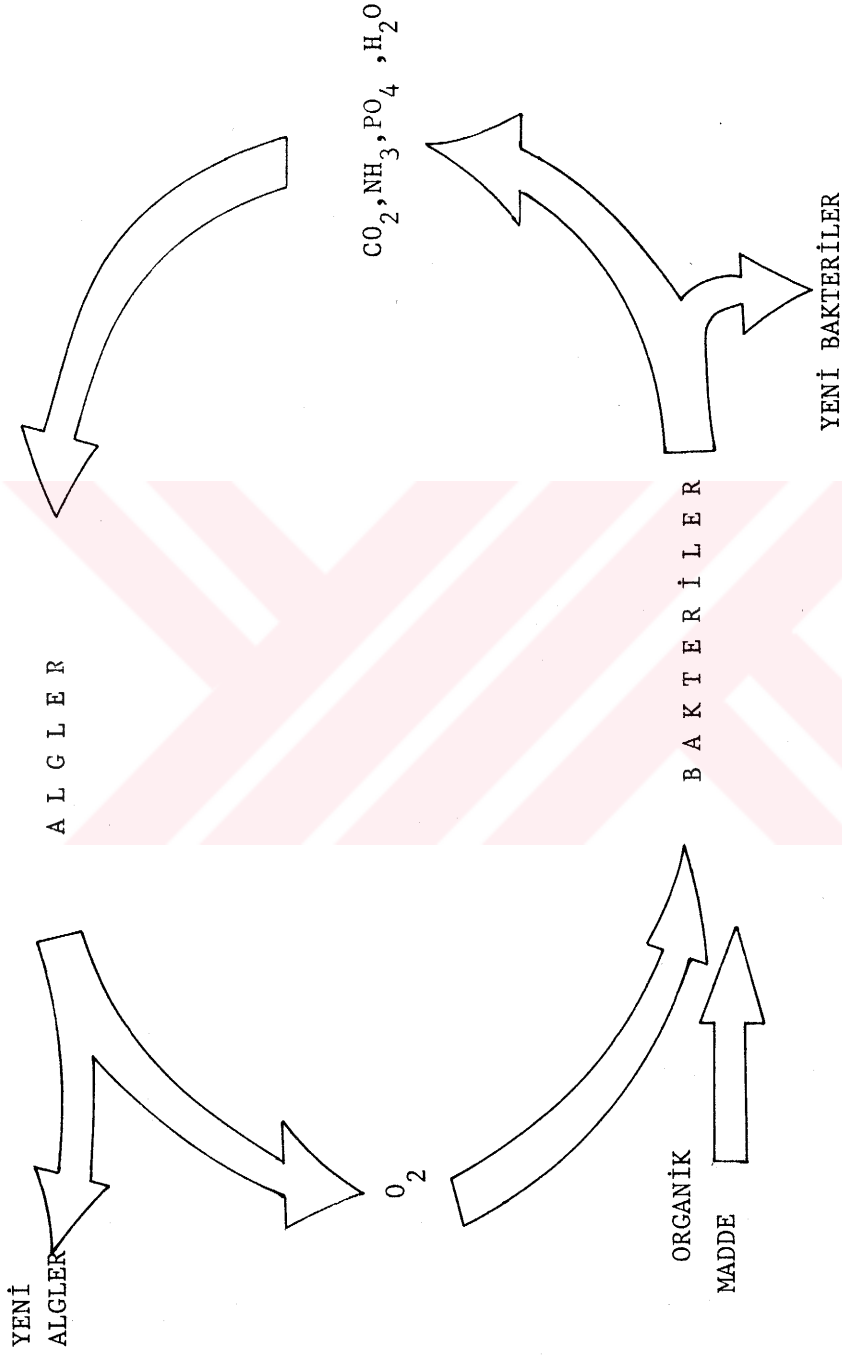
Mantarlar da damlatmalı filtre içinde rasatlanan organizmalardır. Aerobik organizma olmaları nedeni ile mantarlar, serbest oksijenin bulunduğu ortamda gelişebilirler. Mantarlar enerji ve karbon kaynağı olarak organik maddeleri kullanırlar. Bunlar için yazılabilecek genel formül $C_{10}H_{17}O_6N$ şeklindedir [29]. Bu da göstermektedir ki, bakterilerin gelişmelerini temin etmek için ihtiyaç duydukları elementlere mantarlar da ihtiyaç duymaktadırlar. Bu ise, damlatmalı filtre sistemlerinde bu tür organizmaların çoğalmalarını sınırlayan bir faktör olarak kaydedilmeye değer.

Bakterilerden farklı olarak, mantarlar hafif nemde ve düşük PH da gelişirler. Bu özellik, mantarların neden bakteriler üzerinde aerobik biyolojik prosesler yolu ile beslendiklerini izah eder.

Filtre kolonunun üst kısımlarında, ışığın nüfuz edebildiği kesime kadar, alg'lere rastlanır. Bunlar klorofilli mikroorganizmalar olduklarından fotosentez olayını gerçekleştirebilirler ve bu yönleri ile bakteri ve mantarlardan ayrılırlar. Fotosentez olayı, alg'lerin güneş ışığını kullanması sonunda meydana gelir. Güneş ışığının bulunduğu ortamda algler inorganik maddeleri, protoplazmanın teşekkülüne yarayan organik maddelere dönüştürürler. Bu sebeple, algler ototrofik organizmalar olup, damlatmalı filtreler içindeki organik madde transformasyonu esnasında direkt olarak çökelmezler. Bakterilerle algler karşılıklı yardımlaşma halinde çalışırlar. Şekil (1.6) da alglerle bakteriler arasındaki ilişki şematik olarak gösterilmiştir.

Şekil 1.6 da görüldüğü gibi bakteriler, serbest oksijenin ortamda bulunması esnasında, yeni hücre teşekkülünü ve CO_2, NH_3, PO_4, H_2O inorganiklerini meydana getirirler. Algler ise husule gelen bu inorganik CO_2, NH_4 'ü kullanarak yeni alg hücresi ve O_2 istihsal ederler. Bu hadiseler filtre malzemesinin alg üremesine elverişli olması ölçüsünde sürekli olarak vuku bulur.

Çok hücreli organizmalara (metazoa) da damlatmalı filtrelerde rastlanır. Bunlar tasfiye olayına fazla tesir etmeyen kurtlar, solucanlar, haşereler ve diğer organizmalardır | 29|.



Şekil 1.6. Bakterilerle Algler Arasındaki İlişki | 29 |

1.7. Damlatmalı Filtrelerde Biyolojik Verimi İfade Eden Çeşitli Matematik Modeller

Bilindiği gibi tatbik edilen hidrolik ve organik yüklerin mertebesi nedeni ile damlatmalı filtreleri "düşük hızlı", "yüksek hızlı" ve "süper hızlı" diye sınıflamak mümkündür (Tablo 1.2). Bu tipler arasındaki başlıca fiziksel farklılıklar geridevir ve bu geridevrin yüksek veya süper hızlı damlatmalı filtrelerde farklı safhalarda yapılmasıdır.

Düşük hızlı filtreler için yapılmış çalışmalar çok fazla olup, bunların işleyiş tarzlarını izah eden genel teoriler kurulmuştur. 1950 tarihinden bu yana, ilkel damlatmalı filtrelerde yapılan düzeltmeler sonunda taş ve çakıl dolgu malzemesinin bir çok dezavantajları giderilmiştir.

Yüksek hızlı damlatmalı filtreler, yavaş filtrelere nazaran tatbikata daha elverişli ve verimli bir saha oluşturmuşlardır. BOI giderilme verimini tasvir etmek gayesi ile birçok model geliştirildiği halde, bunu tam olarak ifade eden bir teoriye henüz rastlanmamıştır.

Bütün yapılan çalışmalara rağmen, damlatmalı filtrelerde sıcaklığın, hidrolik ve organik yüklerin, biyolojik hayatın tipi ve şeklinin; besin maddesi ve oksijenin absorpsiyonu ile transferinin; temas süresi, askıdaki maddeler ile erimiş maddelerin biyolojik verime gerçek tesiri henüz tam olarak bilinmemektedir.

Damlatmalı filtrelerle ilgili ilk çalışmaların Dunbar tarafından yapıldığı söylenebilir. Dunbar 1900 yılında, organik maddelerin tam oksidasyonunun filtre kolonu içinde kısa

Tablo 1.2. Damlatmalı Filtrelerde Farklı Hızlardaki Debj ve Organik yükler

HIZ	DÜŞÜK HIZLI	YÜKSEK HIZLI	SÜPER HIZLI
HİDROLİK YÜK ($m^3/m^2, gün$)	ALOJZY 55	1.05 - 4.20	7.6 - 42
	BUSCH 17	1.87 - 5.62	9.37-5.62
	FAIR, GEYER OKUN 28	1.02 - 4.08	8.7 - 44
ORGANİK YÜK ($kg/m^3, gün$)	ALOJZY 55	0.08 - 0.40	0.40-4.8
	BUSCH 17	0.055-0.276	< 0.276
	FAIR, GEYER OKUN 28	0.08 - 0.41	0.41-4.78

bir sürede tamamlanamıyacağını kabul etmiştir. Bu yüzden daha sonra 1928 de şu hipotezleri yapmıştır : (1) Askıdaki madde dolgu malzemesine yapışması nedeni ile giderilir. (2) Erimiş madde, dolgu malzemesi üzerindeki biyofilm tarafından absorbe edilir. (3) Biyolojik tabaka tarafından tutulan organik madde gerek kimyasal gerekse biyolojik olarak oksitlenir ve suyun sürükleyici kuvveti ile dışarıya nihaî ürünler olarak atılır. (4) Absorbtif proses aerobik mikroorganizmalar tarafından devam ettirilir. (5) Daha fazla ayrışmayan ve filtre dışına atılan çökeltiler vardır.

Dunbar'ın ortaya attığı bu fikirler daha sonra birçok çalışmanın başlatılmasına öncülük etmiş ve biyolojik verimle çeşitli parametrelerin arasındaki münasebetleri ifade eden araştırmalar yapılmıştır.

1.8. Çeşitli Modellerin Dayandığı Teorik Esaslar

1962 yılında Mckinney tarafından ileri sürülen teoriye göre; filtrenin iyi iş görebilmesine, organik maddelerin giderilme hızı kadar, atmosferden transfer olunan oksijen hızının da tesir ettiği anlaşılmaktadır [43]. Filtreye verilen sıvı ile, dolgu malzemesi yüzeyini kaplayan durgun bir sıvı tabakası arasında karışım husule geldiği de aynı teoride ifade edilmektedir. Şayet harekete iştirak etmeyen bu sıvı tabakası içindeki organik madde konsantrasyonu düşük kalıyorsa, organik maddelerin giderilme işlemi vuku buluyor demektir. Bu sebepten, giriş sıvısı içinde organik madde konsantrasyonunun yüksek olması faydalı olur [43]. Çünkü bu halde dik bir konsantrasyon gradyanı elde edilir.

Yine Mckinney'in teorisine göre filtre yatağı boyunca mikroorganizma konsantrasyonu organik madde konsantrasyonundan daima büyüktür. Bu yüzden ; filtreye verilen kullanılmış su pek çabuk oksitlenir |43|.

Bundan başka, BOI yahut organik madde giderilmesi, mevcut mikroorganizmalara, tatbik edilen organik madde konsantrasyonuna, biyolojik tabakanın yüzey alanına, artık maddenin biyolojik tabaka ile temas süresine ve sıcaklığına bağlı olarak değiştiği kabul edilmiştir.

Ames (1962) de kimya mühendisliğinkine benzer olarak damlatmalı filtreler için bir matematik model kuruldu. Bu modele göre absorpsiyon diye tanımlanan taşınım mekanizması yolu ile sıvı fazdan katı faza BOI'nin (yani kirletici unsurun) transfer olunduğu kabul edilmiştir. Buna göre ; biyolojik tabakanın yüzeyinde teşekkül eden reaksiyon birinci mertebeden bir reaksiyondur. Ames, bu reaksiyonları tarif eden bir dizi kısmî diferansiyel denklem teşkil ederek çözümlerini yapmıştır. Bu denklemler, sıvı-katı arakesitindeki BOI ile katı fazdaki BOI arasındaki lineer dengeye işaret ederler | 2 |.

Amado (1964) de kütle transfer katsayısı kavramını ithal etmiş ve bu çalışmaları daha da ilerleterek, kısmî diferansiyel denklemlerin çözümlerini yeni bir şekle sokmuştur | 1 |.

$$C_e = C_r + (C_i - C_r) \exp(-K_m \cdot H / Q) \quad (1.3)$$

Burada :

C_e : Çıkış konsantrasyonu

C_r : Tortu içindeki madde konsantrasyonu

C_i : BOI olarak giriş konsantrasyonu

K_m : Kütle transfer katsayısı

H : Dolgu malzemesi derinliği

Atkinson (1963) kabul ettiği damlatmalı filtre modelini aşağıdaki faraziyelere dayandırmıştır :

- 1) Proses kararlı denge halindedir.
- 2) Reaksiyon hızı, kâfi derecede küçük olup sınırlayıcı bir rol oynamaktadır. Yani, hem madde, hem de oksijen için konsantrasyon gradyanı sıfırdır.
- 3) Biyokimyasal olay, birinci derece bir reaksiyon kinetiğine sahip olup $A \rightarrow B$ şeklinde tarif edilebilir. Burada B nihaî ürünü göstermektedir.
- 4) A ve B bileşenleri filtreye verilen sıvı içinde eriyik halde bulunurlar.
- 5) Reaksiyon sıvı-katı arakesitinden sıvı tabakası iğerisine doğru oluşur.
- 6) Sıvı filmin kalınlığına mikroorganizma sayısı tesir etmez | 4 |.

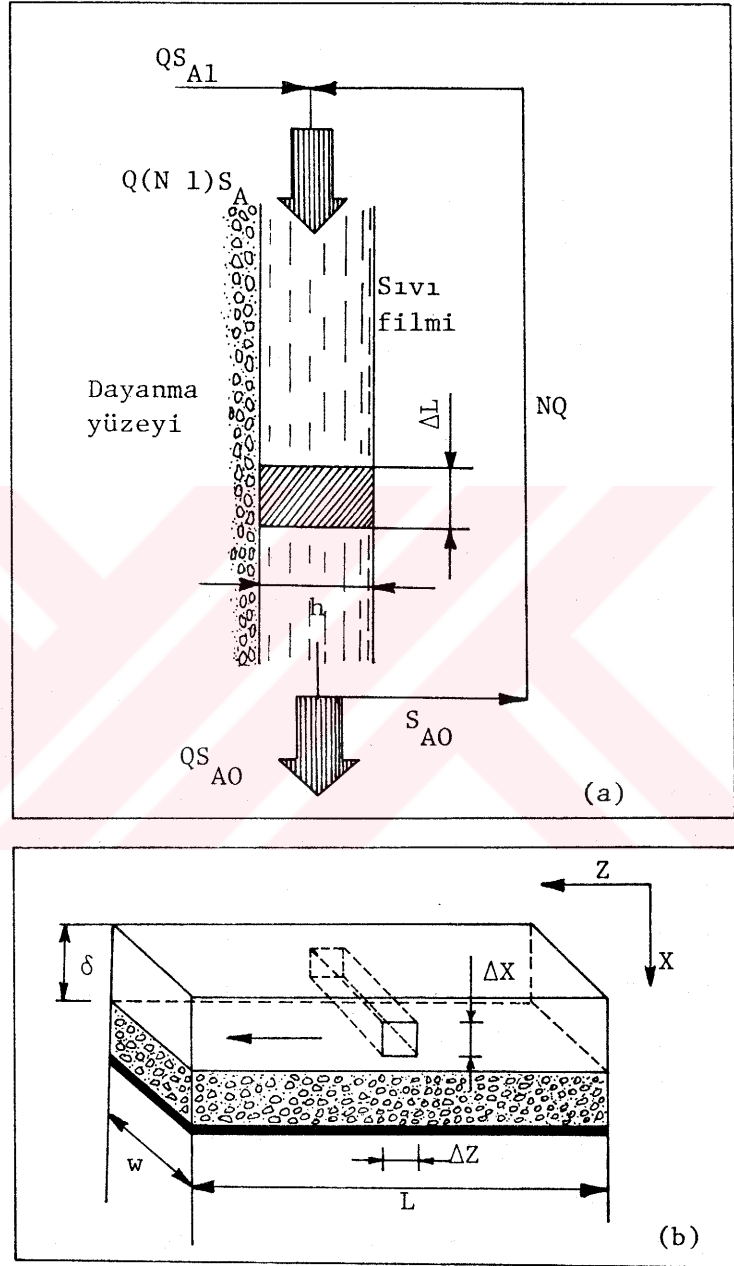
Swilley (1963) damlatmalı filtrenin bir eğik düzlem modeli ile temsil edilebileceği düşüncesiyle, sıvı tabaka ile biyolojik tabaka arakesitinde karmaşık (heterojen) bir reaksiyonun hüküm sürdüğünü kabul etmiştir. Bu maksatla difüzyon kontrollu veya reaksiyon kontrollu heterojen modellerden meydana gelen yüzeysel reaksiyon modelleri teklif edilmiştir. Bu modellerde oksijen kontrol edici faktör değildir. Bunun aksine reaksiyonun oluştuğu yüzeyde bulunan sınırlı besin maddesi, kontrol faktörü olmaktadır. Reaksiyon kontrollu modellerde ise, difüzyon tesiri ihmal edilebilir | 67 |.

Swilley ileride açıklanacağı üzere olayı ifade eden diferansiyel denklemi seriler kullanarak çözmüş ve sonuçları grafik olarak ifade etmiştir |67|.

Difüzyon kontrollu modellerde, madde tüketim hızının yüksek ve organik madde oksidasyonunun kâfi bir süratle meydana geldiği kabul edildiğinden, sıvı tabaka içindeki difüzyon tesiri önem kazanır. Bahsi geçen bu modellerin, organik yükten ve verimden bağımsız oldukları kabul edilmektedir.

Maier (1966) ve daha sonra Maier ve arkadaşları (1967) biyolojik bir tabaka (biyofilm) ile kaplanmış eğimli bir yüzey yardımı ile damlatmalı filtre prosesini incelemişlerdir. Kütle transferi ile mikroorganizmaların çoğalma hızının tasfiyeye etki eden temel faktörler olduğu kabulünden giderek, bu fiziksel modelin teorik bir tasviri yapılmıştır. Bütün metabolik faaliyetlerin biyolojik tabaka içinde hüküm sürdüğü, sıvı filmi içinde mikroorganizmaların çoğalmasının vuku bulmadığı farzedilerek, kontrol elemanı üzerinde bir madde dengesi yazılmıştır. Temel besin maddesi olarak glukoz kullanılmış, sıvının laminar akım şartlarında olduğu kabul edilmiştir. Debi, sıcaklık ve glukoz konsantrasyonu ölçülerek, indirgenebilen maddenin kütle transferinin, reaksiyon hızını sınırlayan faktör olduğu gösterilmiştir.(Şekil 1.7b)|41|.

Fair, Geyer ve Okun'a (1968) göre ise, organik artıkların transferi, sıvı fazından biyolojik tabakaya, adsorbsiyon veya absorbsiyon yolu ile olmaktadır. Bu yazarlara göre, arakesit yüzeyi arttıkça ve sıvı ile biyolojik tabaka arakesitinin diğer tarafındaki konsantrasyon gradyanı fazlalaştıkça daha büyük bir reaksiyon hızı kendini gösterir.



Şekil 1.7. (a,b) Atkinson (1968) ve Maier'in (1967) modelleri | 55 |

Atkinson, Daoud ve Williams (1968), fiziksel ve biyolojik değişkenlerin hesaba katıldığı biyolojik bir film reaktörü için bir teori geliştirmişlerdir. Model Atkinson'un 1963 ve 1967 de yaptığı çalışmayı devam ettirerek difüzyonun hem sıvı hem de biyolojik tabaka fazında vuku bulunduğunu esas almaktadır. Bu çalışmalarda, Swilley'in 1963 de geliştirdiği bağıntıya benzeyen bir diferansiyel ifade, değiştirilmiş bazı sınır şartları gözönüne alınarak çözülmüştür. Biyolojik olarak aktif yüzey ile sıvı tabaka arakesitindeki reaksiyon hızını ifade eden sınır şartı bunlardan biridir. Heterojen olan bu yeni modelde, biyokimyasal reaksiyonla difüzyonun, biyolojik tabaka içinde olduğu kabul edilmiştir. Aktif tabaka kalınlığı az olduğu zaman, biyokimyasal reaksiyon kontrol edici faktör olmaktadır. (Şekil 1.7a) | 6 |.

Kehrberger ve Busch (1969) da, film akışlı reaktörlerde, erimiş haldeki organik karbonun giderilmesine, geridevrin etkisini teorik olarak incelemişlerdir | 37 |.

Geridevrin etkisi bir yana bırakılırsa, bu makalede ileri sürülen fikirlerin bir kısmı Swilley tarafından 1963 de ifade edilmiştir | 67 |. Burada biyokimyasal reaksiyonun birinci mertebeden olduğu kabul edilerek, film akışlı reaktörlerde üç değişik akım modeli incelenmiştir. Genel heterojen model'e göre sıvı faz içinde mikroorganizma yoktur ve biyokimyasal reaksiyon sıvı tabaka ile biyolojik tabaka arakesitinde vuku bulur. Organik bileşikler, konveksiyon ve difüzyon yolu ile aktif biyolojik tabaka içine taşınırlar. Sınır şartlarını sağlamak üzere, değişken katsayılı kısmî diferansiyel denklemlerin sonlu farklar metodu ile

çözümleri yapılmıştır. Reaksiyon kontrollü model ise, yukarıda izah edilen heterojen modelin özel bir halidir. Burada; aktif biyolojik kütlenin yüzeyindeki reaksiyon hızının kontrol mekanizmasını oluşturduğu kabul edilmektedir. Birinci mertebeden adı diferansiyel denklemin entegrasyonu yapılmıca :

$$\frac{C_e}{C_i} = \exp \left(\frac{-k_{se} A H}{(1+N)Q} \right) \quad (1.4)$$

elde edilir. Burada :

k_{se} : Yüzeysel reaksiyon hız katsayısı

N : Geridevir oranı

Hem heterojen hem de reaksiyon kontrollü modellerin her ikisinde de geridevir oranındaki artma ile orantılı olarak biyolojik verimde bir azalma müşahade edilir. İncelenen üçüncü modelde akışkanın süspansiyon halinde mikrobik maddeler ihtiva ettiği kabul edilir. Bu, pseudo-homojen bir model olup sıvı fazın her noktasında reaksiyonun varlığını ifade eden bağıntı :

$$\frac{C_e}{C_i} = \exp \left(\frac{-k_L A \delta H}{(1+N)Q} \right) \quad (1.5)$$

Burada :

k_L : Hacımsal reaksiyon hızı katsayısı

δ : Sıvı tabaka kalınlığı

şeklindedir.

Bu modelle evvelki iki model arasındaki önemli fark, çıkış konsantrasyonunun sıvı tabaka kalınlığına bağlı olmasıdır. Biyokimyasal reaksiyonun sıvı fazda husule geldiği kabul edildiğine göre, tabaka kalınlığındaki bir artmanın toplam biyolojik verim üzerine tesiri büyük olur. Bu yüzden geridevir oranındaki artma; sıvı hacminin ve sıvı film kalınlığının artmasına neden olur. Bu ise, giderilme veriminin artmasına sebep olur.

Monadjemi ve Behn (1970) aşağıdaki faraziyeleri kabul ederek damlatmalı filtrelerde tasfiye mekanizmasını geliştirirler [47] :

- 1) Tek tek herbir elemanın yüzeyindeki akım laminedir. Böyle bir akımda kütle transferi moleküler difüzyonla olur.
- 2) Elemanlar üzerindeki her noktada karışım vardır.
- 3) Herbir eleman için aktif biyolojik tabaka yüzeyi sabittir.
- 4) Biyokimyasal oksidasyon, reaksiyon hızını tayin etmez.
- 5) Besin maddesi çözünebilen tek bir maddeden ibarettir.

Bu iki yazarın matematiksel olarak geliştirdikleri bağıntı Swilley'in (1963) de geliştirdiği bağıntıya benzermektedir. Lâboratuvar tecrübelerinden elde edilen bilgilere dayanarak madde tüketim hızı katsayısının iki hususu açıkladığı söylenmektedir. Birincisi, madde transferini sağlayan mikroorganizmaların tipi ve kalitesi; ikincisi ise, adsorbe olacak maddenin kalitesi, tipi ve adsorbe

oluşundaki kolaylıktır. Aynı zamanda tecrübe sınırları içinde, kütle transferi kontrol edici mekanizmayı sağlar.

Lamb (1970) yüksek hızlı damlatmalı filtrenin basit bir modelini geliştirmiştir [40].

$$\frac{C_e}{C_i} = \frac{K_1 Q}{VA_v} / \left(1 + \frac{K_1 Q}{VA_v}\right) \quad (1.6)$$

$$\frac{C_e}{C_i} = 1 / \left(1 + \frac{VA_v}{K_1 Q}\right) \quad (1.7)$$

K_1 : Hız katsayısı (TL^{-1})

Q : Debi ($L^3 T^{-1}$)

V : Filtre hacmi (L^3)

Bu bağıntıda filtre yatağının derinliği ve yüzeysel hidrolik yük yer almamaktadır. Yazar, kendi bulduğu bağıntıyı, literatürdeki dataları değerlendirmek suretiyle diğer bağıntılarla mukayese etmiş ve aralarında uyum bulunup bulunmadığını araştırmıştır. K_1 parametresi, dolgu malzemesinin tipi ve yüzeysel hidrolik yüke bağlı olduğundan gerçekte elde edilen korelasyon pek iyi değildir.

Kehrberger ve Busch (1971) daha evvel yaptıkları teorik çalışmaları deneysel çalışmalarla doğrulamışlardır. Glükozla eğik düzlem modeli üzerinde yaptıkları çalışmada, erimiş organik karbonun giderilmesi üzerine kütle transferinin tesirini incelemişler, Reynolds sayılarını 9 ile 125 arasında değiştirmişler ve sıvı akımının çalkantısız olduğunu görmüşlerdir. Bu yazarların yaptıkları çalışmalar, sıvı

fazdaki madde transferi ve organik bileşiklerin kontrol edici değişkenler olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda kütle transferi tesirleri, bir damlatmalı filtrenin biyolojik prosesinin, etkinliğinin azalmasına yol açmaktadır. Ara ürünlerinin teşekkül etmesine oksijen hızındaki sınırlamalar neden olmaktadır |38 |.

Atkinson ve Williams (1971), Atkinson ve arkadaşlarının (1968) deki teorik çalışmalarından istifade ederek (1967) de pilot bir damlatmalı filtre tesisi üzerinde deneyler yapmışlardır. Bu deneyler sonucunda filtre verimine, biyofilmde mevcut biyolojik kütlenin tesir ettiği açıklanmıştır. Keza filtrenin verimine, oksijen transferinin tesir etmediği, ancak gerek sıvı gerekse biyolojik tabaka içindeki difüzyon limitlerinin kontrol edici bir faktör olduğu anlaşılmıştır. Bu genel modelde mikrobik kinetikteki biyolojik hız da gözönüne alınmıştır. Bu modelde fonksiyonel form ve özellik belirten katsayılar önceden bilinmemektedir. Problemin çözümü, gerek düşük, gerekse yüksek madde konsantrasyonlarındaki verimleri gözönünde tutularak yapılır. Katsayılar, ortalama arakesit madde konsantrasyonuna bağlı olduklarından genel bir çözüm elde edebilmek için kompüter iterasyonuna ihtiyaç vardır | 7 |.

Tuğek ve arkadaşları (1971) analoji yolu ile damlatmalı filtre ve piston akımlı aktif çamur prosesleri için boyutsuz denklemler geliştirmişler ve aşağıdaki boyutsuz sayıları elde etmişlerdir |70 |.

$$\pi_1 = \frac{C_i - C_e}{C_i} ; \pi_2 = kD/Q \text{ ve } \pi_1 = f(\pi_2) \quad (1.8)$$

Dolgu malzemesi olarak çakıl kullanılması halinde, elde edilen neticelerin fonksiyonel şekli aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\pi_1 = \frac{\pi_2}{a + b\pi_2} \quad (1.9)$$

(a) katsayısı şu şekilde tarif edilmiştir :

$$a = m \cdot \frac{C_i}{A_v} + n \quad (1.10)$$

m,n deney sonucu elde edilen katsayılarıdır. Yukarıda (1.10) daki değerler (1.9) da yerine konur ve $b = 1$ alınırsa yeni bağıntı aşağıdaki şekli alır.

$$\pi_1 = 1 / \left(1 + \frac{m C_i}{\pi_2 A_v} + \frac{n}{\pi_2} \right) \quad (1.11)$$

Başlangıç değişkenlerini de hesaba katarsak,

$$\frac{C_e}{C_i} = \frac{1}{1 + \left[kD/Q(m C_i/A_v + n) \right]} \quad (1.12)$$

olur.

(1.12) nolu bağıntı Lamb'in (1.7) denkleminde çok benzemektedir.

Brown (1971) transfer hızına tesir eden faktörleri şöyle sıralamıştır | 15 | :

- 1) Sıvı içindeki organik madde konsantrasyonu
- 2) Akışkanın biyolojik tabaka (biyofilm) ile temas süresi

3) Sıvı içindeki çalkantının (türbülansın) mertebesi.

Bu faktörleri gözönünde tutmak sureti ile aşağıda görülen 1. mertebeden bir ifade elde edilmiştir.

$$-dc = K_o c G dt \quad (1.13)$$

G : Doğrudan doğruya türbülansa bağlı olan, akışkan içindeki kesme kuvveti.

K_o : Bir sabit.

(1.13) nolu bağıntının entegrasyonundan :

$$\frac{C_e}{C_i} = \exp(-K_o Gt) \quad (1.14)$$

elde edilir.

(G,t) değişkenleri için derinliğin, yüzeysel alan ve hidrolik yükün fonksiyonları olarak genel bir bağıntı elde edilmiştir. (G,t) nin bu büyüklükler cinsinden değerleri yukarıda (1.14) nolu bağıntıda yerine konarak, damlatmalı filtrelerde laminer bir akım için aşağıdaki ifade verilmiştir :

$$\frac{C_e}{C_i} = \exp \left(- \frac{K_L A_v^{1/3} H}{Q^{1/3} \mu^{1/3}} \right) \quad (1.15)$$

$$\frac{C_e}{C_i} = \exp \left(- \frac{K_t A_v^{1/5} H}{Q^{1/5} \mu^{1/5}} \right) \quad (1.16)$$

$K_{L,t}$: Laminer veya türbülansın Q'ya bağlı fonksiyonel katsayılarıdır.

Brown geridevrin filtre giriş sıvısını seyrelten bir rol oynadığını ileri sürmüştür. Geçmişte seçilen bir çok damlatmalı filtre modelinde olduğu gibi, Brown'un modelinde de BOI giderilmesi, tatbik edilen organik yüklerle alâkalı olmaktan ziyade, uygulanan hidrolik yük ve onun oluşturduğu çalkantı ile ilgilidir.

Mehta, Davis ve Kingsbury (1972), organik artıkların giderilmesinin, aynı anda vuku bulan üç faaliyetle tanımlandığını ileri sürmektedirler [44]. Bunlar :

- a) Atmosferden (gaz fazından) oksijenin sıvı faz yolu ile biyolojik tabakaya iletilmesi.
- b) Organik bileşiklerin sıvı fazdan biyolojik tabakaya transferi.
- c) Aktif biyolojik tabaka içinde biyokimyasal reaksiyonların husule gelmesi.

Araştırmacılar kütle transferini, reaksiyonu kontrol eden mekanizma olarak görmektedir. Çalışmaları esnasında, akışkan tabakası içinde oksijenin kütle transferinin konveksiyonla sağlandığını ileri süren yazarlar, Monadjemi ve Behn'in (1970) geliştirdiklerine benzeyen bir model elde ettiler ve sistemlerin fiziksel özellikleri ile proses parametrelerinden hareket ederek, BOI giderilmesini tahmin için matematik ifadeler hazırladılar. Yapılan araştırmalar, besin maddesi transferinin bazı hallerde, reaksiyon hızını sınırlayan bir durum arzettiğini göstermektedir.

Duddles ve Richardson (1973), plâstik filtre malzemesi kullanılarak yaptıkları çalışmada amonyağın % 80 ile % 90 civarında oksidasyonuna muvaffak olmuşlardır. Bu çalış-

mada filtre kolonu klorlanmamış sıvı ile beslenmiştir. Araştırmacılar biyolojik filtreyi nitrifikasyon olayı için kullanmışlardır | 22 |.

Jank ve Drynan (1973), madde giderilmesini doğrudan doğruya filtre dolgu malzemesinin yüzeysel alanına bağlayan mekanistik bir model üzerinde çalışmışlardır. Çeşitli debiler ve giriş konsantrasyonları için (dc/dz) ile z arasındaki münasebeti veren deneysel bir bağıntı bulunmuştur. Monod denklemine benzeyen bu bağıntıdaki katsayılar en küçük kareler metodu ile tayin edilmiştir | 36 |.

Atkinson ve Davies (1974) de, sıvıfilm ve biyofilm içindeki difüzyon tesirleri ve madde tüketimini ifade eden diferansiyel denklemi genel olarak boyutsuz değişkenlerle çözdükten sonra, bu sonuçlara dayanarak biyofilmin birim yüzeyinden birim zamanda geçen madde miktarını veren denklemler geliştirmişlerdir | 9 |. Daha sonra Atkinson ve How (1974) de, bu denklemlerin doğruluk derecesini deneylerle tahkik etmişlerdir. Bu maksatla eğik düzlem şeklinde reaktörler ve besi maddesi olarak glükoz eriyiği ile (NH_3-N) amonyum sülfat kullanılmıştır | 10 |.

Galler ve Gotaas (1973) de, biyolojik filtrelerin projelendirilmesinde en optimum hali bulmak için dört farklı modelin analizini yapmışlardır. Bu yazarlar, optimum maliyet şartlarının, müsaade edilebilen maksimum çaplı bir filtre ile sağlandığını ortaya koymuşlardır. Maksimum çapın ise, akışkanı filtreye veren dağıtım cihazı ile ilgili olduğu gözönünde tutulmuştur. Böylece büyük tesislerde işletme masraflarının, çapın büyük seçilmesi halinde artacağı

anlaşılmış oldu. Bu çalışma, çökeltme havuzunun bir biyolojik filtrenin optimum projelendirme karakteristiklerini değiştirmediğini göstermiştir | 30 |.

Atkinson ve Howell (1975), sıvı filmi içindeki konsantrasyon değişimini nokta nokta bulmak yerine, buradaki madde iletimini ifade etmek üzere ortalama bir iletim katsayısı kabul ederek işlemleri basitleştirmişler, konsantrasyon ve biyofilm kalınlığını ifade eden boyutsuz katsayıları kullanarak problemin çözümünü grafikler halinde vermişlerdir | 11 |.

Williamson ve McCarty (1976), biyofilm içindeki reaksiyon hızlarını sıvı artıkları tasfiye eden biyolojik reaktörlerde kullandılar | 72 | . Aynı araştırmacılar membran filtrelerde azotlu organizmaları filtreden geçirmek suretiyle, biyofilm testleri yapmışlardır. Biyofilm modeli sınırlı madde akısı için kabul edilebilir neticeler vermiştir | 73 |.

Howell ve Atkinson (1976), sabit giriş şartlarında damlatmalı filtrelerin çalışma karakteristikleri üzerine, sıvının sürükleyici kuvveti ile yerinden koparılan biyolojik kütlenin tesirini izah eden bir model geliştirdiler. Biyolojik kütlenin yerinden koparılma mekanizması tam anlaşılmadan damlatmalı filtrelerin optimum dizaynı ve çalışmasının mümkün olmadığını gösterdiler | 33 | .

BÖLÜM II

FİLM AKIŞLI BİYOKİMYASAL REAKTÖRLERDE KONSANTRASYON DAĞILIMINI VEREN GENEL DİFERANSİYEL DENKLEMİN ÇIKARTILMASI

2.1. Dispersiyon Denkleminin En Genel Halde Çıkartılması

Akışkan içerisindeki organik artıklar hız profiline uygun olarak belirli bir eğimde iletilirken, akım istikametine akışkan hızı, buna dik istikamette ise difüzyon etkisi ile dağılırlar. Hadiseyi karakterize eden bağıntıyı bulmak için akım alanı içinde maddenin korunumu prensibi uygulanır. Elde edilen en genel haldeki kısmî türevli difüzyon denklemi, incelenmesi istenilen özel hallere uygun gelecek tarzda başlangıç ve sınır şartları itibara alınarak değiştirilir.

Şekil (2.1) de gösterildiği gibi akım alanı içerisinde keyfi bir kontrol hacmi seçilmiş olsun. Boyutları Δx , Δy , Δz olan sıvı elemanı için madde dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir :

$$\frac{d}{dt} \left[\int_V c dV \right] + \int_S \underline{J} \cdot \underline{m} \cdot d\mathbf{S} \pm \int_V F dV = 0 \quad (2.1)$$

Burada :

ρ : Birim hacim başına ağırlık olarak madde konsantrasyonu $[M] / [L]$.

$\underline{j}$: Kütle akışını ifade eden vektör $[M] / [L] / [T]$.

$\underline{m}$: Yüzeysel alana dik birim vektör (Normal)

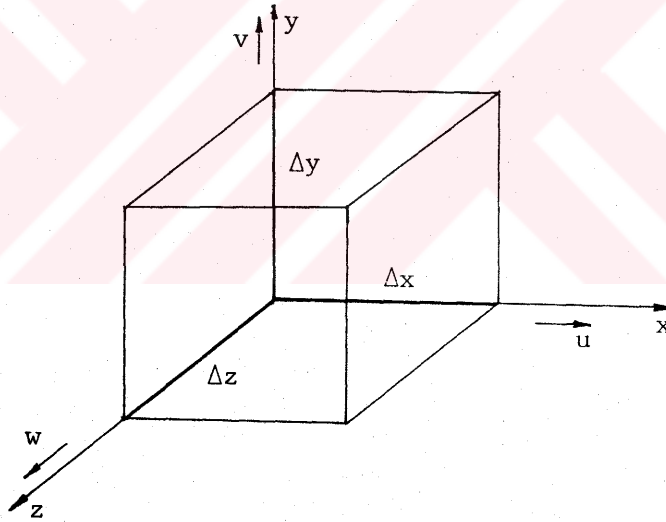
S : Sıvı elemanının yüzey alanı $[L]$.

V : Sıvı elemanının hacmi $[L]$.

F : Ayırışan, çürüyen yahut çökelen nihaî ürünler $[M] / [L] / [T]$.

t : Akım zamanı $[T]$.

u, v, w : x, y, z istikametindeki akışkan hızları $[L] / [T]$.



Şekil 2.1. Akım alanı içindeki kontrol hacmi

Gauss'un divergence teoremine göre (2.1) denklemindeki $\int \underline{j} \cdot \underline{m} \cdot dS$ terimi yerine :

$$\int_S \underline{J} \cdot \underline{m} \cdot dS = \int_V \nabla \cdot \underline{J} \cdot dV \quad (2.2)$$

konabilir.

Leibnitz formülünden bilindiği gibi,

$$\frac{d}{dt} \left[\int_V c dV \right] = \int_V \frac{\partial c}{\partial t} dV \quad (2.3)$$

yazılabilir.

Böylece (2.2) ve (2.3) den dolayı (2.1) denklemi aşağıdaki şekle gelir.

$$\int_V \frac{\partial c}{\partial t} dV + \int_V \nabla \cdot \underline{J} \cdot dV + \int_V F dV = 0 \quad (2.4)$$

(2.4) denklemindeki terimler ortak entegralde gösterilebilir.

$$\int_V \left[\frac{\partial c}{\partial t} + \nabla \cdot \underline{J} + F \right] dV = 0 \quad (2.5)$$

(2.5) bağıntısı herhangi bir V hacmi için sağlanabilmelidir. Böyle olunca (2.5) :

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \nabla \cdot \underline{J} + F = 0 \quad (2.6)$$

şeklinde yazılabilir.

Sıvı kütlesi içindeki erimiş haldeki maddenin kütle akısı, bilindiği üzere alınan bir kesitin birim alanından, bir taraftan diğer tarafa birim zamanda geçen madde

miktarı olarak tarif edilmektedir. Bu madde yayılması, hem konveksiyon (hız) hem de difüzyon yolu ile husule gelmektedir.

Madde yayılması konsantrasyon birimleriyle ifade edilebileceğinden, $\underline{J}$ kütle akısı da konsantrasyonun fonksiyonu olarak yazılabilir. $\underline{J}$ kütle akısı :

$$\underline{J} = c\underline{u} - D\nabla c \quad (2.7)$$

şeklinde konveksiyon ve difüzyon terimleri cinsinden ifade edilebilir.

Burada :

$c\underline{u}$: u hızından oluşan kütle akısı (konveksiyon-adveksiyon terimi)

$D\nabla c$: Fick kanunu ile belirtilen ve difüzyondan dolayı meydana gelen kütle akısı.

(2.7) ve (2.6) birleştirilecek olursa divergence teoremine göre :

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \nabla \cdot (c\underline{u} - D\nabla c) \pm F = 0 \quad (2.8)$$

yazılabilir. (2.8) denklemindeki $\nabla \cdot (c\underline{u} - D\nabla c)$ teriminde D difüzyon katsayısı sabit farzedilecek olursa ; vektör analizinden :

$$\nabla \cdot (c\underline{u} - D\nabla c) = \nabla \cdot (c\underline{u}) - \nabla \cdot (D\nabla c) \quad (2.9)$$

yazılabilir. Buradan da :

$$\nabla \cdot (cu) = c \nabla \cdot u + u \cdot \nabla c \quad (2.10)$$

ve :

$$\nabla \cdot (D \nabla c) = D \nabla^2 c \quad (2.11)$$

bağıntıları elde edilir.

Sıkışmaz akışkanlar halinde süreklilik teoremi nedeni ile $\nabla \cdot u = 0$ olduğundan (2.10) denklemi

$$\nabla \cdot (cu) = u \cdot \nabla c \quad (2.12)$$

şekline dönüşür. O halde (2.8) denklemi, (2.11) ve (2.12) den faydalanılarak aşağıdaki şekli alır.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \cdot \nabla c - D \nabla^2 c \pm F = 0 \quad (2.13)$$

u_i hızları ve x_i de koordinatları gösterdiğine göre, (2.13) denklemi aşağıda görüldüğü gibi, tansörel formda ifade edilebilir :

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_i \frac{\partial c}{\partial x_i} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x_i \partial x_i} \pm F \quad (2.14)$$

Burada ($i = 1, 2, 3$) değerlerini almaktadır.

2.2. Dispersiyon Denkleminin Laminer Akımlar İçin Yazılması

Reynolds sayısının 140 dan küçük değerler alması halinde akım laminerdir. Bu sayının 400 den büyük değerleri

için akım türbülanslı hale gelir $|26|$.

Laminer akımlar için (2.14) denklemi aşağıdaki açık şekilde ifade edilebilir :

$$\underbrace{\frac{\partial c}{\partial t}}_a + \underbrace{u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z}}_b = D \underbrace{\left[\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right]}_c \pm \underbrace{F}_d \quad (2.15)$$

(2.15) denkleminin terimlerinin fiziksel manâları aşağıda izah edilmiştir.

- (a) terimi konsantrasyonun zamanla değişimini gösterir.
- (b) terimi konveksiyon olayını ifade etmektedir.
- (c) terimi moleküler difüzyon etkisini göstermektedir.
- (d) terimi nihaî ürünleri ifade eder.

2.3. Dispersiyon Denkleminin Türbülanslı Akımlar İçin Yazılması

Türbülanslı akımlarda ani büyüklükler zamansal ortalama büyüklükler ile çalkantı değerlerinin toplamı olarak daha basit bir şekilde ifade edilir. Şöyle ki :

$$\begin{aligned} c &= \bar{c} + c' \\ u_i &= \bar{u}_i + u'_i \end{aligned} \quad (2.16)$$

Burada :

$\bar{c}$: Türbülanslı akımlarda ortalama konsantrasyonu

c' : Çalkantı konsantrasyonunu

$\bar{u}_i$: Türbülanslı akımlarda ($i=x,y,z$) doğrultularındaki ortalama hızları

u'_i : Çalkantı hızlarını ($i=x,y,z$ doğrultusunda)

göstermektedir. Keza, $\bar{c}$ ve $\bar{u}_i$ için aşağıdaki ifadeler yazılabilir.

$$\bar{c} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} c \, dt \quad ; \quad \bar{u}_i = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} u_i \, dt \quad (2.17)$$

T, zamansal ortalamanın alındığı periyodu göstermektedir. Bu periyodun, çalkantı değerlerinin zamansal ortalamasını sıfıra yaklaştıracak tarzda büyük seçilmesi gerekir. Fakat olaya giren büyüklüklerin zamanla değişmesini yok edecek kadar da büyük olmaması icabeder.

(2.16) ve (2.17) bağıntıları (2.14) denkleminde yerine konur ve T boyunca da zamansal ortalama alınırsa :

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + (\bar{u} + \bar{u}') \cdot \bar{\nabla}(c + c') = \overline{DV^2(c + c')} \pm F \quad (2.18)$$

elde edilir.

Çalkantı değerlerinin zamansal ortalaması sıfır olacağından :

$$\overline{DV^2(c')} = \bar{\underline{u}} \cdot \bar{\nabla}(c) = \bar{\underline{u}'} \cdot \bar{\nabla}(\bar{c}) = 0$$

yazılabilir ve (2.18) denklemi :

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u} \cdot \nabla \bar{c} + \overline{u' \cdot \nabla c'} = D \nabla^2 \bar{c} \pm F \quad (2.19)$$

haline gelir. (2.19) bağıntısının soldan üçüncü terimi aşağıda görüldüğü şekilde değiştirilebilir :

$$\overline{u' \cdot \nabla c'} = \overline{\nabla \cdot (c' \bar{u}')} - \bar{c} \overline{\nabla \cdot \bar{u}'}$$

Keza, burada da sıkışamaz akışkanlar halinde süreklilik teoreminden dolayı $\nabla \cdot \bar{u}' = 0$ olacağından Hinze (1959) (2.19) denklemi :

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u} \cdot \nabla \bar{c} + \overline{\nabla \cdot (c' \bar{u}')} = D \nabla^2 \bar{c} \pm F \quad (2.20)$$

tarzında yazılabilir. Denklem tansörel formda ifade edilmek istenirse :

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u}_i \frac{\partial \bar{c}}{\partial x_i} = - \frac{\partial}{\partial x_i} (\overline{c' u'_i}) + D \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x_i \partial x_i} \pm F \quad (2.21)$$

elde edilir.

$\overline{c' u'_i}$ terimi türbülans difüzyonundan dolayı birim zamanda, birim yüzeyden geçen madde akısı olup, Fick'in 1 nolu kanununa göre konsantrasyon gradyanı ile orantılı olduğundan

$$\overline{c' u'_i} = - E_{Tij} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x_j} \quad (2.22)$$

eşitliği kurulabilir. (2.22) denklemi aynı zamanda, E_{Tij}

türbülans difüzyonu katsayısını da tarif eder. En genel halde bu katsayı 2. merteye bir tansördür. Moleküler ve türbülans difüzyonunun birbirlerinden bağımsız olduğu farzedilirse, ikisinin toplamı :

$$E_{ij}(x,y,z) = E_{Tij} + D \quad (2.23)$$

olmaktadır. E_{ij} difüzyon tansörüdür. Sayre (1968). (2.22) ve (2.23) denklemleri birleştirilir ve büyüklükler üzerindeki çizgiler kaldırılacak olursa, (2.21) denklemi aşağıdaki şekli alır.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_i \frac{\partial c}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} (E_{ij} \frac{\partial c}{\partial x_j}) \pm F \quad (2.24)$$

E_{ij} difüzyon tansörü yere tâbi bir fonksiyondur. Koordinat eksenleri E_{ij} difüzyon tansörünün esas eksenleri olarak alınır. E_{ij} , $i \neq j$ için sıfır olur. $i=j$ olması halinde E_{ij} yerine E_i ($i=x,y,z$) yazılırsa (2.24) denklemi daha basit bir şekil alır :

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_i \frac{\partial c}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} (E_i \frac{\partial c}{\partial x_i}) \pm F \quad (2.25)$$

(2.23) bağıntısında kabul edildiği gibi, türbülans ve moleküler difüzyonun bağımsız ve ilâve edilebilir olması hususu pek önemli değildir. Zira D moleküler difüzyon katsayısı, E_T türbülans difüzyonu katsayısı yanında çok küçüktür. Elder (1959) |26|, D nin $E_T \times 10^{-4}$ mertebesinde olduğunu göstermiştir. (2.25) denklemi oldukça geneldir ve açık kanallardaki dispersiyon olayını tam olarak karakterize eder.

Dispersiyon problemleri ele alınırken çeşitli akım ve sınır şartları için E_i 'yi ifade eden fonksiyonun elde edilmesi, karşılaşılan başlıca güçlük olmaktadır. Bu fonksiyon elde edildiği takdirde ise, (2.25) denkleminin analitik çözümler bulmak bazı özel ve basitleştirilmiş haller dışında çok zordur.

x,y,z koordinat eksenlerini, u,v,w bu eksenler doğrultusundaki akım hızlarını göstermiş olsun. Bu takdirde (2.25) denklemi açık olarak yazılacak olursa,

$$\underbrace{\frac{\partial c}{\partial t}}_a + \underbrace{u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z}}_b = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x} \left[E_x \frac{\partial c}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[E_y \frac{\partial c}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[E_z \frac{\partial c}{\partial z} \right]}_c + \underbrace{D \left[\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right]}_d \underbrace{\pm F}_e \quad (2.26)$$

elde edilir. Şayet dispersiyona maruz kalan madde, organik artıklar yahut boya gibi akışkan içinde çözünebilen bir karakterde ise, erimiş halde sıvı içinde dağılan madde ile akışkan aynı hız alanına sahip olur ; böylece, (2.26) denklemi sıvı ile aynı yoğunluğa sahip veya akışkan partikülleri ile aynı hareketi yapabilen erimiş haldeki korunabilen yahut korunamıyan maddelerin dispersiyonu olayını tam olarak tarif eder.

(2.26) denkleminde :

- a) Konsantrasyonun zamanla değişmesini,
- b) Konveksiyon -hız- terimlerini,
- c) Türbülans difüzyonu terimlerini,
- d) Moleküler difüzyon terimlerini,
- e) Nihaî ürünler,

olarak izah edilir.

(2.26) denklemindeki (d) moleküler difüzyon terimleri, türbülans difüzyon terimleri yanında ihmal edilebilecek kadar küçük olduğundan nihaî denklem aşağıdaki şekilde olur.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[E_x \frac{\partial c}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[E_y \frac{\partial c}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[E_z \frac{\partial c}{\partial z} \right] \pm F$$

(2.27)

Bu denklemler nehirler, haliçler, oksidasyon havuzları, damlatmalı filtreler ve diğer benzeri tesislerde gerek biyolojik gerek kimyasal ve gerekse mekanik tasfiye mekanizmalarının anlaşılabilmesi için, kirliliği kontrol modelleri olarak başvurulmuş başlıca matematik bağıntılardır. Çözümleri uygun başlangıç ve sınır şartları konularak, analitik yahut nümerik yolla yapılabilir.

BÖLÜM III

İNCELENEN PROBLEMİN TANITILMASI

Son yıllarda biyolojik filtrelerin verimlerinin hesabı için biyofilmler tarafından tüketilen madde miktarlarının bulunması ve madde tüketim mekanizmasının aydınlatılması üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Bütün bu çalışmalarda, düzlemsel yüzeylerden meydana gelen bir filtre malzemesi gözönünde tutulmuş ve denklemler bu şartlar altında geliştirilmiştir. Bu teoriler sentetik malzemeler için doğrudan doğruya tatbik edilebilir ise de, taneli malzeme yığınlarından meydana gelen klâsik damlatmalı filtrelerle, bu hali ile uygulanamaz. Biyofilmlerle ilgili teorilerin taneli filtrelerle aktarılabilmesi için literatürde bu tip filtreler, özgül yüzeyleri gözönünde tutularak aynı derinlikte düzlemsel yüzeyli filtrelerle dönüştürülmek suretiyle hesap yapılmaktadır. Bunun için taneli filtrelerin özgül yüzeyi, A_v ve yüzeysel hidrolik yükü, A_v olduğuna göre; bu filtrelerin biyokimyasal aktivite bakımından birim debisi, $q = Q_A / A_v$ olan aynı derinlikli düzlem yüzeyli bir filtre ile eşdeğer olduğu kabul edilmektedir. Bu, düzlem yüzeyli filtreler için tamamen doğru olan bağıntıların taneli filtrelerle aktarılabilmesi için zorlanarak yapılmış bir kabul olup her iki tip malzemenin fiziksel özellikleri ve meydana gelen akımın şekli bakımından aralarında büyük fark

vardır. Bu itibarla bu çalışmada, taneli filtrelerin kendisi üzerinde madde iletimi ile konsantrasyon dağılımı incelenerek ve yukardaki kabulden giderek yapılacak hesabın hatta derecesini meydana çıkarmak istenilmiştir. Hesap kolaylığı ve karşılaştırma imkânı bakımından, kübik dizilişdeki plâstik kürelerle doldurulmuş bir filtre seçilmiştir. Bu filtrenin matematik modeli, düşey küre zincirlerinden meydana geldiğinden, kürelerin temas noktalarında tam bir karışım husule geldiği kabul edilebilir. Buna göre bir küre üzerindeki dispersiyon dolayısı ile konsantrasyon değişimi bilinişse, n. kürenin sonundaki konsantrasyon $(c/c_0)^n$ olacaktır.

Biyokimyasal olayın ve filtrenin kabul edilen modelinin son derece kompleks karakteri dolayısı ile, biyofilm üzerindeki madde tüketimi, sıvı ile biyofilm arasındaki tema yüzeyindeki konsantrasyonla orantılı veya bu yüzeydeki konsantrasyonun sıfır olduğu şeklinde iki farklı sınır şartına göre hesaplanacak ve elde edilen sonuçlar düzlem yüzeyli filtre modelinin verdiği değerlerle kıyaslanacaktır. Bu maksatla takip edilecek yol aşağıdaki gibi özetlenebilir.

a) Eşik düzlem modellenli biyokimyasal reaktörlerde dispersiyon denklemi sonlu farklar sistemi tarzında ifade edilip verilen sınır şartları gözönünde tutularak bilgisayar yardımı ile çözülecektir.

b) Bazı özel hallerde mevcut olan analitik çözümlerle karşılaştırılarak bu nümerik çözümün ve geliştirilen komputer programlarının doğruluğu tahkik edilecektir.

c) Eğik düzlemlı model için geliştirilen bu nümerik hesap tarzı ve programlar, küresel yüzeyli filtre modellerine tatbik edilecektir. Bu maksatla; küre yüzeyinde akan sıvı akımı merkezden $\Delta\psi$ açıları ile görülen teğet boylarında çok sayıda dilimlere ayrılacak, her bir dilimin yaklaşık olarak bir eğik düzlem şeklinde olduğu varsayılarak (a) ve (b) de geliştirilen programlar her bir dilime ardışık olarak tatbik edilecektir.

d) Elde edilen sonuçlar, $q = Q_A / A_v$ formülü ile düzlemsel yüzeyli bir filtre gibi hesaplanan kübik dizilişli küresel filtrenin biyolojik veriminin tayininde yapının hatayı ortaya çıkarmakta kullanılacaktır.

BÖLÜM IV

DISPERSİYON DENKLEMİNİN EĞİK DÜZLEM MODELİ ÜZERİNDE İNCELENMESİ

4.1. Giriş

Biyolojik tasfiye ünitelerinde, çevre mühendisliği bakımından çok önemli olan difüzyon ve dispersiyon olayının, yani kirletici madde konsantrasyonunun dağılımının incelenmesi esnasında sıvıya ait hız, debi, sıcaklık gibi özellikler ile sıvının hareket ettiği yüzeyin eğimi gibi fiziksel parametreleri ele alıp bunların birbirleri ile ilgilerini ortaya çıkarmak gerekir. Bu sebeple hem basit yapılaşlı, hem de bu münasebetleri sıhhatli olarak genel karakterleri ile verebildiği için eğik düzlemler üzerinde çalışma gereği duyulmuştur. Ayrıca eğik düzlemler, son zamanlarda tatbik sahası bulan plâstik filtre malzemelerine de uygun düşmektedir.

Böyle bir eğik düzlem üzerinde tasfiye olayı; katı yüzey (dayanma yüzeyi) üzerinde teşekkül eden biyofilm (biyolojik tabaka) içindeki mikroorganizmalar yolu ile olur.

Bu esastan hareketle dayanma yüzeyi üzerindeki akışkan için iki tabaka mütalâa edilebilir.

- 1) Sıvı tabakası
- 2) Biyolojik tabaka (biyofilm)

Suda çözülmüş organik maddelerin bu iki tabaka içindeki konsantrasyon değişimleri ayrı ayrı ele alınmalıdır. Yani sıvı tabaka içindeki madde iletimi mekanizmasını veren denklem ve bu denklemi vücuda getiren parametreler ile biyolojik tabaka içindeki madde iletimini veren denklem ve onu oluşturan parametreler birbirinden farklıdır. Problemi basitleştirmek için bazı özel hallerde, probleme bir sınır şartı olarak, biyofilm ile sıvı tabaka arasındaki münasebet konulabilir.

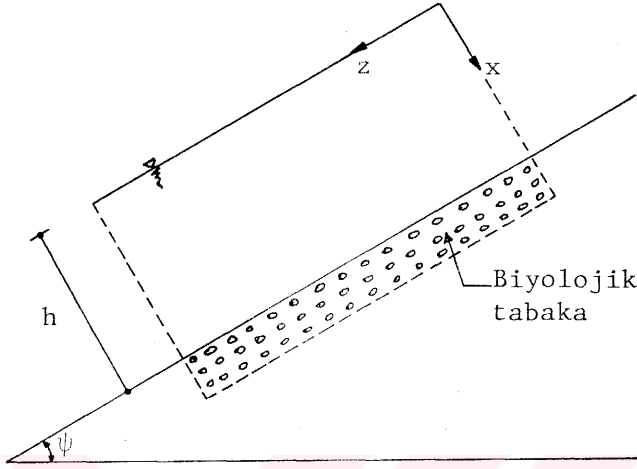
4.2. Eğik Düzlem Üzerindeki Laminer Akımda Dispersiyon

Bilindiği gibi, eğik düzlem tipindeki film akışlı bir reaktörde laminer akım Reynolds sayısının (Re) 140 dan küçük değerleri için ($Re < 140$) meydana gelir [42]. Şekil (4.1) de bu şekilde karakterize edilen bir akımın, üzerinden aktığı bir eğik düzlem modeli görülmektedir. Buradaki sıvı elemanı içinde madde dengesi $-z-$ eksenini doğrultusunda yazılabilir. Eksen takımı Şekil (4.1) deki gibi seçilirse, yatayla ψ açısı yapan bir eğik düzlem üzerinde, z eksenini doğrultusundaki üniform akım için, herhangi bir kesitteki hız dağılımı aşağıdaki denklemle verilebilir [51].

$$w = \frac{\gamma \sin \psi}{2\mu} (h^2 - x^2) \quad (4.1)$$

Burada :

$$\begin{aligned} \gamma &= \rho g & [M/L^2 \cdot T^2] \\ \mu &= \text{Dinamik viskozite} & [M/L^2 \cdot T] \\ h &= \text{Sıvı tabakası kalınlığı} & [L] \end{aligned}$$



Şekil 4.1. Eğik Düzlem Üzerinde Akım

dır. Elde edilen hız dağılımı yardımı ile birim genişlikten geçen debi,

$$q = \frac{\gamma \sin \psi}{2\mu} \int_0^h (h^2 - x^2) dx \quad (4.2)$$

$$q = \frac{\gamma \sin \psi}{3\mu} h^3 \quad (4.3)$$

şeklinde hesaplanır. w_{ort} , ortalama hızı ve w_{max} , yüzeydeki maksimum hızı gösterdiğine göre :

$$q = w_{ort} \cdot h = \frac{\gamma \sin \psi}{3\mu} \cdot h^3$$

$$w_{ort} = \frac{\gamma \sin \psi}{3\mu} \cdot h^2 \quad (4.4)$$

$$w_{max} = \frac{3}{2} w_{ort} = \frac{\gamma \sin \psi}{2\mu} h^2 \quad (4.5)$$

yazılabilir. Böylece (4.1) denklemi,

$$\begin{aligned} w &= \frac{3}{2} w_{\text{ort}} - \frac{1}{2} \frac{\gamma \sin \psi}{\mu} x^2 \\ &= \frac{3}{2} w_{\text{ort}} - \frac{3}{2} w_{\text{ort}} \frac{x^2}{h^2} \\ w &= \frac{3}{2} w_{\text{ort}} (1 - x^2/h^2) \end{aligned} \quad (4.6)$$

şeklinde de ifade edilebilir.

Çözünmüş haldeki korunan maddelerin, eğik düzlem üzerindeki lâminar akım içindeki konsantrasyon dağılımı daha önce çıkarılmış olan (2.15) nolu genel denklem yardımı ile bulunabilir.

Eğik düzlem üzerindeki akımın hızı sadece z doğrultusundaki w hızıdır. Dolayısı ile $u=v=0$ olmak gerekir. Böylece (2.15) denkleminin şu formu alır :

$$\frac{\partial c}{\partial t} + w \frac{\partial c}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) \quad (4.7)$$

Burada ise G.Taylor'un bir boru içindeki lâminar akımda dispersiyon olayını incelerken takip ettiği metod ve kabullere dayanarak (4.7) denkleminin çözümü aranacaktır. Bu araştırmacıya göre $\frac{\partial^2 c}{\partial z^2}$ difüzyon terimi aynı doğrultudaki hız terimi yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Bu, z eksenini doğrultusundaki yayılmanın hemen hemen tamamının konveksiyon dolayısıyla meydana gelmesi demektir. (4.7) denkleminin bu durumda,

$$\frac{\partial c}{\partial t} + w \frac{\partial c}{\partial z} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (4.8)$$

şeklini alır.

(4.8) denklemi permerant olmayan hal için verilmiştir. Bu tezde incelenecek olan problemde permanent rejim söz konusu olduğundan (4.8) denkleminde $\frac{\partial c}{\partial t} = 0$ konulacaktır. Buna göre, permanent halde korunan madde konsantrasyonunu veren diferansiyel denklem

$$w \frac{\partial c}{\partial z} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (4.9)$$

olur.

Yukarıda da belirtildiği gibi, çıkarılan bu ifadeler çözülmüş korunan maddelere münhasırdır. Herne kadar biyolojik tabaka içinde madde konsantrasyon dağılımı mevcut ve burada da organik maddeler tüketiliyorsa da, biyofilm yüzeyi üzerindeki madde ayrışmasını bir sınır şartı olarak koyup, sıvı filmi için yazılan diferansiyel denklemi yardımı ile problemi çözmek de mümkündür.

Eğik düzlem üzerindeki akım için (4.6) bağıntısı ile verilen hız ifadesi (4.9) denklemine yerine konursa :

$$\frac{3}{2} w_{ort} (1 - x^2/h^2) \frac{\partial c}{\partial z} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (4.10)$$

elde edilir.

4.3. Sınır Şartları

(4.10) denkleminin çözümü biyolojik tabaka ile sıvı tabaka arakesitinin fiziksel şartlarına sıkı sıkıya bağlıdır. Deney sonuçları, biyofilm yüzeyinin veya hiç değilse bu tabakanın üst kısmının tasfiye işleminde önemli bir rol oynadığını

göstermektedir $|10|, |72|, |47|$. Bu tabakanın alt kısmının tasfiye prosesi üzerine ölçülebilir bir tesiri gözlenmemiştir $|73|$. Bu husus ileride detaylı olarak ele alınacaktır. Biyofilm yüzeyinin, organik maddenin metabolik ayrışması üzerine önemli bir etkisi olduğu kabulünden hareket ederek (4.10) bağıntısının çözümü, üç sınır şartına bağlanmıştır.

Başlangıç şartı :

$$z=0 \quad \text{ve} \quad x=h \quad \text{için} \quad c = c_0 \quad (4.11)$$

Bu; giriş düzleminde konsantrasyonun üniform olduğu ve c_0 giriş konsantrasyonuna eşit kabul edildiği manâsına gelir.

Sınır şartları :

1) Sıvı yüzeyinde madde iletimi yoktur.

$$x = 0 \quad \text{için} \quad D \frac{\partial c}{\partial x} = 0 \quad (4.12)$$

2a) $x=h$, yani sıvı tabaka ile biyolojik tabaka arakesitinde maddenin taşınma hızı, maddenin bu arakesit üzerindeki tükenme (yokolma) hızına eşittir. Bir diğer deyişle, mikroorganizmalar buradaki maddeyi özümlemektedirler.

$$x = h \quad \text{için} \quad -D \frac{\partial c}{\partial x} = R'' = k_s c \quad (4.13)$$

Burada R'' terimi biyofilm yüzeyinde mikroorganizmaların metabolik faaliyetinin bir fonksiyonudur. k_s ise reaksiyonun hız sabitidir.

2b) Özel bir hal olması bakımından $x=h$ için tabandaki organik madde konsantrasyonunun sıfır olduğu, yani mad-

denin bu arakesite ulaşır ulaşmaz tüketildiği kabul edilebilir.

$$x = h \quad \text{için} \quad c = 0 \quad (4.14)$$

3) Keza teorik olarak $z = \infty$ olduğunda madde konsantrasyonunun $x < h$ değerlerinde sıfır olması gerekir.

$$z = \infty \quad \text{ve} \quad x < h \quad \text{için} \quad c = 0 \quad (4.15)$$

Swilley, Atkinson, Maier ve arkadaşları bu sınır şartlarını gözönüne alarak (4.10) diferansiyel denklemini kuvvet serileri yardımı ile çözmüşlerdir [10], [42], [67].

BÖLÜM V

EĞİK DÜZLEM MODELLİ BİYOKİMYASAL REAKTÖRLERDE DISPERSİYON DENKLEMİNİN SONLU FARKLARLA ÇÖZÜMÜ

5.1. Diferansiyel Denklemin ve Sınır Şartlarının Boyutsuz hale Getirilmesi

Eğik düzlem modellenli biyokimyasal reaktörlerde dispersiyon olayını karakterize eden (4.10) bağıntısı,

$$-D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\rho g \sin \psi}{2\mu} h^2 \left(1 - \frac{x^2}{h^2}\right) \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \quad (5.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada

$$w_{\max} = \frac{\rho g \sin \psi}{2\mu} h^2 \quad (5.2)$$

olduğundan

$$-D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + w_{\max} \left(1 - \frac{x^2}{h^2}\right) \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \quad (5.3)$$

bulunur.

$$C = \frac{c}{c_0}, \quad X = \frac{x}{h}, \quad Z = \frac{D \cdot z}{h^2 w_{\max}} \quad (5.4)$$

ikameleri yapılacak olursa, (5.3) denklemi aşağıdaki gibi

boyutsuz hale getirilmiş olsun.

$$(1-X^2) \frac{\partial C}{\partial Z} = \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} \quad (5.5)$$

Bölüm 4.4 de açıklanan sınır şartları boyutsuz halde.

Başlangıç şartı :

$$Z = 0 \quad \text{ve} \quad X < 1 \quad \text{için} \quad C = 1 \quad (5.6)$$

Sınır şartları :

$$1) \quad \text{Yüzeyde} \\ X = 0 \quad \text{için} \quad \frac{\partial C}{\partial X} = 0 \quad (5.7)$$

$$2) \quad \text{Tabanda} \\ X = 1 \quad \text{için a) } \frac{\partial C}{\partial X} = - \frac{k_h}{D} C = -\eta C \quad (5.8)$$

$$\text{Burada } \eta = \frac{k_h}{D} \quad \text{dir.}$$

$$b) \quad C = 0 \quad (5.9)$$

$$3) \quad Z = \infty \quad \text{ve} \quad X < 1 \quad \text{için} \quad C = 0 \quad (5.10)$$

olur.

5.2. (5.5) Bağıntısının Sonlu Farklar Denklem Sistemleri Tarzında İfade Edilmesi

Akım derinliği h olan bir reaktör için daha önce elde edilen (5.5) nolu dispersiyon denkleminin verilen başlangıç ve sınır şartları için sonlu farklar ile nümerik çözümü yapılacaktır.

Akım alanı; Şekil (5.1) de görüldüğü gibi X ve Z istikametlerinde düşey ve yatay tabakalara ayrılmıştır. Bu parçaların boyutları olarak X doğrultusunda ΔX , Z doğrultusunda ΔZ sonlu değerleri kabul edilmiştir. Akım derinliği boyutsuz halde 1 olduğundan X doğrultusunda akım alanı $NX = \frac{1}{\Delta X}$ sayıda yatay tabakaya ayrılmıştır. Z doğrultusunda ise istenen sayıda düşey ΔZ kalınlıklı tabaka alınabilecektir.

Akım yönü olan Z doğrultusundaki ΔZ kalınlıklı düşey tabakaları birbirinden ayıran çizgileri J, buna dik olan X istikametindeki ΔX kalınlıklı yatay tabakaları birbirinden ayıran kesit çizgileri de I indisi ile gösterilmiş olsun

Bu takdirde; yatay tabakalardan ilkinin hava ile kesit çizgisi olan akışkan yüzeyinde $I=1$, en son yatay tabakayı dayanma yüzeyinden ayıran kesit çizgisinde, yani akışkan tabanında $I=N+1$ olacaktır. Düşey tabakalardan birincisini sağ taraftan sınırlayan giriş kesiti için $J=1$ alınacaktır.

I ve J indisleri boyutsuz tam sayılar olup, bilgisayarla nokta nokta yapılan çözümde her noktadaki konsantrasyon değerleri $C(I,J)$ olarak bu indislerle karakterize edilecektir.

Nümerik metodla yapılan çözümlerde bilindiği gibi, diferansiyel denklemin çözümü istenen alanı nokta nokta taranır ve çözüm her nokta için ayrı ayrı verilir.

Böyle bir noktadaki konsantrasyon değeri aşağıdaki yolla aranır. Düşey tabakaları birbirinden ayıran kesit çiz-

gileri J ile gösterildiğinden çözüm aranan noktaya kadar olan düşey tabaka adedi (J-1) sayıda olacaktır. Düşey tabaka kalınlıkları ΔZ ile gösterildiğine göre bu noktanın Z istikametindeki yeri başlangıçtan $Z = (J-1)\Delta Z$ mesafe ötede olacaktır. Yatay tabakaları birbirinden ayıran kesit çizgileri I ile gösterildiğine ve çözüm aranan noktaya kadar (I-1) sayıda yatay tabaka bulunduğu göre, tabaka kalınlığı ΔX alındığı zaman çözüm aranan noktanın yeri başlangıçtan $X = (I-1)\Delta X$ kadar uzakta olacaktır.

Elde edilen sonuçlar gerçek değerlere yakın ve bilgisayar zamanı minimum olmalıdır.

5.3. Uygun Sonlu Farklar Şekli

Bu çözüm metodunda aşağıdaki yaklaşımlar yapılacaktır.

$$\frac{\partial C}{\partial Z} \approx \frac{C(I, J+1) - C(I, J)}{\Delta Z} \quad (5.11)$$

$$\frac{\partial C}{\partial X} \approx \frac{C(I+1, J) - C(I, J)}{\Delta X} \quad (5.12)$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial X^2} \approx \frac{C(I+1, J) - 2C(I, J) + C(I-1, J)}{\Delta X^2} \quad (5.13)$$

(5.5) bağıntısında $T = \frac{1}{1-X^2}$ alınırsa,

$$\frac{\partial C}{\partial Z} = T \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} \quad (5.14)$$

elde edilir. (5.14) denkleminde türev ifadeleri yerine (5.11) ve (5.13) deki yaklaşık değerleri konulduğunda aşağıdaki sonlu farklar formu yazılmış olur.

$$\frac{C(I,J+1)-C(I,J)}{\Delta Z} = T \frac{C(I+1,J)-2C(I,J)+C(I-1,J)}{\Delta X^2} \quad (5.15)$$

(5.15) bağıntısı,

$$C(I,J+1) = C(I,J) + \frac{\Delta Z}{\Delta X^2} \cdot T(C(I+1,J) - 2C(I,J) + C(I-1,J)) \quad (5.16)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bölüm 5.1 de açıklanan başlangıç ve sınır şartları da sonlu farklar formunda yazılabilir :

Başlangıç şartı .

$$J = 1 \quad \text{için} \quad C(I,J) = 1 \quad (5.17)$$

Sınır şartları :

$$\begin{array}{l} \text{Yüzeyde} \\ 1) \quad I=1 \quad \text{için} \quad \frac{C(I+1,J)-C(I,J)}{\Delta X} = 0 \end{array} \quad (5.18)$$

$$\begin{array}{l} \text{Tabanda} \\ 2) \quad I=N+1 \quad \text{için} \quad a) \quad \frac{C(I+1,J)-C(I,J)}{\Delta X} = -\eta C(I,J) \end{array} \quad (5.19)$$

$$b) \quad C(I,J) = 0 \quad (5.20)$$

$$3) \quad J = \infty \quad \text{için} \quad C(I,J) = 0 \quad (5.21)$$

Bilindiği gibi dispersiyon denklemine biyolojik karakter kazandıran terim tabandaki sınır şartıdır. Bu sınır şartı yukarda ifade edildiği gibi iki hal için ayrı ayrı yazılacak ve çözümler de buna göre yapılacaktır. Önce (5.19) da olduğu gibi tabanda maddenin tüketilmesini ifade eden reaksiyon hızı sabitinin yani η 'nın çeşitli değerlerine te- kabul eden çözümler aranacaktır. (5.20) deki ikinci hale göre yani $I = N+1$ için tabanda madde konsantrasyonunun sıfır olduğu ($C(N+1, J) = 0$), diğer bir ifade ile maddenin tabana gelir gelmez burada bulunan mikroorganizmalar tarafından tüketildiği kabul edilerek çözümler aranacaktır.

5.3.1. Seçilen Sonlu Farklar Şekli İçin Stabilite Analizi

Stabilite analizi, nümerik çözümü yapılacak olan bir diferansiyel denklemin gerçeğe yakın çözümler verebilmesi için ΔX , ΔZ gibi sonlu değerlerin hangi sınırlar arasında değiştiğinin araştırılmasıdır. Burada da stabil çözümlere varmak için gerekli şart aşağıdaki yol izlenerek elde edilecektir. Bunun için önce (5.15) denklemini $(I-1)\Delta X$ ve $(J-1)\Delta Z$ etrafında Taylor serisine açalım :

$$C(I, J+1) = C(I, J) + \frac{\partial C(I, J)}{\partial Z} \cdot \frac{\Delta Z}{1!} + \frac{\partial^2 C(I, J)}{\partial Z^2} \cdot \frac{\Delta Z^2}{2!} + \dots \quad (5.22)$$

$$C(I+1, J) = C(I, J) + \frac{\partial C(I, J)}{\partial X} \cdot \frac{\Delta X}{1!} + \frac{\partial^2 C(I, J)}{\partial X^2} \cdot \frac{\Delta X^2}{2!} + \dots \quad (5.23)$$

$$C(I-1, J) = C(I, J) - \frac{\partial C(I, J)}{\partial X} \cdot \frac{\Delta X}{1!} + \frac{\partial^2 C(I, J)}{\partial X^2} \cdot \frac{\Delta X^2}{2!} - \frac{\partial^3 C(I, J)}{\partial X^3} \cdot \frac{\Delta X^3}{3!} + \dots \quad (5.24)$$

(5.22), (5.23) ve (5.24) bağıntılarını (5.15) deki yerlerine koymak için, önce bu bağıntılar aşağıdaki forma sokulmalıdır.

$$\begin{aligned} \frac{C(I, J+1) - C(I, J)}{\Delta Z} &= \frac{\partial C(I, J)}{\partial Z} + \frac{\partial^2 C(I, J)}{\partial Z^2} \cdot \frac{\Delta Z}{2!} + \\ &+ \frac{\partial^3 C(I, J)}{\partial Z^3} \cdot \frac{\Delta Z^2}{3!} \end{aligned} \quad (5.25)$$

$$\begin{aligned} \frac{C(I+1, J) - C(I, J)}{\Delta X} &= \frac{\partial C(I, J)}{\partial X} + \frac{\partial^2 C(I, J)}{\partial X^2} \cdot \frac{\Delta X}{2!} + \\ &+ \frac{\partial^3 C(I, J)}{\partial X^3} \cdot \frac{\Delta X^2}{3!} \end{aligned} \quad (5.26)$$

$$\begin{aligned} \frac{C(I+1, J) - 2C(I, J) + C(I-1, J)}{\Delta X^2} &= \frac{\partial^2 C(I, J)}{\partial X^2} + 2 \frac{\partial^4 C(I, J)}{\partial X^4} \cdot \frac{\Delta X^2}{4!} + \\ &+ \dots \end{aligned} \quad (5.27)$$

(5.25) ve (5.27) denklemleri (5.15) de yerlerine konacak olurlarsa,

$$\begin{aligned} \frac{\partial C(I, J)}{\partial Z} + \frac{\partial^2 C(I, J)}{\partial Z^2} \cdot \frac{\Delta Z}{2!} + \frac{\partial^3 C(I, J)}{\partial Z^3} \cdot \frac{\Delta Z^2}{3!} &= T \cdot \frac{\partial^2 C(I, J)}{\partial X^2} + \\ &+ 2 \cdot T \cdot \frac{\partial^4 C(I, J)}{\partial X^4} \cdot \frac{\Delta X^2}{4!} + \end{aligned}$$

veya,

$$\begin{aligned} \frac{\partial C(I, J)}{\partial Z} &= T \cdot \frac{\partial^2 C(I, J)}{\partial X^2} + \left[2T \cdot \frac{\partial^4 C(I, J)}{\partial X^4} \cdot \frac{\Delta X^2}{4!} - \frac{\partial^2 C(I, J)}{\partial Z^2} \cdot \frac{\Delta Z}{2!} \right. \\ &\quad \left. - \frac{\partial^3 C(I, J)}{\partial Z^3} \cdot \frac{\Delta Z^2}{3!} \right] \end{aligned} \quad (5.28)$$

(5.28) denkleminde köşeli parantez içindeki terim kesme hatası (truncation error) olarak isim alır. ΔZ ve ΔX sıfıra giderken bu hata terimi de sıfıra gider. Diğer yandan ΔX ve ΔZ sonlu değerleri sıfıra hangi şekilde giderlerse gitsinler, kesme hatası sıfıra eşit olacaktır. Bu, (5.28) denkleminin (5.14) denklemi ile şartsız uygun (unconditionally consistant) olduğunu ortaya koyar.

(5.15) denklemi için gerekli ve yeterli stabilite şartı lineer stabilite analizi uygulanarak elde edilir. Bu tipteki bir analiz için sonlu farklar denklem sisteminin aşağıda görüldüğü şekilde Fourier serileri ile ifade edilmiş çözümleri düşünülür :

$$C(I,J) = \sum_k \xi_k^j e^{ikmI\Delta X} \quad (5.29)$$

Bu ifade (5.16) denkleminde yerine konursa

$$\frac{1}{\Delta Z} \left[\xi_k^{j+1} e^{ikmI\Delta X} - \xi_k^j e^{ikmI\Delta X} \right] = \frac{T}{\Delta X^2} \left[\xi_k^j e^{ikm(I+1)\Delta X} - 2\xi_k^j e^{ikmI\Delta X} + \xi_k^j e^{ikm(I-1)\Delta X} \right]$$

veya,

$$\xi_k^{j+1} e^{ikmI\Delta X} = \xi_k^j e^{ikmI\Delta X} + \frac{\Delta Z}{\Delta X^2} \cdot T \left[\xi_k^j e^{ikm(I+1)\Delta X} - 2\xi_k^j e^{ikmI\Delta X} + \xi_k^j e^{ikm(I-1)\Delta X} \right] \quad (5.30)$$

elde edilir. Burada da kısaltmalar yapılacak olursa,

$$\xi_k^{j+1} e^{ikmI\Delta X} = \xi_k^j e^{ikmI\Delta X} \left[1 + \frac{\Delta Z \cdot T}{\Delta X^2} (e^{ikm\Delta X} + e^{-ikm\Delta X} - 2) \right]$$

veya,

$$\xi_k^{j+1} = \xi_k^j \left[1 + \frac{\Delta Z \cdot T}{\Delta X^2} (e^{ikm\Delta X} + e^{-ikm\Delta X} - 2) \right] \quad (5.31)$$

elde edilir. Köşeli parantezin içine A denirse (5.31) denklemi

$$\xi_k^{j+1} = A \xi_k^j \quad (5.32)$$

şekline gelir.

(5.32) denkleminde A amplifikasyon faktörüdür. Sonlu farklar denklem sisteminin stabil olması için $|A| < 1$ olmalıdır.

(Richtmeyer ve Morton), (1966) Buna göre,

$$|A| = 1 + \frac{\Delta Z}{\Delta X^2} \cdot T (e^{ikm\Delta X} + e^{-ikm\Delta X} - 2) < 1 \quad (5.33)$$

olur. (5.33) bağıntısında parantez içindeki terimler için aşağıdaki dönüşümler yapılabilir.

$$e^{ikm\Delta X} = \cos km\Delta X + i \sin km\Delta X \quad (5.34)$$

$$e^{-ikm\Delta X} = \cos km\Delta X - i \sin km\Delta X \quad (5.35)$$

(5.34) ve (5.35) bağıntıları taraf tarafa toplanacak olursa,

$$e^{ikm\Delta X} + e^{-ikm\Delta X} = 2 \cos km\Delta X \quad (5.36)$$

elde edilir. Bu değer (5.33) de yerine konursa,

$$|A| = 1 + 2.T. \frac{\Delta Z}{\Delta X^2} \sin^2 \frac{km\Delta X}{2} \leq 1 \quad (5.37)$$

yazılabilir. A amplifikasyon faktörünün mutlak değerinin (5.37) de görüldüğü gibi birden küçük olması için, bu ifadenin alacağı değerlerin aşağıdaki sınırlarda değişmesi gerekir.

$$-1 \leq A \leq 1 \quad (5.38)$$

(5.38) eşitsizliğinin sağ tarafını sağlamaya çalışalım :

$$1 - 4T. \frac{\Delta Z}{\Delta X^2} \sin^2 \frac{km\Delta X}{2} \leq 1$$

Bu ifadenin en küçük değeri $\sin^2 \frac{km\Delta X}{2} = 1$ olması halinde elde edilir. Bu en küçük değerin 1'den küçük kaldığı gösterilirse diğer bütün haller için yukarıdaki eşitsizlik sağlanmış olur. Buna göre :

$$1 - 4T. \frac{\Delta Z}{\Delta X^2} \leq 1$$

$$-4T. \frac{\Delta Z}{\Delta X^2} \leq 0$$

yahut eşitsizlik, her iki tarafı (-) ile çarpılacak olursa yön değiştireceğinden,

$$4T. \frac{\Delta Z}{\Delta X^2} > 0 \quad (5.39)$$

yazılabilir. ΔX , ΔZ ve T pozitif değerler aldığından bu eşitsizlik kendiliğinden sağlanmış olur.

(5.38) eşitsizliğinin sol tarafı için aşağıdaki işlemler yapılır :

$$1-4T \cdot \frac{\Delta Z}{\Delta X^2} \sin^2 \frac{km\Delta X}{2} \geq -1$$

Gene bu ifadenin alabileceği en küçük değerin -1 den büyük olduğu gösterilirse, yukardaki eşitsizlik sağlanmış olacağından $\sin^2 \frac{km\Delta X}{2} = 1$ alınarak,

$$1-4T \cdot \frac{\Delta Z}{\Delta X^2} \geq -1$$

$$-4T \cdot \frac{\Delta Z}{\Delta X^2} \geq -2$$

bulunur. Eşitsizliğin her iki tarafı (-) ile çarpılınca yön değiştireceğinden,

$$4T \cdot \frac{\Delta Z}{\Delta X^2} \leq 2$$

veya

$$\frac{\Delta Z}{\Delta X^2} \leq \frac{1}{2T} \quad (5.40)$$

olarak aranan stabilite şartı elde edilmiş olur. ΔX ve ΔZ 'ye verilen değerlerin (5.40) denklemini sağlayıp sağlamadığının araştırılması, ayrıca bu değer çiftlerinin en uygun olanının bulunması lâzımdır.

Bunun için ΔX ve ΔZ sonlu büyüklüklerinden biri keyfî olarak seçilir, diğeri ise (5.40) stabilite şartını sağlayacak şekilde hesaplanır. Böylece bir değer çifti elde edilmiş olur.

Bu çalışmada ilk olarak $\Delta X = 0.2$ için ΔZ değeri araştırılmıştır. Bu maksatla eğik düzlem modelinde düşünülen reaktör $NX = \frac{1}{0.2} = 5$ yatay tabakaya ayrılmıştır. (5.40) nolu stabilite şartında $T = \frac{1}{1-X^2}$ ve $X = (I-1)\Delta X$ konacak olursa

$$\Delta Z \leq \frac{\Delta X^2}{2 \cdot \frac{1}{1-X^2}}$$

veya

$$\Delta Z \leq \frac{1}{2} \Delta X^2 [1 - (I-1)^2 \Delta X^2] \quad (5.41)$$

yazılır. Tabanda (5.19) veya (5.20) nolu sınır şartlarından birinin sağlanması gerektiğinden (5.16) sonlu farklar denkleminin geçerli olduğu son arakesit $I = 5$ arakesiti olacaktır. Bu halde ;

$$\Delta Z \leq \frac{1}{2} \Delta X^2 (1 - 16\Delta X^2) \quad (5.42)$$

yazılabilir. $\Delta X = 0.2$ için,

$$\Delta Z < \frac{1}{2} (0.2)^2 [1 - 16(0.2)^2]$$

$$\Delta Z < 0.02 (1 - 0.64)$$

$$\Delta Z < 0.0072 \quad (5.43)$$

bulunur. Programlarda emniyetli sınırdaki kalması için ,

$\Delta Z = 0.0016$ alınmıştır. Benzer şekilde, ΔX 'e aşağıdaki yazılı diğer değerler verilmiş ve

$$\Delta X = 0.1 \text{ için } \Delta Z = 0.0004 < 0.00375$$

$$\Delta X = 0.05 \text{ için } \Delta Z = 0.0001 < 0.00120$$

$$\Delta X = 0.025 \text{ için } \Delta Z = 0.000025 < 0.00031$$

değer çiftleri bulunmuştur.

5.3.2. Stabilite Şartının Grafik Yolla Doğrulanması ve Optimum Değer Çiftinin Bulunması

ΔX ve ΔZ 'nin yukarda hesaplanan değerleri dispersiyon denkleminin çözümü için Fortran dili ile yazılmış bilgisayar programlarına giriş bilgisi olarak verilmiştir. Yukarda verilen 4 ayrı ΔX , ΔZ değer çifti için 4 çözüm gerçekleştirilmiştir. Bu değer çiftlerinden hangisinin daha uygun ve ekonomik olduğunu, yani minimum kompüter zamanı verdiğini anlamak için herhangi bir Z kesitinde bu değer çiftleri ile elde edilen konsantrasyonlar karşılaştırılabilir. Bu maksatla takriben % 50'lik bir biyolojik verimin elde edildiği $Z=1$ kesitinde, c/c_0 boyutsuz konsantrasyonları bulunmuştur (Tablo 5.1).

$1-c/c_0$ ordinatta ve $NZ = \frac{1}{\Delta Z}$ absiste gösterilerek bu değerler işaretlenmiş ve Şekil (5.2) de görüldüğü gibi bir diyagram elde edilmiştir.

Şekil (5.2) de 3 nolu değer çiftinin ötesinde küçültülmüş sonlu büyüklüklerin neticeye etkmediği ve bil-

gisayar zamanını artırmaktan başka bir sonuç vermediği açıkça görülmektedir. Bu sebeple çözümlerde,

$$\Delta X = 0.05 \quad \text{ve} \quad \Delta Z = 0.0001$$

kabul edilmiştir.

Tablo 5.1. Hesapta kullanılan değer çiftleri

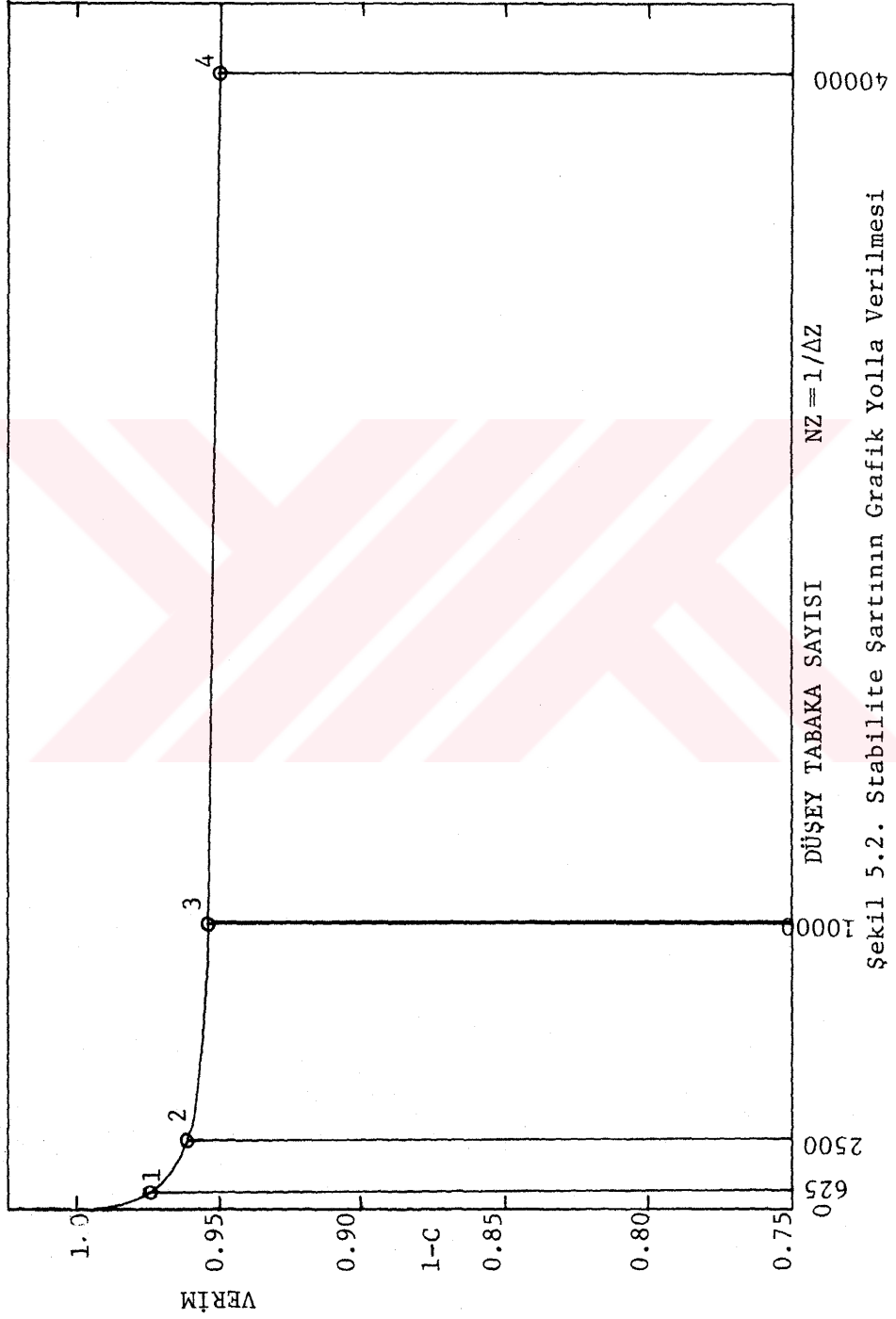
Değer çifti	c/c_o	Z	$NZ = \frac{Z}{\Delta Z}$	ΔX	ΔZ
1	0.02561	1	625	0.2	0.0016
2	0.03836	1	2500	0.1	0.0004
* 3	0.04577	1	10000	0.5	0.0001
4	0.04971	1	40000	0.025	0.000025

* Optimum değer çifti

Stabilite şartını veren program Ek (10,11,12,13) de verilmiştir.

5.4. Diferansiyel Denklemin Çözümü

Herhangi bir Z kesitinde konsantrasyon değişimi belli olduktan sonra bu kesitten geçecek madde miktarının tayini için ortalama konsantrasyona ihtiyaç vardır. Bu sebeple aşağıda önce bu konu ele alınacaktır. Ortalama konsantrasyonu veren bağıntı elde edildikten sonra, sonlu farklar formundaki ifade şekli ile bilgisayar programına ithal edilecektir. Böylece hem nokta nokta hem de kesitsel ortalama konsantrasyon değerleri hesab edilmiş olacaktır.



Şekil 5.2. Stabilite Şartının Grafik Yolla Verilmesi

54.1. Akım İstikametindeki Z Kesitleri İçin Ortalama Konsantrasyon Değerlerinin Hesaplanması

Eğik düzlem modelinde akım derinliği h olduğundan, birim genişlikli bir kesitten geçen debi aşağıdaki gibi verilir.

$$q = c_{ort} \cdot h \cdot w_{ort} = \int_0^h c(1.dx) \cdot w \quad (5.44)$$

(4.1) ve (5.2) ye göre

$$w = w_{max} \left(1 - \frac{x^2}{h^2}\right)$$

$$w_{ort} = \frac{2}{3} w_{max}$$

olup, bu ifadeler (5.44) deki yerlerine konur ve

$$c = C \cdot c_o, \quad c_{ort} = C_{ort} \cdot c_o, \quad x = X \cdot h, \quad dx = dX \cdot h \quad (5.45)$$

ikameleri yapılacak olursa,

$$\begin{aligned} q &= c_{ort} \cdot h \cdot \frac{2}{3} \cdot w_{max} \int_{x=0}^{x=h} c(1.dx) \cdot w_{max} \left(1 - \frac{x^2}{h^2}\right) \\ C_{ort} \cdot c_o \cdot h \cdot \frac{2}{3} \cdot w_{max} &= \int_{X=0}^{X=1} C \cdot c_o \cdot dX \cdot h \cdot w_{max} (1-X^2) \\ C_{ort} &= \frac{3}{2} \int_{X=0}^{X=1} C(1-X^2) dX \end{aligned} \quad (5.46)$$

elde edilir. (5.46) bağıntısı herhangi bir Z kesiti için boyutsuz değişkenler cinsinden ortalama konsantrasyonu ifade etmektedir.

Bu entegrali nümerik olarak bulmak için, daha önce açıklandığı üzere 20 eşit parçaya bölünmüş $0 < X < 1$ aralığının her bölümüne tekabül eden $y_i = C_i(1-X_i^2)$ değerleri ordinatta gösterilmiş ve bu eğrinin altındaki alan hesaplanmıştır. Şekil (5.3). Bu alan birkaç yolla bulunabilir : Burada trapez kaidesi uygulanacaktır. Buna göre: ($i=1,2,3,...,21$) olmak üzere, $y_i = C_i(1-X_i^2)$ ordinatları ve A_i yamuk alanlarını gösterecek olursa, alan toplamları aşağıdaki gibi olur.

$$A_1 = \frac{y_1 + y_2}{2} \Delta X$$

$$A_2 = \frac{y_2 + y_3}{2} \Delta X$$

$$A_3 = \frac{y_3 + y_4}{2} \Delta X$$

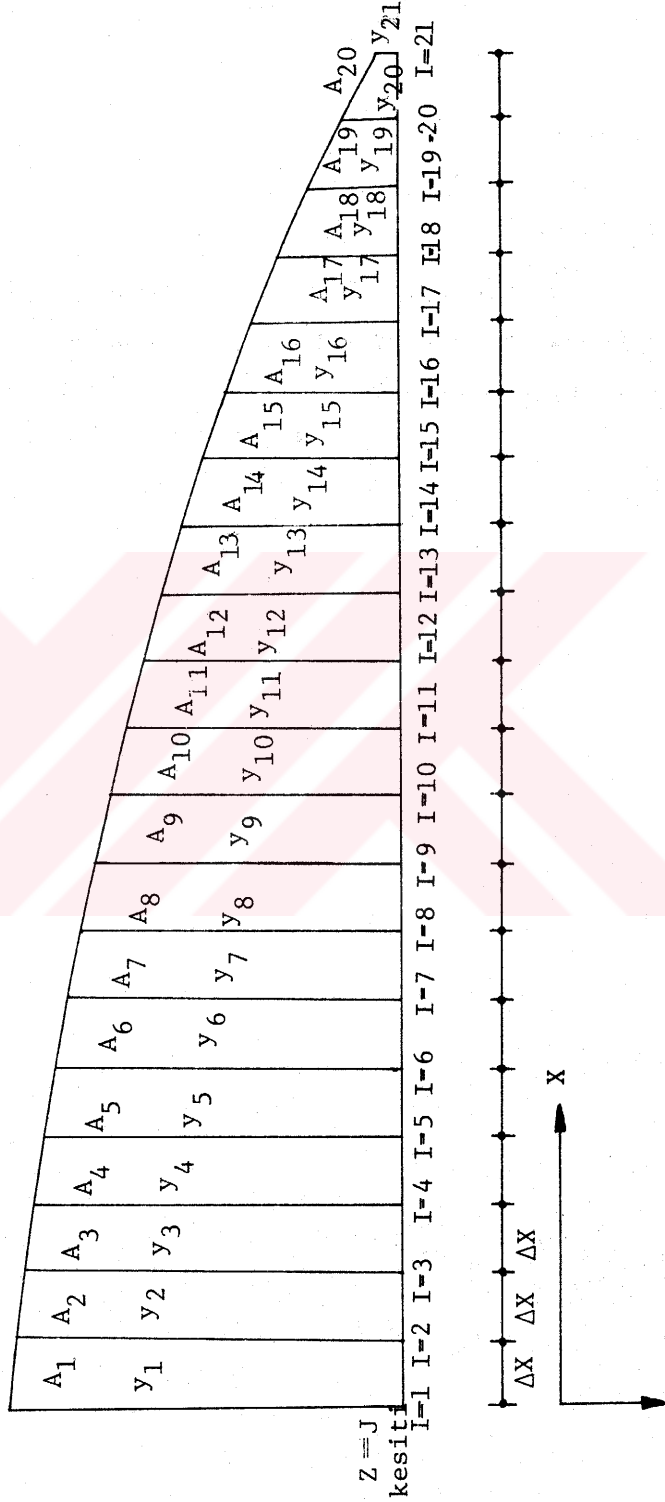
$$\vdots$$

$$A_{21} = \frac{y_{21}}{X} \Delta X$$

taraf tarafa toplanacak olursa,

$$\sum_{i=1}^{21} A_i = \left(\frac{y_1}{2} + y_2 + y_3 + \dots + \frac{y_{21}}{2} \right) \Delta X$$

veya



Şekil 5.3. TRAPEZ Kaidesi ile Ortalama Konsantrasyonların
Bulunması

$$C_{ORT} = \frac{3}{2} \sum_{i=1}^{21} A_i = \frac{3}{2} \Delta X \left(\frac{y_1}{2} + y_2 + y_3 + \dots + \frac{y_{21}}{2} \right) \quad (5.47)$$

yazılabilir. $I = 1$ de $X = X_1 = 0$ olup $y_1 = C_1(1-0) = C_1$ ve

$I = 21$ de $X = X_{21} = 1$ olup $y_{21} = C_{21}(1-1) = 0$ yazılabileceğinden (5.47) denklemi

$$C_{ORT} = \frac{3}{2} \cdot \Delta X \left[\frac{C_1}{2} + \sum_{i=2}^{20} y_i \right]$$

$y_i = C_i(1-X_i^2)$ alınacak olursa, ifade

$$C_{ORT} = \frac{3}{2} \Delta X \left[\frac{C_1}{2} + \sum_{i=2}^{20} C_i(1-X_i^2) \right] \quad (5.48)$$

şekline gelir. (5.48) sonlu farklar formunda aşağıdaki gibi yazılır.

$$C_{ORT} = \frac{3}{2} \Delta X \left[\frac{C(1,J)}{2} + \sum_{I=2}^{20} C(I,Z) [1-(I-1)^2 \Delta X^2] \right] \quad (5.49)$$

Hazırlanan bilgisayar programlarına (5.49) ifadesi de ithal edilerek çözümler gerçekleştirilmiştir.

5.4.2. (5.49) Bağıntısının $J=1$ Kesiti İçin Tahkiki

$J=1$ kesitinde (5.17) başlangıç şartından dolayı,

$C(1,1) = C(2,1) \dots C(21,1) = 1$ yazılabileceğinden (5.49) denkleminde $C(1,J)$ ve $C(I,J)$ terimleri yerine 1, ΔX yerine 0.05 konulabilir. Bu takdirde,

$$\begin{aligned}C_{ORT} &= \frac{3}{2} (0.05) \left[\frac{1}{2} + \sum_{I=2}^{20} [1 - (I-1)^2 (0.05)^2] \right] \\&= (1.5) \cdot (0.05) \left[0.5 + 19 - \sum_{I=2}^{20} [(I-1)^2 \cdot (0.05)^2] \right] \\&= (1.5) \cdot (0.05) \left[19.5 - 2470 \cdot (0.0025) \right] \\C_{ORT} &= 0.999375 \approx 1.0\end{aligned}$$

elde edilmiş olur.

Uniform bir akımın herhangi bir kesitinde her noktadaki konsantrasyon aynı ve 1'e eşitse, kesitsel ortalama da 1 olacaktır. Yukardaki hesap bunu doğrulamaktadır.

5.4.3. Çeşitli Kesitlerdeki Konsantrasyon Profillerinin Hesabı

Sonlu farklar denklem sistemleri formunda yazılan (5.16) nolu dispersiyon denklemi için Fortran dilinde kodlandırılan programlar sonlu farklarla ifade edilen (5.17), (5.18), (5.19), (5.20) ve (5.21) nolu başlangıç ve sınır şartlarını gerçeklemek üzere $\eta = 1, 10$ ve 100 için icra edilerek akım alanının çeşitli noktalarındaki konsantrasyonlar hesaplanmıştır. Tablo (5.2), (5.3), (5.4) ve (5.5). Bilgisayar programları Ek.1, Ek.2, Ek.3 ve Ek.4 olarak takdim olunmuştur.

Akım doğrultusundaki çeşitli Z boyutsuz mesafelerinde nokta nokta elde edilen konsantrasyon değerleri, her Z kesiti için yukarda açıklanan trapez kaidesi (yamuk metodu)

Tablo 5.2. Eğik Düzlem Modelinde $\eta = 1$ İçin Çeşitli Kesitlerdeki
Boyutsuz Konsantrasyon Değerleri

$\frac{x}{z}$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	ζ_{ORT}
0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.024	1.000	0.999	0.992	0.956	0.862	0.725	0.971
0.048	0.996	0.992	0.976	0.907	0.803	0.673	0.946
0.072	0.986	0.977	0.941	0.870	0.764	0.640	0.922
0.096	0.970	0.959	0.916	0.840	0.735	0.614	0.899
0.120	0.951	0.938	0.892	0.814	0.711	0.594	0.876
0.144	0.930	0.917	0.870	0.791	0.690	0.576	0.855
0.168	0.909	0.895	0.848	0.770	0.671	0.560	0.833
0.192	0.887	0.874	0.826	0.750	0.653	0.545	0.813
0.216	0.866	0.852	0.806	0.731	0.636	0.531	0.792
0.240	0.844	0.831	0.786	0.712	0.620	0.518	0.773
0.264	0.824	0.811	0.766	0.694	0.604	0.505	0.754
0.288	0.803	0.791	0.747	0.677	0.589	0.492	0.735

Tablo 5.2. nin Devamı

$\frac{X}{Z}$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	C_{ORT}
0.312	0.783	0.771	0.729	0.660	0.574	0.480	0.717
0.336	0.764	0.752	0.710	0.644	0.560	0.468	0.699
0.360	0.745	0.734	0.693	0.628	0.546	0.456	0.682
0.384	0.727	0.715	0.676	0.612	0.533	0.445	0.665
0.408	0.709	0.698	0.659	0.597	0.519	0.434	0.648
0.432	0.691	0.680	0.643	0.582	0.507	0.423	0.632
0.456	0.674	0.664	0.627	0.568	0.494	0.413	0.616
0.480	0.657	0.647	0.611	0.554	0.482	0.402	0.601
0.504	0.641	0.631	0.596	0.540	0.470	0.392	0.586
0.528	0.625	0.615	0.581	0.527	0.458	0.383	0.572
0.552	0.610	0.600	0.567	0.514	0.447	0.373	0.558
0.576	0.594	0.585	0.553	0.501	0.436	0.364	0.544
0.600	0.580	0.571	0.539	0.489	0.425	0.355	0.530

Tablo 5.3. Eğik Düzlem Modelinde $\eta = 10$ İçin Çeşitli Kesitlerdeki
Boyutsuz Konsantrasyon Değerleri

$\frac{X}{Z}$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	C_{ORT}
0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.024	1.000	0.997	0.970	0.846	0.565	0.192	0.907
0.048	0.987	0.972	0.896	0.725	0.462	0.156	0.845
0.072	0.955	0.930	0.831	0.651	0.407	0.137	0.791
0.096	0.911	0.882	0.776	0.598	0.371	0.124	0.743
0.120	0.863	0.833	0.727	0.556	0.343	0.115	0.698
0.144	0.815	0.786	0.682	0.519	0.320	0.107	0.656
0.168	0.768	0.740	0.641	0.487	0.300	0.100	0.617
0.192	0.723	0.696	0.603	0.457	0.281	0.094	0.580
0.216	0.681	0.655	0.567	0.430	0.264	0.088	0.546
0.240	0.641	0.616	0.533	0.404	0.249	0.083	0.513
0.264	0.603	0.580	0.501	0.380	0.234	0.078	0.483
0.288	0.567	0.546	0.471	0.357	0.220	0.074	0.454

Tablo 5.3. ün Devamı

$\frac{X}{Z}$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	CORT
0.312	0.533	0.513	0.443	0.336	0.207	0.089	0.427
0.336	0.502	0.483	0.417	0.316	0.194	0.065	0.402
0.360	0.472	0.454	0.392	0.297	0.183	0.061	0.378
0.381	0.444	0.427	0.369	0.280	0.172	0.058	0.356
0.408	0.417	0.402	0.347	0.263	0.162	0.054	0.334
0.432	0.393	0.378	0.327	0.208	0.152	0.051	0.315
0.456	0.369	0.355	0.307	0.233	0.143	0.048	0.296
0.480	0.347	0.334	0.289	0.219	0.135	0.045	0.278
0.504	0.327	0.314	0.272	0.206	0.127	0.042	0.262
0.528	0.307	0.296	0.256	0.194	0.119	0.040	0.246
0.552	0.289	0.278	0.240	0.182	0.112	0.038	0.232
0.576	0.272	0.262	0.226	0.171	0.105	0.035	0.218
0.600	0.256	0.246	0.213	0.161	0.099	0.033	0.205

Tablo 5.4. Eğik Düzlem Modelinde $\eta = 100$ İçin Çeşitli Kesitlerdeki
Boyutsuz Konsantrasyon Değerleri

$\frac{X}{Z}$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	C_{ORT}
0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.024	0.999	0.996	0.959	0.798	0.456	0.022	0.881
0.048	0.983	0.963	0.869	0.664	0.361	0.017	0.811
0.072	0.943	0.912	0.795	0.587	0.313	0.015	0.751
0.096	0.891	0.857	0.733	0.532	0.282	0.013	0.698
0.120	0.835	0.801	0.680	0.490	0.258	0.012	0.650
0.144	0.781	0.748	0.632	0.454	0.239	0.011	0.605
0.168	0.728	0.697	0.588	0.421	0.221	0.011	0.564
0.192	0.679	0.650	0.548	0.392	0.206	0.010	0.525
0.216	0.633	0.605	0.510	0.365	0.192	0.009	0.489
0.240	0.590	0.564	0.475	0.340	0.178	0.009	0.455
0.264	0.549	0.525	0.443	0.317	0.166	0.008	0.424
0.288	0.512	0.489	0.412	0.295	0.155	0.007	0.395

Tablo 5.4.ün Devamı

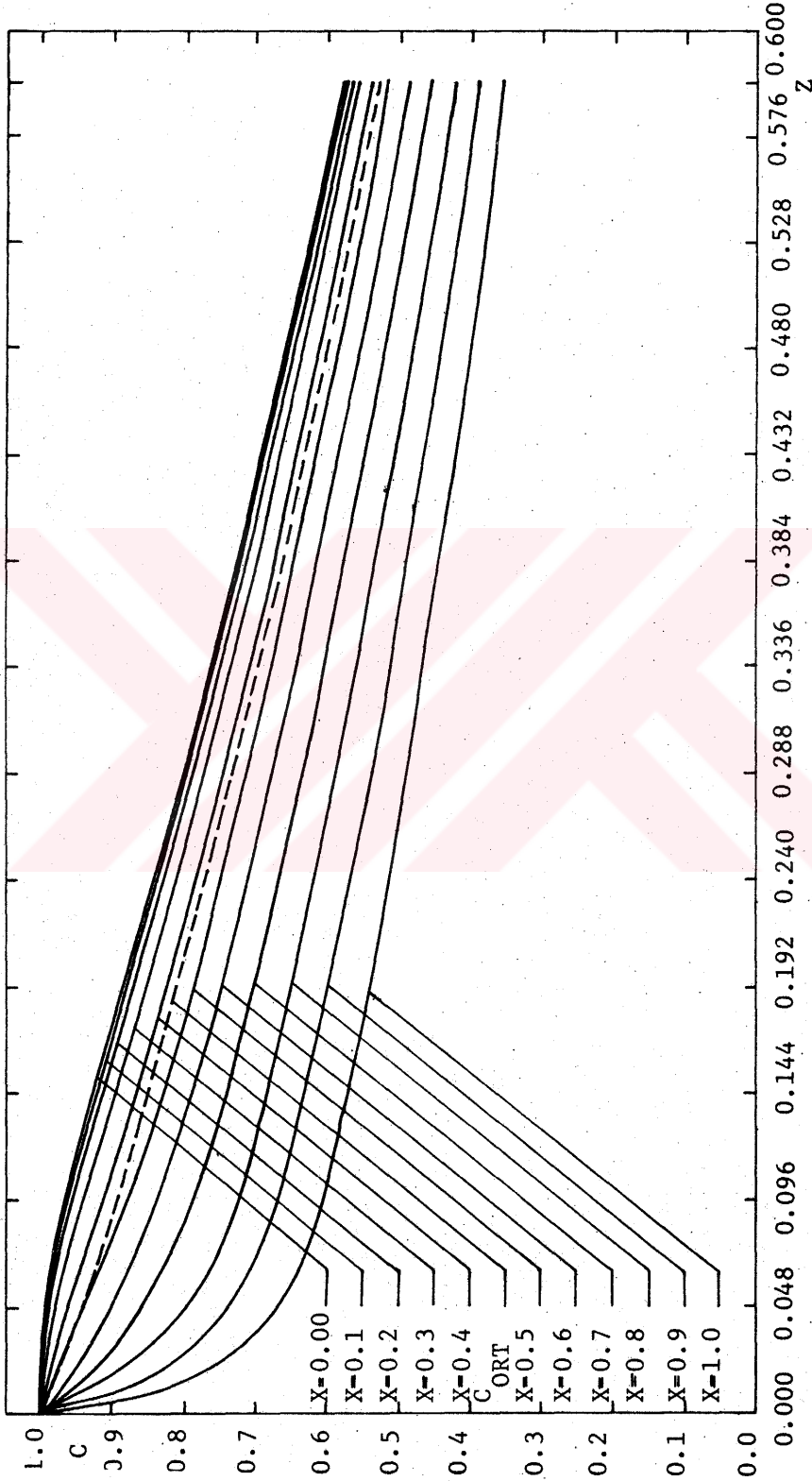
$\frac{X}{Z}$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	C_{ORT}
0.312	0.477	0.456	0.384	0.275	0.144	0.007	0.368
0.336	0.444	0.425	0.358	0.256	0.134	0.006	0.343
0.360	0.414	0.396	0.333	0.238	0.125	0.006	0.320
0.384	0.386	0.369	0.311	0.222	0.117	0.006	0.298
0.408	0.359	0.344	0.290	0.207	0.109	0.005	0.278
0.432	0.335	0.320	0.270	0.193	0.101	0.005	0.259
0.456	0.312	0.298	0.251	0.180	0.094	0.005	0.241
0.480	0.291	0.278	0.234	0.167	0.088	0.004	0.224
0.504	0.271	0.259	0.218	0.156	0.082	0.004	0.209
0.528	0.252	0.241	0.203	0.145	0.076	0.004	0.195
0.552	0.235	0.225	0.189	0.135	0.071	0.003	0.181
0.576	0.219	0.209	0.176	0.126	0.066	0.003	0.169
0.600	0.204	0.195	0.164	0.117	0.062	0.003	0.157

Tablo 5.5. Eğik Düzlem Düzlem Modelinde Tabanda Konsantrasyonun Sıfır Olması Halinde Çeşitli Kesitlerdeki Boyutsuz Konsantrasyon Değerleri

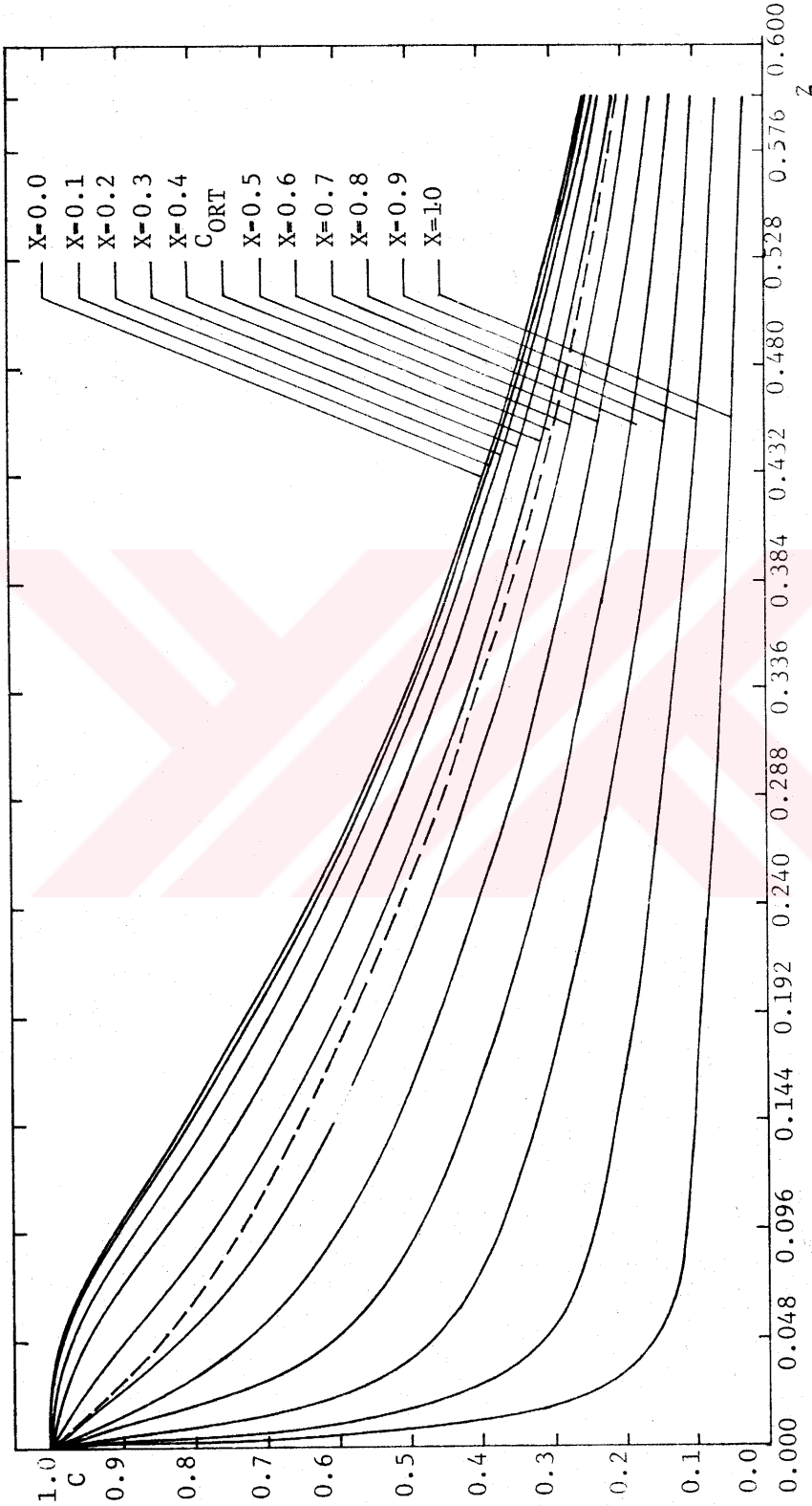
$\frac{X}{Z}$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	C_{ORT}
0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.024	0.999	0.996	0.957	0.791	0.441	0.000	0.877
0.048	0.982	0.962	0.965	0.656	0.348	0.000	0.806
0.072	0.941	0.910	0.790	0.595	0.445	0.000	0.746
0.096	0.888	0.853	0.728	0.524	0.271	0.000	0.692
0.120	0.831	0.797	0.674	0.481	0.248	0.000	0.643
0.144	0.776	0.742	0.626	0.445	0.229	0.000	0.598
0.168	0.723	0.691	0.582	0.413	0.212	0.000	0.557
0.192	0.673	0.644	0.541	0.384	0.197	0.000	0.518
0.216	0.627	0.599	0.503	0.357	0.183	0.000	0.482
0.240	0.583	0.557	0.468	0.332	0.170	0.000	0.448
0.264	0.543	0.519	0.436	0.309	0.158	0.000	0.417
0.288	0.505	0.483	0.405	0.287	0.147	0.000	0.388

Tablo 5.5. in Devami

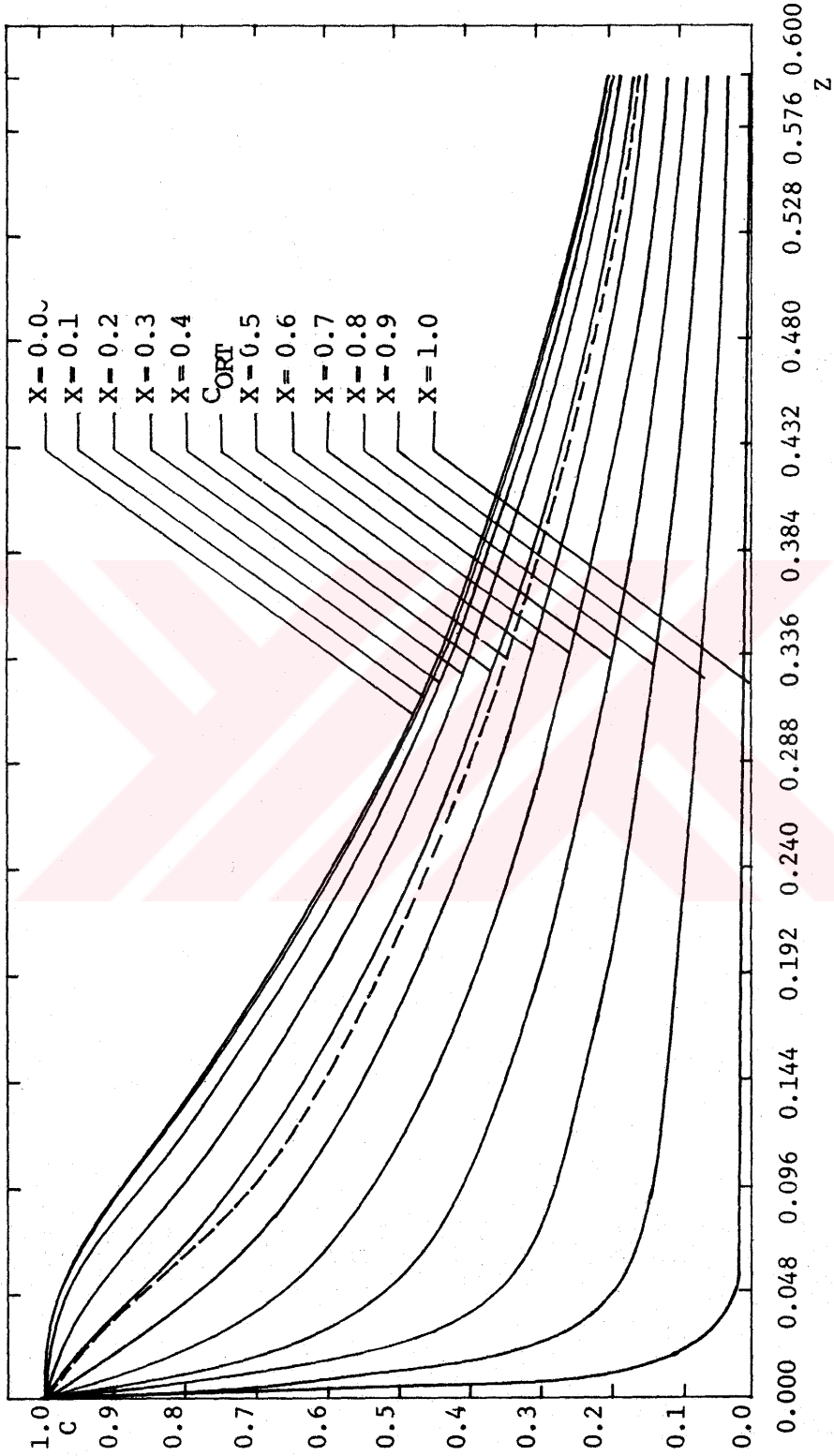
$\frac{X}{Z}$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	C_{ORT}
0.312	0.470	0.449	0.377	0.267	0.137	0.000	0.361
0.336	0.437	0.418	0.351	0.249	0.127	0.000	0.336
0.360	0.407	0.389	0.326	0.232	0.119	0.000	0.313
0.384	0.379	0.362	0.304	0.215	0.110	0.000	0.291
0.408	0.352	0.337	0.283	0.201	0.103	0.000	0.271
0.432	0.328	0.313	0.263	0.187	0.096	0.000	0.252
0.456	0.305	0.292	0.245	0.174	0.089	0.000	0.234
0.480	0.284	0.271	0.228	0.162	0.083	0.000	0.218
0.504	0.264	0.252	0.212	0.150	0.077	0.000	0.203
0.528	0.246	0.235	0.197	0.140	0.072	0.000	0.189
0.552	0.329	0.219	0.184	0.130	0.067	0.000	0.176
0.576	0.213	0.203	0.171	0.121	0.062	0.000	0.164
0.600	0.198	0.089	0.159	0.113	0.058	0.000	0.152



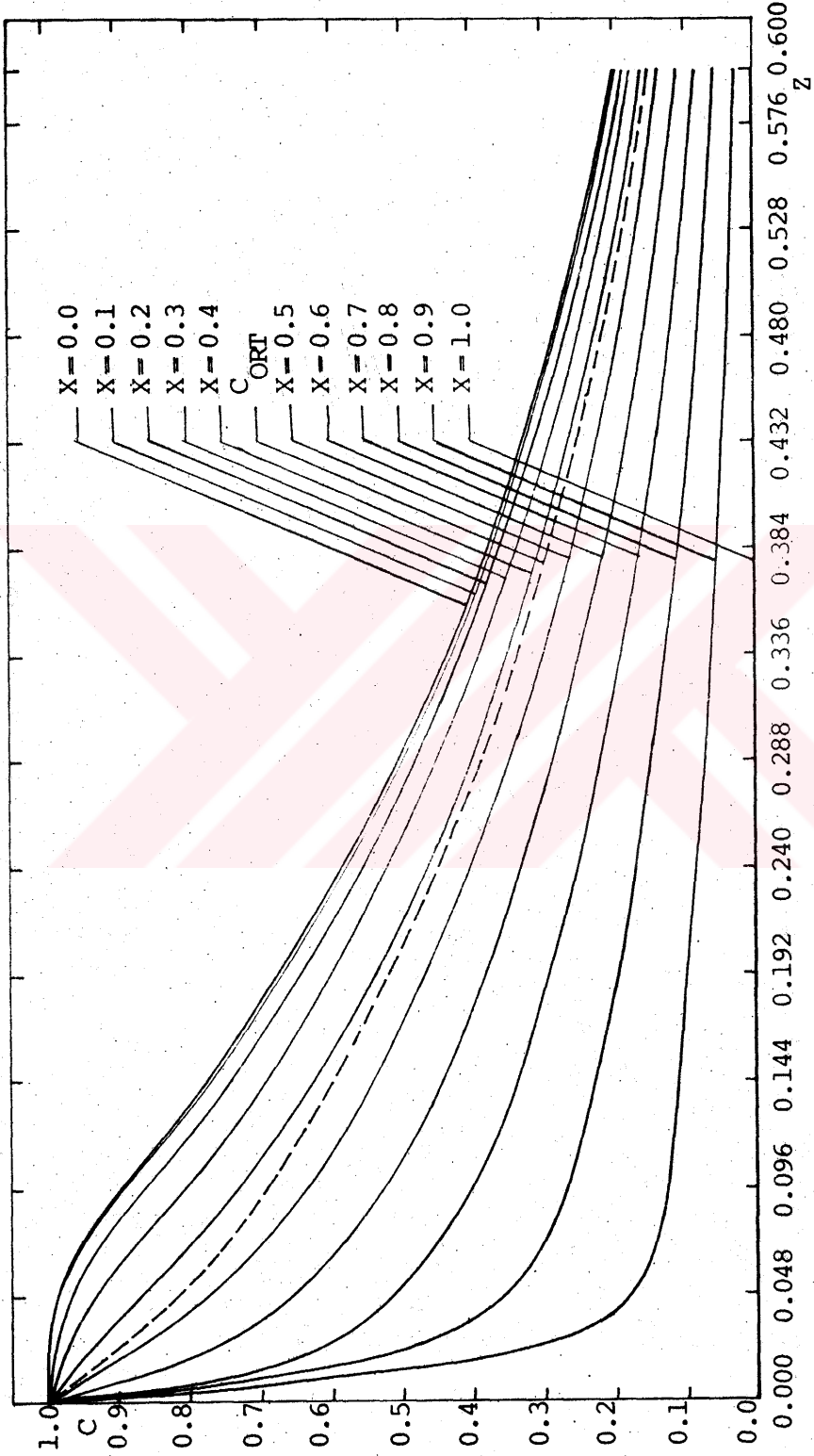
Şekil 5.4. $\eta = 1$ Olması Halinde Z Eksenli Doğrultusundaki Konsantrasyon Profilleri



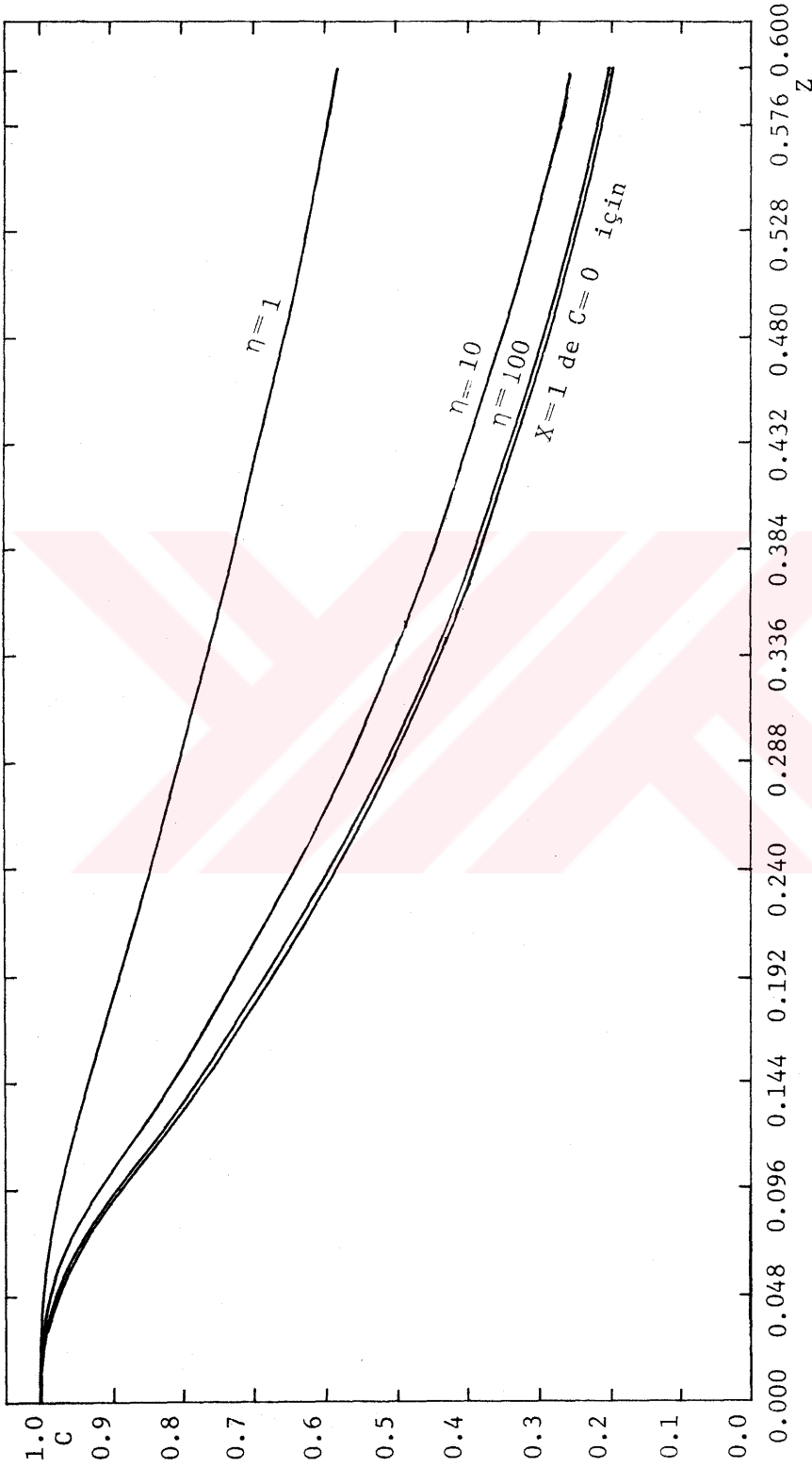
Şekil 5.5 $\eta = 10$ Alınması Halinde Z Eksenli Doğrultusundaki Konsantrasyon Profilleri



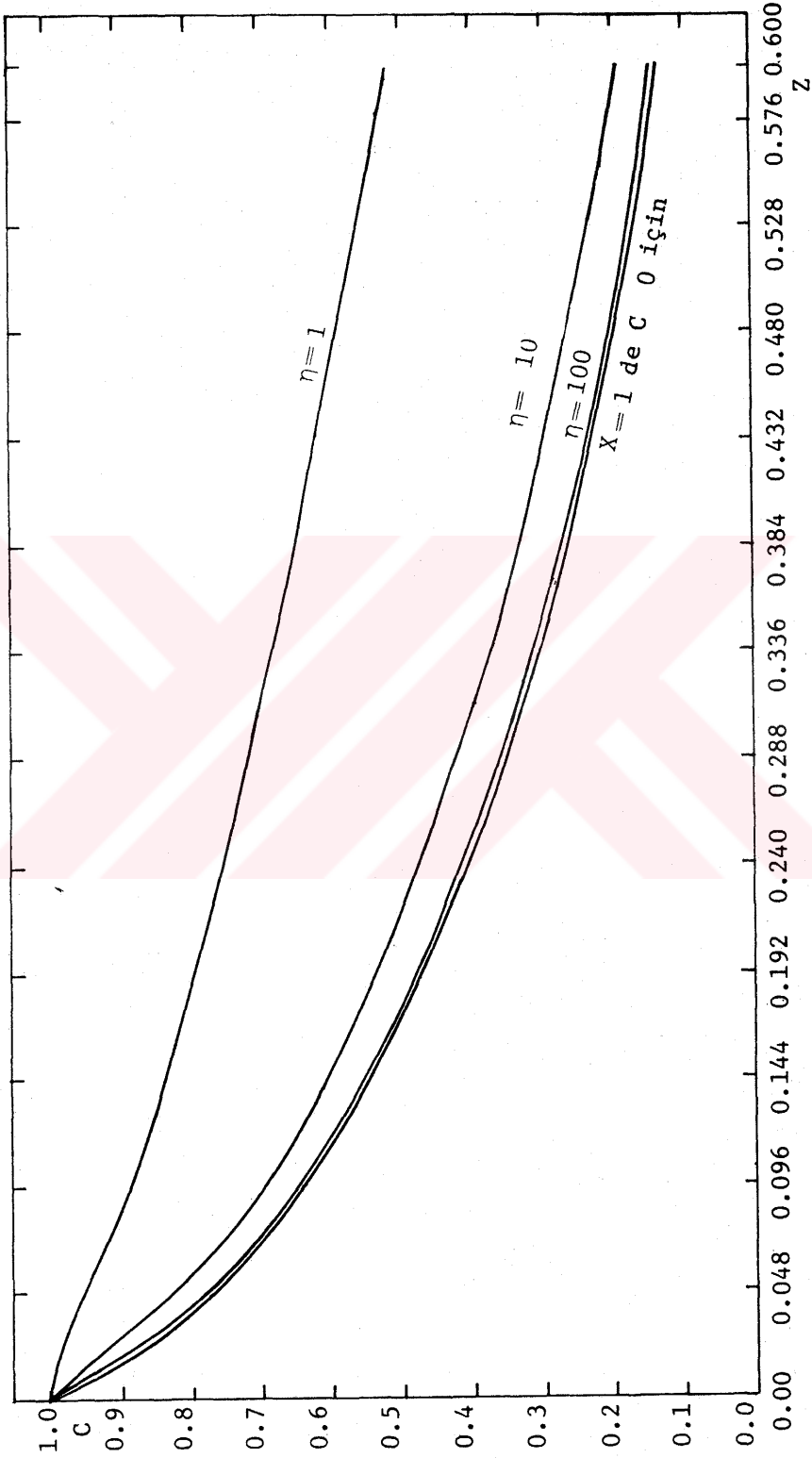
Şekil 5.6 $\eta = 100$ Alınması Halinde Z Eksenli Doğrultusundaki Konsantrasyon Profilleri



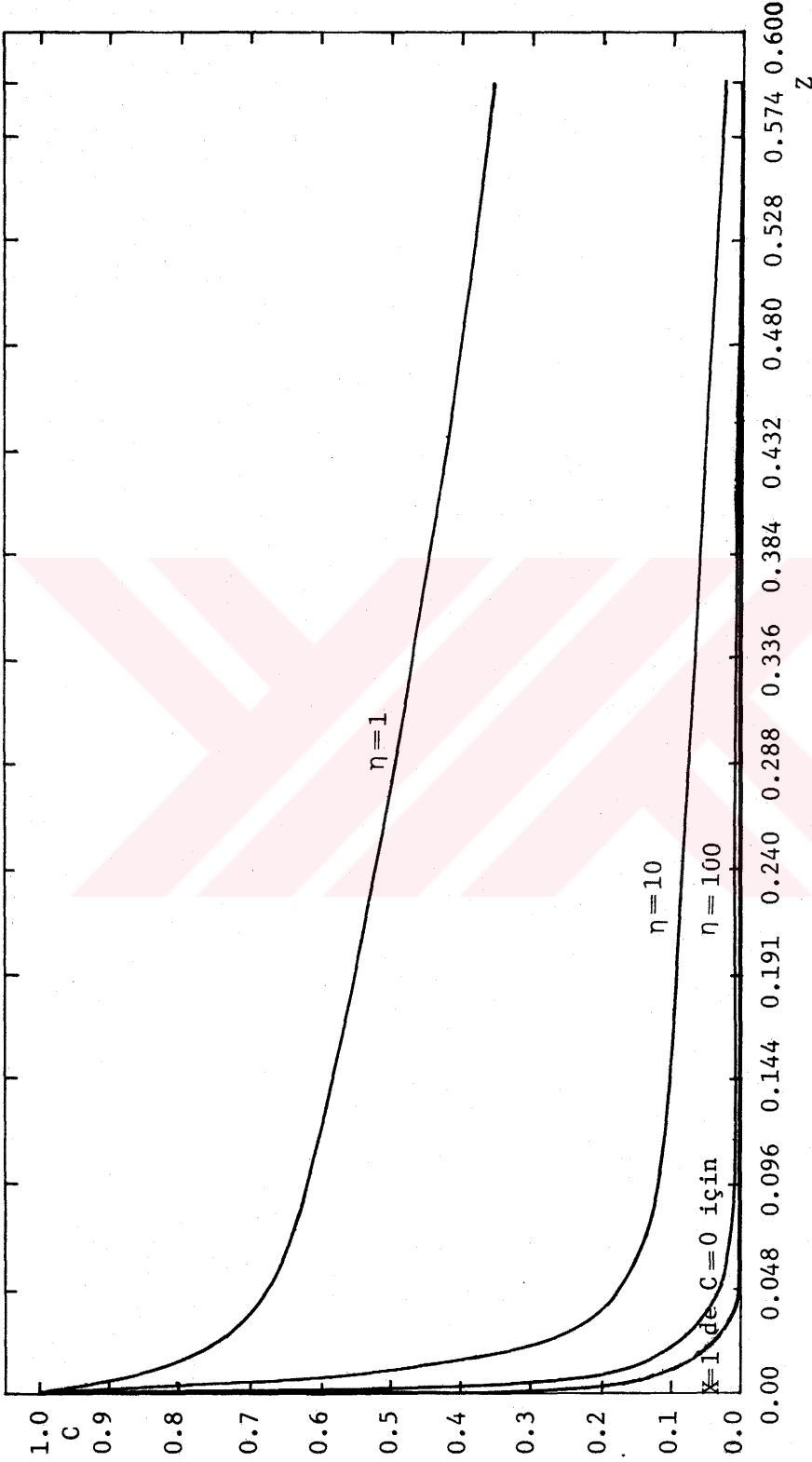
Şekil 5.7. $X=1.0$ de $C=0$ Olması Halinde Z Eksenine Doğrultusundaki Konsantrasyon Profilleri



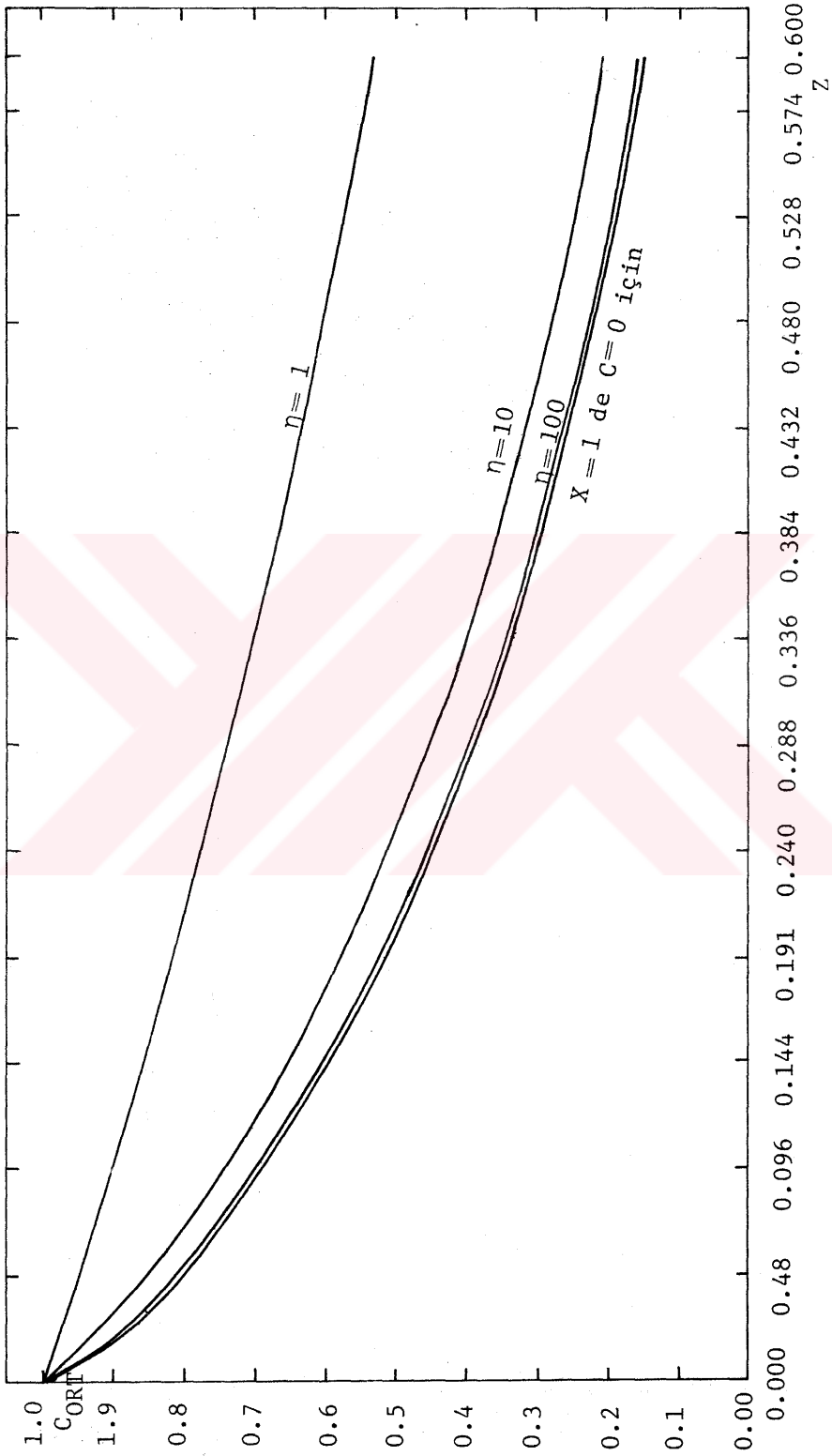
Şekil 5.8.X=0.00 Kesitinde Konsantrasyon Profilleri



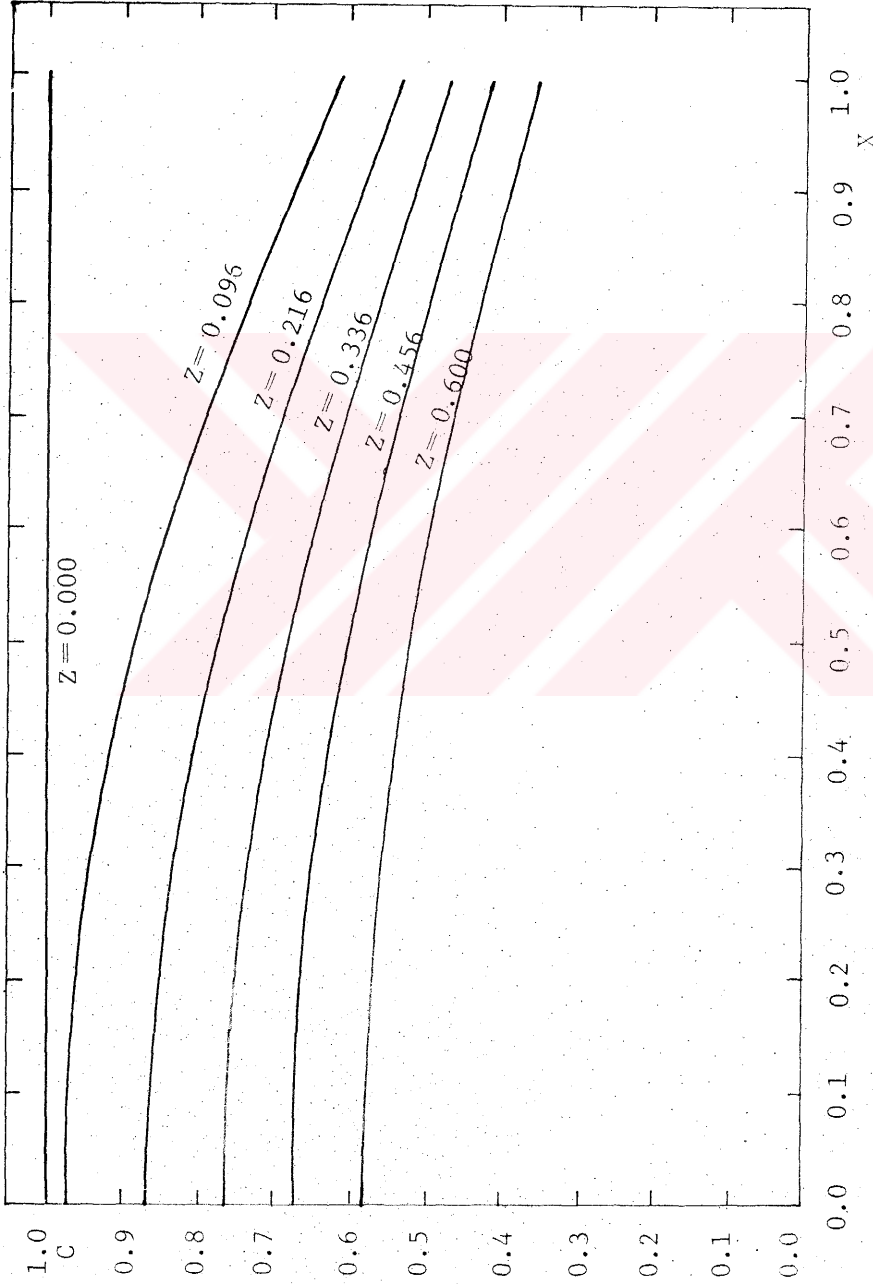
Şekil 5.9. $X=0.50$ Kesitinde Konsantrasyon Profilleri



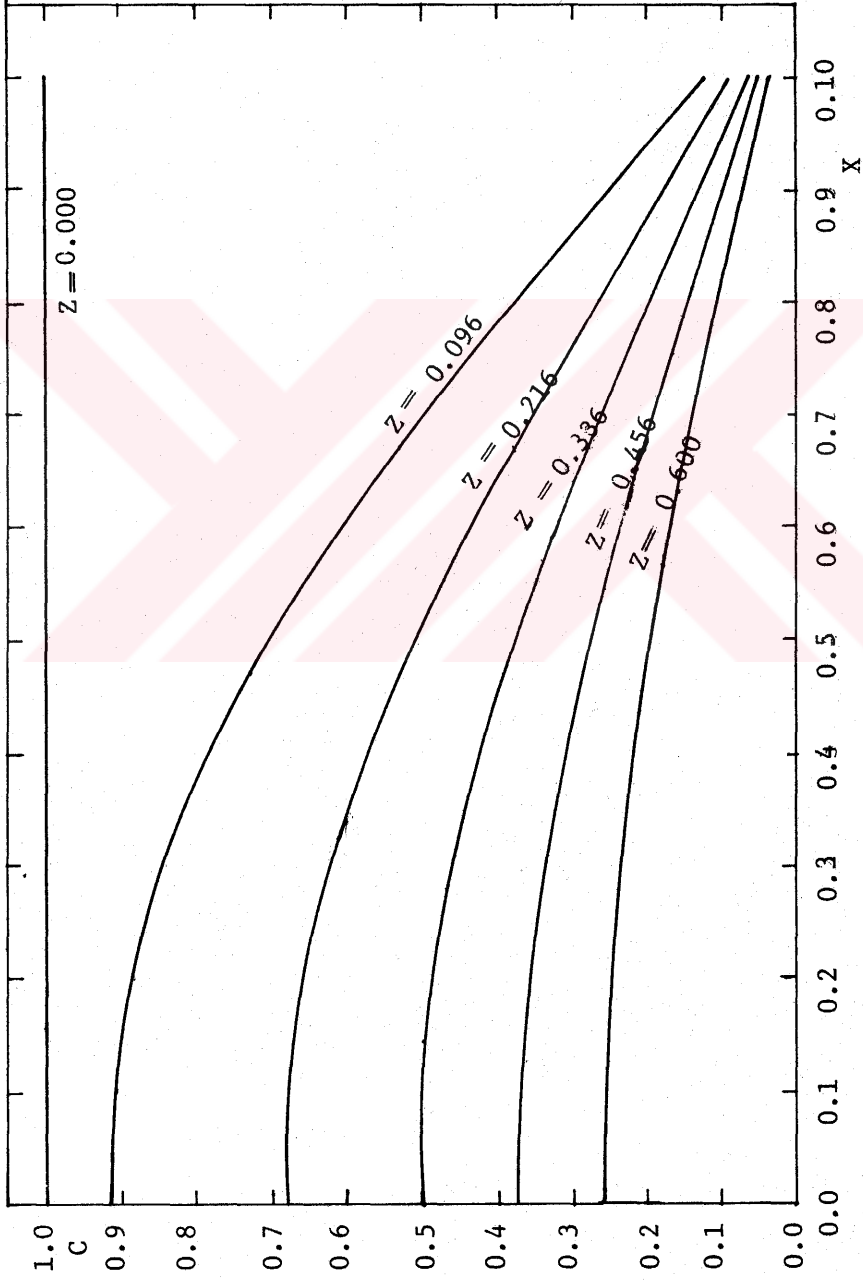
Şekil 5.10. $X = 1.0$ Kesitinde Konsantrasyon Profilleri



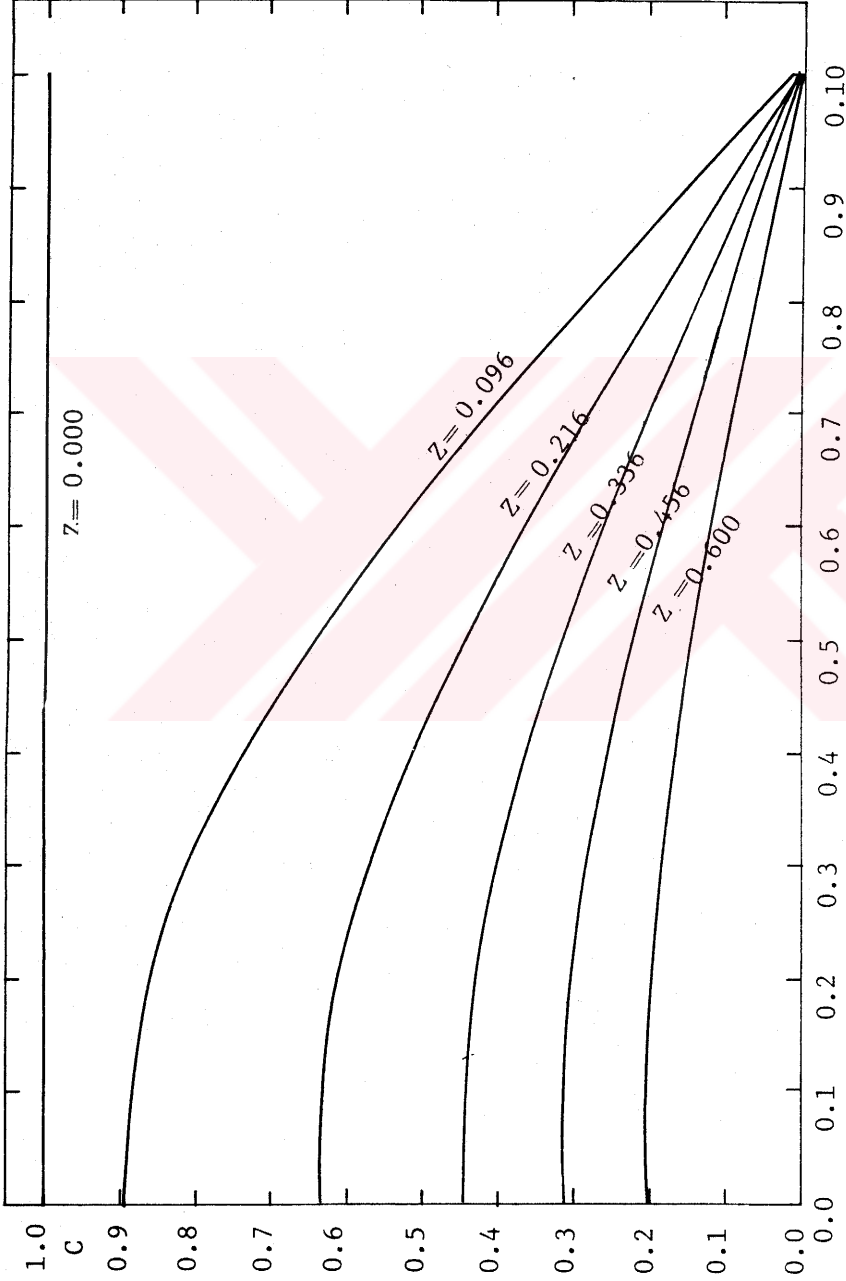
Şekil 5.11. Ortalama Konsantrasyonun Z Eksenı Boyunca Değişimi



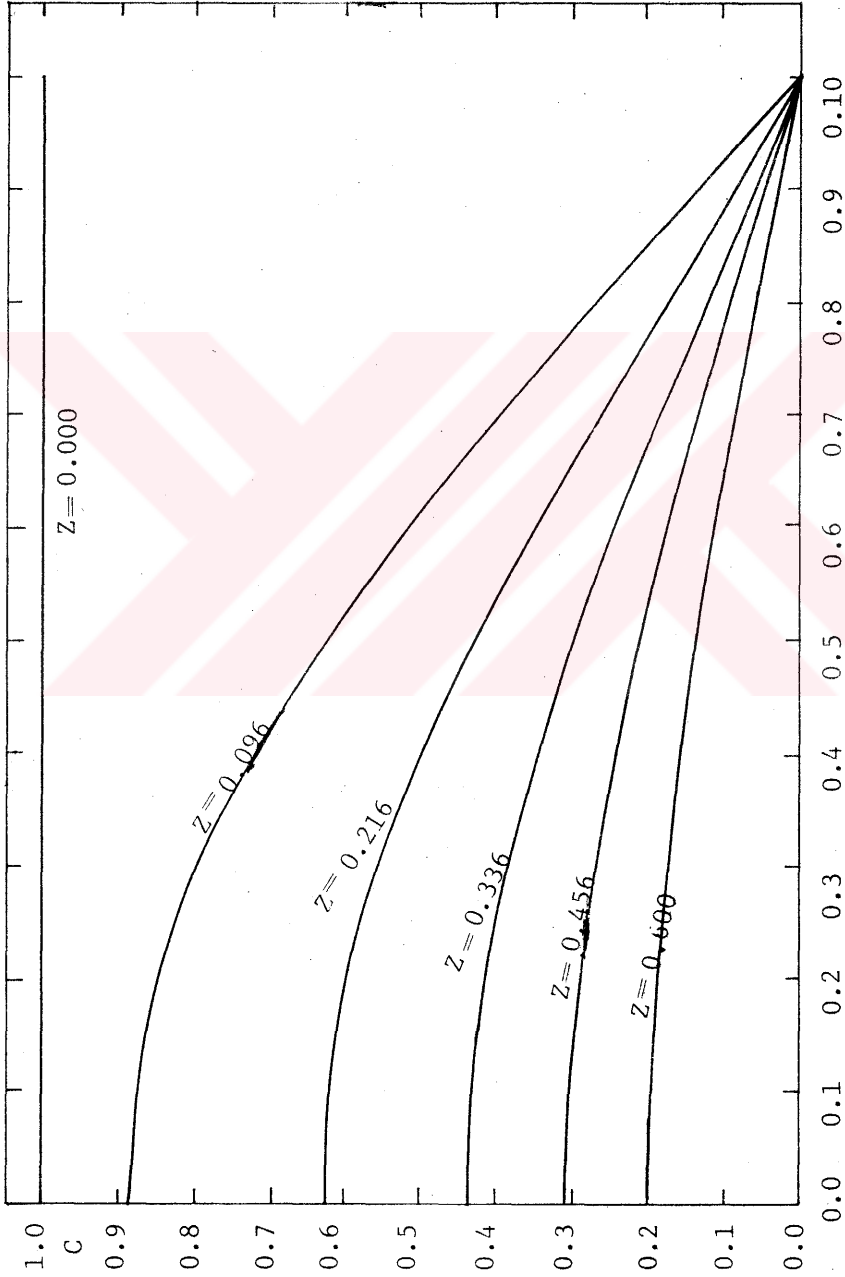
Şekil 5.12. $\eta = 1$ Seçilmesi Halinde Muhtelif Z Kesitleri İçin Konsantrasyon Profilleri



Şekil 5.13. $\eta = 10$ Alınması Halinde Muhtelif Z Kesitleri İçin Konsantrasyon Profilleri



Şekil 5.14. $\eta=100$ Alınması Halinde Muhtelif z Kesitleri İçin Konsantrasyon Profilleri



Şekil 5.15. $X=1$ de $C=0$ Sınır Şartına Göre Muhtelif
 Z Kesitleri İçin Konsantrasyon Profilleri

uyarınca kesitsel ortalamaların elde edilmesinde kullanılmıştır. Tablo (5.2),(5.3),(5.4) ve (5.5) de bu ortalama konsantrasyon değerleri de kaydedilmiştir. Konsantrasyon değişimini gösteren diyagramlar hem boyuna, hem de düşey kesitler için çizilmiştir Şekil (5.4),.....,(5.15).

Böylece farklı kesitlerde konsantrasyonun nasıl değiştiği gözlenmiş olmaktadır.

Akım istikametinde, biyolojik verimin takriben % 50 nin üstüne çıktığı $Z=0.6$ kesitine kadar çözümler yapılmıştır Gerçekten Tablo (5.2),(5.3),(5.4) ve (5.5)'in tetkikinden görüleceği üzere,

$\eta = 1$	için	$Z=0.6$	kesitinde	$C_{ORT} = 0.530$
$\eta = 10$	"	$Z=0.6$	"	$C_{ORT} = 0.205$
$\eta = 100$	"	$Z=0.6$	"	$C_{ORT} = 0.157$

ve (5.20) sınır şartı için $Z = 0.6$ kesitinde $C_{ORT} = 0.152$ bulunmuştur.

BÖLÜM VI

FİLM AKIŞLI BİYOKİMYASAL REAKTÖRLERE AİT TEORİNİN KÜBİK DİZİLİŞLİ BİR FİLTRE MODELİNE TATBİKİ

6.1. Küre Üzerinde Akım

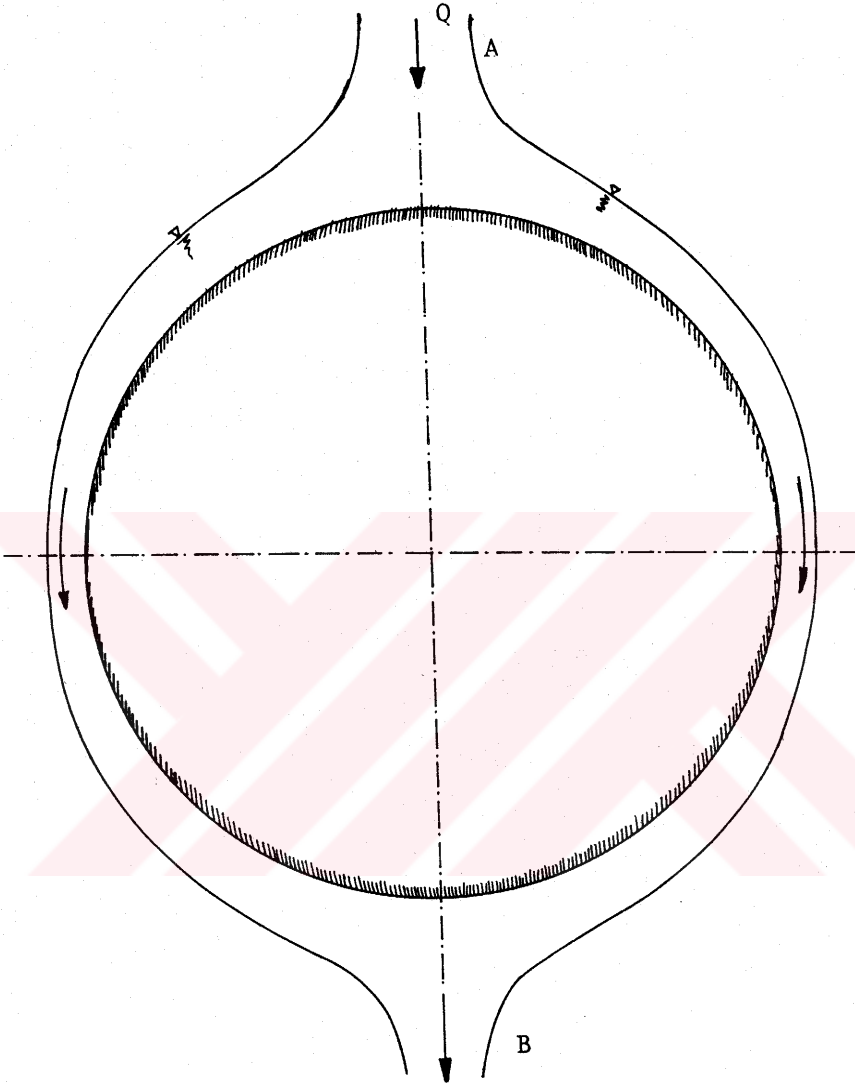
Kübik dizilişli bir filtrede küreler düşey zincirler teşkil ederler. Bu zincirin bir elemanını meydana getiren bir küre üzerindeki akımı inceliyelim. Damlatmalı filtrelerde tatbik edilen hidrolik yükler altında akım laminerdir.

Yarıçapı a olan bu kürenin en üstünden verilen sıvı küreyi alt kısmından terkeder (Şekil 6.1).

Akım çizgilerinin eğriliği ile hızlanma, yavaşlama etkileri ihmal edilirse, durum akışkanın "bir eğik düzlem üzerindeki lâminer hareketinin aynı olur" (Şekil 6.2).

Eğik düzlem içinde elde edilen hız ve debi gibi büyüklükler küre için de yazılabilir.

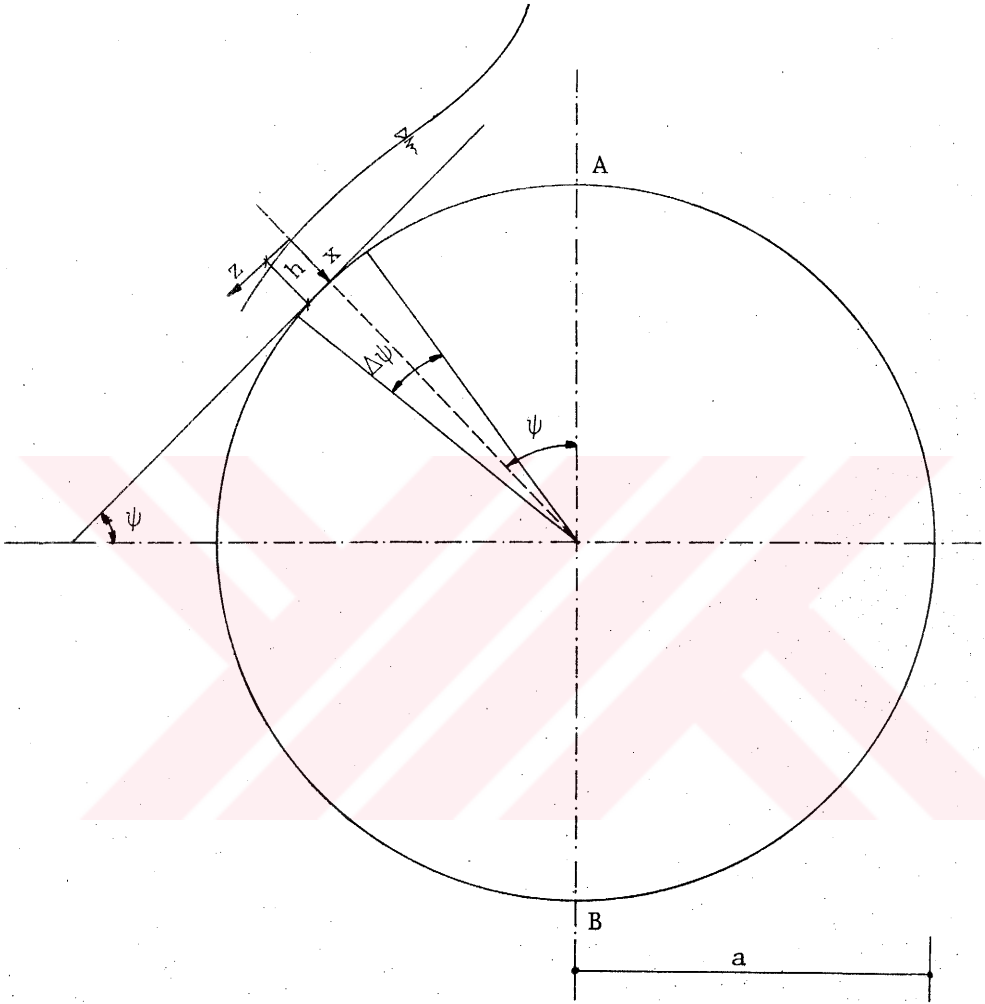
Bu halde akım doğrultusuna dik olan genişlik $2\pi a \sin\psi$ olmaktadır. Yani akım, kürenin boyları daireleri istikamesinde meydana geldiğinden bunun genişliği enlem dairelerinin uzunluğuna eşit olacaktır. Genişliği $2\pi a \sin\psi$, sıvı derinliği h olan bir enkesitten geçen debi aşağıdaki gibi yazılır | 51 |.



Şekil 6.1. Küre Üzerinde Akım

$$Q = q \cdot (2\pi a \sin\psi) = \frac{\gamma \sin\psi}{\mu} \cdot \frac{h^3}{3} \cdot 2\pi a \sin\psi \quad (6.1)$$

$$Q = \frac{2\pi}{3} \cdot \frac{\gamma}{\mu} \cdot a h^3 \cdot \sin^2\psi \quad (6.2)$$



Şekil 6.2. Küre Üzerindeki Akımın Eşik
Düzlem Üzerindeki Akımı İle
Benzerliği | 51|

Böylece verilen bir Q debisinin küre yüzeyinde meydana getirdiği h sıvı derinliği, (6.2) bağıntısı h'ya göre çözülerek bulunur.

$$h = \sqrt[3]{\frac{3}{2\pi} \cdot \frac{\mu}{\gamma} \cdot \frac{Q}{a \sin^2 \psi}} \quad (6.3)$$

Burada : $\gamma = \rho \cdot g$, $\mu = \rho \cdot v$

$$h = \sqrt[3]{\frac{3}{2\pi g} \cdot \frac{Q}{a \sin^2 \psi}} \quad (6.4)$$

elde edilir.

Benzer şekilde hareket edilerek hız ve ortalama hız ifadeleri de (4.1) ve (6.2) denklemleri yardımı ile çıkarılabilir. Buna göre :

$$w = \frac{g \sin \psi}{2v} \left[\left(\sqrt[3]{\frac{3v}{2\pi g} \cdot \frac{Q}{a \sin^2 \psi}} \right)^2 - x^2 \right] \quad (6.5)$$

$w_{\text{ort}} = \frac{2}{3} w$ olduğundan (6.5) yardımı ile,

$$w_{\text{ort}} = \frac{\gamma \sin \psi}{3\mu} \cdot \left(\frac{3v}{2\pi g} \cdot \frac{Q}{a \sin^2 \psi} \right)^{2/3}$$

veya

$$w_{\text{ort}} = \left(\frac{g}{12v\pi^2} \cdot \frac{Q^2}{a^2} \right)^{1/3} (\sin \psi)^{1/3} \quad (6.6)$$

(6.5) denkleminde $x = 0$ için $w = w_{\text{max}}$ olup,

$$w_{\text{max}} = 0.655 \cdot \left(\frac{g}{v} \right)^{1/3} \left(\frac{Q}{a} \right)^{2/3} (\sin \psi)^{-1/3} \quad (6.7)$$

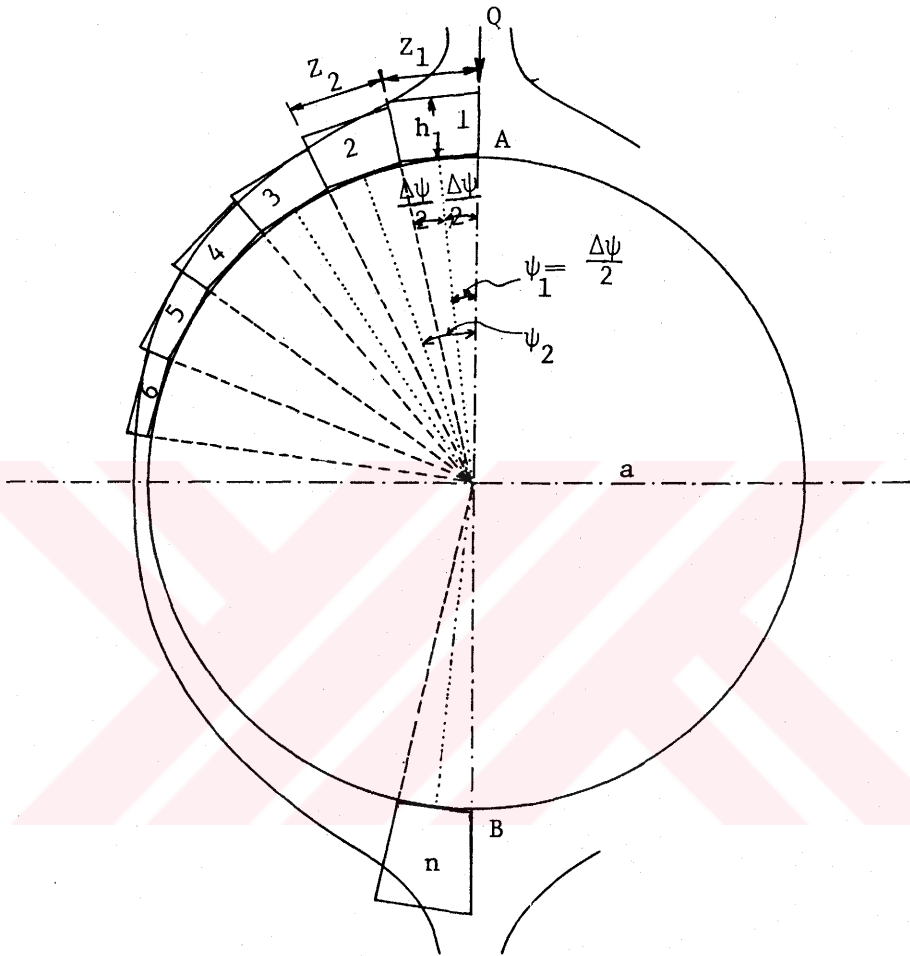
yazılabilir.

Küre üzerindeki akımın yukarda çıkarılan hidrolik ve fiziksel parametreleri (4.9) nolu dispersiyon denkleminde yerlerine konduğu takdirde, küre yüzeyinde akan sıvının içindeki konsantrasyonu verebilen, fakat karmaşık olan bir diferansiyel denklem çıkmaktadır. Böyle bir denklemin sınır şartları eşliğinde çözümünün çok güç olacağı anlaşılmıştır.

6.2. Dispersiyon Denkleminin Küre Modeli Üzerinde İncelenmesi

Bir küre üzerindeki akımda dispersiyon olayı ve bununla ilgili diferansiyel denklem, daha önce açıklanan prensipler yardımıyla doğrudan doğruya elde edilebilirse de, sınır şartlarını sağlayacak şekilde bunun çözümü çok zor olduğundan daha önce Bölüm V de bulunan sonuçları kullanabilmek maksadıyla probleme daha değişik bir açıdan yaklaşılacaktır. Bunun için, küre üzerindeki akım $\Delta\psi$ merkez açılarını gören yay uzunluğunda eğik düzlemlerden meydana gelen dilimler halinde mütalâa edilmiştir. ($i=1,2,\dots,n$) olmak üzere her bir eğik düzlem parçasına bir numara verilmiş, akımın tabanını teşkil eden küre yüzeyi yerine $\Delta\psi$ merkez açısının açıortayının küreyi kestiği noktadan çizilen teğet parçaları kabul edilmiştir (Şekil 6.3).

Buna göre $\Delta\psi$ merkez açılı $n = \frac{\pi}{\Delta\psi}$ adet eğik düzlem parçasından teşekkül eden küresel bir sıvı akımında her parçanın ortasındaki derinlik h_i ile gösterildiğine göre :



Bir eğik düzlem üzerindeki akımda dispersiyonu ifade eden, diferansiyel denklemde geçen boyutsuz Z_i büyüklüğü daha önce (5.4) bağıntısı ile verilmiştir. Konsantrasyon değişimi Z nin bir fonksiyonu olacağından, önce bu değerleri bulalım.

$$Z_i = \frac{D \cdot z}{h_i^2 W_{imax}} \quad (6.8)$$

Burada, h_i , ψ_i açısına ait sıvı derinliği ve z , parçanın uzunluğunu göstermektedir. Küçük $\Delta\psi$ açıları için $z = a \cdot \Delta\psi$ yazılabilir. h ve w_{max} ψ_i ile değiştiğinden, her dilimin bir Z_i değeri mevcuttur.

$z \approx a \cdot \Delta\psi$ değeri (6.7) bağıntısında yerine konduğu zaman,

$$Z_i = \frac{D \cdot a \cdot \Delta\psi}{h_i^2 W_{imax}} \quad (6.9)$$

elde edilir.

$\psi = 90^\circ$ için sıvı filmi kalınlığı h_o ve max. sıvı hızı w_{omax} kabul edilecek olursa, (6.4) ve (6.7) bağıntıları yardımı ile,

$$h_o = \sqrt[3]{\frac{3\nu}{2\pi g} \cdot \frac{Q}{a}} \quad (6.10)$$

ve

$$w_{omax} = 0.655 \cdot \left(\frac{g}{\nu}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{Q}{a}\right)^{2/3} \quad (6.11)$$

şeklinde yazılabilir.

(6.10) ve (6.11) bağıntıları (6.4) ve (6.7) deki yerlerine konacak olurlarsa,

$$h_i = h_o (\sin \psi_i)^{-2/3} \quad (6.12)$$

$$w_{imax} = w_{omax} (\sin \psi_i)^{-1/3} \quad (6.13)$$

elde edilir.

Küre yüzeyine sıvı verildiği zaman kürenin en üst kenarından düşeyle çok küçük bir açı yapacak mesafeye kadar bir "karışım bölgesi" teşekkül eder. 1 nolu parçanın giriş tarafında bu karışımın meydana geldiği kabul edilirse (6.12) ve (6.13) denklemleri $\psi > \frac{\Delta\psi}{2}$ için geçerli olur ve böylece $\psi = 0$ daki süreksizlik yeri ortadan kaldırılmış bulunur.

İlk parçanın Z boyutsuz büyüklüğü (6.9), (6.12) ve (6.13) yardımıyla,

$$\begin{aligned} Z_1 &= \frac{D \cdot a \cdot \Delta\psi}{h_o^2 (\sin \psi_1)^{-4/3} w_{omax} \cdot (\sin \psi_1)^{-1/3}} \\ &= \frac{D \cdot a \cdot \Delta\psi}{h_o^2 w_{omax}} \cdot \frac{1}{(\sin \psi_1)^{-5/3}} \\ Z_1 &= \frac{D \cdot a}{h_o^2 w_{omax}} \cdot \Delta\psi \cdot (\sin \psi_1)^{5/3} \end{aligned} \quad (6.14)$$

şeklinde hesap edilir. Burada,

$$\frac{D \cdot a}{h_o^2 w_{omax}} = K \quad (6.15)$$

konursa,

$$Z_1 = K \cdot \Delta\psi \cdot (\sin\psi_1)^{5/3} \quad (6.16)$$

elde edilir.

K boyutsuz bir sayı olup, hangi sınırlar arasında değiştiği ilerde ele alınacaktır. K'ya verilecek muhtelif değerlere göre Z'nin hesaplanması mümkündür.

Z belli olduktan sonra da bu değere tekabül eden bütün konsantrasyonlar bulunur.

Benzer şekilde 2. parça için,

$$Z_2 = K \cdot \Delta\psi \cdot (\sin\psi_2)^{5/3} \quad (6.17)$$

olur. Genel olarak,

$$\psi_{i+1} = \psi_i + \Delta\psi$$

için aynı tarzda devam edilirse, kürenin en alt noktasına kadar olan boyutsuz büyüklük

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n = \sum_{i=1}^n Z_i \quad (6.18)$$

$$Z = K \cdot \Delta\psi (\sin\psi_1)^{5/3} + K \cdot \Delta\psi (\sin\psi_2)^{5/3} + \dots + K \Delta\psi (\sin\psi_n)^{5/3}$$

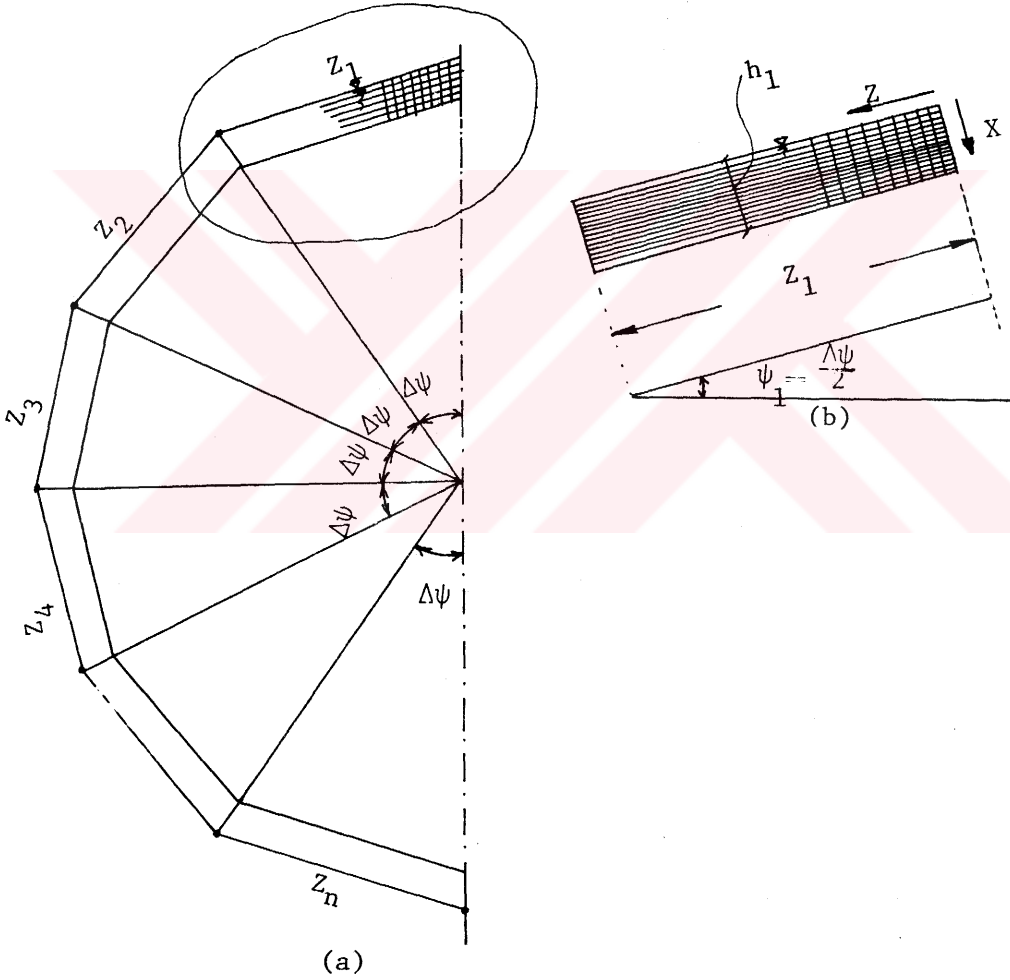
$$Z = K \cdot \Delta\psi [(\sin\psi_1)^{5/3} + (\sin\psi_2)^{5/3} + \dots + (\sin\psi_n)^{5/3}]$$

(6.19)

olur veya genel olarak,

$$Z = K \cdot \Delta\psi \cdot \sum_{i=1}^n (\sin\psi_i)^{5/3} \quad (6.20)$$

şeklinde ifade edilebilir.



Şekil 6.4. (a) Akım Dilimleri, (b) Bir Akım Dilimi

Yahut kısaca,

$$\sum_{i=1}^n (\sin \psi_i)^{5/3} = R$$

ile gösterilecek olursa,

$$Z = K \cdot \Delta\psi \cdot R \quad (6.21)$$

elde edilir. $\Delta\psi$ 'nin çok küçük alınması, gerekli hesap işlemlerini artırır. Bu yüzden uygun $\Delta\psi$ seçilmelidir.

6.3. En Uygun $\Delta\psi$ Merkez Açısının Tayini

$\Delta\psi$ 'ye sırasıyla,

$$1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 15^\circ \text{ ve } 20^\circ \quad (6.22)$$

değerleri verilmiş olsun. (6.21) deki $\Delta\psi \cdot R$ terimini her merkez açısı için ayrı ayrı hesaplıyalım.

$\Delta\psi = 1^\circ$ alınacak olursa,

$$R = \sum_{i=1}^{n=180} (\sin \psi_i)^{5/3} = (\sin 0.5)^{5/3} + (\sin 1.5)^{5/3} + \dots + (\sin 179.5)^{5/3} \quad (6.23)$$

$$R = 96.4069632 \quad (6.24)$$

elde edilir.

$$\Delta\psi = 1^\circ \text{ nin radyan olarak karşılığı,} \\ \Delta\psi = \frac{1}{360} \cdot 2\pi = 0.017453293 \quad (6.25)$$

olmaktadır. Buna göre 1° için,

$$\Delta\psi.R = 1.68261893 \quad (6.26)$$

olur. $\Delta\psi$ 'nin (6.22) deki diğer değerleri için yukardaki hesaplar tekrarlanacak olursa Tablo 6.1 elde edilir.

Tablo 6.1. $\Delta\psi$ Merkez Açılarının Mukayesesi

$\Delta\psi$ (Derece)	Parça sayısı (n)	$\Delta\psi$ (Radyan)	$R = \sum_{i=1}^n (\sin\psi_i)^{5/3}$	$\Delta\psi.R$
1°	180	0.017453293	56.4069632	1.68261893
2°	90	0.0344906568	48.20354216	1.68262109
3°	60	0.052359879	32.13579042	1.682626098
4°	45	0.069813172	24.10196746	1.68263480
5°	36	0.087266465	19.28172577	1.682648047
* 10°	18	0.17453293	9.641769613	1.682806301
12°	15	0.261799388	6.429250128	1.683173948
15°	12	0.34906585	4.823786443	1.683819117
20°	9	0.523598776	3.220404379	1.68619979

* Optimum $\Delta\psi$ değeri

Tablo 6.1'in tetkikinden $\Delta\psi = 10^\circ$ den daha küçük bir merkez açısı alarak küreyi daha fazla dilimlere ayırmanın neticeye önemli bir tesiri olmadığı görülmektedir.

Virgülden sonra 4 hanelik bir hassasiyet yeterli görülerek, hesaplarda küre 18 dilime ayrılmış ve $\Delta\psi = 10^0$ kabul edilmiştir.

$\Delta\psi$ açısını çok küçük seçerek küreyi çok sayıda dilime ayırmanın $\Delta\psi.R$ terimini değiştirmedeği yapılan kompüter programlarından anlaşılmıştır. Ek.8 olarak sunulan programda $\Delta\psi = 0.01^0$ seçilerek küre yüzeyindeki sıvı 18000 dilime ayrılmıştır. Programın icrası sonunda $\Delta\psi.R \approx 1.6826$ elde edilmiştir. Bundan da anlaşıyor ki, bu terimin değeri $\Delta\psi$ nin küçülen değerlerinde sabit kalıyor, büyüyen değerlerinde artıyor.

6.4. (5.8) nolu Sınır Şartının Küre Modeli İçin Yeniden Yazılması

Daha evvel eğik düzlem modeli için yazılan sınır şartlarının gözden geçirilerek küre modeline uygulanabilir hale getirilmesi gerekmektedir.

Küre yüzeyindeki sıvı akımı eğik düzlem dilimlerine ayrılmış ve her dilime eğik düzlem modeli için tertibedilen dispersiyon denklemi aşağıda yapılan bazı yeni kabullerin sınır şartlarına ithali sonunda uygulanmıştır. Şöyle ki :

Dispersiyon denkleminin (5.8) nolu sınır şartında h sıvı kalınlığı yerine bu defa h_1 değişen sıvı kalınlığı gelmektedir. h_1 (6.12) deki bağıntıdan da görüleceği gibi ψ açısı ile değişmektedir.

Küre modeli için yapılan yeni kabullere göre,

$$X = \frac{x}{h_o}, \quad K = \frac{D \cdot a}{h_o w_{o\max}}, \quad \eta = \frac{k_s}{D} h_o$$

olmaktadır. Bu durumda (5.8) nolu sınır şartı değişecektir. Diğer sınır şartları aynı kaldığından burada sadece (5.8) nolu sınır şartının yeni şekli yazılacaktır.

$$X=1 \quad \text{ için } \quad a) \quad \frac{\partial C}{\partial X} = - \frac{k_s}{D} \cdot h_i C$$

(6.12) deki h_i değeri yukarda yerine konulacak olursa,

$$\frac{\partial C}{\partial X} = - \frac{k_s}{D} \cdot h_o (\sin \psi_i)^{-2/3} C$$

veya sonlu farklar formunda yazılınca,

$$\frac{C(I+1,J)-C(I,J)}{\Delta X} = -\eta (\sin \psi)^{-2/3} C(I,J) \quad (6.27)$$

elde edilir.

6.5. Çözümde Uygulanan Kompüter Programı, İcrası ve Elde Edilen Sonuçlar

Bilindiği üzere, dispersiyon denklemi önce sonlu farklar denklem sistemleri tarzında yazılmaktadır. Bölüm V de eğik düzlem modeli için gerçekleştirilen çözümler burada, $n = 18$ eğik düzlem dilimine bölünmüş kürenin her bir dilimi için ayrı ayrı icra edilecektir (Şekil 6.4). Bu maksatla hazırlanan kompüter programında Bölüm V deki prensipler gözönünde tutularak önce 1.dilim, ΔZ aralıklı düşey ve ΔX aralıklı yatay çizgilerle sınırlanan küçük elemanlara ayrılmıştır. Birinci dilimin çözümü gerçekleştirildikten sonra, ikinci dilimin giriş düzlemi ile birinci dilimin çıkış düzlemi aynı olduğundan, birinci dilimin çıkış sütunundaki boyutsuz konsantrasyon değerleri ikinci dilimin girişine başlangıç bilgileri olarak verilmiş; diğer sınır şartları bi-

rinci dilimle aynı kalacak tarzda bu dilimin de çözümü icra edilmiştir. İkinci dilimin son sütunu olarak elde edilen boyutsuz konsantrasyon değerleri üçüncü dilime başlangıç bilgisi olarak verilerek, üçüncü dilimin çözümü ve benzer prensipler uygulanarak 18 nci dilim için de çözüm gerçekleştirilmiştir. Son dilimin son sütununda nokta nokta elde edilen boyutsuz konsantrasyon değerlerinin Bölüm V de uygulanan trapez kaidesi yolu ile hesaplanan ortalama değeri söz konusu küre için tek değer olarak biyolojik verimi teşkil etmiştir.

Bölüm V de stabilite analizi yapılırken, 4 hal için stabil çözümler elde edilebileceği gerek hesap yolu ile gerekse grafik yolla bulunmuştur. Ancak, Tablo (5.1) deki 3 nolu hal en optimum ΔX ve ΔZ değer çifti olarak kabul edilerek eğik düzlem modelinde bu değer çiftleri kullanılmıştı. Burada ise Tablo (5.1) de 4. satırdaki $\Delta X=0.025$ ve $\Delta Z=0.000025$ değer çiftleri çözümü gerçekleştirmek üzere başlangıç bilgileri olarak kullanılmıştır. Bu yola aşağıdaki nedenle başvurulmuştur.

Eğik düzlem dilimlerinin hesabına başlarken, her dilimin Z_i boyutsuz büyüklüğünün bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu ise (6.16) denkleminde görüldüğü şekilde her dilime ait eğim açısı ile $\Delta\psi$ merkez açısının bilinmesi halinde hesap edilir. K'nın verilen değeri de gözönünde tutulacak olursa, her dilim için Z_i kolayca bulunur. i diliminin NZ düşey tabaka sayısı :

$$NZ_i = \frac{Z_i}{\Delta Z} \quad (6.28)$$

olarak hesaplanır. Ancak, küre yüzeyindeki sıvı akımı dik-dörtgen kesitli eğik düzlem dilimlerine ayrıldığı için çok büyük ΔZ sonlu değerlerinin seçilmesi halinde hata oranı artmaktadır. Hem stabil çözüm verilmesi hem de Tablo (5.1) deki 4 değer çiftinden en küçüğü olması sebebi ile, 4. satırdaki ΔX ve ΔZ sonlu büyüklükleri çözüm için uygun mütalâa edilmiştir. Ayrıca, küreye ait 18 dilimden Z_1 boyutsuz boyuna mesafesi en az olan 1. ve 18. dilimlerin hesap işlemlerinde görünebilmesini temin etmek maksadıyla da hiç olmazsa ΔZ sonlu büyüklüğünü, $\Delta Z = Z_1 - Z_{18}$ olacak şekilde seçilmesine dikkat edildi. Bu şartı da en iyi yerine getiren değer çifti Tablo 5.1 deki 4 nolu ΔX ve ΔZ olmaktadır.

18 eğik düzlem diliminden teşekkül eden ve değişik fiziksel karakterlere sahip küreler, K 'nın 0.001 den başlamak üzere muhtelif değerlerine göre çözülmüştür.

Çözümlerde elde edilen ortalama konsantrasyonlar Tablo 6.2 de verilmiştir. Tablo 6.2 deki değerlerle Şekil (6.6) ve (6.7) deki diyagramlar çizilmiştir. Tablo 6.2 deki değerleri veren bilgisayar programı Ek.5 olarak sunulmuştur.

Ayrıca, Ek.6 ve Ek.7 olarak tezin sonuna alınan bilgisayar programları icra edilerek elde edilen konsantrasyonlar Tablo (6.3) ve (6.4) de verilmiş, bu değerler göz önünde tutularak küre üzerindeki akışkanın küreye teçet doğrultudaki konsantrasyon profilleri Şekil (6.8) ve (6.9) de çizilmiştir. Ek.6 daki program $\eta = 100$, $K = 0.1$ ve $\Delta\psi = 10^\circ$, Ek.7 ise tabanda konsantrasyonun sıfır olması halinde, $K = 0.1$, $\Delta\psi = 10^\circ$ için icra edilmişlerdir.

Tablo 6.2.Kürenin Eğik Düzlemler Şeklinde Mütalâa Edilmesi
Halinde, η ve K'nın Muhtelif Değerleri İçin Küre
Tabanındaki Ortalama Boyutsuz Konsantrasyon

$K \backslash \eta$	100	10	1	0.1	0.01
0.001	0.98136	0.98166	0.98420	0.99350	0.99896
0.002	0.96791	0.96828	0.97164	0.98665	0.99781
0.003	0.95767	0.95180	0.96201	0.98091	0.99677
0.004	0.94819	0.94866	0.95302	0.97529	0.99570
0.005	0.93978	0.94029	0.94498	0.97002	0.99465
0.006	0.93173	0.93226	0.93727	0.96485	0.99358
0.007	0.92392	0.92449	0.92977	0.95968	0.99247
0.008	0.91693	0.91752	0.92305	0.95503	0.99146
0.009	0.90994	0.91055	0.91627	0.95010	0.99033
0.010	0.90332	0.90395	0.90988	0.94549	0.98927
0.011	0.89675	0.89740	0.90352	0.94087	0.98819
0.012	0.89075	0.89142	0.89774	0.93670	0.98722
0.013	0.88510	0.88578	0.89226	0.93265	0.98624
0.014	0.87925	0.87995	0.88658	0.92841	0.98520
0.015	0.87371	0.87443	0.88121	0.92439	0.98420
0.016	0.86830	0.86903	0.87596	0.92046	0.98329
0.017	0.86276	0.86351	0.87057	0.91631	0.98215
0.018	0.85758	0.85833	0.86553	0.91247	0.98116
0.019	0.85234	0.85311	0.86044	0.90860	0.98017
0.020	0.84719	0.84797	0.85543	0.90472	0.97915
0.021	0.84213	0.84293	0.85501	0.90092	0.97814
0.022	0.87731	0.83811	0.84580	0.89726	0.97716
0.023	0.83241	0.83323	0.84104	0.89357	0.97618
0.024	0.82759	0.82841	0.83633	0.8890	0.97518
0.025	0.82297	0.82381	0.83183	0.88634	0.97420

Tablo 6.2.'nin devamı

η K	100	10	1	0.1	0.01
0.026	0.81814	0.81899	0.82709	0.88248	0.97309
0.027	0.81392	0.81478	0.82298	0.87927	0.97221
0.028	0.80921	0.81008	0.81838	0.87561	0.97118
0.029	0.80921	0.81008	0.81838	0.87561	0.97118
0.030	0.80457	0.80544	0.81384	0.87199	0.97015
0.031	0.80037	0.80125	0.80974	0.86873	0.96923
0.032	0.079596	0.79685	0.80543	0.86531	0.96826
0.033	0.70172	0.79262	0.80129	0.86197	0.96729
0.034	0.78740	0.78831	0.79707	0.85858	0.96631
0.035	0.78313	0.78405	0.79288	0.85515	0.96528
0.036	0.77890	0.77985	0.78874	0.85179	0.96428
0.037	0.77471	0.77565	0.78464	0.84848	0.96331
0.038	0.77069	0.77163	0.78070	0.84527	0.96235
0.039	0.76658	0.76753	0.77668	0.84203	0.96140
0.040	0.76274	0.76370	0.77293	0.83898	0.96049
0.041	0.75859	0.75955	0.76886	0.83565	0.95948
0.042	0.75459	0.75556	0.76494	0.83248	0.95850
0.043	0.75073	0.75171	0.76115	0.82928	0.95751
0.044	0.74680	0.74778	0.75729	0.82612	0.95654
0.045	0.74290	0.74389	0.75347	0.82296	0.95556
0.046	0.73902	0.74002	0.74967	0.81984	0.95460
0.047	0.73518	0.73619	0.74591	0.81676	0.95366
0.048	0.73148	0.73249	0.74228	0.81376	0.95272
0.049	0.72781	0.72883	0.73868	0.81078	0.95178
0.050	0.72043	0.72147	0.73144	0.80479	0.94990

Tablo 6.2.'nin devamı

η K	100	10	1	0.1	0.01
0.051	0.71673	0.71777	0.72780	0.80170	0.94888
0.052	0.71305	0.71410	0.72419	0.79868	0.94791
0.053	0.70940	0.71045	0.72061	0.79572	0.94698
0.054	0.70799	0.70705	0.71726	0.71726	0.94608
0.055	0.70228	0.70334	0.71362	0.78987	0.94509
0.056	0.69871	0.69977	0.71010	0.78693	0.94414
0.057	0.69536	0.69643	0.70682	0.78421	0.94327
0.058	0.69172	0.69280	0.70325	0.78120	0.94229
0.059	0.68811	0.68919	0.69969	0.77812	0.94122
0.060	0.68473	0.68582	0.69636	0.77534	0.94032
0.061	0.68137	0.68246	0.69306	0.77257	0.93941
0.062	0.67792	0.67902	0.68968	0.76971	0.93847
0.063	0.67450	0.67561	0.68631	0.76688	0.93753
0.064	0.67140	0.67251	0.68327	0.76432	0.93669
0.065	0.66792	0.66903	0.67984	0.76141	0.93571
0.066	0.66466	0.66577	0.67663	0.75869	0.93480
0.067	0.66112	0.66224	0.67314	0.75566	0.93372
0.068	0.65809	0.65922	0.67017	0.75316	0.93290
0.069	0.65479	0.65592	0.66692	0.75039	0.93196
0.070	0.65141	0.65254	0.66359	0.74755	0.93099
0.071	0.64824	0.64938	0.66047	0.74489	0.93008
0.072	0.64499	0.64614	0.65728	0.74218	0.92917
0.073	0.64176	0.64291	0.65410	0.73947	0.92823
0.074	0.63874	0.63990	0.65112	0.73692	0.92736
0.075	0.63546	0.63662	0.64789	0.73414	0.92640

Tablo 6.2.'nin devamı

$\kappa \backslash \eta$	100	10	1	0.1	0.01
0.076	0.63228	0.63344	0.64475	0.73141	0.92541
0.077	0.62922	0.63038	0.64173	0.72883	0.92452
0.078	0.62608	0.62725	0.63864	0.72616	0.92358
0.079	0.62296	0.62413	0.63557	0.72353	0.92268
0.080	0.61994	0.62112	0.63259	0.72097	0.92178
0.081	0.61703	0.61822	0.62973	0.71849	0.92090
0.082	0.61387	0.61506	0.62661	0.71580	0.91995
0.083	0.61099	0.61218	0.62378	0.71337	0.91911
0.084	0.60777	0.60897	0.62059	0.71055	0.91805
0.085	0.60475	0.60595	0.61761	0.70797	0.91713
0.086	0.60192	0.60312	0.61482	0.70555	0.91627
0.087	0.59893	0.60013	0.61187	0.70301	0.91537
0.088	0.59595	0.59716	0.60893	0.70044	0.91444
0.089	0.59299	0.59420	0.60601	0.69791	0.91353
0.090	0.59005	0.59126	0.60310	0.69537	0.91262
0.091	0.58720	0.58842	0.60030	0.69294	0.91175
0.092	0.58420	0.58542	0.59733	0.69030	0.91074
0.093	0.58130	0.58253	0.59446	0.68779	0.90982
0.094	0.57850	0.57973	0.59170	0.68539	0.90896
0.095	0.57580	0.57703	0.58903	0.68305	0.90810
0.096	0.57295	0.57418	0.58621	0.68057	0.90718
0.097	0.57002	0.57126	0.58332	0.67803	0.90624
0.098	0.56753	0.56877	0.58086	0.67590	0.90548
0.099	0.56463	0.56587	0.57800	0.67337	0.90454
0.100	0.56183	0.56308	0.57523	0.67093	0.90362

Tablo 6.3.Kürenin Eğik Düzlemler Şeklinde Mütalâa Edilmesi Hâlinde $\Delta\psi=10^\circ$,
 $\psi=100$ ve $K=0.1$ için Konsantrasyon Değerleri

Dilim No.	NZ	ψ	X	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	C_{ORT}
1	11	5		1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0.99997	0.00018	0.99421
2	73	15		1.00000	1.00000	1.00000	0.99973	0.87200	0.00054	0.97570
3	166	25		1.00000	1.00000	0.99979	0.97394	0.67125	0.00050	0.94950
4	276	35		1.00000	0.99984	0.99177	0.89307	0.53637	0.00048	0.91733
5	391	45		0.99965	0.99649	0.96075	0.79863	0.44756	0.00045	0.88077
6	500	55		0.99563	0.98315	0.91166	0.71507	0.38627	0.00043	0.84131
7	592	65		0.98177	0.95772	0.85732	0.64697	0.34222	0.00040	0.80043
8	658	75		0.95597	0.92319	0.80530	0.59272	0.30958	0.00038	0.75959
9	693	85		0.92141	0.88385	0.75818	0.54940	0.28475	0.00036	0.72022
10	693	95		0.88317	0.84376	0.71658	0.51445	0.26541	0.00033	0.68366
11	658	105		0.84572	0.80614	0.68072	0.48610	0.25011	0.00031	0.65108
12	592	115		0.81212	0.77311	0.65075	0.46329	0.23801	0.00028	0.62329
13	500	125		0.78420	0.74601	0.62681	0.44549	0.22867	0.00025	0.60083
14	391	135		0.76279	0.72536	0.60885	0.44331	0.22179	0.00022	0.58387
15	276	145		0.74794	0.71108	0.59654	0.42335	0.21712	0.00019	0.57220
16	166	155		0.73912	0.70261	0.68927	0.41808	0.21438	0.00015	0.56529
17	73	165		0.73527	0.69892	0.58611	0.41579	0.21319	0.00011	0.56229
18	11	175		0.73469	0.69836	0.58563	0.41545	0.21301	0.00005	0.56183

Tablo 6.4. Kürenin Eğik Düzlemler Şeklinde Mütalâa Edilmesi Halinde
Tabanda Konsantrasyonun Sıfır Olması Şartı ve $\Delta\psi=10^\circ$,
K = 0.1 için Konsantrasyon Değerleri

DİLİM No.	NZ	ψ \ X	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	C ORT
1	11	5	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0.99997	0.00000	0.99421
2	73	15	1.00000	1.00000	1.00000	0.99973	0.87190	0.00000	0.97569
3	166	25	1.00000	1.00000	0.99979	0.97399	0.67105	0.00000	0.94947
4	276	35	1.00000	0.99985	0.99177	0.89300	0.53611	0.00000	0.91728
5	391	45	0.99965	0.99648	0.96073	0.79852	0.44728	0.00000	0.88071
6	500	55	0.99563	0.98314	0.91161	0.71493	0.38598	0.00000	0.84124
7	592	65	0.98176	0.95770	0.85725	0.64680	0.34193	0.00000	0.80033
8	658	75	0.95595	0.92715	0.80521	0.59254	0.30930	0.00000	0.75949
9	693	85	0.92137	0.88379	0.75807	0.54921	0.28447	0.00000	0.72010
10	693	95	0.88311	0.84369	0.71646	0.51426	0.26514	0.00000	0.68354
11	658	105	0.84565	0.80605	0.68059	0.48591	0.24986	0.00000	0.65094
12	592	115	0.81203	0.77302	0.65061	0.46310	0.23777	0.00000	0.62315
13	500	125	0.78411	0.74590	0.62667	0.44531	0.22844	0.00000	0.60068
14	391	135	0.76269	0.72524	0.60870	0.43213	0.22158	0.00000	0.58372
15	276	145	0.74784	0.71096	0.59639	0.42317	0.21693	0.00000	0.57206
16	166	155	0.73901	0.70250	0.58913	0.41791	0.21420	0.00000	0.56515
17	73	165	0.73516	0.69880	0.58596	0.41562	0.21302	0.00000	0.56215
18	11	175	0.73458	0.69825	0.58549	0.41528	0.21284	0.00000	0.56170

Tablo (6.3) ve (6.4) yardımı ile küre merkezi istikametindeki konsantrasyon profilleri Şekil (6.10) ve (6.11) de verilmiştir.

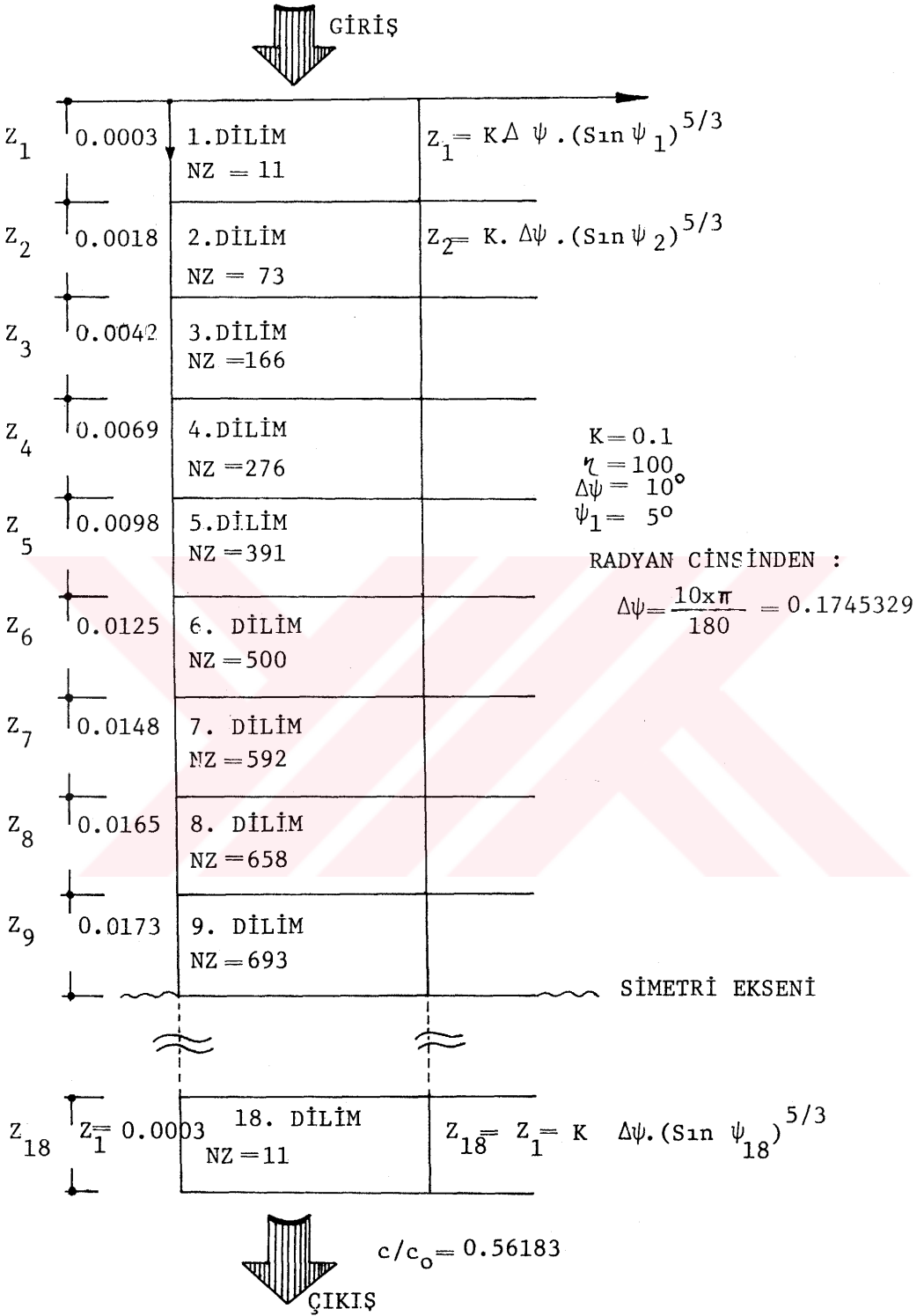
Ek.9 olarak verilen program 36 dilimli ($\Delta\psi = 5^\circ$) bir kürede $K = 0.1$ ve $\eta = 100$ alınması hali için hazırlanmış olup, icrası sonunda elde edilen konsantrasyon değerleri Tablo (6.5) de takdim edilmiştir. Küre merkezi doğrultusunda Tablo (6.5) deki değerler gözönünde tutularak çizilen konsantrasyon profili Şekil (6.12) olarak verilmiştir.

Tablo (6.3),(6.4) ve (6.5) yardımı ile ortalama konsantrasyonlar Şekil (6.13) de mukayese edilmiş ve her üç eğrinin çakıştığı gözlenmiştir.

Aynı fiziksel parametrelere sahip ($K = 0.1$) bir küreyi $\Delta\psi = 5^\circ$ olarak 36 eğik düzlem dilimine ayırdığımızda, kürenin en alt noktasında elde edilecek ortalama konsantrasyon o küre için biyolojik verimi ifade eder. Taban-da konsantrasyon sıfır iken bu değer 0.56170, $\eta = 100$ iken aynı noktada 0.56183 elde edilmiştir. Küreyi 18 eğik düzlem parçasına böldüğümüzde, aynı $K = 0.1$ için elde edilen boyutsuz ortalama konsantrasyon değeri 0.56216 olmuştur. Bu üç değer de birbirine yakın çıkması üzerinde durulacak bir husus olarak kaydedilmiştir.

6.5.1. Şekil (6.5) in İzahı

Şekil (6.5) de çizilen şema $K = 0.1$, $\eta = 100$ ve $\Delta\psi = 10^\circ$ için 18 dilimli bir küre üzerindeki akımı karakterize etmektedir. $\Delta X = 0.025$ ve $\Delta Z = 0.000025$ değer çiftleri çözümünde kulla-



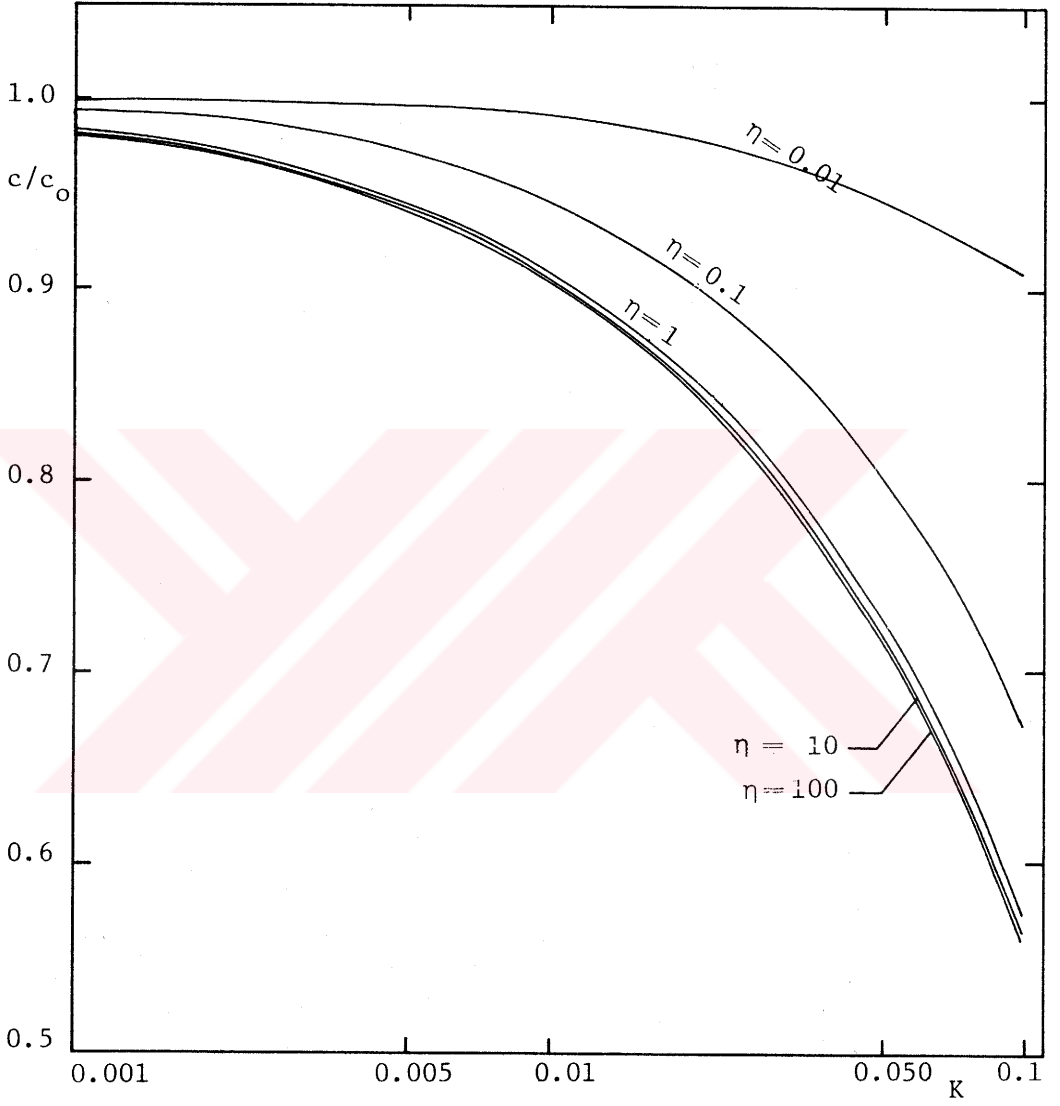
Şekil 6.5.18 Dilimli Bir Küre İçin Hesaplanan Değerler

Tablo 6.5. Kürenin Eşik Düzlemler Şeklinde Mütalâa Edilmesi Halinde $\Delta\psi = 5^\circ$
 $\eta = 100, K = 0.1$ İçin Konsantrasyon Değerleri

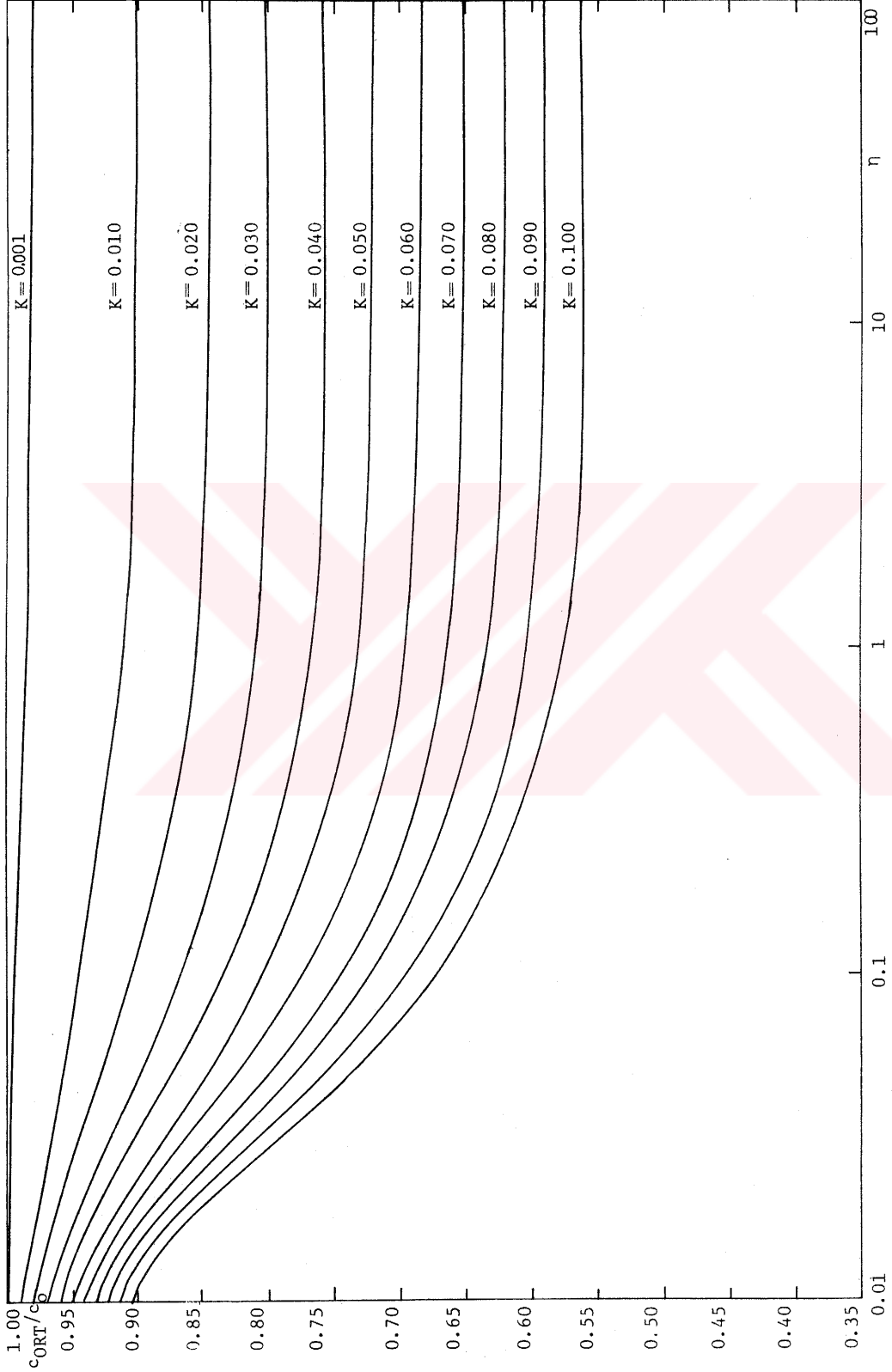
Dilim No.	NZ	$\frac{X}{\psi}$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	C_{ORT}
1	1	2.5	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0.99984
2	11	7.5	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0.99992	0.00110	0.99408
3	27	12.5	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0.96717	0.00050	0.98563
4	47	17.5	1.00000	1.00000	1.00000	0.99969	0.86817	0.00059	0.97531
5	70	22.5	1.00000	1.00000	1.00000	0.99401	0.76134	0.00056	0.96313
6	96	27.5	1.00000	1.00000	0.99978	0.97341	0.66974	0.00053	0.94923
7	123	32.5	1.00000	0.99999	0.99794	0.93762	0.59584	0.00051	0.93390
8	152	37.5	1.00000	0.99984	0.99172	0.89279	0.53604	0.00050	0.91722
9	181	42.5	0.99995	0.99899	0.97925	0.84513	0.48744	0.00048	0.88943
10	210	47.5	0.99964	0.99647	0.96065	0.79843	0.44740	0.00046	0.88068
11	237	52.5	0.99849	0.99134	0.03751	0.75483	0.41416	0.00045	0.86125
12	262	57.5	0.99563	0.98315	0.91166	0.71507	0.38627	0.00044	0.84131
13	285	62.5	0.99024	0.97187	0.88461	0.67924	0.36260	0.00042	0.82102
14	305	67.5	0.98184	0.95782	0.85750	0.64716	0.34234	0.00041	0.80056
15	322	72.5	0.97035	0.94147	0.83099	0.61851	0.32487	0.00040	0.78008
16	335	77.5	0.95611	0.92336	0.80552	0.59294	0.30971	0.00038	0.75977
17	344	82.5	0.93963	0.90404	0.78129	0.57008	0.29648	0.00037	0.73982
18	348	87.5	0.92162	0.88408	0.75843	0.54962	0.28487	0.00036	0.72044

Tablo 6.5.in Devamı

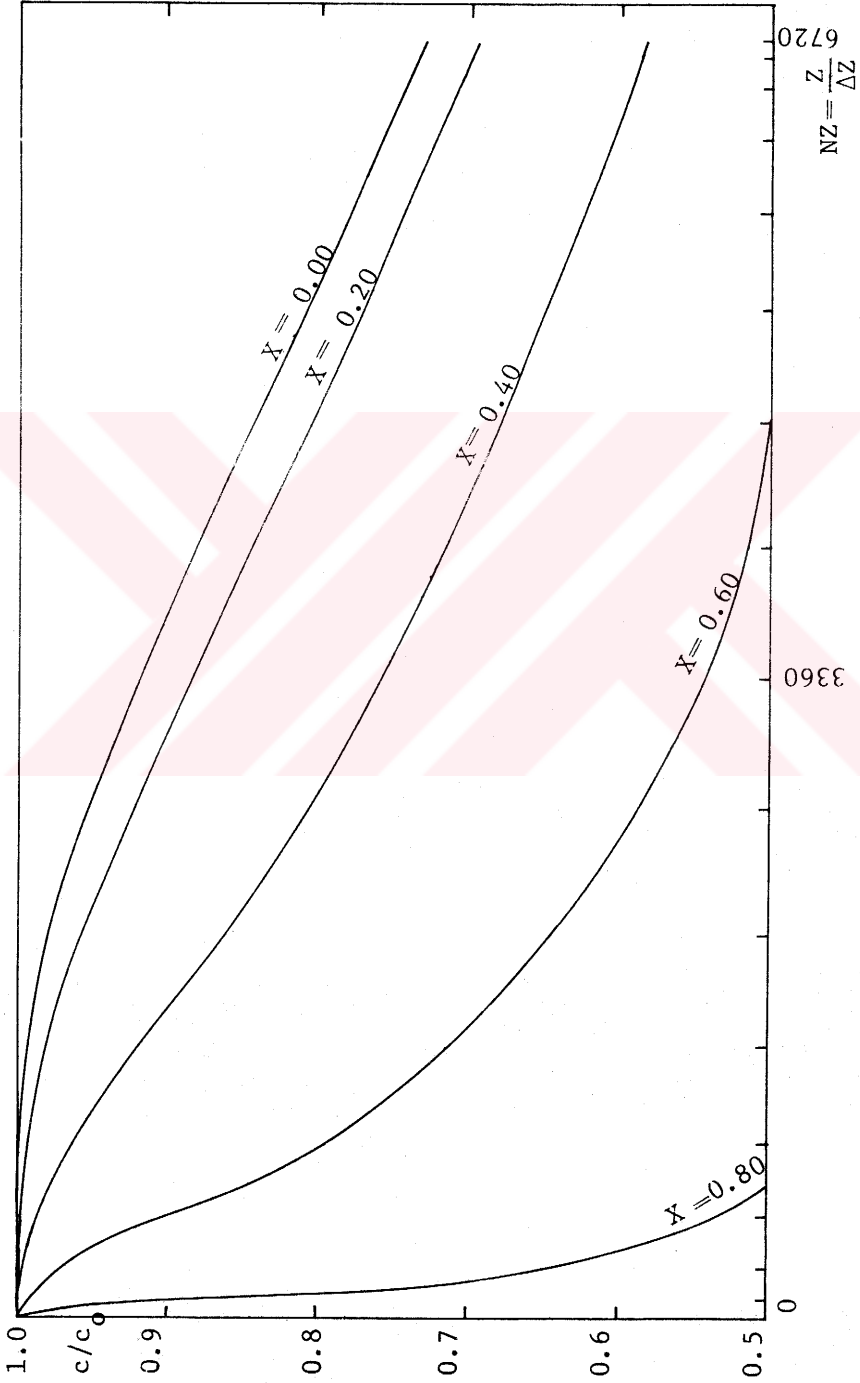
DİlİM No.	NZ	X ψ	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	C _{ORT}
19	348	92.5	0.90270	0.86395	0.73696	0.53125	0.27463	0.00034	0.70176
20	344	97.5	0.88345	0.84405	0.71687	0.51468	0.26553	0.00033	0.68392
21	335	102.5	0.86443	0.82479	0.69822	0.49976	0.25744	0.00032	0.66708
22	322	107.5	0.94606	0.80647	0.68104	0.48634	0.25024	0.00030	0.65137
23	305	112.5	0.82870	0.78934	0.66535	0.47431	0.24384	0.00029	0.63687
24	285	117.5	0.81257	0.77355	0.65114	0.46359	0.23817	0.00028	0.62365
25	262	122.5	0.79787	0.75925	0.63844	0.45410	0.23318	0.00026	0.61177
26	237	127.5	0.78470	0.74649	0.62723	0.44580	0.22883	0.00025	0.60122
27	210	132.5	0.77314	0.73533	0.61750	0.43864	0.22509	0.00023	0.59204
28	181	137.5	0.76328	0.72583	0.60926	0.43261	0.22194	0.00021	0.58425
29	152	142.5	0.75507	0.71793	0.60243	0.42764	0.21935	0.00020	0.57779
30	123	147.5	0.74848	0.71159	0.59698	0.42367	0.21729	0.00018	0.57262
31	96	152.5	0.74336	0.70668	0.59276	0.42061	0.21569	0.00016	0.56861
32	70	157.5	0.73965	0.70312	0.58971	0.41840	0.21454	0.00014	0.56571
33	47	162.5	0.73716	0.70074	0.58767	0.41692	0.21377	0.00012	0.56377
34	27	167.5	0.73574	0.69937	0.58650	0.41607	0.21333	0.00010	0.56266
35	11	172.5	0.73516	0.69882	0.58602	0.41573	0.21315	0.00007	0.56220
36	1	177.5	0.73511	0.69877	0.48598	0.41570	0.21314	0.00007	0.56216



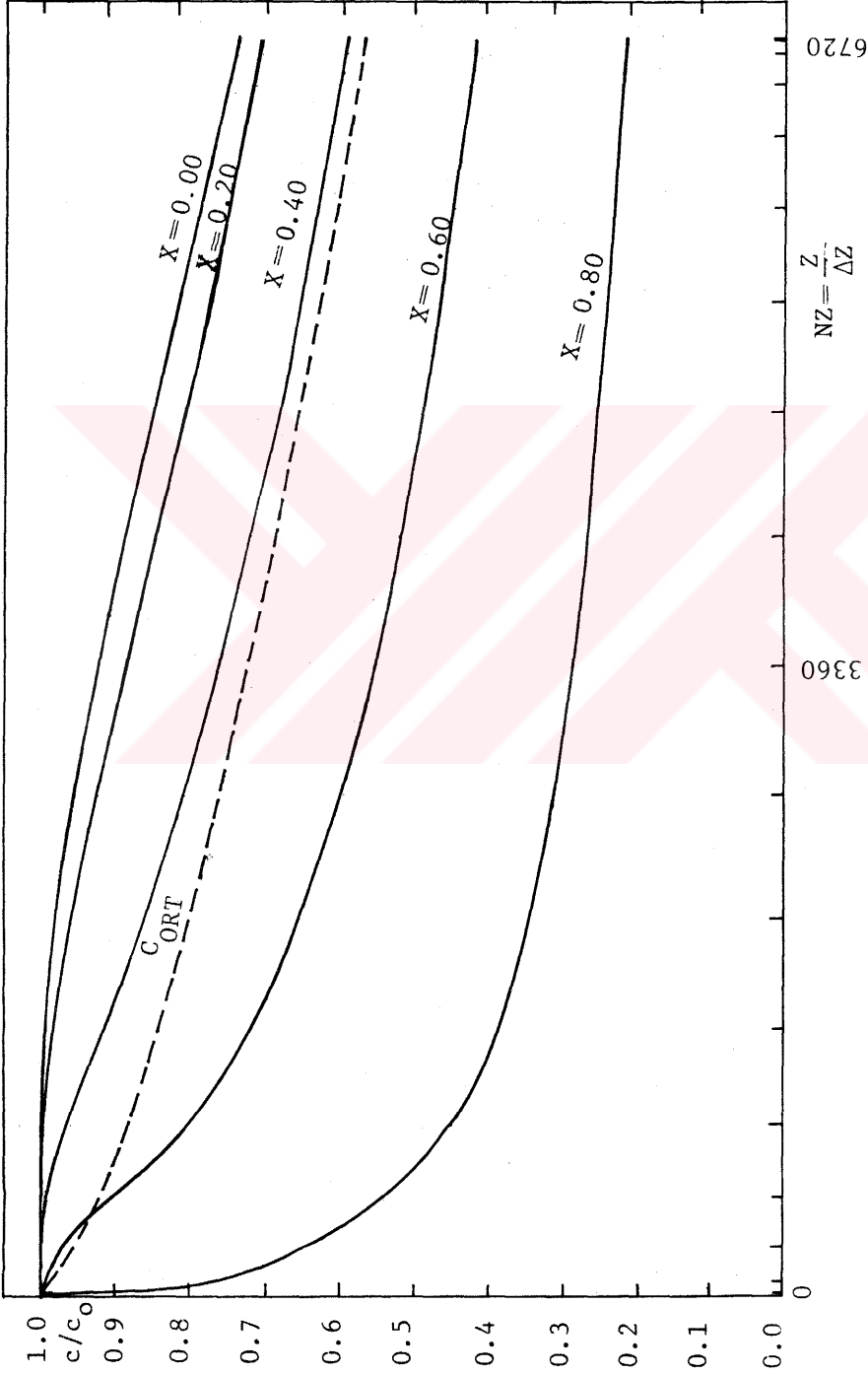
Şekil 6.6. Küre Modelinde Konsantrasyon Değerlerinin
K ve η 'ya Göre Değişimi



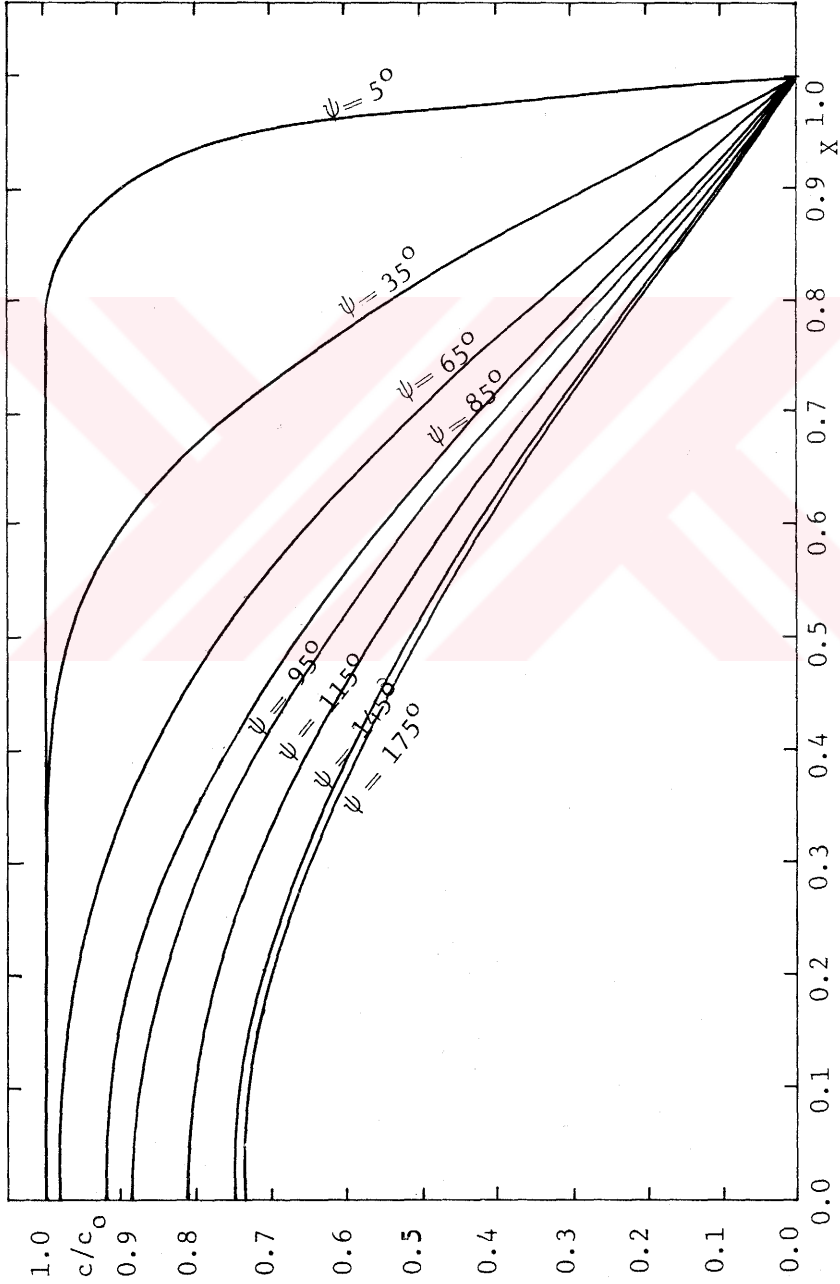
Şekil 6.7. η 'nin Fonksiyonu Olarak K 'nın Muhtelif Değerleri İçin Küre Yüzeyindeki Konsantrasyon Profilleri



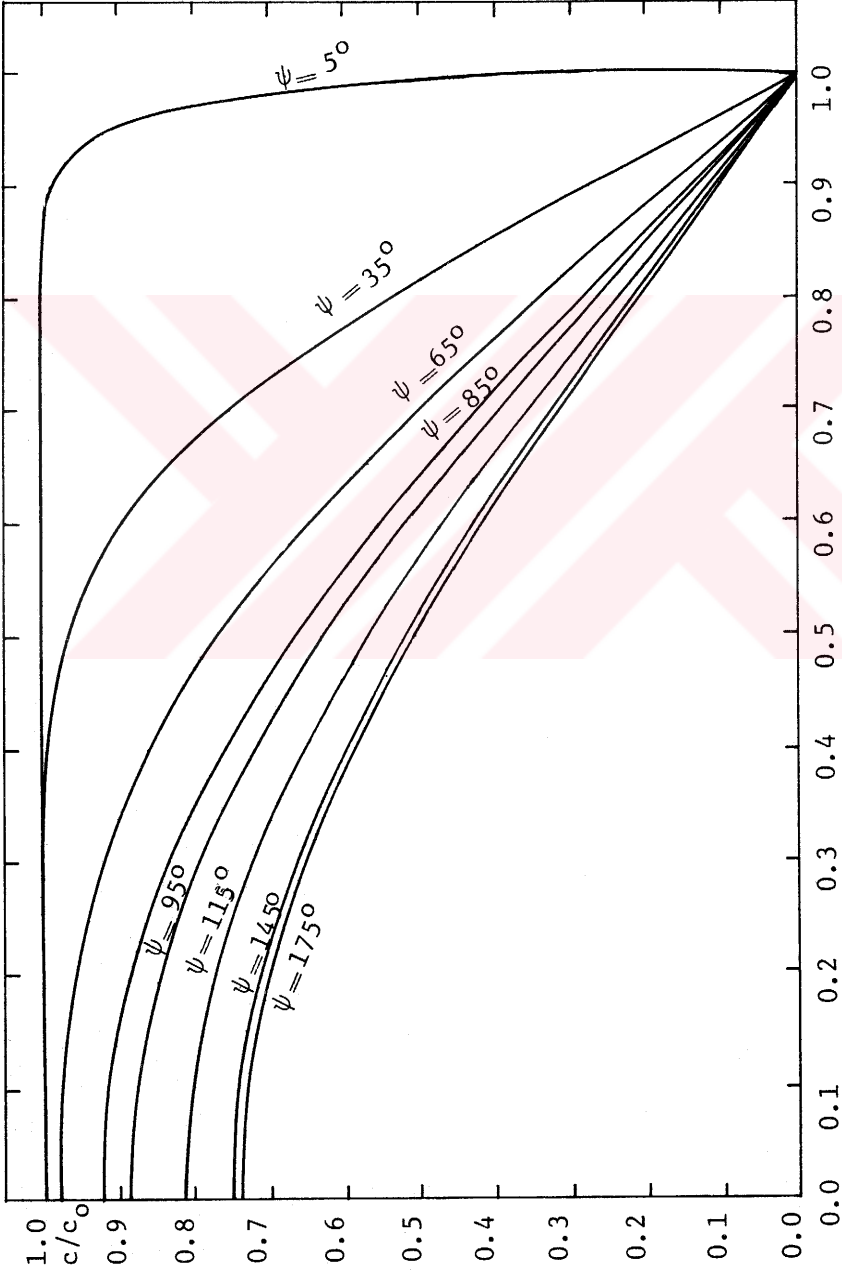
Şekil 6.8.18 Dilimli Bir Kürede $K=0.1$ ve $\eta=100$ Teçet İstikametindeki Konsantrasyon Profilleri



Şekil 6.9. 18 Dilimli Bir Kürenin $K=0.1$ İçin Tabanda Konsantrasyon Sıfır İken Teşet Doğrultusundaki Konsantrasyon Profilleri

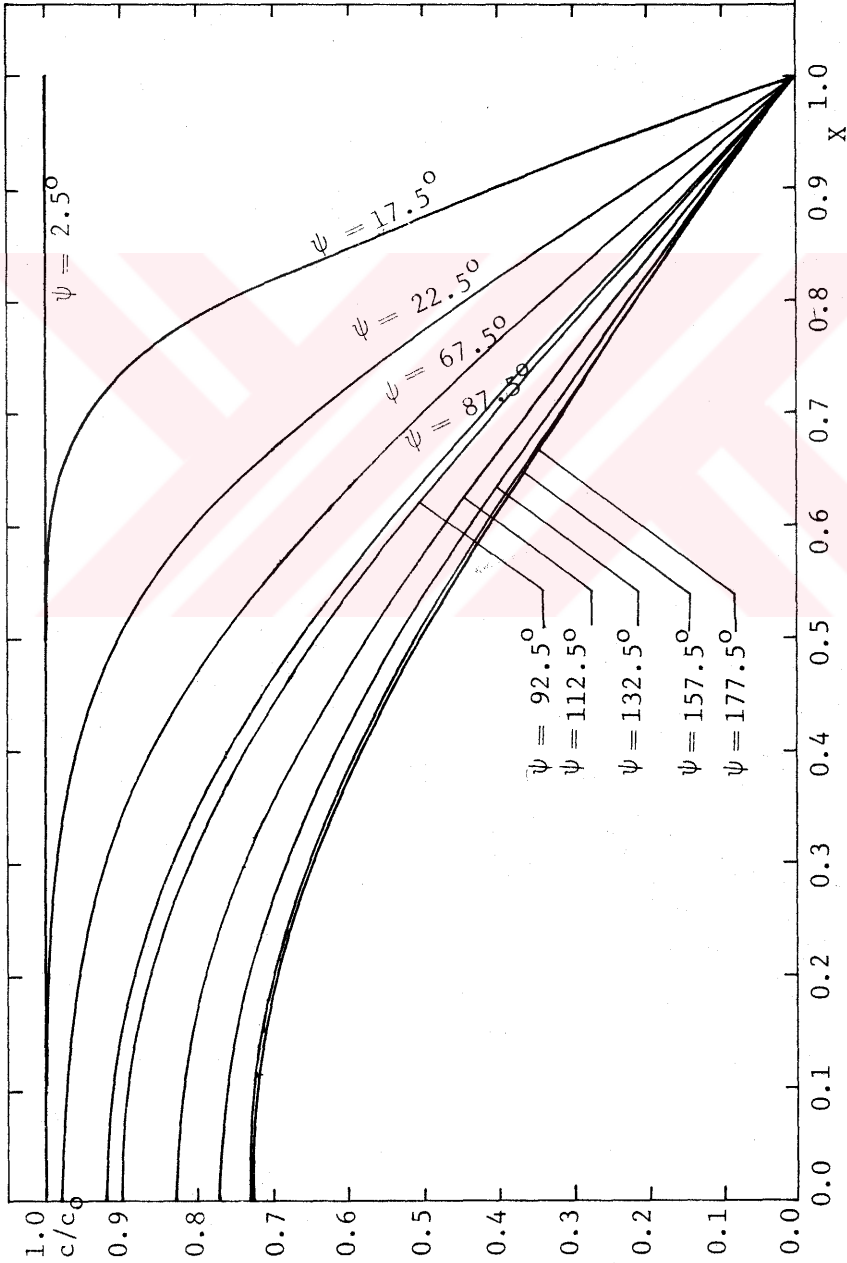


Şekil 610.K=0.1, $\eta = 100$ ve 18 Dilimli ($\Delta\psi = 10^\circ$) Bir Kürede Muhtelif ψ
Açılarında X Doğrultusundaki Konsantrasyon Profilleri

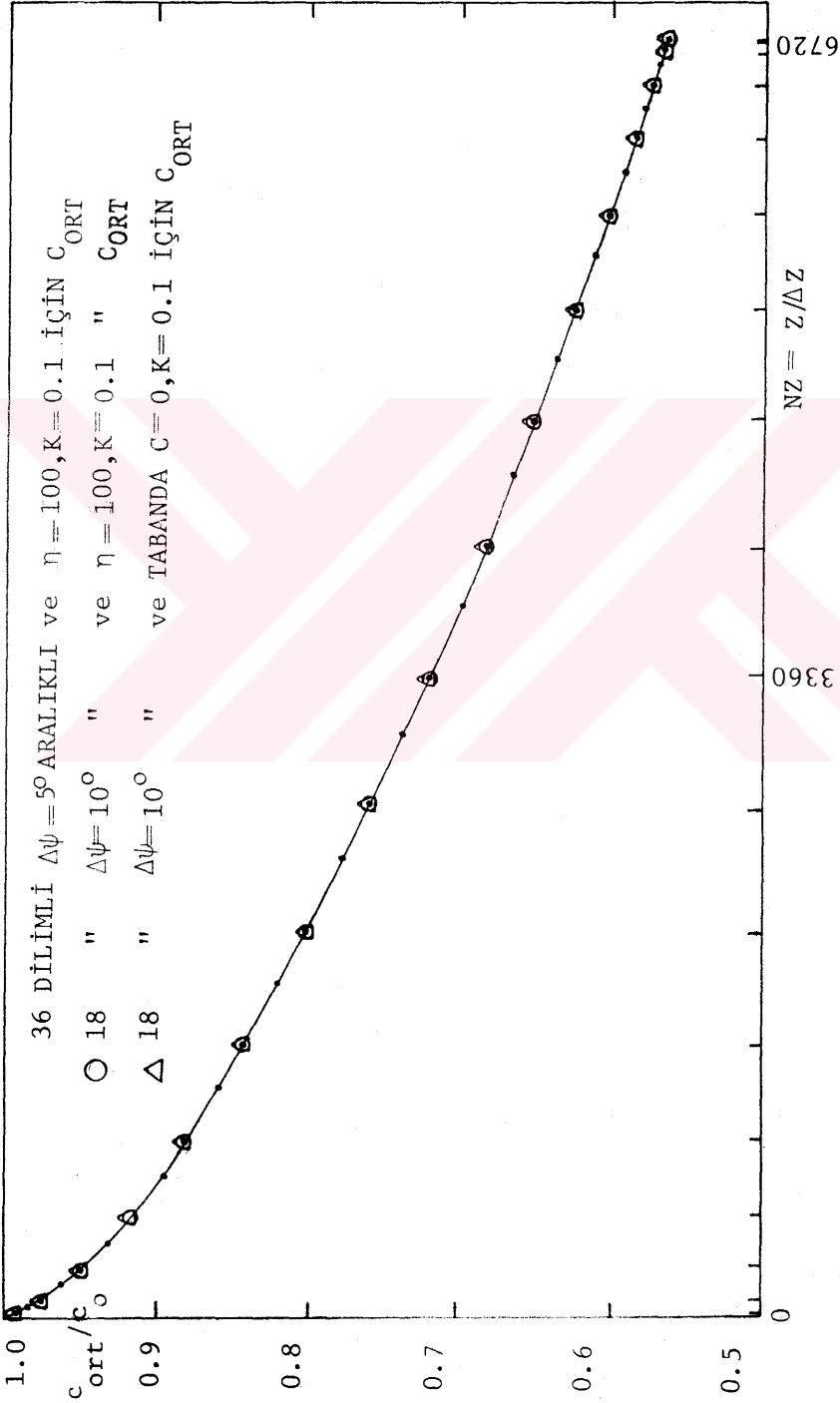


Şekil 6.11.18 Dilimli ($\Delta\psi = 10^\circ$) Bir Kürede $K=0.1$ ve $X=1$ de $c/c_0 = 0$

Olması halinde X Doğrultusundaki Konsantrasyon Profilleri



Şekil 6.12. $K=0.1$, $\eta=100$ ve 36 Dilimli ($\Delta\psi=5^\circ$) Bir Kürede Muhtelif ψ Açılarında X Doğrultusundaki Konsantrasyon Profilleri



Şekil 6.13. Farklı $\Delta\psi$ Açıkları İçin Ortalama Konsantrasyon Profilleri

nılan sonlu büyüklüklerdir. Z her dilime tekabül eden boyutsuz büyüklük, NZ ise beher dilimin eleman sayısı olup $NZ = Z/\Delta Z$ şeklinde hesaplanmaktadır.

Eğik düzlem dilimlerinin eğiminin sıfırdan farklı ve küçük değerinin $\Delta\psi/2$ seçilmesi Bölüm 6.2. de işaret edildiği üzere $\psi = 0$ daki süreksizliği ortadan kaldırmaktadır.

Şekil (6.5) deki şema incelenirse, eğik düzlem dilimleri Z büyüklükleri gözönünde tutulduğu takdirde, yatay eksene göre ($\psi = 90^\circ$ için) simetriklerdir. Yani,

$$\begin{aligned} NZ_1 &= NZ_{18} \\ NZ_2 &= NZ_{17} \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ NZ_9 &= NZ_{10} \end{aligned} \quad (6.29)$$

olmaktadır. Dolayısı ile kürenin tamamı için düşey aralık sayısı :

$$2 \times \sum_{i=1}^9 NZ_i \quad (6.30)$$

olacaktır.

Küre yüzeyine teğet istikamette yatay aralık sayısı ise, boyutsuz sıvı filmi kalınlığı 1 ve $\Delta X = 0.025$ olduğundan, $NX = \frac{1}{\Delta X} = \frac{1}{0.025} = 40$ olur. Nokta sayısı aralık sayısından bir fazla, yani 41 olur. O halde 18 eğik düzlem dilimine ayrılmış bir küre için yapılan çözüm adedi :

$$41 \times 2 \sum_{i=1}^9 NZ_i \quad (6.31)$$

olmaktadır. Şekil (6.5) den :

$$2 \sum_{i=1}^9 NZ_i = 6720 \quad (6.32)$$

çıkar. 0 halde, (6.32), (6.31) deki yerine konursa, bir küre için $41 \times 6720 = 275520$ nokta için çözüm gerçekleştirilmiş olur. 6720 adet kesitsel ortalama hesaplandığına göre, toplam olarak bilgisayar,

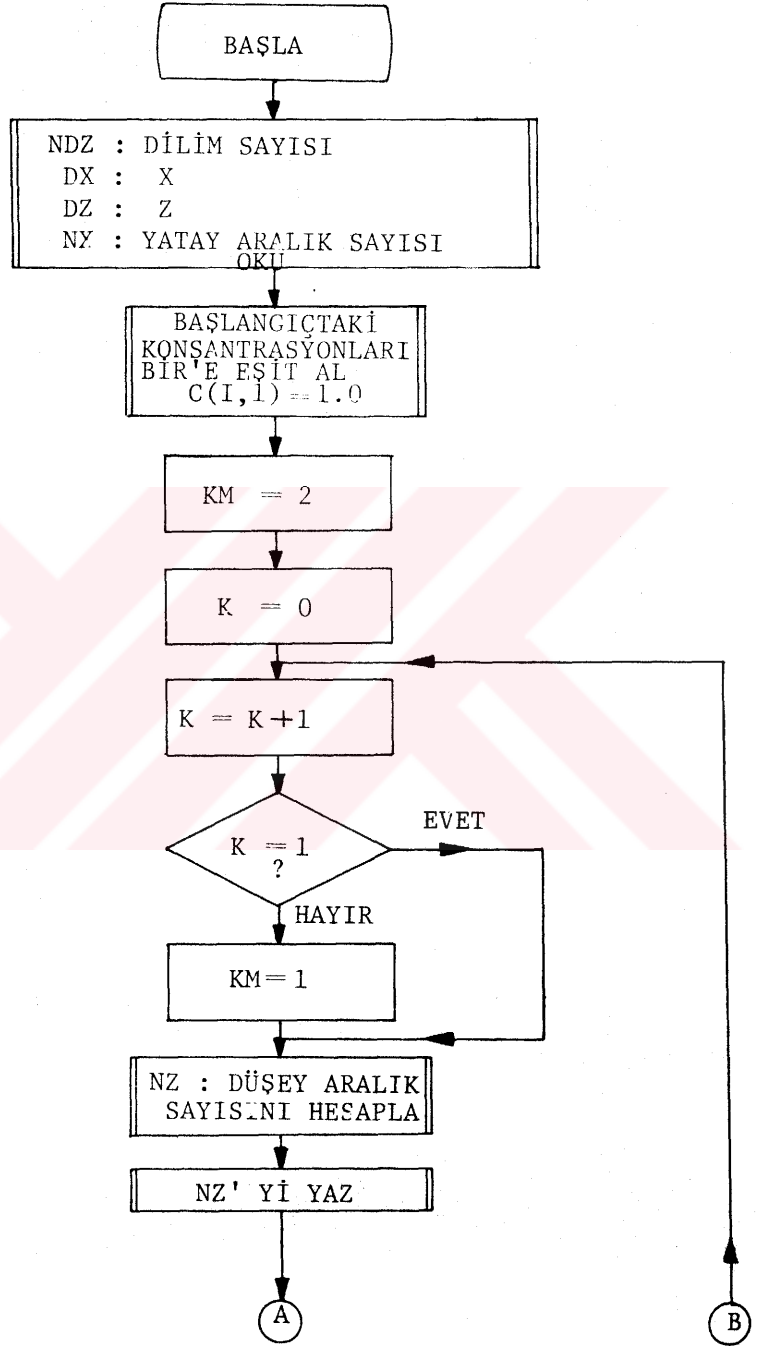
$$275520 + 6720 = 232240 \quad (6.33)$$

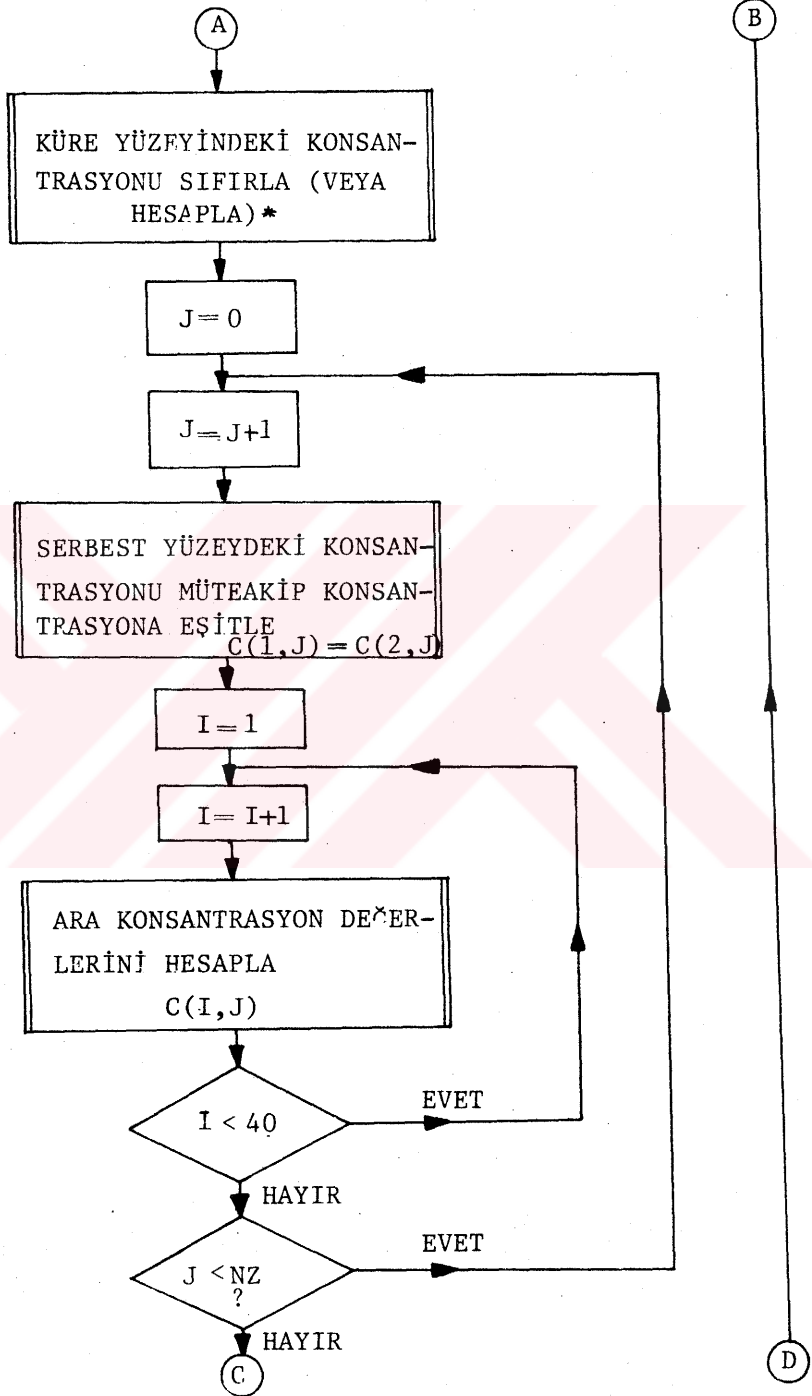
çözüm vermektedir.

Kesitsel ortalamalar, gerek eğik düzlemlerin çözümünde, gerekse küre modelinde trapez kaidesi uyarınca hesap edilmiş olup, gerçeğe çok yakın değerler elde edilmiştir.

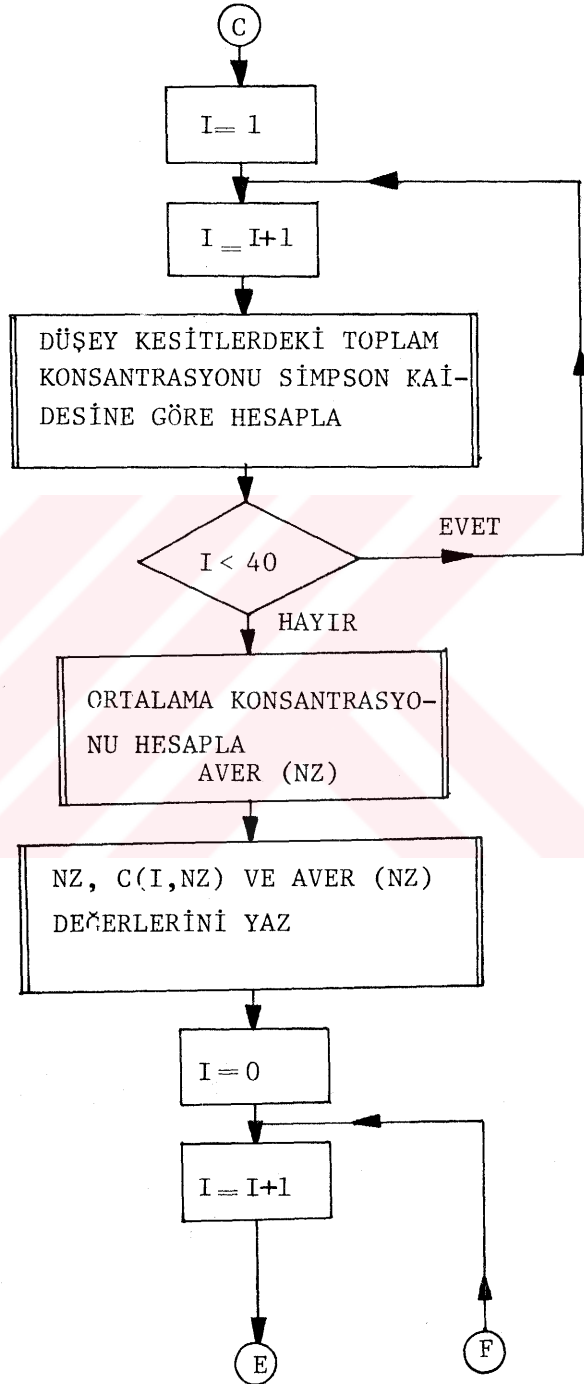
6.5.2. Bilgisayar Programının Akış Diyagramı

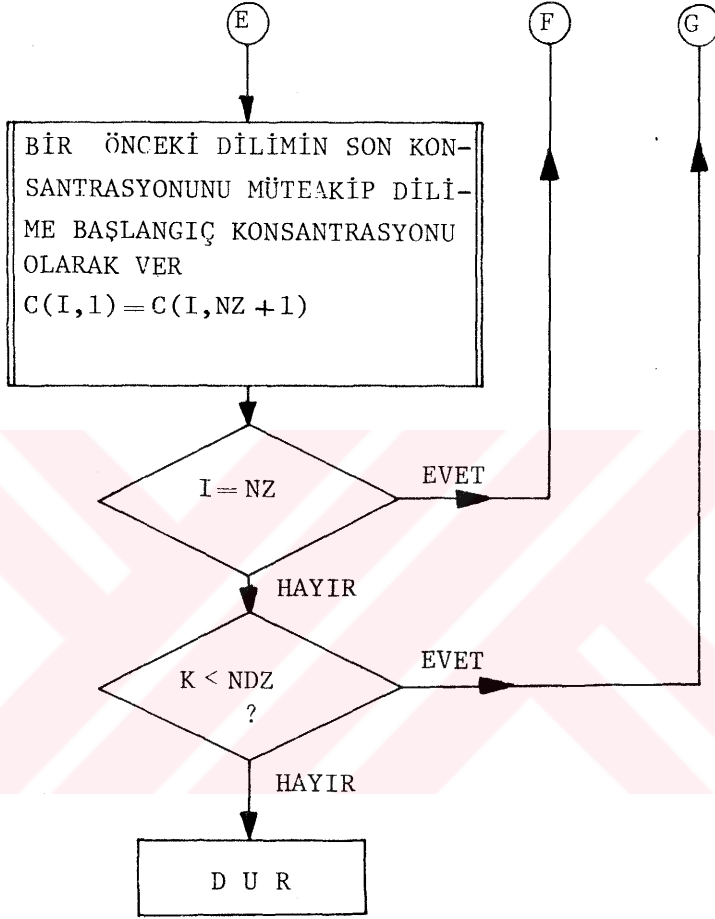
Nümerik yolla bilgisayarlarla yapılan çözümleri daha iyi anlayabilmek için, bilgisayar programlarının akış diyagramları verilir. Böylece problemi daha iyi kavramak mümkün olur. Burada da çözümü istenen dispersiyon denkleminin, Bölüm V de ele alınan eğik düzlem modelini de ihtiva ettiği düşünülerek, Ek.6 olarak sunulan programın Şekil (6.14) de akış diyagramı verilmiştir.





* Küre Yüzeyindeki Konsantrasyonun Sıfır Olma Hali





Şekil 6.14. Ek 6 daki Programın Akış Diyagramı

6.5.3. K Parametresinin Değişim Bölgesi

Bilindiği gibi, küreye fiziksel karakter kazandıran K parametresi (6.15) bağıntısı ile tarif edilmiştir. Buna göre ; K'yı belirleyen ana parametreler D difüzyon katsayısı, a küre yarıçapı, h_0 90° deki sıvı kalınlığı ve w_{0max} 90° deki max. sıvı hızı olmaktadır. K aynı zamanda boyutsuz bir sayı olmaktadır. K maksimum ve minimum bölgelerde sınır değerler almaktadır.

6.5.3.1. K'nın Maksimum Değeri

K'nın maksimum değerini (6.21) bağıntısını aşağıda görülen tarzda yazarak elde etmek mümkündür.

$$K = \frac{Z}{\Delta\psi.R} \quad (6.34)$$

(6.34) de paydayı teşkil eden $\Delta\psi.R$ teriminin alabildiği en küçük değer 1.682619 olmaktadır. Z'nin ise en büyük değeri kürenin yarı çevresi, yani π dir. O halde, K'nın en büyük değeri Z'nin en büyük ve $\Delta\psi.R$ teriminin en küçük değerine tekabül etmektedir. Yerlerine konursa,

$$K = \frac{\pi}{1.682619} = 1.867 \quad (6.35)$$

elde edilir. Böylece K'nın alabileceği en büyük değer 1.867 olması gerektiği anlaşılmış olur.

6.5.3.2. K'nın Minimum Sınırları

K parametresinin minimum değeri, ΔZ değerinin seçimi ile birlikte değişir. $Z_i = K \cdot \Delta\psi \cdot (\sin\psi_i)^{5/3}$ teriminde $\Delta\psi \cdot (\sin\psi_i)^{5/3}$ sabit ve 1.6826 kabul edildiğine göre,

$$K = \frac{Z_i}{1.6826} \quad (6.36)$$

olmaktadır. K , Z_i nin alabileceği en küçük değer için minimum olur. Z_i nin ise alabileceği en küçük değer her seferinde seçilen ΔZ_i sonlu büyüklüğüne eşit olacaktır.

$$K = \frac{\Delta Z_i}{1.6826} \quad (6.37)$$

K'nın minimum sınırını teşkil etmektedir. Ancak bu sınırlandırmaların küre için ve seçilen ΔZ sonlu büyüklüğüne göre yapıldığı unutulmamalıdır. Şu halde küre için K :

$$1.867 < K < \frac{Z}{1.6826} \quad (6.38)$$

sınırları arasında değişecektir.

BÖLÜM VII

TEORİNİN DENEY SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

7.1. Giriş

Bölüm VI da geliştirilen besi maddesi aynı şartlarda tatbik edildiği, çıkarılan bağıntılara ve yapılan kabulere uygun bir deney sonucu ile karşılaştırılarak değerlendirilecektir [47] . Bu tip deneylerde özelliği kontrol altında tutulabilen glükoz eriyiği gibi bir besi maddesi, kullanılmış su yerine tatbik edilmektedir. Nitekim bu deneyde de glükoz kullanılmıştır.

7.2. Deneyin Yapıldığı Şartlar ve Deney Teçhizatı

Deneyisel çalışmanın yapıldığı filtre modeli, kübik dizilişe sahip 3.81 cm çaplı plâstik kürelerle doldurulmuştur. Filtre kolonunun dışına, mikroorganizmalar tarafından organik maddenin ayrıştırılmasında kullanılmak üzere içi oksijenle dolu silindirik bir parça yerleştirilmiştir. Filtre kolonu kolayca sökülüp takılabilen müstakil parçalardan teşkil edilmiştir. Sıcaklığı bir değişken olmaktan çıkarmak için sistemin tamamı 20°C de tutulmuştur. Sistem; glükoz eriyiğini depo eden bir tank, akım ölçer, sabit hızda bir pompa

akımın kesintisiz devamını temin eden sabit seviye kabı, karışım tankı, filtre dolgu malzemesini tutan 7 silindirik bölme, bu bölmeleri dışardan çevreleyen ve içinde sıkıştırılmış hava bulunan iki silindirik oluk, termometre, diğer kullanılacak çözeltileri bulunduran tanklardan meydana gelmiştir.

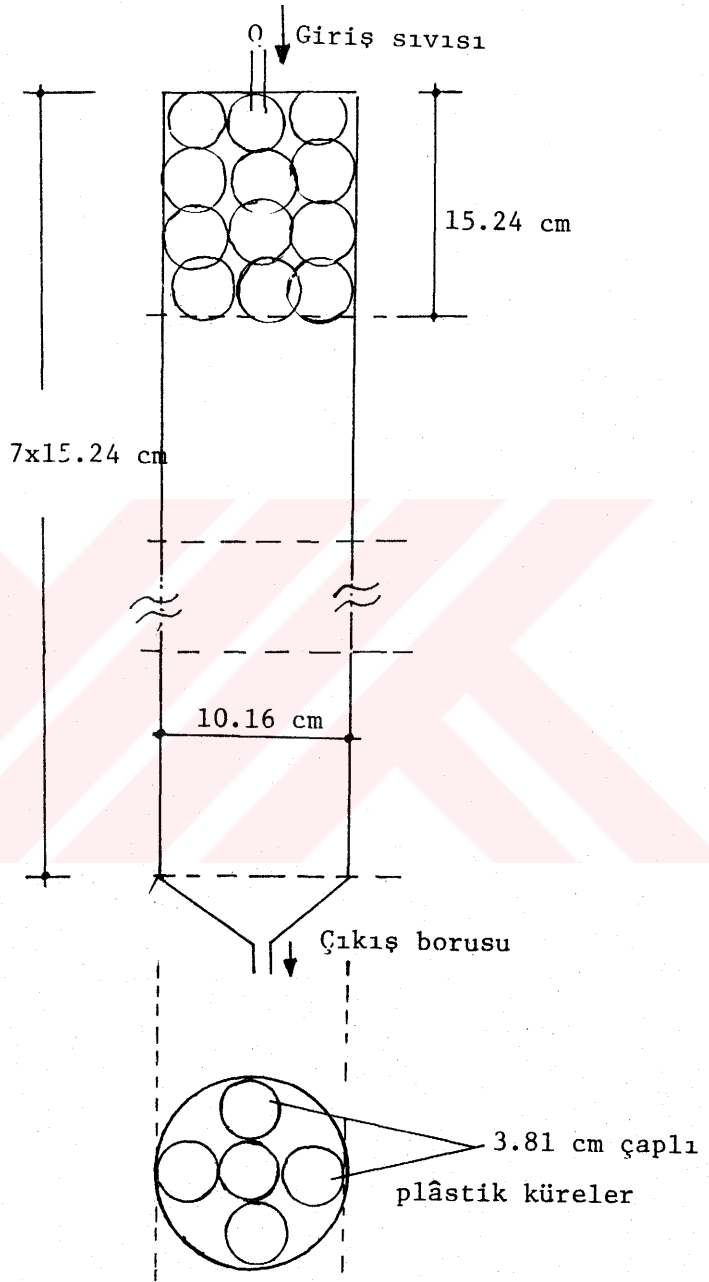
Farklı giderilme hızlarından kurtulmak için bu deneyde karbon kaynağı olarak sadece glükoz seçilmiştir. Çalışılan akım debileri $1.09 \text{ cm}^3/\text{sn}$ ile $2.12 \text{ cm}^3/\text{sn}$ arasında değişmiş, sentetik olarak hazırlanan giriş sıvısı, evsel kullanılmış suların tesfiye edildiği tesis çıkışındaki sıvı ile aşılanarak, biyofilm teşekkül edinceye kadar geridevrettirilmiştir. Oksijen tüketiminin zamanla değişimi hava ile doldurulmuş silindirik kaba bağlanmış olan bir oksijen ölçer yardımı ile tesbit edilmiştir. Tüketilen organik madde, dolayısıyla biyolojik verim, muhtelif Q debileri için, her bölmede harcanan çözünmüş oksijen cinsinden bu oksijen ölçer vasıtası ile okunmuştur.

Filtre kolonu Şekil (7.1) de görüldüğü gibi 7 bölmeden meydana gelmiştir. Her bölmeye kübik dizilişte 20 adet plâstik küre yerleştirilmiştir. Bir bölmedeki düşey dizide 4 küre bulunmaktadır.

Şekil (7.1) deki enine kesitten de anlaşılabacağı üzere filtre kolonunda 5 küre zinciri bulunmaktadır. $1.67 \text{ ml}/\text{sn}$ lik debi tatbik edilerek, elde edilen sonuçlar üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. Böyle olunca bir küre zincirine isabet eden debi,

$$Q = \frac{1.67}{5} = 0.334 \text{ ml}/\text{sn}. \quad (7.1)$$

olmaktadır.



Şekil 7.1. Filtre Kolonunun Boyuna ve Enine Kesitleri

7.3 . Yapılan Hesaplar

Literatürde küresel tanelerden meydana gelmiş bir yığında gerçek akım durumunu gözönünde tutarak konsantrasyon dağılımını veren bir teori mevcut olmadığından, Monadjemi ve Behn (1970) küresel yığının düzlemsel levhalardan meydana gelen bir sistem gibi hesaplamışlardır. Bunun için taneli malzeme yığınının özgül yüzey, A_v ve yüzeysel hidrolik yük, Q_A olduğuna göre, $q = Q_A / A_v$ formülüyle birim genişlik debisi hesaplanmıştır. Kübik dizilişli bir yığında,

$$A_v = \pi/2a \quad \text{ve} \quad Q_A = Q/4a^2$$

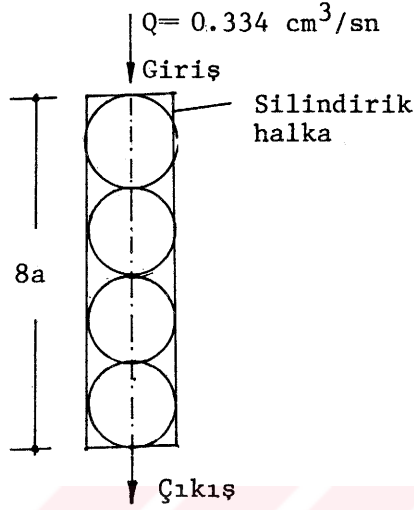
olduğundan $|50|$.

$$q = \frac{Q_A}{A_v} = \frac{Q}{4a^2} / \frac{\pi}{2a} = \frac{Q}{2a\pi} \quad (7.2)$$

olur. Burada Q ş bir küre zincirine isabet eden debiyi göstermektedir Şekil (7.2). Görüldüğü üzere bu tip bir yaklaşım, kübik dizilişli küre yığınının silindir halkaları şekline dönüştürerek hesaplamak demektir ve gerçeğe uymamaktadır. Nitekim, Monadjemi ve Behn (1970) ;

$$q = \frac{Q}{2a} = \frac{0.334}{3.81 \times 3.14} = 0.0279 \text{ ml/sn.} \quad (7.3)$$

almışlardır ve düşey düzleme ait teoriyi kullanarak, $\frac{k_s}{D} = k = 40. \text{ cm}^{-1}$ bulmuşlardır. Kullanılan glükoz eriyiği için: $D = 0.694 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sn}$ alındığından, $k_s = 40 \times 0.694 \times 10^{-5} = 2.776 \times 10^{-4} \text{ cm/sn.}$ bulunmuştur.



Şekil 7.2. Bir Küre Zinciri

Aynı problemi Bölüm VI daki teori yardımı ile çözerek aşağıdaki farkı gösterelim.

Glükoz eriyiği için verilenler :

$$Q = 0.334 \text{ cm}^3/\text{sn}$$

$$a = 1.91 \text{ cm}$$

$$D = 0.694 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sn} \text{ (20}^\circ\text{C için)}$$

$$v = 0.0101 \text{ cm}^2/\text{sn}$$

$$g = 981 \text{ cm}/\text{sn}^2$$

Buna göre (6.15) yardımı ile,

$$K = \frac{D \cdot a}{h_o^2 w_{o\max}}$$

yazılabilir, (6.10) dan dolayı,

$$h_o = \sqrt[3]{\frac{3\nu}{2\pi g} \cdot \frac{Q}{a}}$$

olduğundan, verilen değerler yerine konursa,

$$h_o = \sqrt[3]{\frac{3 \times 0.0101 \times 0.334}{2 \times 3.14 \times 981 \times 1.91}}$$

$$h_o = 9.508 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

bulunur. (6.11) sebebiyle,

$$w_{o\max} = 0.655 \left(\frac{g}{\nu}\right)^{1/3} \left(\frac{Q}{a}\right)^{2/3}$$

yazılabilir. Keza burada da yukarda verilen değerler yerlerine konursa,

$$w_{o\max} = 0.655 \left(\frac{981}{0.0101}\right)^{1/3} \left(\frac{0.334}{1.91}\right)^{2/3}$$

$$w_{o\max} = 9.42 \text{ cm/sn}$$

elde edilir. $w_{o\max}$ ve h_o , yukarda verilenlerle birlikte K ifadesinde yerlerine konursa,

$$K = \frac{0.694 \times 10^{-5} \times 1.91}{(9.508 \times 10^{-3})^2 \times 9.42}$$

$$K = 0.015565 \approx 0.0156$$

bulunur. Şekil (7.3) deki diyagram deneylerden çıkan konsantrasyonların küre sayısı ile nasıl değiştiğini göstermektedir.

4 küre için burada c/c_o 0.8865 okunmaktadır. Bölüm VI da geliştirilen teoriye göre bir küreye isabet eden c/c_o değeri,

$$(c/c_o)^4 = 0.8865 \quad (7.4)$$

$$c/c_o = 0.97033$$

olmaktadır. $K=0.0156$ ve η 'nin muhtelif değerleri için bilgisayarla küre modeli çözülmüş ve Tablo (7.1) elde edilmiştir.

Tablo 7.1.

η	c/c_o	η	c/c_o
0.017	0.97430	0.022	0.96850
0.018	0.97309	0.023	0.96741
0.019	0.97190	0.024	0.96634
0.020	0.97074	0.025	0.96530
0.021	0.06961		

Tablo (7.1) deki 0.97074 ile 0.96961 arasında tatonman yapılacak olursa, $c/c_o = 0.97033$ değerine $\eta = 0.02038$ in isabet ettiği görülür. Bölüm VI daki küre modeline göre;

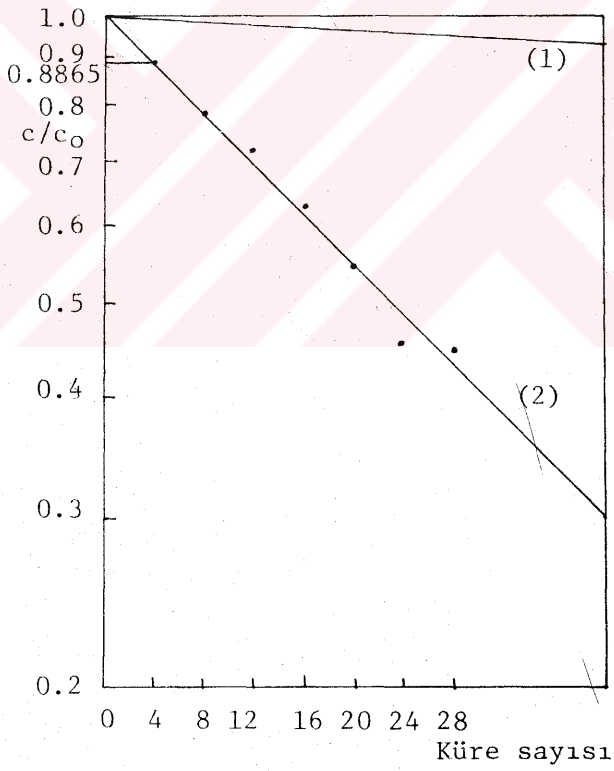
$$\eta = \frac{k_s}{D} \cdot h_o \quad (7.5)$$

olduğundan, (7.5) den k_s çekilerek hesaplanırsa,

$$k_s = \eta \cdot \frac{D}{h_o}$$
$$= 0.02038 \cdot \frac{0.69 \times 10^{-5}}{9.508 \times 10^{-3}}$$

$$k_s = 1.48756 \times 10^{-5}$$

bulunmuş olur.



Şekil 7.3. Deney Neticelerinin Küre Sayısı
İle Değişmesi

k_s besi maddesi ve biyofilm özelliğine bağlı bir katsayı olduğuna göre, düzlemsel veya küresel biyofilmler için aynı değere sahip olması gerekir. Hesap tarzının gerçeğe uygun olmaması sebebi ile taneli malzeme yığınının düzlemsel ortam şekline dönüştürerek hesap yapmak, aslından büyük k_s değerleri vermektedir.

Aynı bir k_s değeri alarak her iki halde bulunan konsantrasyon dağılımlarını birbiri ile karıştıralım.

Bölüm V deki düzlemsel biyofilm teorisine göre hesap yapılırsa,

$$Q = 1.67/5 \cdot 0.334 \text{ cm}^3/\text{sn}$$

$$q = \frac{Q}{2\pi a} = \frac{0.334}{3.81 \times 3.14} = 0.0279 \text{ cm}^3/\text{sn}$$

ve

$$h = \left(\frac{3\nu}{g} \cdot q \right)^{1/3} = \left(\frac{3 \times 0.0101}{981} \cdot 0.0279 \right)^{1/3}$$

$$h = 0.0095 \text{ cm}$$

$$w_{\max} = \frac{g}{2\nu} \cdot h^2$$

$$w_{\max} = \frac{981}{2 \times 0.0101} \cdot (0.0095)^2$$

$$w_{\max} = 4.427 \text{ cm/sn}$$

bulunur. Bir silindir halkasının boyu $4 \times 2a = 4 \times 3.81 = 15.24 \text{ cm}$. olduğundan,

$$Z = \frac{D \cdot z}{h^2 w_{\max}} = \frac{0.694 \times 10^{-5} \times 15.24}{(0.0095)^2 \times 4.427}$$

$$Z = 0.264$$

elde edilir. η değeri ise düzlemsel biyofilmler için,

$$\eta = \frac{k_s}{D} \cdot h$$

olduğundan,

$$\eta = \frac{1.48756 \times 10^{-5}}{0.694 \times 10^{-5}} \cdot (0.0095)$$

$$\eta = 0.02036285$$

bulunmuş olur. $Z = 0.264$ kesitinde $\eta = 0.02036285$ için ortalama boyutsuz konsantrasyon, Bölüm V de düzlemsel biyofilmler için hazırlanan bilgisayar programları yardımı ile aşağıdaki değer bulunmuştur.

$$c/c_o = 0.993$$

Yukarıdaki değer 4 kürelik bir küre zincirinin en alt noktasındaki ortalama konsantrasyon olup $n = 4$ 'ün katları olarak küre sayısını verdiği takdirde, diğer bölmeler için düzlemsel modele göre $(\frac{c}{c_o})^n$ alınarak aşağıdaki tablo teşkil edilebilir.

Tablo 7.2. Düzlemsel Modele Göre $k_s = 1.48756 \times 10^{-5}$
Alınarak Elde Edilen Konsantrasyonlar

Küre sayısı (n)	4	8	12	16	20	24	28
$(c/c_o)^n$	0.993	0.986	0.979	0.972	0.965	0.959	0.952

Küre modeline göre hesap yapılacak olursa, daha evvel aynı k_s değeri için bir kürenin alt noktasında c/c_o 0.97033 bulunmuştu. Bu değer gözönünde tutularak aşağıdaki tablo, n küre sayısını vermek üzere $(c/c_o)^n$ alınarak teşkil edilebilir.

Tablo 7.3. Küre Modeline Göre $k_s = 1.48756 \times 10^{-5}$ için
Elde Edilen Konsantrasyonlar

Küre sayısı (n)	4	8	12	16	20	24	28
$(c/c_o)^n$	0.88650	0.78588	0.69668	0.61761	0.54751	0.48536	0.43027

Tablo (7.2) ve Tablo (7.3) deki değerler Şekil (7.3) deki diyagramda işaretlenecek olursa, (1) ve (2) ile gösterilen düzlem yüzey modeli ve küresel yüzey modeli için olmak üzere iki doğru elde edilir. Küresel yüzey modelinin, nokta nokta işaretlenen deney neticeleri ile ne kadar yaklaşık değerler verdiği şekilde açıkça görülmektedir.

S O N U Ç L A R

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özet halinde verilmiştir.

1. Son zamanlarda damlatmalı filtreler üzerine yapılan teorik ve deneysel çalışmalar gözden geçirilmiş ve en uygun filtre dolgusunun plâstik malzeme olduğu anlaşılmıştır.

2. Eğik düzlem modellenli biyolojikfilm reaktörlerin tasfiye kinetiğini veren diferansiyel denklem uygun başlangıç ve sınır şartları altında incelenmiş ve boyutsuz değişkenlerle nasıl ifade edileceği gösterilmiştir.

3. Eğik düzlem modellere ait, boyutsuz değişkenlerle ifade edilen diferansiyel denklem sonlu farklar metoduna göre stabilite şartını sağlayacak tarzda çözülmüş ve bu tarz bir çözümün analitik çözümlere nazaran daha anlaşılır olduğu ortaya konmuştur.

4. Küresel yüzeyler üzerinde oluşan akımın laminar rejimdeki durumu incelenmiş ve eğik düzlem modeli için hazırlanan matematik modelin küre yüzeyindeki böyle bir akıma nasıl tatbik edileceği gösterilmiştir.

5. Daha evvel eğik düzlem modellenli biyofilmler için hesaplanan katsayıların bu defa küre yüzeyli biyofilmler için hangi değerleri alacağını ayrıntılı olarak izah edilmiştir.

6. Küre yüzeyli biyofilmler için geliştirilen matematik modelin taneli filtrelerle uygulanabilir olduğu bir küre zinciri üzerinde anlatılmış ve biyolojik verim, sonlu farklar denklem sistemleri tarzında tertibedilen dispersiyon denkleminde ait bilgisayar programlarının icrası neticesinde elde edilmiştir.

7. Küre yüzeyli filtre malzemesinin fiziksel karakterlerini ifade eden $K = D \cdot a / h_o^2 \cdot w_{o_{max}}$ parametresinin değişim bölgesi incelenmiş, minimum ve maksimum sınırları belirtilmiştir.

8. Küre modeli çözülürken, küre yüzeyi üzerindeki akım merkezden $\Delta\psi$ açılarını gören eğik düzlem dilimlerine ayrılmış, en yaklaşık çözümü veren $\Delta\psi$ açısının ne olabileceği gösterilmiştir.

9. Küre yüzeyindeki akım $\Delta\psi = 5^\circ$ ve 10° alınarak, 36 ve 18 eğik düzlem dilimine ayrılmıştır. Bu halde yapılan hesaplar mukayese edilmiş, küre yüzeyindeki akımın 18 veya 36 dilime ayrılarak, hesap yapmanın neticeye etki etmediği görülmüştür.

10. Aynı şartlarda taneli filtreler üzerinde yapılan deneysel çalışma sonuçları küre modelinin verdiği neticelerle kıyaslanmış ve incelenen matematik modelin güvenilir olduğu anlaşılmıştır.

A large, stylized pink 'X' logo composed of multiple parallel diagonal lines, creating a sense of depth and movement. The 'X' is centered horizontally and vertically on the page.

E K L E R

```
C      EK 1
C      BU PROGRAM EGİK DÜZLEM MODELİNDE KONSAN-
C      TRASYONDAĞILIMINI  $\eta=1$  İÇİN VERİR
      DIMENSION C(21,1001),AVER(1001)
      NX=21
      NZ=1000
      DX=0.05
      DZ=0.0001
      SA=DZ/(DX*DX)
      B=1./1.05
      READ(5,9) (C(I,1),I=1,NX)
9      FORMAT(21F5.3)
      DO 3 J=1,NZ
      C(1,J)=C(2,J)
      DO 4 I=2,20
      NI1=I-1
      X=NI1*DX
      AC=SA/(1.0-X*X)
      A=AC*(C(1+1,J)-2.0*C(I,J)+C(I-1,J))
      C(I,J+1)=A+C(I,J)
4      CONTINUE
      C(21,J+1)=B*C(20,J+1)
3      CONTINUE
      DO 5 J=1,NZ
      S1=0.0
      S2=0.0
      C1=C(1,J)/2.0
      DO 6 I=2,20
      S1=S1+C(1,J)
      XI=I-1
      X=XI*DX
      S2=S2+C(I,J)*X*X
6      CONTINUE
      S=DX*(C1+S1-S2)
      AVER(J)=1.5*S
5      CONTINUE
      DO 8 J=1,NZ,240
8      WRITE(6,7) (C(I,J),I=1,21),AVER(J)
7      FORMAT(5X,21F5.3,2X,F5.3)
      STOP
      END
```

```
C   EK 2
C   BU PROGRAM EGİK DÜZLEM MODELİNDE KONSANTRAS-
C   YON DAĞILIMINI  $n=10$  İÇİN VERİR
      DIMENSION C(21,1001),AVER(1001)
      NX=21
      NZ=1000
      DX=0.05
      DZ=0.0001
      SA=DZ/(DX*DX)
      B=1./1.5
      READ(5,9)  (C(I,1),I=1,NX)
9     FORMAT(21F5.3)
      DO 3  J=1,NZ
      C(1,J)=C(2,J)
      DO 4  I=2,20
      NI1=I-1
      X=NI1*DX
      AC=SA/(1.0-X*X)
      A=AC*(C(I+1,J)-2.0*C(I,J)+C(I-1,J))
      C(I,J+1)=A+C(I,J)
4     CONTINUE
      C(21,J+1)=B*C(20,J+1)
3     CONTINUE
      DO 5  J=1,NZ
      S1=0.0
      S2=0.0
      C1=C(1,J)/2.0
      DO 6  I=2,20
      S1=S1+C(I,J)
      XI=I-1
      X=XI*DX
      S2=S2+C(I,J)*X*X
6     CONTINUE
      S=DX*(C1+S1-S2)
      AVER(J)=1.5*S
5     CONTINUE
      DO 8  J=1,NZ,240
8     WRITE(6,7) (C(I,J),I=1,21),AVER(J)
7     FORMAT(5X,21F5.3,2X,F5.3)
      STOP
      END
```

```
C   EK 3
C   BU PROGRAM EGİK DÜZLEM MODELİ İÇİN KONSAN-
C   TRSYON DAĞILIMINI  $\eta=100$  İÇİN ÇÖZER
      DIMENSION C(21,1001),AVER(1001)
      NX=21
      NZ=1000
      DX=0.05
      DZ=0.0001
      SA=DZ/(DX*DX)
      B=1./6.
      READ(5,9) (C(I,1),I=1,NX)
9    FORMAT(21F5.3)
      DO 3 J=1,NZ
      C(1,J)=C(2,J)
      DO 4 I=2,20
      NI1=I-1
      X=NI1*DX
      AC=SA/(1.0-X*X)
      A=AC*(C(I+1,J)-2.0*C(I,J)+C(I-1,J))
      C(I,J+1)=A+C(I,J)
4    CONTINUE
      C(21,J+1)=B*C(20,J+1)
3    CONTINUE
      DO 5 J=1,NZ
      S1=0.0
      S2=0.0
      C1=C(1,J)/2.0
      DO 6 I=2,20
      S1=S1+C(I,J)
      XI=I-1
      X=XI*DX
      S2=S2+C(I,J)*X*X
6    CONTINUE
      S=DX*(C1+S1-S2)
      AVER(J)=1.5*S
5    CONTINUE
      DO 8 J=1,NZ,240
8    WRITE(6,7) (C(I,J),I=1,21),AVER(J)
7    FORMAT(5X,21F5.3,2X,F5.3)
      STOP
      END
```

```
C   EK 4
C   BU PROGRAM EGİK DÜZLEM MODELİ İÇİN DISPERSİYON DENKLEMİNİ TABANDA SIFIR SARTINA GÖRE ÇÖZER
C   DIMENSION C(21,1001),AVER(1001)
      NX=21
      NZ=1000
      DX=0.05
      DZ=0.0001
      SA=DZ/(DX*DX)
      READ(5,9)  (C(I,1),I=1,NX)
9    FORMAT(21F5.3)
      DO 2  J=2,NZ
        C(21,J)=0.0
2    CONTINUE
      DO 3  J=1,NZ
        C(1,J)=C(2,J)
      DO 4  I=2,20
        NI=I-1
        X=NI*DX
        AC=SA/(1.0-X*X)
        A=AC*(C(I+1,J)-2.0*C(I,J)+C(I-1,J))
        C(I,J+1)=A+C(I,J)
4    CONTINUE
3    CONTINUE
      DO 5  J=1,NZ
        S1=0.0
        S2=0.0
        C1=C(1,J)/2.0
      DO 6  I=2,20
        S1=S1+C(I,J)
        XI=I-1
        X=XI*DX
        S2=S2+C(I,J)*X*X
6    CONTINUE
        S=DX*(C1+S1-S2)
        AVER(J)=1.5*S
5    CONTINUE
      DO 8  J=1,NZ,240
8    WRITE(6,7) (C(I,J),I=1,21),AVER(J)
7    FORMAT(5X,21F5.3,2X,F5.3)
      STOP
      END
```

```
C      EK 5
C      DISPERSION DENKLEMININ KUREYE TATBIKI
      DIMENSION C(21,1000),AVER(1000),XKHO(5)
      NX=21
      DX=0.05
      DZ=0.0001
      SA=DZ/(DX*DX)
      READ(5,15) (XKHO(JK), JK=1,5)
15     FORMAT(5F6.2)
      DA=0.1745329
      DO1 I=1,NX
      C(I,1)=1.0
      1 CONTINUE
      XK=0.1
      DO 13 IJ=1,5
      XK=XK+0.05
      DO 11 JK=1,5
      DAD=-0.0872685
      DO 5 K=1,18
      DAD=DAD+DA
      SI=SIN(DAD)
      Z=XK*DA*(SI**1.666667)
      NZ=Z/DZ
      ST=XKHO(JK)/(SI**0.666667)
      B=1.0/(1.0+ST)
      DO6 J=1,NZ
      C(1,J)=C(2,J)
      DO7 I=2,20
      NI1=I-1
      X=NI1*DX
      AC=SA/(1.0-X*X)
      A=AC*(C(I+1,J)-2.0*C(I,J)+C(I-1,J))
      C(I,J+1)=A+C(I,J)
      7 CONTINUE
      C(21,J+1)=B*C(20,J+1)
      6 CONTINUE
      DO 14 I=1,NX
      C(I,1)=C(I,NZ+1)
14     CONTINUE
      5 CONTINUE
      S1=0.0
```

Ek. 5'in devamı

```
S2=0.0
C1=C(1,NZ)/2.0
DO9 I=2,20
S1=S1+C(I,NZ)
XI=I-1
X=XI*DX
S2=S2+C(I,NZ)*X*X
9 CONTINUE
S=DX*(C1+S1-S2)
AVER(NZ)=1.5*S
WRITE(6,10) AVER(NZ)
DO 12 I=1,NX
C(I,1)=1.0
12 CONTINUE
11 CONTINUE
10 FORMAT(/5X,5(F7.5,5X))
13 CONTINUE
STOP
END
7DATA FILE5
100.00 10.00 1.00 0.10 0.01
```

C EK 8

```
C Δψ·R TERIMININ YAKINSADIGI DEGER
PI=3.141593
DFI=0.01
DFI=DFI*PI/180
YAKD=0.0
ACI=0.0
DO 10 I=1,18000
ACI=ACI+DFI
IF(I.EQ.1) ACI=DFI/2.0
10 YAKD=YAKD+SIN(ACI)**1.666667
WRITE(6,11) YAKD
11 FORMAT(//5X,'YAKINSANAN DEGER=',E14.6)
STOP
END
```



```
C      EK 6
C 18 DILIMLI BIR KUREDE  $n=100$  VE  $k=0.1$ 
C OLMASI HALINDE, HER DILIM ICIN KONSANTRAS-
C YON DEGERLERINI VEREN PROGRAM
      DIMENSION C(41,700),AVER(700)
      NX=41
      DX=0.025
      DZ=0.000025
      SA=DZ/(DX*DX)
      NDZ=18
      XKHO=100
      DA=0.1745329
      DO1 I=1,NX
      C(I,1)=1.0
1  CONTINUE
      XK=0.1
      DAD=-0.0872685
      DO 5 K=1,18
      DAD=DAD+DA
      SI=SIN(DAD)
      Z=XK*DA*(SI**1.666667)
      NZ=Z/DZ
      ST=XKH0/(SI**0.666667)
      B=1.0/(1.0+ST)
      DO6 J=1,NZ
      C(1,J)=C(2,J)
      DO7 I=2,40
      NI1=I-1
      X=NI1*DX
      AC=SA/(1.0-x*x)
      A=AC*(C(I+1,J)-2.0*C(I,J)+C(I-1,J))
      C(I,J+1)=A+C(I,J)
7  CONTINUE
      C(41,J+1)=B*C(40,J+1)
6  CONTINUE
      DO 14 I=1,NX
      C(I,1)=C(I,NZ+1)
14 CONTINUE
```

Ek. 6'nın devamı

```
5 CONTINUE
  S1=0.0
  S2=0.0
  C1=C(1,NZ)/2.0
  DO9 I=2,40
    S1=S1+C(I,NZ)
    XI=I-1
    X=XI*DX
    S2=S2+C(I,NZ)*X*X
  9 CONTINUE
  S=DX*(C1+S1-S2)
  AVER(NZ)=1.5*S
  WRITE(6,10) AVER(NZ)
10 FORMAT(5X,F7.5)
  STOP
  END
```

C EK 7

C 18: DILIMLI BİR KUREDE TABANDA SIFIR ŞARTI VE
C K=0.1 OLMASI HALİNDE HER DILIM İÇİN KONSAN-
C TRASYON DEĞERLERİNİN VEREN PROGRAM

```
  DIMENSION C(41,700),AVER(700)
  NX=41
  DX=0.025
  DZ=0.000025
  SA=DZ/(DX*DX)
  NDZ=18
  XKHO=100
  DA=0.0872665
  DO1 I=1,NX
    C(I,1)=1.0
  1 CONTINUE
  XK=0.1
  DAD=-0.04363324
  KM=2
  DO 5 K=1,18
    IF(K.NE.1) KM=1
    DAD=DAD+DA
    SI=SIN(DAD)
    Z=XK*DA*(SI*1.666667)
    NZ=Z/DZ
```

Ek. 7'nin devamı

```
DO 15 J=KM,NZ
  C(41,J)=0.0
15 CONTINUE
  DO6 J=1,NZ
    C(1,J)=C(2,J)
  DO7 I=2,40
    NI1=I-1
    X=NI1*DX
    AC=SA/(1.0-X*X)
    A=AC*(C(I+1,J)-2.0*C(I,J)+C(I-1,J))
    C(I,J+1)=A+C(I,J)
  7 CONTINUE
  6 CONTINUE
  DO 14 I=1,NX
    C(I,1)=C(I,NZ+1)
14 CONTINUE
  5 CONTINUE
  S1=0.0
  S2=0.0
  C1=C(1,NZ)/2.0
  DO9 I=2,40
    S1=S1+C(I,NZ)
    XI=I-1
    X=XI*DX
    S2=S2+C(I,NZ)*X*X
  9 CONTINUE
  S=DX*(C1+S1-S2)
  AVER(NZ)=1.5*S
  WRITE(6,10) NDZ,(C(I,NZ),I=1,NX),AVER(NZ)
10 FORMAT(///63X,4HNDZ=,I2/3X,14(F7.5,2X)/3X,
  H14(F7.5,2X)/3X,14(F7.5,2X))
  DO 14 I=1,NX
    C(I,1)=C(I,NZ+1)
14 CONTINUE
  STOP
  END
```

```
C  EK 9
C   36 DİLİMLİ BİR KUREDE  $n=100$  VE  $K=0.1$ 
C   OLMASI HALİNDE, HER DİLİM İÇİN KONSAN-
C   TRASYON DEĞERLERİNİ VEREN PROGRAM
      DIMENSION C(41,700), AVER(700)
      NX=41
      DX=0.025
      DZ=0.000025
      SA=DZ/(DX*DX)
      NDZ=36
      XKH0=100
      DA=0.1745329
      DO 1 I=1, NX
        C(I,1)=1.0
1     CONTINUE
      XK=0.1
      DAD=-0.0872685
      DO 5 K=1, 36
        DAD=DAD+DA
        SI=SIN(DAD)
        Z=XK*DA*(SI**1.666667)
        NZ=Z/DZ
        ST=XKH0*(JK)/(SI**0.666667)
        B=1.0/(1.0+ST)
        DO 6 J=1, NZ
          C(1,J)=C(2,J)
        DO 7 I=2, 40
          NI1=I-1
          X=NI1*DX
          AC=SA/(1.0-X*X)
          A=AC*(C(I+1,J)-2.0*C(I,J)+C(I-1,J))
          C(I,J+1)=A+C(I,J)
        7 CONTINUE
        C(41,J+1)=B*C(40,J+1)
        6 CONTINUE
        DO 14 I=1, NX
          C(I,1)=C(I,NZ+1)
14     CONTINUE
        5 CONTINUE
        S1=0.0
        S2=0.0
        C1=C(1,NZ)/2.0
```

```

:   EK 10
: DENT HAKKI
:   DISPERSİYON DENKLEMINİN Z=1 KESİTİNDE STABİLİTE
:   SARTININ 1. HALİ İÇİN ÇÖZÜMÜ
:   DİFERENSİYEL DENKLEMINİN STABİLİTE SARTINI VEREN DENKLEM
      DIMENSION C(6,626),AVER(626)
      NZ=625
      NX=6
      DZ=0.0016
      DX=0.2
      SA=DZ/(DX*DX)
      DO1 I=1,NX
      C(I,1)=1.0
1  CONTINUE
      DO2 J=2,NZ
      C(6,J)=0.0
2  CONTINUE
      DO3 J=1,NZ
      C(1,J)=C(2,J)
      DO4 I=2,5
      NI=I-1
      ANI=NI
      X=ANI*DX
      AC=SA/(1.0-X*X)
      A=AC*(C(I+1,J)-2.0*C(I,J)+C(I-1,J))
      C(I,J+1)=A+C(I,J)
4  CONTINUE
3  CONTINUE
      DO5 J=1,NZ
      S1=0.0
      S2=0.0
      C1=C(1,J)/2.0
      DO6 I=2,5
      S1=S1+C(I,J)
      XI=I-1
      X=XI*DX
      S2=S2+C(I,J)*X*X
6  CONTINUE
```

Ek. 10'nun devamı

```
S=DX*(C1+S1-S2)
AVER(J)=1.5*S
5  CONTINUE
   LL=1
   LU=10
   DO8 J=1,63
   WRITE(6,7) (AVER(KJ),KJ=LL,LU)
   LL=LL+10
   LU=LU+10
8  CONTINUE
7  FORMAT(5X,10F7.5)
   STOP
   END
```

Ek. 9'un devamı

```
DO9 I=2,40
S1=S1+C(I,NZ)
XI=I-1
X=XI*DX
S2=S2+C(I,NZ)*X*X
9  CONTINUE
S=DX*(C1+S1-S2)
AVER(NZ)=1.5*S
WRITE(6,10) AVER(NZ)
10 FORMAT(5X,F7.5)
   STOP
   END
```

```
C   EK 11
IDENT HAKKI
C   DISPERSİYON DENKLEMINİN Z=1 KESİTİNDE STABİLİTE
C   SARTININ 2. HALİ İÇİN ÇÖZÜMÜ
      DIMENSION C(11,501),AVER(501)
      NZ=500
      NX=11
      DX=0.1
      DZ=0.0004
      SA=DZ/(DX*DX)
      DO1 I=1,NX
        C(I,1)=1.0
      1 CONTINUE
      DO10 JK=1,5
        DO2 J=2,NZ
          C(11,J)=0.0
        2 CONTINUE
        DO3 J=1,NZ
          C(1,J)=C(2,J)
        DO4 I=2,10
          NI=I-1
          ANI=NI
          X=ANI*DX
          AC=SA/(1.0-X*X)
          A=AC*(C(I+1,J)-2.0*C(I,J)+C(I-1,J))
          C(I,J+1)=A+C(I,J)
        4 CONTINUE
      3 CONTINUE
      DO11 I=1,NX
        C(I,1)=C(I,501)
      11 CONTINUE
    10 CONTINUE
      DO5 J=1,NZ
        S1=0.0
```

Ek. 11'in devamı

```
S2=0.0
C1=C(1,J)/2.0
DO6 I=2,10
  S1=S1+C(I,J)
  XI=I-1
  X=XI*DX
  S2=S2+C(I,J)*X*X
6 CONTINUE
  S=DX*(C1+S1-S2)
  AVER(J)=1.5*S
5 CONTINUE
  LL=1
  LU=10
  DO8 J=1,50
    WRITE(6,7) (AVER(KJ),KJ=LL,LU)
    LL=LL+10
    LU=LU+10
8 CONTINUE
7 FORMAT(5X,10F7.5)
STOP
END
```



```
C   EK 12
IDENT HAKKI
C   DISPERSIYON DENKLEMININ Z=1 KESITINDE STABILITE
C   SARTININ 3. HALI ICIN COZUMU
      DIMENSION C(21,1001),AVER(1001)
      NZ=1000
      NX=21
      DX=0.05
      DZ=0.0001
      SA=DZ/(DX*DX)
      DO1 I=1,NX
        C(I,1)=1.0
1     CONTINUE
      DO10 JK=1,10
        DO2 J=2,NZ
          C(21,J)=0.0
2     CONTINUE
        DO3 J=1,NZ
          C(1,J)=C(2,J)
          DO 4 I=2,20
            NI=I-1
            ANI=NI
            X=ANI*DX
            AC=SA/(1.0-X*X)
            A=AC*(C(I+1,J)-2.0*C(I,J)+C(I-1,J))
            C(I,J+1)=A+C(I,J)
4     CONTINUE
3     CONTINUE
      DO11 I=1,NX
        C(I,1)=C(I,1001)
11    CONTINUE
10    CONTINUE
      DO5 J=1,NZ
        S1=0.0
        S2=0.0
        CI=C(1,J)/2.0
        DO6 I=2,20
          S1=S1+C(I,J)
          XI=I-1
          X=XI*DX
          S2=S2+C(I,J)*X*X
6     CONTINUE
```

Ek. 12'nin devamı

```
S=DX*(C1+S1-S2)
AVER(J)=1.5*S
5 CONTINUE
LL=1
LU=10
DO8 J=1,100
WRITE(6,7) (AVER(KJ),KJ=LL,LU)
LL=LL+10
LU=LU+10
8 CONTINUE
7 FORMAT(5X,10F7.5)
STOP
END
```



```
C   EK 13
IDENT HAKKI
C   DISPERSIYON DENKLEMININ Z=1 KESITINDE STABILITE
C   SARTININ 4. HALI ICIN COZUMU
      DIMENSION C(41,501),AVER(501)
      NZ=500
      NX=41
      DX=0.025
      DZ=0.000025
      SA=DZ/(DX*DX)
      DO1 I=1,NX
      C(I,1)=1.0
1    CONTINUE
      DO10 JK=1,80
      DO2 J=2,NZ
      C(41,J)=0.0
2    CONTINUE
      DO3 J=1,NZ
      C(1,J)=C(2,J)
      DO4 I=2,40
      NI=I-1
      ANI=NI
      X=ANI*DX
      AC=SA/(1.0-X*X)
      A=AC*(C(I+1,J)-2.0*C(I,J)+C(I-1,J))
      C(I,J+1)=A+C(I,J)
4    CONTINUE
3    CONTINUE
      DO11 I=1,NX
      C(I,1)=C(I,501)
11   CONTINUE
10   CONTINUE
      DO5 J=1,NZ
      S1=0.0
      S2=0.0
      C1=C(1,J)/2.0
      DO6 I=2,40
      S1=S1+C(I,J)
      XI=I-1
      X=XI*DX
      S2=S2+C(I,J)*X*X
6    CONTINUE
```

Ek. 13'ün devamı

```
S=DX*(C1+S1-S2)
AVER(J)=1.5*S
5 CONTINUE
LL=1
LU=10
DO8 J=1,50
WRITE(6,7) (AVER(KJ),KJ=LL,LU)
LL=LL+10
LU=LU+10
8 CONTINUE
7 FORMAT(5X,10F7.5)
STOP
END
```

K A Y N A K L A R

- 1 Amado, M.A., (1964) "Analysis of BOD Reduction in Trickling Filters" Master's Thesis, Cornell University.
- 2 Ames, W.F., Behn, V.G. and Collings, W.Z., (1962) "Transient Operation of the Trickling Filter" Jour. Sanit. Eng. Div. ASCE, 88, 21-38.
- 3 Askew, M.W., (1967) "Plastics in Waste Treatment II." Process Biochem. (Brit), 2, 1, 31.
- 4 Atkinson, B., Busch, A.W. and Dawkins, G.S., (1963) "Recirculation, Reaction Kinetics and Effluent Quality in a Trickling Filter Flow Model" Jour. Wat. Pol. Cont. Fed. 35, 1307-1317.
- 5 Atkinson, B., Swilley, E.L., Busch, A.W. and Williams, D.A., (1967) "Kinetics, Mass Transfer and Organism Growth in a Biological Film Reactor" Trans. Inst. Chem. Engrs. 45, T257-T264.
- 6 Atkinson, B., Daoud, I.S. and Williams, D.A., (1968) "A Theory for the Biological Film Reactor" Trans. Inst. Chem. Engrs. 46, T245-T250.

- 7 Atkinson,B.and Williams,D.A.(1971) "Performance Characteristics of a Trickling Filter with Holdup of Microbial Mass Controlled by Periodic Washing" Trans.Inst.Chem. Engrs.49,T205-T224.
- 8 Atkinson,B., (1974) "Biochemical Reactors" Pion Limited, London.
- 9 Atkinson,B.and Davies,I.J.(1974) "The Overall Rate of Substrate Uptake (Reaction) by Microbial Films, Part I: A Biological Rate Equation" Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Vol.52,p.248.
- 10 Atkinson,B.and How,S.Y.,(1974) "The Overall Rate of Substrate Uptake (Reaction) Microbial Films, Part II: Effect of Concentration and Thickness with Mixed-Microbial Films" Transactions of the Institution of Chemical Engrs.Vol.52, p.260.
- 11 Atkinson,B.and Howell,J.A.,(1975) "Slime Holdup, Influent BOD and Mass Transfer in Trickling Filters" Jour.of the Envir.Eng.Div. ASCE, Vol.101,No.EE4,p.585-605.
- 12 Ayalp,A.,(1969)"Kullanılmış Suların Tasfiyesinde Damlatmalı Filtrelerin Mikrobiyolojisi" İTÜ.Dergisi

- 13 Behn, V.C. and Manadjemi, P., (1968) "Developments in Biological Filtration Advances in Water Quality Improvement" Water Resources Symposium No.1 (Edited by Gloyna, E.F., and Eckenfelder, W.W.) University of Texas Press. Austin and London.
- 14 Bloodgood, D.E. and Teletzk, G.H., (1959) "Fundamental Hydraulic Principles of Trickling Filter" Jour. Sew. and Ind. Wastes, 31, 243.
- 15 Brown, J.C., (1971) "Mathematical Model Describing the Performance of Trickling Filters" M.Sc. Thesis Dept. of Envir. Sciences, University of North Carolina.
- 16 Busch, A.W., Hughmark, G.A., (1968) "Trickling Filter Theories" Proc. of the 23 th. Ind. Waste Conf. May 7, 8 and 9, Purdue Univ. Lafayette, Indiana.
- 17 Busch, A.W., (1971) "Aerobic Biological Treatment of Waste Waters" Oligodynamics Press, Houston, Texas.
- 18 Chipperfield, P.N.J., (1967) "The Development, Use and Future of Plastics in Biological Treatment" Effl. and Water Treatm. Convention, London.
- 19 Chipperfield, P.N.J., (1967) "Performance of Plastic Filter Media in Industrial and Domestic Waste Treatment" J.W.F., 39, 11, p. 1860-1874.
- 20 Chipperfield, P.N.J. et al, (1972) "Multiple-Stage, Plastic-Media Treatment Plants" J.W.P.C.F., 44, 10, 1955-1967.

- 21 Dow Chemical Co., (1971) "A Literature Search and Critical Analysis of Biological Trickling Filter Studies" Vol.I and II.EPA., Proj.No.17050 DD4 12/71.
- 22 Duddles,G.A.,and Richardson,S.E.,(1973) "Application of Plastic Media Trickling Filters for Biological Nitrification Systems" Rept.No.EPA-R2-72-199, Envir.Prot.Technol.Ser.EPA. Washington,D.C.
- 23 Dunbar (1928) "The Chemisty of Water and Sewage Treatment (Edited by Buswell,A.M.) Chemical Catalogue Co.Inc.New-York.
- 24 Eckenfelder,W.W.,(1961) "Trickling Filtration Design and Performance" Jour.Sanit.Engng.Div. ASCE,87, 33-45.
- 25 Eden,G.E.,Truesdale,G.A.,Mann,H.T.(1966) "Biological Filtration Using a Plastic Filter Medium" Proc.Inst.Sew.Purif.6,562-574.
- 26 Elder,J.W.,(1959) "The Dispersion of Marked in Turbulent Shear Flow" Jour.Fluid.Mech.5,544.
- 27 Ertürk,F.,(1977) "The EffectsOf Maldistribution on the Uptake and Distribution of Inert Gases in the Human Lung" Ph.D.Thesis,Library Iowa State University of Science and Technology,Ames,Iowa.

- 28 Fair, M.G., Geyer, J.C., Okun, A.D., (1968) "Water and Wastewater Engineering" Vol.2. John Wiley and Sons. Inc.
- 29 Frangipane, E.F., (1976) "Conventional Trickling Filters" Theory and Practice of Biological Wastewater Treatment, July, 11-12. İstanbul, Turkey.
- 30 Gotaas, H.B. and Galler, W.S., (1973) "Design Optimization for Biological Filter Models" Jour. Environ. Eng. Div. ASCE, 99, EE6, 831.
- 31 Haug, R.T. and McCarty, P.L., (1972) "Nitrification with Submerged Filters" Jour. Wat. Pol. Cont. Fed. 44, 2086.
- 32 Hinze, J.O., (1959) "Turbulence" McGraw-Hill Book Co.
- 33 Howell, J.A. and Atkinson, B. (1976) "Solubility of Microbial Film in Trickling Filters" Water Res. (G.B.), 10, 307.
- 34 Howland, W.E., (1975) "Flow Over Porous Media as in Trickling Filter" Proc. 12 End. Wastes Conf., Purdue Univ. 12, 435.
- 35 Imhoff, R.K., (1976) "Trickling Filtration" Theory and Practice of Biological Wastewater Treatment, July 11-23, İstanbul, Turkey.
- 36 Jank, B.E. and Drynan, W.R., (1973) "Substrate Removal Mechanism of Trickling Filters" Jour. Environ. Eng. Div. Proc. ASCE, 99, EE3, 187.
- 37 Kehrberger, G.J., Busch, A.W., (1969) "The Effect of Recirculation on the Performance of the Trickling Filter Models" 24 th. Ind. Waste Conf. Purdue Univ. 1.

- 38 Kehrberger, G.J., Busch, A.W., (1971) "Mass Transfer Effects in Maintaining Aerobic Conditions in Filter Flow Reactors" Jour. Wat. Poll. Con. Fed. 43, 1514-27.
- 39 Kornegay, B.H. and Andrews, J.F. (1967) "Kinetics of Fixed Film Biological Reactor" Proceedings, 22nd, Annual Ind. Waste Conf., Purdue Univ.
- 40 Lamb, R., (1970) "A Suggested Formula for the Process of Biological Filtration" Wat. Poll. Cont. 69, 209-220.
- 41 Maier, W.J., (1966) "Mass Transfer and Growth kinetics in a Slime Layer, a Simulation of the Trickling Filter" Ph.D. Thesis. Cornell University.
- 42 Maier, W.J., Behn, V.C. and Gates, C.D., (1967) "Simulation of The Trickling Filter Process" Jour. Eng. Div. ASCE, 93, SA4, 91-112.
- 43 McKinney, R.E., (1962) "Microbiology for Sanitary Engineers" McGraw-Hill Book Co.
- 44 Mehta, D.S., Davies, H.H. and Kingsburg, R.P., (1972) "Oxygen Theory in Biological Aerobic Treatment Processes" Water Research 5, 647-681.
- 45 Metcalf, L. and Eddy, P.H. Inc., (1972) "Wastewater Engineering" Collection Treatment, Disposal, McGraw-Hill Book Co.
- 46 Middlebrooks, E.J. and Coogan, F.J., (1969) "Treatment of Kraft Mill Wastes with a Plastic Media Trickling Filter" Water Research, 3, 203.

- 47 Monadjemi, P. and Behn, V.C., (1970) "Oxygen Uptake and Mechanism of Substrate Purification in a Model Trickling Filter" Proc. 5th. Int. Water Poll. Res. Conf. Paper II-12-16.
- 48 Muslu, Y., (1970) "Taneli Malzeme İçinde Akım ve Biyokimyasal Oksitlenme Hızı" Doçentlik Tezi. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- 49 Muslu, Y., (1971) "Linear Flow Through Porous Media" Bulletin of the Technical University of İstanbul. Vol. 24, No. 1.
- 50 Muslu, Y., (1975) "Doymamış Ortamda Maddenin Yayılması ve Yayılma Parametreleri" T.B.T.A.K.V. Bilim Kongresi.
- 51 Muslu, Y. ve Karpuzcu, M., (1975) "Biyolojik Filtreler İçinde Akımın ve Akış zamanının Hesabı İçin Uygun Bir Matematik Modelin Araştırılması" TBTA. Proje No. MAG-365.
- 52 Muslu, Y., (1976) "Damlatmalı Filtreler" Sakarya D.M.M. Akademisi Dergisi. Sayı MMA-2.
- 53 Muslu, Y., (1976) "Biyolojik Filtrelerin Reaksiyon Katsayılarını Veren Bir Bağıntının Araştırılması" Sakarya D.M.M. Akademisi Dergisi, Sayı MMA-2.
- 54 Neely, A.B., (1975) "Chemical-Biological Treatment with Biological Filters" Water Pol. Control (G.B), 74, 116.

- 55 Oleszkiewich, J.A., (1974) "The Mechanism of Substrate Removal in High Rate Plastic Media Trickling Filters" Ph.D. Thesis, Department of Envir. and Water Resources Eng. Vanderbilt University.
- 56 Pearson, C.R., (1967) "Discussion-Paper by Berridge, H.B. and Brendish, K.R. Jour. Proc. Inst. Sew. Purif" 66, 1, 600.
- 57 Pearson, C.R., (1967) "Recent Observations on the Use of Plastic Packings in the Biochemical Treatment of Liquid Effluents" Chemistry and Industry, September 9, 1505.
- 58 Rictmeyer, R.D. and Morton, K.W., (1966) "Difference Methods for Initial Value Problems" New York, Interscience Publ. Inc.
- 59 Roberts, J., (1973) "Towards a Better Understanding of High Rate Biological Film Flow Reactor Theory" Water Res. (G.B), 7, 1561.
- 60 Sarıkaya, H.Z., (1973) "Türbülans ve Hız Dağılımının Çökeltme Verimi Üzerine Etkisi" Doktora tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- 61 Sarıkaya, Z.H., (1977) "Numerical Model for Discrete Settling" Jour. of the Hydraulic Div. ASCE, Vol. 103, No. HY8, p. 865-876.
- 62 Sayre, W.W., (1968) "Dispersion of Mass in Open Channel Flow" Hydraulic Papers No. 3, Colorado State Univ. Fort Collins, Colorado.

- 63 Schneider,C.,(1972) "Trickling Filters from Rocks to Plastics" Pollut.Engng.47.
- 64 Schulze,K.L.,(1960) "Load and Efficiency of Trickling Filter" Jour.Wat.Polt.Con.Fed.32,243.
- 65 Shriver,L.E.and Bowers,D.M.(1975) "Operational Practices to Upgrade Trickling Filter Plant Performance" Jour.Water Pol.Cont.Fed.47,2640.
- 66 Smith,R.and Roesler,F.J.,(1969) "A Mathematical Model for a Trickling Filter" Proceedings of the 24 th Ind.Waste Conf.May 6,7 and 8, Purdue University,Lafayette,Indiana.
- 67 Swilley,E.L.and Atkinson,B.,(1963) "A Mathematical Model for Trickling Filters" Proc.18 th.Ann. Ind.Waste Conf.Purdue Univ.Lafayette, Indiana.
- 68 Taylor,.G.I.(1954) "Dispersion of Solute in a Solvent Flowing Slowly Through a Tube" Proc.Roy.Soc. A219-186.
- 69 Topacık,D.,(1976) "Artık Maddelerin Ayırışma ve Dağılmasının Kübik Dizilişli Bir Filtre Modeli Üzerinde İncelenmesi" Doktora tezi,İTÜ.İnşaat Fak.
- 70 Tušek,F.,Chudoba,J.and Madera,V.,(1971) "Unified Basis for Design of Biological Aerobic Treatment Processes" Water Research.5,647-681.
- 71 Velz,C.J.,(1948) "Basic Law for Performance of Biological Filters" Sewage Works Journal,Vol.20. p.607-617.

- 72 Williamson,K.and McCarty,P.L.(1976) "A Model of Substrate Utilization by Bacterial Films"
Jour.Water Poll.Control Fed.48,9.
- 73 Williamson,K.and McCarty,P.L.,(1976) "Verification Studies of the Biofilm Model for Bacterial Substrate Utilization"
Jour.Water Poll.Cont.Fed.48,281.
- 

HAL TERCÜMESİ

Halil ÜRÜN 1947 yılında Yunak'da doğmuş olup, parasız yatılı olarak girdiği Adana Erkek Lisesini 1964 yılında bitirdikten sonra, aynı yıl girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi'nden Mart 1970 döneminde mezun olmuştur. Mezuniyetini takiben bir yıl kadar Karayolları 3. Bölge Müdürlüğü'ne bağlı olarak Köprü Kontrol ve Şantiye Mühendisliği yapmış, 1971 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat ve Mimarlık Fakültesi Çevre Bilimleri ve Teknolojisi Kürsüsü'nde asistan olarak göreve başlamıştır.

1974 yılında bir yıl süre ile İngiltere'de mesleği ile ilgili çalışmalarda bulunmuş, doktora çalışmaları sürerken 1975 yılında dört aylık kısa dönem askerlik hizmetini tamamlamıştır.

Halen K.T.Ü. de asistan olarak çalışmaktadır.

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi